

การเตรียมและศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว  
โดยเทคนิคทำให้แห้งแบบพ่นฝอย

PREPARATION AND STABILITY STUDY OF MICROENCAPSULATED  
CAJUPUT OIL USING SPRAY DRYING TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

พ.ศ. 2555

วิทยานิพนธ์ การเตรียมและศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว  
โดยเทคนิคทำให้แห้งแบบพ่นฝอย  
Preparation and Stability Study of Microencapsulated Cajuput Oil  
Using Spray Drying Technique

ชื่อนักศึกษา นางสาวกังสดาล วิเชียรศิลป์  
รหัสประจำตัว 524063  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง  
ปีการศึกษา 2555

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ และสำนักงานคณะกรรมการ  
การอุดมศึกษา ได้ตรวจสอบและอนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2555

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์อิสยา จันทร์วิทยานุชิต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจาก

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานี เหลืองชนะอนันต์)

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนา อินทรานุปกรณ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มณฑนา ภาณุมากรณ์)

วิทยานิพนธ์	การเตรียมและศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว โดยเทคนิคทำให้แห้งแบบพ่นฝอย Preparation and Stability Study of Microencapsulated Cajuput Oil Using Spray Drying Technique
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกังสดาล วิเชียรศิลป์
รหัสประจำตัว	524063
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง
ปีการศึกษา	2555

### บทคัดย่อ

การทดลองกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในรูปแบบไมโครแคปซูล โดยใช้เทคนิคการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยและศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูล จากการทดสอบความคงตัวของอิมัลชันในสภาวะเร่ง แล้วศึกษาขนาดหยดอิมัลชันและค่าศักย์ซีตาของอิมัลชันจากน้ำมันเสม็ดขาว ซึ่งเตรียมจากสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 4 ชนิด (แป้งคัสเปร CAPSUL<sup>®</sup>, HI-CAP<sup>®</sup> 100, กัมอะราบิก และ FA1604) พบว่า อิมัลชันที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมอะราบิกมีความคงตัวของอิมัลชันดีกว่าตัวรับอื่น เมื่อนำอิมัลชันจากสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ไปเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว โดยใช้สภาวะของเครื่องพ่นฝอยแบบแห้งที่ปรับให้มีอุณหภูมิเข้า 170-185°C อัตราการไหลของอากาศเข้า 80-85% และอัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน 5-8% พบว่า สารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมอะราบิก จะได้ปริมาณของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาวที่ผลิตได้ (%yield) มากกว่าตัวรับอื่น ๆ คือ 57.13% และ 39.4% ตามลำดับ ดังนั้น จึงคัดเลือกสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมอะราบิก มาปรับสัดส่วนของน้ำมันเสม็ดขาวและผลิตเป็นไมโครแคปซูลจากการศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) พบว่า อนุภาคไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 5-30  $\mu\text{m}$  โครงสร้างทางจุลภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวที่ผลิตได้ มีหยดน้ำมันฝังตัวที่เปลือกของอนุภาคที่เป็นสารห่อหุ้ม ผิวด้านนอกของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 มีผิวที่เรียบกว่าอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากสารห่อหุ้มกัมอะราบิก เมื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูลที่ผลิตได้จากกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ไมโครแคปซูลที่ผลิตจากอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเสม็ดขาวต่อสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 ในอัตราส่วน 0.3:1 จะมีปริมาณการกักเก็บสาร 1,8-Cineol สูงที่สุดคือ 58.54% และที่ผิวไมโครแคปซูลมีปริมาณ 1,8-Cineol น้อยที่สุดคือ

0.08% เมื่อศึกษาความคงตัวของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล เปรียบเทียบกับน้ำมันเสม็ดขาวที่ไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ที่เก็บไว้ในสภาวะที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1\%$  เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลจะลดลงช้ากว่าปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวที่ไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล

จากการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การกักเก็บน้ำมันหอมระเหยเสม็ดขาวโดยใช้เทคนิคทำให้แห้งแบบพ่นฝอย สามารถชะลอการเสื่อมสลายของสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวภายในไมโครแคปซูล ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสุคนธบำบัดได้ต่อไป



**Thesis Title** Preparation and Stability Study of Microencapsulated Cajuput Oil  
Using Spray Drying Technique

**By** Miss Kangsadam Wicheansin

**Identification No.** 524063

**Degree** Master of Science (M.S.)

**Major** Cosmetic Science

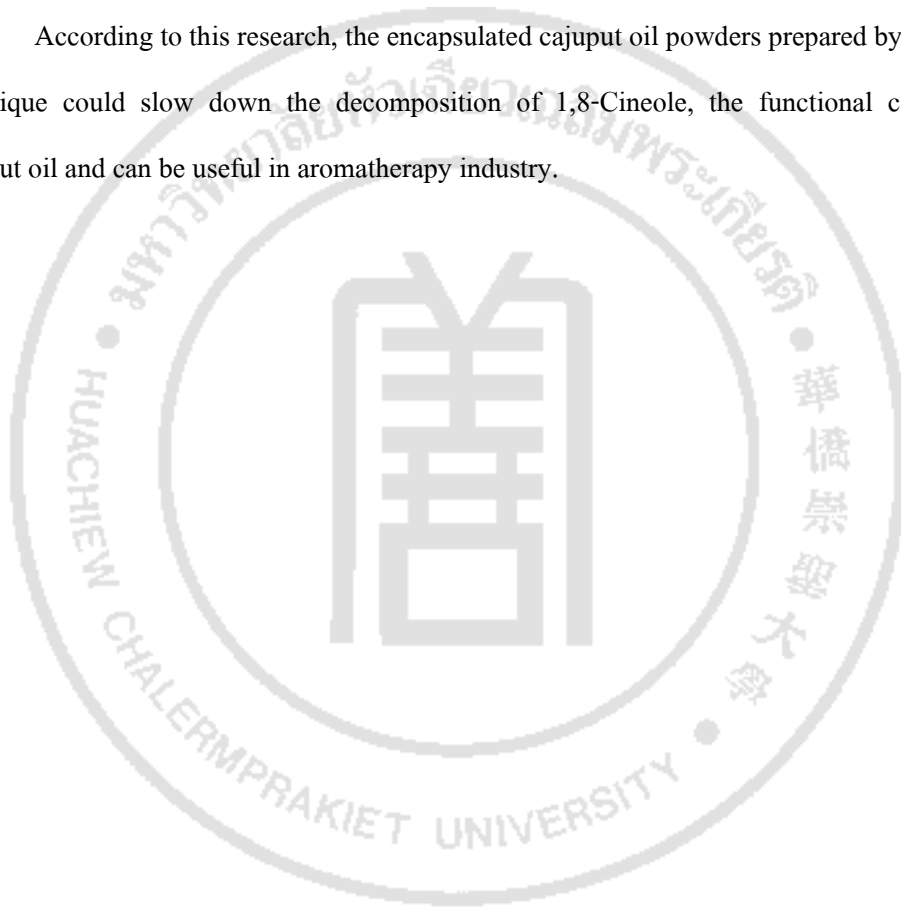
**Academic Year** 2012

### ABSTRACT

The microencapsulation of cajuput oil by spray drying and its stability were investigated. The effects of six freeze-thaw cycles on the stability of different kinds of matrices (CAPSUL<sup>®</sup>, HI-CAP<sup>®</sup> 100, gum arabic and FA1604) in the flavor emulsion were evaluated with respect to the effects of emulsion droplet size and the zeta potential values. To prepare the microencapsulated flavor spray dried powders, the operational conditions of the spray drying were: air inlet temperature 170±10°C, aspirator 80-85°C and feed rate 5-8%. The encapsulating cajuput oil in HI-CAP<sup>®</sup> 100 and gum arabic emulsion showed the higher stability than the others. Furthermore, under the optimal spray drying condition the wall materials, HI-CAP<sup>®</sup> 100 and gum arabic, indicated the dry powder surface and high percentage yields of encapsulated flavor powders at 57.13% and 39.40%, respectively. Thus, HI-CAP<sup>®</sup> 100 and gum arabic were selected to prepare the spray dried powders with different mass ratio to cajuput oil. The powder sizes were in the range between 5-30 µm. The morphological characterization of encapsulated powders, which had cajuput oil embedded in the shell matrix, was examined by SEM. The smooth surface of powder was observed more in the HI-CAP<sup>®</sup> 100 wall materials than with the others. The high retention of the functional compound, 1,8-Cineole, of cajuput oil, after spray drying was observed with high solid contents. The optimal cajuput oil concentration in the feed emulsion, mass ratio of cajuput oil: HI-CAP<sup>®</sup> 100 at 0.3:1 has the highest percent encapsulation at 58.54% and low flavor residue

on the surface. The protective effect of microencapsulation of wall materials was also studied by comparison the 1,8-Cineol content in the encapsulated and non-encapsulated powders, which kept in controlled humidity condition ( $50 \pm 1\%$  RH) for 6 weeks. The results indicated that the content of 1,8-Cineol of both encapsulated and non-encapsulated powders decreased. However, the decrease of 1,8-Cineol content in the non-encapsulated powders was significantly higher than in the encapsulated powders.

According to this research, the encapsulated cajuput oil powders prepared by spray drying technique could slow down the decomposition of 1,8-Cineole, the functional compound, in cajuput oil and can be useful in aromatherapy industry.



### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร.รัตนา อินทรานุปกรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ข้อชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งลุ่่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์มัณฑนา ภาณุมากรณ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.มานี เหลืองธนะอนันต์ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาใช้เวลาให้คำแนะนำปรึกษา และให้แนวความคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมีและเวชเวท ภาควิชาเภสัช เทคโนโลยีและเภสัชอุตสาหกรรมทุกท่านที่อำนวยความสะดวกทั้งในงานเอกสาร สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง รวมถึงให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการทดลองในด้านต่าง ๆ

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และคอยเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา

กั๋งสดาล วิเชียรศิลป์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(1)
ABSTRACT.....	(3)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญแผนภูมิ.....	(11)
สารบัญภาพ.....	(12)
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
<b>2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 เสมีดขาว.....	6
2.2 ถูรีที่ทางเกิ้ลัชวิทยาของน้ำมันเสมีดขาว.....	6
2.3 การใช้ประโยชน์ในทางเครื่องสำอางของน้ำมันเสมีดขาว.....	8
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันเสมีดขาว.....	8
2.5 กระบวนการเอนแคปซูลเลชัน.....	9
2.6 การทำให้แห้งแบบพ่นฝอย.....	12
2.7 ทฤษฎีและกลไกการเอนแคปซูลเลทโดยวิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย.....	15
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นในกระบวนการ ทำให้แห้งแบบพ่นฝอย.....	17
2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของผงอนุภาคไมโครแคปซูล.....	20
2.10 สารหอมที่ใช้ในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย.....	22



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.11 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี.....	26
2.12 การประเมินวิธีวิเคราะห์.....	27
2.13 กรอบแนวคิดในการศึกษา.....	30
<b>3. วิธีดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 การเตรียมตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเสม็ดขาว และสารหอมชนิดต่าง ๆ.....	33
3.2 การศึกษาชนิดของอิมัลชันของตำรับอิมัลชันเบื้องต้น จากน้ำมันเสม็ดขาวและสารหอมชนิดต่าง ๆ.....	34
3.3 การศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเสม็ดขาว และสารหอมชนิดต่าง ๆ ในสภาวะเร่ง.....	34
3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวและคัดเลือกชนิดของสาร หอมที่เหมาะสมในการห่อหุ้มน้ำมันเสม็ดขาว.....	35
3.5 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว.....	35
3.6 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาว ในไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	39
3.7 การประเมินวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ ภายในไมโครแคปซูล.....	39
3.8 การประเมินวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล.....	42
3.9 การศึกษาความคงตัวของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาว ในไมโครแคปซูล.....	44
3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย.....	47

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
<b>4. ผลการทดลอง</b>	
4.1 การเตรียมตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเมล็ดขาว และสารหอมชนิดต่าง ๆ.....	48
4.2 การศึกษาชนิดของอิมัลชันของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจาก น้ำมันเมล็ดขาวและสารหอมชนิดต่าง ๆ.....	49
4.3 การศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเมล็ดขาว และสารหอมชนิดต่าง ๆ ในสภาวะเร่ง.....	50
4.4 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว และคัดเลือกชนิดของ สารหอมที่เหมาะสมในการห่อหุ้มน้ำมันเมล็ดขาว.....	54
4.5 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว.....	58
4.6 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของการกักเก็บน้ำมันเมล็ดขาวใน ไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	62
4.7 การประเมินวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล.....	62
4.8 การประเมินวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล.....	68
4.9 การศึกษาความคงตัวของสารกักเก็บน้ำมันเมล็ดขาว ในไมโครแคปซูล.....	71
<b>5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 อภิปรายผล.....	82
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	89
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	91
บรรณานุกรม.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	99

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ช่วงขนาดอนุภาคที่ได้จากเทคโนโลยีเอนแคปซูเลชันวิธีต่าง ๆ.....	13
2.2 วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย.....	22
2.3 เกณฑ์การยอมรับค่าความถูกต้อง.....	28
2.4 เกณฑ์การยอมรับค่าการทดสอบความเที่ยง.....	29
3.1 สัดส่วนของสารห่อหุ้ม น้ำมันเมล็ดขาวและน้ำในตำรับอิมัลชันเบื้องต้น.....	34
3.2 สัดส่วนของส่วนผสมในการทำไมโครเอนแคปซูเลทของน้ำมันเมล็ดขาว โดยใช้ HI-CAP® 100 เป็นสารห่อหุ้ม.....	37
3.3 สัดส่วนของส่วนผสมในการทำไมโครเอนแคปซูเลทของน้ำมันเมล็ดขาวโดยใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม.....	38
3.4 Programmed Temperature ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี.....	40
4.1 สีของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดขาวและสารห่อหุ้มที่ต่างกัน 4 ชนิด.....	49
4.2 ลักษณะของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากการตรวจสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง.....	52
4.3 ขนาดอนุภาคและค่าศักย์ซีตาของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากการตรวจสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง.....	53
4.4 สภาวะของเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อการอบแห้งและปริมาณผงแห้งที่ได้.....	55
4.5 ความหนืดของอิมัลชันและปริมาณเปอร์เซ็นต์ของไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว.....	59
4.6 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล.....	65
4.7 ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกัน.....	65
4.8 ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ต่างวันกัน.....	66

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน 1,8-Cineol ในการตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูล.....	67
4.10 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล.....	68
4.11 ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกัน.....	69
4.12 ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ต่างวันกัน.....	69
4.13 ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟ ของสารมาตรฐาน 1,8-Cineol ในการตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล.....	71
4.14 ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50±1%.....	73
4.15 ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50±1%.....	74
4.16 เวลาที่ใช้ในการละลายไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว ให้อยู่ในรูปสารละลาย.....	76
4.17 ค่าความเป็นกรดค้างของสารละลายไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว.....	76
4.18 ค่าความหนืดของสารละลายไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว.....	77
4.19 เปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ในอิมัลชัน ในไมโครแคปซูล และที่ผิวไมโครแคปซูลที่เวลาเริ่มต้น.....	80

## สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
4.1 กราฟมาตรฐานของ Retention Oil และอิมัลชัน.....	67
4.2 กราฟมาตรฐานของ Surface Oil.....	70
4.3 การลดลงของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บ และไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ในระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	79
4.4 เปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล ในระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	81



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	7
2.2	9
2.3	10
2.4	11
2.5	12
2.6	15
2.7	16
2.8	23
2.9	25
2.10	27
4.1	48
4.2	49
4.3	51
4.4	51
4.5	57
4.6	57
4.7	60
4.8	61
4.9	63
4.10	64

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ลักษณะไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว ที่ถูกเก็บไว้ ที่เวลาเริ่มต้นและที่ 6 สัปดาห์.....	72
4.12 ลักษณะสารละลายที่ได้จากไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว ในน้ำปราศจากไอออน.....	75
4.13 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของน้ำมันเสม็ดขาว.....	78
4.14 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน 1,8-Cineol.....	79



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กลิ่นหอมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเครื่องสำอางเกือบทุกชนิดทุกรูปแบบ ช่วยเติมแต่งร่างกายให้มีกลิ่นหอมหรือเพื่อกลบกลิ่นกายที่ไม่พึงประสงค์ รวมทั้งเสริมสร้างเสน่ห์และความมั่นใจให้ผู้ใช้ได้ นอกจากนี้ กลิ่นหอมในเครื่องสำอางยังเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีความหอมน่าใช้และมีส่วนในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ซึ่งกลิ่นหอมต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องสำอาง จะได้จากการสังเคราะห์สารเคมีหรือได้จากธรรมชาติทั้งพืชและสัตว์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันผู้บริโภคมักหลีกเลี่ยงอันตรายที่เกิดจากเครื่องสำอางที่ผสมสารเคมี และหันมาใช้วิถีทางธรรมชาติโดยใช้เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งรวมถึงเครื่องสำอางที่ใช้กลิ่นหอมจากธรรมชาติ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้กลิ่นหอมจากน้ำมันหอมระเหย (Essential Oil ที่ได้จากพืช ซึ่งนอกจากให้กลิ่นหอมแล้ว ยังทำให้เกิดความสมดุลทั้งทางร่างกาย จิตใจและอารมณ์ โดยน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีฤทธิ์ต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกายที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทและสรรพคุณของพืชชนิดนั้น ๆ น้ำมันหอมระเหยจึงถือว่าการแพทย์ทางเลือก (Alternative Medicine) แบบหนึ่งที่สามารถป้องกันและรักษาโรคหรืออาการเจ็บป่วยที่ไม่ร้ายแรงทั้งทางร่างกายและจิตใจได้เป็นอย่างดี (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2553)

น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) เป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น มักมีกลิ่นหอมและระเหยง่าย โดยพืชที่ผลิตน้ำมันหอมระเหยเหล่านี้จะมีเซลล์พิเศษของต่อมหรือท่อ เพื่อสร้างและกักเก็บน้ำมันหอมระเหย ซึ่งจะพบได้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยมีประโยชน์ใช้ในการแต่งกลิ่นในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง น้ำหอม และยา ทางการแพทย์แผนไทยนิยมใช้สมุนไพรที่มีน้ำมันหอมระเหยผสมในสูตรตำรับ เพื่อใช้เป็นยาขับลม กระตุ้นหรือแต่งกลิ่น (ประไพ วงศ์สินมั่นคง และคณะ. 2005) ปัจจุบันมีการนำน้ำมันหอมระเหยใช้ในการบำบัดโรคให้เกิดความสมดุลของภาวะทางร่างกายและอารมณ์ ซึ่งจัดเป็นการแพทย์ทางเลือกวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและนิยมอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา รวมทั้งใช้ประโยชน์ในการรักษาทั้งทางร่างกายและจิตใจในสுகนธบำบัด (Aromatherapy) และสปา



น้ำมันเสม็ดหรือน้ำมันเจียว (Cajuput Oil) เป็นน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากส่วนใบของต้น เสม็ดขาว (*Melaleuca cajuputi* Powell) วงศ์ Myrtaceae พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ มักขึ้นทดแทนพรรณพืชเดิมในป่าพรุที่ถูกบุกรุกทำลาย เสม็ดขาวเป็นพืชอเนกประสงค์ที่ชุมชนโดยรอบป่าพรุได้ใช้ประโยชน์จากแทบทุกส่วนของต้น น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากใบเสม็ดขาวจะมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวอมเหลือง จึงเป็นที่มาของชื่อของน้ำมันเจียว มีองค์ประกอบหลักคือ 1,8-Cineole (Brophy and Others. 2002) มีฤทธิ์รักษาโรคไขข้ออักเสบ โรคผิวหนัง รักษาสิว (Dweck. 2011) ฆ่าเชื้อโรค ฆ่าแมลง ขับลม แก้อาการเกร็งของกล้ามเนื้อในกระเพาะลำไส้ เป็นต้น น้ำมันเสม็ดขาวถูกนำไปใช้ในศาสตร์สุนทรบำบัดอย่างแพร่หลาย ซึ่งกลิ่นหรือไอระเหยของน้ำมันเสม็ดขาวช่วยบรรเทา หวัดและการแพ้ทางอากาศได้ นอกจากนี้ น้ำมันเสม็ดขาวยังนำไปใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ยาและเครื่องสำอาง เนื่องจากมีสรรพคุณใกล้เคียงกับน้ำมันทีทรี (Tea Tree Oil) ซึ่งได้จากเสม็ดออสเตรเลียชนิด *Melaleuca alternifolia* ใช้รักษาโรคเรื้อรัง ผื่นจากการแพ้ แผลติดเชื้อ และสิว Ursolic Acid ในน้ำมันเสม็ดขาว มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและลดอักเสบด้วย (Lintner. 1998) จากการวิจัยพบว่า น้ำมันเสม็ดขาวมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้หลายชนิด เชื้อรา ที่ก่อโรคผิวหนังบางชนิด รวมทั้งเชื้อยีสต์ *Candida albican* (Christop, Keulfers and Stahl. 2000 ; อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และคณะ. 2546) นอกจากนี้ยังสามารถออกฤทธิ์ฆ่าเห็บ เหา ได้ดีอีกด้วย (นิภา เบญจพงศ์. 2539) จึงมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวกาย เช่น แชมพูสระผม ผลิตภัณฑ์ลดกลิ่นกาย หรือผลิตภัณฑ์ป้องกันรักษาสิว เช่นเดียวกับน้ำมันทีทรีได้ วรรณ วิทยาพิภพสกุล และ วิชชุดา ธาดา. (2553) ได้ทดลองเตรียมตำรับน้ำยาบ้วนปากจากน้ำมันเสม็ดขาวและทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Candida albicans* พบว่า น้ำยาบ้วนปากจากน้ำมันเสม็ดขาวสามารถยับยั้งเชื้อได้ดีกว่าน้ำมันตะไคร้และ Nystatin Oral Suspension (Tystatin<sup>®</sup>)

น้ำมันหอมระเหยที่ดีต้องมีกลิ่นเหมาะสม เมื่ออยู่ในผลิตภัณฑ์ต้องมีความคงตัวต่อแสง ความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมทั้งมีการละลายที่เหมาะสม สามารถเข้ากันได้และไม่เกิดปฏิกิริยากับวัตถุอื่น ๆ ในตำรับ (อรัญญา มโนสร้อย, เพ็ญศักดิ์ จันทราวุธ และ จีระเดช มโนสร้อย. 2008) อย่างไรก็ตาม น้ำมันหอมระเหยเป็นของเหลวที่ระเหยง่าย ไม่ค่อยมีความคงตัวด้านกายภาพ เนื่องจากประกอบด้วย Aromatic Compounds หลายชนิดและสลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศ ออกซิเจน ความร้อนหรือแสง เมื่อนำไปผสมในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อาจทำให้กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยลดลงไปในระหว่างการใช้ผลิตภัณฑ์ หรือทำให้สรรพคุณและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาตกลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปัญหาด้านคุณภาพ (พิมพร ลีลาพรพิสิฐ. 2545) การหลีกเลี่ยงปัญหา

ดังกล่าวข้างต้น อาจทำได้โดยเก็บกักน้ำมันหอมระเหยในอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ด้วยกระบวนการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation)

เทคโนโลยีเอนแคปซูลชันได้มีการค้นคว้าพัฒนาอย่างต่อเนื่องและถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างมากมายทั้งอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร ยา และเครื่องสำอาง (Gouin. 2004) โดยเทคโนโลยีเอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการที่สารหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้ม (Coating Material) ให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบาง ๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูล ชั้นพอลิเมอร์บาง ๆ นี้เองที่จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาเมื่อต้องการ ซึ่งสารที่ถูกห่อหุ้ม (Core Material) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว อาจแบ่งได้ 5 ประเภท ได้แก่ กลีเซอรอล วิตามิน และแร่ธาตุ น้ำมันและไขมัน สมุนไพรและสารสกัดทางชีวภาพ (อกินันท์ สุทธิธรรวัช. 2552) เทคนิคไมโครแคปซูลชันจะช่วยเพิ่มความคงตัว ลดการทำปฏิกิริยาของสารสำคัญที่ถูกห่อหุ้มต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น อากาศ น้ำ หรือสารเคมี ลดอัตราการระเหยหรือการปลดปล่อยสารที่ถูกห่อหุ้มสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ช่วยทำให้ง่ายต่อการนำสารที่ถูกห่อหุ้มไปใช้ เช่น ช่วยทำให้ของเหลวอยู่ในรูปของแข็ง ง่ายต่อการนำไปผสมกับส่วนผสมอื่น โดยไม่เกิดการทำปฏิกิริยาต่อกัน สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารที่ถูกห่อหุ้มให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้ทันที (Started-Release) (Nitika, Vijayanand and Shamin. 2010) และช่วยเพิ่มปริมาณสารที่ถูกห่อหุ้มในกรณีที่ใช้สารที่ถูกห่อหุ้มปริมาณเล็กน้อยในส่วนผสมจำนวนมาก เพื่อให้เกิดการผสมที่ทั่วถึงกัน (ฉันทรา พูนศิริ. 2549)

กระบวนการในการกักเก็บโดยเทคโนโลยีเอนแคปซูลชัน มีหลายวิธีที่ได้รับการพัฒนาแต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการในการกักเก็บสารสำคัญที่ถือว่าเป็นกระบวนการที่ง่ายและใช้มากที่สุด คือ กระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) (Reineccius. 1988) โดยสารห่อหุ้มที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีหลายชนิด ทั้งชนิดที่ได้จากธรรมชาติและชนิดที่เป็นสารสังเคราะห์ แต่ชนิดที่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรมอาหาร การผลิตวิตามิน และผลิตภัณฑ์ยา ได้แก่ กัมอะราบิก (Gum Arabic) ซึ่งเป็น Hydrocolloid Gum ที่มีคุณสมบัติของอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) ที่ดีมาก มีความหนืดต่ำ และแป็งัดดแปร (Modified Starch) ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดี ไม่มีกลีเซอรอล ไม่เกิดปฏิกิริยาอย่างง่ายและราคาไม่แพง (Krishnan, Kshirsagar and Singhal. 2005 ; Gharsallaoui and Others. 2007)

ดังนั้น เพื่อเพิ่มคุณค่าของน้ำมันเมล็ดขาวให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีมูลค่าสูง งานวิจัยครั้งนี้ จึงศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว โดยกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ด้วยการใส่สารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ศึกษาอิทธิพลของสารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ต่อการกักเก็บน้ำมันเมล็ดขาวและหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำมันเมล็ดขาวกับสารห่อหุ้ม

ในการผลิตไมโครแคปซูล โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว รวมทั้งศึกษาความคงตัวของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ถูกกักเก็บไว้ในภายในไมโครแคปซูล เพื่อให้ได้ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่มีความคงตัวที่ดี มีปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol สูง มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในเชิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจสปา ซึ่งมีการใช้ประโยชน์จากน้ำมันเมล็ดข้าวอย่างหลากหลาย (Ko Ko, Juntarajumnong and Chandrapatya. 2009)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ด้วยการใช้กัมอะราบิกและแป้งคัดแปรชนิดต่าง ๆ เป็นสารห่อหุ้ม
2. เพื่อคัดเลือกชนิดของสารห่อหุ้มที่เหมาะสมในการเก็บกักน้ำมันเมล็ดข้าวในอนุภาคไมโครแคปซูล
3. เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าวและสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูล โดยศึกษาลักษณะ (Characterization) และความคงตัวของการกักเก็บน้ำมันเมล็ดข้าวในไมโครแคปซูล

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. เตรียมตำรับอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดข้าวและสารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กัมอะราบิกและแป้งคัดแปร HI-CAP<sup>®</sup> 100, CAPSUL<sup>®</sup> และ FA1604 และศึกษาความคงตัวของอิมัลชันแต่ละตำรับ
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย
3. คัดเลือกชนิดของสารห่อหุ้ม เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าวและสารห่อหุ้มในตำรับอิมัลชันที่มีผลต่อการกักเก็บน้ำมันเมล็ดข้าวในไมโครแคปซูล ตรวจวัดความหนืดของอิมัลชัน และศึกษาลักษณะของอิมัลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์
4. ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของการกักเก็บน้ำมันเมล็ดข้าวในไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และวัดขนาดอนุภาค

## 5. ศึกษาความคงตัวของการกักเก็บน้ำมันเสมีดขาวในไมโครแคปซูล

### 5.1 ตรวจวัดปริมาณความชื้นของอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีดขาว

5.2 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ในอิมัลชันกับในอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีดขาว ทั้งที่ถูกกักเก็บไว้ภายใน (Retention Oil) และที่อยู่บริเวณผิว (Surface Oil) ของไมโครแคปซูล ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC-MS) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาและประเมินความถูกต้องแล้ว

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพัฒนาอนุภาคไมโครแคปซูลที่กักเก็บสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสมีดขาวได้ในปริมาณสูง และไมโครแคปซูลผลิตได้มีความคงตัวดี
2. เป็นแนวทางการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าน้ำมันหอมระเหยชนิดอื่น ๆ จากสมุนไพรด้วยองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ ให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์และเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เสม็ดขาว

เสม็ดขาว (Cajuput Tree หรือ *Melaleuca leucadendron* Linn. ภาพที่ 2.1) จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae เช่นเดียวกับยูคาลิปตัส (ชนิดย่อย หนุ่ย และ สมชัย เบญจชัย. 2550 ; วุฒิ วุฒิชรรณเวช. 2540) เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งและเจริญเติบโตได้ดีในดินหลายสภาพ พบได้ทั่วไปในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะในจังหวัดที่มีพื้นที่ป่าพรุเป็นจำนวนมาก เช่น จังหวัดนราธิวาส นครศรีธรรมราช และพัทลุง เนื่องจากเป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถเจริญเติบโตได้เร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ไม้อื่น ๆ ที่ได้นำมาทดลองปลูกในพื้นที่พรุเสื่อมสภาพ (Brophy and Others. 2002) โดยขึ้นทดแทนพรรณพืชเดิมในป่าพรุที่ถูกบุกรุกทำลาย ทุกส่วนของเสม็ดขาวนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทั้งส่วนของเนื้อไม้ เปลือกของลำต้นและใบ โดยส่วนเนื้อไม้ใช้ทำเครื่องมือเครื่องใช้ ใช้ก่อสร้าง เปลือกต้นใช้ทำฝาบ้าน มุงหลังคา ใบใช้คั้นแทนน้ำชา เมื่อนำมากลั่นจะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวอมเหลือง เรียกว่า น้ำมันเสม็ดขาว หรือน้ำมันเขียว (Cajuput Oil หรือ Melaleuca Oil) มีกลิ่นคล้ายการบูร ช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อย รักษาโรคไขข้ออักเสบ รักษาโรคผิวหนัง ช่วยกระตุ้นการขับลม แก้อุจจาระคั่ง ลดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อในกระเพาะลำไส้ เป็นต้น

พืชในสกุลเสม็ดมีหลายชนิดและน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากเสม็ดแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และแหล่งปลูก เช่น น้ำมันทีทรี (Tea Tree Oil) ซึ่งได้จากเสม็ดออสเตรเลียชนิด *Melaleuca alternifolia* มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ Terpinen-4-ol หรือน้ำมัน โกเมน (Gomen Oil) จาก *Melaleuca quinquenervia* มีองค์ประกอบหลักคือ Nerolidol และ 1,8-Cineole ในขณะที่น้ำมันเสม็ดขาวหากมีปริมาณ 1,8-Cineole สูง (55-65%) จะเป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาสูง (Brophy and Others. 2002)

#### 2.2 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของน้ำมันเสม็ดขาว

เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากใบเสม็ดขาวมีสาร Cineole, Beta-Pinene, Alpha-Terpineol จึงมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด

## ภาพที่ 2.1

## เสมีดขาว ส่วนลำต้น ใบและดอก



(Khaytarova M. 2011)

เช่น *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *S. capitis*, *S. epidermis*, *Enterococcus faecium*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium diphtheriae* และ *C. minutissium* เชื้อรา *Penicillium notatum* และ *Aspergillus niger* เชื้อราก่อโรคผิวหนัง *Epidermophyton floccosum* และ *Trichophyton rubrum* เชื้อยีสต์ *Candida albicans* (Christop, Keulfers and Stahl. 2000) นอกจากนี้ อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และคณะ. (2546ง) ได้ศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันเสมีดขาว ในการต้านการเจริญของเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Aspergillus niger*, *Trichophyton mentagrophytes* และเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* sp. ด้วยวิธี Paper Disc Diffusion Method พบว่า น้ำมันเสมีดขาวออกฤทธิ์ต้านการเจริญของเชื้อทั้ง 4 ชนิด โดยยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *T. mentagrophytes* ได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และจากการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Penicillium camemberti* กับน้ำมันทีทรี พบว่าน้ำมันเสมีดขาวมีความไวต่อการออกฤทธิ์มากกว่า นอกจากนี้ Ursolic Acid ในน้ำมันเสมีดขาวมีฤทธิ์ต้านฮิสตามีนและลดการอักเสบ (Lintner. 1998) มีสรรพคุณรักษาโรคเรื้อนกวาง ผื่นจากการแพ้ แผลติดเชื้อและสิว นอกจากนี้ น้ำมันเสมีดขาวสามารถออกฤทธิ์ไล่แมลง ฆ่าเห็บและเหาได้ดีอีกด้วย (Ko Ko, Juntarajumnong and Chandrapatya. 2009 ; นิภา เบญจพงษ์. 2539)

### 2.3 การใช้ประโยชน์ในทางเครื่องสำอางของน้ำมันเสม็ดขาว

น้ำมันเสม็ดขาวถูกนำไปใช้ในศาสตร์ศุนัขบำบัดอย่างแพร่หลาย กลิ่นหรือไอระเหยของน้ำมันเสม็ดขาวช่วยบรรเทาหวัดและการแพ้อากาศได้ นอกจากนี้ น้ำมันเสม็ดขาวยังใช้แต่งกลิ่นน้ำหอมในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้แต่งกลิ่นสบู่เพื่อให้มีกลิ่นสดชื่น (Ko Ko, Juntarajumnong and Chandrapatya. 2009) เนื่องจากน้ำมันเสม็ดขาวมีสรรพคุณใกล้เคียงกับน้ำมันทีทรี จึงมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวกายเช่นเดียวกับน้ำมันทีทรีได้ เช่น แชมพูสระผม ผลิตภัณฑ์ลดกลิ่นกาย หรือผลิตภัณฑ์ป้องกันรักษาสิว

จากศึกษาของ วรณัน วิทยาพิภพสกุล และ วิชชุดา ธาดา. (2553) โดยเตรียมตำรับน้ำยาบ้วนปากจากน้ำมันเสม็ดขาว และทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Candida albicans* พบว่าน้ำยาบ้วนปากจากน้ำมันเสม็ดขาวสามารถยับยั้งเชื้อได้ดีกว่าน้ำมันตะไคร้และ Nystatin Oral Suspension (Tystatin<sup>®</sup>)

### 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันเสม็ดขาว

น้ำมันเสม็ดขาวเป็นน้ำมันหอมระเหยที่มีสารออกไซด์ (Oxides) เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1,8-Cineole (หรือ Eucalyptol หรือ 1,3,3-Trimethyl-2-Oxabicyclo(2,2,2)Octane สูตรโมเลกุล  $C_{10}H_{18}O$ ) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยพวกโมโนเซสควิเทอร์พีน (Monosesquiterpene) และไบไซคลิกเซสควิเทอร์พีน (Bicyclic Sesquiterpene) อื่นๆ ได้แก่  $\alpha$ -Terpineol,  $\alpha$ -Pinene และ Limonene (ภาพที่ 2.2) อย่างไรก็ตาม น้ำมันเสม็ดขาวที่เป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาสูง ต้องมีองค์ประกอบของ 1,8-Cineole สูง (ชนิดย์ หนูยิ้ม และ สมชัย เบญจชัย. 2550 ; Brophy and Others. 2002) น้ำมันเสม็ดขาวในท้องตลาดอาจแบ่งได้เป็น 3 เกรด ตามปริมาณของสารประกอบ 1,8-Cineole ดังนี้ (Oyen and Dung. 1999 ; Brophy and Others. 2002)

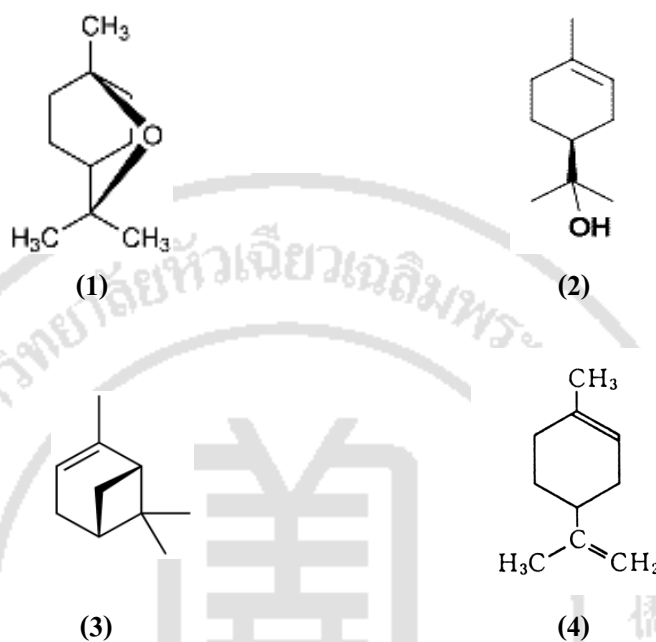
ปริมาณ 1,8-Cineole ระหว่าง 55 – 65% เป็นน้ำมันเกรดสูงสุด

ปริมาณ 1,8-Cineole ระหว่าง 20 – 55% เป็นน้ำมันเกรดรองลงมา

ปริมาณ 1,8-Cineole ต่ำกว่า 20% เป็นน้ำมันเกรดต่ำสุด

ภาพที่ 2.2

สูตรโครงสร้างขององค์ประกอบหลักในน้ำมันสะมีดขาว: (1) 1,8-Cineole, (2)  $\alpha$ -Terpineol, (3)  $\alpha$ -Pinene และ (4) Limonene ตามลำดับ



### 2.5 กระบวนการเอนแคปซูลชัน

กระบวนการเอนแคปซูลชัน หมายถึง กระบวนการที่สารชนิดหนึ่งหรือสารผสม ถูกกักเก็บหรือถูกห่อหุ้มไว้ในโครงสร้างของสารอีกชนิดหนึ่ง ในรูปของการห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบาง ๆ เกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็กหรือไมโครแคปซูล (Microcapsule, ภาพที่ 2.3) โดยเรียกสารที่ถูกห่อหุ้มว่า Core Material หรือ Active และสารที่ทำหน้าที่เคลือบหรือห่อหุ้มเรียกว่า Wall Material หรือ Carrier หรือ Coating (Gharsallaoui and Others. 2007) ชั้นพอลิเมอร์บาง ๆ นี้จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารภายในออกมาเมื่อต้องการ รวมทั้งป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสจากการระเหยหรือจากการถูกทำปฏิกิริยากับอากาศและแสง (Soottitantawat and Others. 2005a) สารที่มักกักเก็บด้วยกระบวนการเอนแคปซูลชันนี้ อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ กลิ่นรส วิตามินและแร่ธาตุ น้ำมันและไขมัน สมุนไพรสารสกัดทางชีวภาพ และส่วนผสมอื่น ๆ ในอาหาร (Reineccius. 1988)

กระบวนการเอนแคปซูลชันสามารถจำแนกเป็น 2 วิธีการใหญ่ ๆ คือ การเอนแคปซูล (Encapsulate) ทางเคมี ได้แก่ การแยกวัฏภาค (Phase Separation หรือ Coacervation),



Co-Crystallization, Molecular Inclusion, Interfacial Polymerization) และการเอนแคปซูลทางกายภาพ ได้แก่ การทำให้แห้งแบบพ่นฝอย, Spray Chilling/Cooling, การอัดรีด (Extrusion), Fluidized Bed (Madene and Others. 2006 ; อภินันท์ สุทธิธารชวัช. ม.ป.ป.) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งแต่ละวิธีมีความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นแตกต่างกัน มีรูปร่างและโครงสร้างแตกต่างกันหลายรูปแบบ วิธีที่นิยมใช้กันมากคือ การทำให้แห้งแบบพ่นฝอย Molecular Inclusion และการอัดรีด (Madene and Others. 2006)

ภาพที่ 2.3  
แสดงสารห่อหุ้มกัมอะราบิก และสารที่ถูกห่อหุ้ม ในไมโครแคปซูล



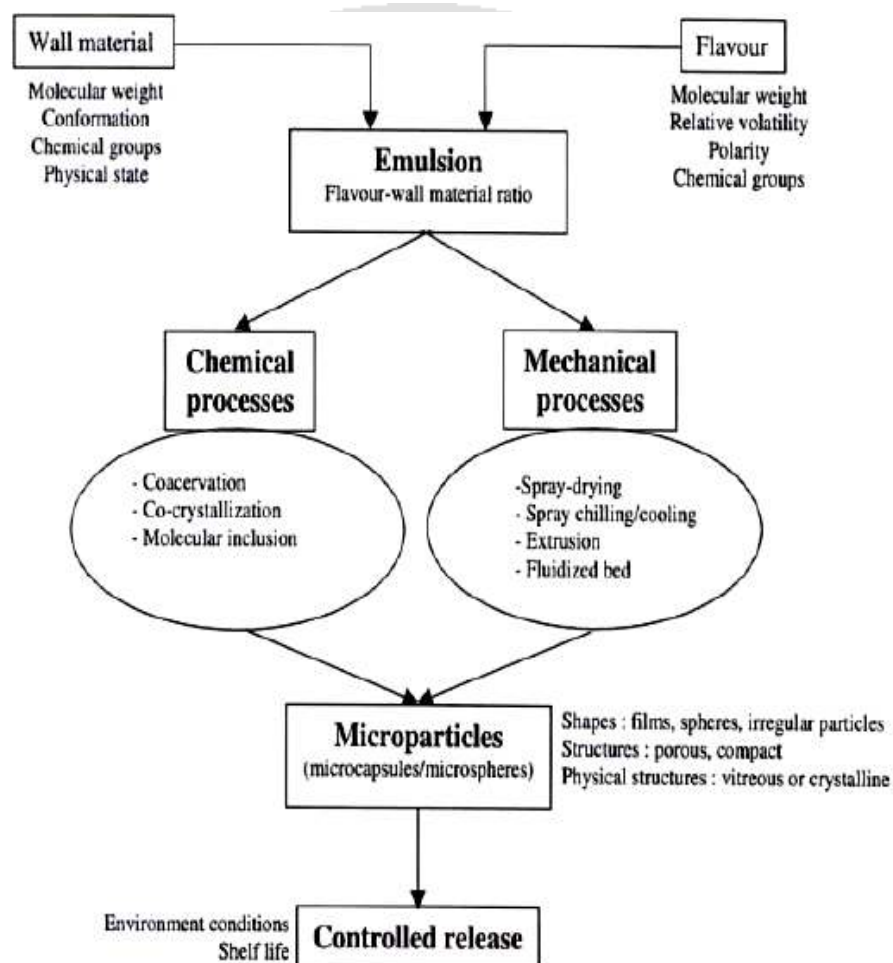
(อภินันท์ สุทธิธารชวัช. 2552)

อนุภาคที่ได้จากเทคโนโลยีเอนแคปซูลเหล่านี้จะมีขนาดประมาณ 0.2–5,000  $\mu\text{m}$  เรียกว่า ไมโครแคปซูล (ฉันทรา พุนศิริ. 2549) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เทคโนโลยีเอนแคปซูลเหล่านี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างมากมายทั้งอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมเกษตร ประโยชน์ของเทคโนโลยีเอนแคปซูล (Bhargava, Magar and Momin. 2010 ; Versic. 1988) ได้แก่

1. ลดการทำปฏิกิริยาของสารสำคัญที่ถูกห่อหุ้มต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น อากาศ น้ำ หรือสารเคมี
2. ลดอัตราการระเหยหรือการปลดปล่อยสารที่ถูกห่อหุ้มสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก
3. ช่วยทำให้ง่ายต่อการนำสารที่ถูกห่อหุ้มไปใช้ เช่น ช่วยทำให้ของเหลวอยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งง่ายต่อการนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นโดยไม่เกิดการทำปฏิกิริยาต่อกัน
4. สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารที่ถูกห่อหุ้มให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์

5. ช่วยเพิ่มปริมาณของสารที่ถูกห่อหุ้มในกรณีที่ใช้สารที่ถูกห่อหุ้มปริมาณเล็กน้อยในส่วนผสมจำนวนมาก เพื่อให้เกิดการผสมที่ทั่วถึงกัน

ภาพที่ 2.4  
วิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในเทคโนโลยีเอนแคปซูลชั้นสารให้กลิ่น



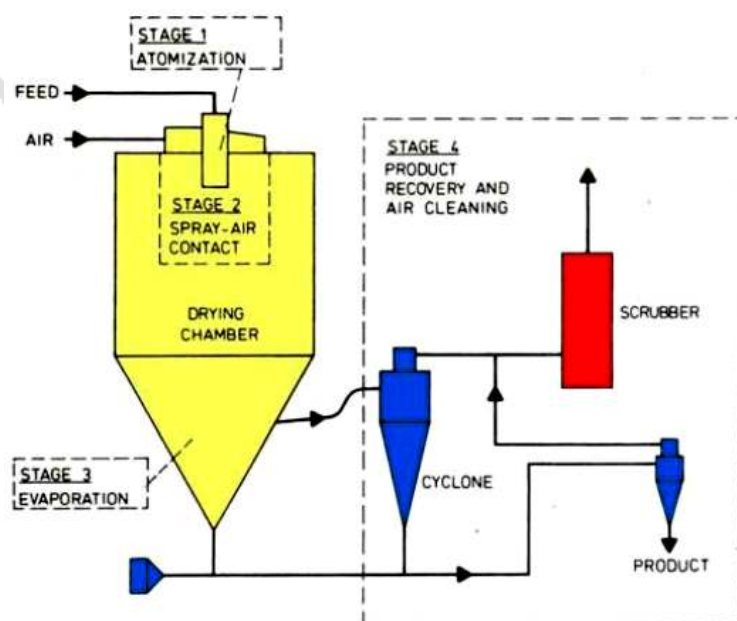
(Madene and Others. 2006)

## 2.6 การทำให้แห้งแบบพ่นฝอย

การทำให้แห้งแบบพ่นฝอยจัดเป็นกระบวนการทำให้แห้งด้วยความร้อนโดยใช้เครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง (Spray Dryer, ภาพที่ 2.5) สารที่จะทำให้แห้งอาจอยู่ในรูปสารละลาย (Solution) อิมัลชัน (Emulsion) หรือสารแขวนลอย (Suspension) ที่ไม่หนืดเกินไป จะถูกพ่นให้เป็นละอองฝอยด้วยหัวฉีด (Atomization - Stage 1, ภาพที่ 2.5) เข้าไปยังกระแสความร้อนที่มีความเร็วสูง (Spray-Air Contact - Stage 2, ภาพที่ 2.5) ความชื้นจะระเหยออกไปจากอนุภาคของแข็งอย่างรวดเร็ว (Evaporation - Stage 3, ภาพที่ 2.5) และอนุภาคของแข็งจะแห้งก่อนตกลงสู่ภาชนะ (Product Recovery and Air Cleaning - Stage 4, ภาพที่ 2.5) เทคนิคการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ทางยา อุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งอุตสาหกรรมเซรามิก พอลิเมอร์และอุตสาหกรรมเคมี (Madene and Others. 2006) เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือต้นทุนการผลิตต่ำ ไมโครแคปซูลที่ได้มีความคงตัวสูงและอนุภาคมีขนาดเล็ก สามารถใช้สารห่อหุ้มได้หลายชนิด อาจเป็นชนิดเดียวหรือผสมหลายชนิด (Gharsallaoui and Others. 2007 ; Yoshii and Others. 2001)

ภาพที่ 2.5

ระบบการทำงานของเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอย



(ถัดดา ศรีสุวรรณ. 2552)

อย่างไรก็ตาม การเอนแคปซูลเลชันด้วยวิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น สารห่อหุ้มที่ใช้ต้องมีความหนืดต่ำเมื่อใช้ในปริมาณความเข้มข้นสูง ไม่เหมาะสมกับสารห่อหุ้มหรือสารให้กลิ่นที่ไวต่อความร้อน ขนาดไมโครแคปซูลที่ได้ไม่สม่ำเสมอกัน สารให้กลิ่นที่มีจุดเดือดต่ำอาจ สูญเสียไปในระหว่างการอบแห้งได้หรืออาจเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของแคปซูล ซึ่งจะทำให้เกิดการออกซิเดชัน และการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นได้ (Gharsallaoui and Others. 2007 ; Madene and Others. 2006)

กระบวนการเอนแคปซูลเลชันด้วยกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1) การเลือกชนิดของสารห่อหุ้มให้เหมาะสม ชนิดของสารห่อหุ้มจะมีผลต่อความเสถียรของอิมัลชันในสายป้อนของเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกักเก็บของสารให้กลิ่นระหว่างกระบวนการทำให้แห้ง รวมไปถึงอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อีกด้วย (อภิรักษ์ สุทธิธรรวัช. 2552) ชนิดของสารห่อหุ้มมี 5 ประเภทได้แก่ สารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้งดัดแปร มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) เป็นต้น สารประเภทเอสเทอร์หรืออีเทอร์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเซลลูโลส (Carboxycellulose) เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose) เป็นต้น สารประเภทยางหรือกัม เช่น กัมอะราบิก โซเดียมแอลจีเนต (Sodium Alginate) สารประเภทไขมัน เช่น แวกซ์ (Wax) พาราฟิน (Paraffin) เป็นต้น และสารประเภทโปรตีน เช่น เจลาติน (Gelatin) โปรตีนจากถั่ว (Soy Protein) เป็นต้น โดยคุณสมบัติสำคัญของสารห่อหุ้ม คือ มีความสามารถในการละลายน้ำสูง มีความหนืดต่ำถึงแม้ว่าจะละลายในน้ำที่ความเข้มข้นสูง มีความสามารถในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดี มีความสามารถในการสร้างฟิล์มและถูกทำให้แห้งได้

## ตารางที่ 2.1

ช่วงขนาดอนุภาคที่ทำได้จากเทคโนโลยีเอนแคปซูลเลชันวิธีต่าง ๆ

Chemical Techniques	Encapsulation Methods	Particle Size ( $\mu\text{m}$ )	Maximum Load (%)
	Simple Coacervation	20-200	< 60
	Complex Coacervation	5-200	70 -90
	Molecular Inclusion	5-50	5 -10

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

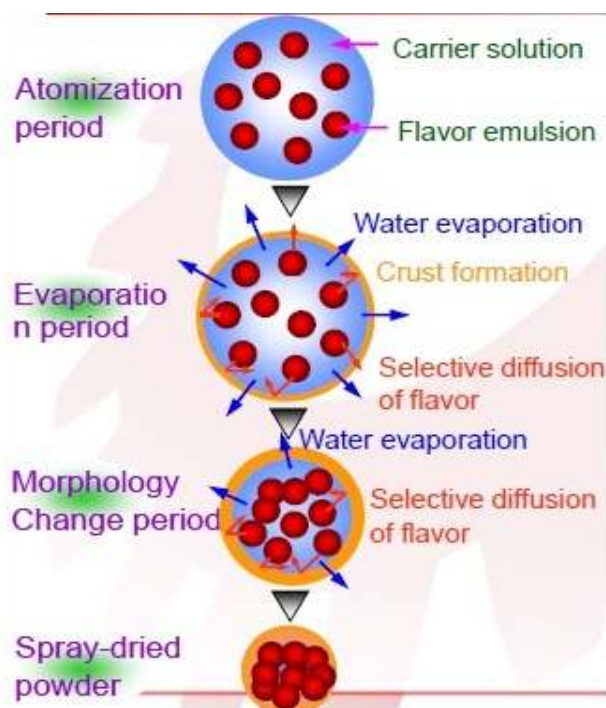
	Encapsulation Methods	Particle Size	Maximum Load
		( $\mu\text{m}$ )	(%)
<b>Mechanical Techniques</b>	Spray-Drying	1-50	< 40
	Spray Chilling	20-200	10-20
	Extrusion	200-2000	6-20
	Fluidized Bed	>100	60-90

(Madene. 2006)

2) การเตรียมอิมัลชันและการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน เตรียมสารละลายของสารห่อหุ้มผสมกับสารให้กลิ่นหรือน้ำมันหอมระเหยที่ต้องการกักเก็บ จากนั้น ลดขนาดอนุภาคของสารให้กลิ่นในรูปน้ำมันให้มีขนาดเล็กลง และอยู่ในรูปอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in Water Emulsion) โดยทั่วไปสารให้กลิ่นมักอยู่ในรูปน้ำมันซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้ไม่รวมกับสารละลายของสารห่อหุ้ม จึงต้องมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ เพื่อช่วยให้น้ำมันสามารถกระจายตัวอยู่ในสารละลายของสารห่อหุ้มได้ คุณสมบัติของอิมัลชัน เช่น ขนาดของอนุภาค ความหนืดและความคงตัวของอิมัลชัน มีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติของผงไมโครแคปซูลที่กักเก็บน้ำมันหอมระเหยเป็นอย่างมาก (Jafari and Others. 2008 ; Soottitantawat and Others. 2005a)

3) การทำให้เป็นผงแห้ง เป็นการนำอิมัลชันที่เตรียมได้ ทำให้กลายเป็นละอองเล็ก ๆ เข้าไปสัมผัสอากาศร้อนในเครื่องฟั่นฝอยแบบแห้งและกลายเป็นผงอนุภาคแห้งอย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วงแรกจะมีเพียงน้ำบริเวณผิวเท่านั้นที่ระเหยไป เรียกช่วงนี้ว่า “The First Stage of Drying” ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราเร็วของการทำให้แห้งคงที่ เมื่อน้ำบริเวณผิวระเหยไป น้ำจากภายในผิวจะถูกเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวด้วย Capillary Forces ทำให้เกิดการระเหยของน้ำต่อไปได้ แต่จะใช้เวลานานกว่าการระเหยของน้ำที่ผิวในช่วงแรก ช่วงที่น้ำระเหยช้าลงและอัตราการระเหยลดลงนี้ เรียกว่า “The Second Stage of Drying” จนกระทั่งเมื่ออัตราการแพร่ของน้ำภายในสารมายังผิวหน้าไม่เร็วพอ บริเวณผิวหน้าของสารจะเกิดจุดแห้งขึ้น จนจำนวนและพื้นที่จุดแห้งเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จะเริ่มเข้าสู่ระยะที่ฟิล์มแห้งห่อหุ้มสารให้กลิ่นไว้ภายใน จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นผงแห้ง รูปร่างอนุภาคเป็นทรงกลม (รัตน อินทรานุปกรณ์. 2553) ดังแสดงในภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6  
แสดงการเอนแคปซูลเทคโนโลยีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย



(อภิสิทธิ์ สุทธิธารวัช. ม.ป.ป.)

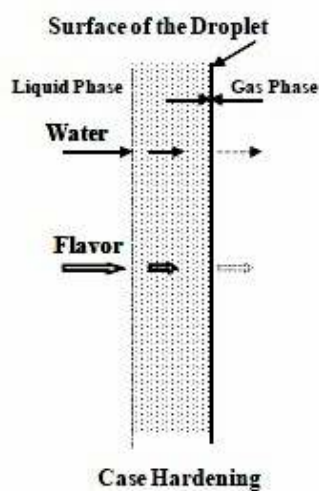
## 2.7 ทฤษฎีและกลไกการเอนแคปซูลเทคโนโลยีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย

การเอนแคปซูลสารให้กลิ่นโดยวิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ปริมาณของกลิ่นรสที่กักเก็บอยู่ในผงอนุภาค เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตอนุภาคไมโครแคปซูลควบคู่กับปริมาณน้ำที่ลดลงอย่างมากระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งถูกคาดว่าน่าจะทำให้ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยหายไปเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่หายไป เนื่องจากน้ำมันหอมระเหย มีค่าของการกลายเป็นไอสูงกว่าน้ำมาก แต่ในความเป็นจริงกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยนี้สามารถกักเก็บปริมาณน้ำมันหอมระเหยได้ในปริมาณมาก เมื่อเทียบกับน้ำ ซึ่งจะเหลืออยู่ ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงแห้งกักเก็บกลิ่นทั้งหมดเท่านั้น การที่สารให้กลิ่นถูกกักเก็บในอนุภาคในสัดส่วนที่มากกว่าน้ำเป็นจำนวนมากนั้น สามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีการแพร่แบบเลือกผ่าน (Selective Diffusion) โดยการแพร่ของน้ำภายในละอองอนุภาคสู่พื้นผิวของละอองอนุภาค จะเป็นตัวกำหนดอัตราการทำให้แห้งของละอองอนุภาค ปริมาณของน้ำที่

ลดลงบริเวณพื้นผิวของละอองอนุภาคระหว่างการทำให้แห้งนั้น จะทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของน้ำมันหอมระเหยลดลงหลายเท่าเมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้นก่อนการทำให้แห้ง และจะมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับน้ำในสถานะเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ระหว่างการทำให้แห้งนั้น ปริมาณน้ำจะแพร่ผ่านและระเหยไป ด้วยอัตราและปริมาณที่มากกว่าน้ำมันหอมระเหยซึ่งแพร่ผ่านและระเหยได้ในปริมาณน้อย โดยเฉพาะในสถานะที่น้ำหายไปเป็นจำนวนมากและอย่างรวดเร็ว (อภิสิทธิ์ สุทธิธารวัช. ม.ป.ป.)

ดังนั้นพื้นผิวที่แห้งของละอองอนุภาคน้ำที่คล้ายกับเป็นตัวแยกการแพร่ผ่านที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านแต่ไม่ยอมให้น้ำมันหอมระเหยแพร่ผ่านออกไป ดังแสดงในภาพที่ 2.7 กล่าวคือ สารห่อหุ้มที่อยู่ในวัฏภาคน้ำในอิมัลชันของสายป้อน เมื่อปริมาณน้ำลดลงจะทำให้อุณหภูมิของสภาวะที่คล้ายแก้วเพิ่มขึ้น และทำให้ได้โครงสร้างออสัณฐานซึ่งไม่ยอมให้สารให้กลิ่นซึมผ่านไปได้ แต่ยอมให้น้ำสามารถซึมผ่านไปได้

ภาพที่ 2.7  
แสดงทฤษฎีการแพร่แบบเลือกผ่านของน้ำและสารให้กลิ่นรส



(อภิสิทธิ์ สุทธิธารวัช. ม.ป.ป.)

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย

### 2.8.1 น้ำหนักโมเลกุลของสารให้กลิ่น

จากการวิจัยของ Soottitantawat and Others. (2003) ซึ่งศึกษาปริมาณการเก็บกักสารให้กลิ่น 3 ชนิด ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ได้แก่ *d*-Limonene, Ethyl Butyrate และ Ethyl Propionate โดยใช้สารห่อหุ้มชนิดเดียวกันคือ กัมอะราบิกผสมกับมอลโตเดกซ์ตริน พบว่าไมโครแคปซูลที่กักเก็บสารให้กลิ่น ได้สูงที่สุด คือ ไมโครแคปซูลของ *d*-Limonene ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากที่สุด ตามด้วยไมโครแคปซูลของ Ethyl Butyrate และไมโครแคปซูลของ Ethyl Propionate ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลรองลงมา ตามลำดับ เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของสารให้กลิ่นที่มากจะสัมพันธ์กับขนาดของโมเลกุลที่ใหญ่ตามไปด้วย ซึ่งขนาดโมเลกุลที่ใหญ่จะมีการแพร่ผ่านได้ช้า ทำให้โมเลกุลนั้นเคลื่อนที่ไปถึงผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลได้ช้าลง ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสได้ในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้น สารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะทำให้ปริมาณในการกักเก็บของสารให้กลิ่นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย (Menting and Hoogstad. 1967 ; Reineccius. 1988)

### 2.8.2 ปริมาณของสารห่อหุ้มในอิมัลชันสายป้อน

ปริมาณของแข็งหรือสารห่อหุ้มที่ละลายอยู่ในอิมัลชันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นที่ระเหยง่าย (Menting and Hoogstad. 1967) เนื่องจาก ปริมาณสารห่อหุ้มที่มากขึ้น จะทำให้อัตรการระเหยแห้งในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยเร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดเยื่อเลือกผ่านชั้นบริเวณผิวหน้าของละอองอนุภาคได้เร็วขึ้นและเกิดเป็นอนุภาคไมโครแคปซูลที่กักเก็บสารให้กลิ่นเร็วตามไปด้วย จึงทำให้การสูญเสียของกลิ่นลดลง ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ละลายในอิมัลชันสายป้อนมากขึ้น จะทำให้การคงอยู่ของสารให้กลิ่นมากขึ้น จากการศึกษาการกักเก็บสารให้กลิ่น *L*-Menthol โดยใช้สารห่อหุ้มชนิดต่างๆ ได้แก่ กัมอะราบิก แป้งคัดแปร HI-CAP<sup>®</sup> 100 และ CAPSUL<sup>®</sup> พบว่า การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม จะมีผลให้ปริมาณสารให้กลิ่น *L*-Menthol ที่กักเก็บไว้ในอนุภาคเพิ่มขึ้น โดย HI-CAP<sup>®</sup> 100 จะให้การกักเก็บกลิ่นที่สูงกว่า CAPSUL<sup>®</sup> และปริมาณสารห่อหุ้มที่ให้ปริมาณการกักเก็บที่สูงที่สุด คือ 30% w/w ของตำรับอิมัลชัน (Soottitantawat and Others. 2005a) อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มข้นของของแข็งมีค่ามากขึ้นจะทำให้ความหนืดของอิมัลชันมีค่าสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการพ่นฝอยที่ลดลง ทำให้เกิดการสูญเสียของสารให้กลิ่นมากขึ้นตามไปด้วย จึงอาจส่งผลให้การคงอยู่ของสารให้กลิ่นมีค่าลดลง (Bhandari and Others. 1992 ; Reineccius. 1988)



### 2.8.3 ปริมาณของสารให้กลิ่นในอิมัลชันสายป้อน

เมื่อปริมาณของสารให้กลิ่นที่อยู่ในอิมัลชันสายป้อนมีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่าการคงอยู่ของสารให้กลิ่นมีค่าลดลง นอกจากนี้ ยังทำให้สารให้กลิ่นที่เกาะอยู่บริเวณผิวอนุภาคไมโครแคปซูลมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย Soottitantawat and Others. (2005b) ได้ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารให้กลิ่น *l*-Menthol ในอิมัลชัน โดยใช้สารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กัมอะราบิก แป้งคัดแปร HI-CAP® 100 และ CAPSUL® ในปริมาณเท่ากัน คือ 30% w/w ของตำรับอิมัลชัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้กลิ่น *l*-Menthol ในอิมัลชันสายป้อน แม้จะให้ปริมาณการกักเก็บ *l*-Menthol สูงขึ้นก็ตาม แต่จะทำให้ปริมาณของ *l*-Menthol ที่บริเวณผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น เพื่อให้มีปริมาณของสารให้กลิ่นในอนุภาคไมโครแคปซูลสูง อัตราส่วนของสารห่อหุ้มต่อสารให้กลิ่นควรเหมาะสม ปกติจะใช้ที่อัตราส่วน 4 ต่อ 1 ซึ่งอัตราส่วนนี้จะใช้ได้ดีกับกัมอะราบิก และสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต (Bhandari and Others. 1992)

### 2.8.4 ความหนืดของอิมัลชันในสายป้อน

ความหนืดของอิมัลชันที่มากหรือน้อยเกินไปล้วนมีผลต่อการคงอยู่ของสารให้กลิ่นที่ลดลงได้ กล่าวคือ ที่ค่าความหนืดต่ำจะทำให้เกิดการผสมที่ดียิ่งภายในละอองอิมัลชันระหว่างการอบแห้ง ส่งผลให้การเกิดของเยื่อเลือกผ่านช้าตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการสูญเสียของกลิ่นรสมากขึ้น ดังนั้น ถ้าความหนืดของอิมัลชันสูงขึ้นจะทำให้การคงอยู่ของสารให้กลิ่นระหว่างกระบวนการนั้นสูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าความหนืดของอิมัลชันมีค่าสูงมากเกินไปจนส่งผลต่อการเกิดของละอองอิมัลชันจากหัวฉีด ก็จะทำให้การสูญเสียของสารให้กลิ่น นอกจากนี้ยังส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ (% Yield) ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากไม่สามารถคัดออกเป็นละอองได้ ทำให้เกิดการติดบริเวณผนังของ Drying Chamber และทำให้หัวฉีดตัน ดังนั้น ค่าความหนืดของอิมัลชันควรมีความเหมาะสม ซึ่งจะต้องทำการทดลองปรับสภาวะและความหนืดของอิมัลชันตำรับนั้นๆ เรียกว่าการทำ Trial & Error (Reineccius. 1988)

### 2.8.5 อัตราการป้อน (Feed Rate) อิมัลชันเข้าเครื่องฟั่นฝอยแบบแห้ง

การเพิ่มอัตราการป้อนอิมัลชันจะมีผลต่อขนาดหยดละอองฝอยที่ถูกฟั่นฝอยจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีผลต่อขนาดอนุภาคผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการคงอยู่และความคงตัวของสารให้กลิ่นต่อไปด้วย นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนโดยที่อัตราการไหลของอากาศขาเข้าและอุณหภูมิของอากาศขาเข้าคงที่ จะส่งผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นด้วย (อภิรักษ์ สุทธิธรรวัช. ม.ป.ป.)

### 2.8.6 อุณหภูมิของอากาศขาเข้า (Inlet Temperature) ของเครื่องฟั่นฝอยแบบแห้ง

เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าของเครื่องฟั่นฝอยแบบแห้งสูงขึ้น จะทำให้การเกิดเชื้อเห็ดเลือกผ่านเร็วขึ้น ซึ่งจะทำให้การสูญเสียสารให้กลิ่นลดลง อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของอากาศขาเข้าไม่ควร มีค่าสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการฟองอากาศขึ้นภายในอนุภาคไมโครแคปซูลและอาจทำให้เกิดการขยายตัวและแตกออกในที่สุด ทำให้มีการสูญเสียสารให้กลิ่นได้ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมของอากาศขาเข้าอยู่ในช่วง 160-210°C ซึ่งจะให้ผลของเปอร์เซ็นต์การคงอยู่ของกลิ่นรสไม่ต่างกัน มากนัก (Finney, Buffo and Reineccius. 1988)

### 2.8.7 อัตราการไหลของอากาศขาเข้า (Aspirator) ของเครื่องฟั่นฝอยแบบแห้ง

อัตราการไหลของอากาศขาเข้าสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ เนื่องจาก อัตราการถ่ายเทมวลและความร้อนที่สูงขึ้นจากการหมุนของอากาศที่มากขึ้นในถังอบแห้ง ดังนั้น อัตราการไหลของอากาศขาเข้าสูง จะทำให้มีเปอร์เซ็นต์การคงอยู่ของสารให้กลิ่นที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลจึงสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการเกิดเชื้อเห็ดเลือกผ่านของไมโครแคปซูลเร็วขึ้น (Reineccius. 1988)

### 2.8.8 อุณหภูมิของอากาศออกเครื่องอบแห้ง (Outlet Temperator)

อุณหภูมิของอากาศออกเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของอากาศขาเข้าและอัตราการไหลของอากาศ แต่อย่างไรก็ตาม ผลของอุณหภูมิของอากาศขาเข้าต่อการสูญเสียของสารให้กลิ่นนั้น มีความคล้ายคลึงกับกรณีผลกระทบของอุณหภูมิของอากาศขาออก กล่าวคือ ที่อุณหภูมิของอากาศขาออกสูง แสดงถึงอัตราการเกิดเชื้อเห็ดเลือกผ่านที่เร็วขึ้น ซึ่งจะทำให้การสูญเสียของสารให้กลิ่นลดลง แต่ถ้ามีค่าสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นไป เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของอนุภาค นอกจากนี้ อุณหภูมิขาออกเป็นตัวแปรหนึ่งที่บ่งชี้ถึงอุณหภูมิสูงสุดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นถ้าสารให้กลิ่นมีค่าคงตัวต่อความร้อนต่ำ อุณหภูมิของอากาศขาออก ก็ควรถูกควบคุมไว้ไม่ให้สูงมากเกินไป แม้ว่าจะได้ค่าการคงอยู่ของสารให้กลิ่นที่สูงก็ตาม (Reineccius. 1988)

## 2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของผงอนุภาคไมโครแคปซูล

### 2.9.1 ขนาดของผงอนุภาคไมโครแคปซูล

ขนาดอนุภาคของผงไมโครแคปซูลที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่า กล่าวคือ มีการสูญเสียของสารให้กลิ่นในอนุภาคน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า

จากการศึกษาของ Soottitantawat and Others. (2005a) ซึ่งทดลองวัดขนาดอนุภาคของผงไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม ได้แก่ กัมอะราบิก และกัมอะราบิกผสมมอลโตเดคซ์ตริน เพื่อศึกษาขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลที่มีผลต่อการคงอยู่ของปริมาณสารให้กลิ่น *d*-Limonene แสดงให้เห็นว่า ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่ใหญ่กว่า จะเกิดอัตราการปลดปล่อยของกลิ่นต่ำกว่าขนาดอนุภาคที่เล็ก และขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าจะมีการคงอยู่ของปริมาณ *d*-Limonene สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Finotelli, Priscilla and Rocha-Leao. (2005) ที่ทดลองกักเก็บ Ascorbic Acid ในสารห่อหุ้มมอลโตเดคซ์ตริน, CAPSUL<sup>®</sup> และมอลโตเดคซ์ตรินผสม CAPSUL<sup>®</sup> โดยวิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาความคงตัว โดยเก็บไมโครแคปซูลที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน พบว่าไมโครแคปซูลมีความคงตัวดีอย่างไรก็ตาม อนุภาคไมโครแคปซูลที่มีขนาดอนุภาคใหญ่มีปริมาณการคงอยู่ของ Ascorbic Acid ดีกว่าอนุภาคที่เล็ก ซึ่งอธิบายได้ว่า ขนาดที่ใหญ่กว่าจะมีพื้นที่ผิวของอนุภาคน้อยกว่า ทำให้อัตราการปลดปล่อยหรืออัตราการสูญเสียของสารให้กลิ่นมีน้อยกว่า จึงทำให้อายุการเก็บ (Shelf Life) มีความคงตัวที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (อภิรักษ์ สุทธิธรรมวัช. ม.ป.ป.)

### 2.9.2 ขนาดของหยดอิมัลชันสายป้อน

สารให้กลิ่นที่กักเก็บบริเวณผิวของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความคงตัวของสารให้กลิ่นในไมโครแคปซูล เนื่องจากสารให้กลิ่นบริเวณผิวสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ซึ่งปริมาณสารให้กลิ่นที่ผิวของไมโครแคปซูลจะขึ้นอยู่กับขนาดหยดอิมัลชันสายป้อน โดยหยดอิมัลชันสายป้อนขนาดใหญ่จะทำให้สารให้กลิ่นที่กักเก็บบริเวณผิวของไมโครแคปซูลมากขึ้น จากการศึกษานิเทศของขนาดหยดอิมัลชันต่อความคงตัวของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สารห่อหุ้ม คือ กัมอะราบิกผสมกับมอลโตเดคซ์ตริน ในการกักเก็บสารให้กลิ่น *d*-Limonene พบว่า จำนวนของปริมาณสารให้กลิ่นบริเวณผิวของไมโครแคปซูลจะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดเฉลี่ยหยดอิมัลชัน (Mean Emulsion Droplet Size) ที่ใหญ่ขึ้น (Soottitantawat and Others. 2003)

### 2.9.3 ชนิดของสารห่อหุ้ม

การปลดปล่อยสารให้กลิ่นได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารห่อหุ้มในการจับกับสารให้กลิ่นที่ไม่ละลายน้ำหรือน้ำมันหอมระเหยด้วย โดยหากสารห่อหุ้มมีคุณสมบัติสามารถจับกับน้ำมันหอมระเหยได้ดี ก็จะช่วยให้ลดการปลดปล่อยกลิ่นที่กักเก็บในไมโครแคปซูลได้ ทำให้ไมโครแคปซูลนั้นมีความคงตัวดีขึ้น จากการศึกษาคาร์วูไฮลของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากเครื่องเทศ

ชนิดต่าง ๆ คือ ไทม์ (Thyme) โอริกาโน (Oregano) และอบเชย (Cassia) จากไมโครแคปซูลของสารหอมที่มาจากแป้งดัดแปร 4 ชนิด ได้แก่ HI-CAP<sup>®</sup> 100, Capsul E, Encapsul 855 และ N- LOK พบว่าสารหอมต่างชนิดกัน มีผลต่อการสูญเสียของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกกักเก็บ โดย Encapsul 855 เกิดการสูญเสียของน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด ในขณะที่ HI-CAP<sup>®</sup> 100 เกิดการสูญเสียของกลิ่นน้อยที่สุด (Baranauskiene and Others. 2005) นอกจากนี้ จากผลการวิจัยของ Yoshiia and Others. (2001) โดยศึกษาการปลดปล่อยของสารให้กลิ่น Ethyl Butyrate และศึกษาค่าการคงอยู่ของสารให้กลิ่นชนิดนี้ ซึ่งเตรียมจากสารหอมกัมมะราบิกผสมมอลโตเดกซ์ตริน และ Soybean Soluble Polysaccharide (SSPS) พบว่า ค่าการคงอยู่ของสารให้กลิ่นในผงไมโครแคปซูลที่ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารหอมที่ใช้ และอัตราส่วนของสารหอมที่ผสมกัน โดยการเพิ่มอัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ตรินจะทำให้การคงอยู่ของสารให้กลิ่นมีค่าสูงขึ้น และต่อมา Soottitantawat and Others. (2005a) ได้ศึกษาการกักเก็บ *d*-Limonene โดยใช้กัมมะราบิก แป้งดัดแปร HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมมะราบิกผสมมอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารหอม พบว่าสารหอมชนิด HI-CAP<sup>®</sup> 100 ทำให้อุณหภูมิมีความคงตัวมากกว่าสารหอมชนิดอื่น ดังนั้น ความคงตัวของไมโครแคปซูลนั้นจึงขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้หอมด้วย

#### 2.9.4 ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูล

จากการศึกษาของ Yoshii and Others. (2001) พบว่า ปริมาณความชื้นหรือความเข้มข้นของโมเลกุลของน้ำที่อยู่รอบอนุภาคไมโครแคปซูล มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดต่อการปลดปล่อย Ethyl Butyrate ออกจากไมโครแคปซูลที่ใช้กักเก็บ โดยเมื่อไมโครแคปซูลมีความชื้นมากขึ้น ย่อมส่งเสริมให้เกิดการปลดปล่อยสารให้กลิ่นที่ถูกกักเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูลออกมามากขึ้น ทำให้เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณสารให้กลิ่นหรือน้ำมันหอมระเหยที่ถูกกักเก็บไว้ในไมโครแคปซูลจะมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้น ผลการศึกษาของ Soottitantawat and Others. (2005b) พบว่า ในเวลา 20 วัน ที่สภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 51% ไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสารหอมชนิดต่าง ๆ คือ กัมมะราบิก แป้งดัดแปร CAPSUL และ HI-CAP<sup>®</sup> 100 จะมีปริมาณ 1-Menthol คงที่มากที่สุด และ Partanen and Others. (2002) ที่ศึกษาการกักเก็บน้ำมันจากผลซีบัคธอร์น (Sea Buckthorn Kernel Oil) โดยใช้สารหอมมอลโตเดกซ์ตรินและสารหอม HI-CAP<sup>®</sup> 100 พบว่า ไมโครแคปซูลของน้ำมันจากผลซีบัคธอร์นที่เตรียมจากสารหอมทั้งสองชนิด จะมีความคงตัวและคงสถานะคล้ายแก้ว (Glassy State) เมื่อเก็บให้แห้งไว้ที่สภาวะปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 50% อุณหภูมิ 20°C

## 2.10 สารหอมหุ้มที่ใช้ในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย

วัตถุดิบที่ใช้เป็นสารหอมหุ้มในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตาม สารหอมหุ้มที่ดีควรกักเก็บสารให้กลิ่นหรือสารสำคัญที่ถูกหอมหุ้มได้ในปริมาณสูง และควรเลือกสารหอมหุ้มที่ทำให้มีกลิ่นชั้นที่ได้มีความคงตัวและมีการกระจายตัวดี เช่น สารหอมหุ้มนั้นควรมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ เป็นต้น นอกจากนี้ ควรเลือกสารหอมหุ้มที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารที่ต้องการกักเก็บไว้ในอนุภาคไมโครแคปซูล และควรมีคุณสมบัติในการละลาย เพื่อให้เกิดการปลดปล่อยสารให้กลิ่นได้ง่ายเมื่อต้องการใช้ ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย สรุปได้ตามตารางที่ 2.2 ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกัมอาราบิกและแป้งคัดแปรชนิดต่าง ๆ เท่านั้น

### ตารางที่ 2.2

#### วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสารหอมหุ้มในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย

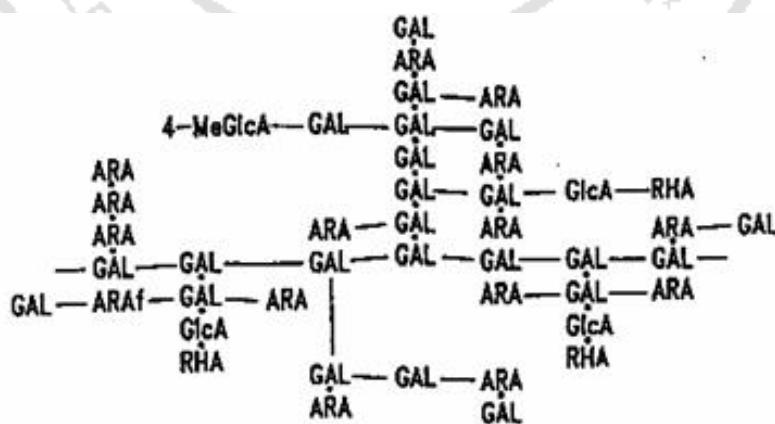
ชนิด	ตัวอย่าง
คาร์โบไฮเดรต	คอร์นไซรัปเด็กซ์ตริน (มอลโตเด็กซ์ตริน และไซโคลเด็กซ์ตริน) สตาร์ช แป้งคัดแปร ซูโครส
กัม	อะการ์ กัมอาราบิก โซเดียมอัลจินต บิวเทอเรท คาราจีแนน
ไขมัน	จีฟี่ง ไคกลีเซอไรด์ ไขมัน โมโนกลีเซอไรด์ น้ำมัน พาราฟิน กรดสเตียริก
สารอนินทรีย์	อะเซทิลเซลลูโลส คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ไนโตรเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส เอทิลเซลลูโลส
โปรตีน	อัลบูมิน เคซีน เจลลาติน กลูเตน ซีโมโกลบิน เปปไทด์
พอลิเมอร์สังเคราะห์	เอทิลีนไวนิล อะซิเตต พอลิอะคริลาไมด์ พอลิอะคริเลท พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลอะซิเตต อะคริโกลไนไตรล์

(Greenblatt and Others. 1993)

**กัมอะราบิก** หรือเรียกว่า อะคาเซียกัม (Acacia Gums) เป็นสารผสมเชิงซ้อนของอะราบีโนกาแลคแทน (Arabinogalactan) และไกลโคโปรตีนที่สกัดจากเปลือกของต้นอะเคเชีย (Acacia) ซึ่งปลูกมากในแอฟริกา สามารถละลายน้ำได้ดีถึงที่ความเข้มข้น 50% ได้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ มีความเป็นกรดเล็กน้อย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรสชาติ นอกจากนี้ กัมอะราบิกยังเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีมาก เนื่องจากโปรตีนที่มีทั้งหมู่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และชอบน้ำ (Hydrophilic) จะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวของวัตถุน้ำมัน (Oil Phase) หลังจากเกิดเป็นอิมัลชัน โดยส่วนของหมู่ไม่ชอบน้ำจะจับกับหยดน้ำมัน และส่วนของหมู่ชอบน้ำจะจับกับส่วนที่เป็นวัตถุน้ำ (Water Phase) เกิดเป็นอนุภาคอิมัลชัน และส่วนอะราบีโนกาแลคแทนจะให้ความหนืดต่ำ ๆ แก่อิมัลชัน ทำให้น้ำมันหรือสารให้กลิ่นเคลื่อนที่ช้าลง และป้องกันการรวมตัวกันของหยดอิมัลชัน เมื่อนำอิมัลชันมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย กัมอะราบิกจึงทำหน้าที่เป็นสารห่อหุ้มที่ดีและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารที่ถูกห่อหุ้มได้ (Thevenet. 1988) นอกจากนี้ลักษณะของไมโครแคปซูลที่ได้จะไม่จับตัวเป็นก้อนโดยง่าย จึงเหมาะสำหรับใช้กักเก็บสารให้กลิ่นที่ขึ้นง่าย และนิยมใช้เป็นสารห่อหุ้มเพื่อกักเก็บน้ำมันหอมระเหย เนื่องจาก กักเก็บน้ำมันหอมระเหยได้ในปริมาณสูง (Inglett, Gelbman and Reineccius. 1988) โครงสร้างของกัมอะราบิก แสดงในภาพที่ 2.8

ภาพที่ 2.8

โครงสร้างของกัมอะราบิก

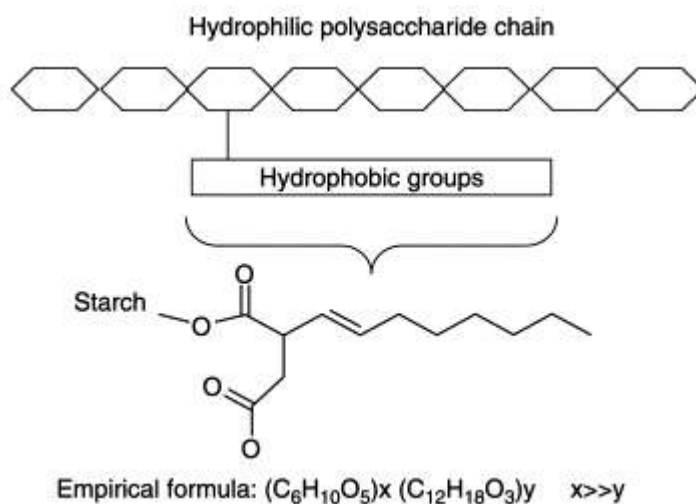


(Thevenet. 1988)

**แป้งตัดแปร** เป็นการนำแป้งมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1073-2535 ซึ่งนิยามความหมายของแป้งตัดแปรไว้ว่า แป้งตัดแปร หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิม ด้วยความร้อนและ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ (กระทรวงอุตสาหกรรม. 2535)

เนื่องจาก แป้งมีโครงสร้างประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก แป้งและอนุพันธ์ของแป้งจึงมักถูกนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม โดยสารให้กลิ่นสามารถแทรกตัวเข้าไปบริเวณรูพรุนของแป้ง ส่งผลให้สามารถกักเก็บสารได้ดี อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแป้งตามธรรมชาติอาจมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เช่น มีค่าความหนืดมากเกินไป มีคุณสมบัติในการละลายน้ำที่ไม่ดี ไม่เหมาะสมต่อการนำมาเตรียมเป็นอิมัลชันเพื่อ กักเก็บสารให้กลิ่นด้วยวิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำแป้งจากธรรมชาติเหล่านี้ไปปรับปรุงผ่านกรรมวิธีที่เหมาะสม เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ (Reineccius. 1988) เช่น มีความหนืดต่ำลง เกิดเจลและให้ความหนืดได้เร็วที่อุณหภูมิต่ำลง มีความคงตัวดีขึ้น และทนต่อสภาวะ ต่าง ๆ ในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยได้ดีขึ้น โดยรูปแบบการตัดแปรแป้งจากธรรมชาติเพื่อใช้ในการเตรียมอิมัลชันสำหรับทำให้แห้งโดยวิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย จะทำโดยการนำแป้งมาทำปฏิกิริยากับ Octenyl Succinic Anhydride (OSA) เพื่อให้ได้ Emulsifying Starch ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกและไฮโดรฟิลิก เรียกว่า n-OSA Starch ดังภาพที่ 2.9 เพื่อให้แป้งตัดแปรนั้นมีความคงตัวในการเตรียมอิมัลชัน เนื่องจาก OSA มีทั้งหมู่ที่ไม่ชอบน้ำและหมู่ที่ชอบน้ำ ซึ่งหมู่ที่ไม่ชอบน้ำจะเกิดเป็นฟิล์มรอบอนุภาคของหยดน้ำมัน ป้องกันไม่ให้น้ำมันกลับมารวมตัวกัน นอกจากนี้ n-OSA Starches ยังมีคุณสมบัติเกิดเจลลาติไนเซชัน (Gelatinization) ได้ที่อุณหภูมิต่ำ มีความหนืดต่ำและความใสสูง ตัวอย่างแป้งตัดแปร n-OSA Starches เช่น HI-CAP<sup>®</sup> 100, CAPSUL<sup>®</sup> และ FA1604 (บุญชัย พิมพ์นาค. 2552)

ภาพที่ 2.9  
ปฏิกิริยาและโครงสร้างของ n-OSA Starches



(Kuentz and Others. 2006)

1) HI-CAP<sup>®</sup> 100

เป็นแป้งดัดแปรชนิด n-OSA ที่ได้จากข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียว เหมาะสมในการใช้เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน เนื่องจากสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นไว้ภายในได้ปริมาณสูง และมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดี ทำให้อิมัลชันมีความคงตัว เมื่อเตรียมเป็นอิมัลชันจะมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4 นิยมใช้แทนกัมอะราบิกและเจลาติน เนื่องจากมีราคาต่ำกว่า

2) CAPSUL<sup>®</sup>

เป็นแป้งดัดแปรที่มีการเติม OSA ด้วยวิธีทางเคมี โดยการรวมตัวกันของหมู่ที่ชอบน้ำมัน (Lipophilic) เหมาะสำหรับกระบวนการกักเก็บสารให้กลิ่น เช่น น้ำมันหอมระเหยและใช้ทดแทนสารห่อหุ้มอื่นที่มีราคาแพง เช่น กัมอะราบิกและโปรตีน นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดี

3) FA1604

เป็นแป้งมันสำปะหลังดัดแปรซึ่งมีการเติมหมู่ฟังก์ชัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยและทำให้ทนต่อความร้อน มีความหนืดต่ำและละลายน้ำได้ดี



## 2.11 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี

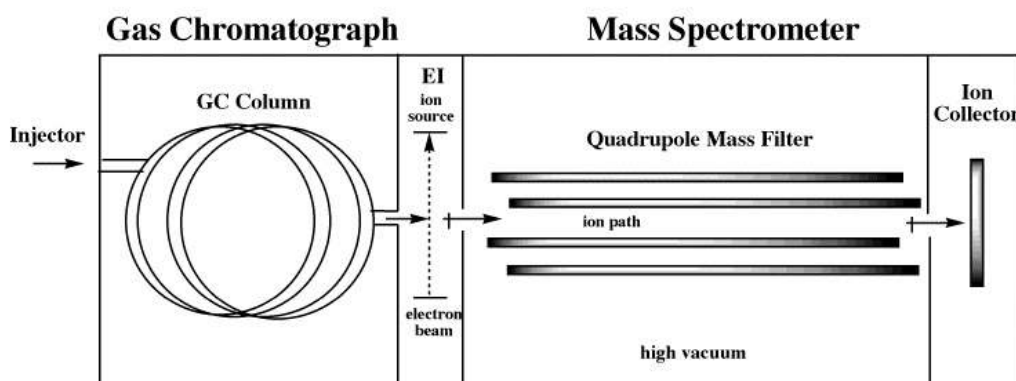
โครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาวิจัยด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแยกสาร (Isolation) ออกจากสารผสม การตรวจสอบ (Detection) องค์ประกอบหรือการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) การตรวจสอบสารเจือปน (Impurity) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) และอื่นๆ โดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายตัว (Distribution of Partition) ขององค์ประกอบในสารตัวอย่างระหว่างวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile Phase) กับวัฏภาคคงที่ (Stationary Phase) ซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีขององค์ประกอบหรือสารแต่ละชนิดที่อยู่ในสารตัวอย่างที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อวัฏภาคทั้งสอง ทำให้สารแต่ละชนิดเคลื่อนที่ผ่านวัฏภาคคงที่ในอัตราที่แตกต่างกัน ทำให้มีการแยกเกิดขึ้นและแสดงออกมาในรูปของพีค (Peak) หรือจุด (Spot) บนโครมาโทแกรม (Chromatogram) จัดเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการใช้งาน การเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากซับซ้อนและใช้ตัวอย่างในปริมาณเพียงเล็กน้อย อีกทั้งยังให้ผลการวิเคราะห์รวดเร็ว ถูกต้องและแม่นยำ (รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2552)

น้ำมันหอมระเหยประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดแตกต่างกัน ในการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้มากวิธีหนึ่งคือ เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี จัดเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยจะทำการแยกสารผสมในตัวอย่างและพิสูจน์เอกลักษณ์สาร โดยอาศัยการเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprint) ของเลขมวล (Mass Number) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลได้

หลักการของเครื่องโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี เมื่อฉีดสารตัวอย่างที่ Simple Inlet ของเครื่องแล้ว สารตัวอย่างจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (Column) ซึ่งทำหน้าที่แยกสารต่าง ๆ ในสารตัวอย่างออก จากนั้น โมเลกุลของสารตัวอย่างจะเคลื่อนที่เข้าสู่แหล่งผลิตไอออน (Ion Source) ไอออนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่เข้าสู่ Mass Analyzer ซึ่งทำหน้าที่คัดเลือกไอออน และไอออนที่ได้ก็จะถูกตรวจวิเคราะห์ด้วย Ion Detector เพื่อประมวลผลออกมาเป็นข้อมูลในรูปของโครมาโทแกรม องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี แสดงในภาพที่ 2.10

ภาพที่ 2.10

องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี



(University of Colorado. 2011)

## 2.12 การประเมินวิธีวิเคราะห์

เป็นการตรวจสอบวิธีวิเคราะห์ว่ามีความเหมาะสมในการตรวจสอบสารตัวอย่างและสารมาตรฐานได้แม่นยำ และน่าเชื่อถือได้ในช่วงความเข้มข้นที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ได้แก่ การตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) การทดสอบความเที่ยง (Precision) และการตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ (Linearity) เป็นต้น

1. การตรวจสอบความถูกต้อง คือ ความใกล้เคียงของค่าที่วัดได้กับค่าที่ถูกต้อง ซึ่งจะรายงานในรูป % Recovery ซึ่งการหา % Recovery ทำโดยวิธี Standard Addition เป็นวิธีที่ใช้ในกรณีที่ไม่ทราบองค์ประกอบทั้งหมดของสารตัวอย่าง ทราบเพียงตัวยาหรือสารสำคัญ ทำโดยการ Spike ตัวยาสำคัญในสารตัวอย่าง โดยทำ 3 ระดับ ในช่วงความเข้มข้น 80-120% ของความเข้มข้นที่ต้องการวิเคราะห์ แต่ละระดับทำซ้ำ 3 ครั้ง (Triplicate Measurements) โดยค่าที่ยอมรับได้ แสดงในตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3**  
**เกณฑ์การยอมรับค่าความถูกต้อง**

ความเข้มข้นของสารที่ต้องการวัด	% Recovery ที่ยอมรับได้
100%	98-101%
10%	95-102%
1%	92-105%
0.01%	85-110%
10 µg/g (ppm)	80-85%
1 µg/g	75-120%
10 µg/kg (ppb)	70-125%

(AOAC International. 2002)

**2. การทดสอบความเที่ยง** คือ ความใกล้เคียงของค่าที่วัดได้หลาย ๆ ครั้ง จากตัวอย่างชนิดเดียวกัน ความเข้มข้นเท่ากัน โดยอาจวัดซ้ำ ๆ ในวันเดียวกัน หรือวัดต่างวันกัน หรือต่างสถานที่กัน การหาค่าความเที่ยง แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

2.1 Repeatability (Intra-Assay หรือ Within Day Precision) เป็นการทำตัวอย่างซ้ำ ๆ กัน ในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยใช้เครื่องมือและสภาพแวดล้อมเดียวกัน

2.2 Intermediate precision (Day to Day Precision) เป็นการหาค่าความเที่ยง โดยทำการวัดในต่างวันกัน หรือผู้วิเคราะห์คนละคน โดยใช้เครื่องมือต่างกัน และใช้ Reagent ต่างขวดกัน ภายใต้สภาวะแวดล้อมแบบเดียวกัน

2.3 Reproducibility (Intra-Laboratory Precision) เป็นการหาค่าความเที่ยง โดยทำการวัดในห้องปฏิบัติการต่างห้องกัน เกณฑ์การยอมรับค่าความเที่ยง ได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4  
เกณฑ์การยอมรับค่าการทดสอบความเที่ยง

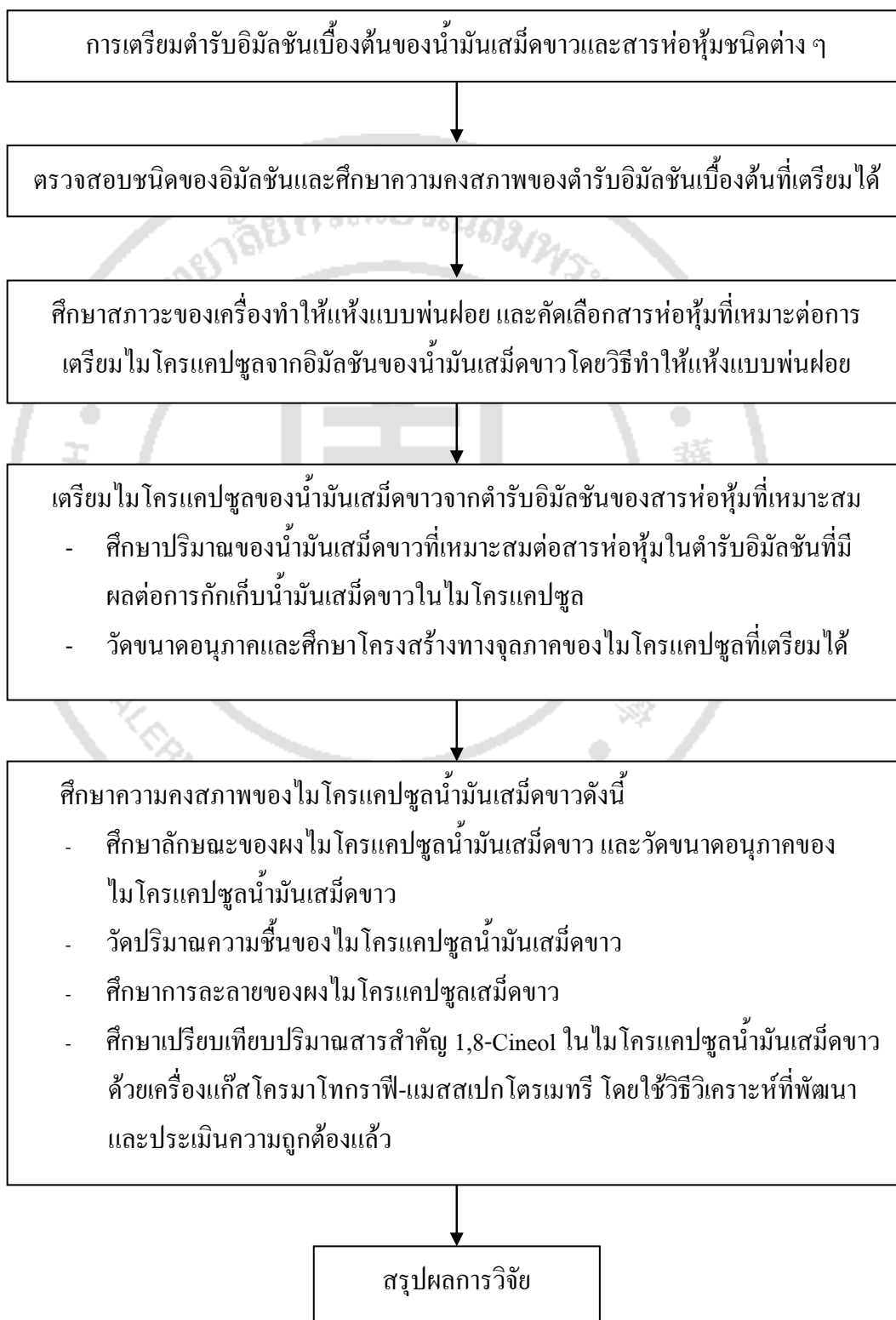
ความเข้มข้นของสารสำคัญ	%RSD ที่ยอมรับได้
100%	1.3
10%	2.8
1%	2.7
100 ppm	5.3
10 ppm	7.3
1 ppm	11
100 ppb	15
10 ppb	21
1 ppb	30

(AOAC International. 2002)

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ คือ การที่ความเข้มข้นหรือปริมาณสารมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ ค่า Correlation Coefficient ที่ยอมรับได้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.999% Calibration Curve ที่ใช้ควรครอบคลุม ตั้งแต่ 80% ของค่าความเข้มข้นต่ำสุด ถึง 120% ของค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ต้องการวิเคราะห์

### 2.13 กรอบแนวคิดในการศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้กำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาดังนี้



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. น้ำมันเมล็ดข้าว จากบริษัททรอปปีก้าไลฟ์ จำกัด ประเทศไทย
2. กัมอะราบิก จากบริษัท Sigma Aldrich Corp. ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. แป้งคัดแปร
  - HI-CAP<sup>®</sup> 100 จากบริษัท National Starch & Chemical (Thailand) Ltd.
  - CAPSUL<sup>®</sup> จากบริษัท National Starch & Chemical (Thailand) Ltd.
  - FA1604 จากบริษัท Siam Modified Starch Co., Ltd. ประเทศไทย
4. น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)
5. เบนซีน (Benzene) จากบริษัท LAB-SCAN Ltd. ประเทศไอร์แลนด์
6. เฮกเซน (Hexane) จากบริษัท J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. สารมาตรฐาน Eucalyptol (ความบริสุทธิ์  $\geq 99.0\%$ ) จาก S.M. Chemical Supplies Co., Ltd. ประเทศไทย
8. แก๊สไฮโดรเจน ความบริสุทธิ์ 99.999% จากบริษัทธนบุรีพัฒนา ประเทศไทย

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Auto Desiccators) ผลิตภัณท์ BOSSMEN ประเทศไต้หวัน
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ผลิตภัณท์ Memmert, ประเทศเยอรมันนี
3. ปิเปตแบบปริมาตร (Transfer Pipette) ขนาด 1, 2, 4, 5 และ 10 mL
4. ลูกยางดูดปิเปต (Rubber Bulb)
5. ไมโครปิเปต (Micropipette, Volume Range of 50-250  $\mu\text{L}$ ) ผลิตภัณท์ Biohit Proline<sup>®</sup> Pipette ประเทศฟินแลนด์
6. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 10 และ 50 mL
7. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250, 100, 50 และ 25 mL

8. Syringe Filter (Part No. P01322, PTFE 13 mm, 0.22  $\mu\text{m}$  with Luer Lock) ผลิตภัณฑ์ Fortune Scientific Co., Ltd. กรุงเทพมหานคร
9. Glass Centrifuge Tube
10. ที่วางหลอดทดลอง (Test Tube Rack)
11. แร้ง (Sieve)
12. หลอดหยด (Dropper)
13. Aluminium Sample Pans
14. GC Autosampler Vials, ขนาด 2 mL
15. Glass Cuvette
16. กระจกนาฬิกา
17. นาฬิกาจับเวลา
18. เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
19. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
20. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)

#### เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง (Spray Dryer) ผลิตภัณฑ์ Buechi<sup>®</sup> Mini Spray Dryer รุ่น B-191, Labortechnik AG ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
2. เครื่องปั่น (Blender) ผลิตภัณฑ์ Philips รุ่น HR2001
3. เครื่องชั่งละเอียด (Deviation  $\pm 0.0001$  กรัม) ผลิตภัณฑ์ Sartorius AG Göttingen, ประเทศเยอรมันนี
4. เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Delsa<sup>™</sup> Nano C, Zeta Potential/Submicron Size Analyzer) ผลิตภัณฑ์ Beckman Coulter ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ผลิตภัณฑ์ Nikon DIGITAL SIGHT รุ่น DS-Fi ประเทศญี่ปุ่น
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ผลิตภัณฑ์ VP LEO Electron Microscopy Ltd. รุ่น LEO 1450 ประเทศสหราชอาณาจักร
7. เครื่องเคลือบตัวอย่างด้วยโลหะหนัก (Ion Sputter Coater) ผลิตภัณฑ์ Quorum Technologies Ltd. ประเทศสหราชอาณาจักร

8. เครื่องวัดความหนืดชนิดอาศัยการหมุนของแกน (Brookfield DV-II + PRO Digital Viscometer) ผลิตภัณท์ Brookfield Engineering Lab. ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. เครื่องวัดปริมาณความชื้น (Moisture Analyzer) ผลิตภัณท์ Ohaus รุ่น MB45 ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์
10. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) ผลิตภัณท์ Thermo Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. GC Column (Zebron™ Capillary GC Column; ความยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร Film Thickness 0.25 μm) ผลิตภัณท์ Phenomenex® ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge) ผลิตภัณท์ Hettich Zentrifugen รุ่น b-78532 Tuttlingen ประเทศเยอรมันนี
13. เครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) ผลิตภัณท์ Vortex Genie® 2 ประเทศสหรัฐอเมริกา
14. เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump, Gast Manufacturing) ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) ผลิตภัณท์ Heidolph, รุ่น MR 3001 ประเทศ เยอรมันนี

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การเตรียมตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเมล็ดข้าวและสารหล่อหุ้มชนิดต่าง ๆ

เตรียมตำรับอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดข้าวและสารหล่อหุ้ม โดยใช้สารหล่อหุ้ม 4 ชนิด ได้แก่ กัมอะราบิกและแป้งคัดแปร HI-CAP® 100, CAPSUL® และ FA1604 ในปริมาณ 30% w/w ของตำรับ และใช้น้ำมันเมล็ดข้าวในปริมาณ 15% w/w ของสารหล่อหุ้ม (Soottitantawat and Others. 2005b ; Baranauskiene and Others. 2005) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันก่อนเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย มีดังนี้ (ปรับปรุงวิธีของ Baranauskiene and Others. 2007)

1. นำสารหล่อหุ้มแต่ละชนิด มาร้อนผ่านแรง เพื่อให้อิมัลชันมีลักษณะเป็นผงละเอียด
2. ชั่งน้ำหนักสารหล่อหุ้ม น้ำมันเมล็ดข้าวและน้ำตามสัดส่วน ดังตารางที่ 3.1
3. นำสารหล่อหุ้มมาละลายในน้ำ (อุณหภูมิ 40°C) เทใส่ภาชนะปิดสนิท ทิ้งไว้ข้ามคืน



4. ค่อย ๆ หยคน้ำมันเสม็ดขาวลงไปในสารละลายของสารห่อหุ้มที่ทิ้งไว้ข้ามคืน ปั่นให้เข้ากันจนเกิดอิมัลชัน

5. นำอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 4 ตำรับ สังเกตลักษณะทางกายภาพของอิมัลชัน แล้วนำมาศึกษาความคงตัวของตำรับในสภาวะเร่ง

### ตารางที่ 3.1

สัดส่วนของสารห่อหุ้ม น้ำมันเสม็ดขาวและน้ำในตำรับอิมัลชันเบื้องต้น

ตำรับ	สารห่อหุ้ม (กรัม)				น้ำมันเสม็ดขาว (กรัม)	น้ำ (กรัม)
	CAPSUL <sup>®</sup>	HI-CAP <sup>®</sup> 100	กัมอะราบิก	FA1604		
(A)	30	-	-	-	4.5	65.5
(B)	-	30	-	-	4.5	65.5
(C)	-	-	30	-	4.5	65.5
(D)	-	-	-	30	4.5	65.5

### 3.2 การศึกษาชนิดของอิมัลชันของตำรับอิมัลชันเบื้องต้น จากน้ำมันเสม็ดขาว และสารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ

ทำโดยเจือจางอิมัลชันแต่ละตำรับต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:10 และข้อมด้วยสีชนิดละลายในน้ำมัน (Lake Sunset Yellow) นำไปส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ใช้เลนส์ใกล้วัตถุชนิด 4x/0.13 เพื่อสังเกตขนาดและลักษณะการกระจายตัวของหยดอิมัลชัน

### 3.3 การศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเสม็ดขาว และสารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ในสภาวะเร่ง

1. นำตำรับอิมัลชันเบื้องต้นที่เตรียมได้ ทั้ง 4 ตำรับ มาศึกษาความคงตัวในสภาวะเร่ง โดยการใช้อุณหภูมิต่ำสลับสูง (Freeze-Thaw Cycle) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10°C นาน 48 ชั่วโมง สลับกับการนำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 25°C นาน 48 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 รอบ

2. วัดค่าความเป็นกรดต่าง คูสิ กลิ่น การแยกชั้น วัดความหนืด วัดขนาดอนุภาคของหยด อิมัลชันและค่าศักย์ซีตา (Zeta Potential) เพื่อคัดเลือกสารหล่อหุ้มที่เหมาะสมในการกักเก็บน้ำมัน เสม็ดขาว โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

### 3.4 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวและคัดเลือกชนิดของสารหล่อหุ้มที่เหมาะสมในการห่อหุ้มน้ำมันเสม็ดขาว

1. ทดลองหาสถานะที่เหมาะสมของเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง ด้วยหัวฉีด (Atomizer) แบบ Two Component Nozzles ในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวจากตำรับอิมัลชันที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.1 โดยแปรผันพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ อัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน 2-10% อุณหภูมิขาเข้า 160-200°C และอัตราการไหลของอากาศขาเข้า 70-90%

2. เนื่องจากสถานะที่เหมาะสมของเครื่อง ได้แก่ อัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน อุณหภูมิขาเข้า อัตราการไหลของอากาศขาเข้า และความหนืดที่เหมาะสมของอิมัลชัน จะมีผลต่อการระเหยของน้ำ ออกจากอิมัลชันเกิดเป็นไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวและจะถูกอากาศภายในเครื่องพัดสู่ Collecting Vessel ซึ่งหากได้ปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวมาก จะแสดงถึงสถานะของเครื่องที่เหมาะสมและความหนืดที่เหมาะสมของอิมัลชัน (Prinn, Costantino and Tracy. 2002 ; Gharsallaoui and Others. 2007) จึงหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวจากแต่ละตำรับ เพื่อคัดเลือกชนิดของสารหล่อหุ้มที่มีความคงตัวของอิมัลชันดีที่สุด และให้ปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวมากที่สุด มา 2 ชนิด โดยคำนวณจากสูตร (Dixit, Kini and Kulkarni. 2010 ; Murtaza and Others. 2009)

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{ปริมาณอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว (g)}}{\text{ปริมาณสารหล่อหุ้ม + น้ำมันเสม็ดขาว (g)}} \times 100$$

### 3.5 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว

จากการศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเสม็ดขาวและสารหล่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ในสถานะเร่งและนำไปทดลองเตรียมเป็นไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว โดยใช้วิธีทำให้แห้งแบบพ่นฝอย สามารถคัดเลือกสารหล่อหุ้ม 2 ชนิด ที่มีความคงตัวของอิมัลชันดีที่สุดและ

ให้ปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวมากที่สุด คือ HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมอะราบิก ซึ่งมีความเหมาะสมในการเตรียมเป็นไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว

### 3.5.1 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวโดยใช้ HI-CAP<sup>®</sup> 100 เป็นสารห่อหุ้ม

เตรียมคาร์บอนิมัลชันของน้ำมันเมล็ดขาวโดยใช้ HI-CAP<sup>®</sup> 100 เป็นสารห่อหุ้มในปริมาณ 30% w/w ของคาร์บอนและให้สัดส่วนของปริมาณน้ำมันเมล็ดขาวในแต่ละคาร์บอน 15-55% w/w ของสารห่อหุ้ม เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำมันเมล็ดขาวและสารห่อหุ้มในคาร์บอนิมัลชันที่มีผลต่อการกักเก็บน้ำมันเมล็ดขาวในไมโครแคปซูล โดยใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1 ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนัก HI-CAP<sup>®</sup> 100 (ที่ร้อนผ่านแรงแล้ว) น้ำมันเมล็ดขาว และน้ำตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.2
2. นำ HI-CAP<sup>®</sup> 100 มาละลายในน้ำ (อุณหภูมิ 40°C) เทใส่ภาชนะปิดสนิท แล้วทิ้งไว้ข้ามคืน
3. หลังจากนั้นค่อย ๆ หยคน้ำมันเมล็ดขาวลงไป โดยใช้น้ำมันเมล็ดขาวต่อ HI-CAP<sup>®</sup> 100 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 0.15:1 0.3:1 0.45:1 0.5:1 และ 0.55:1 ปั่นให้เข้ากันจนเกิดอิมัลชัน
4. นำอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 5 คาร์บอน วัดค่าความหนืดของอิมัลชันก่อนทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยดังนี้
  - 4.1 จุ่มหัววัด (Spindle) ชนิด T-A (Entry Code : S 91) ให้เสมอกับผิวหน้าของอิมัลชัน โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนหัววัด 100 rpm.
  - 4.2 อ่านค่าความหนืด เมื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล (% Torque) มีค่าอยู่ระหว่าง 10% ถึง 100% และบันทึกผลในหน่วย Centipoises (cPs)
5. นำอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 5 คาร์บอน วัดขนาดอนุภาคของหยดอิมัลชันโดยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค
6. นำอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 5 คาร์บอน ผ่านกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ด้วยเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง โดยใช้สภาวะที่พัฒนาได้จากหัวข้อ 3.3 ดังนี้

อัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน	5-8%
อุณหภูมิขาเข้า	170-185°C
อุณหภูมิขาออก	124 ± 10°C
อัตราการไหลของอากาศขาเข้า	80-85%

7. นำไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ มาใส่ในภาชนะปิดสนิทและเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น ที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50\pm 1\%$  (Soottitantawat and Others. 2005b) เพื่อนำไปศึกษาคุณภาพ ทางด้านกายภาพและเคมีต่อไป

### ตารางที่ 3.2

สัดส่วนของสารผสมในการทำไมโครเอนแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว โดยใช้ HI-CAP<sup>®</sup> 100 เป็นสารห่อหุ้ม

ตำรับ	สัดส่วนระหว่างน้ำมันเสม็ดขาวและ HI-CAP <sup>®</sup> 100 (g)			น้ำหนักรวม (g)
	HI-CAP <sup>®</sup> 100	น้ำมันเสม็ดขาว	น้ำ	
(B-1)	30	4.5	65.5	100
(B-2)	30	9	61	100
(B-3)	30	13.5	56.5	100
(B-4)	30	15	55	100
(B-5)	30	16.5	53.5	100

#### 3.5.2 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวโดยใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม

เตรียมตำรับอิมัลชันของน้ำมันเสม็ดขาว โดยใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้มในปริมาณ 30% w/w ของตำรับและให้สัดส่วนของปริมาณน้ำมันเสม็ดขาวในแต่ละตำรับ 15-55% w/w ของสารห่อหุ้ม เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณน้ำมันเสม็ดขาวและสารห่อหุ้มในตำรับอิมัลชันที่มีผลต่อการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล โดยใช้วิธีการเตรียมอิมัลชันเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1 ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักกัมอะราบิก (ที่ร่อนผ่านร่อนแล้ว) น้ำมันเสม็ดขาว และน้ำตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.3
2. นำกัมอะราบิกมาละลายในน้ำ (อุณหภูมิ 40 °C) เทใส่ภาชนะปิดสนิท แล้วทิ้งไว้ข้ามคืน
3. หลังจากนั้นค่อย ๆ หยคน้ำมันเสม็ดขาว โดยใช้กัมอะราบิกต่อน้ำมันเสม็ดขาวในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 0.15:1 0.3:1 0.45:1 0.5:1 และ 0.55:1 ปั่นให้เข้ากันจนเกิดอิมัลชัน
4. นำอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 5 ตำรับ วัดค่าความหนืดของอิมัลชันก่อนทำให้แห้ง ด้วยเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง ดังนี้

4.1 จุ่มหัววัด ชนิด T-A (Entry Code : S 91) ให้เสมอกับผิวหน้าของอิมัลชัน โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนหัววัด 100 rpm.

4.2 อ่านค่าความหนืด เมื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล มีค่าอยู่ระหว่าง 10%-100% และบันทึกผลในหน่วย Centipoises

5. นำอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 5 ตำรับ วัดขนาดอนุภาคของหยดอิมัลชัน โดยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

6. นำอิมัลชันที่เตรียมได้ทั้ง 5 ตำรับ ผ่านกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยด้วยเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง โดยใช้สภาวะที่พัฒนาได้จากหัวข้อ 3.3 ดังนี้

อัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน	5-8%
อุณหภูมิขาเข้า	170-185°C
อุณหภูมิขาออก	124 ± 10°C
อัตราการไหลของอากาศขาเข้า	80-85%

7. นำไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ ใส่ในภาชนะปิดสนิทและเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50±1% เพื่อนำไปศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีต่อไป

### ตารางที่ 3.3

สัดส่วนของสารผสมในการทำไมโครเอนแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว  
โดยใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม

ตำรับ	สัดส่วนระหว่างน้ำมันเสม็ดขาวและกัมอะราบิก (g)			น้ำหนักรวม (g)
	กัมอะราบิก	น้ำมันเสม็ดขาว	น้ำ	
(C-1)	30	4.5	65.5	100
(C-2)	30	9	61	100
(C-3)	30	13.5	56.5	100
(C-4)	30	15	55	100
(C-5)	30	16.5	53.5	100

### 3.6 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของการกักเก็บน้ำมันเมล็ดขาวในไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

นำอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวที่เตรียมจาก HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมอะราบิก มาศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดโดยมีวิธี ดังนี้

1. นำตัวอย่างอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวประมาณ 10 mg เกลี่ยบน Stubbs ที่ติดด้วยเทปกาวชนิดสองหน้า แล้วนำไปเคลือบด้วยเครื่องเคลือบโลหะหนัก เป็นเวลาประมาณ 30 นาที
2. นำตัวอย่างวางบนแท่นของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ส่องดูตัวอย่างโดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าช่วง 10-15 kV ปรับกำลังขยาย 25,000 เท่า สำหรับตรวจดูลักษณะภายในและปรับกำลังขยาย 700 เท่า สำหรับตรวจดูลักษณะพื้นผิวภายนอกของอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว และบันทึกภาพ

### 3.7 การประเมินวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูล (AOAC. 2002)

#### 3.7.1 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล

1. สุ่มเลือกตำรับ (B-2) ซึ่งมี HI-CAP<sup>®</sup> 100 ปริมาณ 30% ของตำรับ และน้ำมันเมล็ดขาว ปริมาณ 30% ของสารห่อหุ้ม เพื่อเตรียมสารละลายตัวอย่าง ดังนี้
  - 1.1 ชั่งอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว น้ำหนัก 0.1 g ละลายในน้ำ 8 mL
  - 1.2 เติมเฮกเซน 4 mL เขย่าด้วยเครื่อง Vortex Mixer เป็นเวลา 1 นาที
  - 1.3 นำสารละลายที่ได้ อุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 30 นาที โดยเขย่าสารละลายเบา ๆ เป็นพัก ๆ
  - 1.4 ดูดสารละลายส่วนใสออกมากรองและบรรจุในขวด GC Auto Sampler Vials เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี
2. เตรียมสารละลายมาตรฐาน 1,8-Cineol ในเฮกเซน ความเข้มข้น 2.4 3.0 และ 3.6 mg/mL
3. เตรียมสารละลายตัวอย่าง 1 mL ลงในขวด Auto Sampler Vials ขนาด 2 mL และ Spiked สารมาตรฐานทั้ง 3 ความเข้มข้นในสารละลายตัวอย่างดังนี้

3.1 สารละลายตัวอย่าง 1 mL Spiked สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 2.4 mg/mL จำนวน 1 mL

3.2 สารละลายตัวอย่าง 1 mL Spiked สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 3.0 mg/mL จำนวน 1 mL

3.3 สารละลายตัวอย่าง 1 mL Spiked สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 3.6 mg/mL จำนวน 1 mL

4. การวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างที่เตรียมในข้อ 1. และ 3. ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

ฉีดสารละลายตัวอย่าง ปริมาณ 1  $\mu$ L และวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ซ้ำ 3 ครั้ง โดยมีสภาวะดังนี้ อัตราเร็วการไหลของแก๊สพา (Flow Rate of Carrier Gas) 1.2 mL/min อุณหภูมิของ Injector 250°C, Ion Source 250°C, MS Transfer Line 275°C และมี Programmed Temperature ดังตารางที่ 3.4

5. คำนวณค่าความถูกต้องในรูปเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (% Recovery) ดังนี้

$$\% \text{ Recovery} = \frac{C_a - C_b}{C_c} \times 100$$

โดย  $C_a$  = ความเข้มข้นของ 1,8-Cineol ที่วิเคราะห์ได้จาก Spiked Sample (mg/mL)

$C_b$  = ความเข้มข้นของ 1,8-Cineol ที่วิเคราะห์ได้จาก Unspiked Sample (mg/mL)

$C_c$  = ความเข้มข้นของ 1,8-Cineol ที่เติมลงไปใน Spiked Sample (mg/mL)

#### ตารางที่ 3.4

**Programmed Temperature ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี**

Ramps	Rate (°C/Min)	Temperature (°C)	Hold Time (Min)
Initial	-	60	5.00
Ramp 1	2.0	78	0.00
Ramp 2	10.0	120	0.00
Ramp 3	25.0	200	5.00

### 3.7.2 การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล

1. สุ่มเลือกตำรับ (B-2) ซึ่งมีแป้งคัดแปร HI-CAP® 100 ปริมาณ 30% ของตำรับและน้ำมันเมล็ดขาวปริมาณ 30% ของสารห่อหุ้ม เพื่อเตรียมสารละลายตัวอย่างตามหัวข้อที่ 3.7.1 ข้อ 1.1-1.4

2. นีดสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 1  $\mu\text{L}$  ซ้ำ 6 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกัน และวิเคราะห์ต่างวันกัน คำนวณค่าความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ในรูป % RSD (Relative Standard Deviation) ดังนี้

$$\% \text{RSD} = \frac{\text{SD}}{\text{X}} \times 100$$

SD = Standard Deviation

X = ค่าเฉลี่ยของพื้นที่พีคของ 1,8-Cineol

### 3.7.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1, 8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล

1. สร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ความเข้มข้นช่วง 0.2992-14.96 mg/mL ดังนี้

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน 1,8-Cineol ความเข้มข้น 29.92 mg/mL โดยชั่งสารมาตรฐาน 0.2992 g ปรับปริมาตรให้ครบ 10 mL ด้วยเฮกเซน

1.2 เจือจางสารละลายมาตรฐาน 1,8-Cineol ให้มีความเข้มข้น 14.96 5.984 2.992 1.496 และ 0.2992 mg/mL

1.3 นีดสารละลายมาตรฐานโดยฉีดซ้ำความเข้มข้นละ 3 ครั้ง นำค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่ได้พีค (Average Peak Area) ของแต่ละความเข้มข้นทั้ง 5 ความเข้มข้นพล็อตกับปริมาณของสารละลายมาตรฐาน (mg) เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

2. หาค่า Correlation Coefficient ของสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นช่วง 0.2992-14.96 mg/mL



### 3.8 การประเมินวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล (AOAC. 2002)

#### 3.8.1 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

1. สุ่มเลือกตำรับ (B-2) ซึ่งมี HI-CAP® 100 ปริมาณ 30% ของตำรับ และน้ำมันเมล็ดข้าวปริมาณ 30% ของสารห่อหุ้มเพื่อเตรียมสารละลายตัวอย่าง ดังนี้

1.1 ชั่งอนุภาคน้ำมันเมล็ดข้าวที่ถูกเอนแคปซูลใส่ใน Centrifuge Tube น้ำหนัก 0.1 g

1.2 กระจายตัวอย่างในเฮกเซน 4 mL ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที

1.3 ดูดสารละลายส่วนใสออกมารองและบรรจุในขวด GC Autosampler Vials เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

2. เตรียมสารละลายมาตรฐาน 1,8-Cineol ในเฮกเซนความเข้มข้น 0.0016 0.002 และ 0.0024 mg/mL

3. เตรียมสารละลายตัวอย่าง 1 mL ลงในขวด Sampler Auto Vials ขนาด 2 mL และ Spiked สารมาตรฐานทั้ง 3 ความเข้มข้นในสารละลายตัวอย่างดังนี้

3.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 mL Spiked สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.0016 mg/mL จำนวน 1 mL

3.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 mL Spiked สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.0020 mg/mL จำนวน 1 mL

3.3 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 mL Spiked สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.0024 mg/mL จำนวน 1 mL

4. วิเคราะห์สารละลายตัวอย่างในข้อ 1. และ 3. ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ดังหัวข้อ 3.7.1 ข้อ 4. โดยแต่ละตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และคำนวณค่าความถูกต้องในรูปเปอร์เซ็นต์คืนกลับ ดังนี้

$$\% \text{ Recovery} = \frac{C_a - C_b}{C_c} \times 100$$

โดย  $C_a$  = ความเข้มข้นของ 1,8-Cineol ที่วิเคราะห์ได้จาก Spiked Sample (mg/mL)

$C_b$  = ความเข้มข้นของ 1,8-Cineol ที่วิเคราะห์ได้จาก Unspiked Sample (mg/mL)

$C_c$  = ความเข้มข้นของ 1,8-Cineol ที่เติมลงไป ใน Spiked Sample (mg/mL)

### 3.8.2 การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

1. เตรียมสารละลายตัวอย่าง สุ่มเลือกตำรับ (B-2) ซึ่งมี HI-CAP® 100 ปริมาณ 30% ของตำรับ และน้ำมันเมล็ดขาวปริมาณ 30% ของสารห่อหุ้ม ตามหัวข้อที่ 3.8.1 ข้อ 1.1-1.3

2. นิดสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 1  $\mu$ L ซ้ำ 6 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกัน และวิเคราะห์ในวันต่างกัน คำนวณค่าความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ในรูป % RSD ดังนี้

$$\% \text{RSD} = \frac{\text{SD}}{\text{X}} \times 100$$

SD = Standard Deviation

X = ค่าเฉลี่ยของพื้นที่พีคของ 1,8-Cineol

### 3.8.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

1. สร้างกราฟมาตรฐาน ความเข้มข้นช่วง 0.000748-0.05984 mg/mL ดังนี้

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน 1,8-Cineol ความเข้มข้น 29.92 mg/mL โดยชั่งสารมาตรฐาน 0.2992 g ลงในขวดปรับปริมาตรให้ครบ 10 mL ด้วยเฮกเซน

1.2 เจือจางสารละลาย 1,8-Cineol ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ 0.05984 0.02992 0.01496 0.001496 และ 0.000748 mg/mL

1.3 นิดสารละลายมาตรฐาน โดยฉีดเข้าความเข้มข้นละ 3 ครั้ง นำค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่ได้พีคของแต่ละความเข้มข้น ทั้ง 5 ความเข้มข้นพล็อตกับปริมาณ (mg) ของสารละลายมาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐาน

2. หาค่า Correlation Coefficient ของสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นช่วง 0.000748-0.05984 mg/mL

### 3.9 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดแก่น้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล

นำตัวอย่างอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวใส่ในภาชนะปิดสนิท เก็บในตู้ความชื้นที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1\%$  (Partanen and Others. 2002) ทำการศึกษาความคงตัวของน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล โดยชั่งตัวอย่างอนุภาคน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกเอนแคปซูลในแต่ละการทดลอง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี ทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (Soottitantawat and Others. 2005b) โดยตรวจวัดปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว วัดขนาดไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว และวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกเอนแคปซูล

#### 3.9.1 การศึกษาลักษณะของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว

สังเกตลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวที่เก็บไว้ ณ 0, 2, 4 และ 6 สัปดาห์ บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นและบันทึกภาพ

#### 3.9.2 การวัดขนาดไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

วัดขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ณ 0, 2, 4 และ 6 สัปดาห์ โดยกระจายไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวในเบนซีน อัตราส่วน 1:10 วัดซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง และบันทึกผล

#### 3.9.3 การตรวจวัดปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว

ชั่งตัวอย่างอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวที่เก็บไว้ ณ 0, 2, 4 และ 6 สัปดาห์ ตัวอย่างละ 1 g ลงบน Aluminium Sample Pans เกลี่ยให้ทั่ว แล้ววัดค่าความชื้น (Moisture Content) ด้วยเครื่องวัดปริมาณความชื้น

#### 3.9.4 การศึกษาการละลายของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว

ชั่งตัวอย่างอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวที่เก็บไว้ ณ 0, 2, 4 และ 6 สัปดาห์ ตัวอย่างละ 1 g ละลายในน้ำปราศจากไอออน 200 mL บันทึกเวลาที่ใช้ในการละลาย วัดค่าความเป็นกรดต่าง และวัดค่าความหนืดของสารละลายที่ได้ โดยใช้หัววัดชนิด T-A (Entry Code : S 91) และใช้ความเร็วรอบในการหมุนหัววัด 100 rpm. แล้วบันทึกผล

### 3.9.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล

หาปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล โดยหาปริมาณ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บไว้ภายใน และที่ผิวนอกของอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว เปรียบเทียบกับปริมาณ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวในอิมัลชันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง (ปรับปรุงวิธีของ Soottitantawat and Others. 2003) และวิเคราะห์ตัวอย่างดังนี้

#### 3.9.5.1 การวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ในอิมัลชัน

1. เตรียมสารละลายตัวอย่าง ดังนี้
  - 1.1 ชั่งอิมัลชันในหลอดทดลองฝาเกลียวหนัก 1 g เจือจางด้วยน้ำ 8 mL
  - 1.2 เติมหะกิกเซน 4 mL เขย่าด้วยเครื่อง Vortex Mixer เป็นเวลา 1 นาที
  - 1.3 นำสารละลายที่ได้ อุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 30 นาที โดยเขย่าสารละลายเบา ๆ เป็นพัก ๆ
  - 1.4 ดูดสารละลายส่วนใสออกมารองและบรรจุในขวด GC Autosampler Vials เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี
2. นิดสารละลายส่วนใสที่เตรียมได้ 1  $\mu$ L โดยใช้สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรีและใช้วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องแล้วดังหัวข้อที่ 3.7 โดยแต่ละตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง
3. คำนวณหาปริมาณ 1,8-Cineol ในอิมัลชันจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานที่สร้างตามหัวข้อที่ 3.7.3 ข้อ 1.1-1.3

#### 3.9.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูล

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างดังหัวข้อที่ 3.7.1 ข้อ 1.1-1.4 ดังนี้
  - 1.1 ชั่งอนุภาคน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกเอนแคปซูลในหลอดทดลองฝาเกลียวน้ำหนัก 0.1 g ละลายในน้ำ 8 mL
  - 1.2 เติมหะกิกเซน 4 mL เขย่าด้วยเครื่อง Vortex Mixer เป็นเวลา 1 นาที
  - 1.3 นำสารละลายที่ได้ อุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 30 นาที โดยเขย่าสารละลายเบา ๆ เป็นพัก ๆ
  - 1.4 ดูดสารละลายส่วนใสออกมารองและบรรจุในขวด GC Autosampler Vials เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี

2. ฉีดสารละลายส่วนใสที่เตรียมได้ 1  $\mu$ l โดยใช้สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี และใช้วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องแล้วดังหัวข้อที่ 3.7 โดยแต่ละตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

3. คำนวณหาปริมาณ 1,8-Cineol ในอิมัลชันจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานที่สร้างตามหัวข้อที่ 3.7.3 ข้อ 1.1-1.3

4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล (Percent Encapsulation) ได้ดังนี้

$$\text{Encapsulation (\%)} = \frac{\text{ปริมาณสารสำคัญในไมโครแคปซูลทั้งหมด (mg/mL)} \times 100}{\text{ปริมาณสารสำคัญในอิมัลชัน (mg/mL)}}$$

### 3.9.5.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

1. เตรียมสารละลายตัวอย่าง ดังหัวข้อที่ 3.8.1 ข้อ 1.1-1.3 ดังนี้
  - 1.1 ชั่งอนุภาคน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกเอนแคปซูลใส่ใน Centrifuge Tube น้ำหนัก 0.1 g
  - 1.2 กระจายตัวอย่างในเฮกเซน 4 mL ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที
  - 1.3 ดูดสารละลายส่วนใสออกมารอง และบรรจุในขวด GC Autosampler Vials เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี
2. ฉีดสารละลายส่วนใสที่เตรียมได้ 1  $\mu$ l โดยใช้สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี และใช้วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องแล้วดังหัวข้อที่ 3.8 โดยแต่ละตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง
3. คำนวณหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานที่สร้างตามหัวข้อที่ 3.8.3 ข้อ 1.1-1.3
4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูล (Percent of Surface Oil Content) ได้ดังนี้

$$\text{Surface oil Content (\%)} = \frac{\text{ปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูล (mg/ml)} \times 100}{\text{ปริมาณ 1,8-Cineol ในอนุภาคไมโครแคปซูลทั้งหมด (mg/ml)}}$$

### 3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

วิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows Version 11.5



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การเตรียมตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเมล็ดขาวและสารหล่อหุ้มชนิดต่าง ๆ

จากการเตรียมตำรับอิมัลชันเบื้องต้น 4 ตำรับ ด้วยน้ำมันเมล็ดขาวและสารหล่อหุ้มที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ CAPSUL<sup>®</sup> (A), HI-CAP<sup>®</sup> 100 (B), กัมอะราบิก (C), FA1604 (D) พบว่าลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันทุกตำรับมีลักษณะขุ่นคล้ายนํ้านม ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน มีกลิ่นของน้ำมันเมล็ดขาว และสีของอิมัลชันมีความแตกต่างกันตามสีธรรมชาติของสารหล่อหุ้มที่ใช้ ดังภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.1

ภาพที่ 4.1

อิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดขาวและสารหล่อหุ้มชนิดต่าง ๆ



(A)

(B)

(C)

(D)

### ตารางที่ 4.1

สีของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดข้าวและสารหล่อหุ้มที่ต่างกัน 4 ชนิด

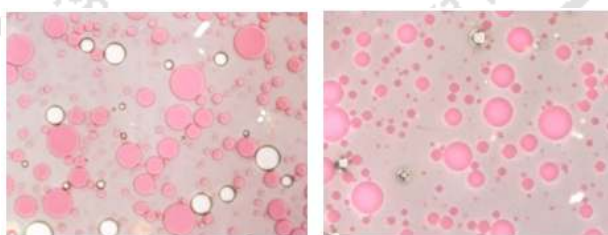
ชนิดของสารหล่อหุ้ม	สีของสารหล่อหุ้มก่อนการตั้ง ตำรับอิมัลชันเบื้องต้น	สีของอิมัลชันเบื้องต้น
CAPSUL <sup>®</sup> (A)	เหลืองอ่อน	ขาวขุ่นอมเหลือง
HI-CAP <sup>®</sup> 100 (B)	ขาว	ขาวขุ่น
กัมอะราบิก (C)	น้ำตาลอ่อน	ขาวอมน้ำตาลขุ่น
FA1604 (D)	ขาว	ขาวขุ่น

### 4.2 การศึกษาชนิดของอิมัลชันของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจาก น้ำมันเมล็ดข้าวและสารหล่อหุ้มชนิดต่าง ๆ

จากการศึกษาชนิดอิมัลชันเบื้องต้นทั้ง 4 ตำรับ พบว่าอิมัลชันทุกตำรับเป็นอิมัลชันชนิด  
น้ำมันในน้ำ โดยสามารถพบอนุภาคอิมัลชันติดสีข้อมชนิดละลายในน้ำมัน และพบว่าอิมัลชันแต่ละ  
ตำรับมีการกระจายตัวของอนุภาคอิมัลชันดี ดังภาพที่ 4.2

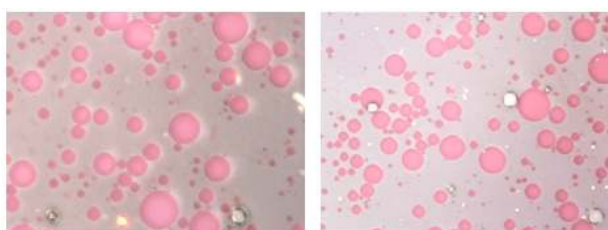
ภาพที่ 4.2

อนุภาคอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดข้าวและสารหล่อหุ้มชนิดต่าง ๆ



(A)

(B)



(C)

(D)



#### 4.3 การศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากน้ำมันเมล็ดขาว และสารหล่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ในสภาวะเร่ง

การศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นทั้ง 4 ตำรับในสภาวะเร่ง โดยการใช้อุณหภูมิต่ำสลับสูง เพื่อเป็นการศึกษาว่าอิมัลชันเบื้องต้นของน้ำมันเมล็ดขาว ซึ่งใช้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย 15% ของสารหล่อหุ้มเท่ากันทุกตำรับ แต่ใช้สารหล่อหุ้มต่างชนิดกัน จะมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันหรือไม่อย่างไร รวมทั้งใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสารหล่อหุ้ม เพื่อเตรียมเป็นตำรับอิมัลชันในการศึกษาขั้นต่อไป จากการสังเกตขั้นต้นด้วยตาเปล่า พบว่า ในช่วงรอบที่ 1-3 ลักษณะของอิมัลชันทั้ง 4 ตำรับ ได้แก่ ตำรับอิมัลชันเบื้องต้นของสารหล่อหุ้ม (A) (B) (C) และ (D) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งสี กลิ่น ไม่แยกชั้น แต่เมื่อผ่านสภาวะเร่งรอบที่ 5 ตำรับอิมัลชันเบื้องต้น (A) เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของสีเป็นสีเหลืองมากขึ้น ส่วนตำรับอื่น ๆ ได้แก่ (B) (C) และ (D) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีที่ชัดเจน ดังภาพที่ 4.3 นอกจากนี้ พบว่าตำรับอิมัลชันเบื้องต้น (D) มีความหนืดเพิ่มขึ้นชัดเจน เนื้ออิมัลชันชั้นคล้ายเบี่ยงเปียก ดังภาพที่ 4.4 และเมื่อศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นทั้ง 4 ตำรับในสภาวะเร่งครบ 6 รอบแล้ว ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอิมัลชัน โดยดูสี กลิ่น การแยกชั้น วัดความหนืด วัดค่าความเป็นกรดต่าง พบว่า ค่าความหนืดของอิมัลชันทุกตำรับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยตำรับ (A) (B) และ (C) มีค่าความหนืดเพิ่มเล็กน้อย แต่ตำรับ (D) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมาก นอกจากนี้ความเป็นกรดต่างของอิมัลชันแต่ละตำรับมีแนวโน้มลดลง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) มีผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.2

นอกจากการศึกษาความคงตัวของตำรับอิมัลชันเบื้องต้น โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอิมัลชัน โดยดูสี กลิ่น การแยกชั้น วัดความหนืด วัดค่าความเป็นกรดต่างแล้ว ได้ศึกษาความคงตัวของอิมัลชันด้วย การวัดขนาดอนุภาคของหยดอิมัลชัน ซึ่งเตรียมตัวอย่างในการศึกษาโดยนำตัวอย่างอิมัลชันที่ไม่ต้องเจือจาง มาวัดขนาดอนุภาคอิมัลชัน ตรวจวัด ซ้ำ 3 ครั้ง และการวัดค่าศักย์ซีตาของอิมัลชัน ทำโดยเจือจางอิมัลชัน 1 mL ในน้ำปราศจากไอออน 40 mL ตรวจวัด ซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกผลที่ได้เปรียบเทียบกับเวลาเริ่มต้น และหลังผ่านสภาวะเร่งครบ 6 รอบ ผลการศึกษาพบว่า จากการวัดค่าศักย์ซีตาที่เวลาเริ่มต้น อิมัลชันเบื้องต้นทุกตำรับมีค่าศักย์ซีตาน้อย ซึ่งอาจทำนายถึงอิมัลชันนั้นมีความคงตัวน้อย อาจเกิดการรวมตัวของหยดอิมัลชันได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ตำรับที่มีค่าศักย์ซีตาที่เวลาเริ่มต้นสูงที่สุด ซึ่งอาจแสดงถึงความเสถียรในการกระจายตัวของหยดอิมัลชันมากที่สุด ได้แก่ ตำรับ (C) (B) (D) และ (A) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดของหยดอิมัลชันในแต่ละตำรับเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาเริ่มต้นและหลังผ่านสภาวะเร่ง 6 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ภาพที่ 4.3  
เปรียบเทียบลักษณะอิมัลชันที่ทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง  
ที่เวลาเริ่มต้น และเมื่อผ่านสภาวะเร่ง 6 รอบ



ภาพที่ 4.4  
ตำรับอิมัลชันเบื้องต้นของสารหล่อหุ้ม FA1604 (D) หลังผ่านสภาวะเร่ง 4 รอบ



## ตารางที่ 4.2

ลักษณะของตำรับอิมัลชันเบื้องต้นจากการตรวจสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง

ตำรับ อิมัลชัน*	ลักษณะของอิมัลชันที่ตรวจสอบ (สี, กลิ่น, การแยกชั้น)		ค่าความหนืด** (cPs)		ค่าความเป็นกรดต่าง**	
	ที่เวลา เริ่มต้น	หลังผ่าน สภาวะเร่ง 6 รอบ	ที่เวลาเริ่มต้น	หลังผ่าน สภาวะเร่ง 6 รอบ	ที่เวลาเริ่มต้น	หลังผ่าน สภาวะเร่ง 6 รอบ
A	ขาวอมเหลือง ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุน ของน้ำมันเมล็ดขาว	เหลืองเข้มขุ่น ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุน ของน้ำมัน เมล็ดขาว	57.20±0.3 <sup>a</sup>	60.8±0.36 <sup>A</sup>	3.17±0.00 <sup>c</sup>	3.07±0.00 <sup>E</sup>
B	ขาวขุ่น ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุน ของน้ำมันเมล็ดขาว	ขาวขุ่น ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุน ของน้ำมัน เมล็ดขาว	39.9±0.2 <sup>b</sup>	42.27±0.25 <sup>B</sup>	4.25±0.00 <sup>f</sup>	4.21±0.00 <sup>F</sup>
C	ขาวอมน้ำตาล ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุนน้ำมัน เมล็ดขาว	ขาวอมน้ำตาล ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุนของน้ำมัน เมล็ดขาว	168.87±0.25 <sup>c</sup>	168.73±0.21 <sup>c</sup>	4.40±0.00 <sup>g</sup>	4.37±0.00 <sup>G</sup>
D	สีขาวขุ่น ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุน ของน้ำมันเมล็ดขาว	สีขาวขุ่น ไม่แยกชั้น มีกลิ่นฉุน ของน้ำมัน เมล็ดขาว	77.17±0.15 <sup>d</sup>	245.93±1.01 <sup>D</sup>	4.76±0.01 <sup>h</sup>	4.70±0.00 <sup>H</sup>

\* CAPSUL<sup>®</sup> (A), HI-CAP<sup>®</sup> 100 (B), กัมอะราบิก (C) และ FA1604 (D)

\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

a, b, c, d, e, f, g, h หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอน ที่เป็นตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.3  
ขนาดอนุภาคและค่าศักย์ซีตาของตำรับ อิมัลชันเบื้องต้น  
จากการตรวจสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง

ตำรับอิมัลชัน เบื้องต้น*	ขนาดอนุภาคอิมัลชัน** (µm)		ค่าศักย์ซีตา** (Zeta Potential)	
	ที่เวลาเริ่มต้น	หลังผ่าน สภาวะเร่ง 6 รอบ	ที่เวลาเริ่มต้น	หลังผ่าน สภาวะเร่ง 6 รอบ
A	12.04±0.53 <sup>a</sup>	14.26±0.02 <sup>A</sup>	2.32±0.16 <sup>e</sup>	5.84±0.63 <sup>E</sup>
B	15.20±0.57 <sup>b</sup>	16.84±0.08 <sup>b</sup>	4.47±0.26 <sup>f</sup>	4.99±0.66 <sup>f</sup>
C	77.24±0.24 <sup>c</sup>	79.01±0.70 <sup>C</sup>	5.32±0.10 <sup>g</sup>	7.90±0.97 <sup>g</sup>
D	46.68±3.93	ND	3.01±0.65 <sup>h</sup>	21.91±0.36 <sup>H</sup>

\* CAPSUL<sup>®</sup> (A), HI-CAP<sup>®</sup> 100 (B), กัมอะราบิก (C) และ FA1604 (D)

\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

ND = Not Detect

a, b, c, e, f, g หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอน ที่เป็นตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการศึกษาความคงตัวของอิมัลชันเบื้องต้นทั้ง 4 ตำรับ ข้างต้น พบว่าอิมัลชันแต่รับตำรับมีการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคอิมัลชันและค่าศักย์ซีตาอิมัลชัน โดยเมื่อทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่งได้ 4 รอบ สามารถสังเกตเห็นอิมัลชันตำรับ (D) จากลักษณะคล้ายน้ำมัน ชั้นหนืดมากขึ้นจนคล้ายแป้งเปียก สอดคล้องกับค่าความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งทำให้ไม่สามารถวัดขนาดอนุภาคของอิมัลชันได้ ต่างจากตำรับอื่น ๆ อีก 3 ตำรับ ที่ยังสามารถวัดขนาดอนุภาคได้ และเมื่อวัดค่าศักย์ซีตาของตำรับ (D) หลังจากทดสอบความคงตัวครบ 6 รอบ พบว่ามีค่าเพิ่มสูงมากขึ้นมากจากเวลาเริ่มต้น ต่างจากตำรับอื่น ๆ อีก 3 ตำรับ ที่มีค่าศักย์ซีตาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนที่พบการเปลี่ยนแปลงของอิมัลชันชัดเจนรองลงมาจากตำรับ (D) คือตำรับ (A) โดยเมื่อวัดค่าศักย์ซีตาที่เวลาเริ่มต้นพบว่า

มีค่า 2.16-2.48 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในอิมัลชันทั้ง 4 ตำรับ จึงอาจแสดงถึงความความคงตัวของอิมัลชันตำรับ (A) น้อยที่สุด ซึ่งเมื่อการวัดขนาดอนุภาคอิมัลชันเปรียบเทียบที่เวลาเริ่มต้นกับเมื่อผ่านสภาวะเร่งครบ 6 รอบพบว่า ตำรับ (A) มีการเพิ่มขึ้นของขนาดหดยคอิมัลชันมากที่สุด ในขณะที่ตำรับ (B) และ (C) มีค่าศักย์ซีตาใกล้เคียงกันและมีการเพิ่มของขนาดอนุภาคอิมัลชันเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหลังผ่านสภาวะเร่งครบ 6 รอบ นอกจากนี้เมื่อทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่งผ่านไป 5 รอบ อิมัลชันตำรับ (A) มีการเปลี่ยนแปลงของสีอิมัลชันเข้มขึ้นจากสีขาวอมเหลืองเป็นสีเหลืองเข้ม ในขณะที่ตำรับ (B) และ (C) เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าไม่พบลักษณะที่เปลี่ยนแปลงชัดเจน จึงอาจสรุปได้ว่าอิมัลชันตำรับ (D) มีความคงตัวน้อยที่สุด รองลงมาได้แก่ ตำรับ (A) ส่วนตำรับ (B) และตำรับ (C) มีความคงตัวของตำรับค่อนข้างดีใกล้เคียงกัน

#### 4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว และคัดเลือกชนิดของสารห่อหุ้มที่เหมาะสมในการห่อหุ้มน้ำมันเสม็ดขาว

ในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวจากอิมัลชันเบื้องต้นทั้ง 4 ตำรับ โดยใช้กระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ได้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง โดยทดลองปรับสภาวะต่าง ๆ ของเครื่อง ได้แก่ อัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน 2-10% อุณหภูมิขาเข้า 160-200 °C และอัตราการไหลของอากาศขาเข้า 70-90% ลักษณะการพ่นฝอยของอิมัลชันในสภาวะต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.4

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบสภาวะต่าง ๆ ที่ทดลอง พบว่าสภาวะของเครื่องที่ปรับให้มีอัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน 5-8% อุณหภูมิขาเข้า 170-185°C และอัตราการไหลของอากาศขาเข้า 80-85% จะให้เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว จากแต่ละตำรับมากที่สุด นอกจากนี้พบว่าอิมัลชันตำรับ (B) มีความเหมาะสมในการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยได้ดีในสภาวะอื่นด้วย โดยมีเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาวที่ดีกว่าตำรับอื่น ๆ ในขณะที่ตำรับ (D) ไม่เหมาะสมในการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะต่าง ๆ ที่ทดสอบ เนื่องจากแห้งติดที่หัวฉีดได้ง่าย ทำให้การพ่นละอองฝอยของอิมัลชันทำได้ยากและติดบริเวณผนังของ Drying Chamber จึงได้ ไมโครแคปซูลในปริมาณน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบกับการพ่นฝอยอิมัลชันในสภาวะเครื่องที่เหมาะสม แสดงในภาพที่ 4.6

## ตารางที่ 4.4

สภาวะของเครื่องฟนฝอยแบบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งและปริมาณไมโครแคปซูลที่ได้

สภาวะเครื่องฟนฝอยแบบแห้ง	ตำรับอิมัลชัน*	ลักษณะการฟนฝอยของอิมัลชันในสภาวะที่กำหนด	ลักษณะไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว ที่ได้	% Yield**
Flow Rate: 2-6% Inlet: 160-175°C Aspirator: 70-75%	A	ส่วนใหญ่จะย้อยติดที่หัวฉีดและข้าง ๆ Drying Chamber	ผงแป้งละเอียด ร่วนและแห้ง สีขาวอมเหลือง มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	21.1±2.32
	B	ย้อยติดที่หัวฉีดและข้าง ๆ Drying Chamber บางส่วน แต่อิมัลชันยังพ่นผ่านหัวฉีดต่อไปได้ แต่ทำได้ช้า	ผงแป้งละเอียด ร่วนและแห้ง สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	29.43±0.70
	C	ส่วนใหญ่จะย้อยติดที่หัวฉีดและข้าง ๆ Drying Chamber	ผงแป้งละเอียด ร่วนและแห้ง สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	27.30±1.42
	D	อิมัลชันจะย้อยติดที่หัวฉีดและข้าง ๆ Drying Chamber จนหัวฉีดตัน	ผงแป้งละเอียด ร่วนและแห้ง สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	8.57±2.11
Flow Rate: 5-8% Inlet: 170-185°C Aspirator: 80-85%	A	อิมัลชันพ่นผ่านหัวฉีดดี ช่วงหลังจะติดที่หัวฉีดและ Drying Chamber	ผงแป้งละเอียด ร่วน สีขาวอมเหลือง มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	36.97±1.76
	B	อิมัลชันพ่นฝอยเป็นละอองละเอียด ติดหัวฉีดและด้านข้างเล็กน้อย	ผงแป้งละเอียด ร่วน สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	57.13±1.59
	C	อิมัลชันพ่นผ่านหัวฉีดดี ช่วงหลังจะติดที่หัวฉีดและ Drying Chamber	ผงแป้งละเอียด ร่วน สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	39.4±1.81
	D	ช่วงแรกอิมัลชันพ่นผ่านหัวฉีดดี ต่อมาอิมัลชันจะย้อยติดที่หัวฉีดและ Drying Chamber จนหัวฉีดตัน	ผงแป้งละเอียด ร่วน สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดขาวเล็กน้อย	9.47±2.32

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

สภาวะเครื่องฟ่น ฝอยแบบแห้ง	ตำรับ อิมัลชัน*	ลักษณะการฟ่นฝอย ของอิมัลชัน ในสภาวะที่กำหนด	ลักษณะไมโครแคปซูล ของน้ำมันเสม็ดขาว ที่ได้	% Yield**
Flow Rate: 6-10% Inlet: 185-200°C Aspirator: 85-90%	A	ช่วงหลังอิมัลชันจะติดที่ หัวฉีดและข้าง ๆ Drying Chamber	ผงแป้งละเอียด เกาะกันง่าย สีขาวอมเหลือง มีกลิ่น น้ำมันเสม็ดขาวเล็กน้อย	23.3±0.87
	B	อิมัลชันฟ่นฝอยเป็นละออง ละเอียด ติดหัวฉีดและ ด้านข้างเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่ม Flow Rate 8-10 % อิมัลชันจะ เริ่มติดมากที่หัวฉีด	ผงแป้งละเอียด เกาะกันง่าย สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเสม็ด ขาวเล็กน้อย	47.1±0.61
	C	หากเพิ่ม Flow Rate 7-10 % จะเริ่มติดที่หัวฉีดและข้าง ๆ Drying Chamber มาก	ผงแป้งละเอียด เกาะกันง่าย สีขาว มีกลิ่นน้ำมัน เสม็ดขาวเล็กน้อย	24.7±0.90
	D	อิมัลชันฟ่นฝอยได้น้อยมาก หัวฉีดตันอย่างรวดเร็ว จนอิมัลชันไม่สามารถ Feed ผ่านเข้า Drying Chamber ได้	ผงแป้งละเอียด เกาะกันง่าย สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเสม็ด ขาวเล็กน้อย	8.1±1.47

\* CAPSUL<sup>®</sup> (A), HI-CAP<sup>®</sup> 100 (B), กัมอะราบิก (C) และ FA1604 (D)

\*\* ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เมื่อพิจารณาดำรับอิมัลชันของสารห่อหุ้มที่มีความคงตัวที่ดีและเหมาะสมกับสภาวะเครื่องฟ่นฝอยแบบแห้ง พบว่า ตำรับ (B) มีความคงตัวดีและสามารถเตรียมเป็นไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวได้ปริมาณมากที่สุด ส่วนตำรับ (A) และ (C) สามารถเตรียมเป็นไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวได้ปริมาณใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามตำรับ (C) มีความคงตัวของอิมัลชันที่ดีกว่าตำรับ (A) ส่วนตำรับ (D) อาจสรุปจากผลการศึกษาได้ว่ามีความคงตัวของตำรับอิมัลชันน้อยและไม่เหมาะสมในการเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวในสภาวะของเครื่องที่กำหนด ดังนั้นจากผลการศึกษาในหัวข้อ 4.3 และหัวข้อ 4.4 จึงได้คัดเลือกสารห่อหุ้ม 2 ชนิด เพื่อใช้ศึกษาในขั้นต่อไป ได้แก่ HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมอะราบิก

ภาพที่ 4.5

การติดของอิมัลชันที่หัวฉีดและข้าง Drying Chamber ในกรณีที่ใช้สถานะ  
เครื่องฟ่นฝอยแบบแห้งไม่เหมาะสมกับตำรับอิมัลชัน



ภาพที่ 4.6

การฟ่นฝอยของอิมัลชันผ่านหัวฉีดและใน Drying Chamber ในกรณีที่ใช้สถานะ  
เครื่องฟ่นฝอยแบบแห้งเหมาะสมกับตำรับอิมัลชัน





## 4.5 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชา

### 4.5.1 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชาโดยใช้ HI-CAP® 100 เป็นสารห่อหุ้ม

ในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชา ได้ทดลองใช้น้ำมันเมล็ดชาต่อ HI-CAP® 100 ในอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตำรับ (B-1) ถึง (B-5) ตามลำดับ ดังนี้ 0.15:1 0.3:1 0.45:1 0.5:1 และ 0.55:1 โดยลักษณะภายนอกของไมโครแคปซูลทุกตำรับที่ได้คล้ายคลึงกัน เป็นผงละเอียด สีขาว มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดชาเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.7 และความหนืดของตำรับอิมัลชันที่วัดได้ และปริมาณเปอร์เซ็นต์ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชาที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 4.5

### 4.5.2 การผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชาโดยใช้กัมอะราบิกเป็นสารห่อหุ้ม

ในการผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชา ได้ทดลองปรับสัดส่วนของน้ำมันเมล็ดชาต่อกัมอะราบิก ในอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตำรับ (C-1) ถึง (C-5) ตามลำดับดังนี้ 0.15:1 0.3:1 0.45:1 0.5:1 และ 0.55:1 ซึ่งค่าความหนืดของตำรับอิมัลชันที่วัดได้ และปริมาณเปอร์เซ็นต์ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชาที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 4.5 และลักษณะภายนอกของไมโครแคปซูลที่ได้ทุกตำรับ เป็นผงละเอียด สีครีม มีกลิ่นน้ำมันเมล็ดชาเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.8

จากการวัดขนาดอนุภาคของหยดอิมัลชัน เพื่อศึกษาชนิดของสารห่อหุ้มและปริมาณของน้ำมันเมล็ดชาที่มีผลต่อขนาดหยดอิมัลชัน ผลการศึกษาในตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำมันเมล็ดชาเท่ากัน อิมัลชันตำรับ (C-1) ถึง (C-5) จะมีขนาดหยดอิมัลชันใหญ่กว่าอิมัลชันตำรับ (B-1) ถึง (B-5) นอกจากนี้ พบว่าตำรับอิมัลชันที่ใช้ปริมาณน้ำมันเมล็ดชามากขึ้น ขนาดหยดอิมัลชันจะมีแนวโน้มใหญ่ขึ้นและมีความหนืดสูงขึ้นด้วย โดยความหนืดที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณเปอร์เซ็นต์ของไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชาที่เตรียมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) และพบว่าตำรับอิมัลชัน (C-3) (C-4) และ (C-5) มีความหนืดมากและไม่เหมาะสมกับสถานะของเครื่องฟั่นฟอยแบบแห้ง เนื่องจากอิมัลชันไหลผ่านหัวฉีดและฟั่นฟอยได้ช้าจึงแห้งติดบริเวณหัวฉีดมาก ทำให้ได้ปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชาน้อยมาก

## ตารางที่ 4.5

ความหนืดของอิมัลชันและปริมาณเปอร์เซ็นต์ของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีดขาว

ตำรับ*	ขนาดอนุภาค อิมัลชัน** ( $\mu\text{m}$ )	ความหนืดของ อิมัลชัน** (cPs)	ปริมาณไมโครแคปซูลของ น้ำมันเสมีดขาว** (% Yield)
(B-1)	15.40 $\pm$ 0.68	39.67 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	57.5 $\pm$ 0.97 <sup>a</sup>
(B-2)	15.94 $\pm$ 0.67	47.27 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	53.1 $\pm$ 1.46 <sup>a</sup>
(B-3)	19.10 $\pm$ 1.36	66.47 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	41.9 $\pm$ 1.63 <sup>a</sup>
(B-4)	21.03 $\pm$ 1.51	69.97 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	32.6 $\pm$ 0.96 <sup>a</sup>
(B-5)	28.92 $\pm$ 0.64	70.57 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	26.2 $\pm$ 1.20 <sup>a</sup>
(C-1)	73.30 $\pm$ 1.93	168.70 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	39.3 $\pm$ 1.73 <sup>a</sup>
(C-2)	77.56 $\pm$ 1.09	182.03 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	24.1 $\pm$ 1.91 <sup>a</sup>
(C-3)	78.81 $\pm$ 0.92	194.27 $\pm$ 0.64 <sup>a</sup>	13.6 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>
(C-4)	79.11 $\pm$ 1.61	203.17 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	8.8 $\pm$ 0.61 <sup>a</sup>
(C-5)	82.15 $\pm$ 2.43	216.67 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	4.1 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>

\* B = HI-CAP<sup>®</sup> 100, C = Gum Arabic, Cajuput Oil : Coating; 0.15:1 (B-1), 0.3:1 (B-2), 0.45:1 (B-3), 0.50:1 (B-4), 0.55:1 (B-5), 0.15:1 (C-1), 0.3:1 (C-2), 0.45:1 (C-3), 0.50:1 (C-4), 0.55:1 (C-5)

\*\* ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

<sup>a</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลความหนืดของอิมัลชันและปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีดขาว ในแนวนอนมีความสัมพันธ์กันแบบผกผัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาพที่ 4.7  
ไมโครแคลซูลของน้ำมันเสม็ดขาว เมื่อใช้น้ำมันเสม็ดขาว  
ต่อ HI-CAP® 100 ในอัตราส่วนต่าง ๆ



(B-1)



(B-2)



(B-3)



(B-4)



(B-5)

ภาพที่ 4.8

ไมโครแคปซูลของน้ำมันสะมีดขาว เมื่อใช้น้ำมันสะมีดขาว  
ต่อกัมอะราบิก ในอัตราส่วนต่าง ๆ



(C-1)



(C-2)



(C-3)



(C-4)



(C-5)

#### 4.6 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของการกักเก็บน้ำมันเสมีคขาวในไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

จากผลการทดลองหัวข้อ 4.5 พบว่า ตำรับอิมัลชัน (C-3) (C-4) (C-5) มีความหนืดมากไม่เหมาะสมกับสถานะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและได้ปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีคขาวน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับอื่น ๆ ดังนั้น การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดและการศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูล ผู้วิจัยจึงคัดเลือกเฉพาะตำรับที่เหมาะสม ได้แก่ ไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีคขาวตำรับที่ (B-1) (B-2) (B-3) (B-4) (B-5) (C-1) และ (C-2) เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นถัดไป

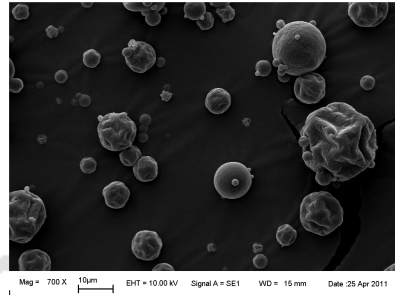
การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันเสมีคขาวที่มีผลต่อโครงสร้างภายนอกและภายในของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีคขาวที่เตรียมได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดเมื่อใช้สารหล่อหุ้มที่ต่างกัน พบว่า ขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีคขาวจะอยู่ในช่วงประมาณ 5-30  $\mu\text{m}$  โครงสร้างภายนอกของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้เป็นทรงกลม พื้นผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากสารหล่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 มีพื้นผิวที่เรียบกว่าอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากสารหล่อหุ้มกัมอะราบิก ซึ่งพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในของอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเสมีคขาว พบว่า โครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นทรงกลมกลวง และมีการฝังตัวของหยดน้ำมันเสมีคขาวที่สารหล่อหุ้ม ซึ่งจากภาพถ่ายแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันเสมีคขาว จะมีปริมาณหยดน้ำมันเสมีคขาวมากขึ้น และที่ปริมาณน้ำมันเสมีคขาวที่เท่ากัน สารหล่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 จะมีหยดน้ำมันเสมีคขาวฝังตัวอยู่มากกว่ากัมอะราบิก ดังแสดงในภาพที่ 4.9 - 4.10

#### 4.7 การประเมินวิธีวิเคราะห์ ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูล

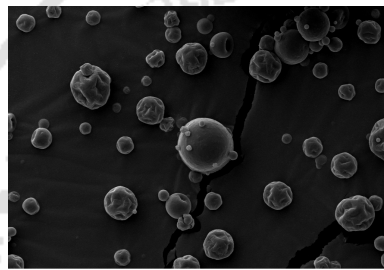
##### 4.7.1 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูล

จากการทดสอบความถูกต้องด้วยวิธี Standard Addition และวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ โดยการฉีดสารละลายมาตรฐาน 1,8-Cineol ที่เตรียมให้มีความเข้มข้น 80%, 100% และ 120% ของปริมาณ 1,8-Cineol ของตัวอย่าง โดยสุ่มเลือกตำรับ (B-2) ผลการทดสอบพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ แสดงดังตารางที่ 4.6

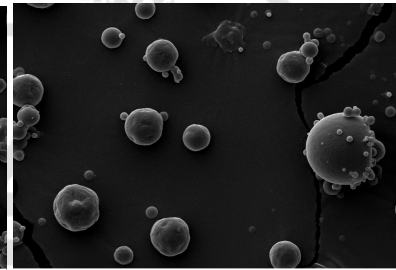
ภาพที่ 4.9  
โครงสร้างภายนอกของไมโครแคปซูลน้ำมันเมล็ดขาว



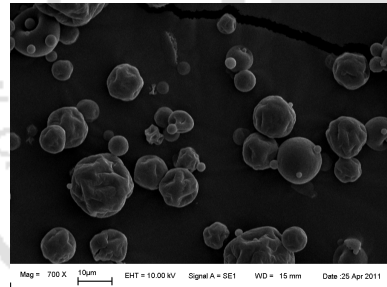
(B-1)



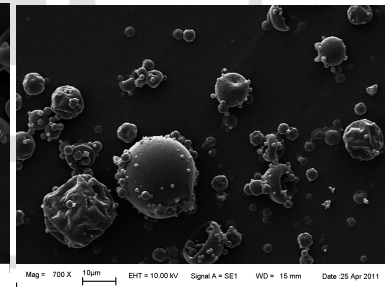
(B-2)



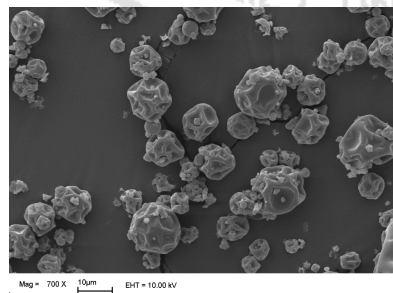
(B-3)



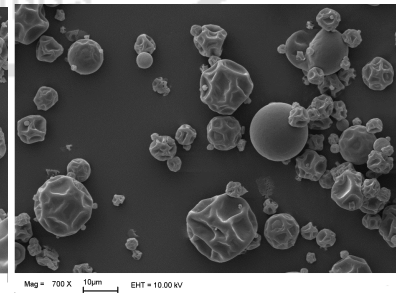
(B-4)



(B-5)



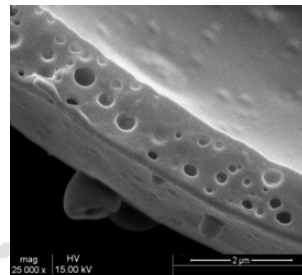
(C-1)



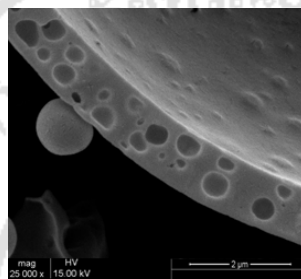
(C-2)



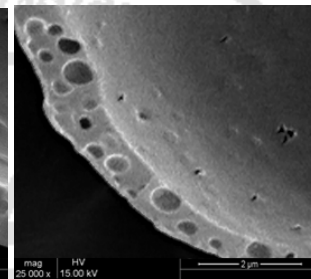
ภาพที่ 4.10  
โครงสร้างภายในของไมโครแคปซูลน้ำมันเมล็ดขาว



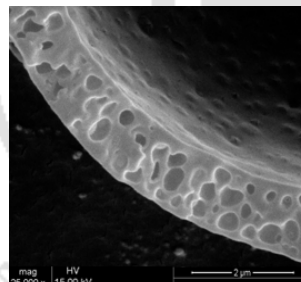
(B-1)



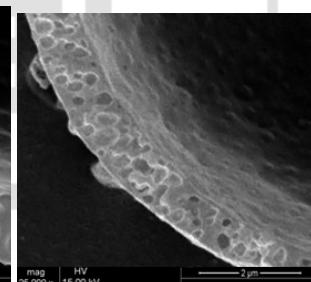
(B-2)



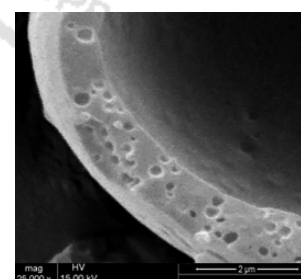
(B-3)



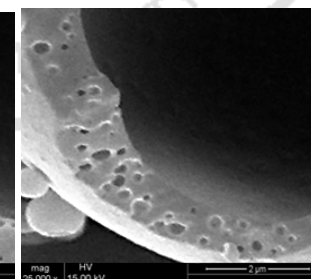
(B-4)



(B-5)



(C-1)



(C-2)

#### ตารางที่ 4.6

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol  
ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล

Cajuput Oil Determination	Concentration 1,8- Cineol, (mg/mL)	Level Spiked (mg/mL)	Spiked Samples* (mg/mL)	Found* (mg/mL)	Recovery* (%)	CV
Retention	3	2.4	4.37695±0.02	2.39638±0.02	99.849±0.65	0.64835
		3	5.04957±0.03	2.96705±0.03	98.902±0.85	0.85727
		3.6	5.56504±0.02	3.64041±0.02	101.123±0.52	0.51858

\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

#### 4.7.2 การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล

สุ่มเลือกตัวอย่าง (B-2) มาสกัดสาร 1,8-Cineol ตามวิธีหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล วิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ ตัวอย่างละ 6 ครั้ง โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกันและวิเคราะห์ในเวลาต่างกัน 3 วัน คำนวณค่าความเที่ยงในรูป % RSD พบว่าการวิเคราะห์ในวันเดียวกันและในการวิเคราะห์ในเวลาต่างกัน 3 วัน ได้ค่า % RSD ดังแสดงในตารางที่ 4.7 - 4.8

#### ตารางที่ 4.7

ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ในไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกัน

Intra-Assay Precision	Peak Area	Retention Time (Min)
Injection 1	28767584	12.54
Injection 2	28262960	12.55
Injection 3	29568265	12.55
Injection 4	29259542	12.54



ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

Intra-Assay Precision	Peak Area	Retention Time (Min)
Injection 5	29937837	12.55
Injection 6	29310245	12.55
RSD (%)		2.0325

ตารางที่ 4.8

ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้  
ภายในไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ต่างวันกัน

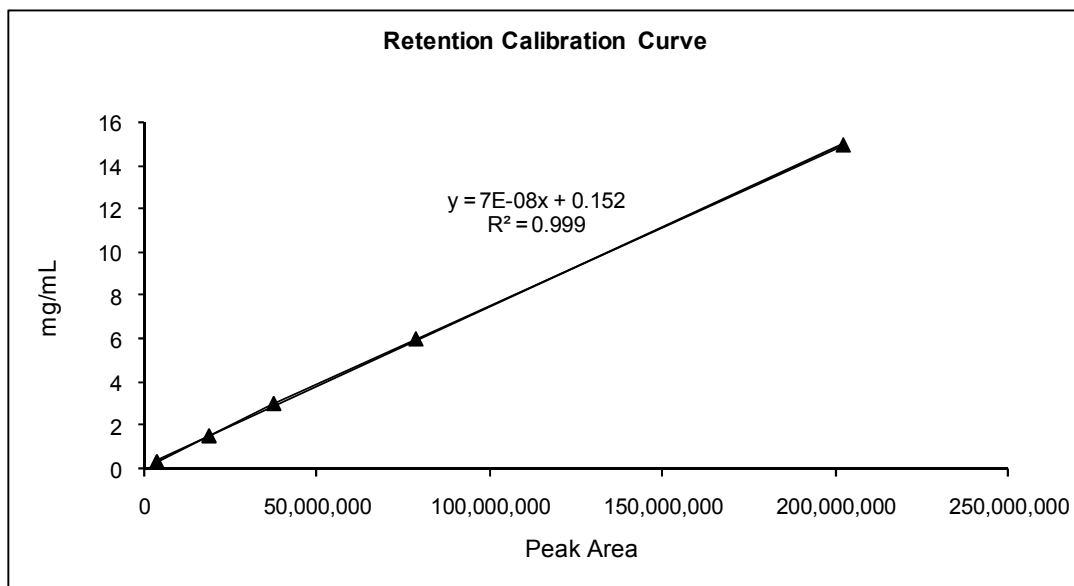
Intermediate Precision	Peak Area	Retention Time (min)
Injection 1	24001651	12.54
Injection 2	24381182	12.54
Injection 3	23147680	12.54
Injection 4	23858258	12.54
Injection 5	23533567	12.55
Injection 6	23826819	12.54
RSD (%)		1.7620

#### 4.7.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูล

จากการตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ สามารถหาค่า Correlation Coefficient ของสมการเส้นตรง  $y = 7E-08x + 0.1526$  ที่ได้จากกราฟมาตรฐานของ Retention Oil และอิมัลชัน (แผนภูมิที่ 4.1) ความเข้มข้นช่วง 0.2992-14.96 mg/mL ได้เท่ากับ 0.9998 ดังตารางที่ 4.9

### แผนภูมิที่ 4.1

กราฟมาตรฐานของ Retention Oil และอิมัลชัน



### ตารางที่ 4.9

ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐาน 1,8-Cineol ในการตรวจสอบ  
ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ ของวิธีวิเคราะห์หา  
ปริมาณ 1,8-Cineol ที่ถูกเก็บไว้ภายในไมโครแคปซูล

Cajuput Oil Determination	Concentration (mg/ml)	Peak Area			Average	CV	R <sup>2</sup>
		n1	n2	n3			
Retention	14.96	217729513	197417470	191296918	202147967	0.0685	0.9998
	5.984	80526991	79891732	74920090	78446271	0.0391	
	2.992	390464228	38350300	34495157	154436562	1.3236	
	1.496	19533022	18805506	17324393	18554307	0.0607	
	0.2992	3838564	3335200	3211349	3461704	0.096	

#### 4.8 การประเมินวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

##### 4.8.1 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1, 8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

จากการทดสอบความถูกต้องด้วยวิธี Standard Addition และวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ โดยฉีดสารละลายมาตรฐาน 1,8-Cineol ที่เตรียมให้มีความเข้มข้น 80%, 100% และ 120% ของปริมาณ 1,8-Cineol ของตัวอย่าง โดยสุ่มเลือกคำรับ (B-2) พบว่า ผลการทดสอบได้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10

การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1, 8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

Cajuput Oil Determination	Concentration 1,8- Cineol, (mg/mL)	Level Spiked (mg/mL)	Spiked Samples* (mg/mL)	Found* (mg/mL)	Recovery* (%)	CV
Surface Oil	0.002	0.0016	0.00526±0.00	0.00156±0.00	97.316±3.52	3.62112
		0.0020	0.00540±0.00	0.00191±0.00	95.977±5.04	5.24872
		0.0024	0.00538±0.00	0.00232±0.00	96.767±3.73	3.84984

\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

##### 4.8.2 การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

สุ่มเลือกตัวอย่าง (B-2) มาสกัดสาร 1,8-Cineol ตามวิธีหาปริมาณที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล วิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ ตัวอย่างละ 6 ครั้ง โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกันและวิเคราะห์ในเวลาต่างกัน 3 วัน คำนวณค่าความเที่ยงในรูป % RSD พบว่าการวิเคราะห์ในวันเดียวกัน และในการวิเคราะห์ในเวลาต่างกัน 3 วัน ได้ค่า % RSD ดังแสดงในตารางที่ 4.11 - 4.12

ตารางที่ 4.11

ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ หาปริมาณ 1,8-Cineol  
ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ในวันเดียวกัน

Intra-Assay Precision	Peak Area	Retention Time (Min)
Injection 1	121285	12.56
Injection 2	134764	12.55
Injection 3	110996	12.56
Injection 4	130226	12.56
Injection 5	110930	12.56
Injection 6	113585	12.56
RSD (%)		8.5436

ตารางที่ 4.12

ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol  
ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ต่างวันกัน

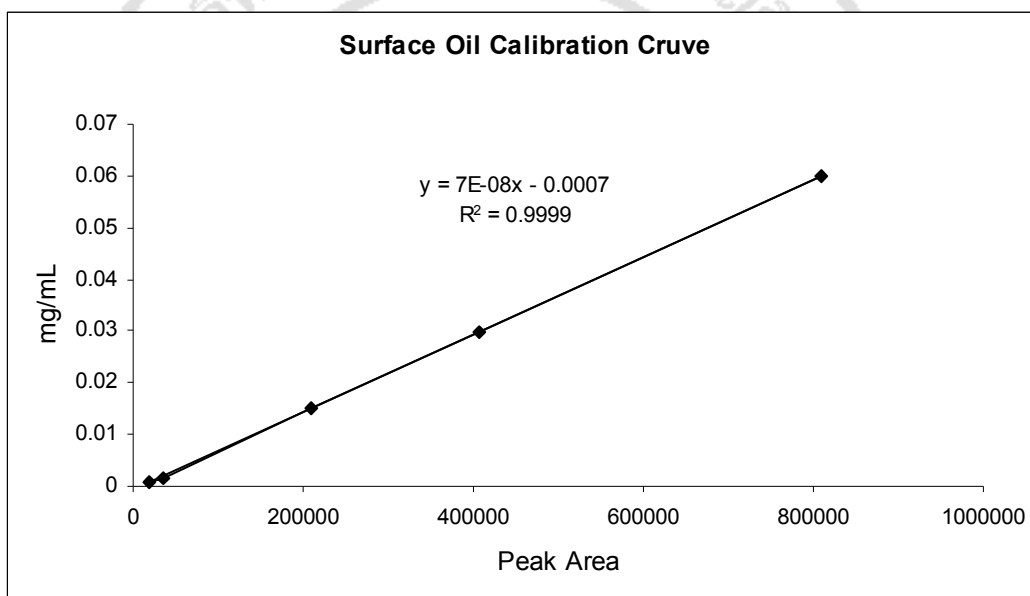
Intermediate Precision	Peak Area	Retention Time (Min)
Injection 1	86182	12.55
Injection 2	95925	12.55
Injection 3	100293	12.56
Injection 4	109627	12.56
Injection 5	88103	12.56
Injection 6	106170	12.56
RSD (%)		9.6938

#### 4.8.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

จากการตรวจสอบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ สามารถหาค่า Correlation Coefficient ของสมการเส้นตรง  $y = 7E-08x - 0.0007$  ที่ได้จากกราฟมาตรฐานของ Surface Oil (แผนภูมิที่ 4.2) ซึ่งมีความเข้มข้นในช่วง 0.000748-0.05984 mg/mL ได้เท่ากับ 0.9999 ดังตารางที่ 4.13

แผนภูมิที่ 4.2

กราฟมาตรฐานของ Surface Oil



### ตารางที่ 4.13

ค่าความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟ ของสารมาตรฐาน 1,8-Cineol ในการตรวจสอบ  
ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับค่าที่วัดได้ ของวิธีวิเคราะห์  
หาปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล

Cajuput Oil Determination	Concentration (mg/mL)	Peak Area			Average	CV	R <sup>2</sup>
		n1	n2	n3			
Surface oil	0.05984	827563	836521	767058	810381	0.0466	0.9999
	0.02992	417475	412116	390174	406588	0.0356	
	0.01496	228868	201404	194496	208256	0.0873	
	0.001496	34377	34320	33880	34192	0.008	
	0.000748	18069	17831	17408	17769	0.0188	

#### 4.9 การศึกษาความคงตัวของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล

การศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาวที่ได้จากกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย จะเก็บไมโครแคปซูลไว้ในภาชนะปิดสนิท แล้วเก็บในตู้ดูดความชื้นที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1\%$  และนำไมโครแคปซูลออกมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น วัดขนาดอนุภาค และวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ทุก ๆ 2 สัปดาห์เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

##### 4.9.1 การศึกษาลักษณะของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว

จากการชักตัวอย่างไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวที่เก็บในตู้ดูดความชื้นที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1\%$  ทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์พบว่า ไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวยังคงสภาพเดิม เป็นผงแห้ง เนื้อละเอียดสีขาว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี และมีกลิ่นของน้ำมันเสม็ดขาวเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.11

ภาพที่ 4.11  
ลักษณะไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวที่ถูกเก็บไว้  
ที่เวลาเริ่มต้นและที่ 6 สัปดาห์



#### 4.9.2 การวัดขนาดไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันเมล็ดขาว โดยชักตัวอย่างออกมาวัดขนาดอนุภาคทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ตลอด 6 สัปดาห์ อนุภาคไมโครแคปซูลแต่ละตำรับคงตัวดี ขนาดอนุภาคค่อนข้างคงที่ และพบว่าที่เวลาเริ่มต้น ขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลใหญ่ที่สุด คือ ตำรับ (C-2) รองลงมาได้แก่ ตำรับ (C-1) และ (B-3) (B-4)

(B-5) ซึ่งมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนตัวรับที่มีขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลเล็กที่สุด ได้แก่ ตัวรับ (B-1) รองลงมาได้แก่ ตัวรับ (B-2) ดังแสดงในตารางที่ 4.14

#### ตารางที่ 4.14

ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว ในระหว่างการเก็บรักษา  
ที่อุณหภูมิแวดล้อม ค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1$  %

ตัวรับ*	ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว** ( $\mu\text{m}$ )			
	ที่เวลาเริ่มต้น	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
(B-1)	12.27 $\pm$ 0.57	12.38 $\pm$ 0.52	12.16 $\pm$ 0.30	12.61 $\pm$ 0.53
(B-2)	13.47 $\pm$ 0.45	13.60 $\pm$ 0.90	14.55 $\pm$ 1.25	13.13 $\pm$ 0.96
(B-3)	23.45 $\pm$ 0.65	24.25 $\pm$ 0.74	25.54 $\pm$ 1.22	23.53 $\pm$ 1.19
(B-4)	22.77 $\pm$ 2.40	23.49 $\pm$ 1.31	22.27 $\pm$ 0.16	24.95 $\pm$ 0.86
(B-5)	23.49 $\pm$ 1.24	24.99 $\pm$ 1.27	24.57 $\pm$ 2.11	25.21 $\pm$ 1.83
(C-1)	28.77 $\pm$ 1.02	26.71 $\pm$ 1.33	28.26 $\pm$ 1.05	27.50 $\pm$ 0.75
(C-2)	31.07 $\pm$ 1.63	29.83 $\pm$ 0.62	29.90 $\pm$ 1.21	28.52 $\pm$ 1.43

\* [B = HI-CAP<sup>®</sup> 100, Cajuput Oil : Coating; 0.15:1 (B-1), 0.3:1 (B-2), 0.45:1 (B-3), 0.50:1 (B-4), 0.55:1 (B-5), C = Gum Arabic; 0.15:1 (C-1), 0.3:1 (C-2)]

\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

#### 4.9.3 การตรวจวัดปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาว

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว โดยชักตัวอย่างออกมาวัดความชื้นทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์พบว่า ตลอด 6 สัปดาห์ ไมโครแคปซูลมีความคงตัวค่อนข้างดี ยังคงมีลักษณะเหมือนเดิม เป็นผงละเอียดสีขาว มีกลิ่นของน้ำมันเสม็ดขาวเล็กน้อย โดยมีปริมาณความชื้นตลอด 6 สัปดาห์ค่อนข้างคงที่ ไมโครแคปซูลที่ได้จากตัวรับที่ใช้ปริมาณน้ำมันเสม็ดขาวเท่ากันแต่ใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดกัน ไมโครแคปซูลตัวรับ (C-1)



และ (C-2) มีความชื้นสูงกว่าไมโครแคปซูลตำรับ (B-1) และ (B-2) นอกจากนี้พบว่า จากทุกตำรับ เมื่อปริมาณน้ำมันเมล็ดขาวมากขึ้น อนุภาคไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ จะมีความชื้นลดลง ดังตารางที่ 4.15

**ตารางที่ 4.15**  
**ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลน้ำมันเมล็ดขาว ในระหว่างการเก็บรักษาที่**  
**อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 50±1%**

ตำรับ*	ปริมาณความชื้น** (%)			
	ที่เวลาเริ่มต้น	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
(B-1)	3.83±0.03	5.31±0.06	5.89±0.10	6.43±0.04
(B-2)	3.46±0.11	5.05±0.03	5.57±0.02	5.83±0.06
(B-3)	3.33±0.06	4.30±0.04	4.64±0.04	5.07±0.01
(B-4)	2.81±0.03	4.36±0.05	4.67±0.01	4.96±0.16
(B-5)	2.78±0.14	5.04±0.01	5.07±0.04	5.15±0.04
(C-1)	7.58±0.01	8.12±0.01	9.14±0.01	10.07±0.03
(C-2)	5.15±0.04	7.21±0.05	8.10±0.07	9.35±0.03

\* [B = HI-CAP<sup>®</sup> 100, Cajuput Oil : Coating; 0.15:1 (B-1), 0.3:1 (B-2), 0.45:1 (B-3), 0.50:1 (B-4), 0.55:1 (B-5), C = Gum Arabic; 0.15:1 (C-1), 0.3:1 (C-2)]

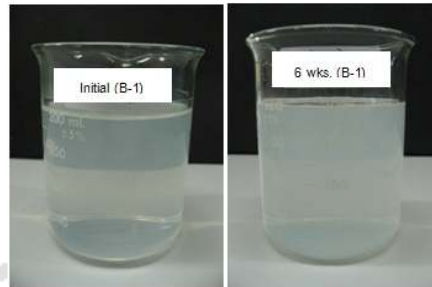
\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง

#### 4.9.4 การศึกษาการละลายของไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาว

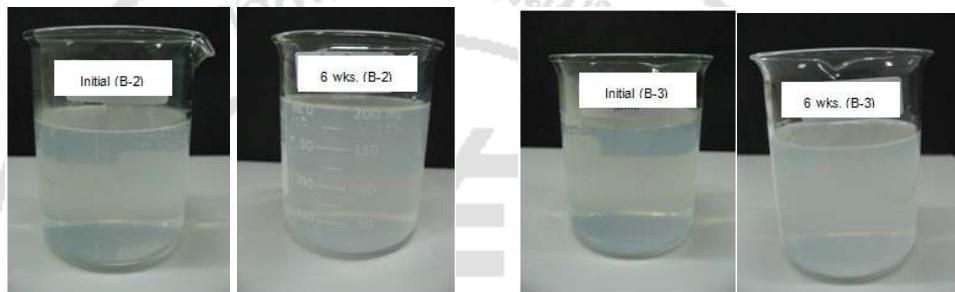
ในการศึกษาการละลายของไมโครแคปซูล ได้ทดลองชั่งตัวอย่างผงไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวทั้ง 7 ตำรับ ตัวอย่างละ 1 g มาละลายในน้ำปราศจากไอออน 200 mL พบว่าไมโครแคปซูลทุกตำรับสามารถละลายน้ำได้ง่ายและรวดเร็ว สารละลายที่ได้มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.12 แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ในการละลาย วัดค่าความเป็นกรดค่า และวัดค่าความหนืดของสารละลาย ผลการศึกษาที่ได้ แสดงในตารางที่ 4.16 – 4.18

ภาพที่ 4.12

ลักษณะสารละลายที่ได้จากไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดขาวในน้ำปราศจากไอออน

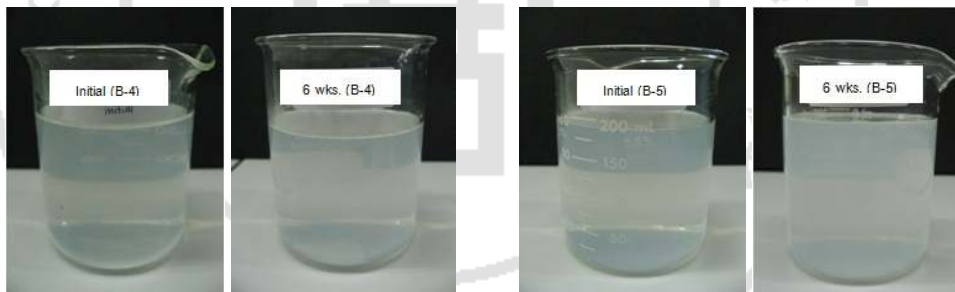


(B-1) ที่เวลาเริ่มต้นและ 6 สัปดาห์



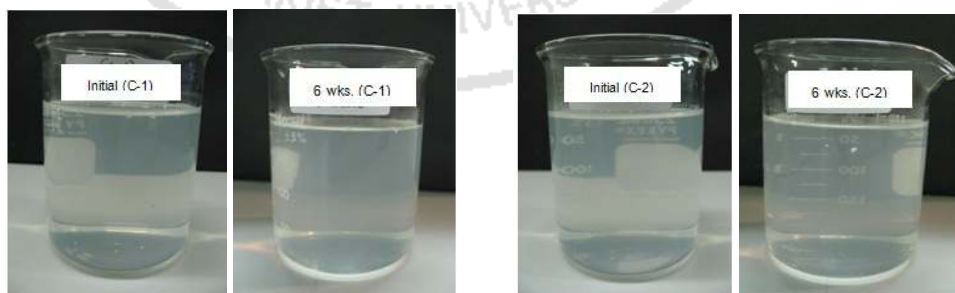
(B-2) ที่เวลาเริ่มต้นและ 6 สัปดาห์

(B-3) ที่เวลาเริ่มต้นและ 6 สัปดาห์



(B-4) ที่เวลาเริ่มต้นและ 6 สัปดาห์

(B-5) ที่เวลาเริ่มต้นและ 6 สัปดาห์



(C-1) ที่เวลาเริ่มต้นและ 6 สัปดาห์

(C-2) ที่เวลาเริ่มต้นและ 6 สัปดาห์

ตารางที่ 4.16  
เวลาที่ใช้ในการละลายไมโครแคปซูลน้ำมันส้มคขาว ให้อยู่ในรูปสารละลาย

ตำรับ*	เวลาที่ใช้ในการละลาย (นาทิจ)**			
	ที่เวลาเริ่มต้น	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
(B-1)	1.0±0.0	2.3±0.6	3.3±0.6	5.7±0.6
(B-2)	1.3±0.6	2.3±0.6	3.6±0.6	5.3±0.6
(B-3)	1.7±0.6	2.3±0.6	4.0±1.0	5.3±0.6
(B-4)	2.0±0.0	2.0±0.0	4.3±0.6	5.3±0.6
(B-5)	2.7±0.6	3.0±0.0	3.7±1.2	5.3±0.6
(C-1)	1.3±0.6	1.7±0.6	1.3±0.6	1.7±0.6
(C-2)	1.3±0.6	1.7±0.6	1.3±0.6	1.3±0.6

\* [B = HI-CAP<sup>®</sup> 100, Cajuput Oil : Coating; 0.15:1 (B-1), 0.3:1 (B-2), 0.45:1 (B-3), 0.50:1 (B-4), 0.55:1 (B-5), C = Gum Arabic; 0.15:1 (C-1), 0.3:1 (C-2)]

\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.17  
ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายไมโครแคปซูลน้ำมันส้มคขาว

ตำรับ*	ค่าความเป็นกรดต่าง**			
	ที่เวลาเริ่มต้น	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
(B-1)	4.14±0.00	4.14±0.01	4.14±0.01	4.13±0.01
(B-2)	4.25±0.00	4.25±0.00	4.25±0.01	4.25±0.00
(B-3)	4.32±0.00	4.32±0.00	4.31±0.01	4.31±0.01

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

ตำรับ*	ค่าความเป็นกรดต่าง**			
	ที่เวลาเริ่มต้น	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
(B-4)	4.40±0.00	4.39±0.01	4.37±0.00	4.36±0.01
(B-5)	4.42±0.00	4.42±0.01	4.41±0.01	4.41±0.02
(C-1)	4.74±0.00	4.74±0.01	4.73±0.01	4.72±0.01
(C-2)	4.78±0.01	4.78±0.00	4.77±0.01	4.77±0.01

\* [B = HI-CAP<sup>®</sup> 100, Cajuput Oil : Coating; 0.15:1 (B-1), 0.3:1 (B-2), 0.45:1 (B-3), 0.50:1 (B-4), 0.55:1 (B-5), C = Gum Arabic; 0.15:1 (C-1), 0.3:1 (C-2)]

\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.18

ค่าความหนืดของสารละลายไมโครแคปซูลน้ำมันส้มขาว

ตำรับ*	ค่าความหนืด (cPs)**			
	ที่เวลาเริ่มต้น	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์	6 สัปดาห์
(B-1)	15.0±0.12	15.1±0.20	15.1±0.10	15.0±0.3
(B-2)	15.1±0.12	15.1±0.12	15.3±0.10	15.2±0.06
(B-3)	15.3±0.06	15.3±0.06	15.2±0.12	15.3±0.10
(B-4)	15.3±0.12	15.4±0.15	15.3±0.12	15.4±0.06
(B-5)	15.8±0.17	15.8±0.15	15.8±0.17	15.7±0.25
(C-1)	17.5±0.12	17.4±0.20	17.7±0.21	17.7±0.31
(C-2)	17.7±0.23	17.7±0.26	18.3±0.62	17.9±0.12

\* [B = HI-CAP<sup>®</sup> 100, Cajuput Oil : Coating; 0.15:1 (B-1), 0.3:1 (B-2), 0.45:1 (B-3), 0.50:1 (B-4), 0.55:1 (B-5), C = Gum Arabic; 0.15:1 (C-1), 0.3:1 (C-2)]

\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง

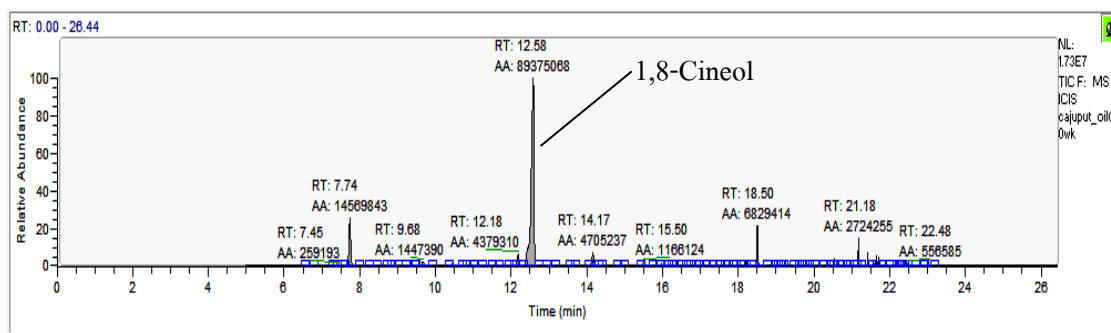
#### 4.9.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล

เนื่องจาก 1,8-Cineol เป็นองค์ประกอบหลักและเป็นสารให้กลิ่นในน้ำมันเสม็ดขาว ดังนั้น การศึกษาความคงตัวของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูลจะวิเคราะห์หาปริมาณสาร 1,8-Cineol โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี และใช้วิธีวิเคราะห์ที่ ถูกพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว จากภาพที่ 4.13 แสดงโครมาโทแกรมของน้ำมันเสม็ดขาว พบว่ามี 1,8-Cineol เป็นองค์ประกอบหลัก และมี Retention Time 12.58 นาที ตรงกับ Retention Time ของสารมาตรฐาน 1,8-Cineol ดังภาพที่ 4.14 โดยพื้นที่ใต้พีคของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในอนุภาคไมโครแคปซูล และพื้นที่ใต้พีคของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในอิมัลชันของน้ำมันเสม็ดขาว จะคำนวณเป็นปริมาณสาร 1,8-Cineol ได้จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน  $y = 7E-08x + 0.1526$  นอกจากนี้ ปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลจะคำนวณจากพื้นที่ใต้พีคของโครมาโทแกรม โดยใช้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน  $y = 7E-08x - 0.0007$

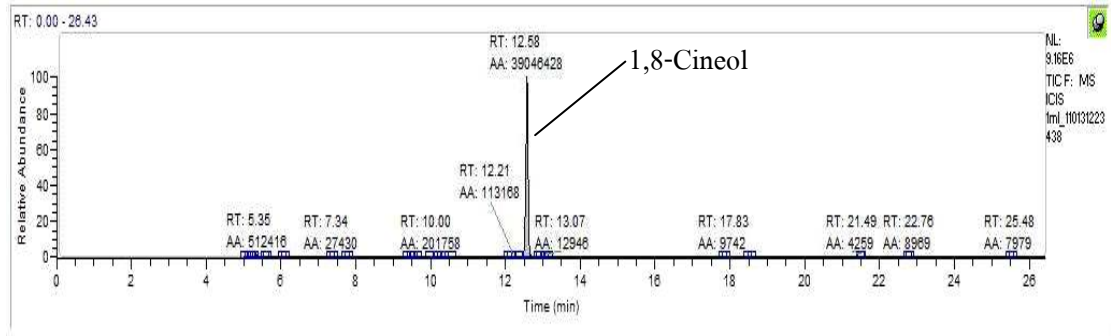
โดยการศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูลน้ำมันเสม็ดขาว จะเก็บไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ไว้ในภาชนะปิดสนิท เก็บในตู้ดูดความชื้นที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1\%$  เป็นเวลา 6 สัปดาห์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล เปรียบเทียบกับน้ำมันเสม็ดขาวที่ไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ซึ่งเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นภายใต้สภาวะเดียวกัน

ภาพที่ 4.13

ตัวอย่างโครมาโทแกรมของน้ำมันเสม็ดขาว



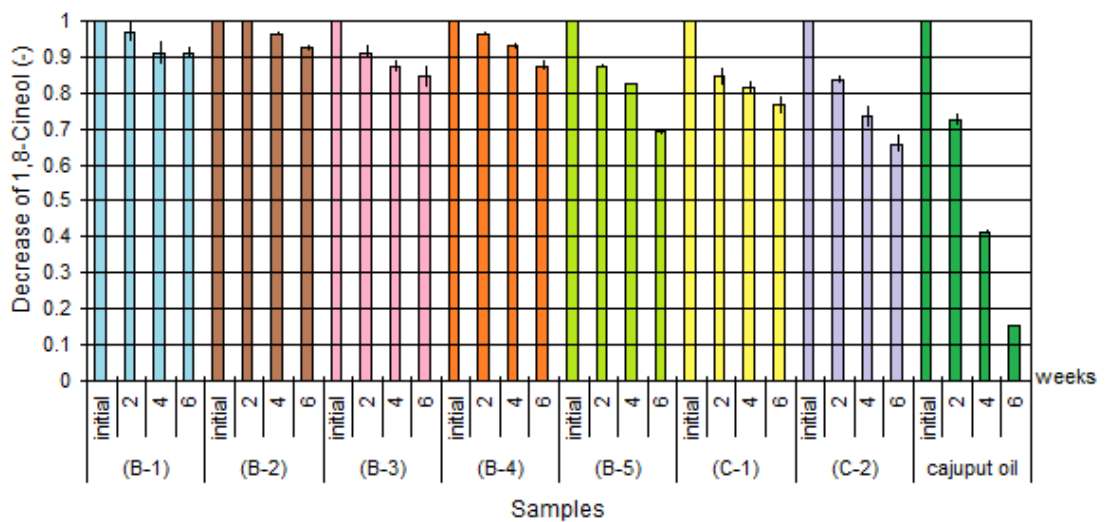
ภาพที่ 4.14  
แสดงตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน 1,8-Cineol



จากการวิเคราะห์ปริมาณสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูลทุก 2 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับน้ำมันเสม็ดขาวที่ไม่ได้กักเก็บในไมโครแคปซูล พบว่า ไมโครแคปซูลของน้ำมันเสม็ดขาวทุกตัวรับ มีการลดลงของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาวซ้ำกว่าสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาวที่ไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ดังแผนภูมิที่ 4.3

แผนภูมิที่ 4.3

การลดลงของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บ  
และไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ในระยะเวลา 6 สัปดาห์



จากการหาปริมาณ 1,8-Cineol ของน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล โดยคำนวณจากปริมาณ 1,8-Cineol ในไมโครแคปซูลและในอิมัลชัน รวมทั้งการหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูล โดยคำนวณจากปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวและในอนุภาคไมโครแคปซูล (ดังตารางที่ 4.19) จากผลการศึกษาพบว่า ที่เวลาเริ่มต้น คำรับ (B-2) มีเปอร์เซ็นต์ของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูลสูงที่สุด คือ 58.17% รองลงมาคือ คำรับ (B-1) มีเปอร์เซ็นต์ของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล 55.12% ส่วนคำรับ (C-2) มีเปอร์เซ็นต์ของการกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูลน้อยที่สุด คือ 33.94% นอกจากนี้พบว่า ทุกคำรับมีเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันเสม็ดขาวที่กักเก็บได้ในไมโครแคปซูล โดยคำรับที่มีเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลสูงที่สุดคือ คำรับ (B-5) รองลงมาคือ คำรับ (C-1) ส่วนคำรับ (B-2) มีเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.19

เปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ในอิมัลชัน ในไมโครแคปซูล และที่ผิวไมโครแคปซูลที่เวลาเริ่มต้น

คำรับ*	ปริมาณ 1,8-Cineol ในอิมัลชัน** (mg/mL)	ปริมาณ 1,8-Cineol ในไมโครแคปซูล** (mg/mL)	ปริมาณ 1,8-Cineol ที่ผิวไมโครแคปซูล** (mg/mL)	Encapsulation** (%)	Surface Oil Content** (%)
(B-1)	1.8126±0.02	0.9990±0.00	0.0018±0.00	55.12±0.97	0.18±0.02
(B-2)	4.6346±0.03	2.6962±0.04	0.0021±0.00	58.17±0.52	0.08±0.01
(B-3)	8.9949±0.12	4.4085±0.02	0.0097±0.00	49.02±0.90	0.22±0.01
(B-4)	10.3325±0.14	4.4669±0.02	0.0084±0.00	43.24±0.77	0.19±0.01
(B-5)	10.8714±0.16	4.2844±0.02	0.0242±0.00	39.41±0.43	0.56±0.03
(C-1)	1.8430±0.03	0.8499±0.01	0.0020±0.00	46.12±0.98	0.24±0.02
(C-2)	4.8031±0.07	1.6230±0.03	0.0024±0.00	33.94±0.03	0.15±0.01

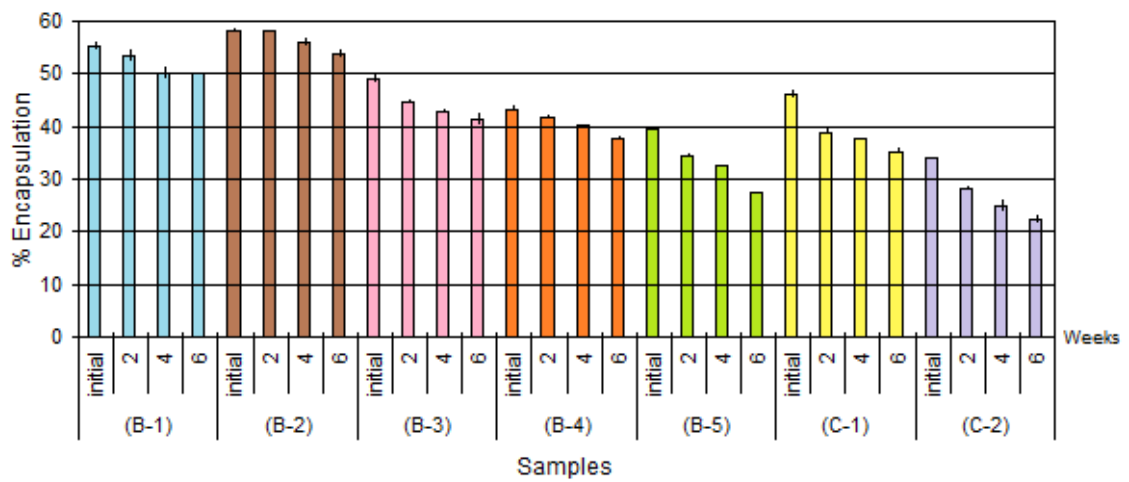
\* [B = HI-CAP<sup>®</sup> 100, Cajuput Oil : Coating; 0.15:1 (B-1), 0.3:1 (B-2), 0.45:1 (B-3), 0.50:1 (B-4), 0.55:1 (B-5), C = Gum Arabic; 0.15:1 (C-1), 0.3:1 (C-2)]

\*\* วิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง

นอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบความคงตัวของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาว ที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลทุกตัวรับ พบว่าตัวรับ (B-1) และ (B-2) มีความคงตัวของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสม็ดขาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลที่ดีใกล้เคียงกัน โดยมีการลดลงของสารสำคัญ 1,8-Cineol น้อยมาก ดังแผนภูมิที่ 4.4

แผนภูมิที่ 4.4

เปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำมันเสม็ดขาวในไมโครแคปซูล ในระยะเวลา 6 สัปดาห์





## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 อภิปรายผล

##### 5.1.1 การเตรียมตัวรับและการศึกษาความคงตัวในสภาวะเร่งของตัวรับอิมัลชันเบื้องต้น จากน้ำมันเมล็ดข้าวและสารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ

ในการศึกษาเบื้องต้น โดยทดสอบความคงตัวของตัวรับอิมัลชันที่เตรียมจากสารห่อหุ้มต่างชนิดกัน 4 ชนิด ซึ่งทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ CAPSUL<sup>®</sup> (A), HI-CAP<sup>®</sup> 100 (B), กัมอะราบิก (C), FA1604 (D) โดยใช้ปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าว 15% ของสารห่อหุ้มเท่ากันทุกตัวรับ เพื่อเตรียมตัวรับอิมัลชันเบื้องต้น 4 ตัวรับ พบว่าอิมัลชันทุกตัวรับเป็นชนิดน้ำมันในน้ำ โดยอนุภาคอิมัลชันติดสีย้อมชนิดละลายในน้ำมัน

จากการศึกษาความคงตัวของอิมัลชัน โดยผ่านสภาวะเร่งครบ 6 รอบ พบว่า อิมัลชันของสารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ที่มีความคงตัวดีที่สุดใกล้เคียงกัน ได้แก่ สารห่อหุ้ม (B) และ (C) รองลงมาได้แก่ (A) และ (D) ตามลำดับ โดยพบว่า ทุกตัวรับไม่มีการแยกชั้นของอิมัลชัน ทุกตัวรับมีค่าความหนืดของอิมัลชันทุกตัวรับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเฉพาะอิมัลชันที่ใช้สารห่อหุ้ม (D) มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นมาก สามารถสังเกตเห็นอิมัลชันมีลักษณะชั้นหนืดคล้ายครีม นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรดต่างของอิมัลชันแต่ละตัวรับมีแนวโน้มลดลง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และส่วนอิมัลชันที่ใช้สารห่อหุ้ม (A) มีการเปลี่ยนแปลงของสีอิมัลชันจากสีเหลืองครีม เป็นสีเหลืองเข้ม ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารห่อหุ้ม ส่วนอิมัลชันที่ใช้สารห่อหุ้ม (B) และ (C) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า จึงแสดงว่า ชนิดของสารห่อหุ้มมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน

##### 5.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว และคัดเลือกชนิดของสารห่อหุ้มที่เหมาะสมในการกักเก็บน้ำมันเมล็ดข้าว

ในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว โดยปรับเปลี่ยนสภาวะดังนี้ อุณหภูมิขาเข้า 160-200°C อัตราการไหลของอากาศขาเข้า 70-90% และอัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน 2-10% หากสภาวะของกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีความเหมาะสม ควรป้อนอิมัลชันเข้าเครื่องได้ในอัตราเร็ว

ที่พอดี ไม่ติดค้างหรืออุดตันหัวฉีด โดยพิจารณาจากปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่เตรียมได้ ซึ่งจะถูกอากาศร้อนภายในเครื่องฟ่นฝอยแบบแห้ง พัดและแยกลงสู่ Collecting Vessel อย่างต่อเนื่อง

จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสม ที่ทำให้ดำรับอิมัลชันเบื้องต้นสามารถพ่นผ่านหัวฉีดได้อย่างต่อเนื่องและได้ปริมาณไมโครแคปซูลมากที่สุด คือ สภาวะอุณหภูมิขาเข้า 170-185 °C อัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน 5-8% อัตราการไหลของอากาศขาเข้า 80-85% ซึ่งเป็นสภาวะที่สามารถป้อนอิมัลชันเข้าเครื่องได้ในอัตราเร็วที่พอดีกับการระเหยไปของน้ำในหยดอิมัลชัน เกิดเป็นอนุภาคไมโครแคปซูล ซึ่งจะสังเกตได้จาก มีการเหนียวติดของอิมัลชันและอนุภาคไมโครแคปซูลที่ขึ้นบริเวณ Drying Chamber น้อยมาก

### 5.1.3 ผลของชนิดของสารห่อหุ้มและปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าวที่มีต่อขนาดอนุภาคอิมัลชัน

เนื่องจาก ขนาดอนุภาคหยดอิมัลชันมีผลต่อค่าการคงอยู่ของน้ำมันหอมระเหยหรือสารให้กลิ่นเป็นอย่างมาก (Reineccius, 1988 ; Sootitantawat and Others, 2003) จากผลการทดลองวัดขนาดอนุภาคอิมัลชันทั้ง 10 ดำรับ ดังตารางที่ 4.5 พบว่าสารห่อหุ้มต่างชนิดกันจะทำให้ขนาดอนุภาคหยดอิมัลชันมีขนาดแตกต่างกัน โดยจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าว โดยใช้สารห่อหุ้มปริมาณเท่าเดิม ขนาดของหยดอิมัลชันจะใหญ่ขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ (มาลินี แก้วปัญหา, 2552) ซึ่งทำการศึกษขนาดอนุภาคอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันตะไคร้ 20 40 50 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด (น้ำหนักน้ำมันตะไคร้และสารห่อหุ้ม) และเปรียบเทียบระหว่างสารห่อหุ้ม 2 ชนิด ได้แก่ แป้งคัปปา CAPSUL<sup>®</sup> และกัมอะราบิกผสมมอลโตเดคทรินในอัตราส่วน 1:3 ตามลำดับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันตะไคร้จะทำให้ขนาดของอนุภาคอิมัลชันใหญ่ขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าเนื่องจากสารห่อหุ้ม (B) และ (C) มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ เมื่อนำมาเตรียมเป็นอิมัลชันโดยให้สารห่อหุ้มมีปริมาณเท่าเดิม แต่เพิ่มสัดส่วนของน้ำมันเมล็ดข้าวมากขึ้น จะทำให้สารห่อหุ้มจับกับน้ำมันเมล็ดข้าวได้น้อยลง เมื่อวัดขนาดหยดอิมัลชันจะพบว่า มีขนาดใหญ่ขึ้น และแสดงถึงความคงตัวของอิมัลชันน้อยลง หากตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน หยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่อาจเกิดการรวมตัว (Coalescence) และอาจแยกชั้นเป็นชั้นของน้ำมันและน้ำที่ไม่เข้ากัน นอกจากนี้พบว่า อิมัลชันทุกดำรับของสารห่อหุ้ม (C) มีขนาดอนุภาคอิมัลชันใหญ่กว่าดำรับอิมัลชันทุกดำรับที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (B) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก กระบวนการเกิดอิมัลชัน สารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 (B) มีโครงสร้างของแป้งคัปปาที่มีส่วนของ Hydrophilic chain เป็นเส้นตรง ซึ่งจะล้อมจับกับน้ำบริเวณพื้นที่ผิวของหยดน้ำมันได้อย่างหนาแน่น หยดน้ำมันจึงกลับมารวมตัวกันได้ยากและทำให้ขนาดอนุภาคอิมัลชันมีขนาดเล็ก ต่างจากโครงสร้างของสาร

ห่อหุ้ม (C) คือกัมมะระบิกที่มีกิ่งก้านสาขาของโปรตีนและโพลีแซกคาไรด์มาก ทำให้มีการจัดเรียงตัวของส่วนที่ชอบน้ำบริเวณผิวของหยดน้ำมันในกระบวนการเกิดอิมัลชันได้หนาแน่นน้อยกว่า จึงทำให้หยดอิมัลชันมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งทำให้อิมัลชันที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (C) มีความคงตัวน้อยกว่า (มาลินี แก้วปัญหา, 2552) ซึ่งอาจทำนายได้ว่าอิมัลชันที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (C) มีแนวโน้มจะเกิดการสูญเสียของน้ำมันเสริมคาวได้ง่ายเมื่อผ่านกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และอาจมีผลทำให้น้ำมันเสริมคาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลนั้นมีปริมาณน้อยกว่าอิมัลชันที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (B)

#### 5.1.4 ผลของชนิดของสารห่อหุ้มที่มีต่อความหนืดของอิมัลชัน และเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันเสริมคาวที่ผลิตได้

จากผลการศึกษาพบว่า แม้สถานะของเครื่องพ่นฝอยแบบแห้งจะถูกปรับจนเหมาะสมแล้ว แต่อย่างไรก็ตาม ชนิดของสารห่อหุ้มที่ต่างกัน มีผลต่อความสามารถในการไหลของอิมัลชันผ่านหัวฉีดเข้าเครื่องพ่นฝอยแบบแห้งได้ยากง่ายแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากความหนืดของอิมัลชัน โดยตำรับอิมัลชันของสารห่อหุ้ม (B) สามารถป้อนผ่านหัวฉีดได้ง่าย ทำให้สามารถเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อนได้สูง นอกจากนั้น อิมัลชันที่คิดบริเวณหัวฉีดและ Drying Chamber น้อยมาก และผงไมโครแคปซูลที่ได้จะถูกแยกออกมาเก็บใน Collecting Vessel ปริมาณมากกว่าตำรับอื่น ๆ และใช้เวลาในการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยสั้น จึงประหยัดพลังงานซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่า ส่วนตำรับอิมัลชันของสารห่อหุ้ม (C) เมื่อนำมาทดลองทำให้แห้งแบบพ่นฝอยพบว่า อิมัลชันจะถูกป้อนผ่านหัวฉีดและไม่ติดหัวฉีดเฉพาะในช่วงแรกเท่านั้น ซึ่งอาจเกิดจากความหนืดของอิมัลชันของสารห่อหุ้ม (C) ซึ่งสูงกว่าตำรับอิมัลชันที่เตรียมด้วยสารห่อหุ้ม (B) ก่อนข้างมาก นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาความหนืดของตำรับอิมัลชันที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (D) ซึ่งมีความหนืดสูงกว่าตำรับอื่น ๆ มาก ได้เกิดปัญหาในการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยเช่นกัน แต่ในกรณีของสารห่อหุ้ม (D) เกิดการติดและอุดตันหัวฉีดตั้งแต่ต้นกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และต้องปรับอัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อนต่ำมาก จึงจะสามารถควบคุมให้อิมัลชันผ่านหัวฉีดไปได้โดยไม่ล้นบริเวณหัวฉีดออกมา ซึ่งทำให้ใช้เวลาและสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตสูง นอกจากนี้ ความหนืดที่สูงมากเกินไปยังส่งผลให้ปริมาณของอนุภาคไมโครแคปซูลนั้นลดลงตามไปด้วย เนื่องจาก ไม่สามารถฉีดอิมัลชันออกเป็นละอองได้ ทำให้เกิดการติดตามผนังของ Drying Chamber ขึ้น

ดังนั้น ความหนืดที่สูงมากเกินไป ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของสารห่อหุ้มแต่ละชนิด จึงทำให้อาจไม่เหมาะสมกับการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาความหนืดของ

ตำรับอิมัลชันที่เตรียมจากสารหล่อหุ้ม (C) กลับพบว่าตำรับมีความหนืดสูงมากเช่นกัน แต่ที่สภาวะของเครื่องฟ้นฝอยแบบแห้งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ยังสามารถทำให้แห้งแบบฟ้นฝอยได้ปริมาณของอนุภาคไมโครแคปซูลมาก รองจากตำรับอิมัลชันที่เตรียมจากสารหล่อหุ้ม (B) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการทำให้แห้งแบบฟ้นฝอยจะมากหรือน้อยนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับความหนืดของอิมัลชันที่เหมาะสมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารหล่อหุ้มชนิดนั้น ๆ ด้วย ซึ่งแม้ว่าตำรับอิมัลชันที่เตรียมจากสารหล่อหุ้ม (C) จะมีความหนืดสูง แต่เนื่องจากสารหล่อหุ้ม (C) ก็กัมอะราบิกมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีที่ความเข้มข้นสูงถึง 50% และที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 40% จะมีความหนืดต่ำและมีการไหลแบบ Newtonian แตกต่างจากสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเฉือน (Shear Rate) หรือถูกแรงเฉือนจากหัวฉีด (Cunningham, 2011) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้อาจเป็นเหตุผลที่ทำให้อิมัลชันของสารหล่อหุ้มกัมอะราบิก ยังสามารถไหลผ่านหัวฉีดต่อเนื่อง ไม่แห้งอุดตันหัวฉีด ทำให้อิมัลชันฟ้นเป็นละอองฝอยขนาดเล็ก ๆ ได้ดี เมื่อสัมผัสอากาศร้อนภายใน Drying Chamber ไมโครแคปซูลที่ได้จึงแห้งและติดบริเวณ Drying Chamber น้อยกว่าตำรับอิมัลชันอื่นที่มีความหนืดน้อยกว่า

จึงสรุปได้ว่า นอกจากการใช้สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำให้แห้งแบบฟ้นฝอยแล้ว คุณสมบัติของสารหล่อหุ้มที่ใช้เตรียมอิมัลชันก็เป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อความสามารถในการไหลของอิมัลชันผ่านหัวฉีด การติดของอิมัลชันตามบริเวณหัวฉีดและ Drying Chamber ซึ่งมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ด้วย ดังนั้น ชนิดของสารหล่อหุ้มที่แตกต่างกันและความหนืดของอิมัลชันเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของปริมาณอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันเมล็ดข้าวที่ผลิตได้

#### 5.1.5 ผลของชนิดของสารหล่อหุ้มและปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าว ที่มีต่อลักษณะทางจุลภาคของไมโครแคปซูล

จากการศึกษาภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด สังเกตได้ว่าโครงสร้างภายนอกของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้เป็นทรงกลม อนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ใช้สารหล่อหุ้ม (B) และ (C) จะมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5-30  $\mu\text{m}$  และหากพิจารณาร่วมกับผลการวัดขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันเมล็ดข้าวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า ชนิดของสารหล่อหุ้มมีผลต่อขนาดไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว ที่เตรียมจากสารหล่อหุ้ม (C) จะได้ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าของสารหล่อหุ้ม (B) ซึ่งอธิบายได้ว่าการเพิ่มปริมาณของน้ำมันเมล็ดข้าวในอิมัลชัน และ/หรือการ

ใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดกันจะมีผลเพิ่มความหนืดอิมัลชัน จะมีผลทำให้ตำรับอิมัลชันมีความหนืดสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งเมื่ออิมัลชันที่มีความหนืดสูงถูกพ่นผ่านหัวฉีด จะทำให้อิมัลชันกระจายเป็นละอองฝอยได้น้อย ละอองอิมัลชันจึงมีขนาดใหญ่ เมื่อละอองอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่สัมผัสอากาศร้อนภายในเครื่องพ่นฝอยแบบแห้ง ละอองอิมัลชันจะแห้งกลายเป็นผงไมโครแคปซูลอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ไมโครแคปซูลที่ผลิตได้มีขนาดใหญ่ และเมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในของอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว พบว่า โครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นทรงกลมกลวง และมีการฝังตัวของหยดน้ำมันเมล็ดข้าวที่สารห่อหุ้ม ซึ่งจากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าวจะส่งผลให้มีปริมาณหยดน้ำมันเมล็ดข้าวภายในอนุภาคไมโครแคปซูลมากขึ้น นอกจากนี้ พบว่าที่ปริมาณน้ำมันเมล็ดข้าวที่เท่ากัน ไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (B) จะมีหยดน้ำมันเมล็ดข้าวฝังตัวอยู่ภายในและที่ผิวมากกว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (C) ทั้งนี้เนื่องจาก อิมัลชันของสารห่อหุ้มกัมอะราบิก (C) มีความหนืดสูงกว่าอิมัลชันของสารห่อหุ้ม (B) ก่อนข้างมาก ซึ่งความหนืดของอิมัลชันที่มีความสูงมากเกินไปจะส่งผลให้ละอองอิมัลชันจากหัวฉีดมีขนาดอนุภาคใหญ่แล้วถูกแรงเฉือนของหัวฉีดทำให้อนุภาคอิมัลชันแตกออก จึงทำให้การสูญเสียของน้ำมันหอมระเหยไปมาก และพบจำนวนหยดน้ำมันหอมระเหยที่ฝังอยู่ที่ไมโครแคปซูลน้อย (Soottitantawat and Others. 2005b ; Reineccius. 1988)

นอกจากนี้พบว่า พื้นผิวภายนอกของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากสารห่อหุ้ม (B) มีพื้นผิวที่เรียกว่าอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้จากสารห่อหุ้ม (C) ซึ่งมีพื้นผิวมีลักษณะขรุขระ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Soottitantawat and Others. (2005a) และงานวิจัยของ Rosenberg, Kopelman and Talmon. (1990) ซึ่งสาเหตุที่ผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสารห่อหุ้มกัมอะราบิก มีรูซึ่งแตกแหว่และพื้นผิวไมโครแคปซูลมีลักษณะขรุขระเป็นรอยพับ อธิบายได้ว่า สำหรับกระบวนการระเหยน้ำในหยดอิมัลชันของสารห่อหุ้ม (C) อุณหภูมิขาเข้าที่ใช้สูงมากเกินไป กล่าวคือ ในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เมื่อหยดอิมัลชันของสารห่อหุ้ม (C) สัมผัสอากาศร้อน น้ำในหยดอิมัลชันจะระเหยแห้งไปอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วจนผิวภายนอกไม่มีช่วงเวลาในการเรียงตัว จึงเกิดเป็นรอยพับขรุขระ ในขณะที่หยดอิมัลชันของสารห่อหุ้ม (B) เหมาะสมกับอุณหภูมิขาเข้ามากกว่า การระเหยของน้ำออกจากหยดอิมัลชันจึงเกิดพอดีกับการหดตัวเกิดเป็นของผิวไมโครแคปซูล ทำให้มีผิวภายนอกของไมโครแคปซูลที่เรียบกว่า ดังนั้น ปัจจัยของอุณหภูมิขาเข้าที่ใช้ รวมถึงคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดจึงมีผลต่อลักษณะทางจุลภาคของไมโครแคปซูล (Finney. 2002)

### 5.1.6 การศึกษาความคงตัวของสารสกัดน้ำมันเมล็ดชาในไมโครแคปซูล

#### 5.6.1.1 อัตราส่วนของปริมาณน้ำมันเมล็ดชาต่อสารห่อหุ้มที่มีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน ขนาดอนุภาคอิมัลชัน และการกักเก็บน้ำมันเมล็ดชาในไมโครแคปซูลที่เวลาเริ่มต้น

จากการศึกษาปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลที่เวลาเริ่มต้น แสดงในตารางที่ 4.19 พบว่า ที่ปริมาณน้ำมันเมล็ดชาเท่ากัน คำรับที่ใช้สารห่อหุ้ม (B) สามารถกักเก็บสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเมล็ดชาในไมโครแคปซูลได้มากกว่าคำรับที่ใช้สารห่อหุ้ม (C) ซึ่งอาจแสดงว่า คุณสมบัติเฉพาะตัวของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดมีผลต่อการกักเก็บน้ำมันเมล็ดชาในไมโครแคปซูล ทั้งนี้เนื่องจาก หากสารห่อหุ้มมีคุณสมบัติสามารถจับกับน้ำมันหอมระเหยได้ดี จะสามารถกักเก็บน้ำมันหอมระเหยไว้ได้มากและเกิดการรั่วไหลของน้ำมันหอมระเหยได้ยาก

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของคำรับอิมัลชัน ในตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณน้ำมันเมล็ดชาต่อสารห่อหุ้มให้มากขึ้น ค่าความหนืดของคำรับอิมัลชัน จะเพิ่มขึ้น และอนุภาคอิมัลชันมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้อิมัลชันที่ป้อนผ่านหัวฉีดจะถูกแรงเฉือนจากหัวฉีดบีบให้อนุภาคอิมัลชันแตกออกได้ง่าย และเกิดการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยไป เนื่องจากความร้อนในกระบวนการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำมันเมล็ดชาในไมโครแคปซูลมีแนวโน้มลดลง (Soottitantawat and Others. 2003, 2005) ดังตารางที่ 4.19

อย่างไรก็ตามพบว่า คำรับที่ใช้อัตราส่วนน้ำมันเมล็ดชาต่อสารห่อหุ้ม (B) ในปริมาณ 0.15:1 และ 0.30:1 แม้อิมัลชันทั้งสองคำรับจะมีค่าความหนืดต่างกัน แต่มีเปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำมันเมล็ดชาในไมโครแคปซูลใกล้เคียงกัน คือ 55.12% และ 58.17% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากคำรับอื่น ๆ ที่เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำมันเมล็ดชาในไมโครแคปซูลจะต่างกันมากและมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันเมล็ดชาเป็น 0.30:1 พบว่า ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดชาที่ผลิตได้มีปริมาณใกล้เคียงกันมาก (ดังตารางที่ 4.5) ซึ่งแสดงว่าสภาวะของเครื่องยังเหมาะสม สามารถพ่นฝอยละอองอิมัลชันได้ ไม่ติดหัวฉีด ทำให้ละอองอิมัลชันที่ถูกพ่นเข้าสู่เครื่อง แล้วแห้งเกิดเขื่อเลือกผ่านที่เปลือกของไมโครแคปซูลอย่างรวดเร็ว เมื่อสัมผัสอากาศร้อนภายใน Drying Chamber จึงเกิดการสูญเสียสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเมล็ดชาน้อยมาก ดังนั้น คำรับอิมัลชันที่ใช้ปริมาณน้ำมันเมล็ดชามาก (0.30:1) จึงสามารถกักเก็บน้ำมันเมล็ดชาได้มากกว่าคำรับที่ใช้น้ำมันเมล็ดชาน้อย (0.15:1)

### 5.6.1.2 ความคงตัวของสาร 1,8-Cineol ในน้ำมันเมล็ดข้าวที่ถูกกักเก็บ และไม่ได้กักเก็บในไมโครแคปซูล

ในการศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว ได้เก็บไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ดังกล่าวไว้ในภาชนะปิดสนิทและเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นที่ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1\%$  เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยวัดความชื้น วดขนาดอนุภาค และวิเคราะห์ปริมาณสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเมล็ดข้าวในไมโครแคปซูล ทุก 2 สัปดาห์

เมื่อเก็บน้ำมันเมล็ดข้าวที่ไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ไว้ในตู้ดูดความชื้นภายใต้สภาวะเดียวกันกับไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว จากแผนภูมิที่ 4.3 พบว่าในเวลา 6 สัปดาห์ ปริมาณสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเมล็ดข้าวที่ไม่ได้ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล ลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ไมโครแคปซูลที่กักเก็บน้ำมันเมล็ดข้าวไว้ใน ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ถูกกักเก็บได้ เนื่องจากเปลือก (Shell) ที่ได้จากสารห่อหุ้ม จะทำช่วยปกป้องน้ำมันเมล็ดจากการสัมผัสและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศภายนอก ลดการเสื่อมสภาพของน้ำมันเมล็ดข้าวได้

### 5.6.1.3 เปอร์เซนต์ของปริมาณสาร 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูล และความคงตัวของสาร 1,8-Cineol ที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล

จากตารางที่ 4.19 เมื่อพิจารณาดำรับที่ใช้สารห่อหุ้มชนิดเดียวกัน พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหย ไม่ได้ทำให้เปอร์เซนต์ปริมาณ 1,8-Cineol ของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้ปริมาณเปอร์เซนต์ของปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ หากพิจารณาชนิดของสารห่อหุ้ม จะพบว่า ดำรับที่ใช้สารห่อหุ้ม (B) จะมีปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลน้อยกว่า สารห่อหุ้ม (C) ซึ่งปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลจะมีผลต่อความคงตัวของไมโครแคปซูล กล่าวคือ ปริมาณหยดน้ำมันหอมระเหยที่ผิวมาก จะเป็นการเพิ่มรูเปิดที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลให้มากขึ้น ซึ่งทำให้หยดน้ำมันหอมระเหยที่ถูกกักเก็บไว้ในอนุภาคไมโครแคปซูล สัมผัสกับอากาศ ความชื้นในสิ่งแวดล้อมได้ง่ายขึ้น จึงเกิดการเสื่อมสภาพของสารสำคัญที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูลได้ง่าย (Risch and Reineccius. 1988) ดังนั้น ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ใช้สารห่อหุ้ม (B) จึงมีความคงตัวดีกว่า (C) นั่นคือ สารสำคัญ 1,8-Cineol ที่กักเก็บในไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้ม (B) จะลดลงช้ากว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ใช้สารห่อหุ้ม (C) ดังแผนภูมิที่ 4.4

นอกจากนั้น จากภาพที่ 4.10 จะสังเกตผิวของอนุภาคไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสารห่อหุ้ม (C) มีรูซึ่งแตกหักออกจากแรงเฉือนของหัวฉีด ซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้หยดน้ำมัน

เมล็ดข้าวที่ถูกกักเก็บไว้ในอนุภาคไมโครแคปซูลสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก เกิดการเสื่อมสภาพของสารสำคัญในน้ำมันเมล็ดข้าวได้ และส่งผลให้ความคงตัวของไมโครแคปซูลที่ผลิตจากสารห่อหุ้ม (C) มีความคงตัวน้อยด้วย

#### 5.6.1.4 ขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว และความคงตัวของไมโครแคปซูลของ น้ำมันเมล็ดข้าว

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าในระยะเวลาที่ทดสอบ 6 สัปดาห์ ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวทุกตำรับ มีปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และขนาดอนุภาคค่อนข้างคงที่ เมื่อทดสอบการละลายของผงไมโครแคปซูลพบว่ายังสามารถละลายน้ำได้ง่าย ใช้เวลาในการละลายน้อย และผงไมโครแคปซูลละลายได้หมดไม่มีตะกอน ดังภาพที่ 4.12 สารละลายของไมโครแคปซูลที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดและค่าความหนืด (ตารางที่ 4.16-4.18) จึงแสดงถึงความคงตัวที่ดีของอนุภาคไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่เตรียมได้ ซึ่งอาจแสดงว่าการเก็บอนุภาคไมโครแคปซูลในตู้ดูดความชื้นที่มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1\%$  ทำให้อนุภาคมีความคงตัวที่ดี ไม่ทำให้ไมโครแคปซูลขึ้นและ/หรือเกาะกันเป็นก้อน สอดคล้องกับการศึกษาของ Partanen. and Others. (2002) และ Soottitantawat and Others. (2005a) ที่พบว่า ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่น ที่เก็บไว้ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50% และ 51% ตามลำดับ จะมีความคงตัวดี

## 5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบความคงตัวในสภาวะเร่ง 6 สัปดาห์ของอิมัลชันที่ใช้ น้ำมันเมล็ดข้าวปริมาณ 15% ของสารห่อหุ้ม และใช้สารห่อหุ้มปริมาณ 30% ของตำรับ โดยแต่ละตำรับเตรียมจากสารห่อหุ้มที่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ กัมอะราบิกและแป้งคัดแปรที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ HI-CAP<sup>®</sup> 100, CAPSUL<sup>®</sup> และ FA1604 พบว่า อิมัลชันที่เตรียมจาก HI-CAP<sup>®</sup> 100 และกัมอะราบิกมีความคงตัวดีกว่าอิมัลชันที่เตรียมจาก CAPSUL<sup>®</sup> และ FA1604 เมื่อนำอิมัลชันแต่ละตำรับทดลองผลิตเป็นไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าว โดยใช้เทคนิคการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยที่ผ่านการทดสอบสภาวะแล้ว พบว่า ที่สภาวะอัตราเร็วในการป้อนอิมัลชันเข้าสายป้อน 5-8% อุณหภูมิขาเข้า 170-185°C และอัตราการไหลของอากาศขาเข้า 80-85% ไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ใช้สารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 มีเปอร์เซ็นต์ปริมาณไมโครแคปซูลของน้ำมันเมล็ดข้าวที่ผลิตได้ มากที่สุด คือ 57.13% รองลงมาได้แก่ไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้มกัมอะราบิก และ CAPSUL<sup>®</sup> คือ 39.4% และ 36.97% ตามลำดับ ส่วนไมโครแคปซูลจากสารห่อหุ้ม FA1604



ไม่เหมาะต่อการเตรียมเป็นไมโครแคปซูล เนื่องจากคิติดหัวฉีดของเครื่องได้ง่าย จึงได้ปริมาณไมโครแคปซูลน้อย 9.47%

ดังนั้น จึงคัดเลือกสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 และสารห่อหุ้มกัมอะราบิก มาเตรียมอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดขาว 10 ตำรับ แล้วผลิตเป็นไมโครแคปซูล โดยปรับปริมาณของน้ำมันเมล็ดขาวต่อสารห่อหุ้มในอัตราส่วน 0.15:1 0.3:1 0.45:1 0.5:1 และ 0.55:1 เมื่อศึกษาลักษณะอนุภาคของไมโครแคปซูลภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5-30  $\mu\text{m}$  ภายในกลวง มีการฝังตัวของหยดน้ำมันเมล็ดขาวที่สารห่อหุ้ม และผิวภายนอกของไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 มีผิวที่เรียบกว่าไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้มกัมอะราบิก

เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเมล็ดขาวที่ผิวและภายในไมโครแคปซูล ด้วยเครื่อง GC-MS และใช้วิธีวิเคราะห์ที่ถูกพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว พบว่าไมโครแคปซูลที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมันเมล็ดขาวต่อสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 ที่ 0.30:1 สามารถกักเก็บสารสำคัญ 1,8-Cineol ได้มากที่สุด และมีปริมาณใกล้เคียงกับไมโครแคปซูลที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมันเมล็ดขาวต่อสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 ที่ 0.15:1 โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณ 1,8-Cineol ของน้ำมันเมล็ดขาวที่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล 58.17% และ 55.12% ตามลำดับ นอกจากนี้ไมโครแคปซูลทุกตำรับมีปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเมล็ดขาวที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลน้อยมาก 0.08-0.56% ซึ่งแสดงว่าผิวไมโครแคปซูลมีหยดน้ำมันเกาะอยู่น้อย ระบุเปิดบริเวณผิวจึงน้อยทำให้สามารถปกป้องสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเมล็ดขาวที่กักเก็บไว้ในไมโครแคปซูลจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ซึ่งจากการศึกษาความคงตัวของน้ำมันเมล็ดขาวที่ถูกกักเก็บและไม่ถูกกักเก็บในไมโครแคปซูล เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ สามารถชะลอการเสื่อมสลายของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเมล็ดขาวได้มาก เมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดขาวที่ไม่ได้เตรียมเป็นไมโครแคปซูล ซึ่งมีการลดลงของสารสำคัญ 1,8-Cineol อย่างรวดเร็ว โดยไมโครแคปซูลที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมันเมล็ดขาวต่อสารห่อหุ้ม HI-CAP<sup>®</sup> 100 ที่ 0.30:1 สามารถชะลอการเสื่อมสลายของสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเมล็ดขาวได้ดีที่สุด และมีปริมาณสารสำคัญ 1,8-Cineol ของน้ำมันเมล็ดขาวที่ผิวอนุภาคไมโครแคปซูลน้อยที่สุด

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

เพื่อศึกษาการกักเก็บน้ำมันเสมีดขาวในไมโครแคปซูล โดยใช้เทคนิคทำให้แห้งแบบพ่นฝอยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางการพัฒนา ปรับปรุงเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาการเตรียมสารห่อหุ้มที่เป็นสารผสมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อวิเคราะห์ผลของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ที่มีต่อคุณสมบัติของอนุภาคไมโครแคปซูล และความคงตัวของอนุภาคที่ได้
- 2) พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ โดยนำไมโครแคปซูลที่ผลิตได้ มาทดลองเตรียมเป็นตำรับเครื่องสำอางสुकนธบำบัด หรือผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกาย เนื่องจากน้ำมันเสมีดขาวมีสรรพคุณด้านยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้หลายชนิด และสารสำคัญ 1,8-Cineol ในน้ำมันเสมีดขาวทำให้อมกิ่นหอมสดชื่น



### บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2535) **มาตรฐานผลิตภัณฑ์เบื้องต้นสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร.**  
กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- ฉันทรา พูนศิริ. (ตุลาคม-มีนาคม 2549) “เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21 (4) หน้า 57-60.
- ธนิตย์ หนูยิ้ม และ สมชัย เบญจชัย. (2550) **คู่มือการแปรรูปไม้เสม็ดขาว.** นราธิวาส : โรงพิมพ์สุโขทัย.
- นิภา เบญจพงศ์. (กรกฎาคม-กันยายน 2539) “แมลงกับสมุนไพร” วารสารองค์การเภสัชกรรม. 22 (3) หน้า 35-42.
- บุญชัย พิมพ์นาค. (2552) **การทำเอ็นแคปซูเลทกรดซิตริก โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและการประยุกต์ใช้ในเครื่องปรุงรสผง.** วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร) กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ประไพ วงศ์สินคงมั่น และคณะ. (2005) **การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและคุณสมบัติทางกายภาพเคมีของน้ำมันหอมระเหย.** [ออนไลน์] แหล่งที่มา : [http://budgetitc.dmso.moph.go.th/research/show\\_detail.php?rs\\_id=188](http://budgetitc.dmso.moph.go.th/research/show_detail.php?rs_id=188) (15 พฤษภาคม 2554)
- พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ. (2545) **สுகนธบำบัด.** เชียงใหม่ : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มาลินี แก้วปัญญา. (2552) **การกักเก็บน้ำมันตะไคร้โดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอย.** วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี) กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา อินทรานุปกรณ์. (2552) “การเตรียมสารสกัดจากสมุนไพร” ใน **เครื่องสำอางเพื่อความงามและสุขภาพ.** มั่นชนา ภาณุมากรณ์. หน้า 27-50. กรุงเทพมหานคร : กรุงเทพเวชสาร.
- รัตนา อินทรานุปกรณ์. (2553) **สารสกัดจากสมุนไพร: การเตรียมและการแยกสารสำคัญด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี.** สมุทรปราการ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- ลัดดา ศรีสุวรรณ. (2552) **การศึกษาความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นบนกระดาษด้วยวิธีเอนแคปซูเลท.** วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์) สงขลา : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- วุฒิ วุฒิธรรมเวช. (2540) สารานุกรมสมุนไพร. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.
- วรรณ วิทยาพิภพสกุล และ วิชชุตา ธาดา. (2553) การพัฒนาน้ำมันยาบัวปากสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Candida albicans*. โครงการงานพิเศษ ภ.บ. (สาขาวิชาเภสัชกรรม) กรุงเทพมหานคร : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2553) น้ำมันหอมระเหยและสுகอนธบำบัด. [ออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR22.pdf> (14 กันยายน 2554)
- อภิรักษ์ สุทธิธารวัช. (ม.ป.ป.) การปรับปรุงคุณภาพกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยนาโนแคปซูล. [ออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.nanotec.or.th/fckeditor/FCKEditor/UserFiles/Encapsulation%20technology%20in%20Food%20Industry%20new.pdf> (18 มีนาคม 2554)
- อภิรักษ์ สุทธิธารวัช. (2552) การกักเก็บกลิ่นและรสชาติที่ไม่ละลายน้ำโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย. [ออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.ej.eng.chula.ac.th/thai/index.php/ej/article/viewfile/62/31> (17 มีนาคม 2554)
- อรัญญา มโนสร้อย, เพ็ญศักดิ์ จันทร์ารุช และ จิระเดช มโนสร้อย. (2008) การเก็บกักน้ำมันหอมระเหยใน อนุภาคขนาดนาโนเพื่อใช้ทางเครื่องสำอางและสปา. [ออนไลน์] แหล่งที่มา : [http://www.ist.cmu.ac.th/researchunit/pcnrc/index.php?option=com\\_content&task=view&id=468&Itemid=141](http://www.ist.cmu.ac.th/researchunit/pcnrc/index.php?option=com_content&task=view&id=468&Itemid=141) (1 มิถุนายน 2554)
- อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และคณะ. (2546ก) “การออกฤทธิ์ด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันเสม็ดขาวในประเทศไทย” ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41. หน้า 284-291. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และคณะ. (2546ข) “การออกฤทธิ์ด้านการเจริญของจุลินทรีย์ของน้ำมันพลุน้ำมันทีทรี น้ำมันเสม็ดขาว” ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41. หน้า 245-252. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- AOAC International. (2002) "AOAC Guidelines for Single Laboratory" **Validaton of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals**. [Online] Available : [http://www.aoac.org/Official\\_Methods/slv\\_guidelines.pdf](http://www.aoac.org/Official_Methods/slv_guidelines.pdf) (8 Feberary 2011)
- Baranauskienė, R. and Others. (2005) "Testing of microencapsulated flavours by electronic nose and SPME-GC" **Food Chemistry**. 92 p 45-54.
- Baranauskienė, R. and Others. (2007) "Flavor Retention of Peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential Oil Spray-Dried in Modified Starches during Encapsulation and Storage" **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55 p 3027-3036.
- Bhandari, B. R. and Others. (1992) "Flavor encapsulation by spray drying: Application to citral and linalyl acetate" **Journal of Food Science**. 57 p 217-221.
- Bhargava, N. U., Magar, V. P. and Momin, S. A. (2010) "Controlled-release Mechanisms of Fragrances" **Cosmetic & Toiletries**. 125 p 42-49.
- Brophy, J. J. and Others. (2002) "Volatile leaf oil of *Melaleuca cajuputi*" in **Proceeding of the Forestry Conference**. p 304-313. Thailand : n.p.
- Christop, F., Keulfers, P. M. and Stahl, B. E. (2000) "A comparative study of the in vitro antimicrobial activity of tea tree oil s.l. with special reference to the activity of the beta triketones" **Journal of Plant med**. 66 p 556-560.
- Cunningham, Mary L. (2011) **Ingredient insight**. [Online] Available : [http://www.ticgums.com/images/stories/reprints/Arabic\\_FPDbecomingfluent\\_AR20.pdf](http://www.ticgums.com/images/stories/reprints/Arabic_FPDbecomingfluent_AR20.pdf) (6 March 2012)
- Dixit M., Kini, A. G. and Kulkarni, P. K. (July-December 2010) "Preparation and characterization of microparticles of piroxicam by spray drying and spray chilling methods" **Phamaceutical Science**. 5 (2) p 89-97.
- Dweck, Anthony C. (2011) "Article for Cosmetics & Toiletries" **Indian Plants**. [Online] Available : [http://www.dweckdata.com/Published\\_papers/Indians.pdf](http://www.dweckdata.com/Published_papers/Indians.pdf) (17 April 2011)

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Finney, J., Buffo, R. and Reineccius, G. A. (2002) “Effect of type of Atomization and Processing Temperatures on the Physical Properties and Stability of Spray-Dried Flavors” **Food Engineering and Physical Properties**. 67 (3) p 1108-1114.
- Finotelli, Priscilla V. and Rocha-Leao, Maria H. M. (2005) “Microencapsulation of ascorbic acid in maltodextrin and CAPSUL using spray-drying” in **2<sup>nd</sup> Mercosur Congress on Chemical Engineering and 4<sup>th</sup> Mercosur Congress on Process Systems Engineering**. p 1-10. Brazil : n.p.
- Gharsallaoui, A. and Others. (2007) “Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview” **Food Research International**. 40 p 1107–1121.
- Gouin, S. (2004) “Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends” **Trends in Food Science & Technology**. 15 p 330-347.
- Greenblatt, H. C. and Others. (1993) “Encapsulation and controlled release of flavour and fragrances” in **Encapsulation and controlled release**. Karsa, D. R. and Stephenson, R. A. p 148-166. Cambridge : The Royal Society of Chemical.
- Inglett, G. E., Gelbman, P. and Reineccius, G. A. (1988) “Encapsulation of Orange Oil Using of Oligosaccharides from  $\alpha$ -Amylase Modified Starches of Maize, Rice, Cassava and Potato” in **Flavor Encapsulation**. Risch, S. J. and Reineccius, G. A. p 29-36. New Orleans : American Chemical Society.
- Jafari, Seid M. and Others. (2008) “Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying” **Food Research International**. 41 p 172–183.
- Khaytarova, M. (2011) **Top Tropicals Plant Catalog**. [Online] Available : [http://toptropicals.com/cgi-bin/garden\\_catalog/cat.cgi?uid=Melaleuca\\_cajuputi&comments=1](http://toptropicals.com/cgi-bin/garden_catalog/cat.cgi?uid=Melaleuca_cajuputi&comments=1) (2 October 2011)

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ko Ko., Juntarajumong, W. and Chandrapatya, A. (2009) “Repellency, Fumigant and Contact Toxicities of *Melaleuca cajuputi* Powell against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* Herbst” **Thai Journal of Agricultural Science**. 42 (1) p 27-33.
- Krishnan, S., Kshirsagar, Amol C. and Singhal, Rekha S. (2005) “The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of food flavoring agent” **Carbohydrate Polymers**. 62 (4) p 309-315.
- Kuentz, M., Egloff, P. and Röthlisberger, D. (2006) “A technical feasibility study of surfactant-free drug suspensions using octenyl succinate-modified starches” **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**. 63 (1) p 37-43.
- Lintner, K. (1998) “Purified plant extracts” **Cosmet & Toilet Magazine**. 113 p 67-73.
- Madene, A. and Others. (2006) “Flavor encapsulation and controlled release” **International Journal of Food Science & Technology**. 41 p 1-21.
- Menting, L. C. and Hoogstad, B. (1967) “Volatiles retention during the drying of aqueous carbohydrate solutions” **Journal of Food Science**. 32 (1) p 87-90.
- Murtaza, G. and Others. (2009) “A Comparative Study of Various Microencapsulation Techniques: Effect of Polymer Viscosity on Microcapsule Characteristics Pakistan” **Journal of Pharmaceutical Sciences**. 22 (3) p 291-300.
- Nitika, Bhargava U., Vijayanand, Magar P. and Shamin, Momin A. (2010) “Controlled-release Mechanisms of Fragrances” **Cosmetic & Toiletries**. 125 p 42-49.
- Oyen, L. P. A. and Dung, N. X. (1999) “Plant Resources of South-East Asia 19: Essential-oil plants” in **Prosea Foundation**. p 126-135. Indonesia : Bogor.
- Partanen, R. and Others. (2002) “Encapsulation of Sea Buckthorn Kernel Oil in Modified Starches” **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 79 (3) p 219-223.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Prinn, K. B., Costantino, H. R. and Tracy, M. (2002) "Statistical Modeling of Protein Spray Drying at the Lab Scale" **An Official Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists.** 3 (1) p 1-8.
- Reineccius, G. A. (1988) "Spray-Drying of Food Flavors" in **Flavor Encapsulation.** Risch, S. J., Reineccius, G. A. p 55-63. New Orleans : American Chemical Society.
- Rish, S. J. and Reineccius, G. A. (1988) "Spray-Dried Orange Oil Effect of Emulsion Size on Flavor Retention and Shelf Stability" in **Flavor Encapsulation.** Risch, S. J., Reineccius, G. A. p 67-86. New Orleans : American Chemical Society.
- Rosenberg, M., Kopelman, I. J. and Talmon, Y. (1990) "Factors affecting retention in spray-dry microencapsulation of volatile materials" **Journal of agricultural and food chemistry.** 38 p 1288-1294.
- Soottitawat, A. and Others. (2003) "Microencapsulation by Spray Drying: Influence of Emulsion Size on the Retention of Volatile Compounds" **Journal of food science.** 68 p 2256-2262.
- Soottitawat, A. and Others. (2005a) "Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying" **Innovative Food Science and Emerging Technologies.** 6 p 107-114.
- Soottitawat, A. and Others. (2005b) "Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics" **Innovative Food Science and Emerging Technologies.** 6 p 163-170.
- Thevenet, F. (1988) "Acacia Gums Stabilizers for Flavor Encapsulation" in **Flavor Encapsulation.** Risch, S. J. and Reineccius, G. A. p 37-44. New Orleans : American Chemical Society.



**บรรณานุกรม (ต่อ)**

University of Colorado, Chemistry and Biochemistry Department. (2011) **Instrumentation: The Inlet System**. [Online] Available : <http://orgchem.colorado.edu/hndbksupport/ms/inletsys.html> (24 September 2011)

Versic, R. J. (1988) “Flavor Encapsulation An Overview” in **Flavor Encapsulation**. Risch, S. J. and Reineccius, G. A. p 3-4. New Orleans : American Chemical Society.

Yoshiia, H. and Others. (2001) “Flavor release from spray-dried maltodextrin / gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity” **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. 2 p 55-61.

