



การศึกษาความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นบนกระดาษด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน

**Capability Study of Aroma Compound Retention on Paper**

**by Encapsulation Method**

ลัดดา ศรีสุวรรณ

**Ladda Srisuwan**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Science in Packaging Technology**

**Prince of Songkla University**

**2552**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์      การศึกษาความสามารถในการกักเก็บสารให้กลั่นบนกระดาษ  
                                 ด้วยวิธีเอนแคปซูเลท  
ผู้เขียน                นางสาวลัดดา ศรีสุวรรณ  
สาขาวิชา              เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ดร.ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ)

(ดร.วรัญญา ศรีเดช)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ สรรพกุล)

.....กรรมการ

(ดร.ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี  
บรรจุภัณฑ์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ความสามารถในการกักเก็บสารให้กลั่นบนกระดาษด้วยวิธีเอนแคปซูเลท
ผู้เขียน	นางสาวลัดดา ศรีสุวรรณ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์
ปีการศึกษา	2551

### บทคัดย่อ

กลั่นเป็นบทบาทหน้าที่หนึ่งของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นที่ต้องการในการสร้างความพึงพอใจต่อผู้บริโภค ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์ เทคนิคการเอนแคปซูเลทเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการเก็บรักษากลิ่นของบรรจุภัณฑ์ และสามารถปลดปล่อยกลิ่นออกมาได้ในระหว่างการเก็บรักษาและตลอดอายุการวางจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินและมอลโทเด็คซ์ทรินมาใช้เป็นสารห่อหุ้มสารให้กลั่นด้วยวิธีโมเลกุลาร์อินคลูชันและการทำแห้งแบบพ่นฝอย ตามลำดับ โดยมีการศึกษาความคงตัวต่อการกักเก็บสารให้กลั่นส้มที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส ศึกษาสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ไม่เคลือบกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลั่นส้ม และกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลั่นส้มจากปริมาณน้ำมันทั้งหมดของอัตราส่วนสารห่อหุ้มต่อสารให้กลั่นส้มเท่ากับ 2 ต่อ 1 แสดงว่าเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินสามารถเก็บรักษาสารให้กลั่นได้ดี โดยมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลั่นเท่ากับร้อยละ 61.25 ส่วนการใช้มอลโทเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลั่นเท่ากับร้อยละ 45.28 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสและปริมาณน้ำมันทั้งหมด พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมจากมอลโทเด็คซ์ทรินจะมีกลิ่นแรง แต่จะให้กลิ่นได้ในระยะเวลาสั้นกว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมจากเบต้าไซโคลเด็คซ์ทริน 80MD เป็นอัตราส่วนการผสมระหว่างไมโครแคปซูลที่เตรียมจากมอลโทเด็คซ์ทรินร้อยละ 80 และไมโครแคปซูลที่เตรียมจากเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนที่มีความสามารถโดยรวมเหมาะสมภายในระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ จากคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษลูกฟูกที่เคลือบด้วย 80MD พบว่า มีค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งสูงสุด แต่มีค่าแรงที่ใช้แยกกระดาษลอนและกระดาษปะผิวต่ำสุด ระดับคะแนนการได้รับกลิ่นและปริมาณน้ำมันทั้งหมดของกระดาษลูกฟูกที่เคลือบด้วย 80MD ยังคงอยู่ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากผลการศึกษาความคงตัวของสารให้กลั่นที่ผ่านการเอนแคปซูเลท การทดสอบทางประสาทสัมผัส และคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการเคลือบ แสดงว่าเทคนิคการเอนแคปซูเลทเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลั่นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์เชิงรุกได้

<b>Thesis Title</b>	Capability Study of Aroma Compound Retention on Paper by Encapsulation Method
<b>Author</b>	Miss Ladda Srisuwan
<b>Major Program</b>	Packaging Technology
<b>Academic Year</b>	2008

### **ABSTRACT**

An aroma is one of the desirable packaging functions in consumer satisfaction which capably influences decision of buying. Encapsulation techniques can be employed to retain aroma compounds in packaging and delivery during storage and on shelf of packaged products. In this work,  $\beta$ -cyclodextrin and maltodextrin were used as orange aroma oil microencapsulants which were obtained from molecular inclusion and spray-drying processes respectively. The stability of storage temperatures at 30 and 45°C on the retention of orange aroma oil was studied. The mechanical properties of uncoated paper, paper coated with microencapsulated orange aroma oil emulsion particles and paper coated with orange aroma oil were investigated as well. Total oil content of 2:1 of wall material to orange aroma oil ratio revealed that  $\beta$ -cyclodextrin remarkably showed ability to retain the orange aroma compounds with the aroma retention efficiency of 61.25%, whereas maltodextrin had the aroma retention efficiency of 45.28% which was statistically significant difference. The sensory evaluation and the total oil content showed that the encapsulated aroma from maltodextrin had stronger aroma intensity but shorter aroma lasting than the encapsulated aroma from  $\beta$ -cyclodextrin. The 80MD, a combination between 80% encapsulated aroma from maltodextrin and 20% encapsulated aroma from  $\beta$ -cyclodextrin, had an optimum overall performance during 8-week storage. The mechanical properties of coated corrugated board with 80MD were tested overtime. It was found that the coated corrugated board had the highest ECT results but the lowest performance was found in the pin test. In addition, the sensory scores and the total oil content well remained at room temperature during 4-week storage time of coated corrugated board with 80MD. Results based on the stability of encapsulated orange aroma, sensory evaluation and mechanical properties of coated corrugated board suggested that

the microencapsulation was the efficient technique of aroma retention for developing the active packaging.

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(7)
LIST OF TABLES.....	(8)
LIST OF FIGURES.....	(10)
บทที่	
1 บทนำ.....	1
บทนำตั้งเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	26
2 วิธีการวิจัย.....	27
วิธีดำเนินการ.....	27
วัสดุและอุปกรณ์.....	33
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	87

## LIST OF TABLES

Table	Page
1. Characteristics of the wall material used for encapsulating flavors.....	10
2. Flavor load of flavor/ $\beta$ -cyclodextrin complexes determined by gas- chromatography.....	16
3. Characteristics of encapsulation processes.....	18
4. Volatile compounds in orange essential oil.....	23
5. Formula of orange aroma oil encapsulated with maltodextrin.....	29
6. Formula of orange aroma oil encapsulated using solution method and $\beta$ -cyclodextrin.....	30
7. Ratio of encapsulated orange aroma oil using maltodextrin and $\beta$ -cyclodextrin...	32
8. Volatile compounds in orange aroma oil.....	37
9. Volatile compounds in extracted orange aroma oil by hydrodistillation.....	39
10. Properties of maltodextrin.....	40
11. Properties of $\beta$ -cyclodextrin.....	41
12. Properties of encapsulated orange aroma oil using maltodextrin.....	43
13. Properties of encapsulated orange aroma oil by solution method.....	45
14. Properties of encapsulated orange aroma oil by paste method.....	46
15. Effect of temperature on retention of total oil.....	56
16. The operating condition of FT-IR.....	77
17. The operating condition of GC/MS for volatile compound analysis.....	77
18. The operating condition of GC for limonene analysis.....	78
19. Analysis of variance for properties of microcapsule using maltodextrin and spray-drying processes.....	83
20. Analysis of variance for properties of microcapsule using $\beta$ -cyclodextrin and solution method.....	84
21. Analysis of variance for properties of microcapsule using $\beta$ -cyclodextrin and paste method.....	85

## LIST OF TABLES (Cont.)

<b>Table</b>		<b>Page</b>
22.	Analysis of variance for weights of uncoated and coated papers with encapsulated aroma oil (80MD) and aroma oil.....	85
23.	Analysis of variance for sensory score of coated paper with encapsulated aroma oil (80MD) and aroma oil.....	86
24.	Analysis of variance for mechanical properties of uncoated and coated paper with encapsulated aroma oil (80MD) and aroma oil.....	86



## LIST OF FIGURES

<b>Figure</b>		<b>Page</b>
1.	A schematic illustration of flavor encapsulation.....	2
2.	A schematic illustration of various processes of flavor encapsulation.....	4
3.	Spray dryer.....	5
4.	Chemical structures of polysaccharides.....	11
5.	Chemical structures of $\beta$ -cyclodextrin.....	14
6.	Mechanism of flavor release from microcapsule.....	19
7.	Chemical structures of limonene.....	21
8.	Flowchart of research.....	27
9.	Relation between amount of standard limonene and total oil content.....	35
10.	Relation between commercial orange aroma oil and total oil content.....	36
11.	Relation between extracted oil and limonene content.....	36
12.	Chromatogram of volatile compounds in orange aroma oil.....	38
13.	Chromatogram of volatile compounds in extracted orange aroma oil.....	39
14.	Appearance of encapsulation by paste method for 1:1 of wall material to orange aroma ratio.....	42
15.	Residual oil content by solution method.....	44
16.	SEM micrographs of shattered microencapsulated orange aroma oil particles at 1500x.....	48
17.	Confocal scanning electron microscope of encapsulated orange aroma oil using $\beta$ -cyclodextrin.....	49
18.	The FT-IR spectra of standard limonene (A) and orange aroma oil (B).....	50
19.	The FT-IR spectra of maltodextrin (A) and encapsulated orange aroma oil using maltodextrin (B).....	52
20.	The FT-IR spectra of $\beta$ -cyclodextrin (A) and encapsulated orange aroma oil using $\beta$ -cyclodextrin (B).....	53

## LIST OF FIGURES (Cont.)

Figure	Page
21. Mixed microcapsule of microcapsule using maltodextrin and $\beta$ -cyclodextrin from percentage of 100(A), 80 (B), 60 (C), 50 (D), 40 (E), 20 (F) and (G) in opened dish at 30 °C.....	54
22. Mixed microcapsule of microcapsule using maltodextrin and $\beta$ -cyclodextrin from percentage of 100(A), 80 (B), 60 (C), 50 (D), 40 (E), 20 (F) and (G) in opened dish at 45 °C.....	55
23. Total oil content of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 30°C for 8 weeks.....	55
24. Total oil content of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 45°C for 8 weeks.....	56
25. Sensory score of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 30°C for 8 weeks.....	58
26. Sensory score of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 45°C for 8 weeks.....	59
27. Coated paper with encapsulated orange aroma oil (80MD).....	60
28. Weight of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.....	61
29. ECT of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.....	61
30. Bursting strength of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.....	62
31. Pin adhesion testing of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.....	63
32. Total oil content of coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.....	64
33. Sensory score of coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.....	65

## LIST OF FIGURES (Cont.)

<b>Figure</b>		<b>Page</b>
34.	SEM micrographs of shattered encapsulated orange aroma particles at 1500x.....	66
35.	Test apparatus of oil extraction.....	76
36.	Test apparatus of bursting strength.....	78
37.	Test apparatus of edgewise crush resistance.....	79
38.	Test apparatus of pin adhesion of corrugated board by selective separation.....	80

# บทที่ 1

## บทนำ

### บทนำต้นเรื่อง

บรรจุภัณฑ์มีความสำคัญกับสินค้าทุกประเภท ซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ในการบรรจุสินค้า ป้องกันสินค้าให้คงอยู่ในสภาพที่ดีตั้งแต่ผู้ผลิตจนถึงผู้บริโภคแล้ว บรรจุภัณฑ์ยังสามารถบ่งชี้ถึงข้อมูล รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับสินค้าที่บรรจุได้ เช่น ชนิด คุณภาพ แหล่งที่มา ส่วนผสม วัน เวลาที่ผลิต วันหมดอายุ เป็นต้น ปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีและการแข่งขันทำให้มีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น บรรจุภัณฑ์จึงไม่ได้มีไว้เพียงเพื่อบรรจุสินค้าเท่านั้น แต่ยังมีหน้าที่ในการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น กล่องพลาสติกบรรจุอาหารที่สามารถเข้าไมโครเวฟได้ ถุงพลาสติกบรรจุขนมขบเคี้ยวที่มีซิปล็อคสามารถเก็บรักษาขนมไว้รับประทานในครั้งต่อไปได้ เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์กระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานกันมาก ซึ่งได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในด้านต่างๆ เช่น รูปทรง ความสะดวกในการใช้งาน การออกแบบกราฟิก (Graphic Design) ปัจจุบันฟังก์ชันในด้านหน้าที่การทำงานที่หลากหลายขึ้นเป็นรูปแบบการพัฒนาที่ผู้บริโภคนิยมและยอมรับอย่างกว้างขวาง การเพิ่มหน้าที่การทำงานของบรรจุภัณฑ์กระดาษที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ความสามารถในการกักเก็บและปลดปล่อยสารให้กลิ่นเป็นรูปแบบการพัฒนาหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มความพึงพอใจและดึงดูดผู้บริโภคได้

จากข้อมูลการสำรวจความต้องการด้านการตลาดเกี่ยวกับรูปแบบการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษ พบว่า ผู้บริโภคมีความคาดหวังในหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์กระดาษในด้านความสามารถในการปลดปล่อยกลิ่นเป็นอันดับแรก โดยที่หากบรรจุภัณฑ์กระดาษสามารถปลดปล่อยกลิ่นที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ก็จะดึงดูดให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจและต้องการที่จะหยิบหรือสัมผัสผลิตภัณฑ์มากขึ้น อย่างไรก็ตาม กลิ่นซึ่งเป็นสารระเหยมีจุดอ่อนในการใช้งาน คือ การสูญเสียสภาพเร็วภายใต้สภาวะการใช้งานปกติ ทำให้ระยะเวลาการปลดปล่อยกลิ่นสั้นจึงใช้งานกับบรรจุภัณฑ์ทางการค้าได้ยาก เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ทางการค้าโดยทั่วไปจะมีวงจรการใช้งานก่อนถึงมือผู้บริโภค 1-2 เดือน ซึ่งการใช้กลิ่นเคลือบบนบรรจุภัณฑ์กระดาษโดยตรงไม่สามารถช่วยในการกักเก็บสารให้กลิ่นให้ได้ตามระยะเวลาของวงจรดังกล่าว ดังนั้นจึงเป็นที่มาของแนวคิดในการศึกษาความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นบนกระดาษด้วยวิธี

เอนแคปซูลซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่วิธีหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและยาเพื่อกักเก็บสารให้กลิ่นรสหรือสารให้คุณค่าทางโภชนาการที่มีราคาแพงแต่สูญเสียได้ง่ายจากกระบวนการผลิตและระยะเวลาการเก็บรักษา โดยที่งานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการกักเก็บสารให้กลิ่นซึ่งได้เลือกใช้กลิ่นส้มเป็นแนวทางการศึกษา เนื่องจากกลิ่นส้มมีราคาแพง ให้กลิ่นที่อ่อน และสูญเสียได้ง่ายในสภาวะปกติ

ผลจากการศึกษาความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นบนกระดาษด้วยวิธีเอนแคปซูลในการวิจัยนี้ คือ การเกิดผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมทางบรรจุภัณฑ์กระดาษรูปแบบใหม่ขึ้น อันจะเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มการใช้งาน เพื่อให้สามารถแข่งขันกับวัสดุประเภทอื่นได้ตลอดจนขยายผลในการใช้กักเก็บสารให้กลิ่นอื่นๆ ที่มีความสำคัญทางการค้าต่อไป

## การตรวจเอกสาร

### 1. การเอนแคปซูล (Encapsulation)

การเอนแคปซูล คือ เทคนิคที่สารชนิดหนึ่งหรือสารผสมถูกเคลือบหรือถูกกักเก็บไว้ในโครงสร้างของสารอีกชนิดหนึ่ง (Madene *et al.*, 2006) โดยสารที่บรรจุอยู่ภายในอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ในรูปของการถูกห่อหุ้มอยู่ภายในแคปซูล เรียกว่า ไมโครแคปซูล (Microcapsule) และหรือกระจายตัวอยู่ภายในโครงข่ายของสารที่ใช้ห่อหุ้ม เรียกว่า ไมโครสเฟียร์ (Microsphere) (Figure 1) สารที่ถูกห่อหุ้มจะสามารถปลดปล่อยออกมาได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่กำหนด (วิภา สุโรจนเมธากุล, 2547) สารที่บรรจุอยู่ภายในสามารถเรียกได้หลายชื่อ เช่น สารที่ว่องไว (Active) และแกน (Core Material) ส่วนสารที่ใช้ในการห่อหุ้มเรียกว่า สารเคลือบ (Coating), สารห่อหุ้ม (Wall Material) และตัวพา (Carrier) (Rish, 1995) ไมโครแคปซูลและหรือไมโครสเฟียร์ที่ได้จะมีขนาดเล็กตั้งแต่น้อยกว่า 1 ไมโครเมตร ถึงขนาดใหญ่ 2-3 มิลลิเมตร

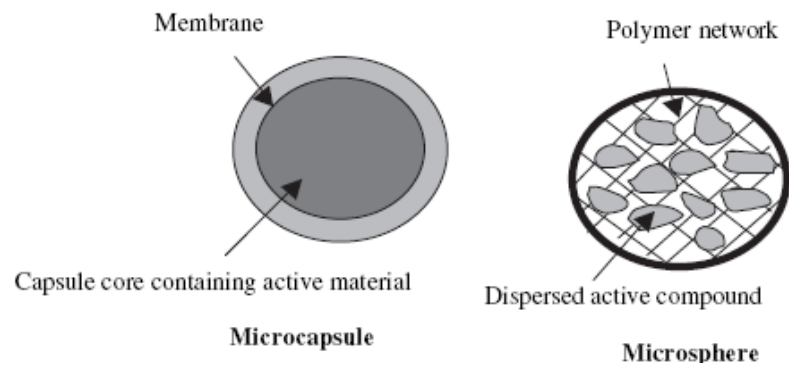


Figure 1. A schematic illustration of flavor encapsulation.

ที่มา : Madene และคณะ (2006)

การเอนแคปซูลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทเพื่อกักเก็บสารที่มีคุณค่า ราคาแพง และสลายตัวได้ง่าย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้งานกันมาก เพื่อกักเก็บสารประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยา เช่น สารให้กลิ่น วิตามิน สี และเอนไซม์

ข้อดีของการเอนแคปซูล

1. สามารถเก็บรักษาค่าประกอบของอาหารให้คงอยู่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา
2. ลดหรือป้องกันการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารให้กลิ่นด้วยกันเองหรือสารให้กลิ่นและสารชีวภาพอื่นๆ จากปัจจัยภายนอก เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น และการออกซิเดชัน (Oxidation) เป็นต้น
3. สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารที่บรรจุอยู่ภายในแคปซูลได้
4. เป็นวิธีการหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะของสารจากของเหลวให้เป็นของแข็ง ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและสะดวกกับการนำไปใช้งาน

การเอนแคปซูลสามารถทำได้หลายวิธีทั้งทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งแต่ละวิธีมีความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นแตกต่างกัน วิธีการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับความต้องการความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่น ความยากง่ายของวิธีการ และการนำไปใช้งาน การเอนแคปซูลสารให้กลิ่นสามารถทำได้โดยการเตรียมอิมัลชันของสารให้กลิ่นและสารห่อหุ้ม แล้วนำไปผ่านกระบวนการเอนแคปซูลซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 วิธีการใหญ่ๆ คือ การเอนแคปซูลทางเคมีเช่น โมเลกุลลาร์อินคลูชัน (Molecular Inclusion), Coacervation, Co-Crystallization และ Interfacial Polymerization เป็นต้น และการเอนแคปซูลทางกายภาพ เช่น Spray Chilling/Cooling, Fluidized Bed, การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray-Drying) และการอัดรีด (Extrusion) เป็นต้น (Figure 2) สำหรับวิธีการที่นิยมนำมาใช้กันมาก คือ โมเลกุลลาร์อินคลูชัน การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการอัดรีด ไมโครแคปซูลหรือไมโครสเฟียร์ที่ได้หลังจากการเอนแคปซูลจะมีรูปร่างและโครงสร้างหลายรูปแบบ เช่น รูปร่างกลม รูปร่างไม่แน่นอน โครงสร้างเป็นรูพรุนหรือผลึก เป็นต้น (Madene *et al.*, 2006)

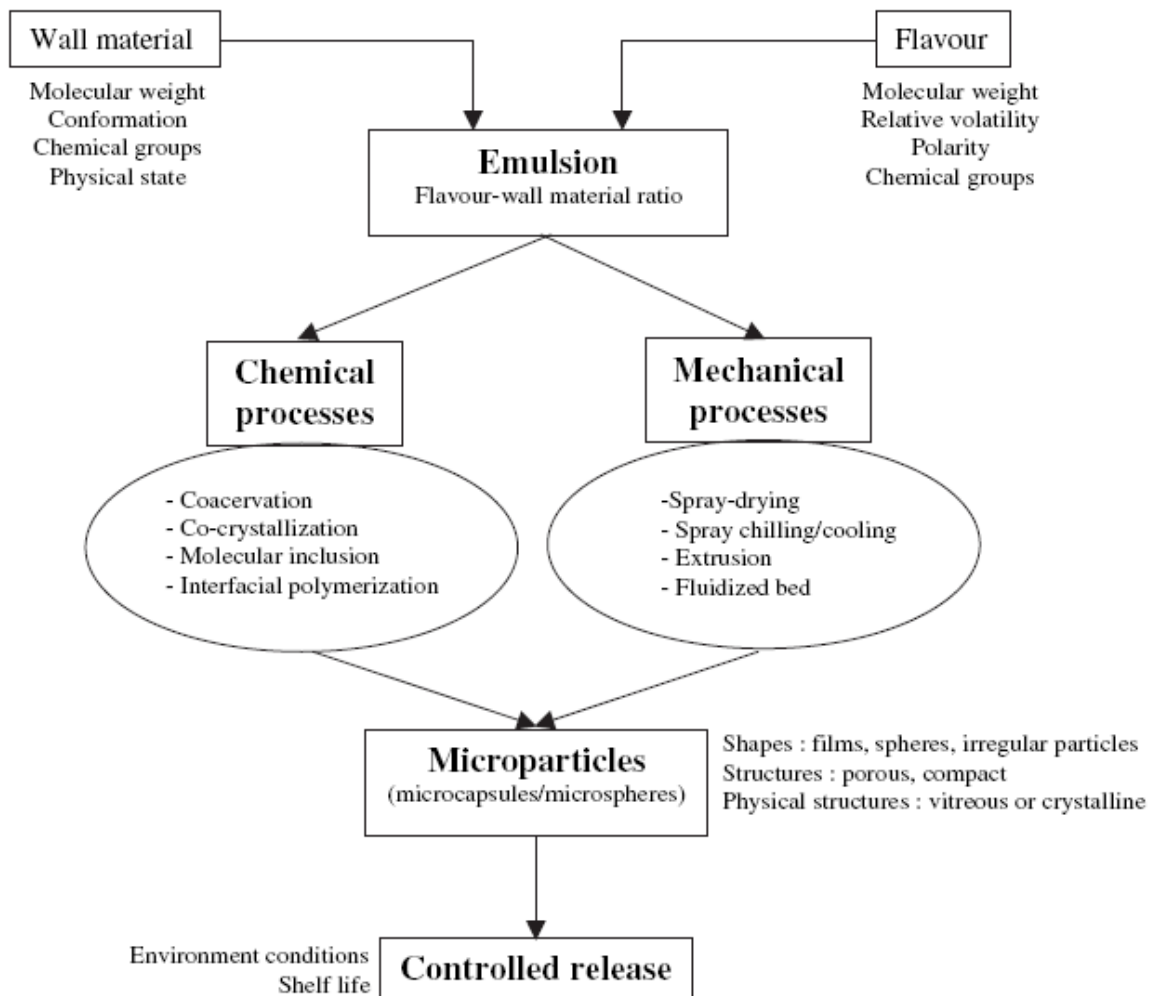


Figure 2. A schematic illustration of various processes of flavor encapsulation.

ที่มา: Madene และคณะ (2006)

## 2. การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วในอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลวออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็ก เข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยออกไป และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปผงแห้ง ดัง Figure 3 การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการเอนแคปซูเลทเพราะสามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก เครื่องมือหาได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีอื่น

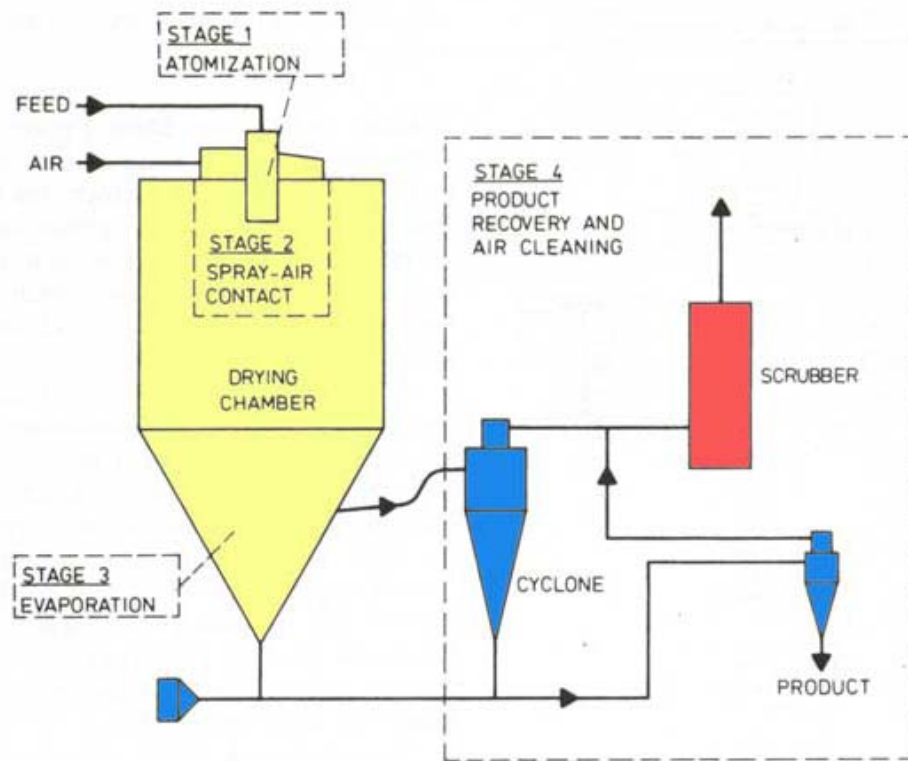


Figure 3. Spray dryer.

ที่มา : ปิ่นฉัตร ภัทรสถาพรกุล (2548)

การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มจากอากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองและผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (Drying Chamber) ส่วนตัวอย่างของเหลว (Feed) ที่นำมาฉีดควรมีลักษณะเหลว และไม่ข้นมาก จากนั้นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอย คือ Atomizer ภายในห้องอบ เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศร้อนจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว และจะได้ผงของผลิตภัณฑ์ตกลงสู่ด้านล่างของ Drying Chamber ผงส่วนที่หลุดออกมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ไซโคลน (Cyclone) ซึ่งจะรวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์ในที่สุด

ข้อดีของการเอนแคปซูลด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้อย
2. ไมโครแคปซูลที่ได้มีคุณภาพสูง
3. ไมโครแคปซูลที่ได้สามารถละลายได้ดี
4. อนุภาคของไมโครแคปซูลมีขนาดเล็ก
5. สามารถใช้สารห่อหุ้มได้หลายชนิด อาจเป็นชนิดเดียว หรือผสมหลายชนิด



ข้อเสียของการเอนแคปซูลด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. สารห่อหุ้มที่ใช้ต้องมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง
2. ไม่เหมาะกับสารห่อหุ้มหรือสารให้กลิ่นที่ไวต่อความร้อน
3. ไมโครแคปซูลที่ได้ไม่สม่ำเสมอ
4. สารให้กลิ่นที่มีจุดเดือดต่ำอาจสูญเสียไปในระหว่างการทำแห้งได้
5. สารให้กลิ่นอาจเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของแคปซูล ซึ่งจะทำให้เกิดการออกซิเดชันและการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นได้

กระบวนการเอนแคปซูลด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนสำคัญ คือ

#### 1. การเตรียมอิมัลชัน

การเอนแคปซูลสารให้กลิ่นโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถทำได้โดยการเตรียมสารละลายของสารห่อหุ้ม เช่น มอลโทเด็กซ์ทริน (Maltodextrin) แป้งดัดแปร (Modified Starch) กัม (Gum) หรืออาจใช้สารห่อหุ้มหลายชนิดผสมกัน เป็นต้น ผสมกับสารให้กลิ่นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยทั่วไปสารให้กลิ่นมักอยู่ในรูปน้ำมันทำให้ไม่สามารถรวมตัวกับสารละลายของสารห่อหุ้มได้ จึงต้องมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์เพื่อช่วยให้สารให้กลิ่นสามารถกระจายตัวอยู่ในสารละลายได้

#### 2. การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

สารละลายผสมของสารให้กลิ่นและสารห่อหุ้มจะถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการโฮโมจิไนซ์เพื่อลดขนาดอนุภาคของสารให้กลิ่นในรูปน้ำมันให้มีขนาดเล็กลง และอยู่ในรูปอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Oil-in-Water Emulsion)

#### 3. การทำแห้ง

การทำแห้งเป็นการนำสารละลายอิมัลชันที่ได้นั้นทำให้กลายเป็นละอองเล็กๆ เข้าไปยังอากาศร้อนในเครื่องทำแห้ง เมื่อละอองฝอยสัมผัสกับอากาศร้อนจะเกิดการระเหยในชั้นไอน้ำอิมัลชันบริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็ว โดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวของละอองอยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้ง และจะแพร่เข้าสู่ชั้นผิวหนังด้านใน ซึ่งอยู่ในสถานะอิมัลชัน ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นอยู่ในระดับต่ำ และไม่มีการแพร่เข้าสู่ผิวหนังด้านในแล้ว ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา และมีอัตราการระเหยลดลง (เอกคณัย กอกิมพงษ์, 2548) สารให้กลิ่นที่ถูกห่อหุ้มอยู่ในเฟสของเหลว เมื่อน้ำระเหยออกไปอย่างรวดเร็วในระหว่างการทำแห้งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง รูปร่างของอนุภาคเป็นทรงกลม

ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

1. ความหนืด สารละลายที่มีความหนืดสูง ซึ่งอาจเกิดจากการลดลงของอุณหภูมิของสารละลาย จะทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และสารละลายที่มีความหนืดสูงมาก จะทำให้สารละลายที่ฉีดออกมามีลักษณะคล้ายเส้นด้ายได้ Soottitantawat และคณะ (2005) ผลิตไมโครแคปซูลของเมนทอล โดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย อุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศขาออก  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส โดยใช้กัมอะราบิกและแป้งคัดแปร 2 ชนิด คือ CAPSUL และ HI-CAP 100 เป็นสารห่อหุ้ม พบว่า ปริมาณของเมนทอลคงเหลืออยู่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของของแข็งเริ่มต้นก่อนการทำแห้ง แต่ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นในรูปแบบน้ำมันลดลงเมื่อมีความหนืดสูง เนื่องจากที่ความหนืดสูงการรวมตัวเป็นหยด (Droplet) ของสารละลายจะเกิดได้ยาก ส่งผลให้หยดสารละลายมีขนาดใหญ่ ทำให้ระยะเวลาในการพ่นเป็นละอองฝอยนาน สารให้กลิ่นในรูปแบบน้ำมันจะถูกกวาดไปรวมตัวอยู่บริเวณผิวหน้าก่อนที่จะมีการห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มในระหว่างการทำแห้ง ทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้อยลงได้ ( $Re'$ , 1998)

2. ปริมาณของแข็งทั้งหมดในอิมัลชันเป็นปัจจัยในการกักเก็บสารให้กลิ่นในระหว่างการทำแห้ง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การกักเก็บสารให้กลิ่นเพิ่มสูงขึ้น และสามารถลดสารให้กลิ่นที่อยู่บริเวณผิวหน้าของแคปซูลลงได้ อย่างไรก็ตามความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นจะป้องกันการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของหยดอิมัลชัน ดังนั้นความหนืดที่ใช้ต้องเหมาะสมในการเกิดละอองฝอยที่ดี

3. ขนาดของหยดอิมัลชัน (Emulsion Size) สารให้กลิ่นมักอยู่ในรูปแบบน้ำมันหอมระเหย การเตรียมอิมัลชันของสารให้กลิ่นและสารห่อหุ้มจึงมีความสำคัญต่อการเอนแคปซูลขนาดหยดอิมัลชันก่อนการทำแห้ง และขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลมีผลต่อความคงตัวของสารให้กลิ่น ไมโครแคปซูลที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีความคงตัวมากกว่าและการปลดปล่อยสารให้กลิ่นจะน้อยกว่าไมโครแคปซูลที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ในทำนองเดียวกันขนาดหยดอิมัลชันก็มีผลต่อความคงตัวของไมโครแคปซูลที่ได้ โดยที่ขนาดหยดอิมัลชันเล็กจะมีความคงตัวของกลิ่นน้อยกว่าไมโครแคปซูลที่มีขนาดหยดอิมัลชันใหญ่ (Soottitantawat *et al.*, 2005) นอกจากนี้ระยะเวลาที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสารให้กลิ่นและสารห่อหุ้ม (Bhandari *et al.*, 1999)

4. อัตราการไหลของสารละลาย ถ้าสารละลายมีอัตราการไหลสูงจะทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น เพราะใช้เวลาที่สัมผัสกับอากาศน้อยเกินไป จึงควรควบคุมอัตราการไหลของสารละลายให้เหมาะสม

5. อัตราการไหลของอากาศ เมื่ออัตราการไหลของอากาศลดลงจะทำให้เวลาที่ละอองสารละลายอยู่ในเครื่องทำแห้งนานขึ้น ทำให้สัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น และเป็นผลให้ลด

ความชื้นได้ดีขึ้น แต่หากอัตราการไหลของสารละลายสูง และอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไป และมีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพออาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง และเกาะติดอยู่กับผนังของเครื่องทำแห้งได้

การเอนแคปซูเลทด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นนอกจากจะสามารถทำได้ง่าย และต้นทุนต่ำแล้ว ยังสามารถป้องกันหรือกักเก็บสารที่ถูกห่อหุ้มได้ดี และสามารถใช้ได้กับสารห่อหุ้มหลายชนิด และเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสูงสุดโดยใช้เทคนิคนี้ต้องมีการเลือกใช้สารห่อหุ้มและสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม (Risch, 1995) สำหรับการเอนแคปซูเลทน้ำมันพืชด้วยแป้งคัดแปร N-Lok ร้อยละ 19.1 มีสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออกเท่ากับ 184.9 และ 113.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สามารถกักเก็บน้ำมันพืชได้ร้อยละ 96.24 (Martinez *et al.*, 2004)

สภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น ขนาดของหยดอิมัลชัน อุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออก อัตราเร็วของอากาศในเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิในการป้อนสารละลายเข้าไปในเครื่องทำแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่น แต่อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเป็นปัจจัยหลักที่ต้องคำนึงถึง (Reineccius, 1998) การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศขาเข้าส่งผลทำให้อัตราการเกิดฟิล์มของหยดอิมัลชันเพิ่มขึ้น แสดงถึงความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นเพิ่มขึ้น (Anker and Reineccius, 1998) อัตราการทำแห้งเร็วจะทำให้ชั้นนอกของแคปซูลมีความแน่นมากขึ้นและไม่ทำให้สารให้กลิ่นเกิดการสลายตัวไปยังผิวหน้าของแคปซูล อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นทำให้การกักเก็บสารให้กลิ่นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสารให้กลิ่นเกิดการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ และถ้าอุณหภูมิสูงมากไปจะทำให้มีการสูญเสียสารให้กลิ่นได้เนื่องจากการพองตัวหรือการหดตัวของหยดอิมัลชัน

ลักษณะวิทยาของไมโครแคปซูลที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น รูปร่าง ขนาดอนุภาค ความสมบูรณ์ของแคปซูล ความเป็นรูพรุน และปริมาตรรวม (Bulk Volume) มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่น Sheu และ Rosenberg, 1995 ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาของแคปซูลที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ขนาดหยดอิมัลชันก่อนและหลังการทำแห้งมีขนาดใกล้เคียงกัน ความคงตัวของอิมัลชันก่อนและระหว่างการทำแห้งอาจมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของผนังแคปซูล และมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแคปซูลซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณสารให้กลิ่นและกลไกการปลดปล่อยสารให้กลิ่น

### 3. โมเลกุลสารอินคลูชัน

โมเลกุลสารอินคลูชันเป็นผลของการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก และถูกล้อมรอบด้วยสารชนิดอื่น (Godshall, 1997) รูปแบบการกักเก็บสารให้กลิ่นด้วยไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นรูปแบบการเอนแคปซูลด้วยวิธีโมเลกุลสารอินคลูชัน สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้อยู่ในรูปสารละลาย โดยการนำไซโคลเด็กซ์ทรินและสารให้กลิ่นผสมกันในรูปสารละลาย แล้วกรองแยกสารประกอบเชิงซ้อนที่ตกตะกอนออกมา และการใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินในรูปของกึ่งแข็งที่มีความข้นหนืด (Paste Method) โดยการนวดผสมสารให้กลิ่นกับไซโคลเด็กซ์ทรินที่ผ่านการผสมน้ำและอยู่ในรูปของกึ่งแข็งที่มีความข้นหนืด เป็นต้น ไซโคลเด็กซ์ทรินทั้ง 3 ชนิด คือ อัลฟา เบต้า และแกมมา สามารถนำมาใช้เอนแคปซูลสารให้กลิ่นได้ โดยที่ไซโคลเด็กซ์ทรินแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นแตกต่างกัน (Reineccius *et al.*, 2003)

### 4. สารห่อหุ้ม

ในกระบวนการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นสามารถใช้สารห่อหุ้มได้หลายชนิด เช่น แป้งและอนุพันธ์ของแป้ง ไขมัน และ โปรตีน (Table 1) การใช้สารห่อหุ้มอาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งสารแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การเลือกใช้สารห่อหุ้มขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น จุดประสงค์ในการเอนแคปซูล ธรรมชาติของสารที่ถูกห่อหุ้ม กระบวนการเอนแคปซูล และต้นทุนในการดำเนินการ

แป้งและอนุพันธ์ของแป้งที่มักนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูลสารให้กลิ่น ได้แก่ แป้งคัดแปร มอลโทเด็กซ์ทริน และเบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน จากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่าน พบว่า ความเป็นรูพรุนของแป้งทำให้แป้งสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นได้มากขึ้น (Smelik, 1991; Golovnya *et al.*, 1998; Glenn and Stern, 1999; Thomas and Atwell, 1999 อ้างโดย Madene *et al.*, 2006) Zhao และ Whistler (1994) พบว่า แป้งที่มีโครงสร้างประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก จะช่วยให้สารให้กลิ่นสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในบริเวณรูพรุนของแป้งได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นได้ดี

สำหรับกลไกการรวมตัวของสารให้กลิ่นกับสารห่อหุ้มในกลุ่มแป้งนั้นสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ คือ สายอะไมโลสของแป้งจะเข้าไปล้อมรอบหรือเกี่ยวพันกันกับสารให้กลิ่น โดยจะเกิดพันธะไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic Bonding) ระหว่างกัน และการเกิดอันตรกิริยาของสารที่มีขั้วโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) ของแป้งและสารให้กลิ่น (Arvisenet *et al.*, 2002)

Table 1. Characteristics of the wall material used for encapsulating flavors.

Wall material	Interest
Maltodextrin (DE<20)	Film forming
Corn syrup (DE>20)	Film forming, reductability
Modified starch	Very good emulsifier
Gum arabic	Emulsifier, film forming
Modified cellulose	Film forming
Gelatin	Emulsifier, film forming
Cyclodextrin	Encapsulant, emulsifier
Lecithin	Emulsifier
Whey protein	Good emulsifier
Hydrogenate fat	Barrier to oxygen and water

ที่มา: Madene และคณะ (2006)

#### 4.1 การใช้มอลโทเด็กซ์ทรีนเป็นสารห่อหุ้ม

มอลโทเด็กซ์ทรีน คือ พอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha$ -1,4 มีสูตรทางเคมี คือ  $(C_6H_{12}O_5)_nH_2O$ (Figure 4) และมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose Equivalent; DE ) น้อยกว่า 20 ซึ่งค่า DE เป็นค่าที่บ่งบอกระดับการไฮโดรไลซิสของแป้ง เป็นค่าที่ใช้ในการจำแนกมอลโทเด็กซ์ทรีน น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของมอลโทเด็กซ์ทรีนจะลดลงตามค่า DE ที่เพิ่มขึ้น เช่น มอลโทเด็กซ์ทรีน DE5, DE10, DE15 และ DE20 มีค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3600, 1800, 1200 และ 900 ตามลำดับ (Kenyon and Anderson, 1988) มอลโทเด็กซ์ทรีนอาจอยู่ในรูปผงสีขาวแห้ง หรือของเหลวเข้มข้นที่ไม่มีรสหวาน มอลโทเด็กซ์ทรีนได้จากการย่อยแป้งบางส่วนด้วยกรดและหรือเอนไซม์ (Reineccius, 1991) มีความชื้นประมาณ ร้อยละ 3-5 มีความหนาแน่นปรากฏ 31.0-61.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจใสหรือขุ่นขึ้นอยู่กับชนิดของมอลโทเด็กซ์ทรีนที่นำมาใช้ สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติความเป็นเนื้อ (Body) และมีความหนืดสม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน

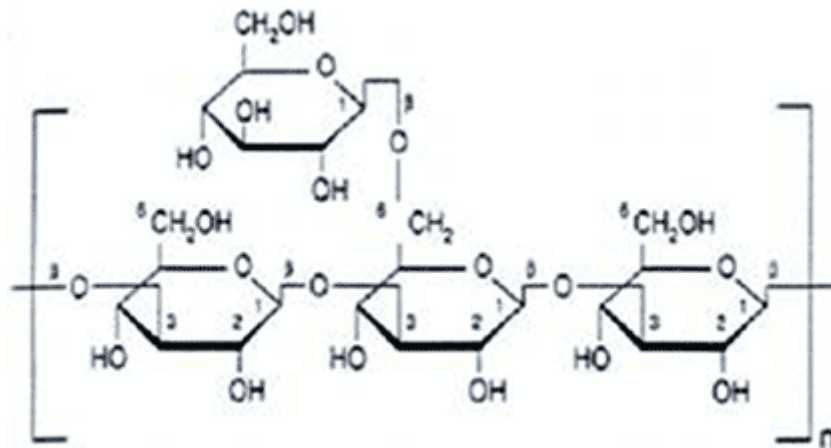


Figure 4. Chemical structures of polysaccharides.

ที่มา: Dharmananda (2007)

### คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของมอลโทเด็กซ์ทริน

#### 1. ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stabilization)

ขนาดของหยดอิมัลชันและความคงตัวเป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นในรูปน้ำมัน ความคงตัวของอิมัลชันเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงการที่สารให้กลิ่นในรูปน้ำมันอยู่ภายในหยดอิมัลชันไม่หลุดออกมาภายนอก ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นเพิ่มขึ้น แต่มอลโทเด็กซ์ทรินมีสายโซ่ของกลูโคสสั้นและไม่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่แท้จริง จึงต้องใช้ร่วมกับสารห่อหุ้มชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่แท้จริง เช่น กัมอะราบิก หรือแป้งคัดแปร เพื่อให้ได้อิมัลชันที่มีความคงตัว หรืออาจใช้อิมัลซิไฟเออร์ เช่น เลซิทิน ทวิน เป็นต้น ปริมาณสารที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ขึ้นอยู่กับความเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของสารนั้นๆ ปริมาณสารให้กลิ่นในรูปน้ำมันที่ต้องการกักเก็บ กระบวนการผลิต และความคงตัวที่ต้องการ (Kenyon and Anderson, 1988)

#### 2. คุณสมบัติการเกิดฟิล์ม (Film-Forming)

คุณภาพของแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทขึ้นอยู่กับความเร็วในการเกิดฟิล์มของสารห่อหุ้ม และความสามารถของแผ่นฟิล์มนั้นในการป้องกันสารให้กลิ่นที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในกลไกการเกิดฟิล์มล้อมรอบสารให้กลิ่นเกิดขึ้นจากสายโซ่ของมอลโทเด็กซ์ทรินเกิดการเกี่ยวพันกัน (Entangle) ในช่วงแรกของการระเหยน้ำ ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ ล้อมรอบสารให้กลิ่น หากมอลโทเด็กซ์ทรินมีการละลายที่เหมาะสมจะทำให้การเกิดฟิล์มเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และสารที่ไม่ละลายอาจจะรบกวนการเกิดฟิล์มของมอลโทเด็กซ์ทรินได้ (Aronson and Tsaur, 1993) Shamekh และคณะ (2002) ได้ขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินที่ผลิตมาจากมันฝรั่ง และมอลโทเด็กซ์ทริน

ที่แยกมาจากโมเลกุลของน้ำตาล มีค่า DE 3 ระดับ คือ DE10, DE15 และ DE20 พบว่าค่า DE ไม่มีผลต่อการเกิดฟิล์มแต่จะมีผลอย่างชัดเจนต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้ การเพิ่มความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทรินเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดฟิล์มซึ่งหมายถึงการกักเก็บที่เพิ่มขึ้น และมอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE เพิ่มขึ้นจะสามารถเพิ่มความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาได้ การใช้มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่น Bangs และ Reineccius (1981) อ้างโดย Madene และคณะ (2006) กล่าวว่า การกักเก็บสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับค่า DE มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE เท่ากับ 10 สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นได้ดีที่สุด และความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นจะลดลงเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณสารให้กลิ่นที่เหลืออยู่ในระหว่างการเก็บรักษาจะเพิ่มขึ้นตามค่า DE ของมอลโทเด็กซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น

### 3. ความสามารถในการดูดความชื้น (Hygroscopicity)

มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะดูดความชื้นน้อยมากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้ง ใสอย่างอิสระ การดูดความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่า DE สูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นผงที่จับตัวกันเป็นก้อนเมื่อได้รับความชื้น

### 4. ความหนืด

ความหนืดและความสามารถในการละลายเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของการคัดเลือกสารที่จะนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม สารที่มีความหนืดต่ำจะสามารถเกิดฟิล์มได้ง่าย ความสามารถในการกักเก็บสูง และประสิทธิภาพในการผลิตสูง มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE เพิ่มขึ้นจะมีความหนืดของอิมัลชันลดลงและสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งในระบบได้ มอลโทเด็กซ์ทรินนิยมนำมาใช้ในการห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีราคาไม่แพง ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นปานกลาง มีความหนืดต่ำเมื่ออัตราส่วนปริมาณของแข็งสูง และง่ายต่อการทำแห้ง (Apintanapong and Noomharm, 2003)

อย่างไรก็ตามการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเพียงอย่างเดียวให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นต่ำ เนื่องจากความสามารถในการเกิดฟิล์มต่ำ และไม่มีความสามารถในการผสมน้ำมันกับน้ำให้เข้ากัน (Reineccius, 1991) จึงต้องมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารห่อหุ้มชนิดอื่นที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อช่วยให้เกิดการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน มีรายงานการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิกในการกักเก็บน้ำมันกระวาน (Cardamom Oil) ในอัตราส่วนสารห่อหุ้มต่อน้ำมันเท่ากับ 4 ต่อ 1 สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมของมอลโทเด็กซ์ทรินและกัมอะราบิกซึ่งใช้เป็นสารห่อหุ้มและได้แคลเซียมที่มีคุณภาพดี คือ 1 ต่อ 2.3 (Sankarikutty *et al.*, 1988 อ้างโดย Madene, *et al.*, 2006) การใช้มอลโทเด็กซ์ทรินร่วมกับกัมอะราบิกมีแนวโน้มที่จะสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นได้มากขึ้น (Reineccius, 1991) และการปลดปล่อยสารให้กลิ่นจะลดลง

ตามปริมาณมอลโทเด็ทซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น (Yoshii *et al.*, 2001) Apintanapong และ Noomhorn (2003) พบว่าอัตราส่วนของกัมอะราบิกต่อมอลโทเด็ทซ์ทรินที่เหมาะสมในการกักเก็บ 2-acetyl-1-pyrroline โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ 70:30

#### 4.2 การใช้เบต้าไซโคลเด็ทซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม

ไซโคลเด็ทซ์ทริน คือ สารประกอบพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 และต่อกันเป็นวงที่ไม่มีปลายของหมู่รีดิวิซ และหมู่ไมรีดิวิซ ทั้งนี้ชนิดของไซโคลเด็ทซ์ทรินจะขึ้นอยู่กับจำนวนน้ำตาลกลูโคสที่มาต่อกันเป็นวง ได้แก่ อัลฟา ( $\alpha$ ) เบต้า ( $\beta$ ) และแกมมา ( $\gamma$ ) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสจำนวน 6, 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ สามารถผลิตได้โดยการย่อยแป้ง และเปลี่ยนพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเป็นวงด้วยเอนไซม์ (Hedges *et al.*, 1995) ไซโคลเด็ทซ์ทรินสามารถรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอื่นๆ ได้หลายชนิด โดยเฉพาะโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Molecule) โครงสร้างของไซโคลเด็ทซ์ทรินจะคล้ายกับขนมโดนัท ภายในเป็นช่องว่างมีส่วนที่เป็น Hydrophobic และโครงสร้างภายนอกซึ่งมีความเป็นขั้ว มีหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารให้กลิ่นได้ ดัง Figure 5 ทำให้สามารถกักเก็บบางส่วนหรือทั้งหมดของโมเลกุลของสารให้กลิ่นไว้ในโครงสร้างได้ ไซโคลเด็ทซ์ทรินสามารถรวมตัวกับสารให้กลิ่นเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนด้วยแรงแวนเดอวาล (Van der Waals Interaction) และแรงลอนดอน (London Force) (Smolkekva-Keulemansova, 1982 อ้างโดย Kellengode and Hanna, 1997) อย่างไรก็ตามรูปแบบของปฏิกิริยาเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม โดยพบว่าในสารละลายเข้มข้นและอุณหภูมิต่ำไซโคลเด็ทซ์ทรินมีแนวโน้มที่จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารที่กักเก็บ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและสารละลายถูกทำให้เจือจางลง เช่น ในน้ำลายไซโคลเด็ทซ์ทรินมีแนวโน้มที่จะปลดปล่อยสารที่กักเก็บออกจากช่องว่างในโครงสร้างของโมเลกุลได้ (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2547)



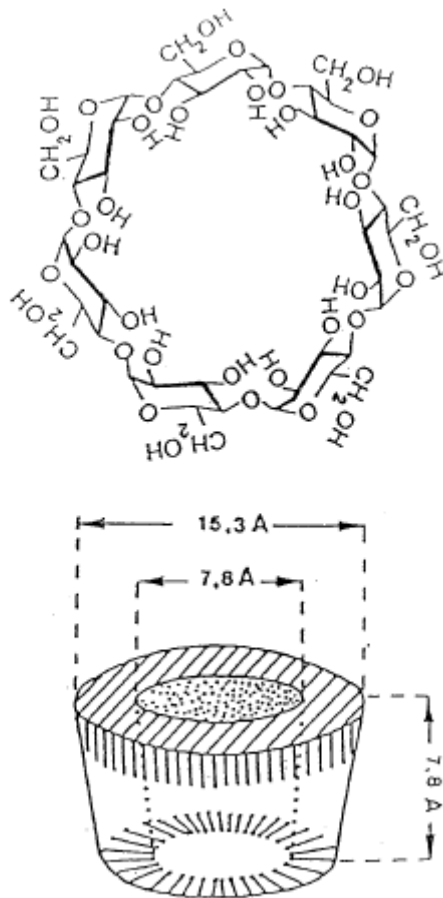


Figure 5. Chemical structures of  $\beta$ -cyclodextrin.

ที่มา : Kollengode และ Hanna (1997)

ปัจจุบันไซโคลเด็กซ์ทริน โดยเฉพาะเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมีการใช้ในเชิงพาณิชย์ค่อนข้างมาก เนื่องจากลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ของโครงสร้างร่วมกับความสามารถของช่องว่างในโมเลกุล ทำให้มีศักยภาพในการนำไปใช้เพื่อกักเก็บโมเลกุลของสารที่ต้องการ ซึ่งมีความหลากหลายทั้งชนิดและขนาดโมเลกุล เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารเพียงชนิดเดียวที่สหรัฐอเมริกาให้การรับรองว่ามีความปลอดภัยในการนำไปใช้ห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2547)

Reineccius และคณะ (2004) ได้นำเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมาใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นในอาหารที่ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้สารให้กลิ่น 4 ชนิด คือ Benzaldehyde และ Citral ในผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นอบแห้ง L-Mental ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด และ Vanillin ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้ก จากการศึกษาพบว่า ภายหลังจากให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหาร การใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นได้ ช่วยลดการ

สูญเสียสารให้กลิ่นในระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนสำหรับ Citral ในผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นอบแห้ง และ L-Mental ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด

## 5. ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่น

Re' (1998) กล่าวว่าความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การแพร่กระจายของน้ำและสารให้กลิ่นมีอิทธิพลอย่างมากต่อความเข้มข้นของสารให้กลิ่น การละลายของสารให้กลิ่น และอันตรกิริยาระหว่างของแข็งที่ละลายได้และสารให้กลิ่น ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการแพร่กระจายและหรือการสูญเสียของสารให้กลิ่น

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นมีหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของสารให้กลิ่น ชนิดของสารห่อหุ้ม และกระบวนการเอนแคปซูเลท

### 5.1 สารให้กลิ่น

สารให้กลิ่นแต่ละชนิดมีคุณสมบัติ โครงสร้าง หมู่ฟังก์ชันทางเคมี และสภาพขั้วแตกต่างกัน ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการรวมตัวกับสารห่อหุ้ม ทำให้ความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นแตกต่างกัน (Table 2) Kollengode และ Hanna (1997) ศึกษาการกักเก็บสารให้กลิ่น 4 ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่ต่างกัน คือ กลุ่มแอลกอฮอล์ใช้ Eugenol กลุ่มแอลดีไฮด์ใช้ Cinnamaldehyde กลุ่มที่เป็นกรดใช้ Nonanoic Acid และกลุ่มคีโตนใช้ 3-Octanone เป็นสารให้กลิ่น และใช้ไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม พบว่า สารให้กลิ่นในกลุ่มแอลกอฮอล์มีปริมาณคงเหลืออยู่มากที่สุดภายหลังกระบวนการอัดรีด และไม่แตกต่างจากสารให้กลิ่นในกลุ่มแอลดีไฮด์ รองลงมาคือสารให้กลิ่นในกลุ่มคีโตน และสารให้กลิ่นในกลุ่มที่เป็นกรดมีปริมาณคงเหลืออยู่น้อยที่สุด สามารถอธิบายได้ว่าสมบัติความเป็นกรดของ Nonanoic Acid อาจทำให้เกิดการไฮโดรไลซ์โครงสร้างที่เป็นวงแหวนของไซโคลเด็คซ์ทรินในระหว่างการอัดรีด Nonanoic Acid บางส่วนจึงไม่ถูกกักเก็บอยู่ภายในโครงสร้างของไซโคลเด็คซ์ทริน ส่งผลให้ปริมาณที่คงเหลืออยู่น้อยกว่าสารให้กลิ่นในกลุ่มอื่นๆ

Table 2. Flavor load of flavor/ $\beta$ -cyclodextrin complexes.

Name of flavors	Flavor load of complex (%)
Citral-CD	9.4
Caraway-CD	10.5
$\beta$ -Ionone-CD	13.3
Grapefruit-CD	8.5
Pepermint-CD	9.4-9.7
Tarragon-CD	10.0-10.3
Thyme-CD	9.4-9.8
Cinnamon oil-CD	10.4
Jasmin oil-CD	9.2
Orange oil-CD	9.0-9.5
Lemon oil-CD	8.9-9.1
Onion oil-CD	10.4-10.6
Garlic oil-CD	10.2-10.4
Mustard oil-CD	10.8-11.0
Marjoram oil-CD	8.8-9.0
Carrot-CD	8.8-9.0

ที่มา: Szente และ Szejtli (1988)

น้ำหนักโมเลกุลและความดันไอของสารให้กลิ่นมีผลต่อการกักเก็บสารระเหยในระหว่างการทำแห้ง น้ำหนักโมเลกุลเป็นตัวแทนของขนาดโมเลกุลและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการแพร่กระจายของโมเลกุล (Molecular Diffusivity) ขนาดโมเลกุลเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการแพร่ลดลง ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลไปยังผิวหน้าเพิ่มขึ้น และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นได้เพิ่มขึ้น ความดันไอของสารให้กลิ่นมีบทบาทสำคัญเป็นลำดับที่สองในการกักเก็บสารให้กลิ่น ความดันไอมีผลต่อการสูญเสียสารที่ระเหยได้ง่าย สารที่มีขนาดเล็กและระเหยได้ง่ายจะสูญเสียออกจากแคปซูลได้เร็ว (Reineccius, 1988)

การละลายน้ำของสารให้กลิ่นมีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่น เมื่อสารให้กลิ่นละลายน้ำได้มากขึ้นการสูญเสียสารให้กลิ่นจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำสามารถผ่านชั้นเมมเบรนเข้าไปละลายสารให้กลิ่นได้ สำหรับสารให้กลิ่นที่มีความสามารถในการละลายต่ำ ความสามารถในการ

การกักเก็บสารให้กลิ่นจะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ส่วนสารให้กลิ่นที่มีความสามารถในการละลายปานกลางจะสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นน้อยลงตามปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้น Rosenberg และคณะ (1990) ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารที่ถูกห่อหุ้มโดยใช้สารในกลุ่มเอสเทอร์ปริมาณร้อยละ 10-30 (น้ำหนักต่อน้ำหนักของสารห่อหุ้ม) สารห่อหุ้มที่ใช้คือกัมอะราบิก จากการศึกษาพบว่า เอสเทอร์ที่สามารถละลายน้ำได้บางส่วนจะถูกกักเก็บได้น้อยกว่าเอสเทอร์ที่มีสภาพขี้ผึ้ง เนื่องจากโมเลกุลของเอสเทอร์ในส่วนที่ละลายน้ำเกิดการแพร่เข้าไปละลายกับน้ำ และการแตกของหยดอิมัลชัน ทำให้สารให้กลิ่นเกิดการสูญเสียไปในขั้นตอนของการทำแห้ง

นอกจากนี้อันตรกิริยาระหว่างสารให้กลิ่นและสารห่อหุ้มยังส่งผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่น ทั้งอันตรกิริยาทางกายภาพ และหรือทางเคมีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวของสารประกอบที่ไม่ละลาย (Insoluble Complexes) การเชื่อมโยงเกี่ยวพันกันของสารห่อหุ้มกับสารให้กลิ่นผ่านพันธะไฮโดรเจนและพันธะอื่นๆ Goubet และคณะ (2001) ศึกษาการกักเก็บสารให้กลิ่น 6 ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันคือ Hexanol, Benzyl Alcohol, Ethyl Hexanoate, Ethyl Propionate, Hexanoic Acid และ 2-Methylbutyric Acid โดยนำสารให้กลิ่นแต่ละชนิดผสมกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน และนำไปทำแห้ง พบว่า สารให้กลิ่นแต่ละชนิดมีกลไกในการรวมตัวกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินแตกต่างกันทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นแต่ละชนิดแตกต่างกัน

## 5.2 สารห่อหุ้ม

สารห่อหุ้มที่ใช้ในการกักเก็บสารให้กลิ่นมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่น สารห่อหุ้มที่ดีจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่น ง่ายต่อกระบวนการเอนแคปซูเลท เช่น มีความหนืดต่ำเมื่อความเข้มข้นสูง สามารถกำจัดตัวทำละลายได้อย่างสมบูรณ์ในกรณีที่มีการใช้ตัวทำละลาย สามารถป้องกันการสลายตัวของสารให้กลิ่นได้ดีจากปัจจัยภายนอก มีความคงตัวของอิมัลชันที่ดี และสามารถปลดปล่อยสารให้กลิ่นได้ตามต้องการ (Trubiano and Locourse, 1988) ชนิดของสารห่อหุ้มมีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น น้ำหนักโมเลกุล การจัดเรียงตัว หมู่ฟังก์ชันทางเคมี เป็นต้น Janneoy และ Chairote (2005) ศึกษาการกักเก็บกลิ่นรสของแหมมโดยใช้สารห่อหุ้มชนิดต่างๆ ในปริมาณที่เหมาะสม คือ เคซีนร้อยละ 10 มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE เท่ากับ 10 และเจลาตินในปริมาณร้อยละ 5 แป้งข้าวโพค และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20 โดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า มอลโทเดกซ์ทรินและเจลาตินมีแนวโน้มในการกักเก็บกลิ่นรสแหมมได้ดีกว่าสารห่อหุ้มชนิดอื่น กลิ่นรสแหมมสามารถรวมตัวกับสารห่อหุ้มโดยใช้แรงไฮโดรโฟบิกและพันธะไฮโดรเจน ส่วนการกักเก็บกลิ่นรสแหมม

ของเจลาตินอาจเกิดจากโครงข่ายของเจลาตินล้อมรอบเกี่ยวพันกับสารให้กลิ่นรสของແໜ່ນทำให้สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดี

Kim และ Morr (1996) ศึกษาคุณสมบัติของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลเลทน้ำมันผิวส้มด้วยกัมอะราบิก(Gum Arabic; GA) และโปรตีนชนิดต่างๆ คือ Whey Protein Isolate (WPI), Soy Protein Isolate (SPI) และ Sodium Caseinate (SC) โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า SPI และ WPI มีประสิทธิภาพมากที่สุดและน้อยที่สุดในการกักเก็บน้ำมันผิวส้มในระหว่างการทำแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าไมโครแคปซูลที่ได้จากการใช้ GA และ SC เป็นสารห่อหุ้มน้ำมันผิวส้มมีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันผิวส้มน้อยที่สุดเมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหยได้ของน้ำมันผิวส้มด้วยเทคนิค Dynamic Headspace Analysis แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ทั้งหมด (Total Oil Retention) และปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่บริเวณผิวหน้า (Surface Oil Retention) พบว่า WPI และ GA มีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันผิวส้มน้อยที่สุด

### 5.3 กระบวนการเอนแคปซูล

การเอนแคปซูลสามารถทำได้หลายวิธีทั้งทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งแต่ละวิธีมีความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นแตกต่างกัน ดัง Table 3

Table 3. Characteristics of encapsulation processes.

Techniques	Encapsulation method	Particle size ( $\mu\text{m}$ )	Max. load (%)	References
Chemical	Simple coacervation	20-200	<60	Richard & Benoit, 2000
	Complex coacervation	5-200	70-90	Richard & Benoit, 2000
	Molecular inclusion	5-50	5-10	Uhlemann <i>et al.</i> , 2002
Mechanical	Spray-drying	1-50	<40	Richard & Benoit, 2000
	Spray chilling	20-200	10-20	Uhlemann <i>et al.</i> , 2002
	Extrusion	200-2000	6-20	Uhlemann <i>et al.</i> , 2002
	Fluidized bed	>100	60-90	Richard & Benoit, 2000

ที่มา: Madene และคณะ (2006)

Bhandari และคณะ (1999) ศึกษาการกักเก็บสารระเหยที่ให้กลิ่นส้มด้วยวิธี Paste Method ในอัตราส่วนเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันผิวส้ม เท่ากับ 88:12 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) โดยเปรียบเทียบกระบวนการผลิตระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศ พบว่า ปริมาณน้ำมันผิวส้มที่คงเหลืออยู่ภายหลังการทำแห้งไม่มีความแตกต่างกัน

Kollengode และ Hanna (1997) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเติมสารให้กลิ่นแตกต่างกัน 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 การปั่นผสมแป้งข้าวโพดกับสารให้กลิ่นที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลทโดยใช้ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม แล้วนำไปผ่านกระบวนการอัดรีด วิธีที่ 2 การเติมสารให้กลิ่นลงในแป้งข้าวโพดโดยตรง แล้วนำไปผ่านกระบวนการอัดรีด และวิธีที่ 3 การฉีดสารให้กลิ่นลงไป ในระหว่างการอัดรีดแป้งข้าวโพด จากการศึกษาพบว่า การเติมสารให้กลิ่นโดยการทำให้อยู่ในรูป สารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเดกซ์ทรินก่อนการนำไปอัดรีดจะทำให้ปริมาณของสารให้กลิ่นคง เหลืออยู่มากกว่าการเติมสารให้กลิ่นลงในแป้งข้าวโพดโดยตรงและการฉีดสารให้กลิ่นในระหว่าง การอัดรีด

## 6. กลไกควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่น

การควบคุมการปลดปล่อยเป็นวิธีการซึ่งทำให้สารให้กลิ่นที่ถูกห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลสามารถปลดปล่อยออกมาในอัตราเร็ว บริเวณเป้าหมาย หรือเวลาที่ต้องการได้ การควบคุม การปลดปล่อยจึงมีข้อดี คือ สารให้กลิ่นถูกปลดปล่อยออกมาในอัตราที่ควบคุมได้ ทำให้สามารถยืด อายุกลิ่นให้นานขึ้น หลีกเลี่ยงหรือลดการสูญเสียของสารให้กลิ่นในระหว่างกระบวนการผลิตได้ การปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกจากแคปซูลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การแพร่ของสารให้ กลิ่นผ่านแคปซูล ชนิดและรูปร่างของอนุภาค การเคลื่อนที่จากแคปซูลไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอก และการสลายตัว/การละลายของแคปซูล (Pothakamury and Barbosa-Canovas, 1995) การ ปลดปล่อยสารให้กลิ่นจะเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง เป็น ต้น (Figure 6)

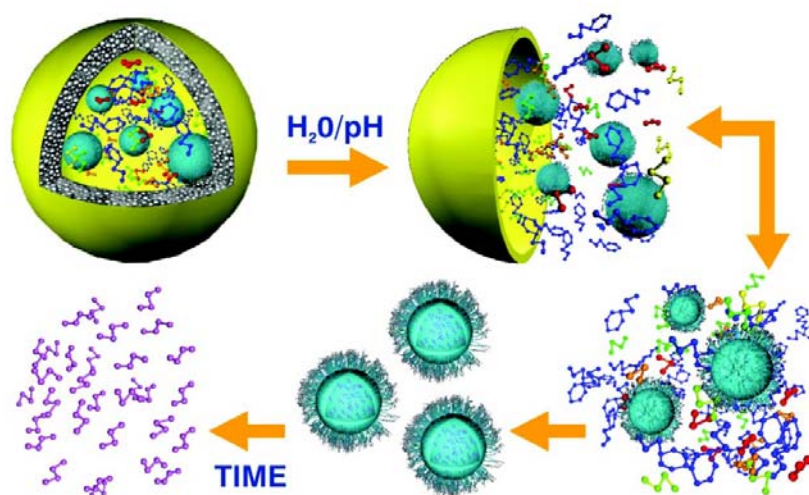


Figure 6. Mechanism of flavor release from microcapsule.

ที่มา: Shefer (2003)

กลไกควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนสามารถจำแนกได้หลายรูปแบบ คือ การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนโดยการแพร่ (Diffusion-Controlled Release) การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนโดยการสลายตัว (Degradation) และการแตกตัว (Fracture) การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนโดยการหลอมเหลว การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนโดยสมบัติกีดขวาง (Barrier-controlled Release) และการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนโดยกลไกร่วม (Combination System)

### 6.1 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนโดยการแพร่

การแพร่ถูกควบคุมโดยการละลายของสารให้กลืนในแคปซูล และการซึมผ่านของสารให้กลืนผ่านแคปซูล การแพร่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหารเพราะเป็นกลไกหลักในการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนออกจากแคปซูล (Crank, 1975) ขั้นตอนที่สำคัญในการปลดปล่อยสารให้กลืนออกจากแคปซูล คือ การแพร่ของสารให้กลืนไปยังบริเวณผิวหนังของแคปซูล ผนังที่กั้นระหว่างสารให้กลืนกับสารห่อหุ้ม และการเคลื่อนที่ของสารให้กลืนออกจากบริเวณผิวหนังของแคปซูล กลไกการแพร่สามารถอธิบายได้ 2 กลไก คือ การแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion) หรือการแพร่แบบอยู่นิ่ง (Static Diffusion) และการแพร่แบบหมุนวน (Eddy Diffusion) หรือการแพร่แบบการพา (Convective Diffusion)

#### 6.1.1 การแพร่ของโมเลกุล

การแพร่ของโมเลกุล เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Random Movement) ของโมเลกุลในของไหลที่อยู่นิ่ง อัตราการแพร่ของโมเลกุลจะแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของสารให้กลืน

#### 6.1.2 การแพร่แบบหมุนวน

การแพร่แบบหมุนวนเป็นการเคลื่อนที่ของสารให้กลืนในรูปของไหลจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง ทำให้ตัวถูกละลายเกิดการละลายขึ้น อัตราการแพร่แบบหมุนวนมักจะสูงกว่าอัตราการแพร่ของโมเลกุล และอัตราการแพร่ขึ้นอยู่กับชนิดของสารให้กลืน (Roos, 2003)

### 6.2 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนโดยการสลายตัว และการแตกตัว

การปลดปล่อยสารให้กลืนโดยการสลายตัวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผนังแคปซูล อาทิเช่น การหลอมเหลว การไฮโดรไลซิส หรือการเสื่อมสลายเนื่องจากเอนไซม์ การปลดปล่อยสารให้กลืนโดยการแตกตัวของแคปซูลเป็นการทำให้ผนังแคปซูลแตกออกเนื่องจากแรงภายนอก เช่น ความดัน แรงเฉือน การเปลี่ยนแปลงความดันไอ หรือความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกระหว่างสารให้กลืนและสารห่อหุ้ม (Whorton, 1995)

### 6.3 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นโดยการหลอมเหลว

กลไกการปลดปล่อยสารให้กลิ่นด้วยวิธีนี้เกี่ยวข้องกับการหลอมเหลวของผนังแคปซูล ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกมา โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมหรือความร้อนซึ่งสามารถทำได้โดยการเก็บรักษาไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของสารห่อหุ้ม เมื่อต้องการให้สารให้กลิ่นถูกปลดปล่อยออกมาจึงนำไมโครแคปซูลนั้นมาให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดหลอมเหลวของสารห่อหุ้ม นอกจากนี้การคนก็เป็นวิธีหนึ่งในการช่วยในการปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกมาได้ดีขึ้นหลังจากเกิดการหลอมเหลวแล้ว (Sparks *et al.*, 1995)

### 6.4 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นโดยสมบัติเกิดขวาง

การปลดปล่อยสารให้กลิ่นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารภายในและนอกแคปซูล ความหนาของผนังแคปซูล และสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ของสารให้กลิ่น

### 6.5 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นโดยกลไกร่วม

การปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกจากแคปซูลอาจเกิดจากหลายกลไกร่วมกันได้ เช่น การแพร่ การสลายตัว การแตกตัว และการหลอมเหลว เป็นต้น

## 7. ลิโมนีน (Limonene)

ลิโมนีน คือ สารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในน้ำมันหอมระเหยที่พบในพืชตระกูลซิตรีส เช่น ส้มและมะนาว เป็นสารประกอบคาร์บอนพันธะคู่เรียกว่า อัลคีน (Alkene) ชนิดหนึ่ง มีสูตรทางเคมี คือ  $C_{10}H_{16}$  น้ำหนักโมเลกุล 136.24 (Figure 7) ลิโมนีนมีจุดเดือด 175 ถึง 178 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว /จุดเยือกแข็ง -89 องศาเซลเซียส และมีความถ่วงจำเพาะ 0.868 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี, 2550) ลิโมนีนมี 2 รูปแบบ คือ แอล-ลิโมนีน (L-Limonene) ซึ่งมีกลิ่นคล้ายน้ำมันสน และดี-ลิโมนีน (D-Limonene) ซึ่งมีกลิ่นหอมของส้ม

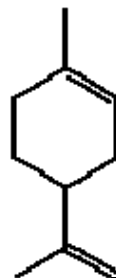


Figure 7. Chemical structures of limonene.

ที่มา : ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (2550)



การสกัดลิโมนีนซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกลั่นด้วยน้ำ การกลั่นด้วยไอน้ำ การสกัดด้วยตัวทำละลาย การบีบอัด เป็นต้น Kamkuan และคณะ (2005) ใช้วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ และวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนในผิวมะนาวควาย (*Citrus medica* L.var medica) ซึ่งเป็นพืชในสกุลส้ม เปรียบเทียบกับผิวของพืชสกุลส้มอีก 2 ชนิด คือ มะนาว (*Citrus aurantifolia* Swing) และมะกรูด (*Citrus hystrix* DC) จากการศึกษา พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยไอน้ำมีมากกว่าการใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน โดยที่ผิวของมะกรูดให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด (ร้อยละของผลผลิต 0.50-0.96) และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนีนในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) พบว่า ในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากผิวมะนาวควายมีปริมาณลิโมนีนมากที่สุด ทั้งจากการสกัดด้วยไอน้ำ และการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (2.88 และ 5.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ)

ลิโมนีนเป็นสารให้กลิ่นส้มที่นิยมนำมาใช้ในอาหาร แต่เนื่องจากลิโมนีนอยู่ในกลุ่มน้ำมันหอมระเหย ซึ่งสามารถระเหยได้ง่ายในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะการใช้ความร้อน มีผลทำให้เกิดการสูญเสียลิโมนีนได้ง่าย จึงได้มีการนำเทคโนโลยีการเอนแคปซูลเข้ามาใช้ในการกักเก็บลิโมนีนเพื่อรักษากลิ่นในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา Yuliani และคณะ (2006) ศึกษาการกักเก็บกลิ่นดี-ลิโมนีนโดยนำสารให้กลิ่นดี-ลิโมนีนที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูลโดยใช้เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มและวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย นำไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นที่ได้ไปผสมกับแป้งข้าวโพดร้อยละ 0-5 จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่โดยใช้อุณหภูมิ 133-167 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในระหว่างกระบวนการอัดรีดแป้งข้าวโพดมีผลทำให้ปริมาณลิโมนีนลดลง นอกจากอุณหภูมิจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บลิโมนีนแล้วขนาดหยดอิมัลชัน (Emulsion Droplet Size) ก่อนการทำแห้ง และขนาดอนุภาคผงของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นลิโมนีนก็มีผลต่อความคงตัวของลิโมนีนด้วย ไมโครแคปซูลที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีความคงตัวมากกว่าและการปลดปล่อยกลิ่นจะน้อยกว่าไมโครแคปซูลที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ในทำนองเดียวกันขนาดหยดอิมัลชันก็มีผลต่อความคงตัวของไมโครแคปซูลที่ได้ โดยที่ขนาดหยดอิมัลชันเล็กจะมีความคงตัวของกลิ่นน้อยกว่าไมโครแคปซูลที่มีหยดอิมัลชันขนาดใหญ่ (Soottitantawat *et al.*, 2005)

นอกจากลิโมนีนแล้วในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดมาจากพืชตระกูลส้มยังมีสารประกอบที่ระเหยได้หลายชนิด (Table 4) ขึ้นอยู่กับชนิดของส้ม วิธีการสกัด และส่วนประกอบของส้มที่ใช้ในการสกัด สารประกอบที่ระเหยได้ในพืชตระกูลส้มส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มโมโนเทอร์พีน และสารให้กลิ่นหลัก คือ ลิโมนีน

Table 4. Volatile compounds in orange essential oil.

Volatile compounds	% w/w	Reference
Monoterpenes	96.83	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	93.98	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
$\alpha$ -pinene	0.51	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	1.26	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
Camphene	0.02	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Sabinene	0.42	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\beta$ -pinene	0.04	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Myrcene	1.22	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	6.28	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
d-limonene	94.55	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	86.27	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
Aldehydes	1.55	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	0.38	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
Octanal	0.23	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Nonanal	0.06	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Citronellal	0.06	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Decanal	0.45	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Neral	0.19	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Geranial	0.23	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Undecanal	0.10	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Dodecanal	0.20	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\alpha$ -sinensal	0.01	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\beta$ -sinensal	0.02	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Alcohols	0.84	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	0.02	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
Octanol	0.04	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Linalool	0.48	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	0.02	Ahmad <i>et al.</i> , 2006

Table 4. Volatile compounds in orange essential oil (Cont.).

Volatile compounds	% w/w	Reference
Alcohols		
$\alpha$ -terpineol	0.13	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Trans-carveol	0.02	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Citronellol	0.11	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Nerol	0.01	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Cis-carveol	0.02	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Geraniol	0.02	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Nerolidol	0.01	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Esters		
	0.29	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Octyl acetate	0.07	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Bornyl acetate	0.04	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Citronellyl acetate	0.05	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Neryl acetate	0.05	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Geranyl acetate	0.01	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Sesquiterpenes		
	0.46	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	2.17	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
$\alpha$ -copaene	0.07	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\beta$ -elemene	0.13	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\beta$ -caryophyllene	0.12	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\alpha$ -cadinene	0.03	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\alpha$ -humulene	0.02	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\beta$ -farnesene	0.04	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
Valencene	0.04	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
$\delta$ -cadinene	0.01	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003
	2.11	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
$\alpha$ -Terpinene	0.07	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
$\gamma$ - Terpinene	0.07	Ahmad <i>et al.</i> , 2006
Carvone	0.03	Rodriguezl <i>et al.</i> , 2003

## 8. กระดาษลูกฟูก

แผ่นกระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุที่สำคัญในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ใช้บรรจุสินค้าได้แทบทุกชนิด สามารถจัดเก็บ เก็บรักษา และขนส่งได้ง่าย สามารถออกแบบให้มีความแข็งแรงและรูปทรงแตกต่างกันตามความต้องการ นอกจากนี้กล่องที่ใช้แล้วยังสามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ เป็นต้น กระดาษลูกฟูกมีส่วนประกอบสำคัญ คือ กระดาษทำผิวกล่อง กระดาษลูกฟูก และ กาว

กระดาษทำผิวกล่อง หมายถึง กระดาษที่ใช้ปะกับกระดาษลูกฟูก มีผิวเรียบ สม่ำเสมอ โดยทั่วไปทำมาจากเส้นใยยาว ด้วยกรรมวิธีซัลเฟต กระดาษชนิดนี้บางครั้งจะเรียกว่า Kraftliner หรือ Linerboard มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล แต่สามารถฟอกให้เป็นสีขาวได้

กระดาษลูกฟูก หมายถึง กระดาษที่นำมาขึ้นลอนเพื่อให้อยู่ระหว่างกระดาษทำผิวกล่อง กระดาษลูกฟูกที่มีคุณภาพดีได้มาจากเส้นใยสั้นของไม้เนื้อแข็ง โดยกรรมวิธีต้มเยื่อแบบกึ่งเคมี โดยทั่วไปกระดาษชนิดนี้มักผลิตมาจากกระดาษที่ใช้แล้ว

กาว เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการยึดติดชั้นของกระดาษเข้าด้วยกัน หากกาวมีคุณภาพไม่เหมาะสมจะทำให้แผ่นกระดาษลูกฟูกขาดความแข็งแรง หลุดล่อนได้ง่าย ปัจจุบันนิยมใช้กาวที่ทำมาจากแป้งชนิดต่างๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเคมีอื่นๆ ลงไปในกาวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้สามารถทนทานต่อความชื้นในอากาศได้ดีขึ้น

การวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นกระดาษลูกฟูกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบ โครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ การปรับปรุงคุณภาพของกล่อง เพื่อลดต้นทุนหรือลดความเสียหาย ตลอดจนเพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจสอบข้อกำหนดในการซื้อขาย คุณสมบัติที่สำคัญอาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ คุณสมบัติของแผ่นกระดาษลูกฟูก เช่น น้ำหนักมาตรฐาน ความต้านทานแรงดันตะลุ ความต้านทานแรงทิ่มตะลุ ความต้านทานแรงกดตามแนวตั้ง ความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก และการดูดซึมน้ำ เป็นต้น และคุณสมบัติในด้านความแข็งแรงของกล่องกระดาษลูกฟูก เช่น การต้านทานแรงกด การต้านทานแรงสั่นสะเทือน การต้านทานแรงกระแทกเมื่อตก การต้านทานแรงกระแทกบนพื้นเอียง การคาดคะเนความเสียหายของกล่องและสินค้าโดยใช้กล่องหกเหลี่ยมที่หมุนได้ เป็นต้น

### 8.1 ความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength)

ความต้านทานแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนชั้นทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้ชั้นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็น กิโลปาสกาล (kPa) หรือกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kgf/cm}^2$ ) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) คุณสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับการต้านแรงดึงขาดและการต้านแรงฉีกขาด เครื่องมือที่ใช้ คือ Mullen Tester มาตรฐานที่ใช้ได้แก่ มอก. 550, ISO 2759, ASTM D 774, ASTM D 2738, TAPPI T 403 และ TAPPI T 810 เป็นต้น

### 8.2 ความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกตามแนวตั้ง (Edgewise Crush Resistance:ECT)

ความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกตามแนวตั้ง หมายถึง ความสามารถของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่จะต้านแรงอัดเมื่อกระทำในทิศทางเดียวกับลูกฟูก (แนวตั้ง) จนกระทั่งชั้นทดสอบหักหรือยุบตัว มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อแผ่นกระดาษลูกฟูกมาก เพราะเป็นค่าที่บอกถึงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงในการเรียงซ้อนของกล่องกระดาษลูกฟูก หรือค่าการรับแรงกดของกล่องนั่นเอง เครื่องมือที่ใช้คือ เครื่องกด (Crush Tester) มาตรฐานที่ใช้ได้แก่ ISO 3037 เป็นต้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2545)

### 8.3 การทดสอบความแข็งแรงของการติดกาว (Pin Adhesive Test)

การทดสอบความแข็งแรงของการติดกาว หมายถึง แรงที่ใช้ในการแยกกระดาษลูกฟูกระหว่างยอดลอนลูกฟูกและกระดาษปะผิว บ่งบอกถึงความแข็งแรงในการยึดติดของกาวกับกระดาษลูกฟูก ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษลูกฟูกและกล่องกระดาษลูกฟูก (TAPPI T 821 om-87)

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นสัมผัสของไมโครแคปซูลที่ผลิตจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและโมเลกุลลาร์อินคลูชัน
2. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นสัมผัสกับกระดาษ
3. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการกักเก็บสารให้กลิ่นสัมผัสบนกระดาษ

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

#### วิธีดำเนินการ

การวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย 5 การทดลองหลัก คือ การศึกษาความเข้มข้นของลิโมนีนในสารให้กลิ่นส้มทางการค้า การผลิตไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้สารห่อหุ้ม 2 ชนิด คือ มอลโทเดกซ์ทริน และเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน และวิธีการเอนแคปซูล 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย และวิธีโมเลกุลลาร์อินคลูชัน นำไมโครแคปซูลที่ได้ภายหลังการเอนแคปซูลมาศึกษาสมบัติต่าง ๆ ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยสารให้กลิ่นส้มของไมโครแคปซูล และศึกษาการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม (Figure 8)

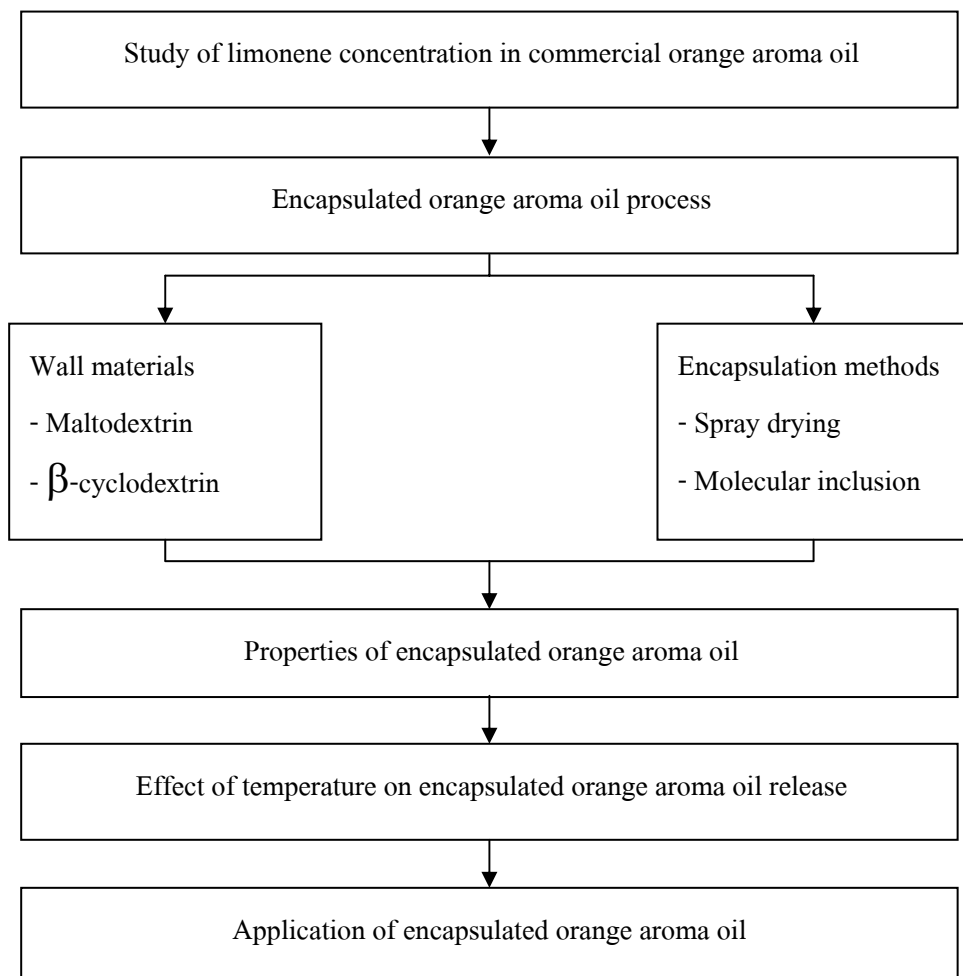


Figure 8. Flowchart of research.

## 1. ศึกษาความเข้มข้นของลิโมนีนในสารให้กลิ่นส้มทางการค้า

1.1 วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของสารละลายลิโมนีนมาตรฐาน ด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (Hydrodistillation Method) (ดัดแปลงจาก Bhandari, 1999) โดยใช้ปริมาณสารละลายลิโมนีนมาตรฐาน 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ในการกลั่น

1.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายลิโมนีนมาตรฐานที่ใช้ในการกลั่นและปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้

1.3 วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของสารให้กลิ่นส้มทางการค้าด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ โดยใช้ปริมาณสารให้กลิ่น 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ในการกลั่น

1.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารให้กลิ่นส้มที่ใช้ในการกลั่นและปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้

1.5 นำสารให้กลิ่นส้มทางการค้าให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมด เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันทั้งหมดภายหลังการสกัดจำนวน 4 ระดับ และนำไปวิเคราะห์ปริมาณลิโมนีนด้วย GC

1.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิโมนีนและปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้

1.7 คำนวณความเข้มข้นของลิโมนีนในสารให้กลิ่นส้มทางการค้า

## 2. การผลิตไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม

จากการศึกษาเบื้องต้นในการผลิตไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทริน และเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มในอัตราส่วนสารห่อหุ้มต่อสารให้กลิ่นส้มเท่ากับ 1 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออกเท่ากับ 160 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า การเตรียมสารละลายมอลโทเด็กซ์ทรินผสมสารให้กลิ่นส้มก่อนการทำแห้งก่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำและสารให้กลิ่นส้มซึ่งอยู่ในรูปน้ำมัน จึงจำเป็นต้องมีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อช่วยทำให้ได้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับการใส่เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ในระหว่างการเติมสารให้กลิ่นส้มลงไปในการละลายของเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินได้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินกับสารให้กลิ่นส้มและตกตะกอนออกมา ทำให้เมื่อนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย สารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าหัวฉีดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเหตุให้เกิดการอุดตันขึ้น เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินจึงไม่เหมาะในการเอนแคปซูลด้วยวิธีนี้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ออกแบบการทดลองโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียว

Table 5. Formula of orange aroma oil encapsulated with maltodextrin.

Ratio of MD:O (w/w )	Maltodextrin (g)	Aroma oil (g)	Water (g)
2:1	200	100	1000
1:1	200	200	1000
1:2	200	400	1000

นำส่วนผสมในแต่ละชุดการทดลองดัง Table 5 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ TWEEN 20 ร้อยละ 2 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160-170 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศขาออก 70-80 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ที่ได้เก็บในขวดแก้วปิดสนิท

### 3. การผลิตไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การเอนแคปซูลด้วยวิธีโมเลกุลาร์อินคลูชันไม่เหมาะกับการผลิตไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้มอลโทเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม เนื่องจากมอลโทเด็คซ์ทรินสามารถละลายน้ำได้ดี และไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารให้กลิ่นส้ม การใช้มอลโทเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มจึงเหมาะกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งสามารถแยกน้ำออกจากส่วนผสมได้อย่างรวดเร็วและไม่ยุ่งยาก ในขณะที่การใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารให้กลิ่นส้ม ทำให้สามารถแยกตะกอนที่เกิดขึ้นมาแล้วนำไปทำแห้งได้ง่าย ในการศึกษาผลิตไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มด้วยวิธีโมเลกุลาร์อินคลูชันจึงใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียวและมีการผลิตไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม 2 วิธี คือ การผลิตด้วยวิธีสารละลาย และวิธี Paste Method

#### 3.1 การผลิตด้วยวิธีสารละลาย

3.1.1 นำเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินละลายในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เติมสารให้กลิ่นส้มลงไปในส่วนละลายเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินอย่างช้า ๆ โดยใช้อัตราส่วนตามชุดการทดลอง ดัง Table 6 จากนั้นทำให้เย็นลงจนกระทั่งถึงอุณหภูมิต่ำ กวนสารละลายผสมที่ได้โดยใช้ Magnetic Stirrer เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เก็บสารละลายผสมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง



Table 6. Formula of orange aroma oil encapsulated using solution method and  $\beta$ -cyclodextrin.

Ratio of $\beta$ -CD:O (w/w )	$\beta$ -cyclodextrin (g)	Aroma Oil (g)	Water (g)
2:1	100	50	1000
1:1	100	100	1000
1:2	100	200	1000

3.1.2 นำสารละลายผสมที่ได้มาแยกน้ำมันที่เหลืออยู่ทั้งหมดบริเวณผิวหน้า โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำและน้ำมัน คำนวณหาปริมาณสารให้กลิ่นที่ถูกกักเก็บอยู่ในสารห่อหุ้มแต่ละชุดการทดลอง

3.1.3 กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และนำตะกอนไปทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน <6.7 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง

3.1.4 นำไมโครแคปซูลที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียด เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขวดแก้วปิดสนิท

### 3.2 การผลิตด้วยวิธี paste method

นำเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน 100 กรัมผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วนเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 3 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส เติมสารให้กลิ่นสัมลงไปอย่างช้าๆ ในอัตราส่วนสารให้กลิ่นสัมต่อเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน เท่ากับ 2 ต่อ 1, 3 ต่อ 1 และ 4 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที ทำแห้งสารผสมที่ได้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน <6.7 กิโลปาสกาล เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง นำไมโครแคปซูลที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียด นำผลิตภัณฑ์ที่ได้เก็บในขวดแก้วปิดสนิท

## 4. ศึกษาสมบัติของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

4.1 นำไมโครแคปซูลที่ได้จากการผลิตโดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินและเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มที่ผลิตได้จากข้อ 2, 3.1 และ 3.2 จำนวน 9 ตัวอย่าง ทดสอบสมบัติ ดังนี้

4.1.1 ปริมาณความชื้น (A.O.A.C, 2000)

4.1.2 ปริมาณน้ำมันทั้งหมดด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำโดยใช้ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม 30 กรัมและน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร (ดัดแปลงจาก Bhandari, 1999)

4.1.3 ความหนาแน่นรวม(Bulk density) (Hall and Hedrick, 1971 อ้างโดย Kim and Morr, 1996)

4.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการกักเก็บสารให้กลิ่น ดังสมการ (ดัดแปลงจาก Yuliani *et al.*, 2006)

$$\text{Efficiency of flavor retention} = \frac{\left[ \frac{\text{Oil(g)}}{\text{encapsulated aroma oil} - \text{Oil(g)}} \right]_{\text{finished}}}{\left[ \frac{\text{Oil(g)}}{\text{wall material(g)}} \right]_{\text{initial}}} \times 100$$

4.3 คัดเลือกสูตรการผลิตไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่มีประสิทธิภาพการกักเก็บสารให้กลิ่นสัมฤทธิ์ที่สุด วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

4.3.1 ศึกษาพื้นฐานวิทยาของไมโครแคปซูลโดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และเครื่อง Confocal Scanning Laser Microscope (CSLM)

4.3.2 โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

## 5. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยสารให้กลิ่นสัมของไมโครแคปซูล

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นสัมที่ใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มสามารถปลดปล่อยสารให้กลิ่นสัมออกมาได้มากในช่วงแรก และกลิ่นจะจางลงอย่างรวดเร็ว ส่วนไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นสัมที่ใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นสัมได้มากกว่า และจะค่อยๆ ปลดปล่อยสารให้กลิ่นสัมออกมา ทำให้สามารถให้กลิ่นในระยะเวลาที่นานกว่าการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม การศึกษานี้จึงได้นำข้อดีของการใช้สารห่อหุ้มทั้งสองชนิดมาใช้ร่วมกัน เพื่อให้สามารถเก็บรักษาสารให้กลิ่น และค่อยๆ ปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกมาทำให้สามารถได้รับกลิ่นในระยะเวลาที่นานขึ้น จึงมีการออกแบบการทดลองดังต่อไปนี้

5.1 นำไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นสัมที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.3 มาผสมกันในอัตราส่วนดัง Table 7

Table 7. Ratio of encapsulated orange aroma oil using maltodextrin and  $\beta$ -cyclodextrin.

Treatment	Ratio of encapsulated orange aroma oil (%)		Code
	Maltodextrin	$\beta$ -cyclodextrin	
1	100	0	100MD
2	80	20	80MD
3	60	40	60MD
4	50	50	50MD
5	40	60	40MD
6	20	80	20MD
7	0	100	0MD
8	0	0	aroma oil

5.2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดและทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 12 คน ด้วยวิธีการดังภาคผนวกข้อ 10 ตลอดจนการเก็บรักษาในสภาวะเปิดที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส ทุก 1 สัปดาห์ เป็นเวลา 2 เดือน

5.3 คัดเลือกอัตราส่วนการผสมไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ได้จากการใช้มอลโทเด็กซ์ทริน และเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มที่มีประสิทธิภาพการกักเก็บสารให้กลิ่นส้มที่ดีที่สุด ทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

## 6. ศึกษาการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

6.1 นำไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ได้จากการใช้มอลโทเด็กซ์ทริน และเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มในอัตราส่วนที่คัดเลือกได้จากการทดลอง 5.3 ผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วนไมโครแคปซูลต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 2.5 ต่อ 1 เคลือบลงบนลอนกระดาษลูกฟูกขนาด 13 x 13 ตารางเซนติเมตร ในปริมาณ 30 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร วางทิ้งไว้ให้แห้ง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 5\%$  และประกบติดกระดาษปะผิวอีกด้านหนึ่ง

6.2 ทดสอบสมบัติของกระดาษลูกฟูกภายหลังการเคลือบเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการเคลือบ และผ่านการเคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้ม ดังนี้

6.2.1 ความต้านทานแรงคั้นทะลุ (TAPPI T 403 om-91)

6.2.2 ความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกตามแนวตั้ง (TAPPI T 811 om-88)

6.2.3 ความสามารถในการยืดคัตของกระดาษปะผิวและลอนลูกฟูก (TAPPI T 821 om-87)

6.3 วิเคราะห์คุณภาพแผ่นกระดาษเคลือบที่ได้ตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทุก 1 สัปดาห์เป็นเวลา 1 เดือน ดังนี้

6.3.1 น้ำหนักกระดาษลูกฟูก

6.3.2 ปริมาณน้ำมันทั้งหมด ด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (ดัดแปลงจาก Bhandari, 1999)

6.3.3 ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่น

## 7. การวางแผนการทดลอง

การทดลองข้อ 2-6 ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) นำข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 10.0 for windows และนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## วัสดุและอุปกรณ์

1. มอลโทเด็กซ์ทริน ที่มีค่า DE เท่ากับ 10 จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด ไฮชายนน์
2. เบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน จำหน่ายโดยบริษัทคานาอัน เอนเตอร์ไพรส์ (ประเทศไทย) จำกัด
3. สารให้กลิ่นส้มทางการค้าในรูปของเหลว จำหน่ายโดยบริษัท มานา เคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด
4. สารละลายลิโมنینมาตรฐาน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 ผลิตโดยบริษัท Fluka
5. แผ่นกระดาษลูกฟูกเกรด CA125/CA125/CA125 ขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 13x13 ตารางเซนติเมตร ลอน B
6. กาวลาเท็กซ์ ยี่ห้อ TOA
7. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ยี่ห้อ Niro ประเทศเดนมาร์ก
8. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (Gas Chromatography) ยี่ห้อ AGILENT รุ่น GC 6890N ประเทศอเมริกา
9. เครื่องกวนชนิดแม่เหล็ก ยี่ห้อ LABTECH รุ่น 1003 ประเทศญี่ปุ่น
10. เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ยี่ห้อ IKA รุ่นUTL 25 Digital ประเทศเยอรมนี

- ประเทศญี่ปุ่น
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 5800LV
  12. เครื่อง Confocal Laser Scanning Microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800 LV
  13. อุปกรณ์ชุดสกัดน้ำมัน ประกอบด้วย ขวดทรงกลมและชุดกลั่น
  14. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR30K ประเทศ
- อังกฤษ
15. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy ยี่ห้อ BRUKER รุ่น EQUINOX 55

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

##### 1. ศึกษาความเข้มข้นของลิโมนีนในสารให้กลิ่นส้มทางการค้า

การศึกษาค้นคว้าความเข้มข้นของลิโมนีนในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของลิโมนีนมาตรฐานและสารให้กลิ่นส้มทางการค้า แล้วนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันทั้งหมดและปริมาณลิโมนีน จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำโดยใช้ลิโมนีนมาตรฐานในปริมาณต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันทั้งหมดด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำและผลของปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้ พบว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณลิโมนีนมาตรฐานที่ใช้เริ่มต้น (Figure 9) และเมื่อคำนวณหาปริมาณร้อยละของน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้ (%Yield) มีค่าเท่ากับ 95.39 แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดโดยการกลั่นด้วยน้ำมีประสิทธิภาพสูงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันทั้งหมดได้ และจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของสารให้กลิ่นส้มทางการค้า พบว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณสารให้กลิ่นส้มที่ใช้เริ่มต้น เช่นเดียวกัน และจาก Figure 10 แสดงว่าสารให้กลิ่นส้มทางการค้ามีปริมาณน้ำมันทั้งหมดร้อยละ 20.31

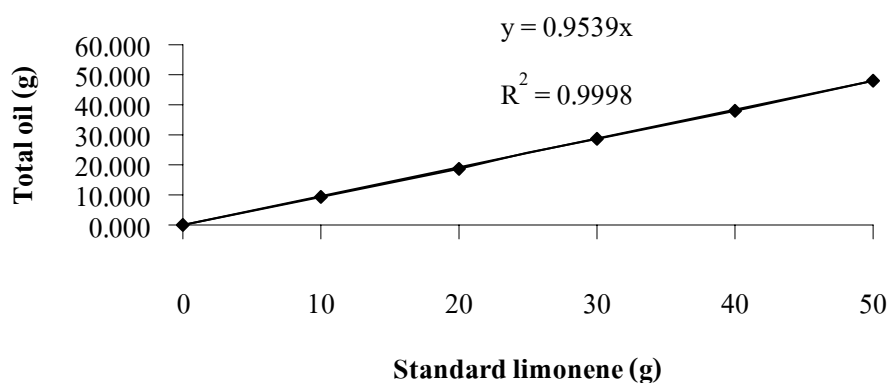


Figure 9. Relation between amount of standard limonene and total oil content.

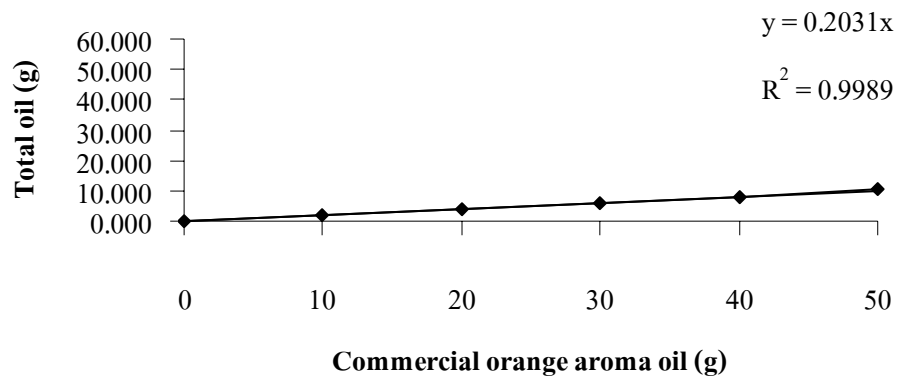


Figure 10. Relation between commercial orange aroma oil and total oil content.

การศึกษาปริมาณลิโมนีนในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าโดยการนำน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้จากสารให้กลิ่นส้มทางการค้าซึ่งเตรียมด้วยวิธีการตามข้อ 1.5 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้จากการกลั่นด้วยน้ำและปริมาณลิโมนีนจากการวิเคราะห์ด้วย GC พบว่า ปริมาณน้ำมันทั้งหมดและปริมาณลิโมนีนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดัง Figure 11 แสดงว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้สอดคล้องในทิศทางเดียวกับปริมาณลิโมนีนที่มีอยู่ในตัวอย่าง จาก Figure 10 พบว่าสารให้กลิ่นส้มทางการค้ามีปริมาณน้ำมันทั้งหมดร้อยละ 20.31 นั่นคือ สารให้กลิ่นส้มทางการค้าเริ่มต้น 100 กรัม จะมีปริมาณน้ำมันทั้งหมด 20.31 กรัม ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของลิโมนีนในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าโดยใช้สมการ  $y = 0.5441x$  ที่ได้จาก Figure 11 จะพบว่า สารให้กลิ่นส้มทางการค้าเริ่มต้นมีลิโมนีนร้อยละ 11.05

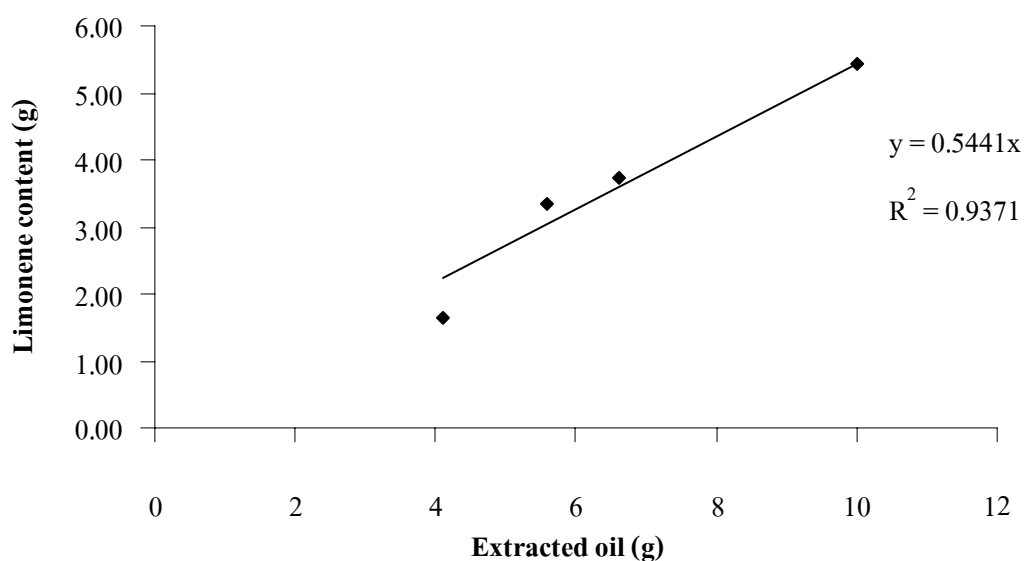


Figure 11. Relation between extracted oil and limonene content.

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ระเหยได้ในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าโดยใช้ GC-MS และกำหนดสถานะในการวิเคราะห์ดัง Table 17 พบว่า ได้โครมาโทแกรมของสารที่ระเหยได้แสดงดัง Figure 12 ซึ่งมีสารประกอบที่ระเหยได้ในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าจำนวน 10 ชนิด (Table 8) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ โมโนเทอร์พีน แอลดีไฮด์ เอสเทอร์และกลุ่มที่ไม่ทราบชื่อ โดยสารที่อยู่ในกลุ่มโมโนเทอร์พีนมี 1 ชนิด คือลิโมนีน สารในกลุ่มแอลดีไฮด์มี 2 ชนิด คือ Octanal และ Undecanal ซึ่งสารทั้ง 3 ชนิดเป็นสารที่ให้กลิ่นส้มที่มีอยู่ในพืชตระกูลส้ม (ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี, 2550) สารในกลุ่มเอสเทอร์มี 2 ชนิด คือ 1-Phenylethyl Acetate และ Linalyl Acetate และสารที่ไม่ทราบชื่อจำนวน 5 ชนิด สารที่ระเหยได้ในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ลิโมนีน (ร้อยละ 56.12), 1-Phenylethyl Acetate (ร้อยละ 10.22), Linalyl Acetate (ร้อยละ 5.26), Octanal (ร้อยละ 4.99) และ Undecanal (ร้อยละ 0.67) ตามลำดับ แสดงว่า สารให้กลิ่นส้มทางการค้ามีปริมาณลิโมนีนมากที่สุด ซึ่งสารชนิดนี้จะพบมากในพืชตระกูลส้ม เช่น ส้มและมะนาว และให้กลิ่นหอมของส้ม นั่นคือ กลิ่นส้มที่ได้รับจากสารให้กลิ่นส้มทางการค้านั้นมาจากลิโมนีนเป็นหลัก

ข้อสังเกตหนึ่งที่เกิดจากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบที่ระเหยได้ของสารให้กลิ่นส้มทางการค้าด้วย GC-MS พบว่าสารให้กลิ่นส้มทางการค้ามีลิโมนีนร้อยละ 56.12 ดัง Table 8 เป็นเพียงร้อยละของลิโมนีนต่อสารประกอบที่ระเหยได้ทั้งหมดเท่านั้น ในขณะที่ลิโมนีนร้อยละ 11.05 จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากความสัมพันธ์ใน Figure 10 และ Figure 11 เป็นผลการคำนวณร้อยละของลิโมนีนต่อสารให้กลิ่นส้มทางการค้า

Table 8. Volatile compounds in orange aroma oil.

Volatile compounds	Retention time (min)	Relative GC peak area (%)
Octanal	7.615	4.99
Limonene	7.963	56.12
1-Phenylethyl acetate	10.759	10.21
Linalyl acetate	11.496	5.26
Undecanal	12.257	0.67
Unknown 1	8.250	15.40
Unknown 2	10.209	1.33
Unknown 3	10.381	2.57
Unknown 4	11.338	1.96
Unknown 5	13.928	1.49



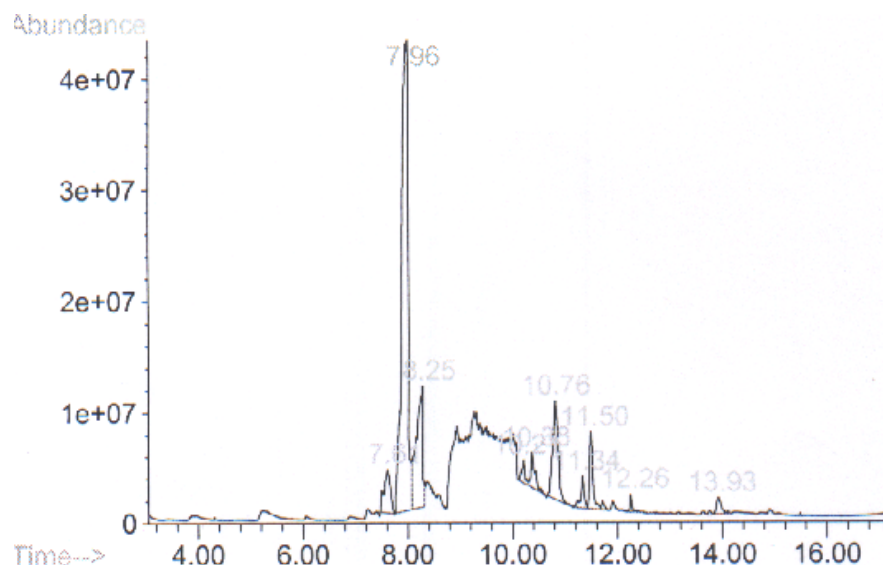


Figure 12. Chromatogram of volatile compounds in orange aroma oil.

ภายหลังจากการสกัดน้ำมันทั้งหมดในตัวอย่างสารให้กลิ่นส้มทางการค้าได้ ทำการศึกษาชนิดและปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้ พบว่าโครมาโทแกรมของสารที่ระเหยได้แสดงดัง Figure 13 ซึ่งมีสารประกอบที่ระเหยได้ในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าจำนวน 4 ชนิดโดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ โมโนเทอร์พีน แอลกอฮอล์ และกลุ่มที่ไม่ทราบชื่อ (Table 9) โดยสารที่อยู่ในกลุ่มโมโนเทอร์พีนมี 1 ชนิด คือ ลิโมนีน สารในกลุ่มแอลกอฮอล์มี 1 ชนิด คือ Linalool และสารที่ไม่ทราบชื่อจำนวน 1 ชนิด ซึ่งลิโมนีนและ Linalool เป็นสารที่ให้กลิ่นส้มซึ่งพบในพืชตระกูลส้ม (ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี, 2550) จะเห็นได้ว่าน้ำมันที่สกัดได้จากสารให้กลิ่นส้มมีปริมาณลิโมนีนสูงถึงร้อยละ 82.96 แสดงว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้สามารถบ่งบอกถึงปริมาณลิโมนีนที่มีอยู่ในตัวอย่างนั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่ระเหยได้ในน้ำมันที่สกัดได้จากสารให้กลิ่นส้มทางการค้ามี Linalool เป็นองค์ประกอบในขณะที่ไม่พบสารดังกล่าวในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าเริ่มต้น อาจเนื่องมาจากสารชนิดนี้มีปริมาณน้อยมากในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าเริ่มต้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วย GC จึงไม่สามารถตรวจพบได้ แต่เมื่อนำสารให้กลิ่นส้มทางการค้ามาสกัดทำให้สารดังกล่าวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจึงสามารถตรวจพบได้ในน้ำมันที่สกัดจากสารให้กลิ่นส้มทางการค้า ซึ่ง Linalool เป็นสารที่ให้กลิ่นส้มที่พบได้ในพืชตระกูลส้ม เช่นเดียวกับลิโมนีน

Table 9. Volatile compounds in extracted orange aroma oil by hydrodistillation.

Volatile compounds	Retention time (min)	Relative GC peak area (%)
Limonene	8.015	82.96
Linalool	9.238	11.09
Unknown 1	7.481	0.85
Unknown 2	10.773	5.10

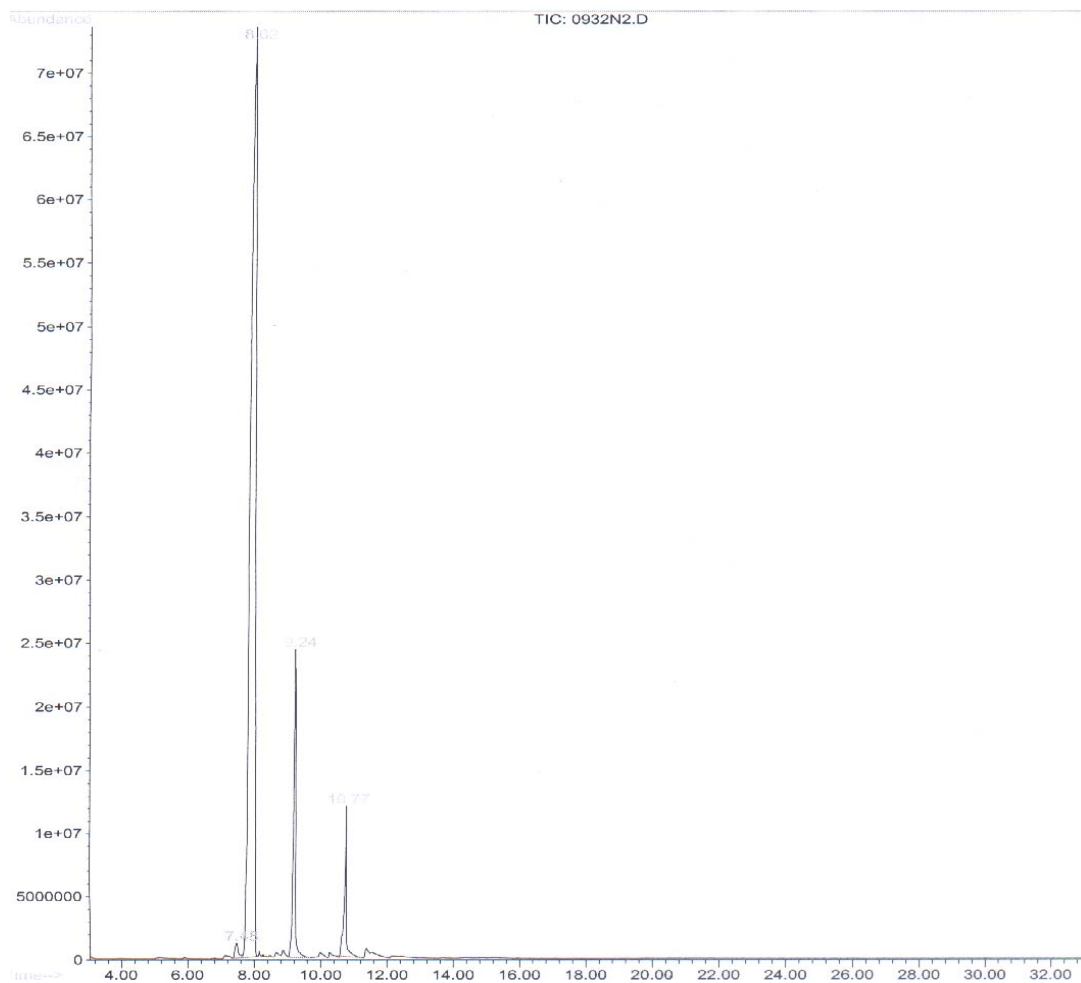


Figure 13. Chromatogram of volatile compounds in extracted orange aroma oil.

สารประกอบที่ระเหยได้ที่ตรวจพบทั้งในสารให้กลิ่นส้มทางการค้าเริ่มต้นและในน้ำมันที่สกัดจากสารให้กลิ่นส้มทางการค้าเป็นสารที่พบในน้ำมันหอมระเหยในพืชตระกูลส้ม สอดคล้องกับการศึกษาของ Rodríguez และคณะ (2003) ซึ่งตรวจพบลิโมนีน (ร้อยละ 94.55),

Octanal (ร้อยละ 0.23), Undecanal (ร้อยละ 0.10), Linalool (ร้อยละ 0.48) และจากการศึกษาของ Ahmad และคณะ (2006) พบว่าน้ำมันพืชมีปริมาณสารระเหยได้หลัก คือ ลิโมนีน (ร้อยละ 86.27)

## 2. ศึกษาสมบัติของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

### 2.1 สมบัติทางเคมีของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

สารห่อหุ้มที่นำมาใช้ในการเอนแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มมี 2 ชนิด คือ มอลโทเด็กซ์ทรินและเบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งสารแต่ละชนิดมีคุณลักษณะดัง Table 10 และ Table 11 เมื่อนำสารห่อหุ้มทั้ง 2 ชนิดมาศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นพบว่า มอลโทเด็กซ์ทรินและเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินมีค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 3.91 และ 12.49 ตามลำดับ และมีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.65 และ 0.75 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ระบุในเอกสารจากผู้ผลิต แสดงว่าสารห่อหุ้มทั้ง 2 ชนิดมีสมบัติเป็นไปตามที่ต้องการและสามารถนำมาใช้ได้

Table 10. Properties of maltodextrin.

Properties	Value	
	Specification	Experiment
Moisture (%)	5.63	3.91±0.32
Solubility (%)	99.80	-
DE (%)	11.72	-
Bulk density (g/ml)	-	0.65±0.00
Aw	-	0.27±0.01

Table 11. Properties of  $\beta$ -cyclodextrin.

Properties	Value	
	Specification	Experiment
Moisture (%)	$\leq 14.0$	12.49 $\pm$ 0.25
Solubility in water (g/100ml)		
at 20°C	1.6	
at 50°C	7.5	
at 80°C	25.0	
Bulk density (g/ml)	0.7	0.75 $\pm$ 0.00
Aw	-	0.41 $\pm$ 0.00

จากการศึกษาการเอนแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้สารห่อหุ้ม 2 ชนิด คือ มอลโทเด็คซ์ทริน ด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย และเบต้าไซโคลเด็คซ์ทริน ด้วยวิธี โมเลกุลาร์อินคลูชัน โดยวิธีโมเลกุลาร์อินคลูชันสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ แบบสารละลาย และ Paste Method โดยใช้อัตราส่วนสารห่อหุ้มต่อสารให้กลิ่น 3 อัตราส่วน คือ 2 ต่อ 1, 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2 พบว่า การเอนแคปซูลด้วยเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินโดยวิธี Paste Method ไม่สามารถทำใน อัตราส่วนที่กำหนดได้ เนื่องจากภายหลังการนวดผสมในอัตราส่วนดังกล่าวพบว่าเป็นอัตราส่วนที่มี สารให้กลิ่นมากเกินไป ทำให้สารให้กลิ่นไม่สามารถถูกกักเก็บเข้าไปในโครงสร้างของ เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินได้ด้วยวิธีนี้ เกิดลักษณะสารให้กลิ่นเยิ้มอยู่บริเวณผิวหน้า (Figure 14) และ เมื่อนำสารผสมนั้นไปทำแห้งจะได้ไมโครแคปซูลที่ไม่แห้ง แสดงว่าอัตราส่วนที่กำหนดไม่ เหมาะสมสำหรับการเอนแคปซูลด้วยวิธีการนี้ จึงได้มีการปรับอัตราส่วนสารห่อหุ้มต่อสารให้ กลิ่นเป็น 2 ต่อ 1, 3 ต่อ 1 และ 4 ต่อ 1



Figure 14. Appearance of encapsulation by paste method for 1:1 of wall material to orange aroma Ratio.

เมื่อได้ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มแต่ละวิธีแล้วนำมาศึกษาสมบัติต่างๆ ของแคปซูลที่ได้ พบว่า ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ได้จากการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย แสดงดัง Table 12 จะเห็นได้ว่าไมโครแคปซูลที่ได้มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.48-8.75 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารให้กลิ่นที่ใช้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) อาจเนื่องจากการใช้สารให้กลิ่นส้มมากเกินไปทำให้มอลโทเด็กซ์ทรินไม่สามารถเกิดฟิล์มห่อหุ้มสารให้กลิ่นส้มได้หมด จึงทำให้มีสารให้กลิ่นส่วนเกินเหลืออยู่บริเวณผิวหน้าของไมโครแคปซูล ส่งผลทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารให้กลิ่นส้มที่ใช้ (Padukka *et al.*, 2000) อย่างไรก็ตามค่า Aw ของไมโครแคปซูลทุกอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.13-0.17 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของไมโครแคปซูลมีค่าอยู่ในช่วง 0.33-0.51 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารให้กลิ่นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) อาจเนื่องมาจากการใช้สารให้กลิ่นในปริมาณมากจะทำให้การเกิดฟิล์มของมอลโทเด็กซ์ทรินล้อมรอบสารให้กลิ่นลดลง ทำให้มีน้ำหนักของอนุภาคต่อปริมาตรมีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าลดลงตามปริมาณสารให้กลิ่นที่ใช้เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลที่ได้จากการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มในอัตราส่วนมอลโทเด็กซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้ม 3 อัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยอัตราส่วนมอลโทเด็กซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้ม เท่ากับ 2 ต่อ 1, 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2 พบว่า มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 45.28, 33.69 และ 0.73 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีค่าลดลงตามอัตราส่วนสารให้กลิ่นส้มที่ใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่มากเกินไปทำให้มอลโทเด็กซ์ทรินไม่สามารถห่อหุ้มน้ำมันที่ใช้ทั้งหมดได้ ทำให้มีสารให้กลิ่นส่วนเกินที่ไม่ถูกมอลโทเด็กซ์ทรินเกิดฟิล์มล้อมรอบได้ ส่งผลให้ใน

ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารให้กลิ่นส่วนที่ไม่ถูกห่อหุ้มจะอยู่บริเวณผิวหน้าของอนุภาค และสูญเสียบรรยากาศเมื่อได้รับความร้อนสูงในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งใช้อุณหภูมิสูงถึง 160-170 องศาเซลเซียส ดังนั้นปริมาณน้ำมันของไมโครแคปซูลจึงมีค่าลดลงตามอัตราส่วนสารให้กลิ่นที่ใช้เพิ่มขึ้น อัตราส่วนมอลโทเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นเท่ากับ 2 ต่อ 1 มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดสูงที่สุดจึงคัดเลือกอัตราส่วนนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

Table 12. Properties of encapsulated orange aroma oil using maltodextrin.

Ratio of MD:O	Moisture (%)	Aw	Bulk density (g/ml)	Total oil retention (%)
2:1	4.48±0.05 <sup>a</sup>	0.13±0.00 <sup>a</sup>	0.51±0.01 <sup>c</sup>	45.28±0.92 <sup>c</sup>
1:1	5.99±0.22 <sup>b</sup>	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.46±0.00 <sup>b</sup>	33.69±1.22 <sup>b</sup>
1:2	8.75±0.13 <sup>c</sup>	0.17±0.01 <sup>c</sup>	0.33±0.00 <sup>a</sup>	0.73±0.13 <sup>a</sup>

The different superscript in the same column denote the significant differences (p<0.05)

การศึกษาการเอนแคปซูลโดยใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มด้วยวิธีสารละลายทำได้โดยการเตรียมสารละลายเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินแล้วเติมสารให้กลิ่นลงไปจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินและสารให้กลิ่นขึ้น และตกตะกอนออกมา จากนั้นนำสารละลายพร้อมตะกอนที่เกิดขึ้นไปกวนผสมเพื่อทำให้สารให้กลิ่นถูกกักเก็บอยู่ในโครงสร้างของสารห่อหุ้มได้สมบูรณ์ นำตะกอนที่ได้ไปทำแห้งและปั่นให้มีลักษณะเป็นผงละเอียดจากการศึกษาโดยใช้อัตราส่วนของเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นสามระดับ คือ 2 ต่อ 1, 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2 พบว่า ภายหลังจากเติมสารให้กลิ่นลงไปในการเตรียมเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินในอัตราส่วนเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นเท่ากับ 2 ต่อ 1 ไม่มีน้ำมันหลงเหลืออยู่เลย แสดงว่าอัตราส่วนนี้สารให้กลิ่นถูกกักเก็บอยู่ในเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินได้หมด ในขณะที่อัตราส่วนเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นเท่ากับ 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2 มีปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ร้อยละ 0.12 และ 1.94 ตามลำดับ (Figure 15) และเมื่อกรองตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วนำไปอบแห้งจะได้ไมโครแคปซูลในรูปผงแห้ง ผลการศึกษาคุณสมบัติของไมโครแคปซูลที่ได้แสดงดัง Table 13 ไมโครแคปซูลที่ได้มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 6.25-7.51 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารให้กลิ่นที่ใช้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แสดงว่าปริมาณสารให้กลิ่นที่ใช้เริ่มต้นมีผลต่อความชื้นของไมโครแคปซูล ค่าความชื้นที่วิเคราะห์ได้สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับการใช้มอลโทเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม อย่างไรก็ตามค่า Aw ของไมโครแคปซูลทุกอัตราส่วนมีค่าอยู่

ในช่วง 0.19-0.25 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของไมโครแคปซูลมีค่าอยู่ในช่วง 0.47-0.49 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษาปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ถูกกักเก็บอยู่ในเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินของไมโครแคปซูลที่ได้จากการใช้อัตราส่วนเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้ม 3 อัตราส่วนด้วยวิธีสารละลาย พบว่า ปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยอัตราส่วนเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้ม เท่ากับ 2 ต่อ 1, 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 2 มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 61.25, 37.97 และ 20.84 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ถูกกักเก็บมีค่าลดลงตามปริมาณน้ำมันที่ใช้เริ่มต้น สอดคล้องกับการทดลองของ Bhandari และคณะ (1998) ซึ่งศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกักเก็บสารให้กลิ่นที่ระเหยได้ของน้ำมันจากผิวเลมอน (Lemon Oil) พบว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำมันเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มในการกักเก็บน้ำมันลดลง และที่อัตราส่วนของเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันจากผิวเลมอนเท่ากับ 88:12 มีร้อยละการกักเก็บน้ำมันเท่ากับ 70 จากข้อมูลปริมาณน้ำมันที่เหลือจากการกักเก็บ และปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้จากแคปซูลที่ใช้อัตราส่วนเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นเท่ากับ 2 ต่อ 1 มีค่ามากที่สุดจึงคัดเลือกอัตราส่วนนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป ซึ่งเมื่อคำนวณเปรียบเทียบอัตราส่วนของเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินต่อน้ำมันที่ใช้ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 88:10 ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกักเก็บน้ำมันจากผิวเลมอนของ Bhandari และคณะ (1998)

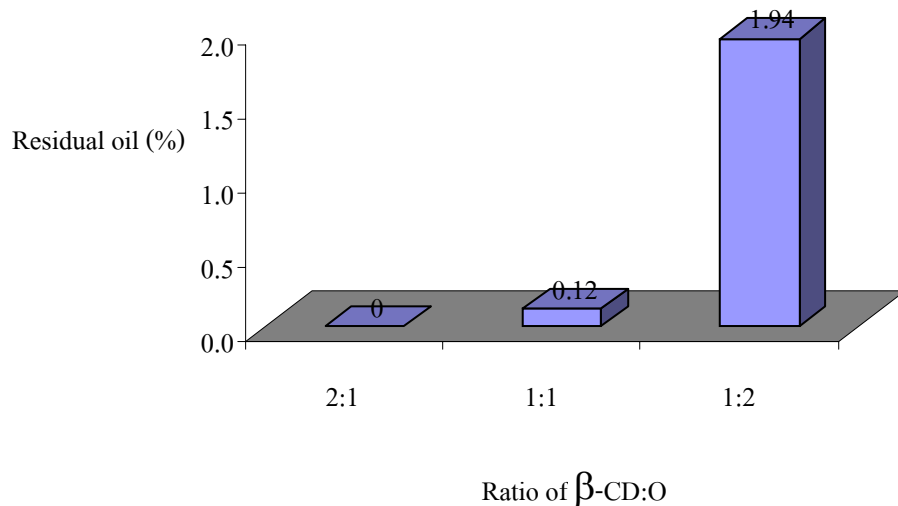


Figure 15. Residual oil content by solution method.

Table 13. Properties of encapsulated orange aroma oil by solution method.

Ratio of $\beta$ -CD:O	Moisture (%)	$A_w$	Bulk density (g/ml)	Total oil retention (%)
2:1	6.25±0.29 <sup>a</sup>	0.21±0.00 <sup>b</sup>	0.47±0.01 <sup>a</sup>	61.25±1.46 <sup>c</sup>
1:1	6.25±0.28 <sup>a</sup>	0.19±0.01 <sup>a</sup>	0.49±0.01 <sup>b</sup>	37.97±0.33 <sup>b</sup>
1:2	7.51±0.15 <sup>b</sup>	0.25±0.01 <sup>c</sup>	0.49±0.00 <sup>b</sup>	20.84±0.83 <sup>a</sup>

The different superscript in the same column denote the significant differences ( $p < 0.05$ )

การศึกษาการเอนแคปซูลเลทโดยใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มด้วยวิธี Paste Method ด้วยการนำเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินขนาดผสมกับน้ำให้มีลักษณะกึ่งแข็งที่มีความชื้นหนืด และเติมสารให้กลิ่นส้มในอัตราส่วนเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้มเท่ากับ 2 ต่อ 1, 3 ต่อ 1 และ 4 ต่อ 1 ขนาดผสมให้เข้ากันแล้วนำไปอบแห้ง คุณสมบัติของไมโครแคปซูลที่ได้แสดงดัง Table 14 ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มด้วยวิธีนี้มีค่าความชื้นและ  $A_w$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารให้กลิ่นที่ใส่เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณสารให้กลิ่นมีผลต่อความชื้นของไมโครแคปซูล สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับการใช้มอลโทเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความหนาแน่นรวมของไมโครแคปซูลมีค่าอยู่ในช่วง 0.70-0.85 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษาปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลที่ผลิตได้จากการใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้ม 3 อัตราส่วนด้วยวิธี Paste Method มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยอัตราส่วนเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้ม เท่ากับ 2 ต่อ 1, 3 ต่อ 1 และ 4 ต่อ 1 มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 34.11, 47.33 และ 59.37 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ถูกกักเก็บมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมันที่ใส่เริ่มต้นลดลง เนื่องจากสารให้กลิ่นปริมาณน้อยสามารถถูกกักเก็บอยู่ในโครงสร้างของเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินได้มากนั่นเอง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลในอัตราส่วนเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นส้มเดียวกัน คือ เท่ากับ 2 ต่อ 1 ด้วยวิธีการเอนแคปซูลเลทโดยใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทริน 2 วิธี คือ วิธีสารละลาย และวิธี Paste Method พบว่า ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลด้วยวิธีสารละลาย และวิธี Paste Method มีค่าเท่ากับร้อยละ 61.25 และ 34.11 ตามลำดับ แสดงว่าการเอนแคปซูลเลทโดยใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินด้วยวิธีสารละลายมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นได้ดีกว่าวิธี Paste Method อาจเนื่องมาจากการเอนแคปซูลเลทด้วยวิธีสารละลายนั้นเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินถูกเตรียมอยู่ในรูปสารละลายทำให้



โครงสร้างมีความอ่อนตัวสารให้กลิ่นสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินได้ง่ายและดีกว่าเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินซึ่งอยู่ในรูปของกึ่งแข็งที่มีความชื้นชนิดแบบวิธี Paste Method ประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นด้วยวิธีทั้งสองจึงแตกต่างกัน

Table 14. Properties of encapsulated orange aroma oil by paste method.

Ratio of $\beta$ -CD:O	Moisture (%)	Aw	Bulk density (g/ml)	Total oil retention (%)
2:1	23.08 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>	0.18 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	0.70 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	34.11 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>
3:1	21.69 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	0.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.82 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	47.33 $\pm$ 1.21 <sup>b</sup>
4:1	11.55 $\pm$ 0.86 <sup>a</sup>	0.33 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>	0.85 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	59.37 $\pm$ 1.26 <sup>c</sup>

The different superscript in the same column denote the significant differences (p<0.05)

จากข้อมูลคุณสมบัติของไมโครแคปซูลที่ได้จากการใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มด้วยวิธีสารละลายและ Paste Method พบว่าไมโครแคปซูลที่ได้จากวิธี Paste Method มีค่าความชื้น, Aw ความหนาแน่นรวม สูงกว่าไมโครแคปซูลที่ได้ด้วยวิธีสารละลาย ในขณะที่ปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้จากไมโครแคปซูลมีค่าต่ำกว่าวิธีสารละลาย เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินและสารให้กลิ่นน้อยกว่า ทำให้ความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีสารละลาย จากปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้จากแคปซูลที่ใช้อัตราส่วนเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินต่อสารให้กลิ่นเท่ากับ 2 ต่อ 1 ด้วยวิธีสารละลายมีค่ามากที่สุด จึงคัดเลือกอัตราส่วนนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูลที่ผลิตจากมอลโทเด็กซ์ทรินและเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินจะเห็นได้ว่าการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินจะมีปริมาณน้ำมันทั้งหมดน้อยกว่าการใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม เนื่องจากการเอนแคปซูลโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นการเอนแคปซูลทางกายภาพโดยการเกิดฟิล์มล้อมรอบสารให้กลิ่นเกิดขึ้นจากสายโซ่ของมอลโทเด็กซ์ทรินเกิดการเกี่ยวพันกัน (Entangle) ในช่วงแรกของการระเหยน้ำ ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ ล้อมรอบสารให้กลิ่น และการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีการใช้อุณหภูมิสูงทำให้สารให้กลิ่นบางส่วนสูญเสียไปในระหว่างการทำแห้ง ส่วนการเอนแคปซูลโดยใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มนั้นเป็นการเอนแคปซูลทางเคมี โดยที่ไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอื่นๆ ได้หลายชนิด โดยเฉพาะโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Molecule) โครงสร้างของไซโคลเด็กซ์ทรินจะคล้ายกับขมโคนัท ภายในเป็นช่องว่างมีส่วนที่เป็น Hydrophobic และโครงสร้างภายนอกซึ่งมีความเป็นขี้ มีหมู่ไฮดรอกซิล

ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารให้กลิ่นได้ ทำให้สามารถกักเก็บบางส่วนหรือทั้งหมดของโมเลกุลของสารให้กลิ่นไว้ในโครงสร้างได้ ไฮโคลเด็กซ์ทรินสามารถรวมตัวกับสารให้กลิ่นเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนด้วยแรงแวนเดอวาล (Van der Waals Interaction) และแรงลอนดอน (London Force) (Smolkeeva-Keulemansova, 1982 อ้างโดย Kellengode and Hanna, 1997) ทำให้เบต้าไฮโคลเด็กซ์ทรินสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นได้ดีว่าการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม

## 2.2 ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลเลทโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินและเบต้าไฮโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มในอัตราส่วนที่คัดเลือกได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 2.1 คือ สารห่อหุ้มต่อสารให้กลิ่นส้ม เท่ากับ 2 ต่อ 1 นำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงดัง Figure 16 จะเห็นได้ว่าไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีลักษณะทรงกลม มีทั้งผิวหน้าเรียบและเว้า อนุภาคเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-10 ไมโครเมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Sootitawat และคณะ (2005) ซึ่งศึกษาโครงสร้างของไมโครแคปซูลของดี-ลิโมนีนโดยใช้กัมอะราบิก มอลโทเด็กซ์ทริน และแป้งคัดแปรเป็นสารห่อหุ้ม และเอนแคปซูลด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ลักษณะเว้าอนุภาคของไมโครแคปซูลที่ได้จากการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินและการทำแห้งแบบพ่นฝอยดัง Figure 16 (A) เป็นลักษณะที่เกิดจากการหดตัวของหยดอิมัลชันในช่วงแรกของการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นช่วงที่หยดอิมัลชันสัมผัสกับความร้อนสูง ทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีลักษณะเว้าอนุภาค (Rosenberg *et al.*, 1985)

สำหรับไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ใช้เบต้าไฮโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีลักษณะแท่งผลึก ดัง Figure 16 (B) สอดคล้องกับการศึกษาของ Shanmugam และคณะ (2008) ซึ่งศึกษาการกักเก็บไทโรซีน (L-tyrosine) โดยใช้เบต้าไฮโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม และจากการศึกษาการกักเก็บ Gossypol โดยใช้เบต้าไฮโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มของ Shen และคณะ (2006) ซึ่งลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ได้จากการใช้เบต้าไฮโคลเด็กซ์ทรินในการกักเก็บสารให้กลิ่นนี้เป็นลักษณะการเกิดผลึกแบบ Co-crystallization (Bhandari *et al.*, 1998)

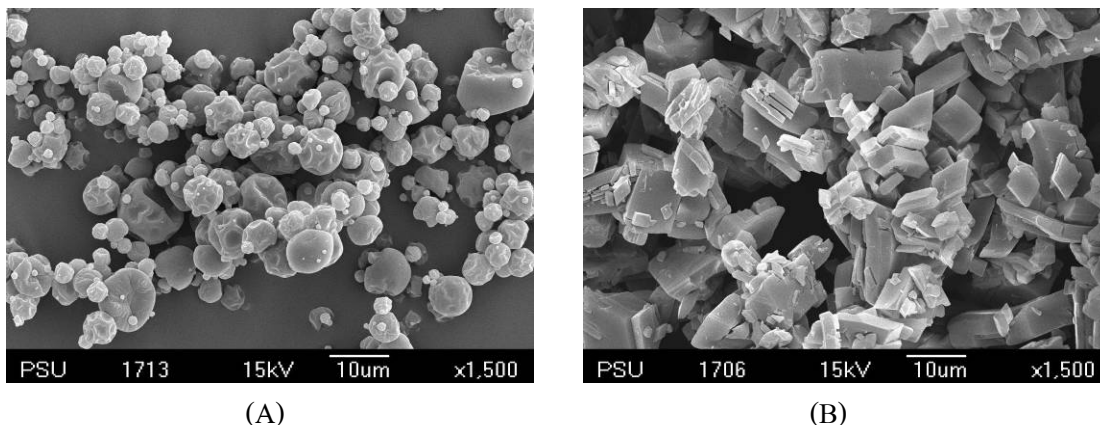


Figure 16. SEM micrographs of shattered microencapsulated orange aroma oil particles at 1500x:

(A) maltodextrin –encapsulated particles; (B)  $\beta$ -cyclodextrin – encapsulated particles.

เมื่อนำไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นที่ได้จากการใช้สารห่อหุ้มทั้งสองชนิดมาศึกษาลักษณะการกักเก็บของน้ำมันจากสารให้กลิ่นส้ม ด้วยเทคนิค Confocal Scanning Electron Microscope (CSLM) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในการศึกษาโครงสร้างภายในของตัวอย่างในลักษณะ Three dimensional ได้ (Heertje, 1987 อ้างโดย Kim และ Morr, 1996) เนื่องจากมีข้อจำกัดของเครื่องมือไม่สามารถใช้บาง Mode ในการทดสอบได้จึงใช้เทคนิคการย้อมสี ซึ่งสีที่ใช้ย้อม คือ Nile Blue ซึ่งเป็นสีที่ใช้ย้อมน้ำมัน โดยส่วนที่เป็นน้ำมันจะปรากฏสีแดงออกมาให้เห็น จากการทดลองพบว่าสามารถใช้เทคนิคนี้ได้กับไมโครแคปซูลซึ่งผลิตจากเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินแต่ไม่สามารถใช้ได้กับไมโครแคปซูลที่ผลิตจากมอลโทเด็คซ์ทริน เนื่องจากไมโครแคปซูลที่ผลิตจากมอลโทเด็คซ์ทรินนี้สามารถละลายได้ในสีย้อม ทำให้ไม่สามารถทดสอบลักษณะการเอนแคปซูเลทได้ เทคนิค CSLM นี้จึงไม่เหมาะสมกับไมโครแคปซูลที่ผลิตจากมอลโทเด็คซ์ทรินและสารห่อหุ้มที่สามารถละลายได้ดี ส่วนไมโครแคปซูลที่ผลิตจากเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินมีลักษณะการเอนแคปซูเลทน้ำมันจากสารให้กลิ่นส้ม ดัง Figure 17 สามารถอธิบายได้ว่าสีแดงเป็นบริเวณของน้ำมันจากสารให้กลิ่นส้มซึ่งยึดติดอยู่กับเบต้าไซโคลเด็คซ์ทริน มีทั้งน้ำมันที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลและอยู่บริเวณพื้นผิวของแคปซูล ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณพื้นผิว ซึ่งเป็นน้ำมันส่วนที่ไม่ได้ถูกกักเก็บอยู่ในโครงสร้างของเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินและอยู่บริเวณผิวหนังของไมโครแคปซูล หรือที่เรียกว่า Surface oil น้ำมันส่วนนี้อาจเกิดจากผลของความร้อนในระหว่างการทำแห้งไมโครแคปซูล น้ำมันบางส่วนที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในเบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินถูกปลดปล่อยออกมาภายนอกได้เนื่องจากการได้รับความร้อน ทำให้มีน้ำมันอยู่บริเวณผิวหนังของไมโครแคปซูล สังเกตได้จากในช่วงแรกของการอบแห้งไมโครแคปซูลจะมีน้ำระเหยออกมา แต่เมื่อระยะเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้นจะมีน้ำมันระเหยออกมา

ด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เมื่อนำไปศึกษาด้วย CSLM จึงมองเห็นสีแดงซึ่งเป็นน้ำมันอยู่บริเวณผิวหน้าของไมโครแคปซูล แต่จากการศึกษาสมบัติของไมโครแคปซูลของน้ำมันผิวส้มโดยใช้กัมอะราบิก และโปรตีนเป็นสารห่อหุ้มและใช้การเอนแคปซูลด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยของ Kim และ Morr (1996) ด้วยเทคนิค CSLM โดยใช้อาร์กอนและคริปตอนเลเซอร์ (Argon-krypton laser) ร่วมกับ Reflectance mode พบว่าน้ำมันผิวส้มจะถูกกักเก็บอยู่ภายในไมโครแคปซูล โดยพบการเรืองแสงของน้ำมันผิวส้มภายในโครงสร้างของเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ส่วนการทดลองนี้ใช้เทคนิคการย้อมสีซึ่งพบการย้อมติดสีบริเวณพื้นผิวด้านนอกของไมโครแคปซูล แสดงว่าการใช้เทคนิคสีย้อมในการศึกษาลักษณะการกักเก็บน้ำมันในไมโครแคปซูลที่ผลิตจากเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินสามารถศึกษาได้เฉพาะน้ำมันที่อยู่บริเวณผิวหน้าหรือภายนอกไมโครแคปซูลเท่านั้น สีย้อมที่ใช้นั้นเป็นสีที่สามารถย้อมติดน้ำมันซึ่งอาจจะไม่สามารถเข้าไปย้อมน้ำมันที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลได้หรืออาจเกิดจากในระหว่างการย้อมสีไมโครแคปซูลบางส่วนเกิดการละลาย ทำให้น้ำมันที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินหลุดออกมา และเกาะติดอยู่บริเวณผิวหน้าของไมโครแคปซูล เมื่อนำไปศึกษาด้วย CSLM จึงมองเห็นสีแดงซึ่งเป็นน้ำมันอยู่บริเวณผิวหน้าของไมโครแคปซูล

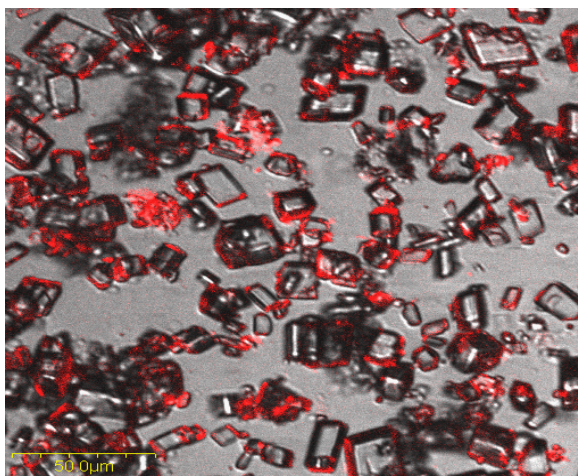


Figure 17. Confocal scanning electron microscope of encapsulated orange aroma oil using  $\beta$ -cyclodextrin.

### 2.3 ศึกษาโครงสร้างทางสเปกโทรสโคปีของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

การศึกษาโครงสร้างทางสเปกโทรสโคปีด้วยเทคนิค FT-IR เป็นเทคนิคการวิเคราะห์รูปแบบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด สามารถบ่งบอกการเกิดพันธะของตัวอย่างได้ โดยในช่วงเลขคลื่น  $2500-4000\text{ cm}^{-1}$  เป็นบริเวณที่เรียกว่า Group Frequency Region และช่วงเลขคลื่น  $400-1500\text{ cm}^{-1}$  เป็นบริเวณที่เรียกว่า Finger Print Region ซึ่งสเปกตรัมของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันทำให้สามารถระบุชนิดของสารได้ จากการศึกษาสเปกตรัม FT-IR ของลิโมนีน

มาตรฐานและสารให้กลิ่นส้มทางการค้าแสดงดัง Figure 18 จากการศึกษาของ Cava และคณะ (2004) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ FT-IR เพื่อทดสอบคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ของสารให้กลิ่นในน้ำส้มบนฟิล์มพอลิเอทิลีน โดยกลิ่นที่ใช้ในการศึกษาคือ ลิโมนีน, Linalool, Pinene และ Citral พบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่ง 888, 920, 3024 และ 1683  $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ จาก Figure 18 พบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 887.58 และ 914.25  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่เป็นลักษณะเฉพาะของลิโมนีน และ Linalool ตามลำดับ ดังการศึกษาของ Cava และคณะ (2004)

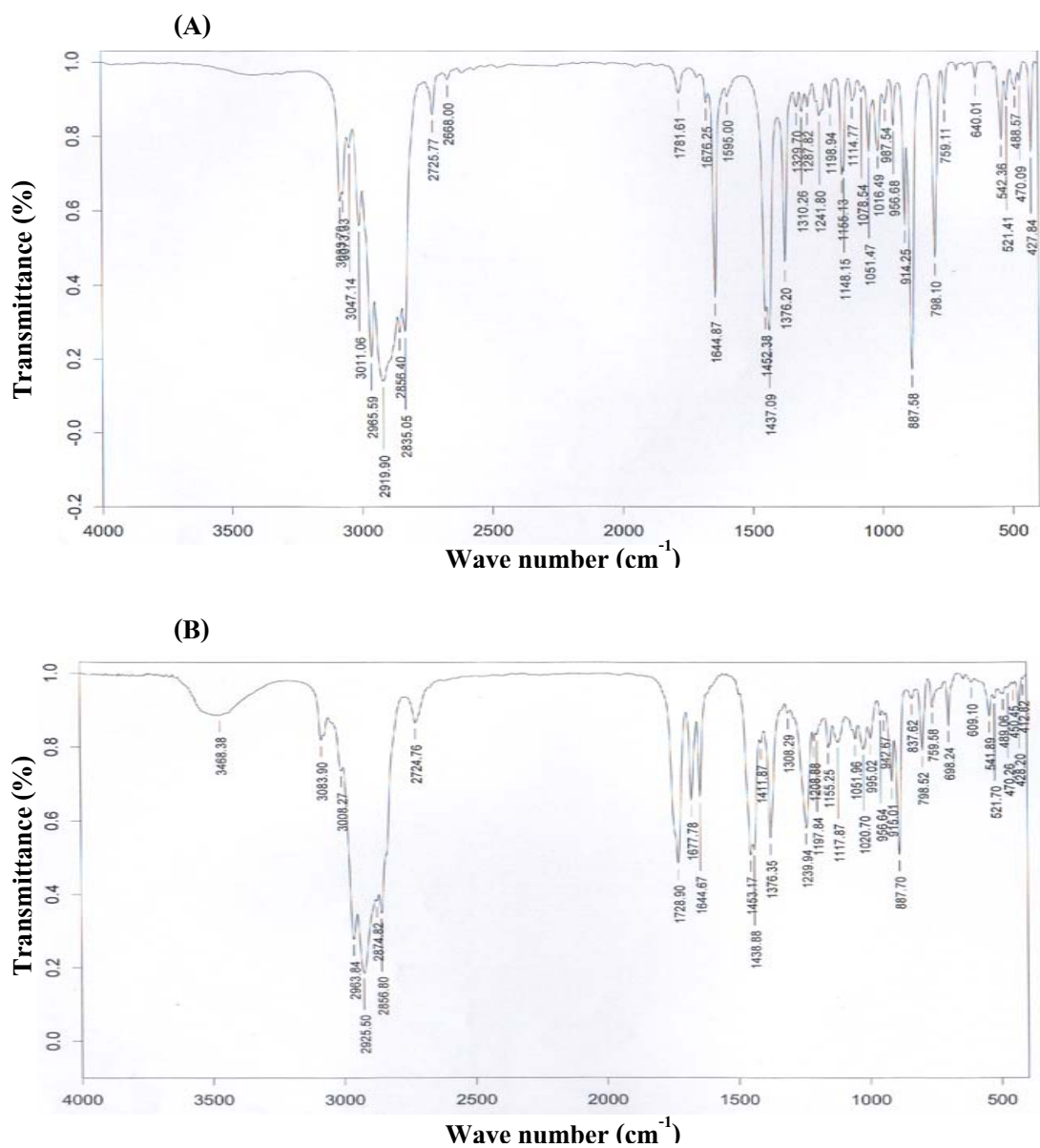


Figure 18. The FT-IR spectra of standard limonene (A) and orange aroma oil (B).

จากการศึกษาสเปกตรัม FT-IR ของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ผลิตได้จากการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินและเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มเปรียบเทียบกับสารห่อหุ้มทั้งสองชนิด ลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของมอลโทเด็กซ์ทรินเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มแสดงดัง Figure 19 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของไมโครแคปซูลทั้งสองมีรูปแบบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดแบบเดียวกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด โดยเปลี่ยนจากตำแหน่งเลขคลื่น  $3407\text{ cm}^{-1}$  ไปเป็น  $3404, 2929$  ไปเป็น  $2930\text{ cm}^{-1}$ ,  $1644$  ไปเป็น  $1640\text{ cm}^{-1}$ ,  $1024$  ไปเป็น  $1029\text{ cm}^{-1}$  และพบว่าไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นมีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่ง  $2972\text{ cm}^{-1}$  เป็นการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเนื่องจากการสั่นแบบยืด-หดของพันธะเดี่ยว (C-H Stretching) (แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2534) จากการเอนแคปซูลโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มจะมีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่ง  $888$  และ  $920\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของลิโมนีน และ Linalool ไม่ชัดเจน โดยตรวจพบการดูดกลืนรังสีที่บริเวณตำแหน่งใกล้เคียงทั้งมอลโทเด็กซ์ทรินและไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ผลิตจากมอลโทเด็กซ์ทริน แต่จะมีตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจาก  $855$  ไปเป็น  $857\text{ cm}^{-1}$  และจาก  $931$  ไปเป็น  $936\text{ cm}^{-1}$  แสดงว่าผลจากการเอนแคปซูลอาจทำให้ตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดมีการเปลี่ยนแปลงไป

ลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่ใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มแสดงดัง Figure 20 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของไมโครแคปซูลมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ในบริเวณ Group Frequency Region ของสเปกตรัมทั้งสองมีลักษณะเดียวกัน แต่ในบริเวณ Finger Print Region บางตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดหายไป ได้แก่ ตำแหน่งเลขคลื่น  $653$  และ  $609\text{ cm}^{-1}$  และมีตำแหน่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดใหม่เกิดขึ้นได้แก่ ตำแหน่งเลขคลื่น  $1104, 1003, 479$  และ  $415\text{ cm}^{-1}$  ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินและสารให้กลิ่น ซึ่งสารให้กลิ่นจะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของเบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน จึงมีผลต่อการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดทำให้สเปกตรัมอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปได้

จากลักษณะสเปกตรัม FT-IR ทั้งหมดที่ได้ศึกษาจะเห็นได้ว่าไม่พบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $888$  และ  $920\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งเฉพาะตัวของลิโมนีนและ Linalool อาจเนื่องจากในไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มมีปริมาณสารดังกล่าวน้อยมาก เมื่อนำไปศึกษาสเปกตรัม FT-IR จึงไม่สามารถตรวจพบสเปกตรัมของสารดังกล่าวในตำแหน่งนั้นได้

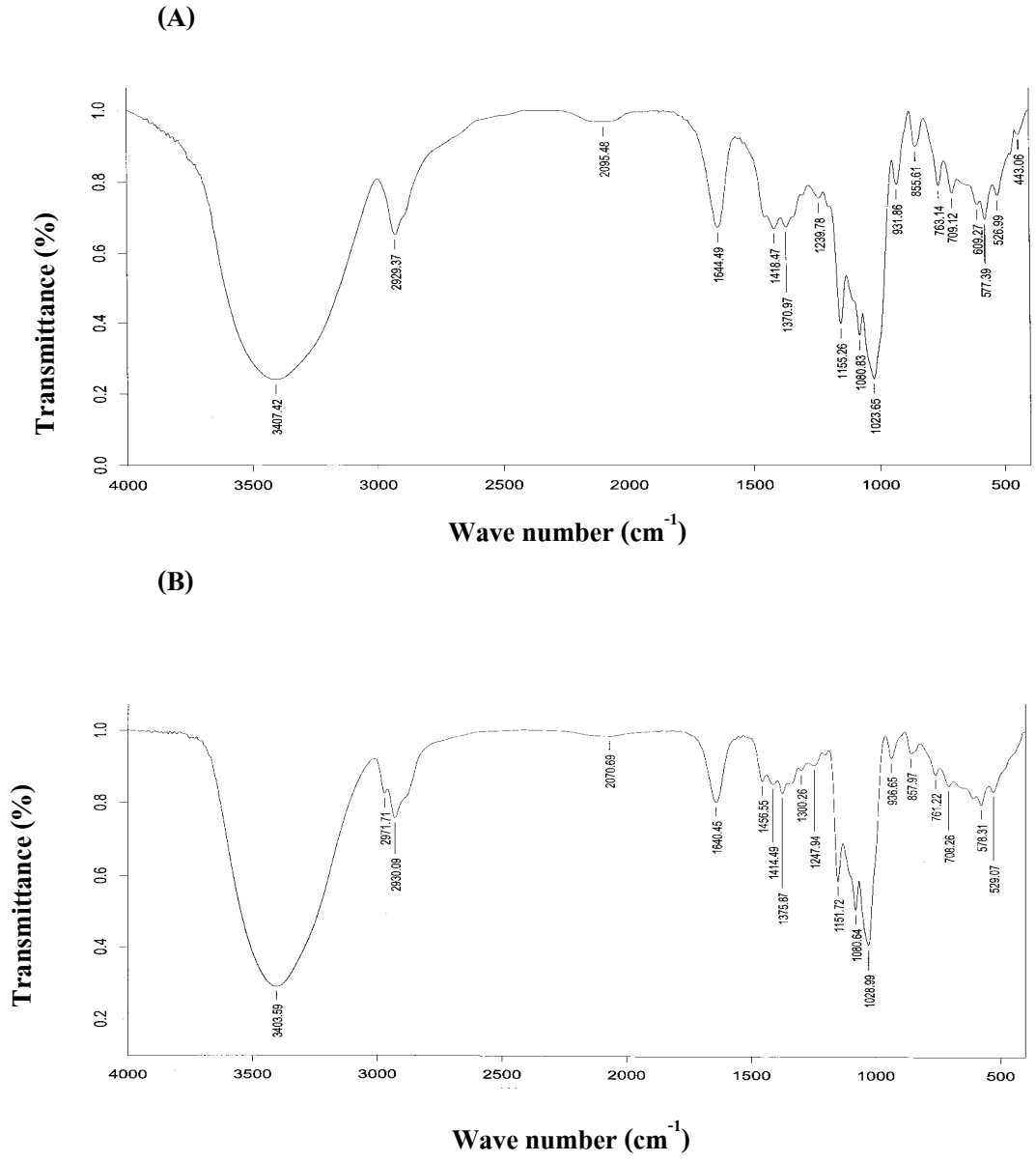


Figure 19. The FT-IR spectra of maltodextrin (A) and encapsulated orange aroma oil using maltodextrin (B).

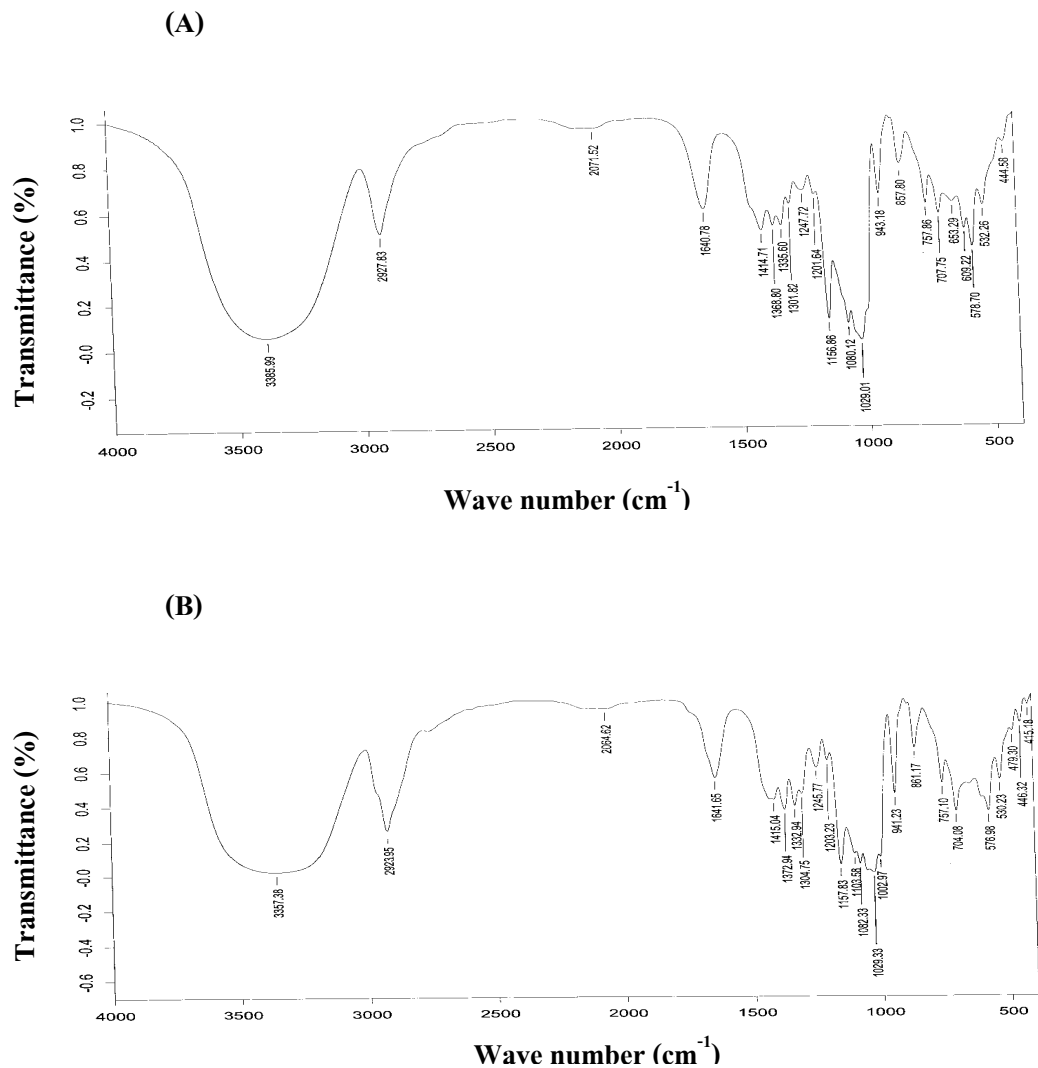


Figure 20. The FT-IR spectra of  $\beta$ -cyclodextrin (A) and encapsulated orange aroma oil using  $\beta$ -cyclodextrin (B).

### 3. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยสารให้กลิ่นส้มของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่คัดเลือกได้จากการทดลองที่ 2.1 ถูกนำมาศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยสารให้กลิ่นส้มออกจากไมโครแคปซูล โดยการนำไมโครแคปซูลที่ได้จากการใช้มอลโทเด็กซ์ทรีนและเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรีนมาผสมกันในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 100 ถึง 0 เก็บในสภาวะเปิดที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้ การเก็บไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ไมโครแคปซูลที่มีอัตราส่วนการผสมของไมโครแคปซูลที่เตรียมจากมอลโทเด็กซ์ทรีนมากจะเกิดการดูดความชื้น ทำให้มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อน และมีน้ำมันเกาะอยู่บริเวณผิวหน้า (Figure 21)



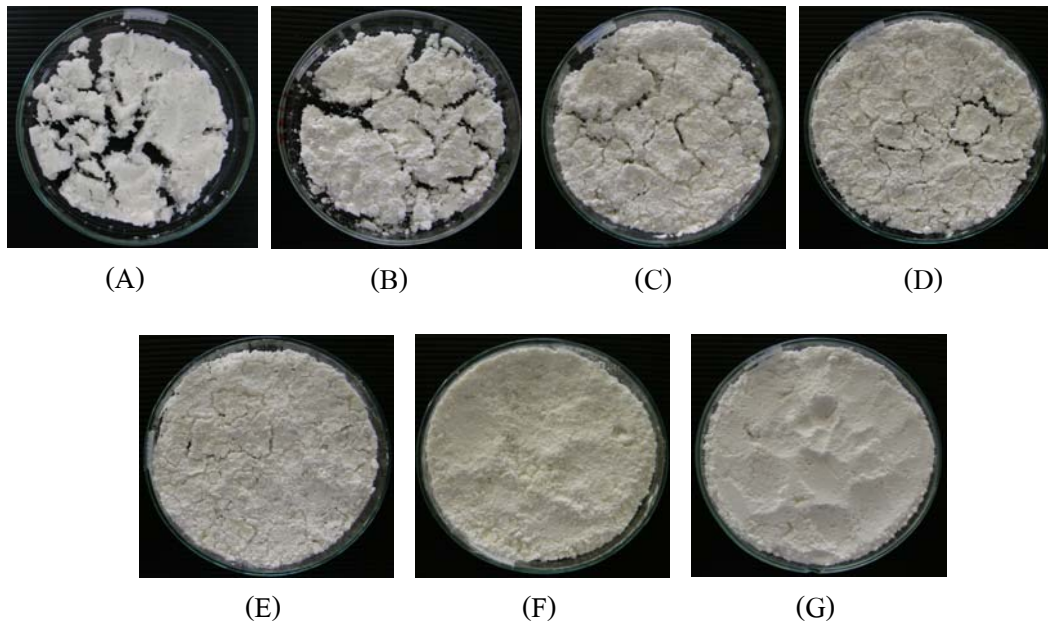


Figure 21. Mixed microcapsule of microcapsule using maltodextrin and  $\beta$ -cyclodextrin from percentage of 100(A), 80 (B), 60 (C), 50 (D), 40 (E), 20 (F) and (G) in opened dish at 30 °C.

สำหรับไมโครแคปซูลซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสยังคงมีลักษณะเป็นผงตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน (Figure 22) เนื่องจากคุณสมบัติของมอลโทเด็คซ์ทรินสามารถดูดความชื้นได้ ความสามารถในการห่อหุ้มจึงลดลง ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันจึงลดลง ทำให้น้ำมันที่กักเก็บอยู่ออกมาอยู่บริเวณผิวหน้าได้ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่สกัดได้จากไมโครแคปซูลที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะมีค่าน้อยกว่าไมโครแคปซูลที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Figure 23 และ Figure 24) นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า ปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมไมโครแคปซูลที่ใช้เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม แสดงว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เบต้าไซโคลเด็คซ์ทรินมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นดีกว่ามอลโทเด็คซ์ทริน ส่วนการเก็บไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสพบว่า ลักษณะปรากฏไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษา และร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วง 80 – 86 (Table 15) ส่วนชุดควบคุมซึ่งใช้สารให้กลิ่นส้มเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า สารให้กลิ่นส้มที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และมีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บสารให้กลิ่นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า อุณหภูมิมีผลต่อการสูญเสียน้ำมันของสารให้กลิ่น ซึ่งหมายถึง การสูญเสียลิโมนีนซึ่งมีอยู่ในสารให้กลิ่นส้มนั่นเอง

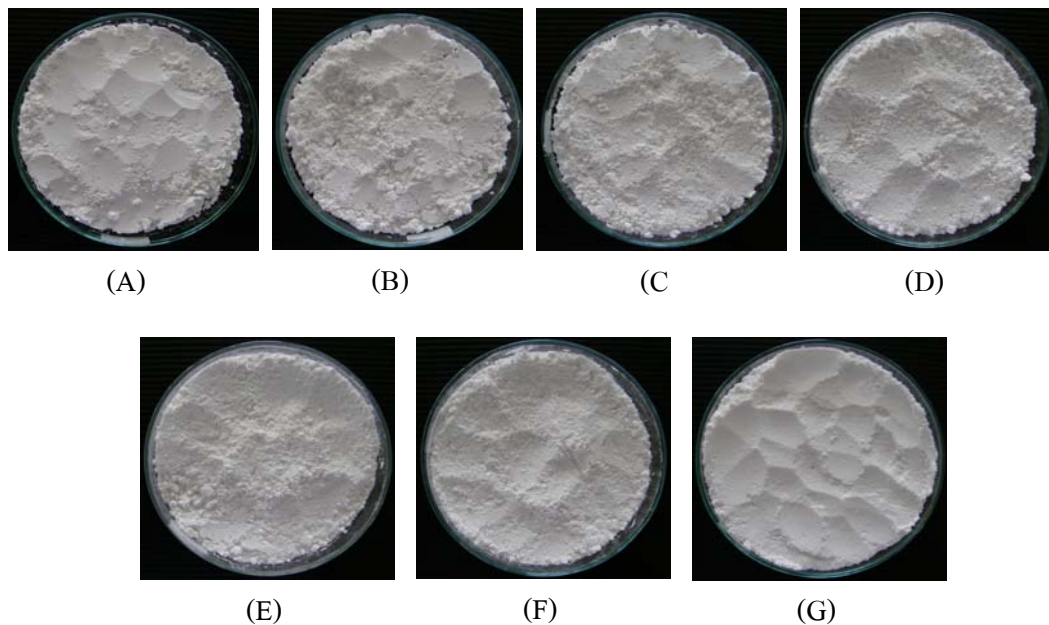


Figure 22. Mixed microcapsule of microcapsule using maltodextrin and  $\beta$ -cyclodextrin from percentage of 100(A), 80 (B), 60 (C), 50 (D), 40 (E), 20 (F) and (G) in opened dish at 45 °C.

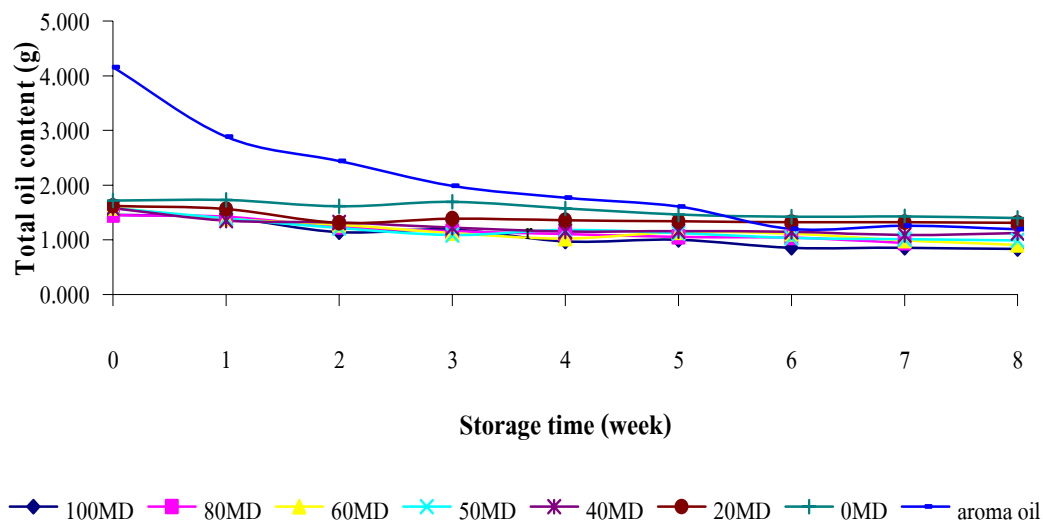


Figure 23. Total oil content of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 30°C for 8 weeks.

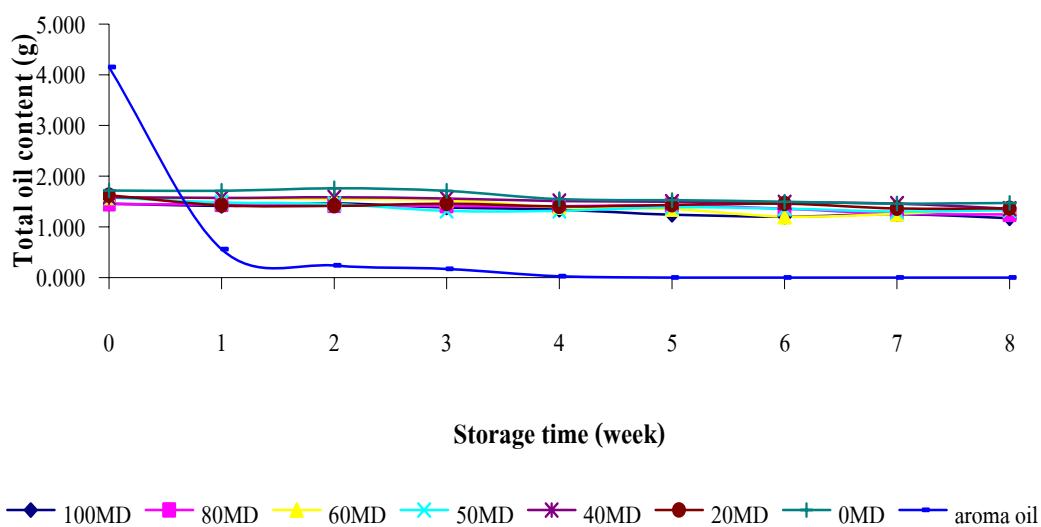


Figure 24. Total oil content of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 45°C for 8 weeks.

Table 15. Effect of temperature on retention of total oil.

Temperature (°C)	Encapsulated orange aroma oil	Total oil content (g)		Retention of total oil (%)
		0 week	8 week	
30	100MD	1.4590	0.8341	57.17
	80MD	1.4499	0.8426	58.11
	60MD	1.5877	0.9102	57.33
	50MD	1.5812	0.9881	62.49
	40MD	1.5819	1.1274	71.27
	20MD	1.6226	1.3135	80.95
	0MD	1.7190	1.3986	81.36
	aroma oil	4.1528	1.1923	28.71
45	100MD	1.4590	1.1715	80.29
	80MD	1.4499	1.2462	85.95
	60MD	1.5877	1.3760	86.67
	50MD	1.5812	1.3261	83.87
	40MD	1.5819	1.3605	86.00

Table 15. Effect of temperature on retention of total oil (Cont.).

Temperature (°C)	Encapsulated orange aroma oil	Total oil content (g)		Retention of total oil (%)
		0 week	8 week	
45	20MD	1.6226	1.3639	84.06
	0MD	1.7190	1.4723	85.65
	aroma oil	4.1528	0.0000	0.00

ไมโครแคปซูลที่มีอัตราส่วนการผสมต่างๆ ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ถูกนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่นโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ด้วยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาทุก 1 สัปดาห์ พบว่าไมโครแคปซูลที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสมีระดับการได้รับกลิ่นสัมมากกว่าไมโครแคปซูลที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Figure 25 และ Figure 26) โดยอัตราส่วนการผสมของไมโครแคปซูลที่มีระดับคะแนนการได้รับกลิ่นสัมสูง 3 ลำดับแรก คือ 100MD, 80MD และ 60MD ซึ่งเป็นอัตราส่วนการผสมของไมโครแคปซูลที่ผลิตจากมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 100, 80 และ 60 ตามลำดับ และมีแนวโน้มการได้รับกลิ่นสัมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าเมื่อเก็บรักษาไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสทำให้มอลโทเด็กซ์ทรินจับกับน้ำได้ดีกว่าสารให้กลิ่นสัม พลังแคปซูลเกิดการเสียดสภาพส่งผลให้น้ำมันของสารให้กลิ่นสัมออกมาอยู่บริเวณผิวหน้ากลิ่นสัมที่ผู้ทดสอบได้กลิ่นจึงเป็นกลิ่นสัมที่ถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องจากได้รับความชื้นในอากาศซึ่งอยู่บริเวณผิวหน้าของไมโครแคปซูล แต่ยังมีน้ำมันบางส่วนถูกกักเก็บอยู่ในแคปซูลซึ่งค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมา ส่งผลให้การได้รับกลิ่นสัมของผู้ทดสอบมีคะแนนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ไมโครแคปซูลที่เก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสให้ผลในการทำงานเหมือนกัน แต่จากลักษณะปรากฏของไมโครแคปซูลที่ไม่เปลี่ยนแปลงในทุกชุดการทดลองและอายุการเก็บรักษา การได้รับกลิ่นสัมของผู้ทดสอบจึงคาดว่ามาจากผลของอุณหภูมิซึ่งสามารถเร่งการปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกจากไมโครแคปซูลได้ โดยชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีแนวโน้มการปลดปล่อยกลิ่นออกมาได้มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากลักษณะการกักเก็บสารให้กลิ่นของมอลโทเด็กซ์ทรินเป็นการกักเก็บทางกายภาพโดยการเกิดฟิล์มล้อมรอบสารให้กลิ่นในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้อยกว่าการใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ซึ่งเป็นลักษณะการกักเก็บทางเคมี สารให้กลิ่นสามารถเข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในของเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินและเกิดพันธะระหว่างกันได้ ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม นั่นคือ การใช้

มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มจึงมีโอกาสดูดซับออกซิเจนที่กักเก็บอยู่มากกว่า เบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน เมื่อได้รับการกระตุ้นหรือสภาวะที่เหมาะสมซึ่งในที่นี้คือ ความชื้นและ อุณหภูมิ อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 45 องศาเซลเซียส จึงทำให้ไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโทเด็กซ์ทริน เป็นสารห่อหุ้มปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกมาทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนกลิ่นสัมมากขึ้นเมื่อ อัตราส่วนไมโครแคปซูลนั้นเพิ่มขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น

อัตราส่วนผสมของไมโครแคปซูลที่ใช้เบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมาก จะทำให้มีลักษณะขาคลายแข็งซึ่งสามารถหลุดล่อนได้และไม่เป็นที่ต้องการ และชุดการทดลอง 100MD แม้จะมีแนวโน้มคะแนนการได้รับกลิ่นสูง แต่สามารถดูดความชื้นได้มากซึ่งไม่เป็นที่ ต้องการเช่นเดียวกันเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับกระดาษ จากข้อมูลปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ถูกกักเก็บ และระดับคะแนนการได้รับกลิ่นสัมของไมโครแคปซูล สามารถคัดเลือกอัตราส่วนผสมของ ไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรินและเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มที่ให้ คะแนนการได้รับกลิ่นสูงและมีลักษณะ โดยรวมที่ดีภายหลังการเก็บรักษา คือ 80MD ซึ่งมีอัตราการ การผสมของไมโครแคปซูลที่เตรียมจากมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 80 และไมโครแคปซูลที่เตรียม จากเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินร้อยละ 20 จึงคัดเลือกอัตราส่วนนี้เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

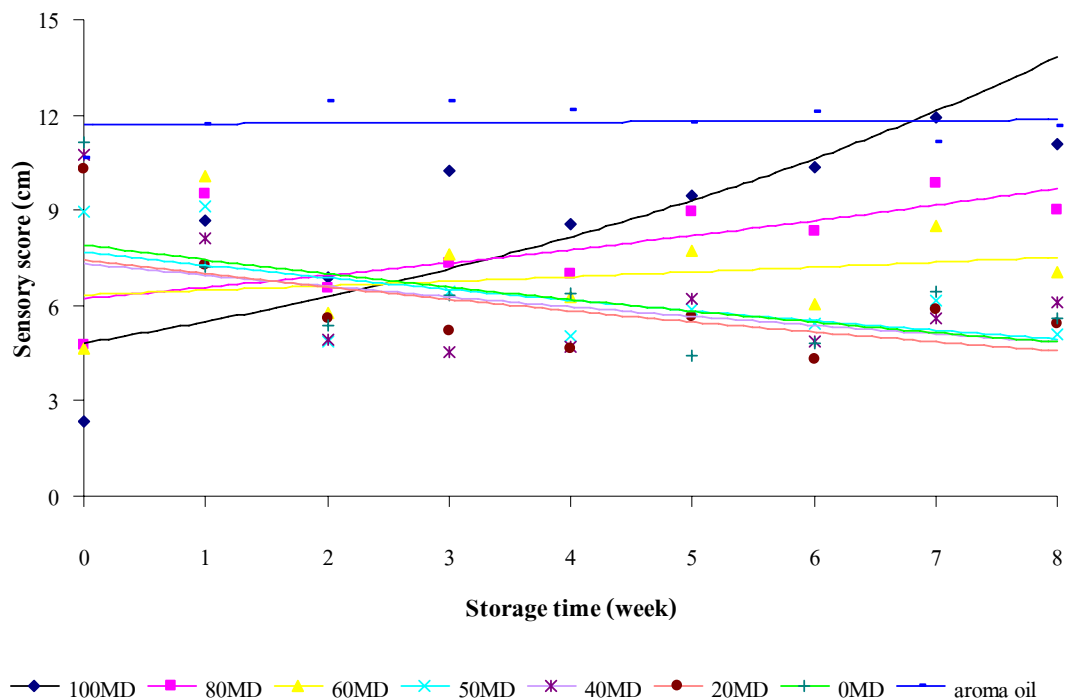


Figure 25. Sensory score of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 30°C for 8 weeks.

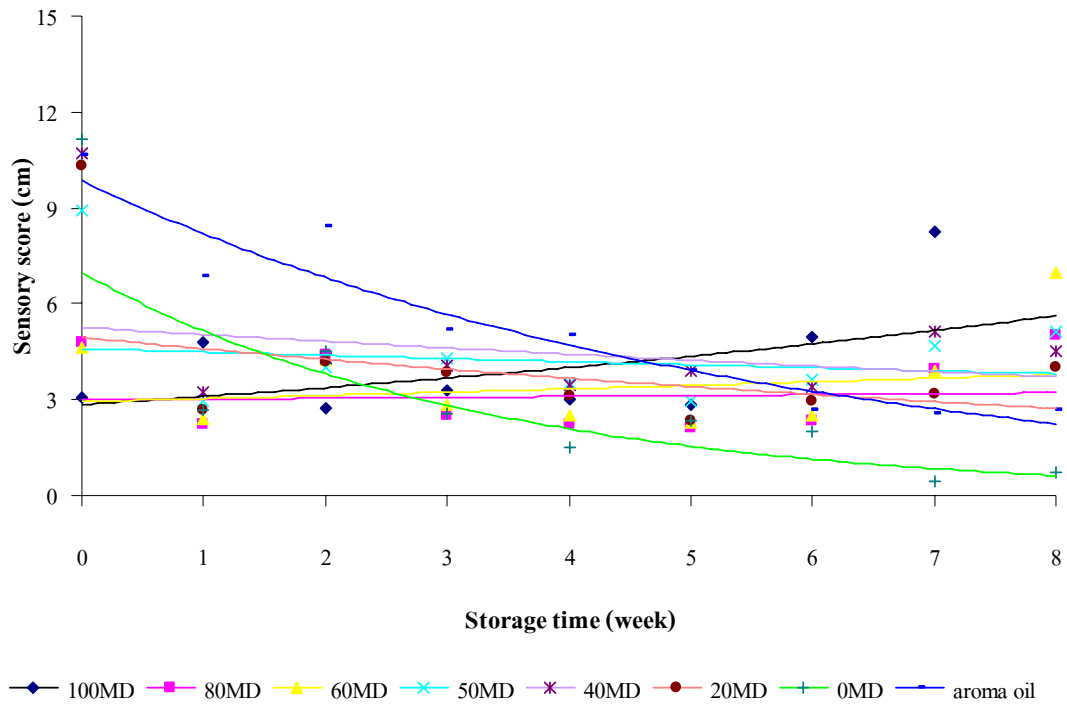


Figure 26. Sensory score of encapsulated orange aroma oil in opened dish at 45°C for 8 weeks.

#### 4. ศึกษาการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่คัดเลือกได้จากการทดลองที่ 3 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกระดาษลูกฟูกได้โดยนำไมโครแคปซูลผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่ใช้ น้ำกลั่นน้อยที่สุดที่สามารถเตรียมไมโครแคปซูลให้อยู่ในลักษณะชั้นหนืดและเคลือบบนลอนลูกฟูกได้ โดยพบว่าอัตราส่วนไมโครแคปซูลต่อน้ำกลั่นที่เหมาะสมคือ 2.5 ต่อ 1 เมื่อเคลือบไมโครแคปซูลบนลอนลูกฟูกแล้วจะมีลักษณะดัง Figure 27 ทิ้งไว้ให้แห้ง และประกบติดกระดาษปะผิวอีกด้านด้วยกาว นำกระดาษลูกฟูกที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่เคลือบและกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้ม จากการศึกษาน้ำหนักของกระดาษภายหลังการเคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มและไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่เคลือบ พบว่ากระดาษทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) จาก Figure 28 พบว่า กระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มมีน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้ม และกระดาษที่ไม่เคลือบมีน้ำหนักน้อยที่สุดตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ น้ำหนักกระดาษทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มคงที่ตลอดการเก็บรักษา ยกเว้นกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มมีน้ำหนักลดลงสูงสุดในสัปดาห์ที่ 1 ซึ่งการลดลงของน้ำหนักกระดาษนี้โดยส่วนใหญ่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความชื้นใน

สารเคลือบ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลมีการนำไมโครแคปซูลผสมน้ำให้มีลักษณะชั้นหนืดก่อนนำไปเคลือบบนลอนลูกฟูก จึงทำให้กระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลนั้นมีความชื้นสูงในสัปดาห์ที่ 0 และมีน้ำหนักลดลงในสัปดาห์ที่ 1 เนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ในไมโครแคปซูลเกิดการระเหยออกไป แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปกระดาษและไมโครแคปซูลมีปริมาณความชื้นสมดุลกับบรรยากาศทำให้น้ำหนักของกระดาษมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงในสัปดาห์ที่ 1-4 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้ม และกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มจึงคาดว่าเกิดจากการสูญเสียความชื้นมิใช่เกิดจากการสูญเสียน้ำมัน เนื่องจากประมาณสารที่เคลือบบนกระดาษนั้นมีปริมาณน้อยมาก สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ FT-IR ของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นที่เตรียมจากมอลโทเด็กซ์ทรินและเบต้าไซโคลเด็กซ์ทริน (Figure 19 และ Figure 20) ซึ่งไม่พบสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในตำแหน่งที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของลิโมนีนที่มีอยู่ในสารให้กลิ่นส้ม ดังนั้นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักกระดาษนี้จึงไม่สามารถใช้บ่งชี้การสูญเสียน้ำมันซึ่งบ่งบอกปริมาณของลิโมนีนบนกระดาษที่เคลือบได้



Figure 27. Coated paper with encapsulated orange aroma oil (80MD).

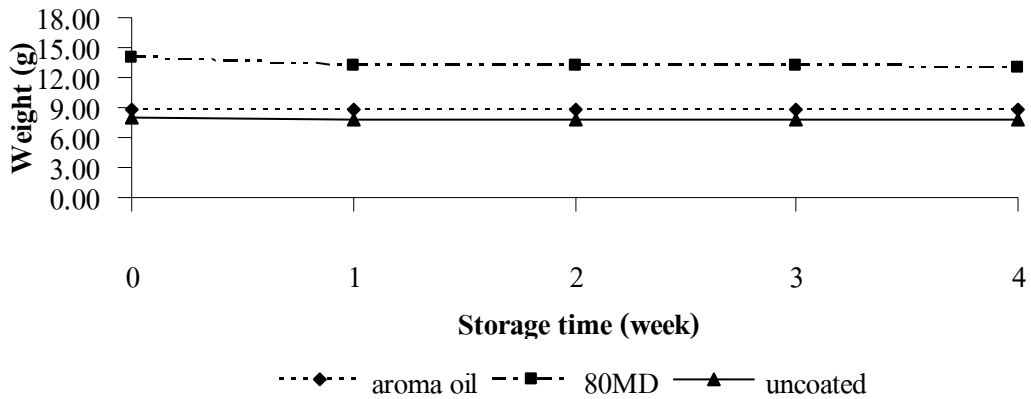


Figure 28. Weight of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.

การศึกษาค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งของกระดาษที่ไม่เคลือบ กระดาษที่เคลือบด้วยแคลเซียมซัลเฟตของสารให้กลิ่นส้ม และกระดาษที่เคลือบสารให้กลิ่นส้มเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งของกระดาษมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา และค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งของกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคลเซียมซัลเฟตของสารให้กลิ่นสูงกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ และกระดาษที่เคลือบสารให้กลิ่นตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากการเคลือบด้วยไมโครแคลเซียมซัลเฟตของสารให้กลิ่นซึ่งใช้สารในกลุ่มแป้งเป็นสารห่อหุ้มจึงเป็นการเสริมแรงให้กับกระดาษ ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งของกระดาษจึงสูงกว่าชุดการทดลองอื่น และกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มจะมีค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งของกระดาษน้อยที่สุด เนื่องจากกระดาษถูกฟูกสามารถดูดซับสารให้กลิ่นซึ่งมีทั้งส่วนผสมที่เป็นน้ำและน้ำมัน ทำให้กระดาษมีความแข็งแรงลดลง (Figure 29)

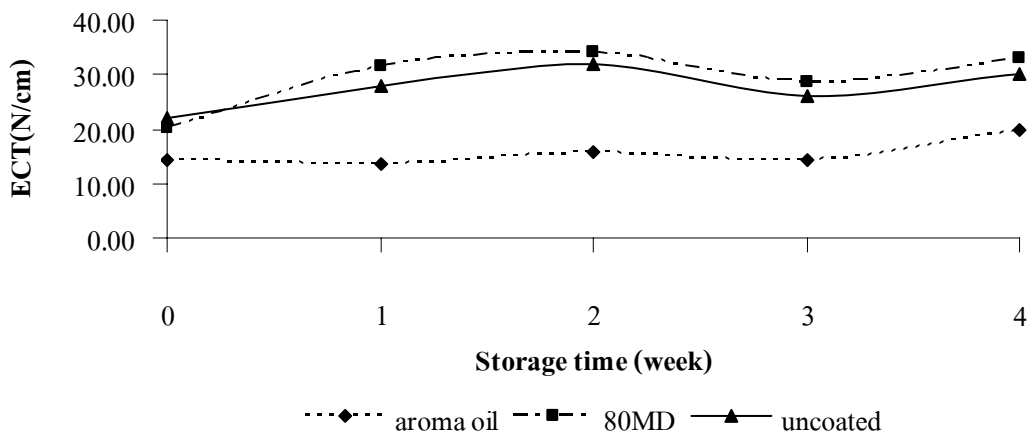


Figure 29. ECT of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.



การทดสอบค่าความต้านทานแรงดันทะลุเป็นการทดสอบแรงที่ใช้ในการทำให้กระดาษเกิดการทะลุเสียหายโดยกระดาษจะได้รับแรงในทุกทิศทางจนกระทั่งกระดาษทะลุ กระดาษที่ไม่เคลือบ กระดาษที่เคลือบด้วยแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม และกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ไม่เคลือบมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ กระดาษที่เคลือบด้วยด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม และกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้ม ตามลำดับ โดยมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุอยู่ในช่วง 5.5-5.8, 4.3-4.8 และ 4.0-4.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แสดงว่ากระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มและกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มสามารถเกิดการเสียหายจากการที่มทะลุได้ง่ายกว่ากระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ อาจเนื่องมาจากการละลายไมโครแคปซูลด้วยน้ำทำให้มีน้ำมันบางส่วนหลุดออกมาจากแคปซูล ซึ่งน้ำมันส่วนนี้จะติดอยู่บนกระดาษทำให้ความแข็งแรงลดลงเช่นเดียวกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มซึ่งมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ กระดาษที่เคลือบด้วยวัสดุทั้งสองชนิดนี้จึงง่ายต่อการเสียหายจากการทะลุได้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษทุกชุดการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา (Figure 30)

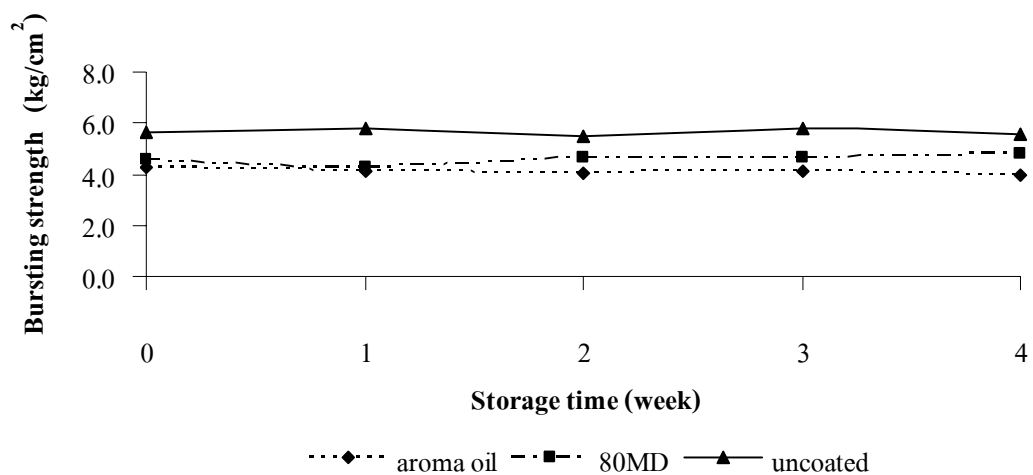


Figure 30. Bursting strength of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.

การทดสอบความแข็งแรงของการติดกาวเป็นการทดสอบแรงที่ใช้ในการแยกกระดาษลูกฟูกระหว่างยอดลอนลูกฟูกและกระดาษปะผิว ซึ่งสามารถบ่งบอกความแข็งแรงในการยึดติดของกาวกับกระดาษลูกฟูก ส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษลูกฟูกและกล่องกระดาษลูกฟูก จากการทดลองพบว่า แรงที่ใช้ในการแยกกระดาษลูกฟูกระหว่างยอดลอนลูกฟูกและ

กระดาษปะผิวของกระดาษทุกชุดการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา กระดาษที่ไม่เคลือบและกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีค่าสูงกว่ากระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม (Figure 31) อาจเนื่องมาจากการนำไมโครแคปซูล 80MD ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมของไมโครแคปซูลที่ผลิตจากมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 80 และเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินร้อยละ 20 มาเคลือบบนลอนกระดาษลูกฟูกด้วยคุณสมบัติในการดูดความชื้นของมอลโทเด็กซ์ทริน และการเตรียมสารละลายในขั้นตอนการเคลือบ ทำให้มีน้ำมันบางส่วนออกจากแคปซูลและมาอยู่บริเวณผิวหน้าของแคปซูล ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการติดกาวลดลง ในขณะที่กระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มไม่มีความแตกต่างจากกระดาษที่ไม่เคลือบ เนื่องจากสารให้กลิ่นส้มสามารถซึมลงไปกระดาษ ทำให้ไม่มีน้ำมันส่วนเกินบริเวณผิวหน้าของกระดาษ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการติดกาวไม่แตกต่างจากกระดาษที่ไม่เคลือบ

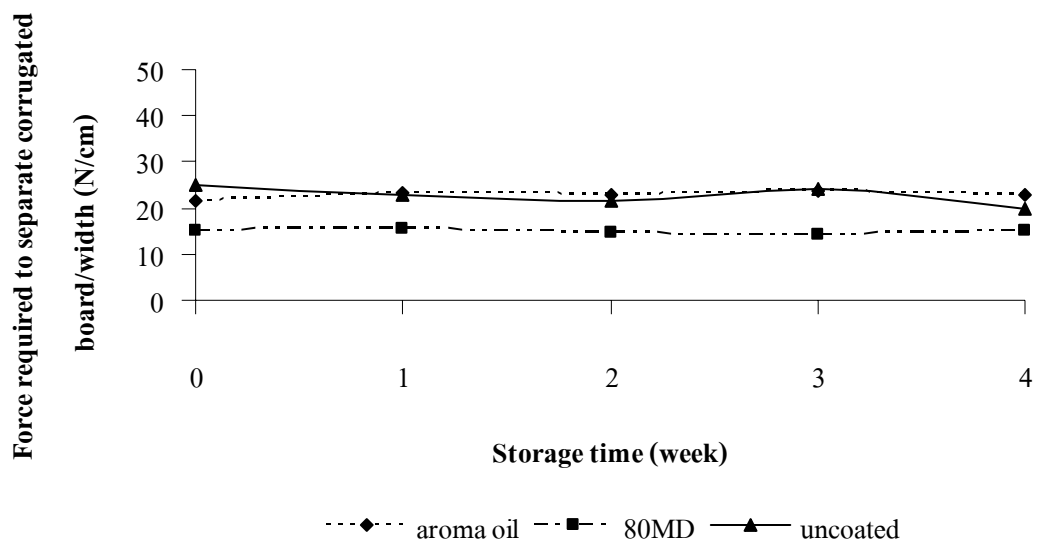


Figure 31. Pin adhesion testing of uncoated and coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.

การศึกษาปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ได้จากกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มเปรียบเทียบกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้ม ตลอดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีปริมาณน้ำมันทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.62-1.78 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ในขณะที่ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 1 และมีปริมาณน้อยมากจนไม่

สามารถวัดได้ในสัปดาห์ที่ 1 -4 (Figure 32) แสดงให้เห็นว่าสารให้กลิ่นส้มที่ถูกกักเก็บอยู่ในแคปซูล และมีบางส่วนถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างการเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการเคลือบบนกระดาษ ยังคงสามารถกักเก็บน้ำมันได้ภายในระยะเวลาทดสอบ 4 สัปดาห์ แต่กระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มจะมีการสูญเสียน้ำมันอย่างรวดเร็ว แสดงถึงกลิ่นส้มที่มีอยู่บนตัวกระดาษซึ่งสอดคล้องกับการได้รับกลิ่นส้มของผู้ทดสอบที่สามารถรับรู้กลิ่นส้มได้ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

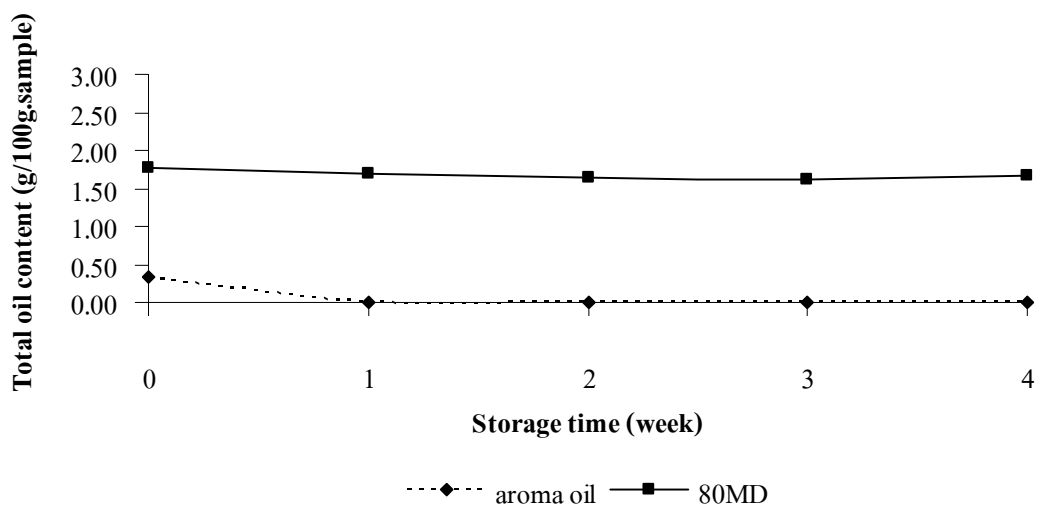


Figure 32. Total oil content of coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.

จากการทดสอบประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่นของกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นและกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่น พบว่าระดับคะแนนการได้รับกลิ่นส้มจากกระดาษที่มีการเคลือบไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่น และสารให้กลิ่นซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 12 คน และปริมาณน้ำมันทั้งหมดเริ่มต้นที่ใช้ในการเคลือบบนกระดาษเท่ากัน พบว่า คะแนนการได้รับกลิ่นส้มของผู้ทดสอบในกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นและกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยคะแนนการได้รับกลิ่นส้มบนกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้มจะสูงในวันเริ่มต้น มีคะแนนลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มจะมีแนวโน้มการได้รับกลิ่นส้มลดลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าปริมาณสารระเหยที่ให้กลิ่นส้มไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หาปริมาณ

น้ำมันทั้งหมด (Figure 33) ที่ให้ปริมาณน้ำมันทั้งหมดบนกระดาษที่เคลือบด้วยแคปซูลของสารให้กลิ่นไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

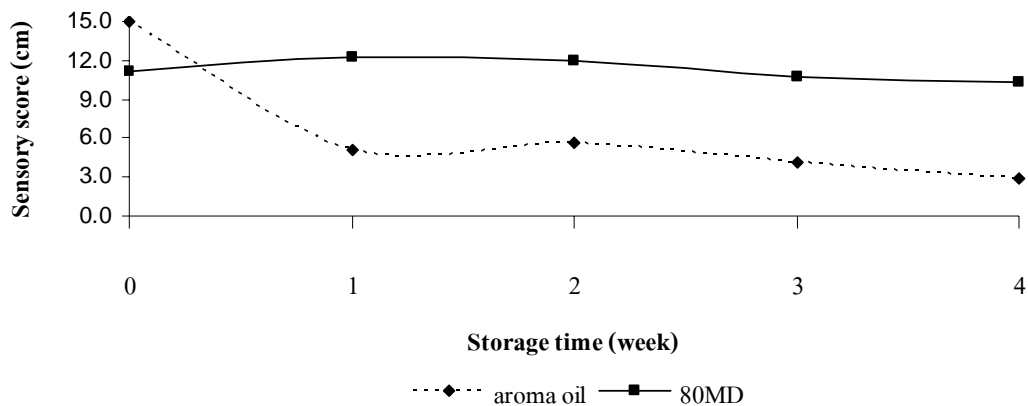


Figure 33. Sensory score of coated paper with encapsulated orange aroma oil and orange aroma oil at room temperature for 4 weeks.

จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่มีการผสมไมโครแคปซูลซึ่งผลิตจากมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 80 และไมโครแคปซูลซึ่งผลิตจากเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินร้อยละ 20 ด้วย SEM พบว่า การนำไมโครแคปซูลผสมน้ำก่อนการเคลือบบนกระดาษทำให้สารเคลือบไม่มีลักษณะเป็นแคปซูลเหมือนแคปซูลที่ยังไม่มีการผสมน้ำ (Figure 34 (A) และ Figure 34 (B)) แต่จะมีลักษณะเป็นแผ่นเคลือบติดอยู่บนกระดาษ (Figure 34 (C)) แสดงว่าการนำไมโครแคปซูลผสมน้ำเพื่อเตรียมให้อยู่ในรูปของเหลวกึ่งแข็งจะเป็นการทำลายไมโครแคปซูล ทำให้สารให้กลิ่นส้มถูกปลดปล่อยออกภายนอกแคปซูลได้ อย่างไรก็ตามจากการเก็บรักษากระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยไมโครแคปซูลนี้ยังสามารถเก็บรักษากลิ่นส้มให้อยู่ได้นานภายในระยะเวลาการศึกษา 4 สัปดาห์ การได้รับกลิ่นส้มทั้งในไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มและกระดาษที่เคลือบด้วยแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มเกิดจากกลไกการปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกจากไมโครแคปซูล ซึ่งเกิดจากกลไกหลายประการ เช่น การปลดปล่อยสารให้กลิ่นโดยการแพร่ของสารให้กลิ่นส้มจากภายในออกสู่ภายนอกไมโครแคปซูล การสลายตัวของสารห่อหุ้มเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผนังแคปซูล (Shefer, 2003) ซึ่งการปลดปล่อยสารให้กลิ่นออกจากไมโครแคปซูลที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผนังแคปซูลซึ่งเตรียมมาจากมอลโทเด็กซ์ทรินเกิดการดูดความชื้น ทำให้ผนังแคปซูลมีการเปลี่ยนแปลงไป คุณสมบัติในการห่อหุ้มจึงลดลง สารให้กลิ่นส้มจึงถูกปลดปล่อยออกมา แต่ความชื้นจะมีผลต่อผนังแคปซูลที่เป็นเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินน้อย เนื่องจากเบต้าไซโคลเด็กซ์ทรินละลายน้ำได้น้อย ความชื้นจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผนังแคปซูลน้อย การปลดปล่อยสารให้กลิ่นส้มของไมโครแคปซูลที่ผลิตจาก

เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจึงมีกลิ่นน้อยกว่าไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่เตรียมจากมอลโทเดกซ์ทริน สำหรับการเก็บไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นมีผลต่อผนังแคปซูลน้อยเนื่องจากสภาวะการเก็บที่อุณหภูมินี้จะเป็นอากาศร้อนแห้ง ความชื้นจึงไม่มีผลต่อไมโครแคปซูล ไมโครแคปซูลจึงยังคงมีลักษณะเป็นผงแห้งทั้งไมโครแคปซูลที่เตรียมจากมอลโทเดกซ์ทรินและเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน แต่การปลดปล่อยสารให้กลิ่นส้มสามารถเกิดขึ้นได้อาจเนื่องจากความร้อน สารให้กลิ่นส้มเกิดการแพร่ผ่านผนังแคปซูลออกสู่ภายนอก ทำให้ผู้ทดสอบได้รับกลิ่นส้มที่ถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งกลิ่นที่ผู้ทดสอบได้รับนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารให้กลิ่นส้มออกมายังบริเวณผิวหนังของแคปซูลมากขึ้น

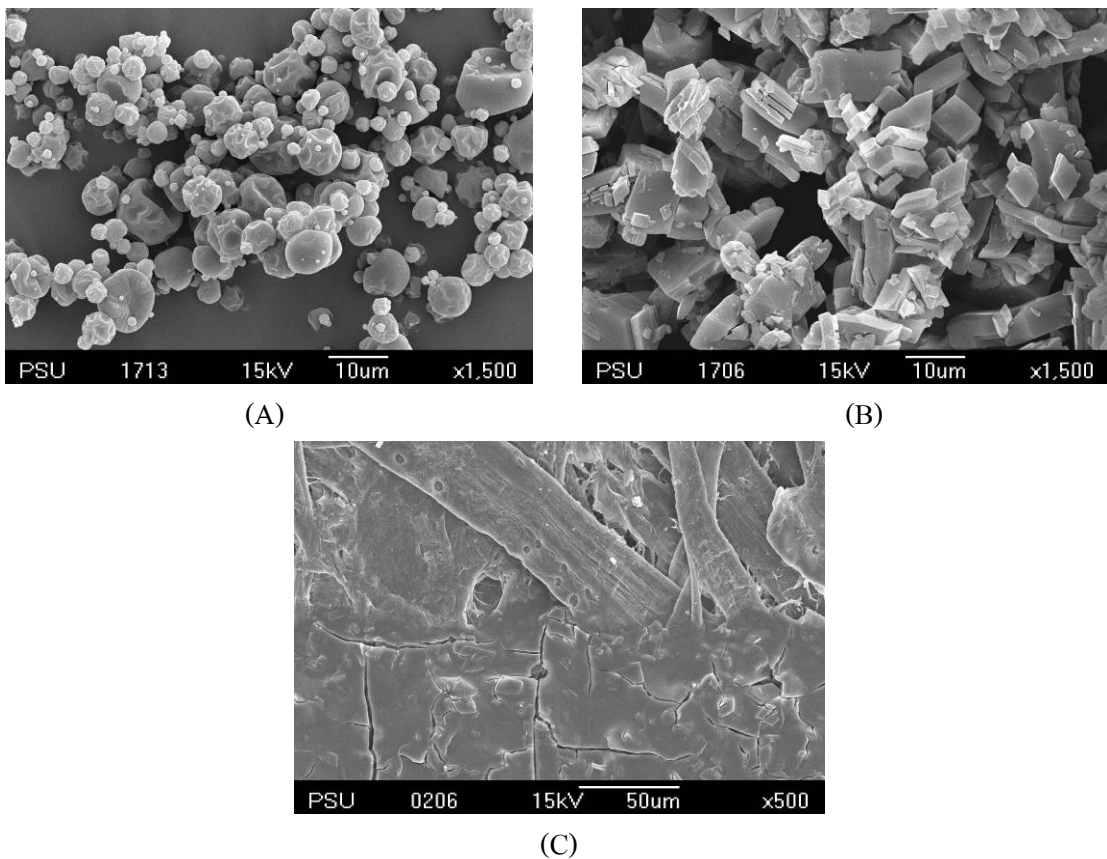


Figure 34. SEM micrographs of shattered encapsulated orange aroma particles at 1500x:

(A) maltodextrin –encapsulated particles; (B)  $\beta$ -cyclodextrin –encapsulated particles and (C) coated paper with 80MD.

## บทที่ 4

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สารให้กลิ่นส้มทางการค้าที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีปริมาณน้ำมันทั้งหมดร้อยละ 20.31 และมีองค์ประกอบหลักที่ให้กลิ่นส้ม คือ ลิโมนีน ซึ่งสารให้กลิ่นส้มทางการค้านี้มีความเข้มข้นของลิโมนีนร้อยละ 11.05

การเอนแคปซูลของสารให้กลิ่นโดยใช้เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินด้วยวิธีสารละลายมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นดีกว่าวิธี Paste Method และวิธี Paste Method นี้มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือไม่สามารถใช้สารให้กลิ่นในปริมาณมากได้ เนื่องจากสารให้กลิ่นที่อยู่ในรูปน้ำมันไม่สามารถกักเก็บอยู่ภายในโครงสร้างของเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินได้ เกิดลักษณะน้ำมันเยิ้มบริเวณผิวหน้าของเบต้าไซโคลเดกซ์ทริน ทำให้ไม่สามารถทำให้อยู่ในรูปผงแห้งได้

การเอนแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มโดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินและเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มในอัตราส่วนสารห่อหุ้มต่อสารให้กลิ่นเท่ากับ 2 ต่อ 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยการใช้เบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารให้กลิ่นได้ดีกว่าการใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม แต่มีอัตราการปลดปล่อยกลิ่นน้อยเมื่อเทียบกับมอลโทเดกซ์ทริน จึงต้องมีการใช้ร่วมกันและอัตราส่วนการผสมระหว่างไมโครแคปซูลจากมอลโทเดกซ์ทรินและเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 80 ต่อ 20 จากผลการศึกษาความคงตัวของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม การทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการกักเก็บสารให้กลิ่นส้มโดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินและเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินมีความสามารถในการกักเก็บสารให้กลิ่นส้ม และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกระดาษได้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากลิ่นให้ยาวนานขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคนิคการเอนแคปซูลของสารให้กลิ่นกับบรรจุภัณฑ์กระดาษ ซึ่งยังมีข้อจำกัดในการใช้งานโดยเฉพาะการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. การนำไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้มในรูปผงมาใช้เคลือบบนกระดาษทำได้ยาก เนื่องจากผงดังกล่าวจะหลุดล่อนออกมาได้ จึงควรมีการประยุกต์ใช้งานไมโครแคปซูลในรูปแบบอื่น ๆ

2. การนำไมโครแคปซูลมาละลายเพื่อเตรียมเป็นสารละลายสำหรับเคลือบกระดาษเป็นการทำลายแคปซูลของสารให้กลิ่น ทำให้สารให้กลิ่นถูกปลดปล่อยออกมาได้มาก

3. การประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นกับอุตสาหกรรมกระดาษในขั้นตอนการผลิตกระดาษลูกฟูกจะมีความร้อนมาเกี่ยวข้องทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นไปในระหว่างกระบวนการผลิตได้ จึงควรมีการใช้งานในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความรอนน้อย เช่น กระบวนการพิมพ์ เป็นต้น

4. ต้นทุนในการผลิตกระดาษกลิ่นสัมตามกระบวนการที่ศึกษานี้มีค่าสูง เนื่องจากปริมาณไมโครแคปซูลที่ใช้เคลือบมีปริมาณมาก ทำให้มีต้นทุนและน้ำหนักมาก จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อลดต้นทุนในการผลิตต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- ข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (Material Safety Data Sheet) (ออนไลน์). 2550. สืบค้นจาก:  
[http://www.saraburi-industry.go.th/home/chem\\_info.php.html](http://www.saraburi-industry.go.th/home/chem_info.php.html) [17 กันยายน 2550].
- ปิ่นนธร ภัทรสถาพรกุล. 2548. การทำให้เป็นเม็ดด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง. ว. สมาคมเครื่องทำความเย็น  
ไทย. 16: 15-18.
- แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2534. หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1.  
ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. กรุงเทพฯ
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2547. รูปแบบของสตาร์ชกับการใช้เป็นสารไมโครแคปซูลเพื่อกักเก็บสารให้  
กลิ่นรส. ว.อาหาร. 34: 277-281.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2545. พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด  
อรุณการพิมพ์. กรุงเทพฯ
- เอกดนัย กอกิมพงษ์. 2548. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย. LAB TODAY. 28:43-46.
- Ahmad, M. M. Rehman, S.U., Iqbal, Z., Anjum, F.M., and Sultan, J. I. 2006. Genetic  
variability to essential oil composition in four citrus fruit species. Pak. J. Bot.  
38: 319-324.
- Anker, M.H. and Reineccius, G.A. 1988. Encapsulated Orange Oil: Effect of Emulsion Size  
on Flavor Retention and Shelf Stability. *In* Flavor Encapsulation (Rish, S.J. and  
Reineccius, G.A., eds.). p. 78-86. American Chemical Society. Washington D.C.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup> Ed. Association of Official Analytical  
Chemists. Washington, DC.
- Apintanapong, M. and Noomhorm, A. 2003. The use of spray-drying to microencapsulation  
2-acetyl-1-pyrroline a major flavor component of aromatic rice. Int. J.Food Sci. Tech. 38:  
95-102.



- Aronson, M.P. and Tsaour, L. 1993. Spray Coating and Spray Drying Encapsulation with Latex Polymers. *In* The Glassy State in Foods. (Blanshard, L.M.V. and Lillford, P.J, eds.). p. 417-434. Nottingham University Press. Loughbolough.
- Arvisenet, G., Le Bail, P., Voilley, A. and Cayot, N., 2002. Influence of physicochemical interactions between amylase and aroma compounds on the retention of aroma in food-like matrices. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7088-7093.
- Bhandari, B.R., D'Acry, B.R. and Bich, L.L.T. 1998. Lemon oil to  $\beta$ -cyclodextrin ratio effect on the inclusion efficiency of  $\beta$ -cyclodextrin and the retention of oil volatiles in the complex. *J. Agric. Food Chem.* 46: 1494-1499.
- Bhandari, B.R., D'Acry, B.R. and Padukka, I. 1999. Encapsulation of lemon oil by paste method using  $\beta$ -cyclodextrin: encapsulation efficiency and profile of oil volatiles. *J. Agric. Food Chem.* 47: 5194-5197.
- Cava, D., Lagaron, J.M., Lopez-Rubio, A., Catala, R. and Gavara, R. 2004. On the applicability of FT-IR spectroscopy to test aroma transport properties in polymer films. *Polym Test.* 23: 551-557.
- Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford University Press. Oxford.
- Dharmananda, S., 2006. Astragalus: practical aspects of administering the herb (Online). Available: [http:// www.itmonline.org/arts/astragalus.htm](http://www.itmonline.org/arts/astragalus.htm) [2007, November 18].
- Godshall, M.A. 1997. How carbohydrates influence food flavor. *J. Food Technol.* 51: 63-67.
- Goubet, I., Dahout, C., Semon, E., Guichard, E., Le Quere, J.L. and Volley, A. 2001. Competitive binding of aroma compounds by  $\beta$ -cyclodextrin. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5916-5922.
- Goubet, I., Le Quere, J.L. and Volley, A. 1998. Retention of aroma compound by carbohydrates: influence of their physicochemical characteristics and of their physical state. *J. Agric. Food Chem.* 48: 1981-1990.

- Hedges, A.R., Shieh, W.J. and Sikorski, C.T. 1995. Use of Cyclodextrin for Encapsulation in the Use and Treatment of Food Products. *In* Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients. (Risch, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 60-71. ACS. Symposium Series 590. American Chemical Society. Washington, DC.
- Janneoy, P. and Chairote, G., 2005. Retention of nham flavors. 31<sup>st</sup> Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. 18- 20 October 2005.
- Kamkuan, W., Suteerapataranon, S. and Tovaranton, J. 2005. Limonene in volatile oil extracted from some citrus peels. 31<sup>st</sup> Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. 18-20 October 2005.
- Kenyon, M.M and Anderson, R.J. 1988. Maltodextrins and Low-Dextrose-Equivalence Corn Syrup Solids. *In* Flavor Encapsulation (Rish, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 7-11. American Chemical Society. Washington, DC.
- Kim, Y.D. and Morr, C.V. 1996. Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins: spray-dried orange oil emulsion particles. *J. Agric. Food Chem.* 44: 1314-1320.
- Kollengode, A.N.R. and Hanna, M.A. 1997. Cyclodextrin complexed flavors retention in extruded starches. *J. Food Sci.* 62: 1057-1060.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2006. Flavor encapsulation and controlled release-a review. *Int. J.Food Sci. Tech.* 41: 1-21.
- Martinez, H.F, Revilla, G.O. and Velazquez, T.G. 2004. Optimal spray-dried encapsulation process of orange oil. Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Drying Symposium. Sao Paulo, Brazil, 22-25 August 2004. P. 621-627.
- Padukka, I., Bhandari, B., and D'Arcy, B. 2000. Evaluation of various extraction methods of encapsulated oil from  $\beta$ - cyclodextrin-lemon oil complex powder. *J. Food comp. Anal.* 13: 59-70.

- Pothakamury, U.R. and Barbosa-Canovas, G.V. 1995. Fundamental aspects of controlled Release in foods. *Trends Food Sci. Technol.* 6: 397-406.
- Re', M.I. 1998. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technol.* 16: 1195-1236.
- Reineccius, G.A. 1988. Spray-Drying of Food Flavor. *In Flavor Encapsulation* (Rish, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 55-66. American Chemical Society. Washington DC.
- Reineccius, G.A. 1991. Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technol.* 45: 144-147.
- Reineccius, T.A., Reineccius, G.A. and Peppard, T.L. 2002. Encapsulation of flavors using cyclodextrin: comparison of flavor retention in alpha, beta and gamma types. *J. Food Sci.* 67: 3271-3279.
- Reineccius, T.A., Reineccius, G.A. and Peppard, T.L. 2003. Flavor release from cyclodextrin complexes: comparison of alpha, beta and gamma types. *J. Food Chem. Toxic.* 68: 1234-1239.
- Reineccius, T.A., Reineccius, G.A. and Peppard, T.L. 2004. Utilization of  $\beta$ -cyclodextrin for improved flavor retention in thermally processed foods. *J. Food Sci.* 69: 58-62.
- Risch, S.J. 1995. Encapsulation: Overview of Use and Techniques. *In Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients.* (Risch, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 60-71. ACS. Symposium Series 590. American Chemical Society. Washington, DC.
- Rodríguez1, G.O., Ysambertt, F., Ferrer, B.S, and Cabrera1, L. 2003. Volatile fraction composition of Venezuelan sweet orange essential oil (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Cienc. (Maracaibo).* 11: 55-60.
- Roos, K.B. 2003. Effect of texture and microstructure on flavour retention and release. *Int. Dairy J.* 13: 593-605.
- Rosenberg, M., Kopelman, I.J. and Talmon, Y. 1985. A scanning electron microscopy study of Microencapsulation. *J. Food Sci.* 50: 139-144.

- Rosenberg, M., Kopelman, I.J. and Talmon, Y. 1990. Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1288-1294.
- Shamekh, S.P., Myllarinen, P., Poutanen, K. and Forssell, P. 2002. Film formation properties of potato starch hydrolysates. *Starch.* 54: 20-24.
- Shanmugam, M., Ramesh, D., Nagalakshmi, V., Kavitha, R., Rajamohan, R., and Stalin, T. 2008. Host-guest interaction of l-tyrosine with  $\beta$ -cyclodextrin. *Spectrochim. Acta A.* 71: 125-132.
- Shefer, A. and Shefer, S. 2003. Novel Encapsulation system provides controlled release of ingredients. *Food Technol.* 57: 40-42.
- Shen, Y., Ying, W., Yang, S., and Wu, L. 2006. Determinations of the inclusion complex between gossypol and  $\beta$ -cyclodextrin. *Spectrochim. Acta A.* 65:169-172.
- Sheu, T.-Y., and Rosenberg, M. 1995. Microencapsulation by spray drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. *J. Food Sci.* 60: 98-103.
- Sheu, T.-Y., and Rosenberg, M. 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey protein and carbohydrates. *J. Food Sci.* 63: 491-494.
- Soottitantawat, A., Takayama, K., Okamura, K., Muranaka, D., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. and Linko, P. 2005. Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics. *Inno. Food Sci. Emer. Technol.* 6:163-170.
- Sparks, R.E., Jacobs, J.C. and Mason, N.S. 1995. Centrifugal Suspension-Separation for Coating Food Ingredients. *In Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients.* (Risch, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 87-89. ACS. Symposium Series 590. American Chemical Society. Washington, DC.
- Szente, L. and Szejtli, J. 1988. Stabilization of Flavors by Cyclodextrins. *In Flavor Encapsulation* (Rish, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 148-157. American Chemical Society. Washington DC.

- Trubiano, P.C and Lacourse, N.L. 1988. Emulsion-Stabilizing Starches: Use in Flavor Encapsulation. *In* Flavor encapsulation (Rish, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 45-54. American Chemical Society. Washington DC.
- Whorton, C. 1995. Factors Influencing Volatile Release from Encapsulation Matrices. *In* Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients. (Risch, S.J. and Reineccius, G.A., eds.). p. 87-89. ACS. Symposium Series 590. American Chemical Society. Washington, DC.
- Yoshii, H., Soottitantawat, A., Liu, X.-D., Atarashi, T., Furuta, T., Aishima, S., Ohgawara, M. and Linko, P. 2001. Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices As a function of storage relative humidity. *Inno. Food Sci. Emer. Technol.* 2: 55-61.
- Yuliani, S., Torley, P.T., D'Arcy, B., Nicholson, T. and Bhandari, B. 2006. Extrusion of mixture of starch and d-limonene encapsulate with  $\beta$ -cyclodextrin: flavor retention and physical properties. *Food Res. Int.* 39: 318-331.
- Zhao, J. and Whistler, R.L., 1994. Spherical aggregates of starch granules as flavor carrier. *Food Technol.* 48: 104-105.

## ภาคผนวก ก

### 1. ปริมาณความชื้น (A.O.A.C, 2000)

#### 1.1 อุปกรณ์

1. ตู้อบสุญญากาศ
2. ภาชนะหาคความชื้น (จานอลูมิเนียมพร้อมฝา)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

#### 1.2 วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาคความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ถึงไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นข้อ 1 ซ้ำ จนได้ผลแตกต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. สุ่มตัวอย่างโดยชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาคความชื้น ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 50 มิลลิเมตรปรอท นาน 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบ และกระทำซ้ำเช่นเดิมจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

#### 1.3 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

### 2. ปริมาณน้ำมันทั้งหมดด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (ดัดแปลงจาก Bhandari, 1999)

#### 2.1 อุปกรณ์

1. เตาให้ความร้อน
2. ชุดกลั่นประกอบด้วย ขวดทรงกลม และคอนเดนเซอร์ (Figure 35)
3. กรวยแยก
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า



Figure 35. Test apparatus of oil extraction.

## 2.2 วิธีกร

1. ชั่งไมโครแคปซูลใส่ในขวดทรงกลม 30 กรัม
2. เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร นำไปกลั่นโดยต่อเข้ากับชุดกลั่น
3. แยกน้ำมันที่ได้โดยกรวยแยก และชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ได้

## 3. ความหนาแน่นรวม (Hall and Hedrick, 1971 อ้างโดย Kim and Morr, 1996)

### 3.1 อุปกรณ์

1. กระจกบอทดวง
2. นาฬิกาจับเวลา
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า

### 3.2 วิธีกร

1. ชั่งไมโครแคปซูล 50 กรัมใส่ในกระจกบอทดวงขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เคาะด้วยอัตราเร็ว 120 ครั้งต่อนาที นาน 3 นาที
3. อ่านปริมาตรที่ได้
4. คำนวณหาความหนาแน่นรวม

### 3.3 การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อปริมาตร)} = \frac{\text{น้ำหนักไมโครแคปซูล (กรัม)}}{\text{ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)}}$$

#### 4. โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

Table 16. The operating condition of FT-IR.

Condition	Value
Frequency range (cm <sup>-1</sup> )	4000-400
Resolution	4
Instrument	EQUINOX55
Sample scans	32
Zerofilling	2
Technique	KBr pillet
Acquisition mode	Double sided, Forward-Backward

#### 5. สภาวะในการวิเคราะห์สารที่ระเหยได้โดยใช้เครื่อง GC/MS

Table 17. The operating condition of GC/MS for volatile compound analysis.

Condition	Rtx-5MS column
Length of column (m)	30
Diameter of column (mm)	0.25
Film thickness (μm)	0.25
Mode of operation	Split ratio 25:1
Injection temperature (°C)	250
Oven temperature (°C)	50 °C (Holding time 3 min) 10 °C/min 50 °C → 250 °C (Holding time 10 min)
Interface temperature (°C)	250
Mass rang (amu)	25-550



## 6. สภาพในการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนีนโดยใช้เครื่อง GC

Table 18. The operating condition of GC for limonene analysis.

Condition	HP-5 column
Length of column (m)	30
Diameter of column (mm)	0.25
Film thickness ( $\mu\text{m}$ )	0.25
Type carrier gas	He
Rate of carrier gas (ml/min)	2.0
Mode of operation	Split ratio 20:1
Injection temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	220
Detector temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	280
Oven temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	60 $^{\circ}\text{C}$ (Holding time 1 min) 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 60 $^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ 200 $^{\circ}\text{C}$

## 7. ความต้านทานแรงดันทะลุ (TAPPI T 810 om-92)

### 7.1 อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Figure 36)
2. แผ่นกระดาษลูกฟูก



Figure 36. Test apparatus of bursting strength.

## 7.2 วิธีการ

1. ตัดชิ้นทดสอบขนาด 15x15 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น ให้เรียบและตรง
2. เก็บชิ้นทดสอบในสภาวะทดสอบอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ดังนี้

อุณหภูมิ  $27 \pm 1$  องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$

3. วางแผ่นทดสอบลงบนแท่นวางตัวอย่าง และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้าสัมผัสของเครื่องทดสอบ
4. ยึดกระดาษเข้ากับเครื่องทดสอบให้แน่นด้วยแรง 200 psi
5. บันทึกผลการทดสอบ หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำซ้ำจนครบทุกชิ้นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย

## 8. ความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกตามแนวตั้ง (TAPPI T 811 om-88)

### 8.1 อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ยี่ห้อ LOYD 30KN
2. Edge crush holder
3. แผ่นกระดาษลูกฟูก

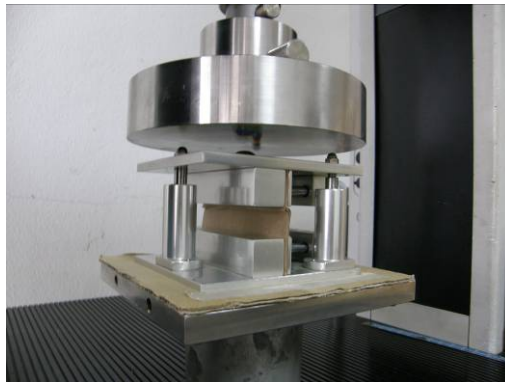


Figure 37. Test apparatus of edgewise crush resistance.

### 8.2 วิธีการ

1. ตัดชิ้นทดสอบขนาด 6x10 เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น ให้เรียบและตรงโดยให้แนวลูกฟูกตั้งฉากกับความยาวของแผ่นทดสอบ

2. เก็บชิ้นทดสอบในสภาวะทดสอบอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ดังนี้

อุณหภูมิ  $27 \pm 1$  องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$

3. ใช้ Edge Crush Holder ยึดแผ่นทดสอบและปรับให้พอดีกับขนาดของชิ้นทดสอบแล้วสอดเข้าระหว่างแผ่นกดของเครื่องทดสอบ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้าสัมผัสของเครื่องทดสอบ

4. บันทึกผลการทดสอบ หน่วยเป็นนิวตันต่อเซนติเมตร ทำซ้ำจนครบทุกชิ้นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย

## 9. ความสามารถในการยึดติดของกระดาษปะผิวและลอนลูกฟูก (TAPPI T 821 om-87)

### 9.1 อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ยี่ห้อ LOYD 30KN

2. ชุดทดสอบความแข็งแรงการยึดติดของกระดาษปะผิว และลอนลูกฟูก

(Figure 38)

3. แผ่นกระดาษลูกฟูก

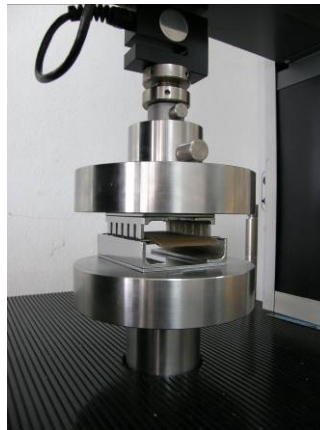


Figure 38. Test apparatus of pin adhesion of corrugated board by selective separation.

### 9.2 วิธีการ

1. ตัดชิ้นทดสอบขนาด  $5 \times 10$  เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น ให้เรียบและตรงโดยให้แนวลูกฟูกตั้งฉากกับความยาวของแผ่นทดสอบ

2. คัดเลือกชุดทดสอบความแข็งแรงการยึดติดของกระดาษปะผิวและลอนลูกฟูกให้เหมาะสมกับลอนของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ทดสอบ

3. เก็บชิ้นทดสอบในสภาวะทดสอบอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ดังนี้

อุณหภูมิ  $27 \pm 1$  องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$

4. นำกระดาษประกอบเข้ากับชุดทดสอบ แล้ววางระหว่างแผ่นกดของเครื่องทดสอบ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้าสัมผัสของเครื่องทดสอบ

5. บันทึกผลการทดสอบ หน่วยเป็นนิวตันต่อเซนติเมตร ทำซ้ำจนครบทุกชิ้นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย

## 10. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่นทั้งไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นสัมผัส กระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นสัมผัส กระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นสัมผัส ใช้วิธีการทดสอบเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis: QDA) โดยใช้ความยาวของสเกล 15 เซนติเมตร

### 10.1 การฝึกฝนการดมกลิ่น

ผู้ทดสอบการดมกลิ่นจะได้รับการฝึกฝนโดยผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่างที่มีกลิ่นสัมผัส 5 ระดับ ตั้งแต่ตัวอย่างที่ไม่มีกลิ่นจนถึงตัวอย่างที่มีกลิ่นสัมผัสมากที่สุด ซึ่งกลิ่นแต่ละระดับจะมีการตกลงให้คะแนนในหน่วยเซนติเมตรร่วมกัน เพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกันในการให้คะแนน ฝึกฝนให้ผู้ทดสอบดมตัวอย่างที่ได้รับจนกระทั่งผู้ทดสอบสามารถระบุระดับคะแนนของกลิ่นในแต่ละระดับได้อย่างถูกต้อง

### 10.2 วิธีการดมกลิ่น

นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว และให้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามระดับกลิ่นสัมผัสที่ตนสามารถรับรู้ได้ โดยมีการพักระหว่างการดมตัวอย่างถัดไป เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการดมตัวอย่างก่อนหน้า

### 10.3 ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

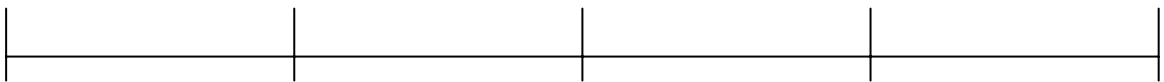
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ ..... เวลา .....

---

ผลิตภัณฑ์ ผงกลิ่นส้ม

คำแนะนำ ระบุระดับกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่าน โดยขีดเส้น | ลงบนเส้นตรงพร้อมทั้งระบุรหัสตัวอย่างบนเส้นที่ขีด (กรุณาปิดฝาให้สนิท)



ไม่มีกลิ่น

กลิ่นรุนแรงมาก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของกระดาษที่เคลือบด้วยสารให้กลิ่นส้ม และกระดาษที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นส้ม

ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ ..... เวลา .....

---

ผลิตภัณฑ์ กระดาษกลิ่นส้ม

คำแนะนำ ระบุระดับกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่าน โดยขีดเส้น | ลงบนเส้นตรงพร้อมทั้งระบุรหัสตัวอย่างบนเส้นที่ขีด



ไม่มีกลิ่น

กลิ่นรุนแรงมาก

ภาคผนวก ข

Table 19. Analysis of variance for properties of microcapsule using maltodextrin and sry-drying Processes.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Moisture	Between Groups	28.092	2	14.046	646.621	.000
	Within Groups	.130	6	.022		
	Total	28.222	8			
Aw	Between Groups	.002	2	.001	58.657	.000
	Within Groups	.000	6	.000		
	Total	.003	8			
Bulk density	Between Groups	.052	2	.026	777.000	.000
	Within Groups	.000	6	.000		
	Total	.052	8			
Efficiency of aroma retention	Between Groups	3204.875	2	1602.438	2044.071	.000
	Within Groups	4.704	6	.784		
	Total	3209.579	8			

Table 20. Analysis of variance for properties of microcapsule using  $\beta$ -cyclodextrin and solution Method.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Moisture	Between Groups	3.184	2	1.592	25.656	.001
	Within Groups	.372	6	.062		
	Total	3.556	8			
Aw	Between Groups	.007	2	.004	62.245	.000
	Within Groups	.000	6	.000		
	Total	.007	8			
Bulk density	Between Groups	.001	2	.000	6.143	.035
	Within Groups	.000	6	.000		
	Total	.001	8			
Efficiency of aroma retention	Between Groups	2467.980	2	1233.990	1264.564	.000
	Within Groups	5.855	6	.976		
	Total	2473.835	8			

Table 21. Analysis of variance for properties of microcapsule using  $\beta$ -cyclodextrin and paste Method.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Moisture	Between Groups	237.923	2	118.962	474.161	.000
	Within Groups	1.505	6	.251		
	Total	239.429	8			
Aw	Between Groups	.038	2	.019	595.933	.000
	Within Groups	.000	6	.000		
	Total	.038	8			
Bulk density	Between Groups	.042	2	.021	632.333	.000
	Within Groups	.000	6	.000		
	Total	.042	8			
Efficiency of aroma retention	Between Groups	957.798	2	478.899	452.888	.000
	Within Groups	6.345	6	1.057		
	Total	964.142	8			

Table 22. Analysis of variance for weights of uncoated and coated papers with encapsulated aroma oil (80MD) and aroma oil.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	850.767	14	60.769	10543.006	.000
Within Groups	.778	135	.006		
Total	851.546	149			



Table 23. Analysis of variance for sensory score of coated paper with encapsulated aroma oil (80MD) and aroma oil.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Aroma oil	Between Groups	1124.862	4	281.216	71.525	.000
	Within Groups	216.245	55	3.932		
	Total	1341.107	59			
80MD	Between Groups	31.401	4	7.850	1.623	.182
	Within Groups	266.094	55	4.838		
	Total	297.495	59			

Table 24. Analysis of variance for mechanical properties of uncoated and coated paper with encapsulated aroma oil (80MD) and aroma oil.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ECT	Between Groups	7748.894	14	553.492	75.990	.000
	Within Groups	983.309	135	7.284		
	Total	8732.203	149			
Pin adhesion	Between Groups	2318.129	14	165.581	11.000	.000
	Within Groups	2032.052	135	15.052		
	Total	4350.181	149			
Bursting strength	Between Groups	68.768	14	4.912	41.518	.000
	Within Groups	15.972	135	.118		
	Total	84.740	149			

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวลัดดา ศรีสุวรรณ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5011020056

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2547

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนทักษะนักอุตสาหกรรมเกษตร จากศูนย์พันธูวิศกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ  
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

นักวิทยาศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Srisuwan, L. and Pisuchpen, S. 2008. Microencapsulation of orange aroma compounds and its application on active packaging. In Proceeding of 16<sup>th</sup> IAPRI World Conference on Packaging. Miracle Grand Convention Hotel Bangkok, Thailand. 8-12 June 2008.