

บทที่ 4

เอนแคปซูเลชันและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้ กลิ่นรส (Encapsulation and Control Release of Food Flavoring)

วัตถุประสงค์

เมื่อนักศึกษาได้ศึกษาบทเรียนบทนี้แล้วนักศึกษาคควมีความรู้และเข้าใจในเนื้อหาต่อไปนี้

1. ความหมายของการเอนแคปซูเลชันและขั้นตอนการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส
2. เทคโนโลยีที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส
3. เทคนิคการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร

บทนำ

ผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรสที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท
ได้แก่

1. Liquid และ dry blend flavor

Liquid blend flavor ประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรส (aroma chemicals) ละลาย
อยู่ในตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย (carrier solvent) เช่น น้ำมันพืช (vegetable
oil), propylene glycol, triacetin, ethanol ส่วนใหญ่จะใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม อายุ
การเก็บของ liquid blend flavor จะสั้นกว่าผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรสในรูปแบบอื่น

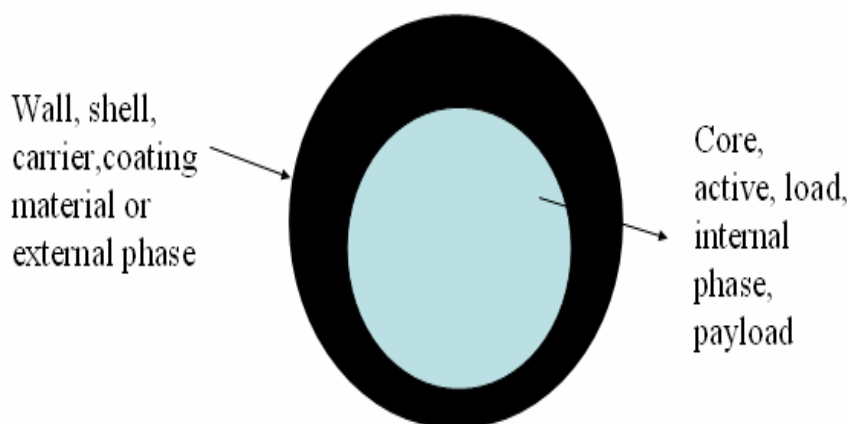
Dry blend flavor ประกอบไปด้วยส่วนผสมของ dry flavor ที่ได้จากเครื่องเทศ
และสมุนไพร, ซุปก้อน (bouillons)

2. Encapsulated flavor

Encapsulated flavor เป็นสารให้กลิ่นรสที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบโดยใช้เทคโนโลยีการเอนแคปซูเลท ผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรสที่ได้จะอยู่ในรูปไมโครแคปซูล

4.1 เอนแคปซูเลชัน

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือ ถูกยัดจับไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating



ภาพที่ 4.1 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

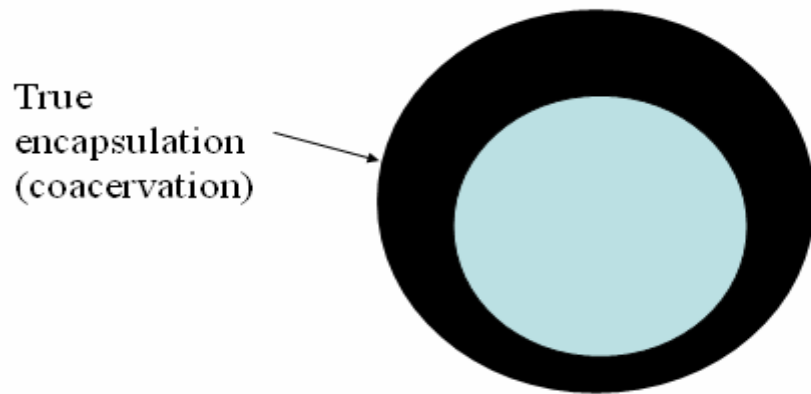
4.2 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน

4.2.1 Single core (True encapsulation)

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค coacervation

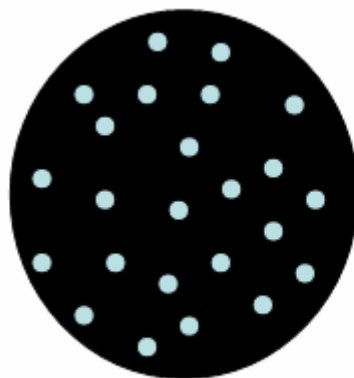
4.2.2 Multi-core หรือ matrix encapsulation

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย สเปรย์ซิลลิง สเปรย์คูลลิง เอ็กซ์ทรูชันในการเอนแคปซูเลท



ภาพที่ 4.2 ไมโครแคปซูลแบบ single core

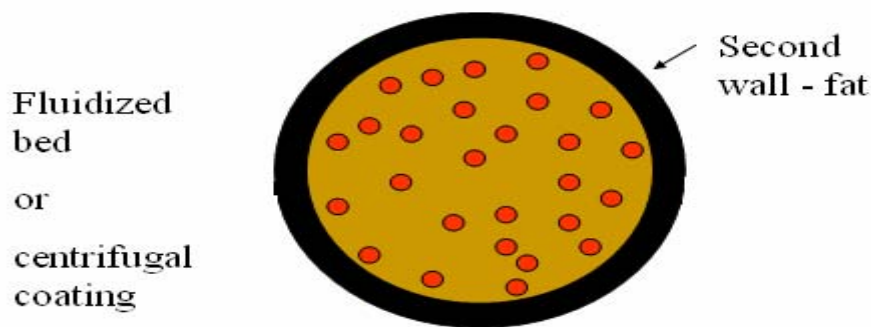
Spray
drying,
prilling,
extrusion
etc.



ภาพที่ 4.3 ไมโครแคปซูลแบบ multi-core หรือ matrix encapsulation

4.2.3 Multi-wall หรือ control release

เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้เทคนิค fluidized bed หรือ centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในสภาวะที่ต้องการได้



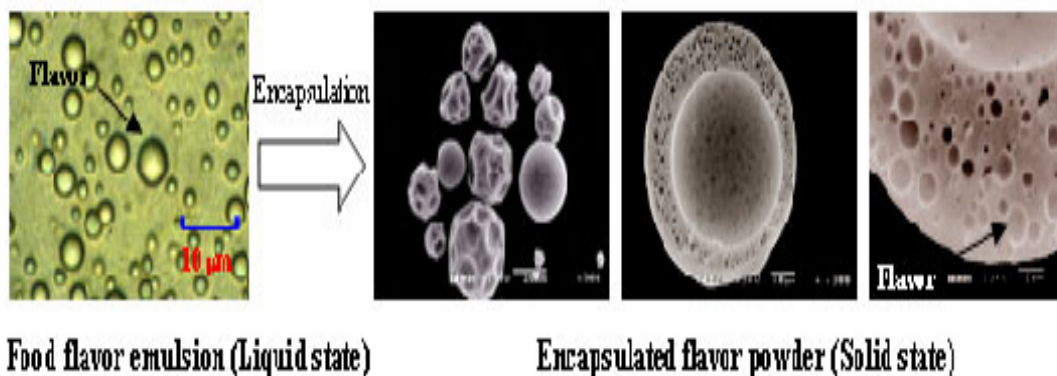
ภาพที่ 4.4 ไมโครแคปซูลแบบ matrix encapsulation ที่มีการเคลือบผิว 2 ชั้น

การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสสามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสที่อาจทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร ลดการเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสทำปฏิกิริยากัน ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากแสงและ/หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรส หรือ ควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร (Reineccius, 1991; Tari & Singhal, 2002)

ส่วนผสมอาหารอื่นๆที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันได้แก่ กรด (acids), ไขมัน (lipids), เอนไซม์ (enzymes), จุลินทรีย์ (microorganism), สารทดแทนน้ำตาล (artificial sweetener), วิตามิน (vitamins), เกลือแร่ (mineral), สี (colorants) และ เกลือ (salts) (Dziezak, 1988; Jackson and Lee, 1991; Shahidi & Han, 1993)

โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน (ภาพที่ 4.5) โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบโดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือ โปรตีน ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง

เทคนิคการเอนแคปซูเลทที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรสและความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.5 การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส

ที่มา : Madene et al., 2006

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท

1. คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรสได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (chemical structure), ความมีขั้ว (polarity) และ ความสามารถในการระเหย (volatility)
2. คุณสมบัติของสารเคลือบ
3. สภาพที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลท

สารเคลือบที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรสมีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง, ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และ สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ (Trubiano & Lacourse, 1988; Shahidi & Han, 1993)

4.3 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลท

4.3.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใช้ในรูปแบบของสารเคลือบ ได้แก่ สตาร์ช (starch), มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), corn syrup solids และ gum acacia คาร์โบไฮเดรต

4.3.1.1 สตาร์ช (starch)

สตาร์ช และ ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร (modified starch), มอลโตเดกซ์ทริน และ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (beta-cyclodextrin) ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรส

กลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบโดยรูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย amylase helix โดยการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ในโมเลกุล (inclusion complex) รูปแบบที่สองจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและ สารให้กลิ่นรส (Arvisenet et al., 2002; Boutboul et al., 2002)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส

ชนิดของสารเคลือบ	คุณสมบัติเฉพาะ
Maltodextrin (DE<20)	Film forming
Corn syrup solid (DE>20)	Film forming
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
Hydrogenated fat	Barrier to oxygen and water

ที่มา : Madene et al., 2006

4.3.1.2 มอลโตเดกซ์ทริน

มอลโตเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วนโดยการใช้กรดหรือเอนไซม์ โดยผลิตจำหน่ายในรูป Dextrose Equivalent (DEs)

DE value เป็นการวัดระดับ (degree) ของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว (Kenyon & Anderson, 1988; Shahidi & Han, 1993)

4.3.1.3 กัม (Gum)

Gum arabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปแบบของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดี ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray-dried particles) โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ทริน และ gum arabic เป็นสารเคลือบ จะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรส ได้ > 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อน, ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืด และ สัดส่วนของ gum arabic และ มอลโตเดกซ์ทริน (Williams & Phillips, 2000)

4.3.2 โปรตีน (Protein)

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (solubility), ความหนืด (viscosity), emulsification และ คุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูลเลชัน ระหว่างการเกิดอิมัลชัน โมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด steric-stabilizing layer ขึ้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน (oil droplets) จากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง (recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา (Dalgleish, 1997; Dickenson, 2001)

4.3.2.1 เวย์โปรตีน (Whey protein)

เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ (functional properties) ที่ต้องการในการใช้เป็นสารเคลือบ (Amrita et al., 1999) เวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายใน international market จะอยู่ในรูปของ whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) powder

เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันส้ม (microencapsulated orange oil) โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Kim & Morr, 1996) การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส (Young et al., 1993b; Sheu & Rosenberg, 1995) โดยเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มในขณะที่ยังคาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดกซ์ทริน หรือ corn syrup solids) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเมทริกซ์ (Sheu & Rosenberg, 1998)

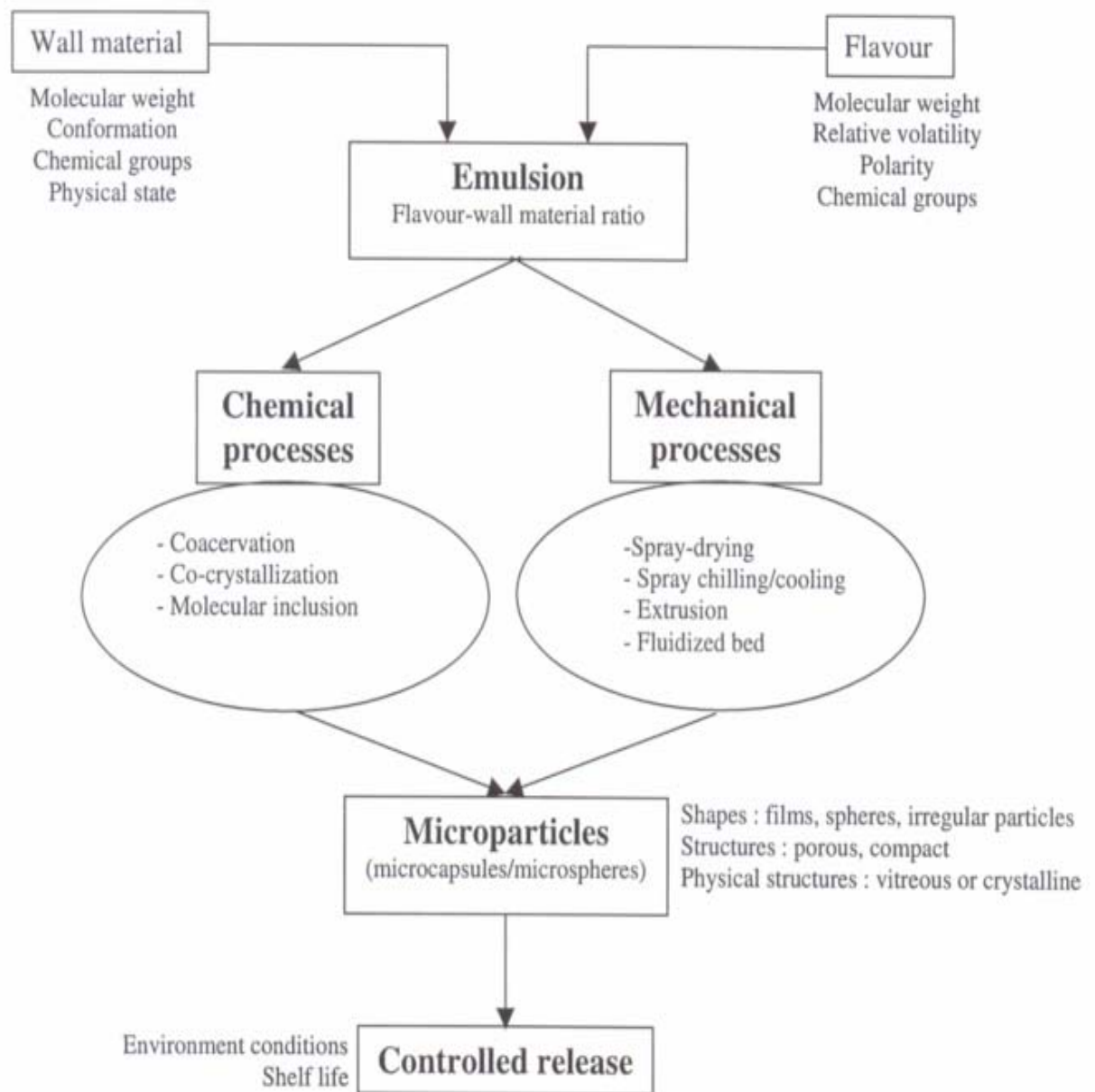
4.3.2.2 โปรตีนชนิดอื่นๆ

Protein-based material เช่น polypeptone, โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) หรืออนุพันธ์ของเจลาติน (gelatin derivative) มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรส

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจน (collagen) ถูกนำมาใช้ในรูปแบบของสารเคลือบในการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค complex coacervation และ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Ducel et al., 2004) เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว (Lee et al., 1999) ไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้โดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (seasoning) (Gourdel & Tronel, 2001)

4.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)

การเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรสสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมได้แก่ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และ เอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) (Beristain et al., 1996; Goubet et al., 1998) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคอื่นๆเช่น สเปรย์ชิลลิ่งและคูลลิ่ง (spray chilling and cooling), coacervation, การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized bed coating), การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment), inclusion complexation และ เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)



ภาพที่ 4.6 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส

ที่มา : Madene et al., 2006

ตารางที่ 4.2 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส

	Encapsulation Methods	Particle size(μm)	Max load(%)	reference
Chemical techniques	Simple coacervation	20-200	<60	Richard & Benoit, 2000
	Complex coacervation	5-200	70-90	Richard & Benoit, 2000
	Molecular inclusion	5-50	5-10	Uhlemann et al., 2002
Mechanical techniques	Spray-drying	1-50	<40	Richard & Benoit, 2000
	Spray chilling	20-200	10-20	Uhlemann et al., 2002
	Extrusion	200-2000	6-20	Uhlemann et al., 2002
	Fluidised bed	>100	60-90	Richard & Benoit, 2000

ที่มา : Madene et al., 2006

4.4.1 การเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical process)

4.4.1.1 Coacervation

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้ใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ซึ่งไปด้วยเฟส 3 เฟสซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกันได้แก่เฟสต่อเนื่อง (continuous phase) สารที่จะนำมาเอนแคปซูเลท (core material) และเฟสของสารเคลือบ (coating material phase)(Risch, 1995) การทำให้เกิดการเคลือบผิวในกรณีนี้จะเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพของ hydrophilic colloids 2 ชนิด ซึ่งมีประจุต่างกันให้อยู่ในสภาวะที่ประจุเป็นกลางและเคลือบอยู่บนผิวของสารแกนกลาง

ตารางที่ 4.3 รูปแบบของผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรสที่ได้จากการเอนแคปซูเลท
โดยใช้เทคนิคต่างๆและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

Encapsulation technique	Encapsulated form	Application area
Coacervation	Paste/powder/capsule	Chewing gum baked foods
Spray drying	Powder	Confectionery, milk powder, instant desserts, food flavors, instant beverage
Fluid bed drying	Powder/granule	Prepared dishes, confectionery
Spray cooling/chilling	Powder	Prepared dishes
Extrusion	Powder/granule	Instant beverages, confectionery
Molecular inclusion	Powder	Confectionery, instant drinks, extruded snack

ที่มา : Madene et al., 2006

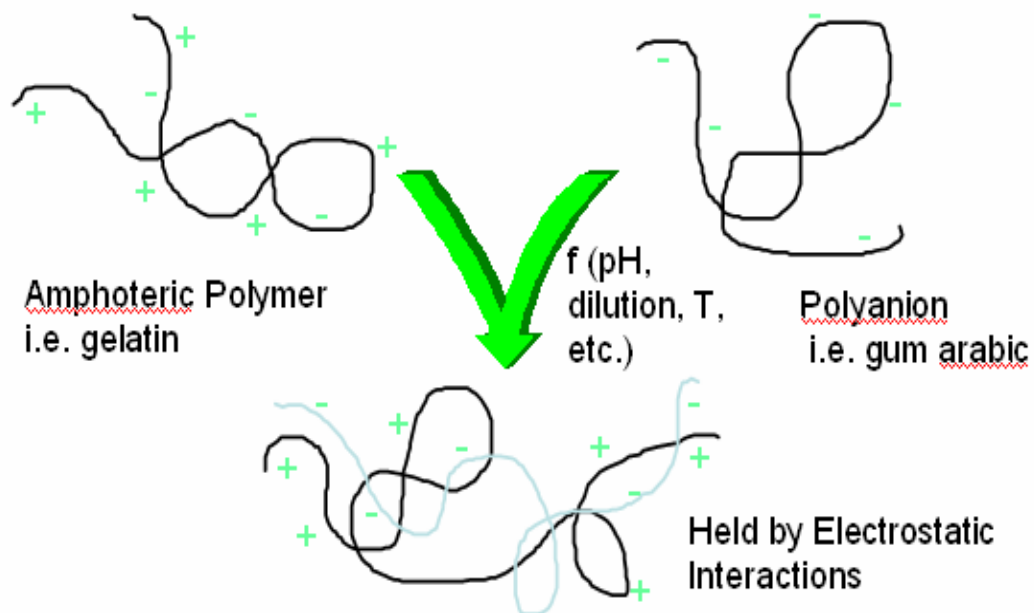
ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค coacervation ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

1. การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก
2. การเกิด coacervative wall
3. การแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย

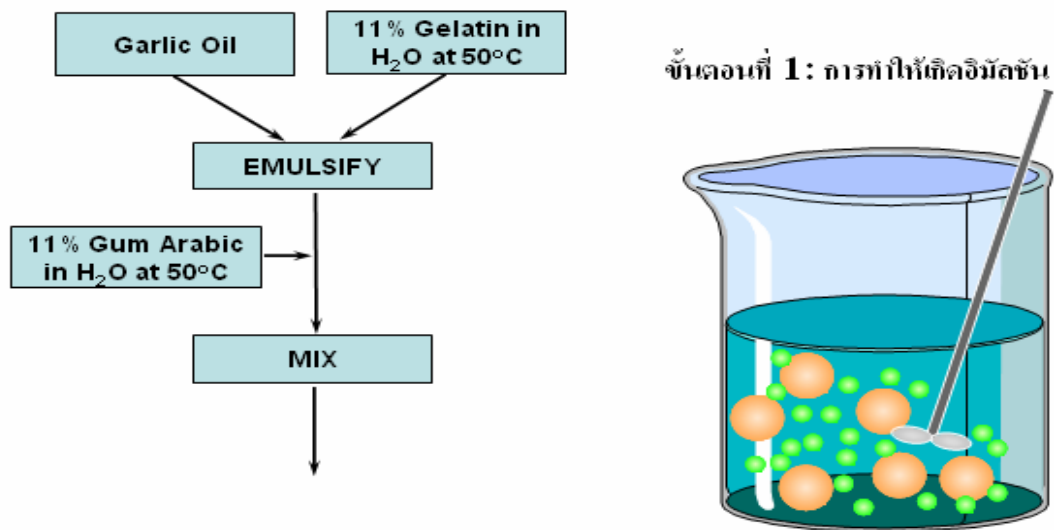
การเกิด coacervation ทำได้โดย

1. การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ
2. การปรับเปลี่ยน pH
3. การเติม ionic salt

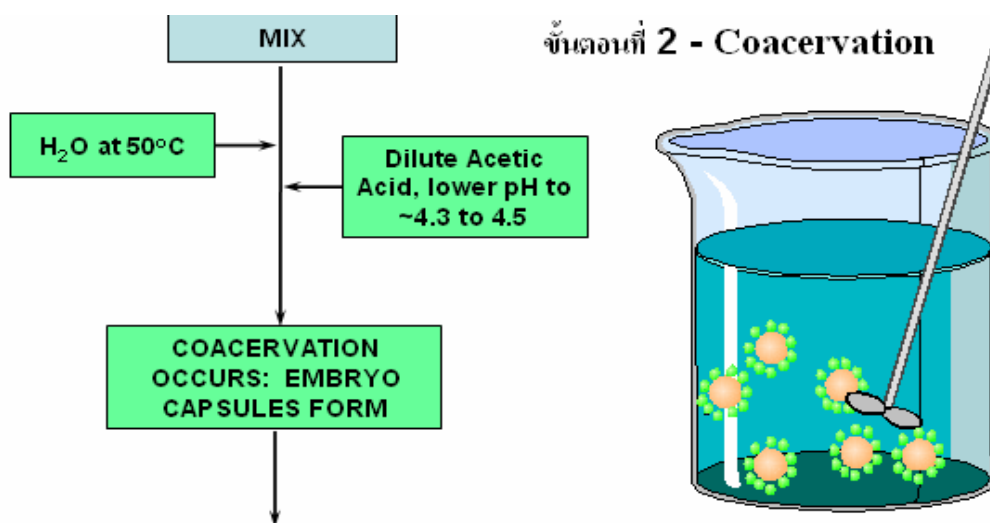
การเอนแคปซูลเลทโดยใช้เทคนิคนี้จะต้องทำการควบคุมการผสมเพื่อให้สารเคลือบเคลือบบนผิวของสารแกนกลางอย่างสม่ำเสมอ สารเคลือบที่ใช้ได้แก่ เจลาติน การเคลือบผิวรอบๆสารแกนกลางเกิดจากการดูดซับ hydrophillic phase ที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง การเติม electrolyte เข้าไปในระบบจะทำให้เกิดการตกตะกอนของคอลลอยด์โดย electrolyte จะไปทำให้ประจุเป็นกลางซึ่งจะช่วยให้เกิดการเคลือบที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง จากนั้นทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้อยู่ในรูป solid microcapsule โดย desolvation หรือ thermal cross – linking (Korus, 2001) ภาพที่ 4.7-4.11 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเอนแคปซูลเลทน้ำมันกระเทียม (garlic oil) โดยใช้เทคนิค coacervation



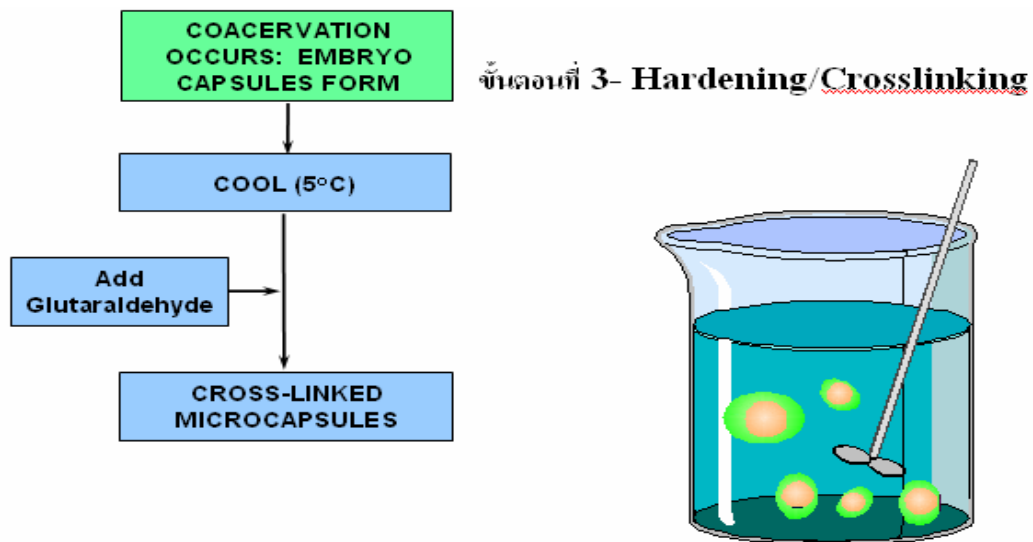
ภาพที่ 4.7 การจับตัวระหว่าง amphoteric polymer และ polyanion โดย electrostatic interaction



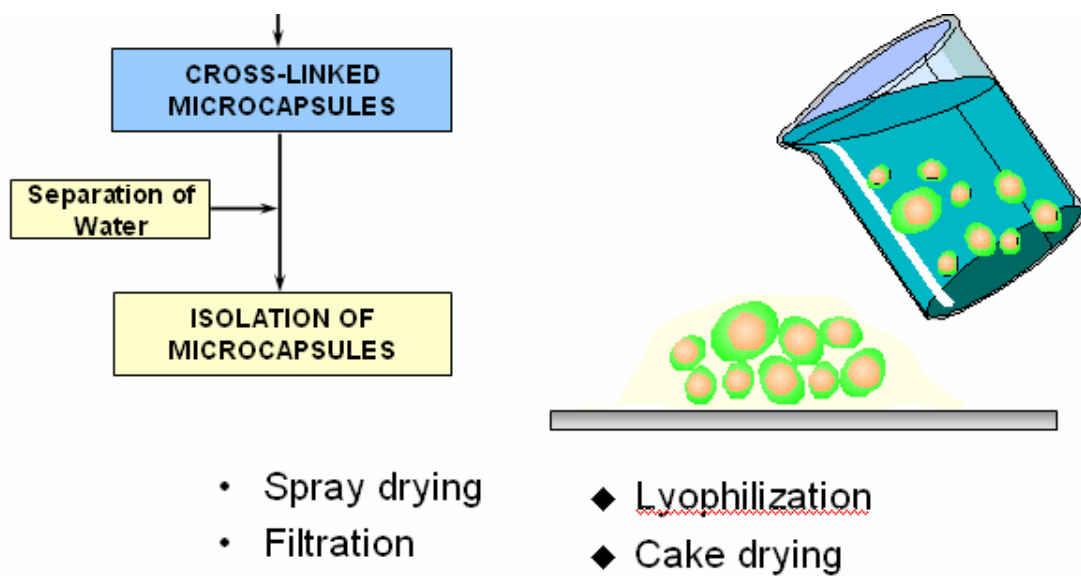
ภาพที่ 4.8 การเอนแคปซูเลทน้ำมันกระเทียมโดยใช้เทคนิค complex coacervation ขั้นตอนที่ 1 การเกิดอิมัลชัน



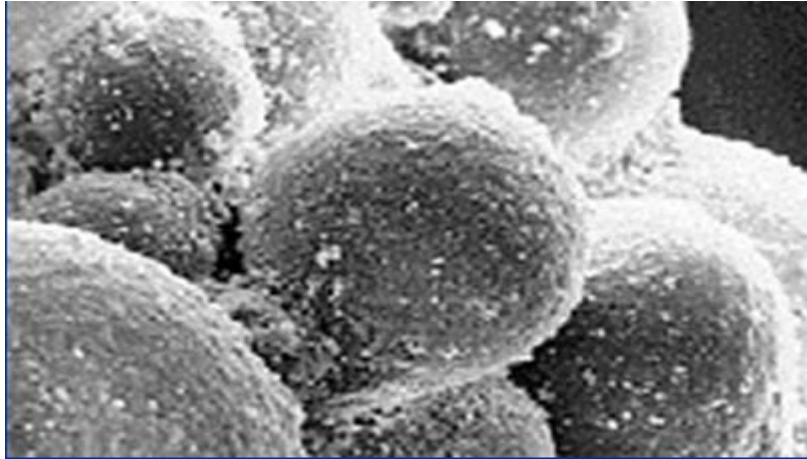
ภาพที่ 4.9 การเอนแคปซูเลทน้ำมันกระเทียมโดยใช้เทคนิค complex coacervation ขั้นตอนที่ 2 การเกิด coacervation



ภาพที่ 4.10 การเอนแคปซูเลทน้ำมันกระเทียมโดยใช้เทคนิค complex coacervation
ขั้นตอนที่ 3 – Hardening/Crosslinking

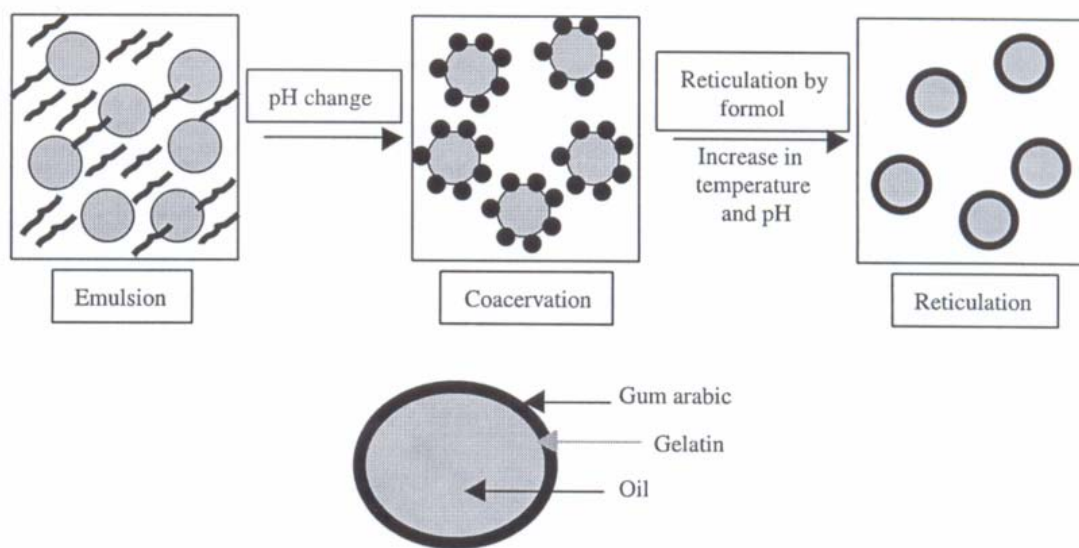


ภาพที่ 4.11 การเอนแคปซูเลทน้ำมันกระเทียมโดยใช้เทคนิค complex coacervation
ขั้นตอนที่ 4-Isolation



ภาพที่ 4.12 ลักษณะของ coacervated microgranules ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา : Madene et al., 2006



ภาพที่ 4.13 หลักการของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค complex coacervation

ที่มา : Madene et al., 2006

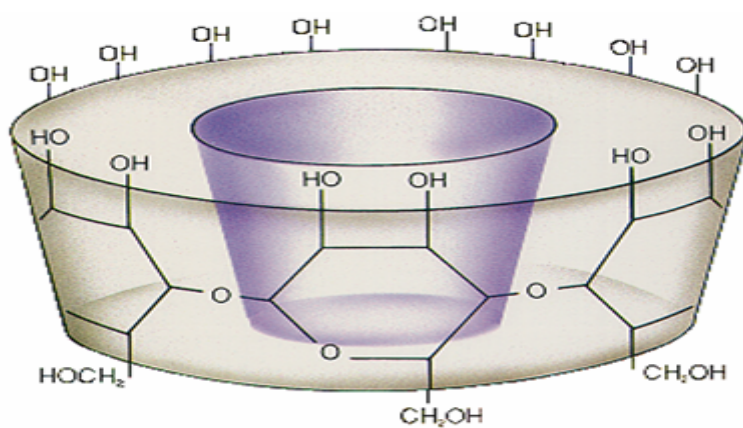
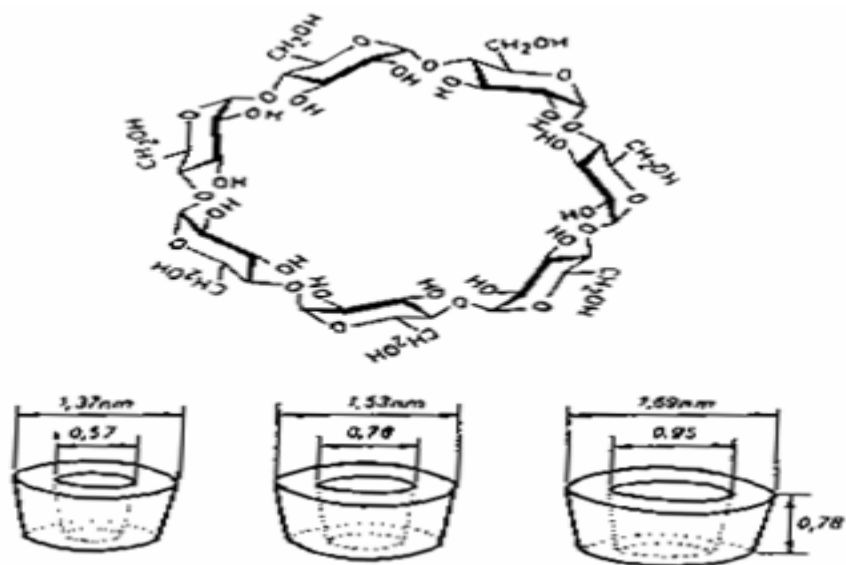
4.4.1.2 Co-crystallization

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค co-crystallization เกิดระหว่างการตกผลึกของซูโครสไซรัปในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (95-97⁰Brix) ที่อุณหภูมิสูง (>120⁰ซ) โดยเติมสารให้กลั่นรสลงไประหว่างการเกิดผลึก (spontaneous crystallization) (Bhandari et al., 1998) ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็กล้อมรอบสารให้กลั่นรสอยู่ภายในโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้จะมี low hygroscopicity, good flowability และ dispersion properties (LaBell, 1991; Quellet et al., 2001)

4.4.1.3 Molecular inclusion

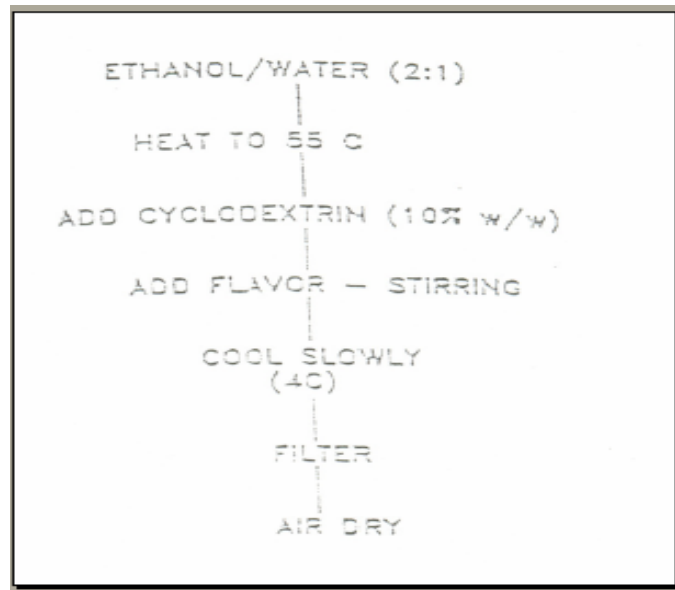
Molecular inclusion เป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลทในระดับโมเลกุล วิธีการนี้จะใช้ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอนไซม์ไกลโคซิล-แทรนสเฟอเรส (glycosyl-transferase, GCTase) มาทำปฏิกิริยากับสตาร์ช เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์วงแหวนที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส หก เจ็ด หรือ แปดโมเลกุลเรียกว่าแอลฟา-, บีตา, หรือ แกมมา-ไซโคลเดกซ์ทรินตามลำดับ บริเวณตรงกลางโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนที่ผิวนอกจะมีลักษณะเป็น hydrophilic (ภาพที่ 4.14) เมื่ออยู่ในสารละลาย โมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าจะแทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงกลางของโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน สารประกอบที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อยและตกตะกอนแยกตัวออกมาจากสารละลาย (Godshall, 1997) เทคนิคนี้จะใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลั่นรสที่ไม่เสถียรและ high added value flavor chemicals (Uhlemann et al., 2002)

สารให้กลั่นรสจะถูกเอนแคปซูเลทอยู่ภายในโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน (Reineccius & Risch, 1986; Loftsson & Kristmundsdottir, 1993; Reineccius et al., 2002) ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลั่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้ได้แก่ น้ำหนักและรูปร่างของโมเลกุล, คุณสมบัติทางเคมี (chemical functionality), ความมีขั้ว (polarity) และ ความสามารถในการระเหย (volatility) ของสารแกนกลาง การปลดปล่อยสารแกนกลาง จะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำ หรือ ที่อุณหภูมิสูง (Reineccius et al., 2002)



ภาพที่ 4.14 โครงสร้างของ β - cyclodextrin

ที่มา : Reineccius (1994)

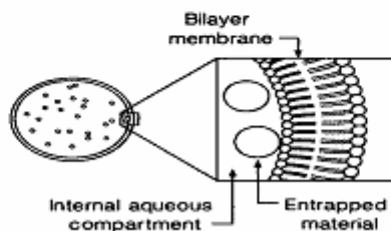
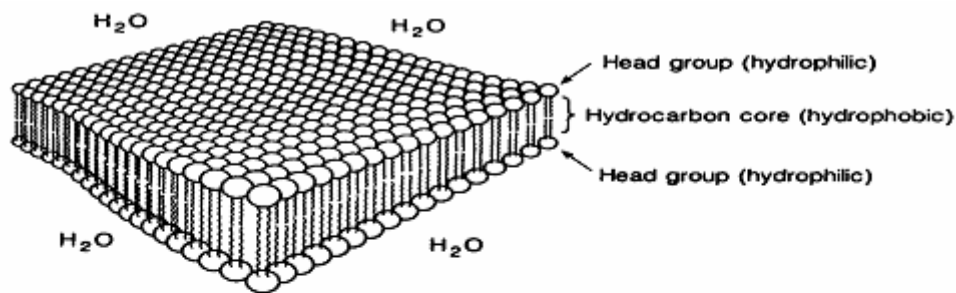


ภาพที่ 4.15 ขั้นตอนการเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิค
molecular inclusion

ที่มา : Reineccius (1994)

4.4.1.4 การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (Liposome entrapment)

วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยา (pharmaceutical industry) ปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ล้อมรอบโดยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipid – base membrane) เมื่อฟอสโฟไลปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำจะเกิดการ form เป็นไลโปโซม โดยอัตโนมัติ ไลโปโซมสามารถใช้ในการหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำหรือในไขมันไว้ภายใน



ภาพที่ 4.16 โครงสร้างของ lipid bilayer matrix

ที่มา : Madene et al., 2006

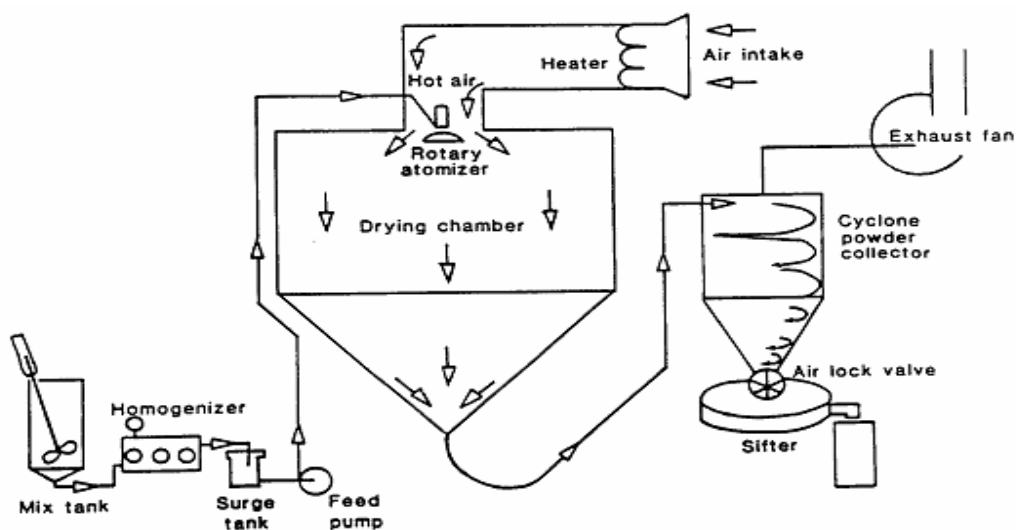
4.4.2 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes)

4.4.2.1 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลทที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส (Deis, 1997) เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตโดยวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier หรือ wall material) เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), สตาร์ชดัดแปร (modified starch) กัม หรือ ส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูเลทมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการ โฮโมจีไนส์ (homogenize) เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลิ่นรสใน

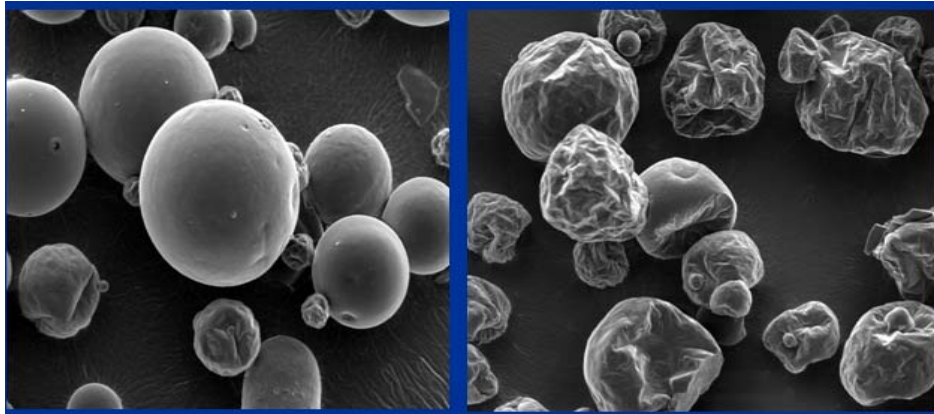
ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. ต้นทุนการผลิตต่ำ
2. เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย
3. สามารถปกป้องสารแกนกลาง ได้เป็นอย่างดี และ สามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด



ภาพที่ 4.17 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : Madene et al., 2006



ภาพที่ 4.18 ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ซ้าย : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ wheel atomizer

ขวา : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ pressure spray atomizer

ที่มา : Madene et al., 2006

ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย
2. อาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน. ในผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Dziezak, 1988; Desobry et al., 1997)
3. การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียดมากโดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วง 10-100 ไมครอน ซึ่งอาจจะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการ agglomeration โดยใช้ fluidized bed process เพื่อให้อนุภาคที่ผ่านการเอนแคปซูเลทสามารถละลายได้ทันที หรือ ละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปของเหลว

ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตสารเคลือบโดยบริษัท Colloid Naturels และ TIC gum โดยการใช้กัมอาราบิกและการใช้กัมอาราบิก ร่วมกับสตาร์ชหลายชนิดเพื่อให้ สารให้กลิ่นรสมีความคงตัวมากขึ้นในระหว่างขั้นตอนการอบแห้งทำ ให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานขึ้น

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่อง leaflesh spray dryer เพื่อใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดสูง โดยออกแบบให้อากาศร้อน (300–400⁰ซ) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงภายในห้องอบแห้ง ซึ่ง leaflesh spray dryer สามารถใช้ในการอบแห้ง citral และ linalyl acetate โดยมีผลกระทบ กับคุณภาพของสารให้กลิ่นรสดังกล่าว่น้อยมาก

ในกรณีที่สารให้กลิ่นรสที่จะนำมาเอนแคปซูเลทมีจุดเดือดต่ำ การเอนแคปซูเลทจะทำได้โดยนำอิมัลชันซึ่งประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรสในตัวกลางที่ละลายน้ำ (hydrated carrier) เช่น กัมอาราบิก มาผ่านหัวฉีดเพื่อพ่นละอองฝอยไปยังสารละลายเอทานอลซึ่งเป็นของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำ (dehydrating liquid) ออกจากผลิตภัณฑ์ ไมโครแคปซูลที่ได้สามารถแยกออกจากสารละลายโดยการกรอง และทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum oven) วิธีการนี้ยังไม่มีเครื่องมือการผลิตเป็นแบบต่อเนื่องจึงทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศร้อนแต่วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตสารให้กลิ่นรสที่มีราคาแพงและไวต่อความร้อน

การกักเก็บสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการเอนแคปซูเลชัน โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะขึ้นอยู่กับ

1. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ ของ สารแกนกลางและสารเคลือบ (Renecquis & Coulter, 1969; Menting et al., 1970; Bomben et al., 1973; Leahy et al., 1983; Rosenberg et al., 1990; Dosobry et al., 1997)
2. อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง
3. คุณสมบัติของสารเคลือบเช่น คุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียร ความสามารถในการทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของสารแกนกลาง และมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง (Rosenberg et al., 1990; Goubet et al., 1998)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่

1. องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเคลือบ
2. อัตราส่วนของสารให้กลิ่นรส : สารเคลือบ

3. วิธีการพ่นฝอย และ ตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง
4. การหัดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นของการอบแห้ง
5. สภาวะในการเก็บรักษา

(Buma & Henstra, 1971a,b; Kalab, 1979; Greenwald, 1980; Greenwald&King, 1982; Keith, 1983; Mistry et al., 1992; Rosenberg & Young, 1993; Young et al., 1993a,b)

4.4.2.2 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด

(Fluidized bed coating หรือ Air suspension coating)

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็งโดยอนุภาคที่ต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ภายในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูง ในขณะที่ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกพ่นผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยไปยังกระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค ความหนาของสารเคลือบผิวสามารถควบคุมได้โดยควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ภายในห้องอบแห้ง

การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด ประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน

1. อนุภาคที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ลอยตัว (fluidized) อยู่ในกระแสอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง
2. สารเคลือบจะถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีดไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบซึ่งจะทำให้เกิดฟิล์มรอบๆอนุภาค
3. หยดเล็กๆของสารเคลือบจะกระจายและสะสมอยู่บนผิวของอนุภาคจากนั้นตัวทำละลายหรือส่วนผสมของตัวทำละลายจะระเหยออกจากผิวของอนุภาคโดยอากาศร้อนและสารเคลือบจะเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค (Jacquot & Perneti, 2003)

เทคนิคนี้จะขึ้นกับหัวฉีดที่ใช้ในการสเปรย์สารเคลือบไปยังอนุภาคของสารให้กลิ่นรสที่เคลื่อนที่อยู่ในกระแสอากาศร้อนระหว่างกระบวนการฟลูอิดไดส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วง 0.3-10 มิลลิเมตร (Panda et al.,

4.4.2.3 เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

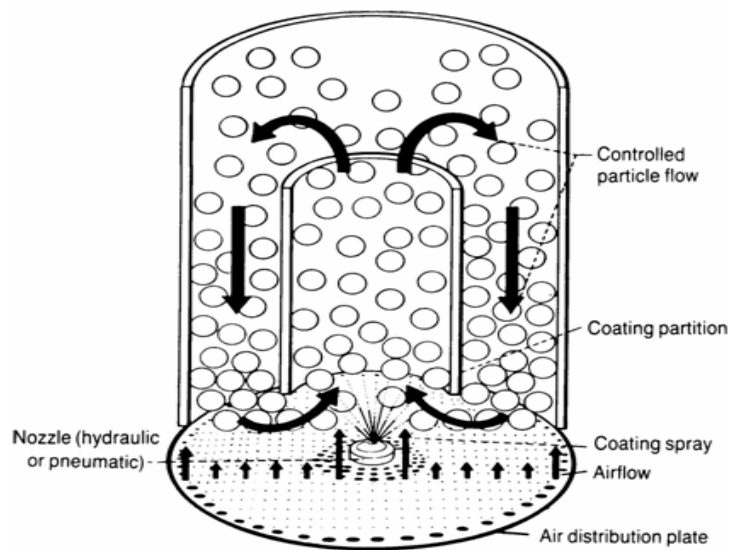
การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถประยุกต์ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่ไวต่อความร้อน การเอนแคปซูเลทจะเกิดระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็งโดยขณะที่น้ำในสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายในส่วนที่น้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลิ่นรส เมื่อปริมาณผลึกน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้นสารละลายที่มีสารให้กลิ่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิมตัวยิ่งยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลิ่นรสไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid (Karel & Langer, 1988)

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงซึ่งพบว่าสูงกว่าเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประมาณ 50 เท่า (Desobry et al., 1997) เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสูง (Jacquot & Perneti, 2003) รวมถึงระยะเวลาการผลิตจะนานกว่าการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคอื่น (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996)

4.4.2.4 สเปรย์ชิลลิ่ง (Spray chilling) และ สเปรย์คูลลิ่ง (Spray cooling)

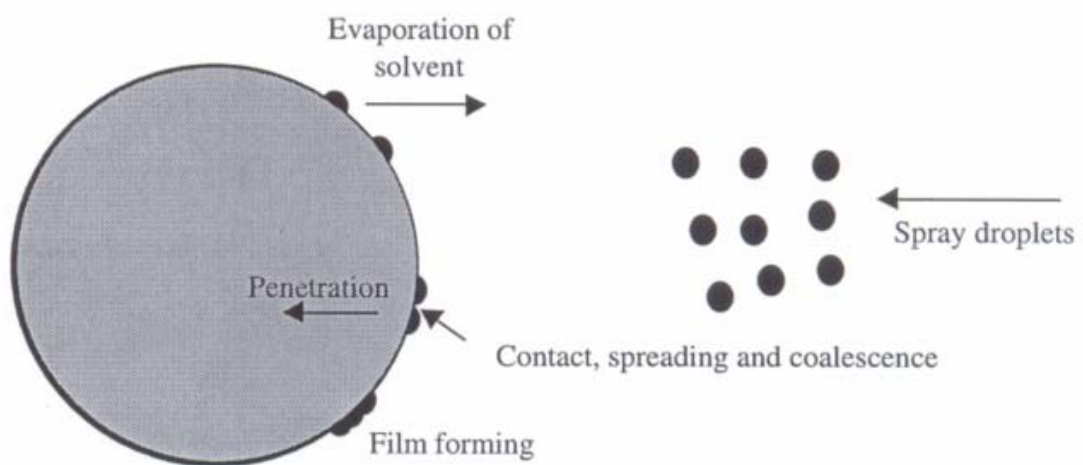
การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคสเปรย์ ชิลลิ่ง และ สเปรย์ คูลลิ่ง จะคล้ายกันโดยสารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ จากนั้นทำการพืดของผสมที่ได้ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อพ่นให้เป็นละอองฝอย เทคนิคนี้แตกต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยตรงที่ไม่มีการระเหยน้ำโดยของผสมระหว่างสารแกนกลางและสารเคลือบจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cool or chill air) ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวรอบๆ ผิวของสารแกนกลาง (Lamb, 1987; Risch, 1995; Gouin, 2004)

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิ่ง สารที่ใช้ในการเคลือบจะเป็นสารพวก fractionated หรือ hydrogenated vegetable oil ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32 – 42⁰ซ ในขณะที่เทคนิคสเปรย์คูลลิ่ง สารที่ใช้เคลือบจะเป็นสารพวกน้ำมันพืช (vegetable oil) หรือสารชนิดอื่นที่มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 45 – 122⁰ซ



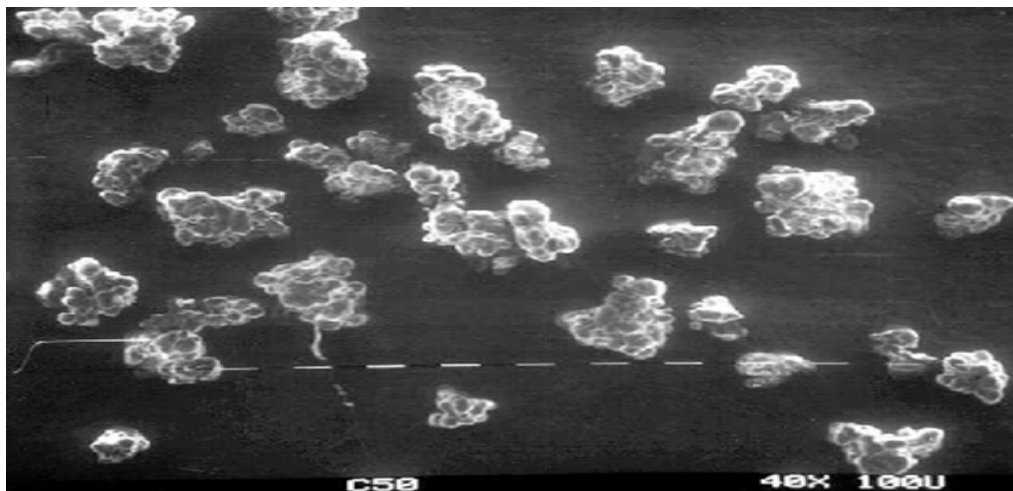
ภาพที่ 4.19 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด

ที่มา : Madene et al., 2006



ภาพที่ 4.20 การเกิดฟิล์มระหว่างการเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด

ที่มา : Madene et al., 2006



ภาพที่ 4.21 ตัวอย่างภาพถ่ายของอนุภาคที่ผ่านการเคลือบโดยใช้เทคนิค
ฟลูอิดไดส์ เบด

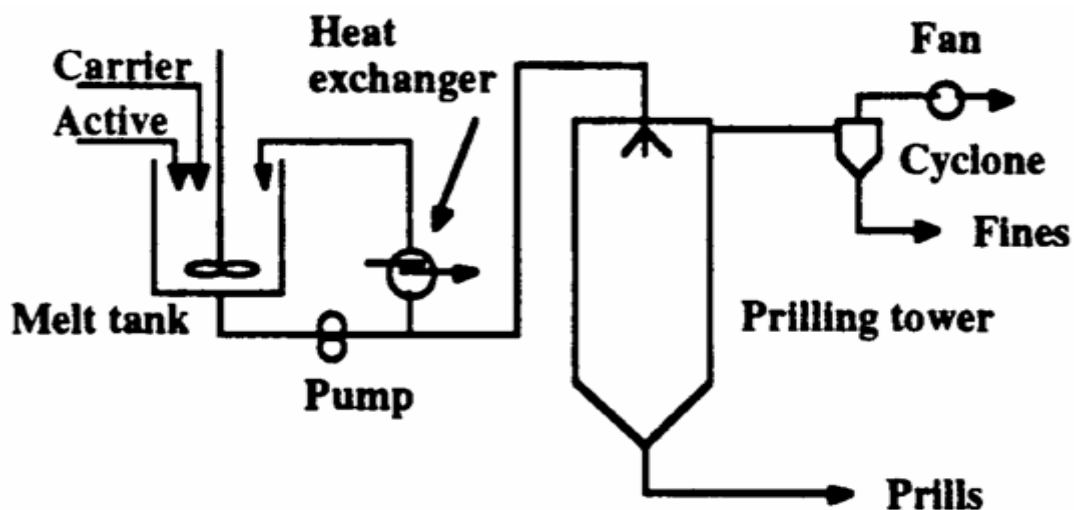
ที่มา : Madene et al., 2006

ดังนั้นเทคนิคของสเปรย์ซิลลิง และ สเปรย์คูลลิงจึงแตกต่างกันที่ จุดหลอมเหลวของสารที่ใช้ในการเคลือบเท่านั้น โดยทั้งสองเทคนิคจะนิยมใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส วิตามิน เกลือแร่ (mineral) หรือ acidulants เนื่องจากสามารถเลือกจุดหลอมเหลวของสารเคลือบทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อย (control release) สารแกนกลางได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery products), ซุปผง (dry soup mixes) และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของไขมันสูง

4.4.2.5 เอกซ์ทรูชัน (Extrusion)

การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชันสามารถใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ง่าย โดยสารเคลือบที่ใช้จะอยู่ในรูปของมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว (Reineccius, 1991; Blake, 1994; Benczedi & Blake, 1999; Gunning et al., 1999; Qi & Xu, 1999; Benczedi & Bouquerand, 2001) ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชัน คือ สามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสให้มี

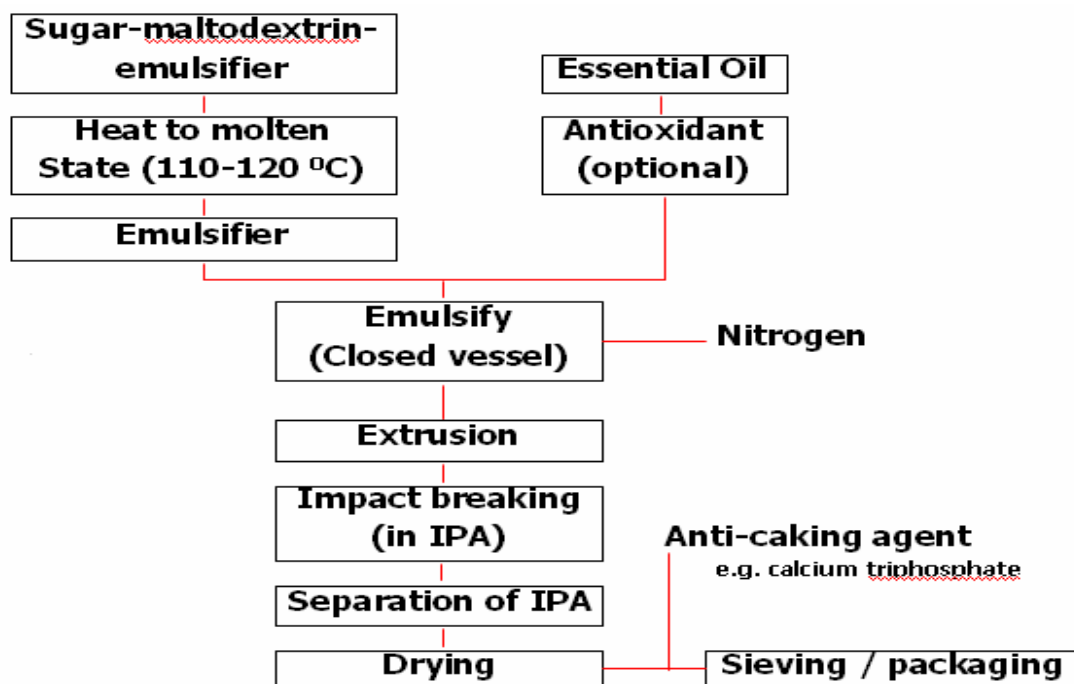


ภาพที่ 4.22 ไตอะแกรมของการเอนแคปซูลเลทโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิ่ง (spray chilling) และ สเปรย์คูลลิ่ง (spray cooling)

ที่มา : Madene et al., 2006

เทคนิคการเอนแคปซูลเลทโดยใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชัน จะเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารให้กลิ่นรสในมวลของคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยส่วนผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวไดล์ (die) ไปยัง ช่อง เหลวซึ่งใช้ในการดึงน้ำออก (dehydrating liquid) ซึ่งจะทำให้ สารเคลือบเกิดการแข็งตัวและจับสารแกนกลางไว้ภายใน ของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ isopropyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นซึ่งมีความแข็ง (harden material) ซึ่งต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ และทำให้แห้ง

การใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชันจัดเป็นกระบวนการเอนแคปซูลเลทอย่างแท้จริง (true encapsulation) โดยสารแกนกลางจะถูกล้อมรอบด้วยตัวกลางที่ใช้เคลือบอย่างสมบูรณ์ เมื่อสัมผัสกับของเหลวที่ทำหน้าที่ดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบผิวจะแข็งตัว สารให้กลิ่นรสที่ติดอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะถูกกำจัดออกไปจึงทำให้ไม่มีสารให้กลิ่นรสหลงเหลืออยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ การเอนแคปซูลเลทจึงเกิดอย่างสมบูรณ์ทำให้



ภาพที่ 4.23 ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชัน

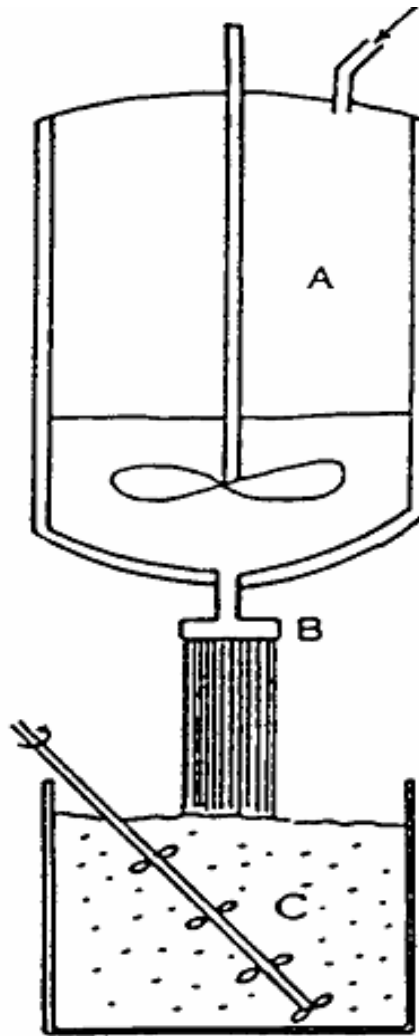
ที่มา : Reineccius (1994)

4.5 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส

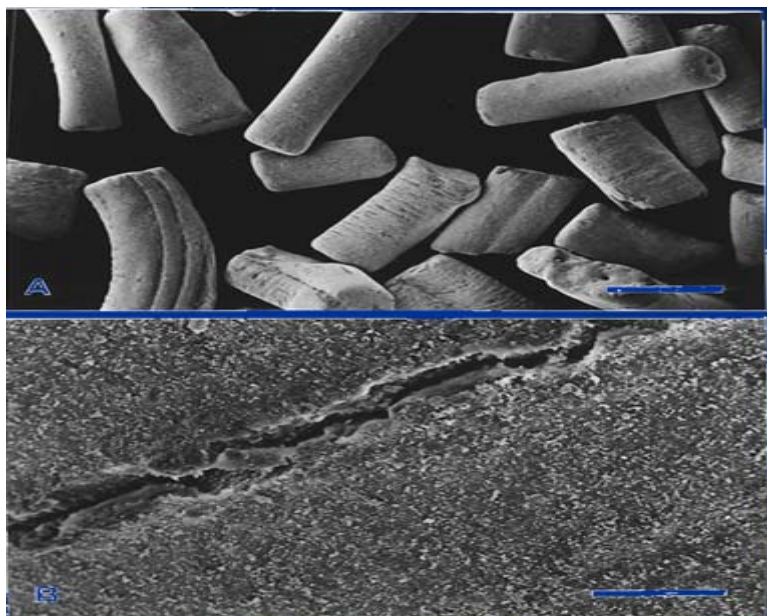
การควบคุมการปลดปล่อยเป็นวิธีการซึ่งสารให้กลิ่นรสถูกปลดปล่อยออกจาก complex matrix ภายใต้สภาวะและเวลาที่กำหนดด้วยอัตราการปลดปล่อยตามต้องการ (Pothakamury & Barbosa-Canovas, 1995)

4.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส

1. การแพร่ของสารประกอบที่ระเหยได้ออกจากเมทริกส์
2. รูปร่างของอนุภาค (geometry of particle) ที่ผ่านการเอนแคปซูเลท
3. การเสื่อมสลายหรือการละลายของเมทริกส์



ภาพที่ 4.24 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชัน
ที่มา : Reineccius (1994)



ภาพที่ 4.25 ภาพขยายของ flavor pieces ที่ได้จากการเอนแคปซูเลท โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์

ที่มา : Madene et al., 2006

ตารางที่ 4.4 กลไกการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส

เทคนิคการเอนแคปซูเลชัน	กลไกในการควบคุมการปลดปล่อย
Simple coacervation	Prolonged release
Complex coacervation	Prolonged release (diffusion) and started release (pH, dehydration, effect mechanical, dissolution or enzymatic effect)
Spray drying	Prolonged release and started release
Fluid bed drying	Started release (pH or heat treatment)
Extrusion	Prolonged release

ที่มา : Richard & Benoit, 2000

ข้อดีของการควบคุมการปลดปล่อย

1. สารให้กลิ่นรสจะถูกปลดปล่อยด้วยอัตราการปลดปล่อยที่สามารถควบคุมได้ภายใต้สภาวะและเวลาที่กำหนด
2. ลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการผลิตและการให้ความร้อน
3. สามารถแยกองค์ประกอบที่อาจทำปฏิกิริยากัน (reactive หรือ incompatible components) ออกจากกัน (Dziezak, 1988; Brannon-Peppas, 1993)

4.5.2 การควบคุมการปลดปล่อยโดยการแพร่ (diffusion control release)

การแพร่เป็นกลไกหลักในการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสจาก encapsulation matrices (Crank, 1975; Cussler, 1997) ความดันไอของสารประกอบที่ระเหยได้ในแต่ละด้านของเมทริกซ์จะเป็นแรงขับเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อการแพร่ (Gibbs et al., 1999a) กลไกการควบคุมการปลดปล่อยโดยวิธีนี้จะจำกัดการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสโดย

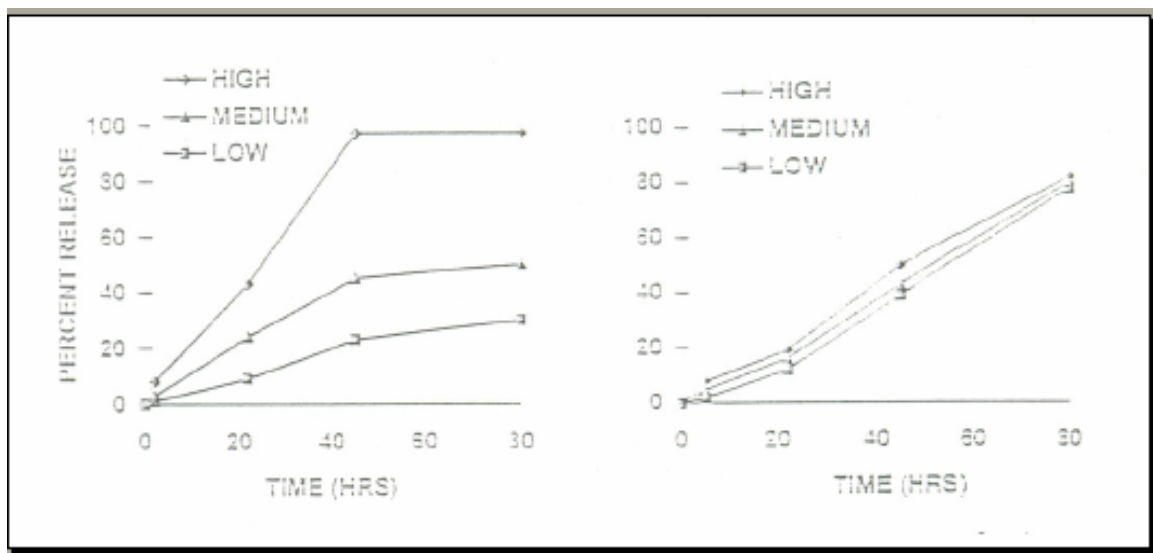
ควบคุมการแพร่ของสารให้กลิ่นรสจากภายในแคปซูล ไปยังบริเวณผิวของแคปซูล ปริมาณของสารให้กลิ่นรสที่อยู่ในแคปซูลอาจเป็นตัวควบคุมการปลดปล่อย (matrix control release) หรืออาจมีการเติมเมมเบรน ลงไปในแคปซูล เพื่อควบคุมการปลดปล่อย (membrane control release)

ความเข้มข้นขององค์ประกอบของสารให้กลิ่นรสในเมทริกซ์ จะเป็นแรงผลักดันให้เกิดการแพร่ แต่ถ้าองค์ประกอบของสารให้กลิ่นรสไม่ละลายในเมทริกซ์ก็จะไม่เกิดการแพร่ไปยังรูพรุนของเมทริกซ์ แรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการแพร่ในกรณีนี้คือความดันไอของสารให้กลิ่นรสในแต่ละด้านของ เมมเบรน

ถึงแม้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารให้กลิ่นรส ถูกกำหนดโดยลักษณะโครงสร้างและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่สิ่งที่เปลี่ยนแปลงได้ในสารให้กลิ่นรสที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลท (encapsulated flavor) คือ ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (matrix) และ สูตร (formulation) ของส่วนผสมของสารให้กลิ่นรส

ในกรณีที่ สารให้กลิ่นรสประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิด (compound flavor) การเลือกชนิดของ capsule matrix หรือ membrane จะเป็นตัวกำหนดการเลือกปลดปล่อย(selectivity) และ อัตราการปลดปล่อย (flux rate) ให้สามารถปลดปล่อยได้ช้า

ในกรณีที่สารให้กลิ่นรสอยู่ในรูป formulated flavor จะทำให้สามารถเลือกส่วนประกอบของสารให้กลิ่นรส ที่มีอัตราการปลดปล่อยใกล้เคียงกันได้ เช่นอาจใช้ benzyl ester แทน ethyl ester ในการสร้าง flavor note ซึ่งสารประกอบทั้งสองชนิดนี้จะให้ลักษณะกลิ่นที่ใกล้เคียงกัน benzyl ester จะถูกปลดปล่อยออกจาก flavor system ด้วยอัตราเร็วที่ใกล้เคียงกับ flavor compounds ชนิดอื่นๆ ในขณะที่ ethyl ester ซึ่งมีโมเลกุลเล็กกว่าจะถูกปลดปล่อยออกมาเร็วกว่าซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่สมดุล (imbalance aroma)



ภาพที่ 4.26 การปลดปล่อย essential oil 3 ชนิด

กราฟด้านซ้ายมือปล่อยให้น้ำมันหอมระเหย ระเหยออกจากภาชนะบรรจุอย่างอิสระ
กราฟด้านขวามือให้น้ำมันหอมระเหย ระเหยออกจาก ภาชนะบรรจุโดยมี selective membrane ปิดฝาภาชนะบรรจุ

ภาพที่ 4.26 แสดงการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดที่แบ่งตามจุดเดือด เมื่อ น้ำมันหอมระเหยสัมผัสกับอากาศพบว่าจะเกิดการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยที่ระเหยได้เร็วที่สุดออกไปก่อน จึงทำให้ คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ของน้ำมันหอมระเหยชนิดนี้

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแพร่ของสารให้กลิ่นรสผ่าน encapsulating material ได้แก่ ดีกรีของการพองตัว (degree of swelling) การพองตัวเกิดจากการดูดซับน้ำ ของเมทริกซ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งเมทริกซ์มีการพองตัวมากขึ้นเท่าใดจะทำให้รพุนที่ผิวของสารเคลือบ มีขนาดใหญ่ซึ่งทำให้เกิดการแพร่ได้ดีขึ้น จึงทำให้อัตราการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสสูงขึ้น เทคนิคนี้จะใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในรูปผง (dry beverage) หรือในหมากฝรั่ง (chewing gum)

4.5.3 การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้ความดัน (pressure – activated release)

การควบคุมการปลดปล่อยโดยวิธีนี้จะแตกต่างจากวิธี การควบคุมการปลดปล่อยโดยการแพร่ โดยเทคนิคนี้ไม่ต้องการการปลดปล่อยอย่างช้าๆ เช่นในกรณีของน้ำหอมปรับอากาศ (air refresher) ในรถยนต์ แต่ต้องการให้เกิดการปลดปล่อยอย่างสมบูรณ์เมื่อมีการใช้แรงกด ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้เทคนิคนี้ในการปลดปล่อยกลิ่นรส ได้แก่ หมากฝรั่ง และลูกกวาด

เทคนิคการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสโดยใช้ความดัน สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ธัญชาติ (cereal) ซึ่งการใช้ความดันในระหว่างการเอกซ์ทรูชันจะทำให้เกิดการปลดปล่อย encapsulated material ออกมา

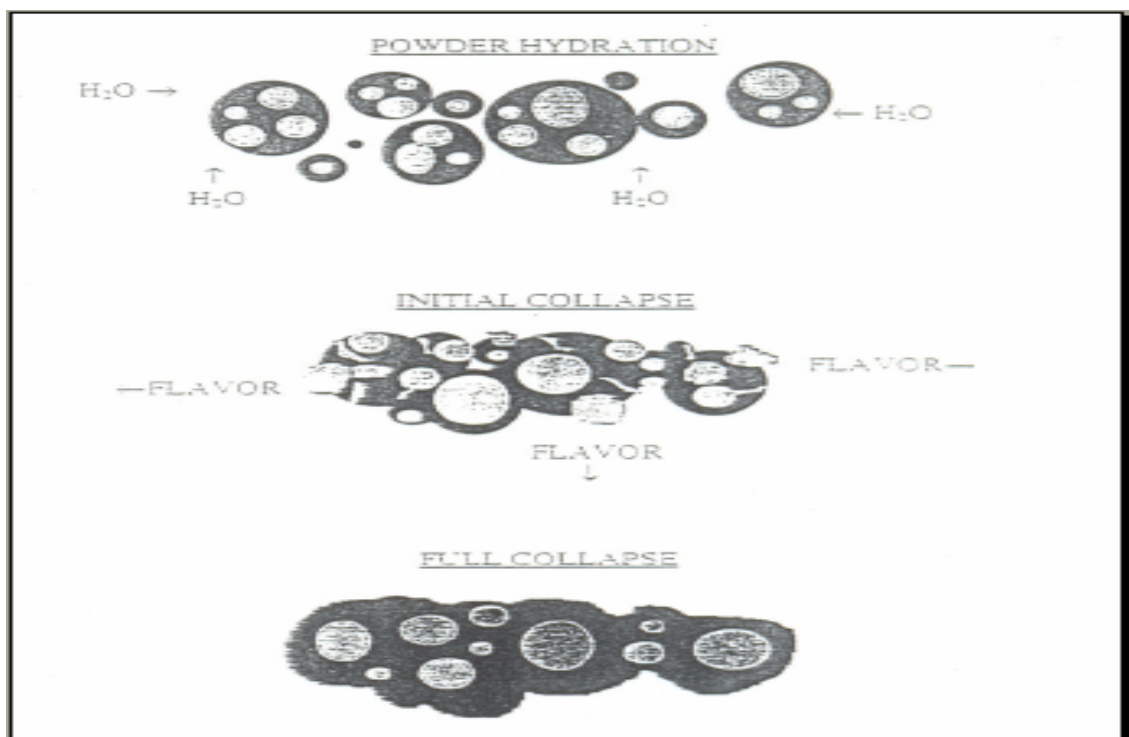
4.5.4 การควบคุมการปลดปล่อยโดยอาศัยหลักการพองตัว

(Release of flavor by swelling)

การควบคุมการปลดปล่อยโดยอาศัยหลักการพองตัว สารให้กลิ่นรสจะละลายหรือกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymeric matrix) และไม่สามารถจะแพร่กระจายออกจากเมทริกซ์ได้ เมื่อพอลิเมอร์เมทริกซ์สัมผัสกับตัวทำละลายจะเกิดการพองตัวเนื่องจากของเหลวถูกดูดซึมเข้าไปในเมทริกซ์ สารให้กลิ่นรสจึงแพร่กระจายออกมา (Fan &

4.5.5 การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent – activated release)

การปลดปล่อยโดยวิธีนี้จะเกิดโดยสมบูรณ์เมื่อน้ำแคปซูล มาละลายในน้ำอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในออกมา หรือโดยการทำให้แคปซูล มีการพองตัว จนทำให้เกิดการปลดปล่อย active ingredient ออกมาในอุตสาหกรรมอาหาร การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้ตัวทำละลาย encapsulating matrix จะเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งจะใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มในรูปแบบผง (dry beverage) หรือ dry cake mix



ภาพที่ 4.27 การควบคุมการปลดปล่อยโดยใช้ตัวทำละลาย

ที่มา : Madene et al., 2006

4.5.6 การควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสโดยวิธีการหลอมละลาย

(Release of flavor by melting)

เทคนิคการควบคุมการปลดปล่อยโดยวิธีการหลอมละลายสารเคลือบทำให้สารแกนกลางถูกปลดปล่อยออกมานิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากสารเคลือบหลายชนิด (lipid, modified lipids หรือ waxes) สามารถหลอมละลายและผ่านการรับรองความปลอดภัยให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร สารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท จะต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารเคลือบ การหลอมละลายของสารเคลือบและการปลดปล่อยสารแกนกลางจะเกิดเมื่อมีการให้ความร้อนระหว่างการเตรียมหรือการหุงต้ม (Sparks et al., 1995)

4.5.7 การควบคุมการปลดปล่อยโดย pH (pH sensitive release)

การควบคุมการปลดปล่อยโดย pH ใช้กันมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH แคปซูล จะเกิดการยุบตัว (collapse) และปลดปล่อยสารแกนกลางออกมา การควบคุมการปลดปล่อยวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้กับเอนไซม์ที่ผ่านการเอนแคปซูเลทโดยใช้ ไลโปโซม การเปลี่ยนแปลงค่า pH จะทำให้โครงสร้างของ phospholipid – based liposome ไม่เสถียรจึงเกิดการปลดปล่อยเอนไซม์ออกจากแกนกลางของไลโปโซม