

ไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย Microencapsulation by Spray Drying

เปล่งสุรีย์ เทียนน้อย*

Plengsuree Thiengnoi*

*มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี กาญจนบุรี 71150

*Mahidol University Kanchanaburi Campus, Kanchaaburi 71150

บทคัดย่อ

เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน หรือไมโครแพคเกจจิ้ง เป็นเทคนิคการแปรรูปอาหารที่เดิมอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ให้กลายเป็นของแข็งหรือเรียกว่า ไมโครแคปซูล วัตถุที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลหรือสารที่ถูกห่อหุ้ม จะถูกเรียกว่า core material, internal phase, active หรือ fill ในขณะที่สารที่มาห่อหุ้มจะถูกเรียกว่า shell, coating material, carrier หรือ membrane อาหารหลายชนิดมีความไวต่อสภาวะแวดล้อม เช่น แสงแดด ความร้อน ปริมาณออกซิเจน เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร การทำไมโครเอนแคปซูเลชันสามารถแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวได้ทั้งในด้านของการยืดอายุการเก็บรักษา การกักเก็บกลิ่น และการปรับปรุงคุณสมบัติการไหลของอาหาร วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการทำเอนแคปซูเลชันอาหาร วิธีนี้นับเป็นวิธีที่ใช้กันมานาน ต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพ หลักการของการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือ การผลิตของแห้งที่มีลักษณะเป็นผง โดยการฉีดพ่นฝอยของสารผสมที่เป็นของเหลวเข้าไปสู่ลมร้อน วิธีการนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อผลิตอาหารที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ กำจัดข้อบกพร่องทางเคมีและ/หรือทางชีวภาพ ลดต้นทุนในการเก็บรักษาและขนส่ง และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะจำเพาะ

คำสำคัญ : ไมโครเอนแคปซูเลชัน, ไมโครแคปซูล, การทำแห้งแบบพ่นฝอย, วัสดุที่ถูกห่อหุ้ม, วัสดุห่อหุ้ม

Abstract

Microencapsulation techniques or micro-packaging, it is a food processing technique that was originally in a solid, liquid or gas into a solid or called a microcapsule. The material inside the microcapsule was referred

*เปล่งสุรีย์ เทียนน้อย

E-mail : Plengsuree.thi@mahidol.ac.th

to the core material, internal phase, active, or fill, whereas the wall is sometimes called shell, coating material, carrier, or membrane. Many foods are sensitive to environmental conditions such as sunlight, heat, and oxygen which may cause of the food deterioration. The creation of microencapsulation solves such problems in terms of extending the shelf life, odor retention and improving the flow properties of food. The spray drying method is preferred method for encapsulating food. This method has been used for a long time, low cost and efficiency. The principle of spray drying is the production of powdery dry matter by spraying the liquid mixture into hot air. This method is commonly used in the food industry to produce microbial safe food, eliminate chemical or biological defects, reduce the cost in storage, transportation and get a product with specific characteristics.

Keywords : Microencapsulation, Microcapsule, Spray Drying, Core Material, Wall Material

1. บทนำ

ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation) หรือให้คำนิยามว่าเป็นเทคนิคไมโครแพคเกจจิ้ง (Micropackaging) เป็นเทคนิคการแปรรูปอาหารที่เดิมอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ให้กลายเป็นของแข็งหรือเรียกว่าไมโครแคปซูล (Microcapsule) โดยการห่อหุ้มสารที่เราต้องการไว้ด้วยสารห่อหุ้มอีกชนิดหนึ่ง เพื่อปกป้องสารภายในจากสภาพแวดล้อมที่อาจทำให้สารนั้น ๆ เสื่อมคุณภาพได้ และสามารถปลดปล่อยสารที่ถูกห่อหุ้มออกมาได้ในสภาวะที่ต้องการ (Arshady, 1993; Bhandari & Darcy, 1996; Dziezak, 1988; Gharsallaoui, Roudaut, Chambin,

Voilley & Saurel, 2007; Shahidi & Han, 1993; Young, Sarda & Rosenberg, 1993a, b) วัสดุที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลหรือสารที่ถูกห่อหุ้มจะถูกระบุว่า core material, internal phase, active หรือ fill ในขณะที่สารที่มาห่อหุ้มจะถูกระบุว่า shell, coating material, carrier หรือ membrane ดังแสดงในภาพที่ 1

ลักษณะของสารที่ถูกเอนแคปซูลมีความแตกต่างจากสารที่ถูกโฮโมจีไนซ์ ดังเช่นภาพที่ 2 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างเม็ดไขมันที่ถูกโฮโมจีไนซ์กับผงแห้งของไขมันที่ถูกเอนแคปซูล เม็ดไขมันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ไมครอนหรือน้อยกว่าซึ่งขึ้นอยู่กับความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ และขึ้นกับความหนาของชั้นโปรตีนที่อยู่รอบ ๆ (Rosenberg & Lee, 1993) ส่วนใหญ่เม็ดไขมันที่ถูกโฮโมจีไนซ์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมครอน ในขณะที่ผงแห้งของไขมันที่ถูกเอนแคปซูลจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 35 – 75 ไมครอน หรือใหญ่กว่า ผงแห้งของไขมันที่ถูกเอนแคปซูลด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) จะมีช่องอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ไมครอนหรือมากกว่า อยู่ในอนุภาคซึ่งเรียกว่า vacuole (Verhey, 1972)

อาหารหลายชนิดที่ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้น้อย เช่น แสงแดด ความร้อน ปริมาณออกซิเจน เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร อาหารที่อยู่ในสภาวะของเหลวมีข้อจำกัดอยู่ที่การควบคุมคุณภาพในระหว่างกระบวนการแปรรูปหรืออาจเป็นปัญหาในเรื่องกลิ่น การทำไมโครเอนแคปซูลขึ้นสามารถแก้ไขข้อจำกัดเหล่านั้นได้ทั้งในด้านการยืดอายุการเก็บรักษา การกักเก็บกลิ่น และการปรับปรุงคุณสมบัติการไหลของอาหาร (Augustin et al., 2001; Gibbs, Kermasha, Alli, & Mulligan, 1999; Jackson & Lee, 1991; Shahidi & Han 1993) เทคนิคไมโครเอนแคปซูลขึ้นถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวางทั้งการแยกสารประกอบที่ต้องการออกจากส่วนผสมที่สารประกอบนั้นอยู่การป้องกันสารประกอบที่ไม่คงตัวจากการเสื่อมเสีย การควบคุมหรือปลดปล่อยสารประกอบในสภาวะที่เหมาะสม เช่น ภายหลังกระบวนการแปรรูป ภายหลังการเก็บรักษา หรือระหว่างการเตรียมผลิตภัณฑ์สุดท้ายก่อนบริโภคหรือย่อย และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบเริ่มต้น เช่นการแปลงสภาพจากของเหลวให้อยู่ในรูปของแข็งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและการกวดอัด (Arshady, 1993; Bhandari & Darcy, 1996; DeZarn, 1995; Gibbs et al., 1999; Jackson & Lee, 1991; Shahidi & Han, 1993) สำหรับการประยุกต์ด้านอื่นในอาหารยังรวมถึงการกักเก็บ

กลิ่น ลดสมบัติความเป็นพิษ ลดการสูญเสียสารระเหยได้ และปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุ (Bakan, 1973; Bhandari & Darcy, 1996; Dziezak, 1988; Gibbs et al., 1999; Jackson & Lee, 1991; Karel & Langer, 1988; Onwulata, Smith, Craig & Holsinger, 1994; Rosenberg & Young, 1993)

2. คุณสมบัติของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูลหมายถึง อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 ไมครอนถึง 5 มิลลิเมตร (Jackson & Lee, 1991) ขนาดของอนุภาคขึ้นอยู่กับวัสดุห่อหุ้มและวิธีที่ใช้ในการเตรียมอนุภาค ไมโครแคปซูลมีหลายรูปร่าง โดยอาจเป็นทรงกลม ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทรงสมมาตร หรือเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน (Gibbs et al., 1999; Jackson & Lee, 1991) โครงสร้างของไมโครแคปซูลอาจเป็นโครงสร้างอนุภาคเชิงเดี่ยว ซึ่งวัสดุที่ถูกห่อหุ้ม (core) ถูกล้อมรอบด้วยวัสดุที่มาห่อหุ้ม (wall) ชั้นเดียว หรือโครงสร้างอาจเป็นลักษณะเชิงซ้อน ที่ซึ่งวัสดุที่ถูกห่อหุ้มชนิดเดียวหรือหลายชนิดถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มหลายชนิด (Gibbs et al., 1999 ; Rosenberg & Young, 1993; Shahidi & Han, 1993; Sheu & Rosenberg, 1998)

3. ชนิดของวัสดุที่ถูกห่อหุ้ม (core material)

สารประกอบที่มีประโยชน์หลายชนิดที่มีความไวต่อแสง หรืออุณหภูมิ เช่น วิตามิน เกลือแร่ สารแอนไทออกซิแดนต์ สารให้กลิ่นรส ไขมันโอเมกา-3 ไขมันโอเมกา-6 เป็นต้น สารเหล่านี้ต้องการวัสดุห่อหุ้มที่มีความคงตัวเพื่อป้องกันไม่ให้สารห่อหุ้มนั้นสัมผัสกับสารชนิดอื่นหรือสิ่งแวดล้อมภายนอก เทคนิคไมโครเอนแคปซูลขึ้นช่วยให้สารผสมมีความสม่ำเสมอและทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีความคงตัวในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา (Augustin et al., 2001; Gharsallaoui et al., 2007) สารอาหารหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้กับเทคนิคไมโครเอนแคปซูลขึ้น โดยอาจใช้กับสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดร่วมกัน เช่น ไขมันนม (Young et al., 1993a, b; Danviriyakul, McClements, Decker, Nawar, & Chinachoti, 2002) เอทิลคาร์บิลเลต (Sheu & Rosenberg, 1995, 1998) น้ำมันถั่วเหลือง (Hogan, McNamee, O’Riordan, & O’Sullivan, 2001a, b ; McNamee, O’Riordan & O’Sullivan, 2001 ; Thiengnoi, Supphantharika, & Wongkongkatep, 2012) ไลโคปีน (Shu, Yu, Zhao, & Liu, 2006) สารสกัดจากกระวาน (Krishnan, Bhosale, & Singhal, 2005)

สารสกัดจากขมิ้น (Kanakdande, Bhosale, & Singhal, 2007) และน้ำมันปลา (Jafari, Assadpoor, Bhandari & He, 2008; Kagami, Sugimura, Fujishima, Matsuda, Kometani, & Matsumura, 2003; Keogh, O'Kennedy, Kelly, Auty, Kelly, Fureby, & Haahr, 2001; Serfert, Drusch & Schwarz, 2009)

4. ชนิดของวัสดุห่อหุ้ม (wall material)

ชนิดของวัสดุห่อหุ้มสำหรับใช้ในเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสำคัญมากเนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพในการห่อหุ้มและความคงตัวของไมโครแคปซูล วัสดุห่อหุ้มที่ใช้ต้องมีความปลอดภัย ไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค สามารถผสมเข้ากันได้ดี และไม่มีการสลายตัว สามารถป้องกันวัสดุหรือสารที่ถูกห่อหุ้มได้ดีจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน ความชื้น แสงและสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเสื่อมเสียและความคงตัว วัสดุห่อหุ้มควรมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยสารได้ดีในสภาวะที่เหมาะสม นอกจากนี้จำเป็นแปรสภาพจากของเหลวไปเป็นของแข็งที่มีลักษณะเป็นผงได้ ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้วัสดุห่อหุ้มคือ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของวัสดุห่อหุ้มนั้นในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การละลายมวลโมเลกุล อุณหภูมิสภาพแก้วและอุณหภูมิหลอมเหลวพอลิเมอร์ การตกผลึก การแพร่ผ่านเนื้อเยื่อ การขึ้นรูปฟิล์ม คุณสมบัติในการกลายเป็นของแข็ง ความหนืดต่ำในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง และคุณสมบัติในการเกิดอิมัลชัน (Gharsallaoui, et al., 2007; Jackson & Lee, 1991; Onwulata et al., 1994; Reineccius, 1988; Rosenberg, 1997; Young et al., 1993b) ดังนั้นการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุห่อหุ้มจึงต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ถูกห่อหุ้ม และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นหลัก ซึ่งวัสดุห่อหุ้มนั้นเป็นได้ทั้งสารที่มาจากธรรมชาติและสารสังเคราะห์ ปัจจุบันวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงในวงการอุตสาหกรรมอาหาร วัสดุห่อหุ้มที่จะนำมาใช้กับวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงต้องมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี พร้อมทั้งแสดงคุณสมบัติที่ดีในด้านของการเกิดอิมัลชัน การขึ้นรูปฟิล์มและการทำแห้งในสภาวะที่มีความหนืดของสารละลายต่ำ (Reineccius, 1988)

วัสดุห่อหุ้มหรือเรียกว่า microencapsulating agents ที่นำมาประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ไฮโดรคอลลอยด์ เซลลูโลส สารอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งอาจใช้ชนิดเดียวหรือใช้ผสมร่วมกันหลายชนิด (Augustin et al., 2001;

Kenyon, 1995; Reineccius, 1988; Shahidi & Han 1993) เนื่องจากในบางกรณี วัสดุห่อหุ้มชนิดหนึ่งไม่สามารถแสดงคุณสมบัติที่เหมาะสมได้ในทุกด้าน มีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาผลของการใช้วัสดุห่อหุ้มหลายชนิดร่วมกัน เช่น สารผสมระหว่างเวย์โปรตีนกับน้ำตาลแลคโตส (Rosenberg & Sheu, 1996; Young et al., 1993a) สารผสมระหว่างเวย์โปรตีนกับคาร์โบไฮเดรต (Young et al., 1993b) สารผสมระหว่างโซเดียมเคซิเนตกับคาร์โบไฮเดรต (Hogan et al., 2001a) สารผสมระหว่างเจลาตินกับน้ำตาลซูโครส (Shu et al., 2006) สารผสมระหว่างกัมอารบิก แป้งดัดแปรและมอลโตเด็กซ์ทริน (Kanakdande et al., 2007; Krishnan et al., 2005; Soottitantawat et al., 2005a) สารผสมระหว่างกัมอารบิกและแป้งดัดแปร (Shaikh, Bhosale & Singhal, 2006; Soottitantawat, Takayama, Okamura, Muranaka, Yoshii & Furuta, 2005b) เป็นต้น

5. เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมานานสำหรับการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส (Augustin et al., 2001; DeZarn 1995; Dziezak, 1988; Gibbs et al., 1999; Jackson & Lee, 1991; Reineccius, 1991; Risch, 1995; Shahidi & Han 1993) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในการห่อหุ้มที่ถือว่าเก่าแก่ที่สุด โดยนำมาใช้กับการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสด้วยกัมอารบิก (Dziezak, 1988) หลักการทำงานของวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือการแลกเปลี่ยนมวลและความร้อนระหว่างสารซึ่งเป็นของแข็ง กับสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นก๊าซ โดยการระเหยน้ำออกจากของแข็ง (Masters, 1991) ก๊าซที่ใช้ในระบบอาจเป็นอากาศในสภาวะปกติหรือใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน ผลผลิตที่ได้จากวิธีนี้จะมีลักษณะเป็นผงแห้ง มีอนุภาคขนาดประมาณ 10-50 ไมครอน หรืออาจมีอนุภาคขนาดใหญ่ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร (Gharsallaoui et al., 2007) วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้สามารถควบคุมได้ง่าย ต้นทุนไม่สูงมากเมื่อเทียบกับวิธีเอนแคปซูเลชันวิธีอื่น (Gibbs et al., 1999; Jackson & Lee, 1991; Risch 1995; Shahidi & Han 1993) กระบวนการผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังสามารถดำเนินการ ได้อย่างต่อเนื่องหลายสัปดาห์ถึงหนึ่งเดือน ใช้เครื่องมือที่ติดตั้งได้ไม่ยุ่งยากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง นอกจากนี้ระบบการผลิตยังเป็นแบบอัตโนมัติต่อเนื่อง ทำให้ใช้แรงงานคนน้อยในการควบคุม อย่างไรก็ตามวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังคงมีข้อจำกัด

อยู่ข้างตรงที่เกิดอนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 200 ไมครอน ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำเมื่อใช้อุณหภูมิเข้าต่ำเกินไป (Augustin et al., 2001; Çelik & Wendel, 2005; Dziezak, 1988; Masters, 1991; Zeller, Saleeb, & Ludescher, 1998) Shahidi & Han (1993) ได้ชี้แจงว่า เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่

- 5.1 การเตรียมสารผสมหรืออิมัลชัน
- 5.2 การผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- 5.3 การฉีดพ่นสารผสมให้เป็นฝอย และ
- 5.4 การดึงน้ำออกจากอนุภาคของสารผสม

6. กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มจากการพ่นฝอยสารผสมเข้าไปในระบบ เมื่อสารผสมสัมผัสกับตัวกลางให้ความร้อน (ในที่นี้คืออากาศหรือก๊าซ) จะส่งผลให้ความชื้นระเหยออกจากสารผสมนั้น เกิดเป็นอนุภาคของแข็ง ระบบจะดำเนินไปจนกระทั่งได้ความชื้นของอนุภาคที่ต้องการ ผลผลิตที่ได้จะถูกเก็บเกี่ยวโดยอากาศหรือลมร้อนในระบบจะเป็นตัวพัดมาสู่บรรจุภัณฑ์ Master (1991) และ Shaw (1997) กล่าวว่า ขั้นตอนพื้นฐานสำคัญของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (ภาพที่ 3) ได้แก่

6.1 การฉีดพ่นฝอยสารผสม (Atomization of feed into a spray)

การฉีดพ่นฝอยสารผสมเข้าสู่ระบบทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดที่ต้องการ การกระจายตัวของอนุภาคดังกล่าวขึ้นกับการควบคุมสภาวะในการฉีดพ่นฝอยให้สัมพันธ์กับอัตราการระเหยของน้ำออกจากสารผสม (Masters, 1991) หัวฉีดพ่นฝอยที่นิยมใช้ในการฉีดพ่นฝอยสารผสมในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมี 2 ชนิด ได้แก่ Rotary atomizer (ภาพที่ 4) และ Nozzle atomizer (ภาพที่ 5) อัตราในการฉีดพ่นฝอยของหัวฉีดแบบ nozzle จะต่ำกว่าหัวฉีดแบบ rotary ซึ่งทำให้หัวฉีดแบบ nozzle ต้องฉีดพ่นด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเพื่อให้ได้อัตราการฉีดพ่นที่เท่ากัน Gharsallaoui et al., 2007; Masters, 1991) แต่หัวฉีดทั้งสองชนิดให้ลักษณะของอนุภาคของเหลวที่เหมือนกันคือ ทรงกลม ซึ่งเนื่องมาจากแรงตึงผิวของอนุภาคของเหลวที่มีค่อนข้างสูง ทำให้มีแรงเกาะติดระหว่างโมเลกุลมาก จึงต้องพยายามควบคุมรูปร่างให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยที่สุด นั่นคือเป็นทรงกลม สภาวะในการฉีดพ่นฝอยที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อคุณสมบัติที่สำคัญด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

สุดท้ายนั้นคือ ความหนาแน่น รูปร่างและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผง รวมไปถึงปริมาตรอากาศภายในอนุภาคและความชื้น (Masters, 1991; Reineccius, 1989) หัวฉีดพ่นฝอยแบบ rotary นิยมใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดจนถึงหยาบขนาดกลาง (ช่วงประมาณ 20 – 150 ไมครอน) ในขณะที่หัวฉีดพ่นฝอยแบบ nozzle จะถูกใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะหยาบ (ช่วงประมาณ 150 – 300 ไมครอน) ดังตารางที่ 1 (Masters, 1991) วัตถุประสงค์ของการฉีดพ่นฝอยคือ การทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากที่สุดที่บริเวณผิวหน้าของอนุภาค (ระหว่างลมร้อนกับสารผสม) เพื่อที่จะทำให้เกิดจุดสมดุลระหว่างการถ่ายโอนมวลและความร้อน ดังนั้นการกำหนดสภาวะของหัวฉีดพ่นฝอยจึงขึ้นกับลักษณะและความหนืดของสารผสม และคุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ถ้าใช้พลังงานในระบบสูง ลักษณะของอนุภาคฝอยที่ได้ก็จะมีขนาดเล็ก ถ้าเพิ่มอัตราเร็วในการฉีดพ่นฝอย ขนาดของอนุภาคผงแห้งก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าความหนืดและแรงตึงผิวของสารผสมมีสูง ขนาดของอนุภาคผงที่ได้จะเพิ่มขึ้น (Gharsallaoui et al., 2007)

6.2 การสัมผัสระหว่างสารผสมพ่นฝอยและลมร้อน (Spray - air contact)

การสัมผัสกันระหว่างสารผสมพ่นฝอยและลมร้อนเกิดขึ้นภายในเครื่องมือที่เรียกว่า ถังอบแห้ง (drying chamber) ลมร้อนถูกปลดปล่อยจากตัวกระจายลมเข้าสู่ถังอบแห้ง การสัมผัสกันระหว่างสารผสมพ่นฝอยกับลมร้อนมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของหัวฉีดพ่นฝอยและอุณหภูมิเข้า ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 150 - 200 องศาเซลเซียส การระเหยเกิดขึ้นทันทีเมื่อสารผสมพ่นฝอยสัมผัสกับลมร้อนภายในถังอบแห้ง อนุภาคผงที่ได้จะมีอุณหภูมิปานกลางในช่วง 50 - 80 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน

6.3 การทำแห้งสารผสมพ่นฝอย (Drying of spray)

ขณะที่อนุภาคพ่นฝอยสัมผัสกับลมร้อนการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนเข้าสู่อนุภาคพ่นฝอย ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ในขณะที่การถ่ายเทความร้อนกลับเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม เนื่องมาจากความแตกต่างของความดันไอ การระเหยเกิดขึ้นใน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ ช่วงอัตราคงที่ (constant rate period) เป็นช่วงที่ความชื้นภายในอนุภาคพ่นฝอยมีค่าเท่ากับความชื้นที่ผิวหน้า อัตราการแพร่ผ่านของน้ำจาก

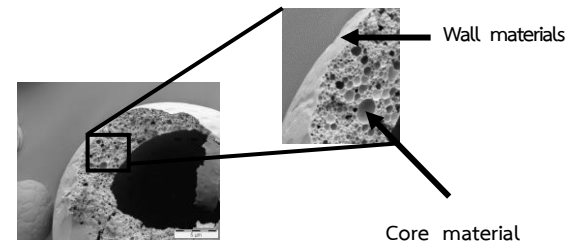
ภายในอนุภาคพ่นฝอยมายังผิวหน้า จึงมีอัตราคงที่และมีค่าเท่ากับอัตรา การระเหยที่ผิวหน้า เมื่อเวลาผ่านไป ความชื้นเริ่มลดลงจนต่ำกว่าสภาวะอิ่มตัว จนทำให้ผิวหน้าของอนุภาคเริ่มแห้งแข็ง ณ สภาวะนี้ อัตราการระเหยขึ้นกับอัตราการซึมผ่านของความชื้นมายังผิวหน้าที่แห้ง ความหนาของผิวหน้าจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง ซึ่งเนื่องมาจากการลดลงของอัตรา การระเหยจึงเข้าสู่ระยะที่ 2 ของการทำแห้งหรือเรียกว่า falling rate period

หลังจากที่การระเหยหยุดลง อุณหภูมิของอนุภาคจะสูงขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของถังอบแห้ง ระยะนี้มีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอนุภาคพ่นฝอย ซึ่งอาจมีผลกระทบเชิงลบต่อความคงตัวของสารที่ถูกห่อหุ้ม การโป่งพองของอากาศ (ballooning) จะเกิดขึ้นในช่วงนี้เมื่ออัตราการระเหยสูงสุดเร่งการพองตัวของผิวหน้าแห้งรอบ ๆ ผิวหน้าของอนุภาค (Masters, 1991; Reineccius, 1988 ; Rosenberg & Young, 1993) ทั้งสองขั้นตอนมีช่วงเวลาที่แตกต่างกันขึ้นกับลักษณะของสารผสมและอุณหภูมิลมร้อนเข้าถ้าอุณหภูมิลมร้อนเข้าสูง ผิวหน้าแห้งแข็งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากอัตราการระเหยของความชื้นมีสูง รูปแบบของถังอบแห้งและอัตราการไหลของลมร้อนเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาที่อนุภาคจะอยู่ในถังอบแห้ง เมื่อการระเหยของความชื้นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และผลิตภัณฑ์ถูกเอาออกจากถังอบแห้งก่อนที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะสูงเท่ากับอุณหภูมิลมร้อนขาออก ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากความร้อนจะน้อยลง

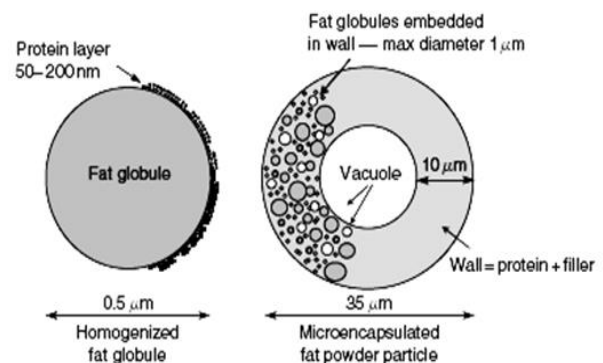
6.4 การแยกและการเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์ (Separation and recovery of dried product)

ขั้นตอนสุดท้ายของการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากลมร้อน การแยกผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ในช่วงแรกที่ขจัดรับผลิตภัณฑ์ (การแยกขั้นต้น : primary product separation) จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงขนาดเล็กจะถูกเก็บอีกครั้ง (การแยกขั้นที่สอง : secondary product separation) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ขั้นต้นขึ้นกับรูปแบบของถังอบแห้ง การพ่นฝอยสารผสม และการหมุนเวียนของอากาศ ผลิตภัณฑ์ถูกแยกออกจากลมร้อนโดยการหมุนเวียนของลมร้อนในลักษณะคล้ายพายหมุนหรือโดยความสามารถของผลิตภัณฑ์เองที่แยกออกจากลมร้อนและตกลงมายังก้นถัง ไม่ว่าจะเป็นอย่างใดก็ตาม รูปแบบของเครื่องมือในการเก็บผลิตภัณฑ์ก็ยังเป็นที่ต้องการหลังการทำแห้ง เครื่องมืดังกล่าวเป็นได้ทั้งชนิดแห้งและชนิดเปียก เช่น cyclones, bag filters, scrubbers หรือ electrostatic precipitators ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้

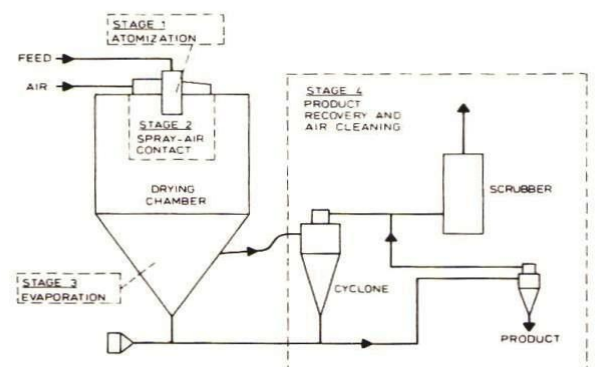
เครื่องมือในการเก็บผลิตภัณฑ์คือ ราคา ประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวและการบำรุงรักษาหลังจากแยกผลิตภัณฑ์ออกไปแล้ว การแยกผลิตภัณฑ์จากลมร้อนส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ การใช้แรงเชิงกลมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กหรือละเอียดเกินความต้องการ (Çelik & Wendel, 2005; Masters, 1991)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของผงแห้งของไขมันที่ถูกเอนแคปซูเลตด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างเม็ดไขมันที่ถูกโฮโมจีไนซ์และเอนแคปซูเลชัน



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนสำคัญในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย



ภาพที่ 4 หัวฉีดพ่นฝอยขณะทำงาน
(Rotary atomizer)



ภาพที่ 5 หัวฉีดพ่นฝอยขณะทำงาน
(Nozzle atomizer)

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับสภาวะการทำงานของหัวฉีดพ่นฝอยแบบต่าง ๆ (ในสภาวะความหนืดต่ำ และเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน) ที่มา : Masters (1991)

Rotary atomizer

Wheel peripheral velocity (m/s)	Mean size (μm)
> 180	20-30
150-180	30-75
125-150	75-150
75-125	150-275

Pressure nozzle

Pressure (atm)	Mean size (μm)
> 100	15-30
50-100	30-50
25-50	50-150
15-25	150-350

7. สรุปผล

เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสารจากสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ให้อยู่ในรูปของแข็ง เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เหมาะสมในอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น อาหารแห้ง เป็นต้น ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้สามารถกักเก็บสารหรือวัสดุที่ต้องการไว้ให้ปลอดภัยจากการเสื่อมเสียตามธรรมชาติ และสภาพแวดล้อม เพื่อประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษา การขนส่ง และการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายเพิ่มขึ้น เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่มีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำ นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร และถือเป็นวิธีที่เก่าแก่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

8. เอกสารอ้างอิง

Arshady, R. (1993). Microcapsules for food.

J. Microencapsulation. 10 (4), pp., 413-435.

Augustin, M.N., Sanguansri, L., Margetts, C. and Young, B. (2001). Microencapsulation of food ingredients. *J. Technology.* 53 (6), pp., 220-223.

Bakan, J.A. (1973). Microencapsulation of food and related products. *J. Technology.* 27 (11), pp., 11-44.

- Bhandari, B.R. and Darcy, B.R. (1996). Microencapsulation of flavor compounds. **J. Food Australia**. 48 (12) , pp., 547-551.
- Celik, M. and Wendel, S.C. (2005). Spray drying and pharmaceutical applications. In **Handbook of pharmaceutical granulation technology**. 2nd ed. (ed. D.M. Parikh). pp.129-157. Boca Raton, FL: Taylor and Francis.
- Danviriyakul, S., McClements, D.J., Decker, E., Nawar, W.W. and Chinachoti, P. (2002). Physical stability of spray-dried milk fat emulsion as affected by emulsifiers and processing conditions. **J. Food Science**. 67 (6) , pp., 2183-2189.
- DeZarn, T.J. (1995). Food ingredient encapsulation: an overview. In **Encapsulation and controlled release of food ingredients**. (ed. S.J. Risch and G.A. Reineccius). pp 74-86. Washington DC: American Chemical Society.
- DzieZak, J.D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. **J. Food technology**. 2 (4) , pp., 36-151.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. and Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **J. Food Research International**. 40 (9) , pp., 1107-1121.
- Gibbs, B.F., Kermasha, S., Alli, I. and Mulligan, C.N. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. **J. Food Sciences and Nutrition**. 50 (3) , pp., 213-224.
- Hogan, S.A., McNamee, B.F., O’Riordan, E.D. and O’Sullivan, M. (2001a). Emulsification and Microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. **J. international Dairy Journal**. 11 (3) , pp., 137-144.
- Hogan, S.A., McNamee, B.F., O’Riordan, E.D. and O’Sullivan, M. (2001b). Microencapsulation properties of whey protein concentrate 75. **J. Food Science**. 66 (5) , pp., 675-680.
- Jackson, L.S. and Lee, K. (1991). Microencapsulation and the food-industry. **J. LWT-Food Science and Technology**. 24 (4), pp., 289-297.
- Jafari, S.M., Assadpoor, E., Bhandari, B. and He, Y. (2008). Nano-particle encapsulation of fish oil by Spray drying. **J. Food Research International**. 41 (2) , pp., 172-183.
- Kagami, Y., Sugimura, S., Fujishima, N., Matsuda, K., Kometani, T. and Matsumura, Y. (2003). Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spray Drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. **J. Food Science**. 68 (7), pp., 2248-2255.
- Kanakdande, D., Bhosale, R., and Singhal, R.S. (2007). Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum Arabic, maltodextrin and modified starch. **J. Carbohydrate Polymers**. 67(4) , pp., 536-541.
- Karel, M. and Langer, R. (1988). Controlled release of food additives. In Flavor encapsulation. (ed. S.J. Risch and G.A. Reineccius). pp 177-191. Washington, DC: American Chemical Society.
- Kenyon, M.M. (1955). Modified starch, maltodextrin and corn syrup solids as wall materials for food Encapsulation. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**. 590 pp., 42-50.
- Keogh, M.K. (2005). Spray-dried microencapsulated fat powders. In **Encapsulated and powdered Food**. (ed. C. Onwulata). pp. 477-483. Boca Raton, FL: Taylor and Francis.

- Keogh, M.K., O’Kennedy, B.T., Kelly, J., Auty, M.A., Kelly, P.M., Fureby, A. and Haahr, A.M. (2001). Stability to oxidation of spray-dried fish oil powder microencapsulated using milk ingredients. **J. Food Science**. 66 (2), pp., 217-224.
- Krishnan, S., Bhosale, R. and Singhal, R.S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum Arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. **J. Carbohydrate polymers**. 61 (1), pp., 95-102.
- Masters, K. (1991). **Spray drying handbook**. 5th ed. Essex: Longman Scientific and Technical.
- McNamee, B.F., O’Riordan, E.D. and O’Sullivan, M. (2001). Effect of partial replacement of gum Arabic with carbohydrate on its microencapsulation properties. **J. Agricultural and Food Chemistry**. 49 (7), pp., 3385-3388.
- Onwulata, C., Smith, P.W., Craig Jr. J.C. and Holsinger, V.H. (1994). Physical properties of encapsulated Spray dried milk fat. **J. Food Science**. 59 (2), pp., 316-320.
- Reineccius, G.A. (1988). Spray-drying of food flavors. In **Flavor encapsulation**. (ed. G.A. Reineccius and S.L. Risch). pp. 55-56. Washington DC: American Chemical Society.
- Reineccius, G.A. (1989). Flavor encapsulation. **J. Food Review International**. 5 (2), pp., 147-176.
- Risch, S.J. (1995). Encapsulation: overview of uses and techniques. In **Encapsulation and controlled Release of food ingredients**. (ed. S.J. Risch and G.A. Reineccius). pp. 2-7. Washington Dc: American Chemical Society.
- Rosenberg, M. (1997). **Milk derived whey protein-based microencapsulating agents and a method of use**. U.S. Patent number. 5: 601,760.
- Rosenberg, M. and Lee, S.L. (1993). Microstructure of whey protein/anhydrous milk fat emulsion. **J. Food Structure**. 12 (2), pp., 267-274.
- Rosenberg, M. and Sheu, T.Y. (1996). Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems. **J. International Dairy Journal**. 6 (3), pp., 273-284.
- Rosenberg, M. and Young, S.L. (1993). Whey Proteins as microencapsulating agents. Microencapsulating of anhydrous milk fat-structure evaluation. **J. Food Structure**. 12 (1), pp., 31-41.
- Serfert, Y., Drusch, S. and Schwarz, K. (2009). Chemical stabilization of oils rich in long-chain polyunsaturated fatty acids during homogenization microencapsulation and storage. **J. Food Chemistry**. 113 (4), pp., 1106-1112.
- Shahidi, F. and Han, X.O. (1993). Encapsulation of food ingredients. Critical review. **J. Food Science And Nutrition**. 33 (6), pp., 501-547.
- Shaikh, J., Bhosale, R. and Singhal, R. (2006). Microencapsulation of black pepper oleoresin. **J. Food Chemistry**. 94 (1), pp., 105-110.
- Shaw, F.V. (1997). Spray drying as an alternative granulation technique. In **Handbook of pharmaceutical granulation technology**. (ed. D.M. Parikh). pp.75-97. New York: Marcel Dekker Inc.
- Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. (1995). Microencapsulation by spray drying ethyl caprylate in whey Protein and carbohydrate wall systems. **J. Food Science**. 60 (1), pp., 98-103.

- Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. (1998). Microstruture of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. **J. Food Science**. 63 (3), pp., 491-494.
- Shu, B., Yu, W., Zhao, Y. and Liu, X. (2006). Study on Microencapsulation of lycopene by spray-drying. **J. Food Engineering**. 76 (4), 664-669.
- Soottitantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. and Linko, P. (2005). Influennee of Emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. **J. Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 6 (1), pp., 107-114.
- Soottitantawat, A., Takayama, K., Okamura, K., Muranaka, D., Yoshii, H. and Furuta, T. (2005). Microencapsulation of L-menthol by spray drying and its release characteristics. **J. Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 6 (2), pp., 163-170.
- Thiengnoi, P. (2008). **Microencapsulation of soybean oil by spray drying and fluidized bed agglomeration with soy protein isolate and maltodextrin**. Ph.D. Dissertation Mahidol University.
- Thiengnoi, P., Suphantharka, M. and Wongkongkatep, P. (2012). Influence of binder type and Concentration on physical properties of agglomerated, spray-dried, and high oil loaded microcapsules. **J. Food of Agriculture and Environment**. 10 (3-4), pp., 141-150.
- Verhey, J.G.P. (1972). Vacuole formation in spray powders particles.1.Air incorporation and bubble Expansion. **J. Netherlands Milk and Dairy**. 26 (5), pp., 86-202.
- Young, S.L., Sarda, X. and Rosenbergn M. (1993a). Microencapsulating properties of whey proteins.1. Microencapsulation of anhydrous milk fat. **J. Dairy Science**. 76 (10), pp., 2868-2877.
- Young, S.L., Sarda, X. and Rosenbergn M. (1993b). Microencapsulating properties of whey proteins.2.Combination of whey proteins with carbohydrates.. **J. Dairy Science**. 76 (10), pp., 2878-2885.
- Zeller, B.L., Saleeb, F.Z. and Ludescher, R.D. (1988). Trends in development of porous carbohydrate food ingredients for use in flavor encapsulation. **J. Food Science and Technology**. 9 (11-12), pp., 389-394.