



รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีงบประมาณ 2556

โครงการวิจัยรหัส พ -ท(ด) 150.56

ผลของไบโอพอลิเมอร์ต่อสมบัติต่างๆ และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน
ของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง
Effect of biopolymer on properties and encapsulation efficiency of water in oil
in water emulsion containing mango seed kernel extract

หัวหน้าโครงการ อ.เทพกัญญา หาญศีลวัต

หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
หน่วยงานหลัก ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

สารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (mango seed kernel extract, MSKE) เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน แต่สารสกัดเหล่านี้ไม่คงตัวต่อสภาวะแวดล้อม เทคโนโลยีเอนแคปซูลชันสามารถช่วยแก้ปัญหาได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเอนแคปซูลชัน MSKE ในอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W) และทำเป็นผงเอนแคปซูล MSKE ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเริ่มจากศึกษาผลของความเข้มข้นของพอลิกลีเซอ-รอล พอลิริซิโนเลเอท (PGPR) และ ไบโอพอลิเมอร์ (เจลาตินและโซเดียมอัลจิเนต) ในอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มี MSKE พบว่า PGPR มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลชัน (encapsulation efficiency, EE) การที่มีไบโอพอลิเมอร์ในเฟสน้ำภายในทำให้ค่า EE เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลจากความหนืดของสารละลายไบโอพอลิเมอร์ในเฟสน้ำภายในที่เพิ่มขึ้นหรืออันตรกิริยาระหว่างไบโอพอลิเมอร์กับ MSKE โดยระบบที่มีค่า EE มากกว่าร้อยละ 90 ประกอบด้วยอิมัลชันที่เฟสน้ำภายในมีเจลาตินร้อยละ 1-5 ร่วมกับ PGPR ร้อยละ 4-8 และอิมัลชันที่เฟสน้ำภายในมีโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 0.5-1.5 ร่วมกับ PGPR ร้อยละ 8 จากนั้นได้คัดเลือกอิมัลชันที่มีเจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 1 ในเฟสน้ำภายในและ PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 4 มาศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ 10-30) ในเฟสน้ำภายนอกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผงเอนแคปซูล MSKE พบว่า เมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าความสามารถในการละลาย, ค่า L^* และปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิวของผงเอนแคปซูล MSKE เพิ่มขึ้น แต่ค่าวอเตอร์-แอคติวิตี, a^* , b^* , chroma, hue angle, สารประกอบทางชีวภาพทั้งหมด และ EE ลดลง

คำสำคัญ: สารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ การเอนแคปซูลชัน

Abstract

Mango seed kernel extract (MSKE) is a good source of phenolic antioxidants but it is unstable to environmental conditions. Encapsulation technology offers the opportunity to solve it. Therefore, the objective of this study was to develop a system for encapsulating MSKE in W/O/W emulsions and producing encapsulated MSKE powder by spray drying. Initially, the influence of polyglycerol polyricinoleate (PGPR) and biopolymers (gelatin and sodium alginate) concentration in W/O/W emulsions containing MSKE was studied. The results showed that PGPR affected the stability of the emulsions and encapsulation efficiency (EE). The presence of biopolymers in the inner aqueous phase of W/O/W emulsions increased EE. This may be due to the increase in the viscosity of biopolymers solution in the inner aqueous phases or the interaction between biopolymers and MSKE. Higher EE (more than 90 %) could be obtained when W/O emulsions stabilized by 1-5 % gelatin in inner aqueous phases were incorporated with 4-8 % PGPR, while sodium alginate required by 0.5-1.5 % sodium alginate in inner aqueous phases were incorporated with 8 % PGPR. Then, the emulsions which contained 1 % gelatin in the inner aqueous phase and 4 % PGPR was selected to study the effect of maltodextrin (MD) concentration (10-30 %) in outer aqueous phases on physicochemical properties of encapsulated MSKE powder. The results showed that increasing MD increased water solubility, L^* values and surface bioactive compound but decreased water activity, a^* , b^* , chroma, hue angle, total bioactive compound and EE.

Keywords: Mango Seed Kernel Extract, Water in Oil in Water Emulsion, Encapsulation

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยผลของไบโอพอลิเมอร์ต่อสมบัติต่างๆ และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงนี้ประสบความสำเร็จจุลวงได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
กิตติกรรมประกาศ	
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	3
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
อุปกรณ์และวิธีการ	
อุปกรณ์	18
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	30
สรุปและข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	56
ภาคผนวก	67

บทนำ

จากรายงานเกี่ยวกับจำนวนประชากรโลก (UN, 2009; US Census Bureau, 2011; WHO, 2011; AoA, 2011) พบว่า ประชากรโลกมีแนวโน้มที่จะมีอายุยืนนานขึ้น ซึ่งประเทศไทยก็มีลักษณะการเติบโตของจำนวนประชากรเช่นเดียวกัน ในขณะที่ประชากรมีอายุยืนนานขึ้น ปัญหาสุขภาพก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาสุขภาพเนื่องจากวัยหรือปัจจัยอื่น ส่วนหนึ่งของปัญหามาจากการบริโภคอาหาร ดังนั้นในปัจจุบันผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญกับการเลือกบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งเห็นได้จากแนวโน้มการขยายตลาดของผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่างๆ ซึ่งมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2552) แต่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์นำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้ในภาคอุตสาหกรรมยังมีความต้องการใช้สารออกฤทธิ์จากธรรมชาติ (bioactive component) ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือผลิตภัณฑ์เวชสำอาง เป็นต้น และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณต่างๆ ที่มีสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ ไม่ว่าจะเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ในการชะลอการเสื่อมวัย ป้องกันการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น (Yang and Wang, 1993; Frankel, 1999; Ozaki *et al.*, 2000; Chung *et al.*, 2003; Manach *et al.*, 2005; Ericli and Orhanl, 2007) จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำสารออกฤทธิ์จากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรในประเทศและเป็นการสร้างนวัตกรรมให้กับภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารสกัดหยาบที่ได้จากพืชและมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมาก (Maisuthisaku *et al.*, 2007; Hirose *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2010; Mariod *et al.*, 2010; Fu *et al.*, 2011; Guo *et al.*, 2011; Hajaji *et al.*, 2011; Naczki *et al.*, 2011; Zou *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012) และยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับสารสกัดหยาบจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (mango seed kernel extract; MSKE) ที่พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส แสดงถึงศักยภาพในการใช้สารสกัดดังกล่าวในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง นอกจากนี้สารดังกล่าวยังมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ (Puravankara *et al.*, 2000; Abdalla *et al.*, 2007; Maisuthisakul and Gordon, 2009) ทั้งนี้ในงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงมักศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพและการสกัดสารสกัดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด แต่งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาหรือการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้การนำสารสกัดหยาบไปใช้ได้ง่ายขึ้นยังมีน้อย (Maisuthisakul and Harnsilawat, 2010; Wanthong *et al.*, 2011) เนื่องจากสารสกัดเหล่านี้ไม่คงตัวต่อสภาวะแวดล้อม เช่น แสง ความร้อน ความชื้น เป็นต้น ซึ่ง

จากปัญหาดังกล่าวนี้นี้จึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหานี้ โดยใช้เทคโนโลยีการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) เพื่อปกป้องสารสกัดจากสภาวะแวดล้อมและสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้น เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการทำเอนแคปซูเลชัน งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ระบบอิมัลชันเชิงซ้อนชนิด น้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W emulsion) เป็นระบบกักเก็บสารหรือที่เรียกว่ากระบวนการเอนแคปซูเลชัน โดยเติมไบโอพอลิเมอร์ไวโนเฟสในน้ำภายในและใช้พอลิกลีเซอรอล พอลิริซินโอเลต (polyglycerol polyricinoleate; PGPR) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในเฟสน้ำมัน เพื่อให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวและมีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันที่ดี จากนั้นจึงศึกษาผลของความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม (มอลโตเดกซ์ตริน) ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและคุณภาพของผงเอนแคปซูเลทที่ได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของไบโอพอลิเมอร์ต่อสมบัติต่างๆ และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง
2. เพื่อทราบผลของสารหล่อหุ้มในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงเอนแคปซูเลทที่เตรียมได้จากอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง

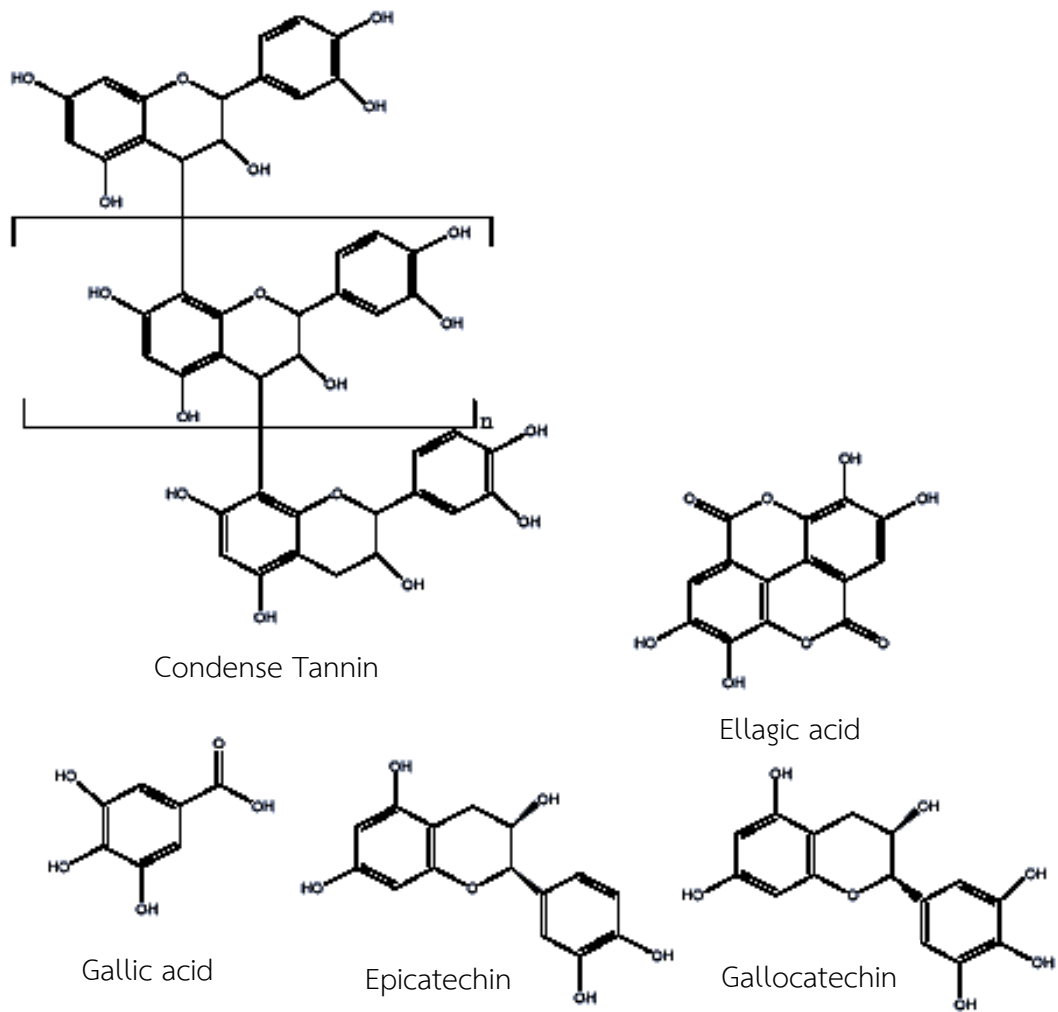
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (Mango seed kernel extract; MSKE)

มะม่วงนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยมีปริมาณการผลิตมากเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากจีนและอินเดีย (FAOSTAT, 2011) มีปริมาณการผลิตประมาณ 572,000 เมตริกตันต่อปี มะม่วงทั่วโลกมีอยู่ประมาณ 793 พันธุ์ โดยมะม่วงที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ได้แก่ เชียวสวย แรด น้ำดอกไม้ โชคอนันต์ อกร่อง เป็นต้น ทั้งนี้การบริโภคและการแปรรูปมะม่วงในระดับอุตสาหกรรมได้ก่อให้เกิดปัญหาทางสภาพแวดล้อม อันเป็นผลมาจากการใช้เฉพาะส่วนเนื้อมะม่วงเท่านั้น ส่วนอื่นๆ ของผลมะม่วงจะถูกทิ้งเป็นขยะสูงถึงร้อยละ 40-60 โดยไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ ทั้งนี้แบ่งเป็นส่วนต่างๆ คือ เมล็ดมะม่วงร้อยละ 12-15 เปลือกมะม่วงร้อยละ 5-10 เศษเนื้อมะม่วงร้อยละ 5-10 เพื่อลดปัญหาขยะของเมล็ดมะม่วงจำนวนมากนี้ จึงมีการวิจัยนำเอาเมล็ดมะม่วงมาใช้ประโยชน์ จากการศึกษางานวิจัย พบว่า มะม่วงมีส่วนที่เป็นเมล็ดประมาณร้อยละ 10-25 จากผลมะม่วงทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์มะม่วง และมีเนื้อในเมล็ดมะม่วงประมาณร้อยละ 45-75 จากเมล็ดมะม่วงทั้งหมด (Hemavathy *et al.*, 1998; Arogba, 1997)

มะม่วงเป็นที่รู้จักเป็นอย่างดีสำหรับนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมะม่วงมีคุณค่าทางสารอาหารสูงในทุกส่วนไม่ว่าจะเป็นใบ เปลือก ดอก ผล และเมล็ด โดยมีสารกลุ่มแทนนิน ฟลาโวนอยด์ พอลิฟีนอล และฟีนอลิก (ปราณี, 2552) (ภาพที่ 1) ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2552-2556) มีรายงานวิจัยที่ศึกษาสมบัติของสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ โดยพบว่า สารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงเป็นแหล่งของสารประกอบพอลิฟีนอลที่ดี มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Kittiphoom, 2012) สมบัติการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ซึ่งเอนไซม์นี้มีหน้าที่สร้างเม็ดสีให้ผิวหนังทำให้ผิวหนังสีเข้มขึ้น (Maisuthisakul and Gordon, 2009) สมบัติการต้านจุลินทรีย์ (Khammuang and Sarntima, 2011) และสมบัติในการป้องกันตับจากสารพิษ (hepatoprotective activities) (Nithitanakool *et al.*, 2009) ทั้งนี้องค์ประกอบของเนื้อในเมล็ดมะม่วงจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับแหล่งที่เพาะปลูก สภาพภูมิอากาศ โครงสร้างและสมบัติทางเคมีกายภาพของมะม่วงพันธุ์นั้นๆ (Kalt, 2005; Yuri *et al.*, 2009) เมื่อกะเทาะเปลือกเมล็ดออกจะเห็นเนื้อในสีขาว เนื้อในของเมล็ดมะม่วงสดนั้นมีความชื้นประมาณร้อยละ 51 มีรสขมเมื่อนำไปละลายน้ำประมาณ 50 เท่าจะมีความเป็นกรดเล็กน้อย (พีเอช 5) และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลรวดเร็วเมื่อสัมผัสอากาศ แสดงถึงปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารฟีนอลิกด้วยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิ-

เดส (Arogba *et al.*, 1998) เมื่อทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ เช่น ตากแดด หรืออบด้วยลมร้อนจะเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 9-12 และมีองค์ประกอบอื่นๆ ทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 สารต้านอนุมูลอิสระประเภทพอลิฟีนอลและสารฟีนอลิกที่พบในเนื้อในเมล็ดมะม่วง

ที่มา: ปราณี (2552)

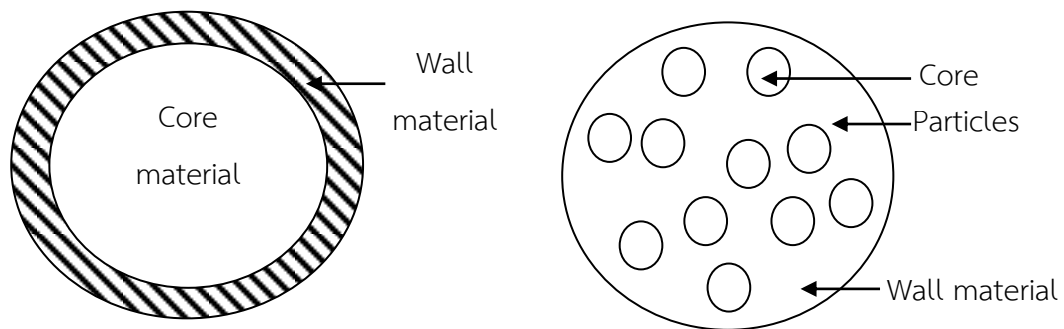
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อในเมล็ดมะม่วงแห้ง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
โปรตีน	5-6
ไขมัน	9-16
คาร์โบไฮเดรต	73-80
เส้นใย	2-3
เถ้า	2-3
แทนนิน	1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Puravankara *et al.* (2000); Zein *et al.* (2005)

2. เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สารเพียงหนึ่งชนิดหรือหลายชนิดถูกห่อหุ้มด้วยสารอีกชนิดหนึ่ง สารที่ถูกห่อหุ้ม เรียกว่า core material หรือ encapsulant ซึ่งอาจเป็นอนุภาคของแข็ง, ของเหลว หรือก๊าซ ส่วนสารที่เป็นตัวห่อหุ้มจะเรียกว่า wall material หรือ carrier material (King, 1995; Risch, 1995) แผนภาพแสดงลักษณะการเอนแคปซูเลชันแสดงดังภาพที่ 2 สารที่ถูกห่อหุ้ม อาจเป็นสารออกฤทธิ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การสลายตัวของวิตามินเมื่อโดนความร้อน สารที่เป็นตัวห่อหุ้มจะเป็นตัวปกป้องสารออกฤทธิ์จากสภาพดังกล่าว ทำให้ชะลอการเสื่อมเสียหรือการเปลี่ยนแปลงของสาร นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารได้ สารที่ใช้เป็นตัวห่อหุ้มมีหลายชนิด เช่น แป้งดัดแปร, มอลโตเดกซ์ทริน, corn syrup solids, กัมอะคาเซีย และไฮโดรคอลลอยด์เป็นต้น (Hedges *et al.*, 1995; Kenyon, 1995; Thevenet, 1995) โดยสารเหล่านี้มีสมบัติที่ละลายได้ง่าย มีความหนืดต่ำ และเป็นสารที่มีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้ (Risch, 1995)



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงลักษณะการเอนแคปซูเลชัน

ที่มา: Desai and Park (2005)

เทคนิคในการเอนแคปซูเลชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การทำ การอัดพอง (extrusion) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) การดูดซับ (adsorption) ไลโปโซม (liposome) การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) นอกจากวิธีการที่กล่าวมาแล้ว เทคนิค อิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsions) ก็เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเช่นกัน โดยใช้ห่อหุ้มสาร ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย การประยุกต์ใช้เทคนิคการเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรม แสดงดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรม

กระบวนการ	รูปแบบ	การนำไปใช้
Coacervation	Paste/ Powder/ Capsule	Chewing gum, toothpaste
Spray drying	Powder	Confectionery, milk powder, instant desserts, food flavors
Fluid bed drying	Powder/ granule	Prepared dishes, confectionery
Spray cooling/ chilling	Powder	Prepared dishes, ices
Extrusion	Powder/ granule	Instant beverage, confectionery
Molecular inclusion	Powder	Confectionery, instant drinks

ที่มา: ดัดแปลงจาก Madene *et al.* (2006)

2.1 เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การเอนแคปซูเลทสารโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีการใช้ในอุตสาหกรรมมาตั้งแต่ปี 1950 เนื่องจาก มีต้นทุนต่ำ เครื่องมือหาได้ง่าย ผลผลิตที่ได้ออกมามีคุณภาพดี ทำให้การทำแห้งแบบพ่นฝอยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง แต่ข้อจำกัดของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ วัสดุที่ใช้เป็นสารเคลือบนั้นควรมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีในระดับที่ยอมรับได้ (Desai and Park, 2005)

การใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการห่อหุ้ม มีขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ (1) การเตรียมสารแขวนลอย หรือ อิมัลชันเพื่อเข้ากระบวนการ (2) การทำสารแขวนลอยให้เป็นเนื้อเดียวกัน และ (3) การฉีดละอองอนุภาคเข้าสู่ห้องทำแห้ง อย่างไรก็ตาม ยังมีขั้นตอนย่อยอื่นมากกว่าทั้งสามกระบวนการที่กล่าวมา เช่น การเอาน้ำออกจากละอองอนุภาค ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างอิมัลชันที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและทำให้สารที่ถูกห่อหุ้มมีความคงตัวสูง ของผสมที่จะถูกฉีดเป็นละอองอนุภาคเตรียมโดยการละลายสารที่จะถูกห่อหุ้มซึ่งโดยปกติจะไม่ชอบน้ำลงในสารละลายที่จะเป็นสารห่อหุ้มซึ่งไม่สามารถเข้ากันได้ สารแขวนลอยจะต้องถูกนำไปให้ความร้อนและทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจมีการเติมอิมัลซิไฟเออร์หรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติของอิมัลชันของสารห่อหุ้มนั้นๆ ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย อนุภาคของอิมัลชันเริ่มต้นควรมีขนาด 1-100 ไมโครเมตร ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการทำแห้ง อิมัลชันจะต้องมีความคงตัวตามระยะเวลาที่กำหนด อนุภาคน้ำมันจะต้องมีขนาดเล็กและความหนืดต่ำเพียงพอที่จะป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาค ความหนืดของอิมัลชันและขนาดการกระจายตัวของอนุภาคมีอิทธิพลอย่างสำคัญต่อการห่อหุ้มด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย หากอิมัลชันมีความหนืดมากจะส่งผลเสียต่ออัตราการทำแห้ง ดังนั้น ปัจจัยที่จะส่งผลต่อการกักเก็บสารที่ถูกห่อหุ้มระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ส่วนประกอบต่างๆ ของอิมัลชัน สมบัติของอิมัลชัน และสภาวะการทำแห้ง เมื่อได้อิมัลชันที่มีความคงตัวและเป็นเนื้อเดียวกันดีแล้วจะเข้าสู่กระบวนการฉีดเป็นละอองฝอย การทำให้ของเหลวเป็นละอองฝอยที่มีอนุภาคขนาดเล็ก สามารถทำได้ด้วยการใช้ความดันหรือแรงเหวี่ยง ซึ่งหัวฉีด (atomizer) ที่นิยมใช้ ได้แก่ หัวฉีดแบบใช้แรงลม (pneumatic atomizer) หัวฉีดความดัน (pressured atomizer) จานหมุนเหวี่ยง (spinning disk configuration) รวมถึง หัวฉีดแบบคู่ (two fluid nozzle) และหัวฉีดแบบใช้คลื่นเสียง (sonic nozzle) จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้เพื่อสร้างพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้มากที่สุดระหว่างลมร้อนกับของเหลว เพื่อให้เกิดอัตราการแลกเปลี่ยนมวล และความร้อนที่เหมาะสมในระหว่างการทำแห้งเมื่อของเหลวสัมผัสกับลมร้อน การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นส่งผลให้อนุภาคของเหลวมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดคงที่ จากนั้นการระเหยน้ำจากอนุภาคของเหลวจะ

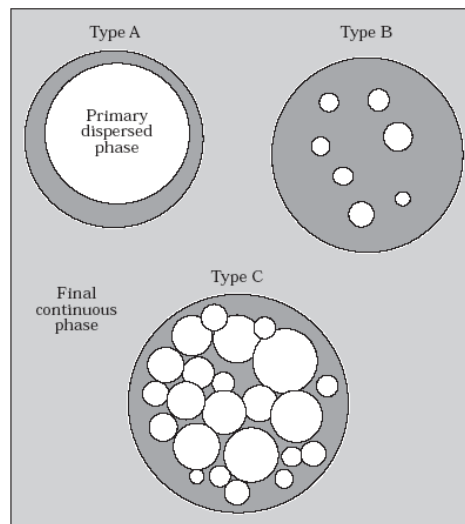
เกิดขึ้นในสถานะที่อุณหภูมิคงที่ โดยอัตราการแพร่ของน้ำภายในสู่บริเวณผิวนั้นจะพิจารณาให้คงที่ และมีค่าเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำบริเวณผิว เมื่อปริมาณน้ำในอนุภาคของเหลวถึงจุดวิกฤตก็จะเกิดการสร้างเปลือกแข็ง (dry crust) ขึ้นบริเวณผิวและอัตราการทำแห้งก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการทำแห้งทางทฤษฎีนั้นจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิของอนุภาคของเหลวนั้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้นโดยทั่วไปนิยมใช้ไซโคลนเป็นตัวเก็บผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่าง (Gharsallaoui *et al.*, 2007)

2.2 เทคนิคอิมัลชันเชิงซ้อน

อิมัลชันเป็นระบบที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อยสองชนิดที่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ เช่น น้ำมันและน้ำ โดยของเหลวชนิดหนึ่งจะกระจายเป็นอนุภาคทรงกลมอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง (Dickinson, 1992; McClements, 2005) ระบบอิมัลชันส่วนใหญ่จะแบ่งตามลักษณะการกระจายตัวของเฟสน้ำมันและเฟสของเหลว โดยแบ่งได้เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion หรือ O/W), อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion หรือ W/O), อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (oil in water in oil emulsion หรือ O/W/O) และ อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (water in oil in water emulsion หรือ W/O/W) โดยสองประเภทหลังถือเป็นระบบอิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) (Garti, 1997a)

อิมัลชันเชิงซ้อนเป็นระบบที่ซับซ้อนขึ้น อาจเรียกว่าเป็น อิมัลชันในอิมัลชัน โดยมีลักษณะที่อนุภาคของเฟสที่กระจาย (dispersed phase) ประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กกว่าหลายอนุภาคกระจายอยู่ในเฟสภายใน (internal phase) แต่ละอนุภาคใหญ่จะมีโครงสร้างคล้ายถุงเล็กๆ (vesicular structure) ที่มีส่วนของเฟสของเหลวชนิดเดียวหรือหลายชนิดแยกจากกันโดยชั้นของเฟสน้ำมัน (Garti, 1997a) การเตรียมอิมัลชันนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการทำให้เกิดอิมัลชัน หรือ อิมัลซิฟิเคชันขั้นตอนที่ 1 และ 2 สำหรับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (water-in-oil-in-water emulsion หรือ W/O/W) ในขั้นตอนแรกจะเป็นการเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion หรือ W/O) โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม เช่น อิมัลซิไฟเออร์ชนิดไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) แล้วทำการโฮโมจีไนซ์ เพื่อจะได้อิมัลชันที่มีอนุภาคนาขนาดเล็ก ในขั้นที่ 2 การเตรียมอิมัลชันจะต้องระมัดระวังมากขึ้น โดยการให้แรงกล เช่น การผสมหรือการโฮโมจีไนซ์ในสถานะที่ไม่รุนแรงเท่าในขั้นตอนแรก เนื่องจากอนุภาคของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันที่เตรียมได้ในขั้นตอนแรกอาจแตกออก ในขั้นตอนนี้จะเติมอิมัลซิไฟเออร์ชนิดไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) (Dickinson and McClements, 1995; Garti, 1997a, 1997b) โดยทั่วไปอิมัลชันชนิด W/O/W

ประกอบด้วยอนุภาคชนิด W/O อยู่ภายใน ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.5-2 ไมโครเมตร และเฟสภายนอกเป็นอนุภาคชนิด W/O/W ซึ่งมีขนาด 10-60 ไมโครเมตร (Garti, 1997b) ลักษณะของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่เตรียมได้อาจแบ่งได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ A, B และ C (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ลักษณะของอนุภาคในอิมัลชันชนิด W/O/W ในรูปแบบต่างๆ

ที่มา: Garti (1997b)

กระบวนการเอนแคปซูเลชันสารด้วยการเตรียมเป็นอิมัลชันเชิงซ้อนถูกนำไปใช้ในการกักเก็บสารระเหยหรือสารที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น วิตามิน หรือสารให้กลิ่นรส เป็นต้น ไว้ภายในอนุภาคของเหลวภายใน โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เฟสน้ำมันที่อยู่ระหว่างเฟสน้ำเป็นตัวป้องกันการแพร่ของสารจึงสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารภายใน (encapsulated agent) ไปสู่สิ่งแวดล้อม หรือป้องกันสารประกอบที่ให้กลิ่นรสจากเฟสของเหลวไว้จนกระทั่งผลิตภัณฑ์ถูกรับประทานแล้วจึงปลดปล่อยสารออกมาในทันที เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ต้องการภายในปาก (Dickinson and McClements, 1995) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ยา เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอื่นๆ (Muschiolik, 2007)

2.2.1 ความคงตัวของอิมัลชัน

อิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ เนื่องจากระบบต้องการพลังงานอิสระในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างเฟสของน้ำและน้ำมัน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไป ระบบอิมัลชันจะเกิดการแยกชั้นขึ้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นของน้ำมันที่ด้านบนซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นต่ำ และชั้นของน้ำที่มีความหนาแน่นสูงที่ด้านล่าง ดังนั้นความคงตัวของอิมัลชัน หมายถึง ความสามารถของอิมัลชันในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านต่างๆ ของระบบเมื่อเวลาผ่านไป (McClements, 2005) ได้แก่ การแยกชั้นครีม (creaming) การตกตะกอน (sediment) การเกาะกลุ่มกันของอนุภาค (flocculation) การรวมกันของอนุภาค (coalescence) การเปลี่ยนเฟส (phase inversion) เป็นต้น

ตัวอย่างความไม่คงตัวของอิมัลชันทางกายภาพ ได้แก่

1) การแยกเป็นชั้นครีม (creaming) และการตกตะกอน (sediment) เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอนุภาคที่กระจายตัว และความหนาแน่นของของเหลวที่ล้อมรอบ โดยในระบบอิมัลชันชนิด O/W เมื่อเวลาผ่านไปอนุภาคของน้ำมันซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนเกิดเป็นชั้นครีมขึ้น ในขณะที่ระบบอิมัลชันชนิด W/O ส่วนที่กระจายตัวคือ อนุภาคน้ำซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าจะรวมตัวกันอยู่ด้านล่างของอิมัลชัน

2) การเกาะกลุ่มกันของอนุภาค (flocculation) คือ การเกาะกันระหว่างอนุภาคตั้งแต่ 2 อนุภาคขึ้นไปโดยที่แต่ละอนุภาคยังคงลักษณะเดิมอยู่ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอิมัลชัน โดยอาจทำให้เกิดลักษณะที่ต้องการหรือไม่ต้องการแก่ผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ป้องกันการเกิดครีม และตะกอน เพิ่มเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

3) การรวมตัวกันของอนุภาค (coalescence) คือ การที่อนุภาคตั้งแต่ 2 อนุภาคขึ้นไปรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้อิมัลชันแยกชั้นเป็นครีมหรือตกตะกอนได้เร็วขึ้นเนื่องจากเป็นการเพิ่มขนาดให้กับอนุภาคในส่วนเฟสที่กระจายและยังเป็นการเร่งให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมัน (oiling off) ในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำด้วย

4) การเปลี่ยนเฟส (phase inversion) เป็นกระบวนการที่มีเปลี่ยนแปลงจากอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน หรือในทางกลับกันอาจมีการเปลี่ยนแปลงจากอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำได้ การเปลี่ยนเฟสนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญใน

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เนยและมาการีน นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ การเปลี่ยนเฟสเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากมีผลต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส ความคงตัว และรสชาติ

2.2.2 การรักษาความคงตัวของอิมัลชัน

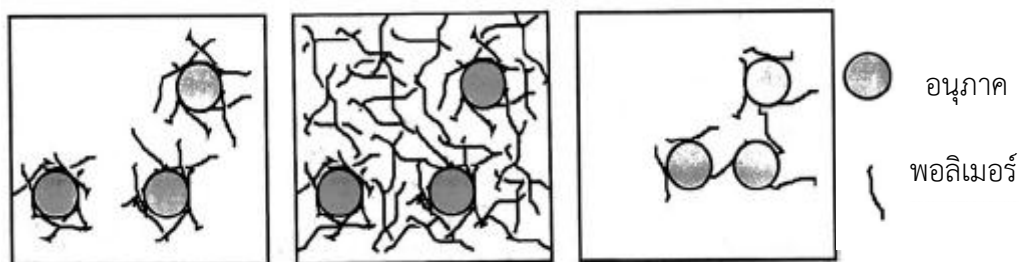
การรักษาความคงตัวของอิมัลชันหรือการคงขนาดของอนุภาคในอิมัลชันให้มีขนาดเล็ก สามารถทำได้โดยเพิ่มพื้นผิวของอนุภาคในอิมัลชัน การลดขนาดของอนุภาคระหว่างกระบวนการแปรรูปทำได้โดยการเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งจะถูกลดขนาดที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมันและลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสอง การเติมสารลดแรงตึงผิวจะทำให้อนุภาคในเฟสที่กระจายมีขนาดเล็กลง นอกจากนั้นการที่อนุภาคในอิมัลชันมีโมเลกุลขนาดใหญ่หรือมีอนุภาคอื่นมาล้อมรอบจะช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ (ปาริฉัตร, 2555)

อิมัลซิไฟเออร์หรือเซอแฟกแทนท์ (emulsifier or surfactant) เป็นตัวช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำกับน้ำมันที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นสารที่มีความไวต่อการดูดซับที่พื้นผิวของอนุภาคเฟสกระจาย ทำให้สภาวะที่มีพลังงานที่ไม่สมดุลของระบบอิมัลชันนั้นลดลง พอลิกลีเซอรอลพอลิริซินโอเลต (Polyglycerol polyricinoleate; PGPR) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่ชอบน้ำ ได้จากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ กรดริซินโอเลอิกจากน้ำมันละหุ่งและกลีเซอรอลที่ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) และเอสเตอร์ริฟิเคชัน (esterification) นิยมใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม (Wilson *et al.*, 1998) และนิยมใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับอิมัลชันชนิด W/O/W (Su *et al.*, 2006; Surh *et al.*, 2007; Hemar *et al.*, 2010; Mun *et al.*, 2010) โดยสามารถใช้เพียงตัวเดียวหรือใช้ร่วมกับโปรตีน เช่น โซเดียมเคซิเนต (Dickinson, 1994; Su *et al.*, 2006)

การรักษาความคงตัวของอิมัลชันในระยะยาวต้องใช้สารที่ทำให้เกิดความคงตัวส่วนใหญ่เป็นไบโอพอลิเมอร์ เช่น โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น โปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์เป็นอิมัลซิไฟเออร์และ/หรือสารให้ความคงตัวที่ดีจากธรรมชาติ นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหารและทางเภสัชกรรม ในทางเภสัชกรรมมีการประยุกต์ใช้ไบโอพอลิเมอร์ในหลายรูปแบบ เช่น แคปซูล (เจลาติน) เม็ด (กัมอะราบิก ไคโตซาน ไฮโดรมีลอส) เป็นตัวช่วยในการแขวนลอย (กัมอะราบิกไฮโดรมีลอส) (Rowe *et al.*, 2006) โมเลกุลขนาดใหญ่ของไบโอพอลิเมอร์ เช่น โปรตีน เป็นโมเลกุลแอมฟิฟิลิกจะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวและกีดขวางการเกาะกลุ่มและการรวมกลุ่มของอนุภาคอิมัลชันได้ แม้ว่าโปรตีนจะไม่สามารถลดแรงตึงผิวได้มากเท่าสารลดแรงตึงผิวที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก แต่โปรตีนมีบทบาท

สำคัญในการรักษาความคงตัวของอิมัลชันในระยะยาว โปรตีนหลายชนิดมีสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมันจึงเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชันได้ (McClements, 2004) ตัวอย่างไบโอพอลิเมอร์ประเภทโปรตีน เช่น เจลาติน เป็นโปรตีนได้มาจากกระบวนการไฮโดรไลซิส ผิวหนัง กระดูก หรือเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ สมบัติที่สำคัญของเจลาติน คือ ละลายได้เร็วในน้ำอุ่นหรือน้ำร้อน ให้เป็นสารละลายที่มีความหนืดต่ำ และเกิดเจลที่สามารถคืนสภาพได้หลังจากผ่านความร้อน (thermoreversible gel) โดยเจลจะเริ่มหลอมเมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว เจลาตินมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส เจลาตินที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วและอยู่ในสภาพสายเบปไทด์แบบสุ่ม (random coil) เมื่ออุณหภูมิลดลง โครงสร้างดังกล่าวจะเกิดการขดตัวเพื่อปรับเข้าสู่โครงสร้างเริ่มต้นหรือทริปเปิลเฮลิก (triple helix) ส่งผลให้เกิดโครงข่ายสามมิติและทำให้เจลของเจลาตินมีความแข็งแรง นอกจากนี้เจลาตินยังมีสมบัติในการเกิดโฟมและวุ้นที่ดี เจลาตินนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในอาหารและยา ตัวอย่างอาหารที่ใช้เจลาติน เช่น เยลลี่ ลูกอม ลูกกวาด โยเกิร์ต ขนมหวานต่างๆ เป็นต้น อาหารประเภทอิมัลชัน เช่น ซุปซอส เครื่องดื่ม โดยเจลาตินจะทำหน้าที่ให้ความข้นหนืด และเกิดเจล (Poppe, 1997; Mackie *et al.*, 1998; McClements, 2005; Stevens, 2010)

ขณะที่พอลิแซคคาไรด์ส่วนใหญ่ช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชันโดยเพิ่มความหนืดให้กับเฟสต่อเนื่อง เนื่องจากโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์มีลักษณะเป็นกิ่งก้านจึงสามารถสร้างและขยายการเชื่อมต่อกันได้มากในเฟสต่อเนื่อง (Dickinson, 2009) และสามารถเกิดเจลได้ การรวมกันระหว่างโปรตีนกับพอลิแซคคาไรด์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เช่น ความเข้มข้น อัตราส่วนระหว่างโปรตีนกับพอลิแซคคาไรด์ พีเอช ไอออน และอุณหภูมิ สามารถช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชันได้ (Dickinson, 2008) ลักษณะการรักษาความคงตัวโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอิมัลชันมี 3 รูปแบบ คือ การรักษาความคงตัวโดยโมเลกุลที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและน้ำมัน (sterically stabilized system) การเกิดเจล (emulsion gel) และการเกาะกลุ่ม (flocculation) เนื่องจากการเกิดการเชื่อมข้ามของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ผิวของอนุภาคน้ำมัน (ภาพที่ 4) (Dickinson, 2003) นอกจากการเติมสารให้ความหนืดในระบบอิมัลชันทำให้อนุภาคน้ำมันมารวมกันยากแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันอีก เช่น ขนาดของอนุภาค โดยขนาดของอนุภาคเป็นผลจากแรงที่ให้การผสม ธรรมชาติของอิมัลซิไฟเออร์ที่มีอยู่ ความหนืดของเฟสต่อเนื่อง เป็นต้น ตัวอย่างไบโอพอลิเมอร์ประเภทพอลิแซคคาไรด์ เช่น อัลจิเนต มอลโตเดกซ์ตริน กัมอะราบิก เป็นต้น



ภาพที่ 4 ลักษณะการรักษาความคงตัวโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอิมัลชัน (ก) การรักษาความคงตัวโดยโมเลกุลที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและน้ำมัน (ข) การเกิดเจล และ (ค) การเกาะกลุ่ม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Dickinson (2003)

อัลจิเนต (alginate) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์สายตรงที่ละลายน้ำได้ สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล อัลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ผสมชนิดสายตรงของกรดแมนนูโรนิก (1,4- β -D-mannuronic acid) (M) และกรดกูลูโรนิก (1,4- α -L-guluronic acid) (G) ได้เป็นพอลิยูไรนด์ (polyuronide) ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric regions ของ G และ M ที่เรียกว่า G- และ M-blocks ตามลำดับ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 32,000-200,000 ดาลตัน มี degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 180-930 ในโมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ พอลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิก กรดกูลูโรนิก และทั้งสองชนิดแรกสลับกัน สัดส่วนของพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดและโครงสร้างของพอลิเมอร์จะเป็นตัวบ่งชี้สมบัติของอัลจิเนต อัลจิเนตใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัวในอิมัลชัน สารทำให้เกิดเจลโดยเติมสารที่มีประจุบวกซึ่งเป็นเจลที่ทนความร้อนหรือไม่เปลี่ยนไปมาเมื่อได้รับความร้อน และสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง (นิตยา, 2551; Onsoyen, 1997; George and Abraham, 2006)

มอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin) ประกอบด้วย β -D-glucose เป็นส่วนใหญ่ โดย β -D-glucose เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกซ์ สามารถแบ่งประเภทของมอลโตเดกซ์ตรินได้จากค่า Dextrose Equivalent (DE) ซึ่ง DE เป็นการวัดระดับ (degree) ของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชและเป็นค่าที่สัมพันธ์กับมวลโมเลกุลของมอลโตเดกซ์ตริน มอลโตเดกซ์ตรินมีความหนืดต่ำสามารถเกิดแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะมันวาวและสามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของออกซิเจนได้ มอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE สูงจะเกิดแผ่นฟิล์มได้ดีกว่าที่ DE ต่ำ เนื่องจากที่ DE ต่ำจะมีพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่จำนวนมาก นอกจากนี้มอลโตเดกซ์ตรินยังช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัว โดยปกติ

มอลโตเดกซ์ตรินไม่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์แท้จริง เนื่องจากขาดสมบัติของการเป็นสารชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ แต่สามารถทำให้อิมัลชันมีความคงตัวอยู่ได้ เนื่องจากมีส่วนที่เป็นโมเลกุลแซคคาไรด์สายยาว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยรักษาสภาพอิมัลชันไว้ได้ ดังนั้นถ้านำมอลโตเดกซ์ตรินมาผสมกับสารที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์แท้จริง เช่น กัมอะราบิก จะสามารถปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันได้ดีกว่าใช้มอลโตเดกซ์ตรินเพียงอย่างเดียว (Kenyon and Anderson, 1988; Gabas *et al.*, 2007)

กัมอะราบิก (gum arabic) เป็นพอลิแซคคาไรด์ มีโครงสร้างโมเลกุลที่มีการแตกสาขามาก กัมอะราบิกประกอบด้วย D-galactopyranose เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกซ์ เป็นส่วนใหญ่ กัมอะราบิกนิยมใช้เป็นสารหล่อหุ้มในกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย กัมอะราบิกละลายน้ำได้ดีและมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี เนื่องจากส่วนอะราบินอากแลคแทน (arabinogalactan) และส่วนไกลโคโปรตีน (glycoprotein) มีปริมาณโปรตีนมาก โดยโปรตีนเป็นตัวประสานระหว่างน้ำและน้ำมันให้เข้ากัน ส่วนอะราบินอากแลคแทนให้ความหนืดสูง ทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคช้าลง ป้องกันการกลับมารวมตัวกันของอนุภาคที่เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสและป้องกันการเข้าออกของออกซิเจนได้ และสามารถกักเก็บสารที่ถูกห่อหุ้มได้ดี ส่วนมากนิยมใช้กัมอะราบิกในการห่อหุ้มสารให้กลิ่น แต่ข้อจำกัดของกัมอะราบิกคือ ราคาสูงและหายาก ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลชันสารต่างๆ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ตรินและกัมอะราบิกเป็นสารเคลือบ จะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมโครเมตร และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้มากกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิอากาศเข้าและขาออกของอากาศร้อน ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืดและสัดส่วนของกัมอะราบิกและมอลโตเดกซ์ตริน (Krishnan *et al.*, 2005; Madene *et al.*, 2006; Gabas *et al.*, 2007)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมอิมัลชันชนิด W/O/W เช่น Hajda and Dickinson (1996) ได้ศึกษาความคงตัวของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีโปรตีนของถั่วฟาวา เตรียมโดยใช้ Span 80 เป็นอิมัลซิไฟเออร์สำหรับอิมัลชันชนิด W/O (อิมัลชันชั้นที่ 1) และโซเดียมเคซิเนตเป็นอิมัลซิไฟเออร์สำหรับอิมัลชันชนิด W/O/W (อิมัลชันชั้นที่ 2) จากการศึกษา พบว่า การเติมโปรตีนจากถั่วฟาวาสามารถเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันชนิด W/O/W และลดปริมาณการใช้ Span 80 ได้ ในขณะที่ Su *et al.* (2008) ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการเอนแคปซูเลชันและความคงตัวของอิมัลชันชนิด W/O/W โดยใช้กัมอะราบิกทดแทน กัมอะราบิกที่ผ่านการดัดแปรนี้มีหน่วย

arabinogalactan ขนาดเล็กกว่ากัมอะราบิกที่ไม่ผ่านการดัดแปร ต่อเข้าด้วยกันจนมีน้ำหนักโมเลกุลที่มากกว่า ซึ่งทำให้สัดส่วนของหมู่ arabinogalactan protein ที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์มีจำนวนมากกว่ากัมอะราบิกที่ไม่ผ่านการดัดแปรถึงสองเท่า จากการศึกษาพบว่า การเติมกัมอะราบิกดัดแปรให้ผลให้ความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นกับความเข้มข้นของกัมอะราบิกและอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ ทั้งนี้การเติมกัมอะราบิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ในเฟสของน้ำภายนอกทำให้ลดปริมาณการใช้ PGPR ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์สำหรับอิมัลชันชั้นแรก (อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน) ได้

จากการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อนชนิด W/O/W มักพบปัญหาความไม่คงตัว เนื่องจากอนุภาคที่เตรียมได้มีการกระจายขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างกว้าง (แสดงถึงความคงตัวไม่ดี) ทำให้มีการแยกชั้นได้ง่าย Surh *et al.* (2007) จึงได้ศึกษาการเตรียมอิมัลชันชนิด W/O และชนิด W/O/W ที่อนุภาคภายในเป็นเจลของไบโอพอลิเมอร์รวมทั้งการศึกษาสมบัติต่างๆ ของอิมัลชันที่ได้โดยมีสมมติฐานว่าหากอิมัลชันชั้นแรกหรืออิมัลชันชนิด W/O มีความคงตัวดี อิมัลชันเชิงซ้อนหรืออิมัลชันชนิด W/O/W ก็จะมี ความคงตัวดีด้วย งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมอิมัลชันชนิด W/O ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 20 และใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดไม่มีประจุได้แก่สาร Polyglycerol polyricinoleate (PGPR) ภายในเฟสน้ำมันเวียโปรตีนไอโซเลท (WPI) อยู่ร้อยละ 0 หรือ 15 แล้วนำมาโฮโมจีไนซ์ที่ความดันชั้นที่ 1 2700 psi และชั้นที่ 2 300 psi จำนวน 3 รอบ ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการให้ความร้อนอิมัลชันที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้เกิดเจลของโปรตีนกับระบบที่ไม่ให้ความร้อน อิมัลชันที่เตรียมได้ถูกนำไปศึกษาผลของสภาวะแวดล้อม ได้แก่ การให้แรงเฉือน (แรงเฉือนคงที่นาน 0-7 นาที), การให้ความร้อน (30-90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) และการเก็บรักษา (1, 2 และ 3 สัปดาห์) พบว่า ลักษณะต่างๆ ของอนุภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณ WPI ด้วย ในอิมัลชันชนิด W/O/W เตรียมโดยโฮโมจีไนซ์อิมัลชันชนิด W/O กับสารละลายของอิมัลซิไฟเออร์ชนิด Tween 20 ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ชนิดเมมเบรน (membrane homogenizer; MV) เปรียบเทียบกับเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดวาล์วความดันสูง (high pressure valve homogenizer; HPVH) พบว่า สามารถเตรียมอิมัลซิไฟเออร์ชนิด W/O/W ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ทั้งสองชนิด ทั้งนี้ การใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิด HPVH สามารถผลิตอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ในขณะที่เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิด MV สามารถผลิตอิมัลชันที่มีการกระจายขนาดอนุภาคแคบกว่าการเตรียมอิมัลชันด้วยวิธีนี้ยังคงปริมาณอนุภาคของน้ำซึ่งเป็นเฟสภายในได้มากกว่าร้อยละ 95

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่น่าสนใจคือการศึกษาการเป็นสารเชื่อมต่อ (cross linker) ของสารฟีนอลิกจากพืชในเจลจากเจลาติน เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร (Strauss and Gibson,

2004) พบว่าสารพอลิฟีนอลจากพืชและพลาโวนอยด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับเจลลาตินหรือสารผสมที่มีเจลลาตินได้

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในวงการอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อใช้ผลิตสารให้กลิ่นรส มีการศึกษาความคงตัวของสารโมโนเทอร์ปีนที่ถูกเอนแคปซูเลทด้วยกัมอะราบิกโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Bertolini *et al.*, 2001) ในการศึกษาเปรียบเทียบกับสาร citral, linalool, β -myrcene, limonene และ β -pinene ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าปริมาณสารที่ถูกกักเก็บสูงสุดคือที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยที่สาร linalool และ citral แสดงการสูญเสียสูงสุดเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาชนิดของไฮโดรคาร์บอน พบว่า β -pinene ถูกกักเก็บได้ดีกว่า limonene ในขณะที่ β -myrcene เป็นสารที่ถูกกักเก็บได้น้อยที่สุด ลักษณะแคปซูลหรือเอนแคปซูเลทที่เตรียมได้มีผิวภายนอกที่ไม่มีรอยแตกหรือรูพรุน มีขนาดโดยเฉลี่ย 15.7-23.2 ไมโครเมตร เมื่อเก็บรักษาผงเอนแคปซูเลทที่ห่อหุ้มด้วยกัมอะราบิกไว้นานขึ้น พบว่าปริมาณสารมีค่าลดลงตามลำดับดังนี้ β -pinene > citral > limonene > β -myrcene > linalool ในขณะที่ Sottitantawat *et al.* (2005) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของอิมัลชันและขนาดอนุภาคของผงเอนแคปซูเลทต่อความคงตัวของสาร d-limonene ที่ถูกเอนแคปซูเลทด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าขนาดอนุภาคของผงเอนแคปซูเลทมีผลต่อความคงตัวของสารให้กลิ่นรส การควบคุมขนาดของผงที่ได้จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยอาจทำได้โดยการควบคุมอัตราเร็วในการหมุนของหัว centrifugal atomizer ของเครื่อง ผงที่มีขนาดอนุภาคใหญ่จะมีความคงตัวสูงกว่าและมีอัตราการปลดปล่อยกลิ่นรสช้ากว่าผงที่มีขนาดอนุภาคเล็ก นอกจากนี้ขนาดอนุภาคของอิมัลชันยังมีผลต่อความคงตัวของผงเอนแคปซูเลทอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

- 1.1 เมล็ดมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ (สวนเนรัฐชลลา) (จังหวัดฉะเชิงเทรา, ประเทศไทย)
- 1.2 น้ำปราศจากไอออน
- 1.3 น้ำมันถั่วเหลือง (ตราอรุณ) (บริษัทน้ำมันพืชไทย จำกัด, ประเทศไทย)
- 1.4 เจลาติน type A (bloom 100) (บริษัทคาร์ติโน เจลาติน จำกัด, ประเทศไทย)
- 1.5 โซเดียมอัลจีเนต (FMC BioPolymer, USA)
- 1.6 มอลโตเดกซ์ตริน (DE 18) (Tate & Lyle, USA)
- 1.7 กัมอะราบิก (TIC Gums, USA)
- 1.8 พอลิกลีเซอร์อล พอลิรีซินโนเลเอท (PGPR 4125) (Palsgaard, Denmark)

HLB~1.5

- 1.9 พอลิออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทน โมโนโอเลเอท (Tween 80) (Rankem, India)

HLB 15

- 1.10 โฟลิน-ซีโอเคาเทอ (Folin-Ciocalteu Reagent) (Loba Chemie, India)
- 1.11 2, 2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮดราซิล (DPPH) (Sigma- Aldrich, USA)
- 1.12 โซเดียมเอไซด์ (NaN_3) (Lab chem, Australia)
- 1.13 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Ajax Finechem, Australia)
- 1.14 โซเดียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Fisher Scientific, USA)
- 1.15 ไดโซเดียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Na_2HPO_4) (Fisher Scientific, USA)
- 1.16 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (Ajax Finechem, Australia)
- 1.17 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (Merck, USA)
- 1.18 เมทานอล (CH_3OH) (Sigma- Aldrich, USA)
- 1.19 เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (Sigma- Aldrich, USA)
- 1.20 กรดแอสติค (CH_3COOH) (Sigma- Aldrich, USA)
- 1.21 น้ำมันแร่ (mineral oil) (Sigma-Aldrich, USA)

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 2.1 เครื่องชั่งแบบ 2 ตำแหน่ง (adventurerTM OHAUS, Ohaus, USA)
- 2.2 เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (ED 224S, Sartorius, Germany)
- 2.3 เครื่องผสมสาร (R560E, Scientific Industry, USA)
- 2.4 เครื่องโฮโมจีไนส์ชนิดความเร็วสูง (Ultra-Turrax T25, IKA, Germany)
- 2.5 เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (ED 224S, Sartorius, Germany)
- 2.6 เครื่องระเหยสารแบบหมุน (R-200, Buchi, Germany)
- 2.7 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Lyolab 3000, Heto, Denmark)
- 2.8 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Zen 3600, Malvern, UK)
- 2.9 กล้องจุลทรรศน์ (Axiolab®, Carl Zeiss GmbH, Germany)
- 2.10 เครื่องเหวี่ยงแยกควบคุมอุณหภูมิ (Rotina 380R, Hettich, Germany)
- 2.11 เครื่องวัดความหนืด (Physica MCR 300, Anton Paar, Germany)
- 2.12 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Helios Alpha, Thermo Spectronic, UK)
- 2.13 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (A/S, Niro, Denmark)
- 2.14 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (WB 14, Memmert, Germany)
- 2.15 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (Docu-pH, Sartorius, Germany)
- 2.16 เครื่องวัดสี (CM – 3500d, Minolta, Japan)
- 2.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM 5600LV, JEOL, Japan)
- 2.18 ตู้อบลมร้อน (FD115, Binder, Germany)
- 2.19 เครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตี (AquaLab series 3TE, Decagon Devices, USA)

3. อุปกรณ์สำหรับประมวลผล

- 3.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ® เวอร์ชัน 12 (บริษัท SPSS จำกัด, ประเทศไทย)
- 3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

วิธีการ

1. การศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของไบโอพอลิเมอร์ต่อสมบัติต่างๆ และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง

1.1 การเตรียมสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (mango seed kernel extract; MSKE)

การสกัดสารจากเมล็ดมะม่วงเตรียมโดยใช้เนื้อในเมล็ดของผลมะม่วงสุกสายพันธุ์โชคอนันต์มาปั่นละเอียด โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเนื้อในเมล็ดมะม่วงต่อน้ำปราศจากไอออนเท่ากับ 1:3 ปั่นเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปกวนผสมในที่มีดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที นำมากรองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรอง Whatman No.4 นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,683 $\times$ g เป็นเวลา 15 นาที นำส่วนใสที่ได้ไประเหยน้ำด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) ภายใต้สุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำสารสกัดไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง แล้วเก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนทำการวิเคราะห์ต่อไป (ดัดแปลงจาก Maisuthisakul and Gordon, 2009; Khammuang and Saranthima, 2011) วิเคราะห์หาปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณความชื้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu's phenol reagent (ดัดแปลงจาก Kähkönen et al., 1999; Maisuthisakul and Gordon, 2009) ใช้กรดแกลลิกเป็นสารละลายมาตรฐาน และวิเคราะห์หาปริมาณการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ดัดแปลงจาก Duan *et al.*, 2006; Maisuthisakul and Gordon, 2009) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คำนวณเป็นร้อยละ Radical scavenging activity นำค่าร้อยละ Radical scavenging activity ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มาสร้างกราฟเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นสารสกัดที่สามารถทำให้ค่าร้อยละ Radical scavenging activity ลดลงร้อยละ 50 (IC_{50})

1.2 การเตรียมสารละลาย

1.2.1 สารละลายสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง

สารละลาย MSKE เตรียมโดยละลาย MSKE ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ พีเอช 7 คนจนละลายจนหมด

1.2.2 สารละลายเจลาติน

สารละลายเจลาตินเตรียมโดย ละลายเจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ พีเอช 7 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที รอให้เย็นจากนั้นผสมกับสารละลาย MSKE ข้างต้น

1.2.3 สารละลายโซเดียมอัลจิเนต

สารละลายโซเดียมอัลจิเนตเตรียมโดย ละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ พีเอช 7 คนจนโซเดียมอัลจิเนตละลายจนหมดเป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นผสมกับสารละลาย MSKE ข้างต้น

1.2.4 สารละลาย Tween 80

สารละลาย Tween 80 เตรียมโดยละลาย Tween 80 ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ พีเอช 7 คนจนละลายจนหมด

1.2.5 สารละลายกัมอะราบิกและมอลโตเดกซ์ตริน

สารละลายกัมอะราบิกความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและสารละลายมอลโตเดกซ์ตรินความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยละลายกัมอะราบิกและ มอลโตเดกซ์ตรินในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ พีเอช 7 คนจนสารละลายจนหมดเป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

1.2.6 สารละลายพอลิกลีเซอรอล พอลิริซิโนเลอ (PGPR)

สารละลาย PGPR เตรียมโดยนำ PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 2-8 โดยน้ำหนัก ละลายในน้ำมันถั่วเหลือง และให้ความร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

1.3 การเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O emulsion)

เตรียมอิมัลชันชนิด W/O โดยเตรียมส่วนผสมเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นเฟสน้ำ ประกอบด้วย สารละลายเจลาตินและ/หรือสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และสารละลาย MSKE เฟสน้ำมันประกอบด้วย สารละลาย PGPR ในน้ำมันถั่วเหลือง นำเฟสน้ำและเฟสน้ำมันผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์ชนิดความเร็วสูง โดยใช้ความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที (ปริมาตรรวมของตัวอย่างที่โฮโมจีไนซ์ คือ 125 มิลลิลิตร) จะได้ตัวอย่างอิมัลชันชนิด W/O ที่มีปริมาณเฟสที่กระจาย (เฟสน้ำ) ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

1.4 การเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W emulsion)

นำอิมัลชันชนิด W/O จากข้อ 1.3 มาผสมกับเฟสน้ำภายนอก ซึ่งประกอบด้วยละลายของอิมัลซิไฟเออร์ชนิดไฮโดรฟิลิก (Tween 80) สารละลายกัมอะราบิก และสารละลายมอลโตเดกซ์-ตริน นำทั้งสองส่วนมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์ชนิดความเร็วสูงโดยใช้ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นาน 2 นาที (ปริมาตรรวมของตัวอย่างที่โฮโมจีไนซ์ คือ 200 มิลลิลิตร) จะได้ตัวอย่างอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีปริมาณเฟสที่กระจาย (อิมัลชันชนิด W/O) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างที่เตรียมได้จะเก็บเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาวัดค่าคุณภาพต่างๆ เช่น การแยกชั้นเป็นครีม ขนาดอนุภาค ความหนืด การตรวจสอบลักษณะอนุภาคอิมัลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน ดังนี้

1.4.1 การแยกชั้นเป็นครีม

การแยกชั้นเป็นครีม เป็นค่าที่แสดงถึงความไม่คงตัวของอิมัลชัน ซึ่งถ้ามีค่าสูงแสดงว่าอิมัลชันไม่มีความคงตัว แต่ถ้ามีค่าต่ำหรือเท่ากับ 0 แสดงว่า อิมัลชันมีความคงตัวดี หลังจากเก็บอิมัลชันไว้จะเกิดชั้นครีมขึ้นด้านบนของอิมัลชันและด้านล่างจะเกิดส่วนใสที่แสงผ่านได้หรือส่วนที่ขุ่นซึ่งเรียกว่าซีรัม การวัดค่าการแยกชั้นเป็นครีมสามารถทำได้โดยนำอิมัลชันชนิด W/O/W จำนวน 10 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง ปิดฝาให้สนิทจากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดค่าการแยกชั้นเป็นครีมที่เวลา 24 ชั่วโมง หลังจากเวลาผ่านไปอิมัลชันจะแยกชั้น โดยส่วนครีมจะอยู่ด้านบน และด้านล่างจะเป็นซีรัม (มีลักษณะโปร่งใสหรือขุ่น) ซึ่งการแยกชั้นเป็นครีมสามารถคำนวณได้จาก ร้อยละการแยกชั้น = $100 \times (H_S/H_E)$ โดยที่ H_E คือส่วนสูงทั้งหมดของอิมัลชันและ H_S คือส่วนสูงทั้งหมดของซีรัม (ดัดแปลงจาก Surh *et al.*, 2007)

1.4.2 การวัดขนาดอนุภาค

วัดขนาดอนุภาคอิมัลชันชนิด W/O และ W/O/W ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค โดยเจือจางอิมัลชันชนิด W/O ด้วยน้ำมันแร่ (mineral oil) ให้ขนาดอนุภาคภายในมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก นำอิมัลชันที่ได้บรรจุลงในเซลล์ DTS-0012 disposable sizing cuvette ใช้น้ำมันแร่เป็น dispersant ซึ่งมีค่า reflective index 1.467 และความหนืดเท่ากับ 57 เซนติพอยส์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดค่าขนาดอนุภาค สำหรับอิมัลชันชนิด W/O/W วัดขนาดอนุภาคโดยเจือจางอิมัลชันชนิด W/O/W ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ให้อนุภาคมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำอิมัลชันที่ได้บรรจุลงในเซลล์ DTS-0012 disposable sizing cuvette โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็น dispersant ซึ่งมีค่า reflective index 1.330 และความหนืดเท่ากับ 0.8872 เซนติพอยส์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดค่าขนาดอนุภาค รายงานเป็นค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยึดตาม Cumulants mean หรือ เรียกว่า Z-average (Malvern Instruments, 2003)

1.4.3 ความหนืด

วัดความหนืดของสารละลายเจลาติน สารละลายโซเดียมอัลจินต อิมัลชันชนิด W/O และ W/O/W ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ นำตัวอย่างอิมัลชันใส่ลงในกระบอกวัดแบบทรงกระบอก (concentric cylinder, CC27) ทำการวัดโดยเพิ่มอัตราเฉือน (shear rate) $1-1000\text{ s}^{-1}$ ควบคุมอุณหภูมิระหว่างการวัดที่ 25 องศาเซลเซียส สังเกตและบันทึกค่าความหนืด อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน (shear stress) กับอัตราเฉือน (shear rate) ของความหนืดอิมัลชันได้ด้วย 2 พารามิเตอร์ของสมการ power law จากสมการที่ 1

$$\tau = K\sigma^n \quad (1)$$

โดย τ = คือ ค่า shear stress

σ = คือ ค่า shear rate

K = คือ ค่า consistency index

n = คือ ค่า flow index

$n = 1$ คือ อิมัลชันแสดงพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian)

$n < 1$ คือ อิมัลชันแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning

$n > 1$ คือ อิมัลชันแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ shear thickening

1.4.4 การตรวจสอบลักษณะอิมัลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์

ตรวจสอบลักษณะอิมัลชันชนิด W/O/W ด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Surh et al. (2007) โดยเขย่าอิมัลชันที่เก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงให้อิมัลชันเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นหยดอิมัลชันบนแผ่นสไลด์และปิดทับด้วยแผ่นกระจก (cover glass) แล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Axiolab®, Carl Zeiss Ple Ltd., Germany) กำลังขยาย 100 เท่า

1.4.5 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation efficiency; EE)

นำตัวอย่างอิมัลชันชนิด W/O/W ทั้งที่มีและไม่มี MSKE มาเหวี่ยงแยกเอาส่วนเฟสน้ำภายนอกแยกออกจากส่วนครีมด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกที่ $13,640 \times g$ เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นใช้หลอดฉีดดูดสารละลายส่วนใสของอิมัลชันปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เดิมโฟลิน 1 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ร้อยละ 7.5 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากัน เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในที่มืดนาน 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก จะได้เป็นปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม สมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัดเมล็ดมะม่วงแห้ง 1 กรัม, mg GAE/g) จากนั้นนำปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากการเหวี่ยงแยกมาคำนวณค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันจากสมการที่ 2 และ 3 (ดัดแปลงจาก Maisuthisakul and Gordon, 2012)

$$TP_s = [TP_e - TP_o] \quad (2)$$

โดย TP_s = ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้

TP_e = ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของอิมัลชันที่มีส่วนผสมของ MSKE

TP_o = ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของอิมัลชันที่ไม่มีส่วนผสมของ MSKE

$$EE (\%) = \left[1 - \left(\frac{TP_s}{TP_p} \right) \right] \times 100 \quad (3)$$

โดย TP_p = ปริมาณฟีนอลิกเริ่มต้นของ MSKE ในเฟสน้ำภายใน

2. การศึกษาผลของสารหล่อหุ้มในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงเอนแคปซูเลทที่เตรียมได้จากอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง

เตรียมตัวอย่างอิมัลชันชนิด W/O/W ที่ได้คัดเลือกความชนิดและเข้มข้นของ PGPR และไบโอพอลิเมอร์จากตอนที่ 1 โดยการทดลองในตอนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน ที่แปรเปลี่ยนความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินในเฟสน้ำภายนอกของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ก่อนนำไปเข้ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดสภาวะในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ใช้อุณหภูมิลมเข้าและลมออกที่ 180 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัตราการไหลของตัวอย่างเข้าเครื่อง 11-12 มิลลิลิตรต่อนาที จะได้ตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผง นำตัวอย่างที่ได้ใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ค่าต่อไป โดยค่าคุณภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี ความสามารถในการละลาย สี ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารประกอบทางชีวภาพทั้งหมด ปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิว และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน ดังนี้

2.1 ความชื้น

ชั่งผงเอนแคปซูเลท MSKE ประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาอะลูมิเนียมระหว่างอบตัวอย่าง อบตัวอย่างจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างจะคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างออกมาใส่เดสิคเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บันทึกน้ำหนัก คำนวณปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

2.2 วอเตอร์แอกติวิตี

นำผงเอนแคปซูเลท MSKE อย่างใส่ภาชนะพลาสติกประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะเพื่อวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อตัวอย่างถึงสมดุล รอประมาณ 2-3 นาที จึงอ่านค่าวอเตอร์แอกติวิตี

2.3 ความสามารถในการละลาย

นำผงเอนแคปซูเลท MSKE 1.25 กรัม และน้ำปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร ผสมกันในหลอดขนาด 85 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ $13,640 \times g$ นาน 20 นาที นำส่วนที่ลอยอยู่ที่ผิวด้านบนของน้ำมาใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ นำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นร้อยละดัชนีการละลายน้ำ (Water solubility index) ตามสมการที่ 4 (Anderson *et al.*, 1969; Kha *et al.*, 2010)

$$\text{ดัชนีการละลายน้ำ} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (4)$$

2.4 ค่าสีของตัวอย่าง

ตักผงเอนแคปซูเลท MSKE ใส่จานแก้วใส (plate) ประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมมอง 10° แสดงผลเป็นค่า L^* , a^* , b^* , chroma และ hue angle (Obon *et al.*, 2009)

2.5 ลักษณะของอนุภาคที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ตักผงเอนแคปซูเลท MSKE มาวางบนเทปกาวยสองหน้าชนิดบางที่ติดอยู่บนแท่ง aluminium stub ใช้ลูกยางเป่าลมให้ตัวอย่างกระจายทั่วบนเทปกาวยสองหน้า นำแท่ง aluminium stub ที่ติดตัวอย่างเข้าเครื่องเคลือบทองเพื่อช่วยนำประจุอิเล็กตรอน หลังจากนั้นนำแท่ง aluminium stub ที่ผ่านการเคลือบทองใส่ในช่องสำหรับวางแท่ง aluminium stub ภายในตัวกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตรวจดูขนาดและการกระจายของอนุภาคผงเอนแคปซูเลท MSKE ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เลือกบริเวณที่ต้องการถ่ายภาพ ปรับโฟกัสของภาพให้ชัด บันทึก ภาพลงแผ่นซีดี

2.6 ปริมาณสารประกอบทางชีวภาพทั้งหมด (Total bioactive compound; TB)

นำผงเอนแคปซูเลท MSKE มาทำลายโครงสร้างการห่อหุ้ม โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Robert *et al.* (2010) เริ่มจากนำผงเอนแคปซูเลท 200 มิลลิกรัม มาละลายในสารละลายผสมของ

เอทานอล:อะซิติก:น้ำ ในอัตราส่วน 50:8:42 โดยปริมาตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าสาร (vortex) นาน 3 นาที จากนั้นนำไปผ่าน ultrasonicator 2 ครั้ง นานครั้งละ 20 นาที เมื่อครบ 2 ครั้ง นำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 13,640 ×g เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นใช้หลอดฉีดยาดูดสารละลายส่วนใส (ด้านล่าง) และนำไปผ่านการกรองโดยใช้ตัวกรองขนาด 0.22 ไมโครเมตร ดูดสารละลายส่วนใสหลังจากผ่านตัวกรอง ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมฟอลิน 1 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากัน เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในที่มืดนาน 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก จะได้เป็นปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัดเมธอดมะม่วงแห้ง 1 กรัม, mg GAE/g)

2.7 ปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิว (Surface bioactive compound; SB) และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation efficiency; EE)

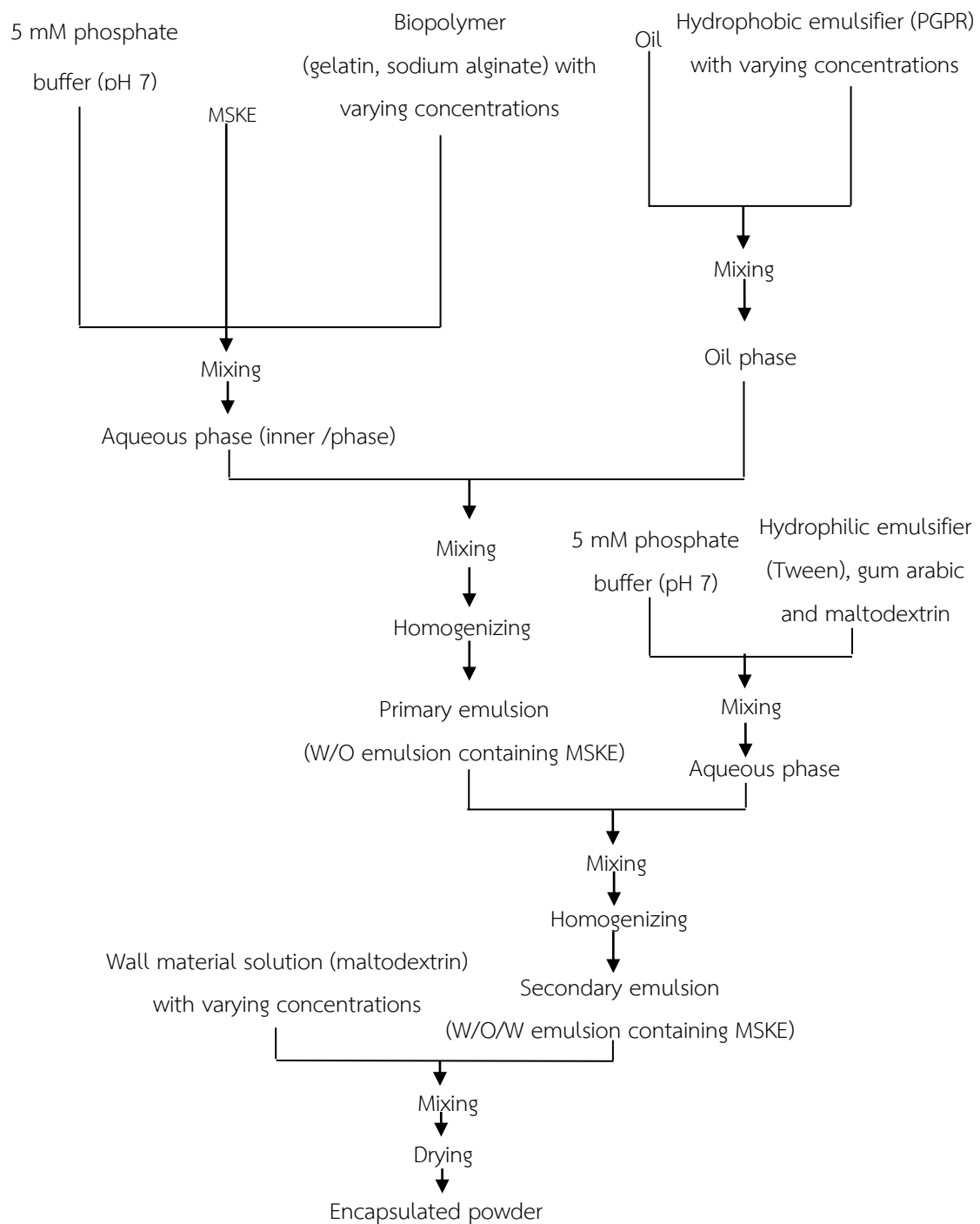
การหาปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิวดัดแปลงจากวิธีการของ Robert *et al.* (2010) โดยนำผงเอนแคปซูเลชัน 200 มิลลิกรัม มาละลายในสารละลายผสมของเอทานอล:เมทานอล ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องเขย่าสาร (vortex) นาน 3 นาที ใช้หลอดฉีดยาดูดสารละลายออกมาและกรองผ่านตัวกรองโดยใช้ตัวกรองขนาด 0.22 ไมโครเมตร จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสที่ได้ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมฟอลิน 1 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากัน เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในที่มืดนาน 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก จะได้เป็นปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัดเมธอดมะม่วงแห้ง 1 กรัม, mg GAE/g) จากนั้นนำปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้มาคำนวณค่าปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิว (surface bioactive compound; SB) ตามสมการที่ 5 และคำนวณประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation efficiency; EE) ตามสมการที่ 6

$$\text{SB (\%)} = \frac{\text{SB}}{\text{TB}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{EE (\%)} = 100 - \text{SB(\%)} \quad (6)$$

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ (replications) และนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ® เวอร์ชัน 12



ภาพที่ 5 การศึกษาผลของ PGPR และไบโอพอลิเมอร์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE ในอิมัลชันชนิด W/O/W และผงเอนแคปซูเลท MSKE

ผลและวิจารณ์

จากการเตรียมสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (mango seed kernel extract; MSKE) พันธุ์โชคอนันต์ที่เตรียมโดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย พบว่า MSKE ที่ไม่มีสีเหลือง มีปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้ คือ ร้อยละ 6.27 ปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 11.51 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คือ 11.14 $\mu\text{g}/\text{m}$ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ MSKE มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khammuang and Saranthima (2011) ที่ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด พบว่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 399.8 (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัดเมล็ดมะม่วงแห้ง 1 กรัม, mg GAE/g) นอกจากนี้มีการศึกษาปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อในเมล็ดมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่ผ่านการตากแดดและผ่านการอบแห้ง โดยใช้ เอทานอลร้อยละ 95 เป็นตัวทำละลายและกรดแทนนิก (tannic acid; TAE) เป็นสารมาตรฐาน พบว่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 44.5-89.9 mg TAE/g (Maisuthisakul and Gordon, 2009) เมื่อพิจารณาผลของกระบวนการสกัด มีรายงานการวิจัยของ Maisuthisakul and Gordon (2009) ได้ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่ผ่านการตากแดดและใช้การแช่และย่อย ด้วยกรดในการสกัด พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 90.0-286.0 mg TAE/g ค่าความแตกต่างของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องมาจาก วิธีการสกัด ความหลากหลายของมะม่วง แหล่งที่ปลูก (Yuri *et al.*, 2009) ความแก่อ่อน (Jiang *et al.*, 2006) ปีที่เก็บเกี่ยว (Jiang *et al.*, 2006) และสถานะในการเก็บ (Rössle *et al.*, 2009) เป็นต้น

จากการตรวจสอบหาความเข้มข้นของ MSKE ที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) พบว่า MSKE มีค่า IC_{50} เท่ากับ 11.14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร การรายงานผลเป็นค่า IC_{50} หมายถึง ค่าที่มีค่าน้อยจะแสดงความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงกว่าค่าที่มีค่ามาก จากงานวิจัยของ Khammuang and Saranthima (2011) ที่ศึกษาโดยใช้เนื้อในเมล็ดมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ พบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.45 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และศึกษาโดยใช้มะม่วงพันธุ์อื่นคือน้ำดอกไม้ พาลันและแก้ว มีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.74, 4.06 และ 9.31 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้นค่า IC_{50} ของเนื้อในเมล็ดมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์จากงานวิจัยของ Khammuang and Saranthima (2011) มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสารมาตรฐาน พบว่า ค่า IC_{50} ของ MSKE มีค่าน้อยกว่าสารมาตรฐาน เช่น กรดแกลลิกมีค่า IC_{50} เท่ากับ 3.82 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร butylated hydro-xylanisole (BHA) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 3.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร 6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic Acid (Trolox)

มีค่า IC_{50} เท่ากับ 4.82 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และวิตามินซี มีค่า IC_{50} เท่ากับ 8.85 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (Khammuang and Saranthima, 2011)

จากนั้นนำ MSKE ที่เตรียมได้มาทำการเอนแคปซูเลชัน โดยใช้อิมัลชันชนิด W/O/W ซึ่งชนิดและความเข้มข้นของไบโอพอลิเมอร์ที่ใช้คือ เจลาติน (ความเข้มข้นร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก) และ โซเดียมอัลจิเนต (ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-1.5 โดยน้ำหนัก) เติมไบโอพอลิเมอร์ในส่วนของเฟสน้ำภายใน โดยจะทำการศึกษาร่วมกับไฮโดรโฟบิกอิมัลซิไฟเออร์ นั่นคือ พอลิกลีเซอรอล พอลิวินิลแอลกอฮอล์ (PGPR) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2-8 โดยน้ำหนัก ในเฟสน้ำมัน เพื่อทราบสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันที่เตรียมได้ ดังนั้นในตอนต้นที่ 1 จะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ (1) ผลของ PGPR และเจลาติน และ (2) ผลของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนต ดังนี้

1. ผลของชนิดและความเข้มข้นของไบโอพอลิเมอร์ต่อความคงตัวและประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง

1.1 ผลของ PGPR และเจลาตินต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มี MSKE

การทดลองตอนที่ 1.1 นี้ ได้ทำการศึกษาผลของ PGPR ในเฟสน้ำมันและเจลาตินในเฟสน้ำภายในต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของอิมัลชันที่เตรียมได้ ได้แก่ การแยกชั้นเป็นครีม ขนาดอนุภาค ความหนืด ลักษณะโครงสร้างภายในของอิมัลชัน รวมทั้งประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน ได้ผลดังนี้

1.1.1 การแยกชั้นเป็นครีม (creaming) ของอิมัลชัน

อิมัลชันชนิด W/O/W ประกอบด้วยอิมัลชันชนิด W/O ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำกับน้ำมันร้อยละ 20:80 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำอิมัลชันชนิด W/O รวมกับเฟสน้ำภายนอกที่มี Tween 80 โมลโตเดกซ์ตรินและกัมอะราบิก โดยอัตราส่วนที่ใช้ คือ อิมัลชันชนิด W/O ต่อเฟสน้ำภายนอกเท่ากับร้อยละ 10:90 โดยน้ำหนัก เมื่อเก็บอิมัลชันชนิด W/O/W ในหลอดทดลองที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดค่าการแยกชั้นเป็นครีม พบว่า เกิดการแยกชั้นเป็นครีมมากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้นานขึ้น โดยมีส่วนชั้นครีมด้านบนและชั้นของเหลวใสด้านล่าง การแยกชั้นนี้เป็นผลจากแรงโน้มถ่วงเนื่องจากค่าความหนาแน่นของไขมันต่ำกว่าความหนาแน่นของน้ำในเฟสต่อเนื่อง (McClements,

2005) จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าการแยกชั้นเป็นครีมของอิมัลชันชนิด W/O/W เมื่อพิจารณาจากการสังเกตด้วยตา (ไม่แสดงข้อมูล) พบว่า มีความใกล้เคียงกันในทุกๆ ความเข้มข้นของ PGPR และเจลาติน แต่เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วง 70.59-74.38

ตารางที่ 3 การแยกชั้นเป็นครีมของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีเจลาติน MSKE และ PGPR

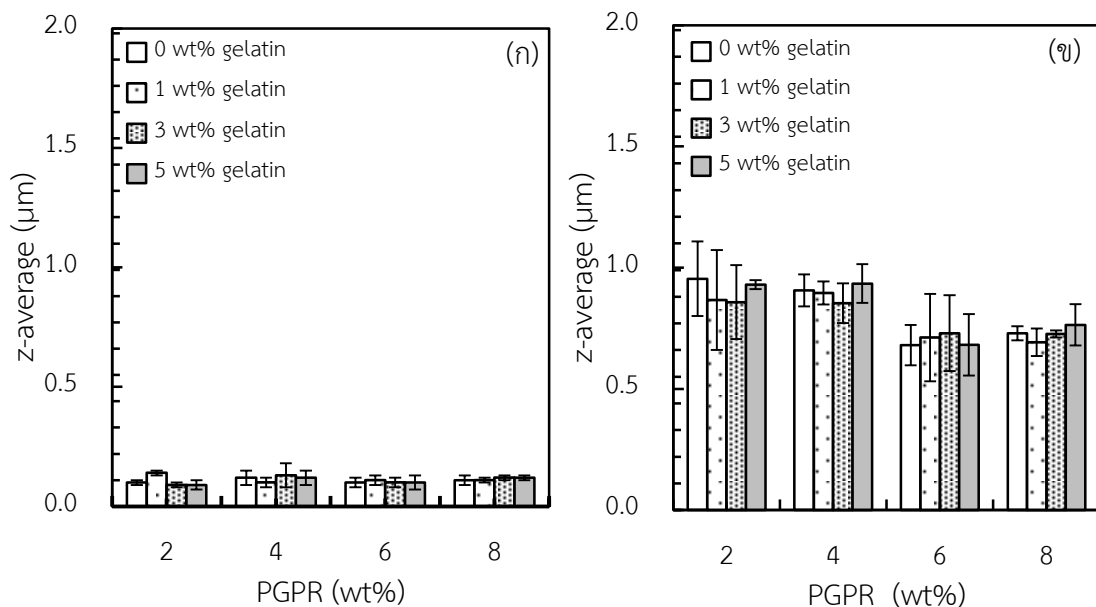
Gelatin (wt%)	PGPR (wt%)			
	2	4	6	8
0	71.55 ^{bA} ± 0.58	74.23 ^{aA} ± 0.02	73.74 ^{aA} ± 0.71	74.38 ^{aA} ± 1.11
1	70.59 ^{cA} ± 1.08	72.15 ^{bAB} ± 0.71	72.80 ^{bAB} ± 0.12	74.15 ^{aA} ± 0.19
3	70.71 ^{cA} ± 0.51	73.23 ^{aB} ± 0.51	71.60 ^{abB} ± 0.99	73.09 ^{aA} ± 1.15
5	71.04 ^{aA} ± 1.27	72.29 ^{aB} ± 0.75	72.10 ^{aB} ± 0.55	72.68 ^{aA} ± 1.24

หมายเหตุ a-b/ A-B หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอน/แนวตั้งที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.1.2 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน

เมื่อตรวจสอบขนาดอนุภาคของอิมัลชันชนิด W/O และอิมัลชันชนิด W/O/W พบว่า อนุภาคของอิมัลชันชนิด W/O มีการกระจายตัวของอนุภาคแบบปกติ (monomodal distribution) คือ อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยมีการกระจายขนาดอนุภาคแคบอยู่ในช่วง 0.1 ไมโครเมตร (ภาคผนวกที่ 2) ส่วนอิมัลชันชนิด W/O/W มีการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ polymodal distribution คือขนาดอนุภาคมีการกระจายตัวสูง มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1 ไมโครเมตร (ภาคผนวกที่ 3) การทดลอง พบว่า ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (z-average) ของอิมัลชันชนิด W/O มีขนาดเล็กกว่า 0.12 ไมโครเมตร (ภาพที่ 6ก) และขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของอิมัลชันชนิด W/O/W มีขนาดอยู่ในช่วง 0.66-0.99 ไมโครเมตร (ภาพที่ 6ข) เมื่อพิจารณาผลของเจลาติน พบว่า เจลาตินมีผลต่อขนาดอนุภาคอิมัลชันชนิด W/O/W เมื่อมีความเข้มข้นของ PGPR ในเฟสน้ำมันร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบผลของ PGPR และเจลาติน พบว่า PGPR มีผลต่อขนาดอนุภาคอิมัลชันมากกว่าเจลาติน เพราะ PGPR มีสมบัติเป็นอิมัล-

ซีไฟเออร์ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PGPR ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงอาจเนื่องจากมีปริมาณ PGPR ที่เพียงพอในการรักษาความคงตัวบริเวณผิวสัมผัสร่วมของอนุภาคในอิมัลชันชนิด W/O (Su *et al.*, 2006) แต่ทั้ง PGPR และเจลาตินมีผลต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันน้อย เนื่องจากปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันจะขึ้นอยู่กับชนิดและแรงในการโฮโมจีไนเซชันมากกว่า (Surh *et al.*, 2007)



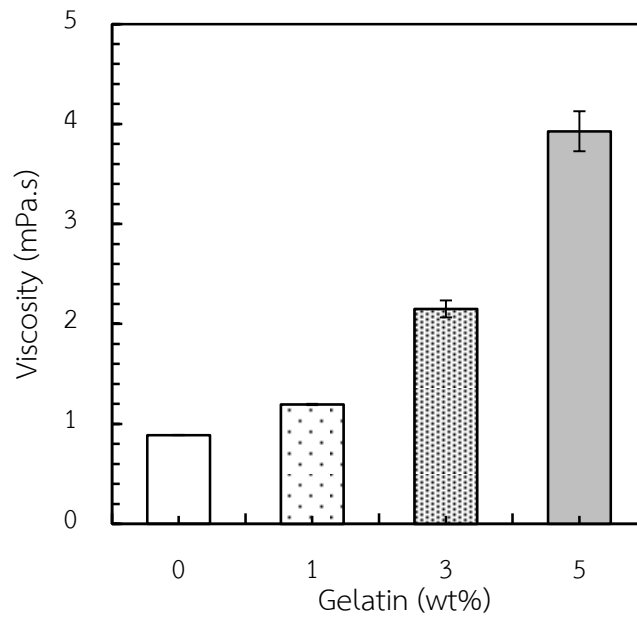
ภาพที่ 6 ขนาดอนุภาคของอิมัลชันชนิด W/O (ก) และอิมัลชันชนิด W/O/W (ข) ที่มีเจลาติน MSKE และ PGPR

1.1.3 ความหนืดของเจลาตินและอิมัลชัน (viscosity)

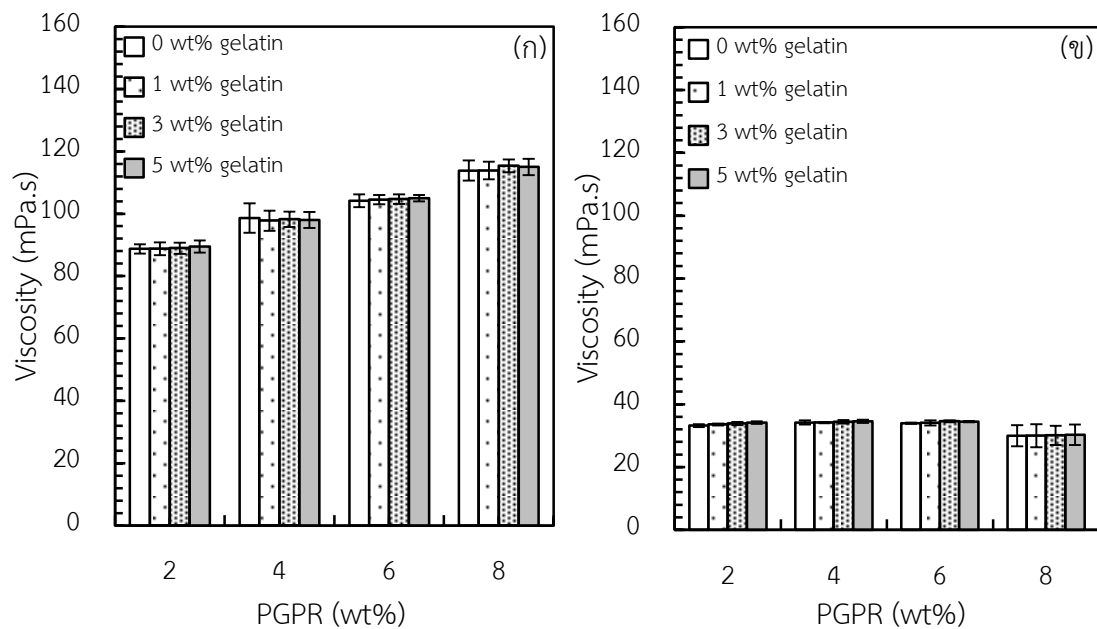
ความหนืดของสารละลายเจลาตินที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1} แสดงดังภาพที่ 7 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจลาตินทำให้มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ขณะที่ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O และอิมัลชันชนิด W/O/W ที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1} แสดงดังภาพที่ 8 พบว่า การเติมเจลาตินไม่มีผลต่อค่าความหนืดของอิมัลชัน แต่การเติม PGPR มีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน โดยพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PGPR จากความเข้มข้นร้อยละ 2 ถึง 8 โดยน้ำหนัก จะทำให้ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O เพิ่มขึ้นจาก 88.73 mPa.s เป็น 115.00 mPa.s (ภาพที่ 8ก) เนื่องจากความหนืดของอิมัลชันที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเสียดสีกันของอนุภาคน้ำมัน ด้วยเหตุนี้ถ้าความเข้มข้นของอนุภาคน้ำมันเพิ่มขึ้นความหนืดของอิมัลชันจะเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้ว ความหนืดของ

อิมัลชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออนุภาคเกิดการเกาะกลุ่มกัน (floculate) ทำให้เฟสต่อเนื่องถูกกักเก็บไว้ภายในโครงสร้างที่เกิดการรวมตัวกัน (McClements, 2007) และจากงานวิจัยของ Su *et al.* (2006) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PGPR จะทำให้มีปริมาณ PGPR เพียงพอที่จะดูดซับที่บริเวณผิวสัมผัสร่วมจึงช่วยสร้างความคงตัวให้กับอนุภาคได้ ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น และเมื่อพิจารณาความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O/W พบว่า อิมัลชันมีความหนืดในช่วง 29.95-34.60 mPa.s (ภาพที่ 8ข)

จากสมการ power-law (สมการที่ 1) พบว่าในทุกความเข้มข้นของ PGPR และเจลาตินมีค่า regression coefficients (r^2) มากกว่า 0.98 โดยในอิมัลชันชนิด W/O มีค่า n ประมาณ 1 ในทุกความเข้มข้นของ PGPR และเจลาติน (ตารางที่ 4) ขณะที่อิมัลชันชนิด W/O/W n มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกความเข้มข้นของ PGPR และเจลาติน (ตารางที่ 5) นั่นคือ อิมัลชันชนิด W/O จะมีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian คือ ความหนืดจะไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน ขณะที่อิมัลชันชนิด W/O/W จะมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning คือ เมื่อเพิ่มอัตราเฉือนจะทำให้ความหนืดลดลง โดยอิมัลชันที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning จะพบได้ในอิมัลชันที่มีอนุภาคเกิดการเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากขณะเพิ่มอัตราเฉือนจะเกิดการสูญเสียและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (McClements, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า K ของอิมัลชันชนิด W/O มีค่ามากกว่าอิมัลชันชนิด W/O/W ในทุกความเข้มข้นของ PGPR และเจลาติน แสดงให้เห็นว่าเฟสต่อเนื่องของอิมัลชันชนิด W/O มีความหนืดมากกว่าเฟสต่อเนื่องของอิมัลชันชนิด W/O/W



ภาพที่ 7 ความหนืดของสารละลายเจลาตินที่มีเจลาตินที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1}



ภาพที่ 8 ความหนืดปรากฏของอิมัลชันชนิด W/O (ก) และอิมัลชันชนิด W/O/W (ข) ที่มีเจลาติน MSKE และ PGPR ที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1}

ตารางที่ 4 Power-law model ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O ที่มีเจลาติน MSKE และ PGPR

Gelatin (wt%)	2 wt% PGPR		4 wt% PGPR		6 wt% PGPR		8 wt% PGPR	
	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)
0	0.918 ^{dA} ± 0.00	0.121 ^{aA} ± 0.00	0.942 ^{cB} ± 0.00	0.122 ^{aA} ± 0.01	0.939 ^{bB} ± 0.01	0.130 ^{aA} ± 0.01	0.980 ^{bC} ± 0.01	0.122 ^{aA} ± 0.01
1	0.948 ^{cC} ± 0.01	0.107 ^{bAB} ± 0.00	0.995 ^{bB} ± 0.00	0.099 ^{bC} ± 0.00	1.000 ^{aB} ± 0.00	0.104 ^{bBC} ± 0.00	1.006 ^{aA} ± 0.00	0.111 ^{bA} ± 0.00
3	0.991 ^{bC} ± 0.00	0.091 ^{cD} ± 0.00	1.001 ^{aB} ± 0.00	0.098 ^{bC} ± 0.00	1.004 ^{aB} ± 0.00	0.103 ^{bB} ± 0.00	1.005 ^{aA} ± 0.00	0.113 ^{bA} ± 0.00
5	1.002 ^{aC} ± 0.00	0.089 ^{cD} ± 0.00	1.002 ^{aA} ± 0.00	0.097 ^{bC} ± 0.00	1.004 ^{aA} ± 0.00	0.103 ^{bB} ± 0.00	1.006 ^{aA} ± 0.00	0.112 ^{bA} ± 0.00

a-d/A-D หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง/แนวนอนที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

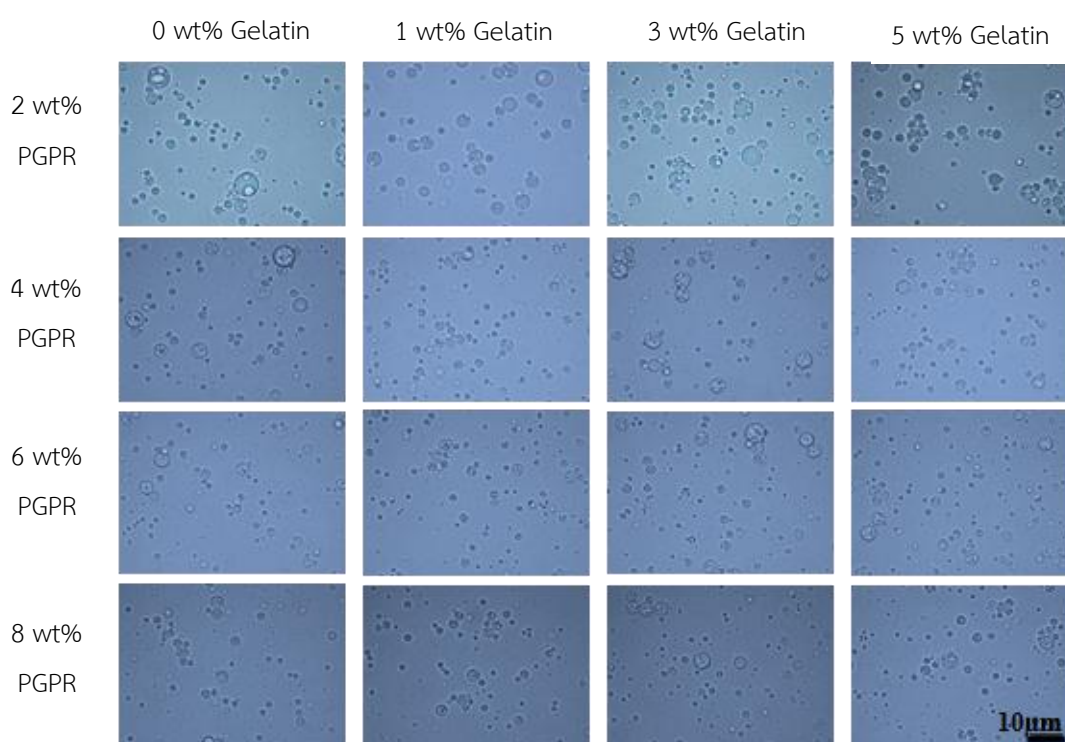
ตารางที่ 5 Power-law model ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีเจลาติน MSKE และ PGPR

Gelatin (wt%)	2 wt% PGPR		4 wt% PGPR		6 wt% PGPR		8 wt% PGPR	
	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)
0	0.788 ^{aA} ± 0.00	0.080 ^{aA} ± 0.00	0.782 ^{aA} ± 0.00	0.085 ^{aA} ± 0.00	0.771 ^{aB} ± 0.00	0.088 ^{bA} ± 0.00	0.763 ^{aC} ± 0.00	0.081 ^{aA} ± 0.01
1	0.787 ^{aA} ± 0.00	0.081 ^{aA} ± 0.00	0.772 ^{aB} ± 0.00	0.088 ^{aA} ± 0.00	0.767 ^{aAB} ± 0.00	0.090 ^{abA} ± 0.00	0.763 ^{aC} ± 0.00	0.081 ^{aA} ± 0.01
3	0.787 ^{aA} ± 0.01	0.082 ^{aA} ± 0.00	0.778 ^{aB} ± 0.00	0.087 ^{aA} ± 0.00	0.769 ^{aC} ± 0.00	0.091 ^{aA} ± 0.00	0.759 ^{aD} ± 0.00	0.082 ^{aA} ± 0.01
5	0.793 ^{aA} ± 0.00	0.081 ^{aB} ± 0.00	0.777 ^{aB} ± 0.01	0.087 ^{aAB} ± 0.00	0.770 ^{aBC} ± 0.00	0.090 ^{aA} ± 0.00	0.760 ^{aC} ± 0.00	0.083 ^{aAB} ± 0.01

a-d/A-D หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง/แนวนอนที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.1.4 ลักษณะโครงสร้างภายในอิมัลชัน (microstructure)

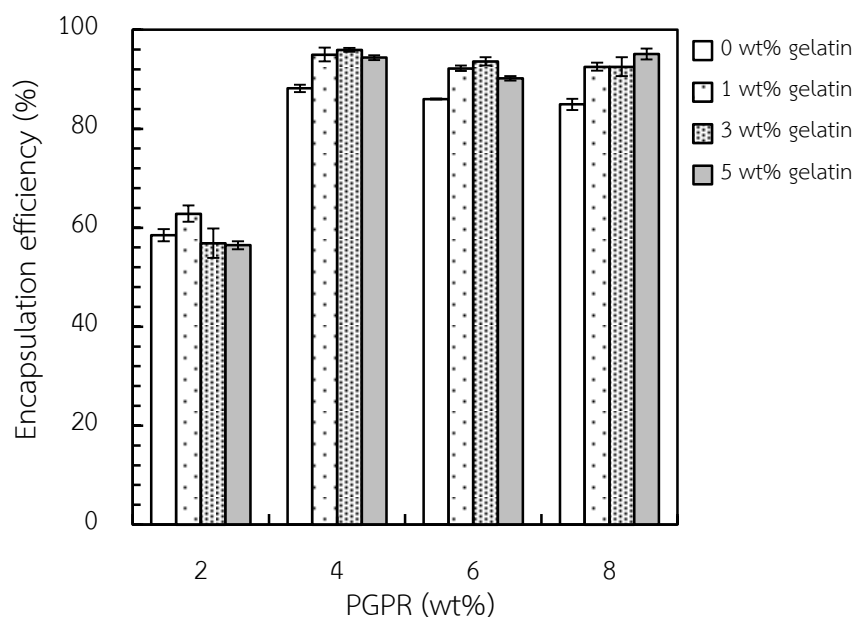
เมื่อพิจารณาภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างภายในของอนุภาคอิมัลชัน (ภาพที่ 9) พบว่า อนุภาคของอิมัลชันมีการกระจายตัวที่ดี โดยอิมัลชันมีลักษณะที่อนุภาคของเฟสที่กระจายประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กกว่าหลายอนุภาคกระจายอยู่ในเฟสน้ำภายในไม่แตกต่างกันในทุกตัวอย่าง โดยจะสังเกตเห็นชัดเจนที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 4-8 โดยน้ำหนัก พบว่า มีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างเล็กและมีลักษณะเป็นอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีความสมบูรณ์ อาจเนื่องจากมีปริมาณ PGPR ที่เพียงพอในการรักษาความคงตัวที่ผิวสัมผัสร่วมของอนุภาคน้ำในอิมัลชันชนิด W/O (Su *et al.*, 2006) ทำให้อนุภาคอิมัลชันทนต่อแรงในการโฮโมจีไนซ์ครั้งที่ 2 ได้ ขณะที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่และมีลักษณะเป็นอิมัลชันชนิด W/O/W ที่ไม่มีความสมบูรณ์ คือ มีอนุภาคน้ำในเฟสน้ำภายในของอิมัลชันเคลื่อนที่ออกมายังเฟสน้ำภายนอกของอิมัลชัน อาจเนื่องจากมีปริมาณ PGPR ที่ไม่เพียงพอในการรักษาความคงตัวที่ผิวสัมผัสร่วมของอนุภาคในอิมัลชันชนิด W/O ทำให้เมื่อถูกแรงในการโฮโมจีไนซ์ครั้งที่ 2 จะเกิดการเสียสภาพได้ง่าย



ภาพที่ 9 ลักษณะโครงสร้างภายในของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีเจลาติน MSKE และ PGPR ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100X

1.1.5 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation efficiency)

ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE พิจารณาจากการเหวี่ยงแยกอิมัลชัน ชนิด W/O/W ให้ MSKE ที่อยู่ในเฟสน้ำภายในเคลื่อนที่ผ่านเฟสน้ำมันมาอยู่ในเฟสน้ำภายนอก จากนั้นหาปริมาณของ MSKE ที่อยู่ในเฟสน้ำภายนอก โดยการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันคำนวณจากสมการที่ 3 จากภาพที่ 10 พบว่า ความเข้มข้นของ PGPR และเจลาตินมีผลต่อประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน โดยเมื่อพิจารณาผลของเจลาติน พบว่า อิมัลชันที่มีเจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 1-5 โดยน้ำหนัก ในเฟสน้ำภายในจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (ค่าที่ได้มากกว่าร้อยละ 90) เนื่องจากเจลาตินช่วยเพิ่มความหนืด และเกิดเจลได้ในเฟสน้ำภายในทำให้ชะลอการเคลื่อนที่ของ MSKE ในเฟสน้ำภายในให้เคลื่อนที่ผ่านเฟสน้ำมันออกมาถึงเฟสน้ำภายนอกช้าลงได้ (Surh *et al.*, 2007) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับในหลายงานวิจัยที่ใช้เจลาตินในเฟสน้ำภายในเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันได้ (Fechner *et al.*, 2007; O'Regan *et al.*, 2010) และอาจเป็นผลจากการที่สารประกอบประเภท ฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สามารถเกิด cross-link กับโมเลกุลของเจลาตินได้ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่าย ที่มีขนาดเล็กและแข็งแรง (Strauss and Gibson, 2004) เมื่อพิจารณาผลของ PGPR พบว่า ที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันต่ำ (ค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 56-63) กว่าที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 4-8 โดยน้ำหนัก (ค่าที่ได้มากกว่าร้อยละ 90) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความเข้มข้นของ PGPR ไม่เพียงพอต่อการรักษาความคงตัวของอนุภาคอิมัลชันระหว่างการเหวี่ยงแยกจึงไม่สามารถกักเก็บ MSKE ได้ ดังนั้น ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE จะขึ้นอยู่กับความคงตัวของอนุภาคอิมัลชันซึ่งสามารถควบคุมได้โดยอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือ PGPR ที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ไบโอพอลิเมอร์ที่เลือกใช้คือ เจลาตินในเฟสน้ำภายในยังช่วยให้การเคลื่อนที่ของ MSKE จากเฟสน้ำภายในมายังเฟสน้ำภายนอกช้าลงได้



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE ของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีเจลาติน MSKE และ PGPR

1.2 ผลของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนตต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มี MSKE

การทดลองตอนที่ 1.2 เป็นการศึกษาผลของ PGPR ในเฟสน้ำมันและโซเดียมอัลจิเนตในเฟสน้ำต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของอิมัลชันที่เตรียมได้ ได้แก่ การแยกชั้นเป็นครีม ขนาดอนุภาค ความหนืด ลักษณะโครงสร้างภายในของอิมัลชัน รวมทั้งประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน ได้ผลดังนี้

1.2.1 ค่าการแยกชั้นเป็นครีม (creaming)

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่าการแยกชั้นเป็นครีมของอิมัลชันชนิด W/O/W เมื่อพิจารณาจากการสังเกตด้วยตา (ไม่แสดงข้อมูล) พบว่า มีความใกล้เคียงกันในทุกๆ ความเข้มข้นของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนต แต่เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วง 71.21-76.01 ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลของ PGPR และ เจลาตินในตอนๆที่ 1.1.1

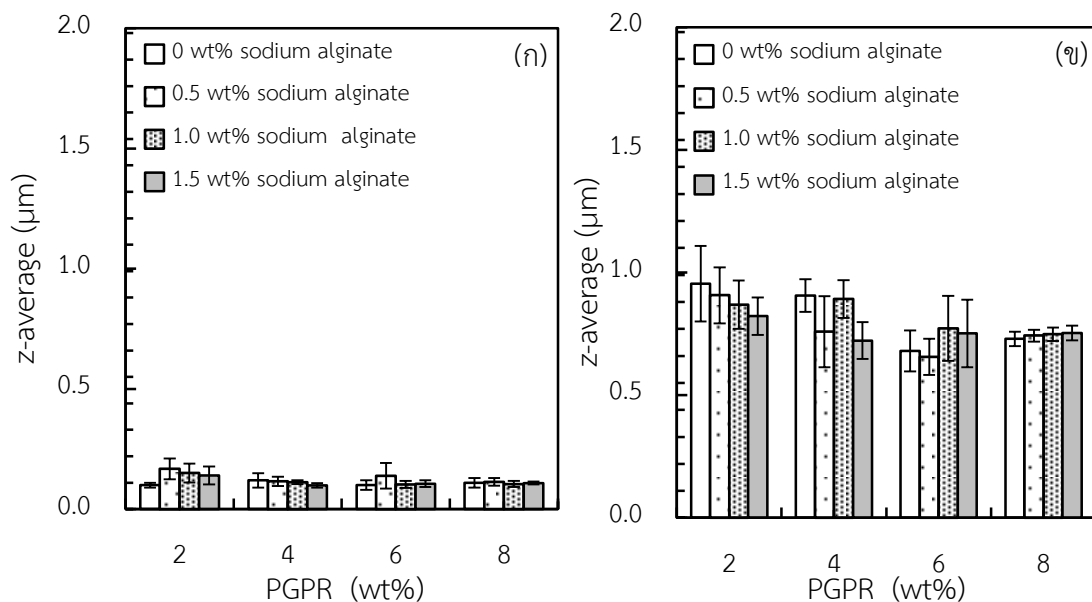
ตารางที่ 6 การแยกชั้นเป็นครีมของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีโซเดียมอัลจิเนต MSKE และ PGPR

Sodium alginate (wt%)	PGPR (wt%)			
	2	4	6	8
0.0	71.55 ^{bAB} ±0.58	74.23 ^{aA} ±0.02	73.90 ^{aA} ±0.71	74.92 ^{aAB} ±1.11
0.5	72.08 ^{cA} ±0.00	72.73 ^{bB} ±0.00	72.48 ^{bB} ±0.42	75.36 ^{aAB} ±0.09
1.0	71.21 ^{cB} ±0.00	72.73 ^{bB} ±0.00	72.73 ^{bB} ±0.00	74.75 ^{aB} ±0.27
1.5	71.21 ^{cB} ±0.00	72.22 ^{bB} ±0.87	72.56 ^{bB} ±0.29	76.01 ^{aA} ±0.00

หมายเหตุ a-b/ A-B หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอน/แนวตั้งที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.2.2 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน

เมื่อตรวจสอบขนาดอนุภาคของอิมัลชันชนิด W/O และอิมัลชันชนิด W/O/W พบว่า อนุภาคของอิมัลชันชนิด W/O มีการกระจายตัวของอนุภาคแบบปกติ (monomodal distribution) คือ อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยมีการกระจายขนาดอนุภาคแคบอยู่ในช่วง 0.1 ไมโครเมตร (ภาคผนวกที่ 2) อิมัลชันชนิด W/O/W มีการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ polymodal distribution คือขนาดอนุภาคมีการกระจายตัวสูง มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1 ไมโครเมตร (ภาคผนวกที่ 3) จากการทดลอง พบว่า ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (z-average) ของอิมัลชันชนิด W/O มีขนาดเล็กกว่า 0.17 ไมโครเมตร (ภาพที่ 11ก) และขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของอิมัลชันชนิด W/O/W มีขนาดอยู่ในช่วง 0.66-0.95 ไมโครเมตร (ภาพที่ 11ข) โซเดียมอัลจิเนตจะมีผลต่อขนาดอนุภาคอิมัลชันเมื่อมีความเข้มข้นของ PGPR ในเฟสน้ำมันร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบผลของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนต พบว่า PGPR จะมีผลต่อขนาดอนุภาคอิมัลชันมากกว่าโซเดียมอัลจิเนตเช่นเดียวกับผลของ PGPR และเจลาตินในตอนต้นที่ 1.1.2



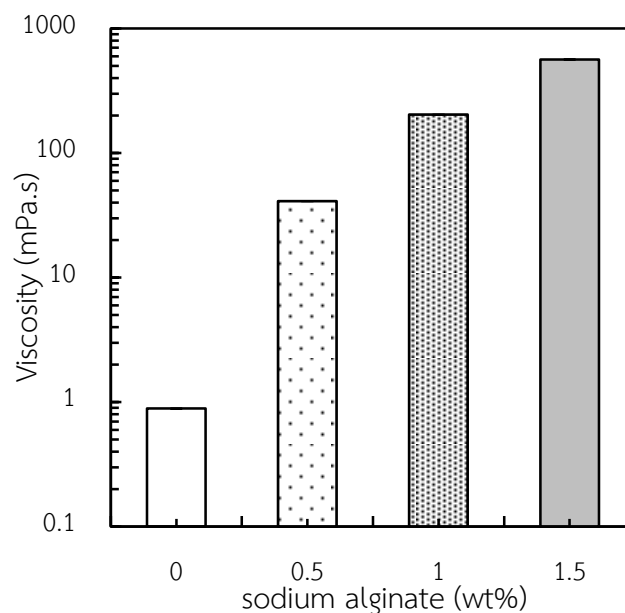
ภาพที่ 11 ขนาดอนุภาคของอิมัลชันชนิด W/O (ก) และอิมัลชันชนิด W/O/W (ข) ที่มีโซเดียมอัลจิเนต MSKE และ PGPR

1.1.3 ความหนืดของโซเดียมอัลจิเนตและอิมัลชัน (viscosity)

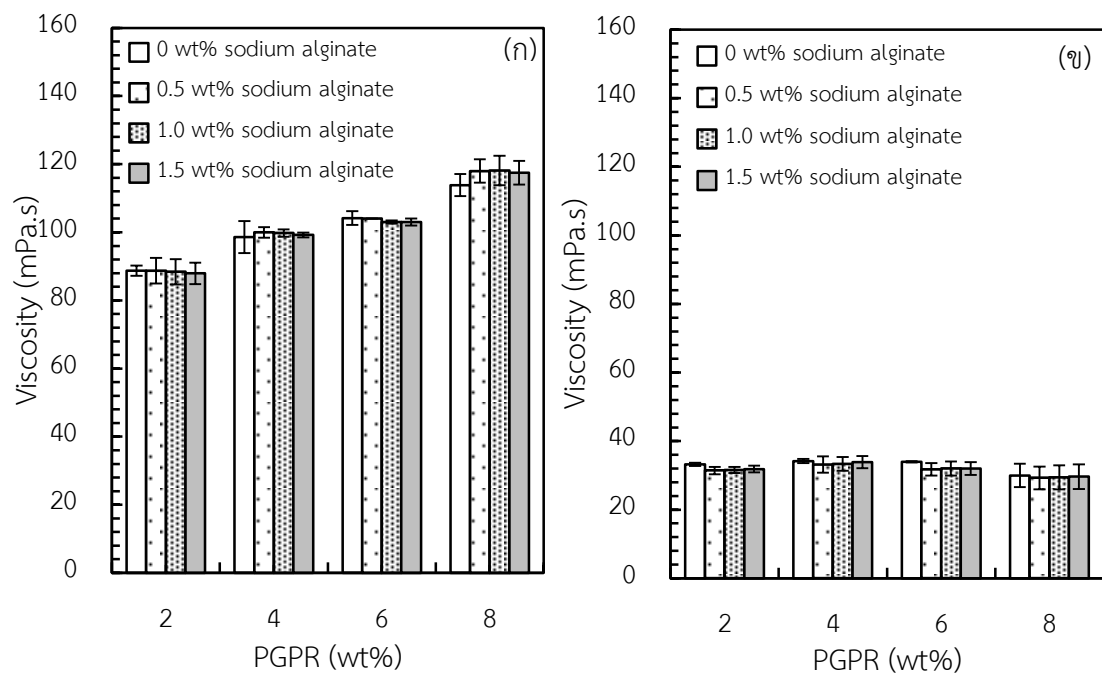
ความหนืดของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1} แสดงดังภาพที่ 12 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตจะทำให้มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ขณะที่ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O และอิมัลชันชนิด W/O/W ที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1} แสดงดังภาพที่ 13 พบว่า การเติมโซเดียมอัลจิเนตไม่มีผลต่อค่าความหนืดของอิมัลชัน แต่การเติม PGPR มีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน โดยพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PGPR จากความเข้มข้นร้อยละ 2 ถึง 8 โดยน้ำหนักจะทำให้ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O เพิ่มขึ้นจาก 88.73 mPa.s เป็น 118.17 mPa.s (ภาพที่ 13ก) และเมื่อพิจารณาความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O/W พบว่า อิมัลชันมีความหนืดในช่วง 29.27-34.20 mPa.s (ภาพที่ 13ข) ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลของ PGPR และเจลาตินในตอนต้นที่ 1.1.3

จากสมการ power-law (สมการที่ 1) พบว่าในทุกความเข้มข้นของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนตมีค่า regression coefficients (r^2) มากกว่า 0.98 โดยในอิมัลชันชนิด W/O และอิมัลชันชนิด W/O/W มีค่า n มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกความเข้มข้นของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนต

(ตารางที่ 7, 8) นั่นคือ อิมัลชันชนิดจะมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning คือ เมื่อเพิ่มอัตราเฉือนจะทำให้ความหนืดลดลง โดยอิมัลชันที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning จะพบได้ในอิมัลชันที่มีอนุภาคเกิดการเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากขณะเพิ่มอัตราเฉือนจะเกิดการสูญเสียและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (McClements, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า K ของอิมัลชันชนิด W/O มีค่ามากกว่าอิมัลชันชนิด W/O/W ในทุกความเข้มข้นของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนต แสดงให้เห็นว่าเฟสต่อเนื่องของอิมัลชันชนิด W/O มีความหนืดมากกว่าเฟสต่อเนื่องของอิมัลชันชนิด W/O/W ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลของ PGPR และเจลาตินในตอนๆที่ 1.1.3 เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 12 ความหนืดของสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่มีโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นต่างๆที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1}



ภาพที่ 13 ความหนืดปรากฏของอิมัลชันชนิด W/O (ก) และอิมัลชันชนิด W/O/W (ข) ที่มีโซเดียมอัลจิเนต MSKE และ PGPR ที่ shear rate ประมาณ 100 s^{-1}

ตารางที่ 7 Power-law model ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O ที่มีโซเดียมอัลจิเนต MSKE และ PGPR

sodium alginate	2 wt% PGPR		4 wt% PGPR		6 wt% PGPR		8 wt% PGPR	
(wt%)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)
0.0	0.918 ^{cA} ±0.00	0.121 ^{aA} ±0.00	0.942 ^{bB} ± 0.00	0.122 ^{abA} ±0.01	0.939 ^{cB} ±0.01	0.130 ^{aA} ±0.01	0.980 ^{aC} ±0.01	0.122 ^{cA} ±0.01
0.5	0.954 ^{bA} ±0.01	0.105 ^{bC} ±0.01	0.940 ^{bA} ±0.01	0.125 ^{aB} ±0.01	0.949 ^{bcA} ±0.00	0.124 ^{abB} ±0.00	0.952 ^{bA} ±0.00	0.140 ^{aA} ±0.01
1.0	0.966 ^{bA} ±0.01	0.100 ^{bcC} ±0.01	0.948 ^{bC} ±0.01	0.121 ^{abB} ±0.00	0.958 ^{abAB} ±0.01	0.119 ^{bcB} ±0.00	0.957 ^{bAB} ±0.00	0.138 ^{aA} ±0.01
1.5	0.987 ^{aA} ±0.01	0.092 ^{cC} ±0.00	0.966 ^{aB} ±0.01	0.113 ^{cB} ±0.00	0.970 ^{aB} ±0.00	0.114 ^{cB} ±0.00	0.973 ^{aB} ±0.00	0.129 ^{abA} ±0.01

a-d/A-C หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง/แนวนอนที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

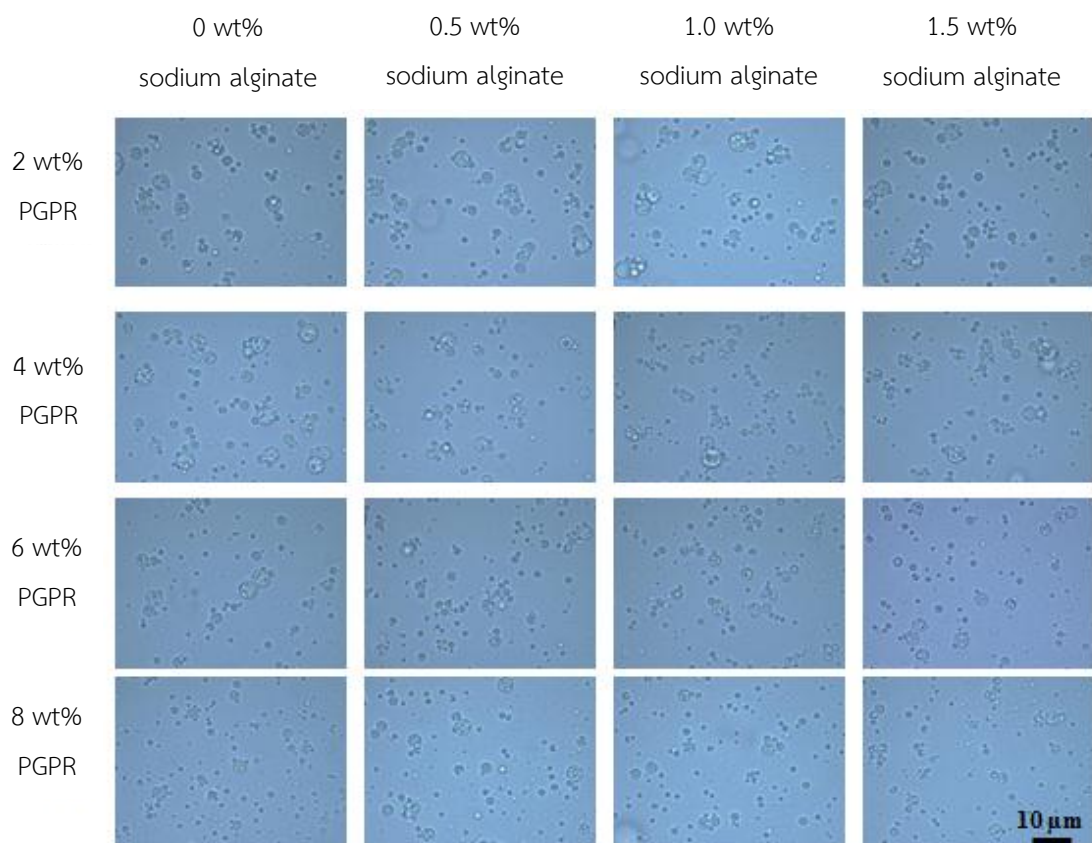
ตารางที่ 8 Power-law model ความหนืดของอิมัลชันชนิด W/O ที่มีโซเดียมอัลจิเนต MSKE และ PGPR

sodium alginate	2 wt% PGPR		4 wt% PGPR		6 wt% PGPR		8 wt% PGPR	
(wt%)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)	n	K (Pa.s)
0.0	0.788 ^{aA} ± 0.00	0.080 ^{aA} ± 0.00	0.782 ^{aA} ±0.00	0.085 ^{aA} ± 0.00	0.771 ^{aB} ±0.00	0.088 ^{aA} ±0.00	0.763 ^{aC} ± 0.00	0.081 ^{aA} ± 0.01
0.5	0.795 ^{aA} ±0.00	0.074 ^{bA} ±0.00	0.781 ^{aB} ±0.00	0.083 ^{aA} ±0.01	0.775 ^{aC} ±0.00	0.081 ^{aA} ±0.01	0.772 ^{aC} ±0.01	0.079 ^{aA} ±0.01
1.0	0.795 ^{aA} ±0.01	0.074 ^{bA} ±0.00	0.780 ^{aB} ±0.00	0.084 ^{aA} ±0.00	0.773 ^{aB} ±0.00	0.083 ^{aA} ±0.01	0.771 ^{aB} ±0.01	0.079 ^{aA} ±0.01
1.5	0.795 ^{aA} ±0.01	0.076 ^{abB} ±0.00	0.777 ^{aB} ±0.01	0.086 ^{aB} ±0.00	0.773 ^{aB} ±0.01	0.082 ^{aB} ±0.00	0.770 ^{aB} ±0.00	0.081 ^{aB} ±0.01

a-d/A-C หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้ง/แนวนอนที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.2.4 ลักษณะโครงสร้างภายในอิมัลชัน (microstructure)

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายลักษณะโครงสร้างภายในของอนุภาคในอิมัลชัน (ภาพที่ 14) พบว่า อิมัลชันมีลักษณะที่อนุภาคของเฟสที่กระจายประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กกว่าหลายอนุภาค กระจายอยู่ในเฟสน้ำภายในไม่แตกต่างกันในทุกตัวอย่าง โดยเห็นชัดเจนที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 4-8 โดยน้ำหนัก มีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างเล็กและมีความสมบูรณ์ของอนุภาค W/O แต่ที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่และมีลักษณะของอนุภาค W/O ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลของ PGPR และเจลาตินในตอนๆ 1.1.4

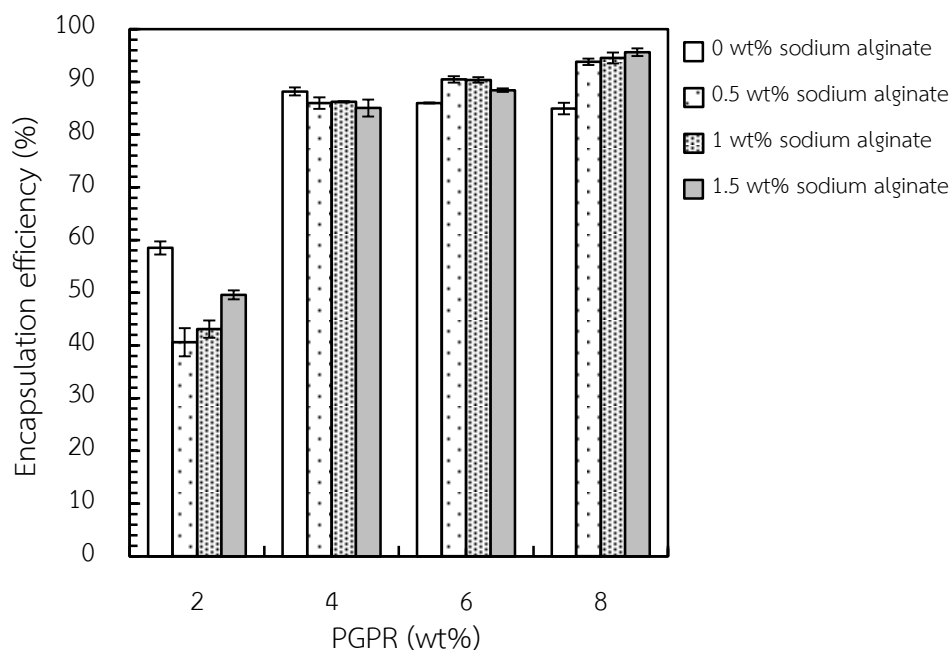


ภาพที่ 14 ลักษณะโครงสร้างภายในของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีโซเดียมอัลจิเนต MSKE และ PGPR ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100X

1.2.5 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation efficiency)

ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE แสดงดังภาพที่ 15 พบว่า ความเข้มข้นของ PGPR และโซเดียมอัลจิเนตมีผลต่อประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน โดยเมื่อพิจารณาผลของโซเดียมอัลจิเนต พบว่า อิมัลชันที่มีโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5-1.5 โดยน้ำหนัก ในเฟสน้ำภายในและความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 6 และ 8 โดยน้ำหนัก ในเฟสน้ำมันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันได้ (ค่าที่ได้มากกว่าร้อยละ 90) เนื่องจากสารละลายของโซเดียมอัลจิเนตมีความหนืดทำให้อาจช่วยชะลอการเคลื่อนที่ของ MSKE จากเฟสน้ำภายในมายังเฟสน้ำภายนอกได้ เมื่อพิจารณาผลของ PGPR พบว่า ที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันต่ำ (ค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 40-50) กว่าที่ความเข้มข้นของร้อยละ PGPR ที่ 4 และ 6 โดยน้ำหนัก (ค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 85-90) แต่ค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันยังน้อยกว่าร้อยละ 90 ทั้งนี้เนื่องมาจากความเข้มข้นของ PGPR อาจไม่เพียงพอต่อการสร้างความคงตัวแก่นุภาคอิมัลชันระหว่างการเหวี่ยงแยก ทำให้ไม่สามารถกักเก็บ MSKE ได้สมบูรณ์ ส่วนที่ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูง (ค่าที่ได้มากกว่าร้อยละ 90) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ PGPR ที่ความเข้มข้นสูงจะช่วยลดผลกระทบจากแรงเฉือนในระหว่างกระบวนการโฮโมจีไนเซชันครั้งที่ 2 จึงลดการทำลายอนุภาคอิมัลชัน (Evison *et al.*, 1995) ดังนั้น ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE ขึ้นอยู่กับความคงตัวของอนุภาคอิมัลชันซึ่งสามารถควบคุมได้โดยอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือ PGPR นอกจากนี้ไบโอพอลิเมอร์ที่เลือกใช้ คือ โซเดียมอัลจิเนตในเฟสน้ำภายในช่วยให้การเคลื่อนที่ของ MSKE จากเฟสน้ำภายในมายังเฟสน้ำภายนอกช้าลงได้

จากผลการทดลองที่ได้เมื่อเทียบกับเจลาตินในการทดลองตอนที่ 1.1.5 พบว่าการเติมเจลาตินในเฟสน้ำภายในทำให้ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE ดีกว่าการเติมโซเดียมอัลจิเนตในเฟสน้ำภายใน อาจเป็นผลจากการที่เจลาตินสามารถเกิด cross-link กับ MSKE ได้ จึงสามารถจับกับ MSKE ได้มากกว่าโซเดียมอัลจิเนตนั่นเองและการเลือกใช้เจลาตินในเฟสน้ำภายในยังช่วยลดปริมาณการใช้ PGPR ในเฟสน้ำมันได้มากกว่าโซเดียมอัลจิเนต นั่นคือ ใช้เจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักและ PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก จะทำให้มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูง (ค่าที่ได้มากกว่าร้อยละ 90) ในขณะที่โซเดียมอัลจิเนตต้องใช้ PGPR ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก และโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จึงจะทำให้มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูง (ค่าที่ได้มากกว่าร้อยละ 90)



ภาพที่ 15 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE ของอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มีโซเดียมอัลจิเนต MSKE และ PGPR

2. ผลของสารหล่อหุ้มในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของผงเอนแคปซูเลทที่เตรียมได้จากอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง

ในการทดลองตอนที่ 2 ได้คัดเลือกสภาวะในการเตรียมอิมัลชันชนิด W/O/W ที่ดีที่สุดจากการทดลองตอนที่ 1 มาศึกษาผลของสารหล่อหุ้ม ซึ่งสารหล่อหุ้มที่ใช้ศึกษาในตอนที่ 2 คือ มอลโตเดกซ์ตรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยสภาวะของอิมัลชันที่ได้คัดเลือกจากตอนที่ 2 คือ ใช้ความเข้มข้นของ PGPR ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ในเฟสน้ำมัน และความเข้มข้นของเจลาตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในเฟสน้ำภายใน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีค่า ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูง (มากกว่าร้อยละ 90) และยังเป็นสภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของสาร (PGPR และไบโอพอลิเมอร์) น้อย แต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันสูง (มากกว่าร้อยละ 90) เช่นกัน นำอิมัลชันที่มีการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินในเฟสน้ำภายนอกมาเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ใช้อุณหภูมิเข้าและขาออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 180 และ 90 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวอย่างเข้าเครื่อง 11-12 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นทำการศึกษาคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพต่างๆ ได้แก่ ความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี ความสามารถในการละลาย สี ลักษณะสัญญาณวิทยาของผงเอนแคปซูเลท MSKE ปริมาณ

สารประกอบชีวภาพทั้งหมด ปริมาณสารประกอบชีวภาพที่พื้นผิว และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของผงเอนแคปซูเลท MSKE ได้ผลดังนี้

2.1 ความชื้นและวอเตอร์แอคทิวิตี (moisture and water activity)

จากการวิเคราะห์ความชื้นของผงเอนแคปซูเลท MSKE พบว่า ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่อความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 9) ค่าความชื้นของผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.46-2.69 ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Loksuwan (2007) และ Tonon *et al.* (2008) พบว่า ผงเอนแคปซูเลทที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มจะมีความชื้นอยู่ที่ 2.11 และอยู่ในช่วงร้อยละ 0.64-2.89 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jafari *et al.* (2008), Botrel *et al.* (2012), Caliskan and Dirim (2013) และ Fernandes *et al.* (2014) อย่างไรก็ตามปัจจัยหลักที่จะส่งผลต่อความชื้นของผงเอนแคปซูเลทที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมักจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและอัตราเร็วในการนำตัวอย่างเข้า (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Tonon *et al.*, 2008) เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงขึ้นส่งผลให้มีการระเหยน้ำออกจากตัวอย่างมากขึ้น มีรายงานการวิจัยของ Quek *et al.* (2007), Rattes and Oliveira (2007) และ Grabowski *et al.* (2006) พบว่า เมื่ออุณหภูมิขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยมากขึ้นจะทำให้มีค่าความชื้นลดลง

วอเตอร์แอคทิวิตีเป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นและปฏิกิริยาทางชีวเคมี (Quek *et al.*, 2007) วอเตอร์แอคทิวิตีจะมีความสำคัญต่อผงเอนแคปซูเลท เนื่องจากมีผลต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษา วอเตอร์แอคทิวิตีแตกต่างจากความชื้น คือวอเตอร์แอคทิวิตีเป็นน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในขณะที่ความชื้นเป็นปริมาณน้ำที่อยู่ในส่วนประกอบของอาหาร (Quek *et al.*, 2007) โดยทั่วไปในอาหารที่มีวอเตอร์แอคทิวิตี้น้อยกว่า 0.6 จะป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้และถ้ามีการเน่าเสียใดๆ เกิดขึ้นจะมาจากปฏิกิริยาทางเคมีมากกว่าจากเชื้อ จุลินทรีย์ (Tang and Yang, 2004) จากตารางที่ 9 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของผงเอนแคปซูเลท MSKE จะมีค่าลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.11-0.13 แสดงว่าผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ได้สามารถลดความเสี่ยงต่อการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quek *et al.* (2007) และ Kha *et al.* (2010) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทำแห้งน้ำแดงโมและน้ำฟักข้าวมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีลดลง

2.3 ความสามารถในการละลายน้ำ (water solubility)

ความสามารถในการละลายเป็นขั้นตอนสุดท้ายและถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะบ่งบอกคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ (Cano-Chauca *et al.*, 2005; Fang *et al.*, 2008) โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงจะสามารถนำไปละลายน้ำได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ดี คือจะต้องมีความสามารถในการละลายที่ดี ต้องกระจายตัวในน้ำได้ดีและทั่วถึงในทุกอนุภาค มีความสามารถในการจมน้ำมากกว่าลอยตัว (Hogekamp and Schubert, 2003) ความสามารถในการละลายเป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงแห้ง เนื่องจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะต้องละลายได้ดีจึงจะนำไปใช้ได้ง่าย ความสามารถในการละลายของผงเอนแคปซูเลชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ส่วนประกอบของวัตถุดิบเริ่มต้น สารหล่อหุ้ม การบีบอัด อัตราการไหลของอากาศ และอัตราการนำตัวอย่างเข้า (Bhandari *et al.*, 1993; Al-Asheh *et al.*, 2003; Goula *et al.*, 2004) มอลโตเดกซ์ตรินนิยมนำมาใช้เป็นสารหล่อหุ้มสารสกัดต่างๆ จากพืช เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการละลายน้ำสูง (Cano-Chauca *et al.*, 2005)

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของผงเอนแคปซูเลท MSKE พบว่า ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อความสามารถในการละลาย นั่นคือ เมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น โดยมีค่าการละลายอยู่ใน ช่วงร้อยละ 86.51-89.45 แต่ที่ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และที่ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน (ตารางที่ 9) ทั้งนี้เนื่องมาจากมอลโตเดกซ์ตรินสามารถลดชั้นที่ห่อหุ้มภายนอกและปรับเปลี่ยนพื้นผิวอนุภาคที่มีความเหนียวให้มีลักษณะเป็นของแข็งที่เปราะคล้ายแก้ว (glassy state) (Adhikari *et al.*, 2003) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้สามารถลดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคกับอนุภาคด้วยตัวเอง (cohesion) และระหว่างอนุภาคกับพื้นผิว (adhesion) ซึ่งจะทำให้ลดการจับกันเป็นก้อนและการอุ้มน้ำได้ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Grabowski *et al.* (2006) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินจะทำให้ผงมะเขือเทศหวานมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

2.3 สี (color)

สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพที่สำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อค่าทางประสาทสัมผัสและคุณภาพของผงเอนแคปซูเลทที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Quek *et al.*, 2007) ในการทดลองนี้ได้

นำฟังก์ชัน MSKE มาวิเคราะห์ในระบบ CIE L^* a^* b^* ซึ่งค่า L^* แสดงค่าความสว่าง a^* ค่าบวก (+) แสดงค่าสีแดง ค่าลบ (-) แสดงค่าสีเขียว และ b^* ค่าบวก (+) แสดงค่าสีเหลือง ค่าลบ (-) แสดงค่าสีน้ำเงิน chroma เป็นค่าที่แสดงความเข้มของสี มาจากสมการ $chroma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ และค่า hue angle เป็นค่าที่ระบุถึงสีใดสีหนึ่ง เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่าง b^* กับ a^* คือ $hue = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อค่าสีของผงแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Kha *et al.*, 2010)

จากการวิเคราะห์ค่าสีของผงแอนแคปซูล MSKE พบว่า เมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นจะมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น แต่ค่าสีเขียว (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่า chroma และค่า hue angle ลดลง โดยที่มอลโตเดกซ์ตรินความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าความสว่าง ค่าสีเขียว ค่าสีเหลือง และค่า chroma ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 9) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินทำให้ผงแอนแคปซูล MSKE มีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากมอลโตเดกซ์ตริน คือ สีขาวของมอลโตเดกซ์ตรินมีผลโดยตรงต่อค่าความสว่างของผงแอนแคปซูล MSKE นั่นคือค่าความสว่างจะมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Grabowski *et al.* (2006) และ Abadio *et al.* (2004) นอกจากนี้ยังมีการวิจัยของ Nadeem *et al.* (2011) และ Caliskan and Dirim (2013) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินจะทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นแต่จะมีค่าสีแดงและสีเหลืองลดลง Mishra *et al.* (2013) พบว่า ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่างเมื่อใช้อุณหภูมิเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ขณะเดียวกันความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่า chroma ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kha *et al.* (2010) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินจากร้อยละ 10- 20 โดยน้ำหนัก ทำให้มีค่า chroma ลดลงส่วนค่า hue angle ที่ได้ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 90.52-92.06 ซึ่งสีที่อยู่ในช่วงค่าดังกล่าวนี้ คือ สีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว

ตารางที่ 9 สมบัติทางเคมีกายภาพของผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

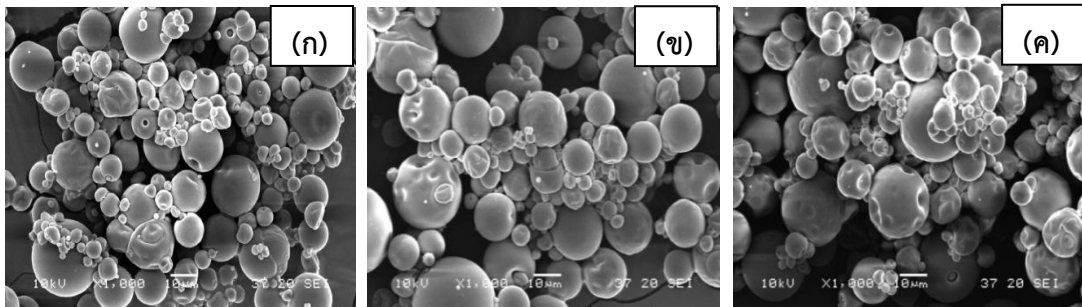
Physicochemical properties	Maltodextrin (wt %)		
	10	20	30
Moisture content (% dry basis) ^{NS}	2.62 ± 0.12	2.46 ± 0.04	2.69 ± 0.18
Water activity	0.13 ^a ± 0.00	0.11 ^c ± 0.00	0.12 ^b ± 0.00
Water solubility (%)	86.51 ^b ± 0.18	88.32 ^{ab} ± 0.17	89.45 ^a ± 1.75
Color L [*]	88.43 ^b ± 0.27	90.65 ^a ± 0.40	91.12 ^a ± 1.02
a [*]	-0.29 ^b ± 0.05	-0.13 ^a ± 0.02	-0.05 ^a ± 0.02
b [*]	7.82 ^a ± 0.19	5.49 ^b ± 0.26	5.29 ^b ± 0.20
Chorma	7.80 ^a ± 0.14	5.49 ^b ± 0.26	5.29 ^b ± 0.20
Hue angle (°)	92.06 ^a ± 0.24	91.38 ^a ± 0.28	90.52 ^b ± 0.23

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแวนนอนที่มีอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
^{NS} หมายถึง ไม่แตกต่าง

2.4 ลักษณะสัณฐานวิทยา (morphology)

จากการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) ของผงเอนแคปซูเลท MSKE พบว่า ลักษณะผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีหลายขนาดและมีรูปร่างแตกต่างกันไป โดยพบว่า มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ผสมกัน ส่วนใหญ่มีลักษณะกลม ผิวเรียบ มีรูปร่างแบบเหี่ยวย่นบ้างและมีรอยยุบที่บริเวณผิวเป็นบางส่วน (ภาพที่ 16) รอยยุบบริเวณผิวนั้นอาจเกิดจากการหดตัว (shrinkage) ของอนุภาคในระหว่างขั้นตอนการทำแห้ง (Saenz *et al.*, 2009) เมื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน พบว่า ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อความแตกต่างทางลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผงเอนแคปซูเลท แต่จะมีความแตกต่างกันในเรื่องขนาด นั่นคือ เมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นผงเอนแคปซูเลทจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีแรงต้านในการนำตัวอย่างเข้ามากขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jinapong *et al.* (2008) และจากการที่อิมัลชันมีความหนืดมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของละอองฝอยจาก atomizer นั้นมีประสิทธิภาพน้อยลง (Gharsallaoui *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตาม

ตามปัจจัยหลักที่จะส่งผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผงเอนแคปซูเลท คืออุณหภูมิในการทำแห้ง นั่นคือ ถ้าอุณหภูมิเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่ำ ผงเอนแคปซูเลทจะมีผิวที่เหี่ยวย่นแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะมีผิวที่เรียบขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการระเหยนํ้าอย่างรวดเร็วจึงทำให้มีลักษณะของพื้นผิวอนุภาคที่เรียบและมีเปลือกที่แข็ง (Tonon *et al.*, 2008)



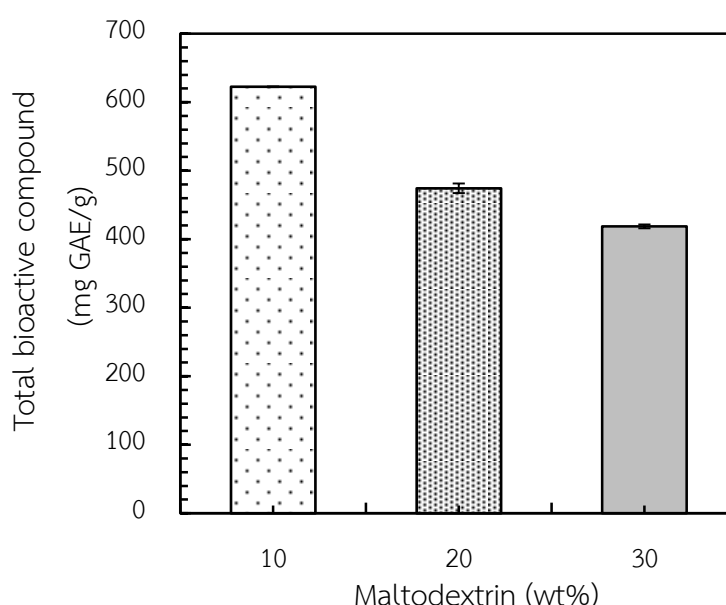
ภาพที่ 16 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ความเข้มข้นมอลโตเดกซ์ตริน (ก) ร้อยละ 10 (ข) ร้อยละ 20 (ค) ร้อยละ 30 ที่กำลังขยาย 1,000X

2.5 ปริมาณสารประกอบชีวภาพทั้งหมด (total bioactive compound) ปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิว (surface bioactive compound) และประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation efficiency)

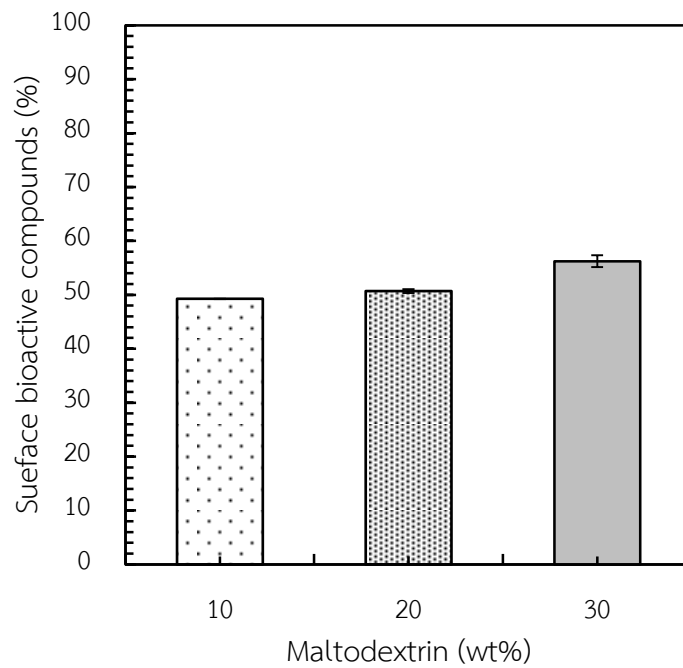
สารที่ใช้ในการห่อหุ้มจะส่งผลค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันรวมถึงความคงตัวของสารที่ถูกเอนแคปซูเลชันในระหว่างการจัดเก็บ การเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม (Gharsallaoui *et al.*, 2007) ซึ่งจะส่งผลต่อการสร้างชั้นหุ้มอนุภาคที่ผ่านการทำแห้ง มอลโตเดกซ์ตรินมีสมบัติเป็นสารห่อหุ้มที่ดีเนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลของน้ำตาลต่ำ เช่น น้ำตาลฟรักโทสและกรดอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม ถ้าความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินมากเกินไปจะทำให้ได้ผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากสมบัติของสารที่มีประโยชน์จะถูกเจือจางด้วยความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินที่เพิ่มขึ้น (Quek *et al.*, 2007) มีงานวิจัยของ Caliskan and Dirim (2013) ศึกษาการเอนแคปซูเลชันสารสกัดชุมชุก (sumac extract) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 10-25 จะทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง โดยสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งคืออุณหภูมิเข้าและขาออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 180 และ 90 องศาเซลเซียส

และมีงานวิจัยของ Pérez-Serradilla and Luque de Castro (2011) ศึกษาประสิทธิภาพของผงเอนแคปซูเลทสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดมาจาก wine lees พบว่า การเพิ่มปริมาณสารที่ใช้ในการห่อหุ้มจะส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง อย่างไรก็ตามการลดลงที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากปริมาณฟีนอลิกถูกเจือจางด้วยปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารห่อหุ้ม

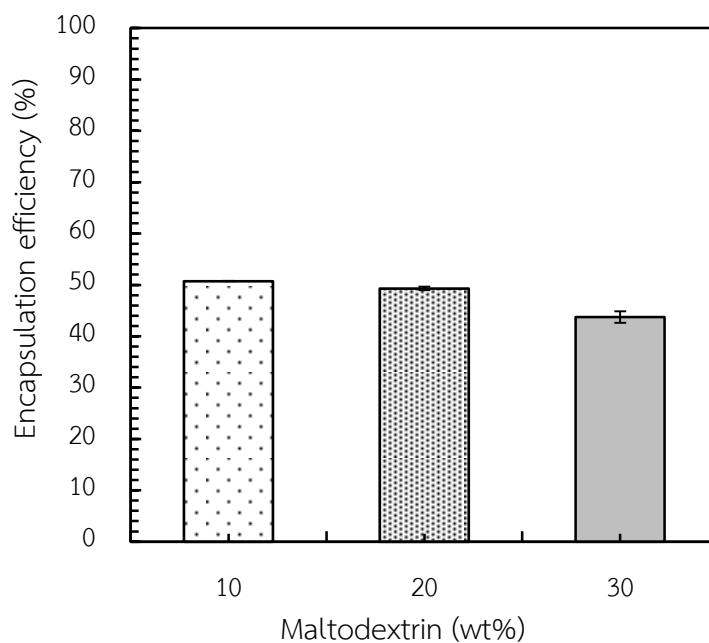
จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบชีวภาพทั้งหมดของผงเอนแคปซูเลท MSKE พบว่า เมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณสารประกอบชีวภาพทั้งหมดลดลง (ภาพที่ 17) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ทำให้ MSKE ที่ถูกห่อหุ้มในระบบอิมัลชันถูกเจือจางไปตามปริมาณความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน (Pérez-Serradilla and Luque de Castro, 2011; Nadeem *et al.*, 2011; Mishra *et al.*, 2013) และจากการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิวของผงเอนแคปซูเลท MSKE พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินจะมีค่าปริมาณสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิวของผงเอนแคปซูเลท MSKE เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 18) และค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินจะมีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE ลดลง แต่ที่มอลโตเดกซ์ตรินความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 17 ปริมาณสารประกอบชีวภาพทั้งหมดของผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีมอลโตเดกซ์ตรินที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 18 ปริมาณของสารประกอบทางชีวภาพที่พื้นผิวของผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีมอลโตเดกซ์ตรินที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของผงเอนแคปซูเลท MSKE ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีมอลโตเดกซ์ตรินที่ความเข้มข้นต่างๆ

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาผลของพอลิกลีเซอรอล พอลิริซินโอเลต (polyglycerol polyricinoleate; PGPR) และไบโอพอลิเมอร์ (เจลาติน, โซเดียมอัลจิเนต) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีสารสกัดจากเนื้อในเมล็ดมะม่วง (mango seed kernel extract; MSKE) พบว่า อิมัลชันที่มีไบโอพอลิเมอร์ทำให้มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันมากกว่าไม่มีไบโอพอลิเมอร์ PGPR มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันมากกว่าไบโอพอลิเมอร์ เนื่องจาก PGPR เป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้อิมัลชันมีขนาดอนุภาคเล็กและในอิมัลชันที่มีเจลาตินในเฟสน้ำภายในที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-5 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 4-8 โดยน้ำหนัก หรืออิมัลชันที่มีโซเดียมอัลจิเนตในเฟสน้ำภายในที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5-1.5 โดยน้ำหนัก ร่วมกับ PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ทำให้มีค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อเปรียบเทียบผลของเจลาตินและโซเดียมอัลจิเนต พบว่า การใช้เจลาตินจะทำให้ใช้ PGPR ในเฟสน้ำมันน้อยกว่าการใช้โซเดียมอัลจิเนตและยังคงทำให้ค่ามีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน MSKE มากกว่าร้อยละ 90

2. จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินในเฟสน้ำภายนอกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันของผงเอนแคปซูเลตที่มี MSKE ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินจากความเข้มข้นร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่า L^* ค่าความสามารถในการละลาย และปริมาณสารประกอบชีวภาพที่พื้นผิวของผงเอนแคปซูเลต MSKE มากขึ้น แต่ค่า a^* , b^* , chroma, hue angle, วอเตอร์แอกติวิตี, ปริมาณสารประกอบทางชีวภาพทั้งหมด และค่าประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันลดลง ขณะที่ค่าความชื้นไม่แตกต่างกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานนท์. 2551. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ปราณี อินประโคน. 2552. เนื้อในเมล็ดมะม่วง ของดีที่ถูกมองข้าม. **วิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนา**. รวมบทความวิชาการ ฉลองครบรอบ 50 ปีแห่งการสถาปนาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. บริษัท เอเอ็นที ออฟฟิศ เอ็กซ์เพรส, กรุงเทพฯ.
- ปาริฉัตร หงสประภาส. 2545. **เคมีกายภาพของอาหาร: คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล**. สำนักพิมพ์ แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2009. **ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพของโลก**. แหล่งที่มา: <http://ksmecare.wordpress.com/2009/09/15/food/> เมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2554.
- Abadio, F.D.B., A.M. Domingues, S.V. Borges and V.M. Oliveira. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice effect of maltodextrin concentration and atomization speed. **J. Food Eng.** 64: 285–287.
- Abdalla, A.E.M., S.M. Darwish, E.H.E. Ayad and R.M. El-Hamahmy. 2007. Egyptian mango by-product 1. compositional quality of mango seed kernel. **Food Chem.** 103: 1134-1140.
- Adhikari B, T. Howes, B.R. Bhandari and V.Truong. 2003. Characterization of the surface stickiness of fructose-maltodextrin solutions during drying. **Drying Technol.** 21: 17–20.
- Administration on Aging. 2011. **Aging Statistics**. Available Source: http://translate.googleusercontent.com/translate_c?anno=2&hl=th&rurl=translate.google.com&sl=en&tl=th&u=http://www.aoa.gov/AoARoot/Aging_Statistics/index.aspx&usg=ALkJrhjxbTi8lYanvVZ0M8xADkBwKTP3AA. Retrieved on October 3, 2011.
- Al-asheh, S., R. Jumah, F. Banat and S. Hammad. 2003. The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder. **Food Bioprod. Process.** 81: 81–88.
- Anderson, R.A., H.F. Conway, V.F. Pfeifer and J.R. Griffin. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Sci. Today.** 14: 4–11.

- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 18th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- Arogba, S.S. 1997. Physical, chemical and functional properties of nigerian mango (*Mangifera indica*) kernel and its processed flour. **J. Sci. Food Agric.** 73: 321-328.
- Arogba, S.S., O.L. Ajilboye, L.A. Ugboko, S.Y. Essiennette and P.O. Afolabi. 1998. Properties of polyphenol oxidase in mango (*Mangifera indica*) kernel. **J. Sci. Food Agric.** 77: 459-462.
- Bertolini, A.C., A.C. Siani and C.R.F. Grosso. 2001. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. **J. Agric. Food Chem.** 49: 780-785.
- Bhandari, B.R., A. Senoussi, E.D. Dumoulin and A. Lebert. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technol.** 11: 33-41.
- Botrel, D.A., S.V. Borges, R.V.B. Fernandes, A.D. Viana, J.M.G. Costa and G.R. Marques. 2012. Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. **Int. J. Food Sci. Technol.** 47: 2289-2296.
- Caliakan, G. and S.N. Dirim. 2013. The effects of the different drying conditions and amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food Bioprod. Process.** 91: 539-548.
- Cano-Chauca, M., P.C. Stringheta, A.M. Ramos and J. Cal-Vidal. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Sci. Emerg. Technol.** 6: 420-428.
- Chung, F.L., J. Schwartz, C.R. Herzog and Y.M. Yang. 2003. Tea and cancer: studies in animals and humans. **J. Nutrition.** 133: 3268-3274.
- Desai, K.G.H and H. J. Park. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technol.** 23: 1361-1394.
- Dickinson, E. 1992. **An Introduction to Food Colloids**. Oxford University Press. Oxford.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. **Food Hydrocoll.** 17: 25-39.
- Dickinson, E. 1994. Protein-stabilized emulsions. **J. Food Eng.** 22: 59-74.

- Dickinson, E. 2008. Emulsification and emulsion stabilization with protein polysaccharide complexes. pp. 221–232. *In* P.A. Williams and G.O. Phillips, eds. **Gums and Stabilizers for the Food Industry**. Royal Society, Cambridge, UK.
- Dickinson, E. 2009. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. **Food Hydrocoll.** 23: 1473–1482.
- Dickinson, E and D.J. McClements. 1995. **Advances in Food Colloids**. Blackie Academic & Professional. London.
- Duan, X.-J., W.-W. Zhang, X.-M. Li and B.-G. Wang. 2006. Evaluation of antioxidant property of extract and fractions obtained from a red alga, *Polysiphonia urceolata*. **Food Chem.** 95: 37-43.
- Ercisli, S. and E. Orhan. 2007. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. **Food Chem.** 103: 1380-1384.
- Evison, J., E. Dickinson, R.K. Owusu-Apenten and A. William. 1995. Formulation and properties of protein stabilized water-in-oil-in-water multiple emulsions, p. 235. *In* E. Dickinson and D. Lorient eds. **Food Macromolecules and Colloids**. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- FAOSTAT. 2011. **Food and Agricultural Commodities Production**. Available Source: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. November 4, 2013.
- Fang, Y., C. Selomulya and X.D. Chen. 2008. On measurement of food powder reconstitution properties. **Drying Technol.** 26: 3–14.
- Fechner, A., A. Knoth, I. Scherze and G. Muschiolik. 2007. Stability and release properties of double-emulsions stabilized by caseinate–dextran conjugates. **Food Hydrocoll.** 21: 943-952.
- Fernandes, R.V.B., S.V. Borges and D.A. Botrel. 2014. Gum arabic/starch /maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydr. Polym.** 101: 524–532.
- Frankel, E.N. 1999. Natural phenolic antioxidants and their impact on health. pp. 385-392. *In* L. Packer, M. Hiramatsu and T. Yoshikawa, eds. **Antioxidant Food Supplements in Human Health**. Academic Press, San Diego.

- Fu, L., B.T. Xu, X.R. Xu, R.Y. Gan, Y. Zhang, E.Q. Xia and H.B. Li. 2011. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. **Food Chem.** 129: 345–350.
- Gabas, A. L., V.R.N. Telis, P.J. A. Sobral and J. Telis-Romero. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **J. Food Eng.** 82: 246-252.
- Garti, N. 1997a. Double emulsions – scope, limitations and new achievements. **and Surfaces A : Physicochem. Eng. Aspects.** 123-124: 233-246.
- Garti, N. 1997b. Progress in stabilization and transport phenomena of double emulsions in food applications. **Lebensm.-Wiss. U. – Technol.** 30: 222-235.
- George M and T.E. Abraham. 2006. Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: Alginate and chitosan — a review. **J. Controll. Release.** 114: 1-14.
- Gharsallaoui, A., G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley and R. Saurel. 2007. Application of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. **Food Res. Inter.** 40: 1107-1121.
- Grabowski, J.A., V.D. Truong and C.R. Daubert. 2006. Spray drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. **J. Food Sci.** 71: E209–E217.
- Goula, A.M., K.G. Adamopoulos and N.A. Kazakis. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. **Drying Technol.** 22: 1129–1151.
- Guo, T., L. Wei, J. Sun, C.L. Hou and L. Fan. 2011. Antioxidant activities of extract and fractions from *Tuber indicum* Cooke & Massee. **Food Chem.** 27: 1634–1640.
- Hajaji, H.E., N. Lachkar, K. Alaoui, Y. Cherrah, A. Farah, A. Ennabili, B. E. Bali and M. Lachkar. 2011. Antioxidant activity, phytochemical screening, and total phenolic content of extracts from three genders of carob tree barks growing in Morocco. **Arab. J. Chem.** 4: 321–324.
- Hajda, A.K and E. Dickinson. 1996. Stability of water-in-oil-in-water emulsions containing faba bean proteins. **Food Hydrocoll.** 10: 251-254.

- Hedges, A.R., W.J. Shieh and C.T. Sikorski. 1995. Use of cyclodextrins for encapsulation in the use and treatment of food products. pp. 60-71. *In* S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**. ACS, Washington, D.C.
- Hemar, Y., L. Cheng, C. Oliver, L. Sanguansri and M. Augustin. 2010. Encapsulation of Resveratrol using water-in-oil-in-water double emulsions. **Food Biophys.** 5: 120-127.
- Hemavathy, J., J.V. Prabhakar and D.P. Sen. 1988. Drying and storage behavior of mango (*Mangifera indica*) and composition of kernel fat. **Asian Food J.** 4: 59–63.
- Hirose, Y., T. Fujita, T. Ishii and N. Ueno. 2010. Antioxidative properties and flavonoid composition of chenopodium quinoa seeds cultivated in Japan. **Food Chem.** 119: 1300–1306.
- Hogekamp, S and H. Schubert. 2003. Rehydration of food powders. **Food Sci. Technol. Int.** 9: 223–35.
- Jafari, S.M., E. Assadpoor, Y. He and B. Bhandari. 2008. Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. **Drying Technol.** 26: 816–835.
- Jiang, H., B. Ji, J. Liang, F. Zhou, Z. Yang and G. Zhang. 2006. Changes of contents and antioxidant activities of polyphenols during fruit development of four apple cultivars. **Eur. Food Res. Technol.** 223: 743-748.
- Jinapong, N., M. Supphantharika and Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **J. Food Eng.** 84: 194–205.
- Kähkönen, M.P., A.I. Hopia, H.J. Vuorela, J.-P. Rauha, K. Pihlaja, T.S. Kujala and Heinonen, M. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. **J. Agric. Food Chem.** 47: 3954-3962.
- Kalt, W. 2005. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. **J. Food Sci.** 70: R11-R19.
- Kenyon, M.M and R.J. Anderson. 1988. Maltodextrin and low dextrose equivalence corn syrup solid. pp. 7-11. *In* S.J. Rish and G.A. Reineccius Jr., eds. **Flavor Encapsulation**, ACS Symposium series, Washington, D.C

- Kenyon, M.M. 1995. Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. pp. 42-50. *In* S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**. ACS, Washington, D.C.
- Kha, T.C., M.H. Nguyen and P.D. Roach. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **J. Food Eng.** 98: 385-392.
- Khammuang, S and R. Sarntima. 2011. Antioxidant and antibacterial activities of selected varieties of Thai mango seed extract. **Pak. J. Pharm. Sci.** 24: 37-42.
- King, A.H. 1995. Encapsulation of food Ingredients: A review of available technology, Focus on hydrocolloids, pp. 26-39. *In* S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**. ACS, Washington, D.C.
- Kittiphoom, S. 2012. Utilization of mango seed. **Int. Food Res. J.** 19: 1325-1335.
- Krishnan, S., A.C. Kshirsagar and R.S. Singhal. 2005. The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. **Carbohydr. Polym.** 62: 309-315.
- Li, X., W. Cao, Y. Shen, N. Li, X.P. Dong, K.J. Wang, Y.X. Cheng. 2012. Antioxidant compounds from *Rosalaevigata* fruits. **Food Chem.** 130: 575–580.
- Loksuwan, J. 2007. Characteristics of microencapsulated-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocoll.** 21: 928–935.
- Mackie, A. R., A.P. Gunning, M. L. Ridout and V. J. Morris. 1998. Gelation of gelatin, observation in the bulk and at the air-water interface. **Biopolymer.** 46: 245-252.
- Madene, A., M. Jacquot, J. Scher and S. Desobry. 2006. Flavor emcapsulation an controlled release: a review. **Int. J. Food Sci.** 41: 1-21
- Maisuthisakul, P., M. Suttajit and R. Pongsawatmanit. 2007. Assessment of phenolic content and free radical scavenging capacity of some Thai indigenous plants. **Food Chem.** 100: 1409- 1418.
- Maisuthisakul, P. and M.H. Gordon. 2009. Antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of mango seed kernel by product. **Food Chem.** 117: 332-341.

- Maisuthisakul, P and T. Harnsilawat. 2010. Encapsulation by spray drying of bioactive compounds from mango seed kernels. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย** 30: 88-100.
- Maisuthisakul, P and M.H. Gordon. 2012. Influence of polysaccharides and storage during processing on the properties of mango seed kernel extract (microencapsulation). **Food Chem.** 134: 1453-1460.
- Malvern Instruments. 2003. **Zetasizer Nano Series User Manual**. Malvern Instruments Ltd., England.
- Manach, C., A. Mazur and A. Scalbert. 2005. Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. **Curr. Opin. Lipidol.** 16: 77-84.
- Mariod, A. A., R. M. Ibrahim, M. Ismail and N. Ismail. 2010. Antioxidant activities of phenolic rich fractions (PRFs) obtained from black mahlab (*Monechma ciliatum*) and white mahlab (*Prunus mahaleb*) seedcakes. **Food Chem.** 18: 120-127.
- McClements, D.J. 2004. Protein-stabilized emulsions. **Curr. Opin. Colloid Interface Sci.** 9: 305-313.
- McClements, D.J. 2005. **Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques**. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton.
- McClements, D.J. E.A. Decker and J. Weiss. 2007. Emulsion-based delivery systems for Lipophilic bioactive components. **J. Food Sci.** 72: 109-124.
- Mishra, P., S. Mishra and C.L. Mahanta. 2013. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food Bioprod. Process.** (In press).
- Mun, S., Y. Choi, S.-J. Rho, C.-G. Kang, C.-H. Park and Y.-R. Kim. 2010. Preparation and characterization of water/oil/water emulsions stabilized by polyglycerol polyricinoleate and whey protein isolate. **J. Food Sci.** 75: E116-E125.
- Muschiolik, G. 2007. Multiple emulsions for food use. **Curr. Opin. Colloid In. Sci.** 12: 213-220.

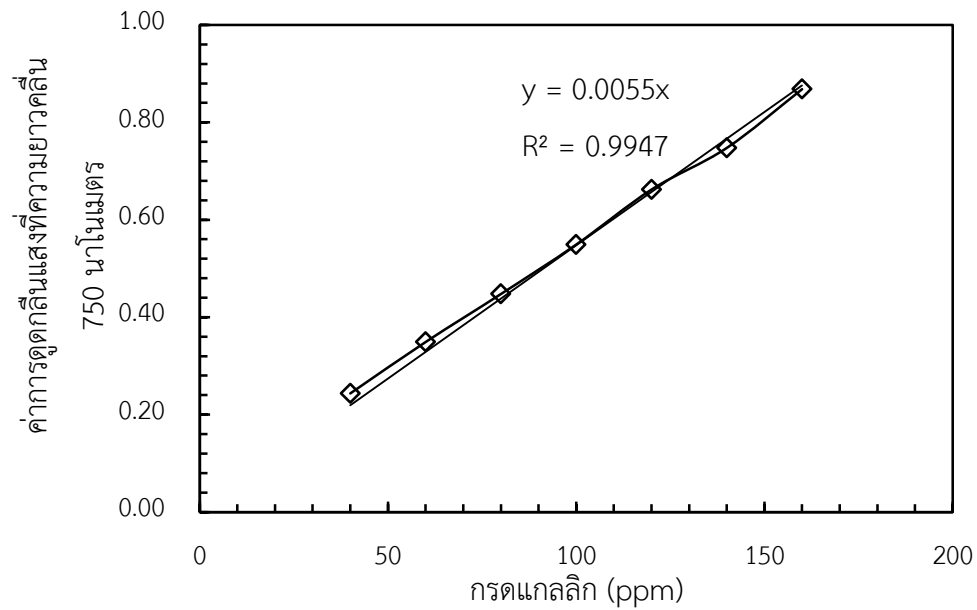
- Naczki, M., M. Townsend and R. Zadernowski. 2011. Protein-binding and antioxidant potential of phenolics of mangosteen fruit (*Garcinia mangostana*). **Food Chem.** 128: 292-298.
- Nadeem, H.S., M. Torun and F., Ozdemir. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **LWT Food Sci. Technol.** 44: 1626–1635.
- Nithitanakool, S., P. Pithayanukul and R. Bavovada. 2009. Antioxidant and hepatoprotective activities of Thai mango seed kernel extract. **Planta Med.** 75: 1118-1123.
- Obon, J.M., M.R. Castellar, M. Alacid and J.A. Fernandez-Lopez. 2009. Production of a red purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **J. Food Eng.** 90: 471-479.
- Onsøyen, E. 1997. Alginate. pp 22-44. *In* A. Imeson, eds. **Thickening and Gelling Agents for Food**. Blackie Academic and Professional, London.
- O'Regan, J. and D.M. Mulvihill. 2010. Sodium caseinate–maltodextrin conjugate stabilized double emulsions: Encapsulation and stability. **Food Res. Int.** 43: 224-231.
- Ozaki, K., Y. Kawata, S. Amano and S. Hanazawa. 2000. Stimulatory effect of curcumin on osteoclast apoptosis. **Biochem. Pharmacol.** 59: 1577-1581.
- Pérez-Serradilla, J.A and M.D. Luque de Castro. 2011. Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from wine lees and spray drying of the extract. **Food Chem.** 124: 1652-1659.
- Poppe, J. 1997. Gelatin. pp. 144-168. *In* A. Imeson, eds. **Thickening and Gelling Agents for Food**. Blackie Academic and Professional, London.
- Puravankara, D., V. Bohgra and R.S. Sharma. 2000. Effect of antioxidant principles isolated from mango (*Mangifera indica* L.) seed kernels on oxidative stability of buffalo ghee (butter–fat). **J. Sci. Food Agric.** 80: 522–526.
- Quek, S.Y., N.K.. Chok and P. Swedlund. 2007. The physicochemical properties of spray dried watermelon powders. **Chem. Eng. Process.** 46: 386–392.

- Rattes, A.L.R and W.P. Oliveira. 2007. Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles. **Powder Technol.** 171: 7–14.
- Risch, S.J. 1995. Encapsulation overview of uses and techniques, pp. 2-7. *In* S.J. Risch and G. A. Reineccius, eds. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**. ACS, Washington, D.C.
- Robert, P., T. Gorena, N. Romero, E. Sepulveda, J. Chavez and C. Saenz. 2010. Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. **Int. J. Food Sci. Technol.** 45: 1386–1394.
- Rössle, C., H.H. Wijngaard, R.T. Gormley, F. Butler and N. Brunton. 2009. Effect of storage on the content of polyphenols of minimally processed skin-on apple wedges from ten cultivars and two growing seasons. **J. Agric. Food Chem.** 58: 1609-1614.
- Rowe, R.C., P.J. Sheskey and S.C. Owen. 2006. **Handbook of Pharmaceutical Excipients**. 5th ed. Pharmaceutical Press and the American Pharmacists Association, London.
- Saenz, C., S. Tapia, J. Chavez and P. Robert. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chem.** 14: 616-622.
- Sootitawat A., Yoshii H., Furuta T., Ohkawara M y Linko P. 2005. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. **Innov. Food Sci. Emerg. Technol.** 6:107-114.
- Stevens, P. 2010. Gelatin, pp. 116-143. *In* A. Imeson eds. **Food Stabilisers, Thickener and Gelling Agent**. Wiley-Blackwell, United Kingdom.
- Strauss, G. and S.M. Gibson. 2004. Plant phenolics as cross-linkers of gelatin gels and gelatin-based coacervates for use as food ingredients. **Food Hydrocoll.** 18: 81-89.
- Su, J., J. Flanagan, Y. Hemar and H. Singh. 2006. Synergistic effects of polyglycerol ester of polyricinoleic acid and sodium caseinate on the stabilization of water–oil–water emulsions. **Food Hydrocoll.** 20: 261-268.

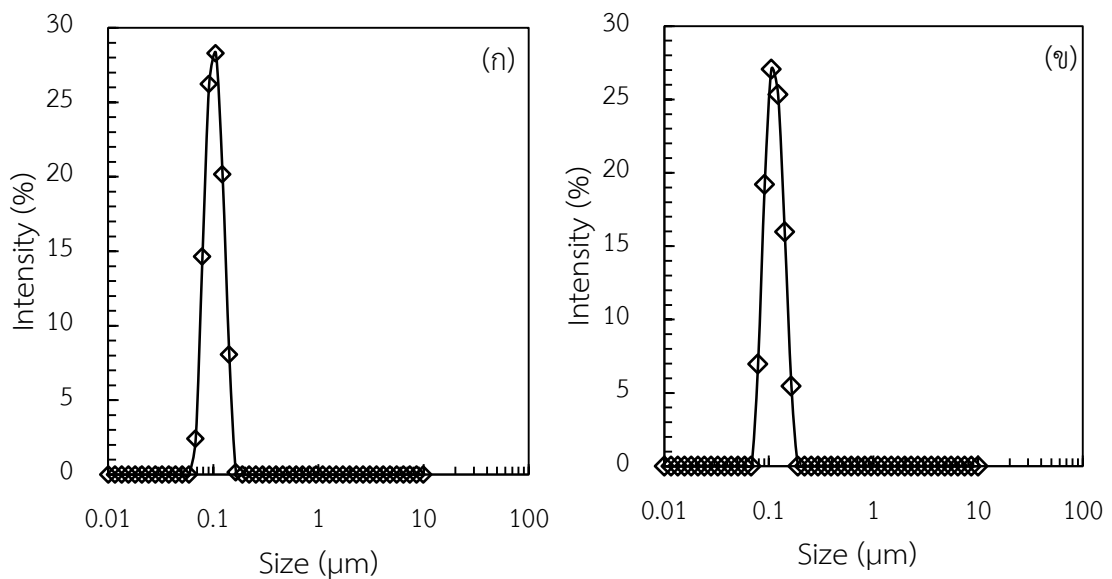
- Su, J., J. Flanagan and H. Singh. 2008. Improving encapsulation efficiency and stability of water-in-oil-in-water emulsions using a modified gum Arabic (Acacia (sen) SUPER GUMTM). **Food Hydrocoll.** 22: 112-120.
- Surh, J., G.T. Vladisavljević, S. Mun and D.J. McClements. 2007. Preparation and characterization of water/oil and water/oil/water emulsions containing biopolymer-gelled water droplets. **J. Agric Food Chem.** 55: 175-184.
- Tang, J and T. Yang. 2004. Dehydrated vegetables: principles and systems. *In* Y.H. Hui, S. Ghazala, D.M. Graham, K.D. Murrell and W.-K. Nip eds. **Handbook of Vegetable Preservation and Processing**. Marcel Dekker, New York.
- Thevent, F. 1995. Acacia gums: natural encapsulation agent for food ingredients. pp. 51-59. *In* S.J. Risch and G.A. Reineccius, eds. **Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients**. ACS, Washington, D.C.
- Tonon, R.V., C. Brabet and M.D., Hubinger. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpeoleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **J. Food Eng.** 88: 411-418.
- United Nations. 2009. World Population Ageing 2009. Available Source: <http://www.un.org/esa/population/>. Retrieved on October 3, 2011.
- US Census Bureau. 2011. **Aging Trends Point to Business Opportunities**. Available Source:<http://translate.google.com/translate?anno=2&hl=th&rurl=translate.google.com&sl=en&tl=th&u=http://assistedliving.about.com/od/startingabusiness/a/agingtrends.htm>. Retrieved on October 3, 2011.
- Wang, H., D. Gan, X. Zhang and Y. Pan. 2010. Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan. **LWT- Food Sci. Technol.** 43: 319-325.
- Wanthong, T., T. Harnsilawat and P. Maisuthisakul. 2011. Effect of tamarind seed kernel flour, gum arabic and maltodextrin on encapsulation efficiency and stability of W/O/W emulsion. **Presented at 5th Tropical & Sub-Tropical Crops Research Symposium** on July 21-22, 2011, Bangkok, Thailand.
- Wilson, R., B.J. van Schie and D. Howes. 1998. Overview of the preparation, use and biological Studies on polyglycerol polyricinoleate (PGPR). **Food Chem. Toxicol.** 36: 711-718.

- World Health Organization. 2011. **Important target groups**. Available Source: http://www.who.int/oral_health/action/groups/en/index1.html. Retrieved on October 3, 2011.
- Yang, C.S. and Z.Y. Wang. 1993. Tea and cancer. **J. Natl. Cancer Inst.** 85: 1038-1049.
- Yuri, J.A., A. Neira, A. Quilodran, Y. Motomura and I. Palomo. 2009. Antioxidant activity and total phenolics concentration in apple peel and flesh is determined by cultivar and agroclimatic growing regions in Chile. **J. Food Agric. Environ.** 7: 3-4.
- Zein R. E., A.A. El-Bagoury and H. E. Kassab. 2005. Chemical and nutritional studies on mango seed kernels. **J. Agric. Sci.** 30: 3285-3299.
- Zou, Y., S.K.C. Chang, Y. Gu and S.Y. Qian. 2011. Antioxidant activity and phenolic compositions of lentil (*Lens culinaris* var. Morton) extract and its fractions. **J. Agric. Food Chem.** 59: 2268–2276.

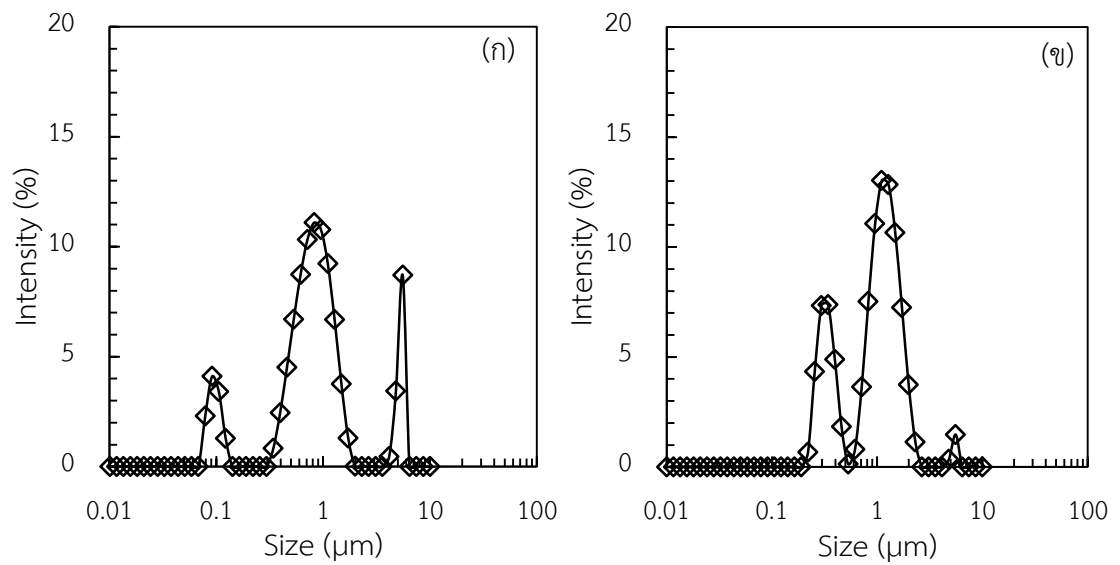
ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการตรวจสอบสมบัติต้านออกซิเดชันโดยเทคนิค total phenolic assay



ภาพผนวกที่ 2 ลักษณะการกระจายแบบปกติ (monomodal) ของอนุภาคอิมัลชันชนิด W/O ที่มี (ก) PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 4 ในเฟสน้ำมันและเจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 1 ในเฟสน้ำภายใน (ข) PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 8 ในเฟสน้ำมันและโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในเฟสน้ำภายใน



ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะการกระจายแบบ polymodal ของอนุภาคอิมัลชันชนิด W/O/W ที่มี
 (ก) PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 4 ในเฟสน้ำมันและเจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 1 ในเฟสน้ำภายใน (ข) PGPR ความเข้มข้นร้อยละ 8 ในเฟสน้ำมันและโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในเฟสน้ำภายใน