

ความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันส้มเตรียมแบบเมมเบรนหลายชั้น

สุวิมล อริยประกาย^{1*} และ Wu Jai Qi²
มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ หัวหมาก กรุงเทพฯ 10240

บทคัดย่อ

เนื่องจากน้ำมันส้มเป็นน้ำมันที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็ก อิมัลชันน้ำมันส้มปฐมภูมิจึงสลายตัวได้ง่ายด้วยกลไก ออสวาร์ดริฟเฟอิ่ง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันส้มโดยการเตรียมอิมัลชันแบบเมมเบรนหลายชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นอิมัลชันไฟเออร์ซิเทรรมเคลือบด้วยชั้นพอลิเมอร์ชีวภาพเจลาติน ดำเนินการทดลองโดยเตรียมอิมัลชันปฐมภูมิที่มีความเข้มข้นน้ำมันส้มเท่ากับ 20 % โดยน้ำหนักและซิเทรรม 0.4 % โดยน้ำหนัก ซิเทรรมเป็นอิมัลชันไฟเออร์ที่มีหัวเป็นประจุลบ อิมัลชันปฐมภูมิจึงมีค่าประจุไฟฟ้าเป็นลบ (~-57 มิลลิโวลต์) จากนั้นเติมสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 0.5% โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH เท่ากับ 3 ลงในอิมัลชันปฐมภูมิที่สัดส่วน 1:1 เจลาตินมีค่าประจุเป็นบวกที่ค่า pH ดังกล่าวเคลือบบนอิมัลชันปฐมภูมิโดยแรงดึงดูดที่เกิดจากขั้วประจุต่างกันก่อกำเนิดเป็นอิมัลชันแบบเมมเบรนสองชั้น (อิมัลชันทุติยภูมิ) ที่มีค่าประจุไฟฟ้าเป็นบวก (~+20 มิลลิโวลต์) เมื่อตรวจวัดขนาดของอนุภาคน้ำมันอิมัลชันโดยใช้เครื่องวัดอนุภาคโดยใช้หลักการกระจายแสงที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิ ($d_{3,2}$) เมื่อเริ่มต้นเท่ากับ $1.5 (\pm 0.02)$ ไมครอน และหลังเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($\sim 25^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 14 วันเท่ากับ $1.5 (\pm 0.02)$ ไมครอน ผลการทดลองแสดงว่าอิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิมีความคงตัวสูง ในขณะที่อิมัลชันน้ำมันส้มปฐมภูมิมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{3,2}$) เพิ่มขึ้นจาก $1.3 (\pm 0.02)$ ไมครอน เป็น $1.8 (\pm 0.02)$ ไมครอน หรือมีขนาดเพิ่มขึ้น 1.4 เท่า

คำสำคัญ : อิมัลชัน / น้ำมันส้ม / ออสวาร์ดริฟเฟอิ่ง / อิมัลชันแบบเมมเบรนหลายชั้น / ซิเทรรม / เจลาติน

* Corresponding author: suwimona@yahoo.com

¹ อาจารย์ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอาหาร คณะเทคโนโลยีชีวภาพ

² นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอาหาร คณะเทคโนโลยีชีวภาพ

Stability of Orange Oil-in-Water Emulsion Prepared by Multilayer Membranes

Suwimon Ariyaprakai^{1*} and Wu Jai Qi²

Assumption University, Hua Mak, Bangkok 10240

Abstract

Due to the small molecular size of orange oil, primary orange oil-in-water emulsion can easily undergo Ostwald ripening destabilization. To improve the stability of orange oil emulsion, multilayer emulsion was prepared using Citrem as emulsifier and gelatin as coated biopolymer. Firstly, primary emulsion containing 20 wt% orange oil and 0.4 wt% Citrem was produced. Since Citrem was an anionic emulsifier, the primary emulsion had a negative charge of ~ -57 mV. Then, the primary emulsion was suspended in 0.5 wt% gelatin aqueous solution at pH 3 with the ratio of primary emulsion to gelatin aqueous solution of 1:1. The gelatin that was positively charged at this pH condition coated around the primary emulsion and double layer emulsion (secondary emulsion) with a ζ -potential value of $\sim +20$ mV was Produced. The particle sizes of primary and secondary emulsions at various time intervals were detected using a laser diffraction particle analyzer. The results showed that the average particle size ($d_{3,2}$) of secondary emulsion on the first day was $1.5 (\pm 0.02)$ microns and that after storage at room temperature (~ 25 °C) for 14 days was $1.5 (\pm 0.02)$ microns, indicating good emulsion stability. The particle size of the primary emulsion ($d_{3,2}$) increased from $1.3 (\pm 0.02)$ microns to $1.8 (\pm 0.02)$ micron, or increased by a factor of 1.4.

Keywords : Citrem / Emulsion / Gelatin / Multilayer emulsion / Orange oil / Ostwald ripening

* Corresponding author: E-mail: suwimona@yahoo.com

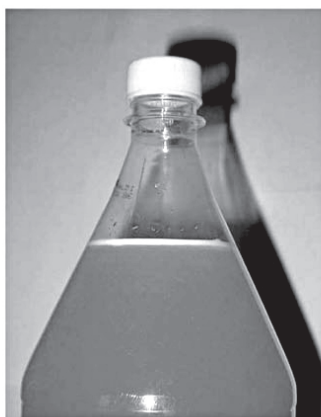
¹ Dr. Department of Food Biotechnology, School of Biotechnology.

² Master Degree Student, Department of Food Biotechnology, School of Biotechnology.

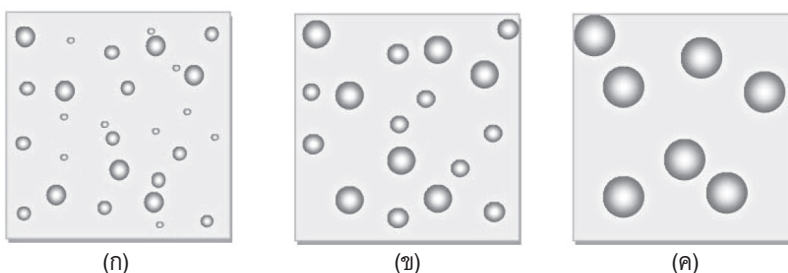
1. บทนำ

ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผลไม้ประเภทน้ำส้มนิยมนำเพิ่มกลิ่นรสส้มด้วยการนำน้ำมันส้มมาปั่นผสมในรูปของอิมัลชัน อิมัลชันน้ำมันส้มมีลักษณะไม่คงตัวหรือไม่เสถียรเมื่อเก็บไว้ระยะเวลาหนึ่งจะสลายตัวเนื่องจากกลไกออสวาร์ดริพเพนนิ่ง (Ostwald ripening) กลายเป็นชั้นน้ำมันลอยแยกอยู่ด้านบนเหนือผิวน้ำหรือที่เรียกว่าเกิด Ring (รูปที่ 1) [1, 2] ออสวาร์ดริพเพนนิ่งเป็นปรากฏการณ์ที่น้ำมันแพร่ออกจากอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กไปสู่อนุภาคน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้อิมัลชันมี

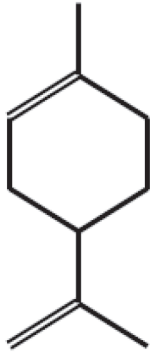
ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยรวมเพิ่มขึ้นตามเวลา (รูปที่ 2) น้ำมันส้มได้มาจากพืชตระกูลส้ม (Citrus oil) มีองค์ประกอบที่สำคัญคือน้ำมันเลมอนีน (Limonene) ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก (รูปที่ 3) สามารถละลายน้ำได้ระดับหนึ่ง อิมัลชันที่มีน้ำมันเลมอนีนเป็นองค์ประกอบจึงสลายตัวได้ง่ายโดยกลไกนี้ ภายหลังจากเกิดออสวาร์ดริพเพนนิ่งแล้วอนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่ที่เหลืออยู่รวมตัวกันแยกออกเป็นชั้น Ring ในที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำส้มมีรูปลักษณะไม่พึงประสงค์และเกิดปัญหาสารแต่งกลิ่นรสไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 ปัญหาการเกิด Ring ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทน้ำส้มที่ใช้ น้ำมันส้มเป็นสารแต่งกลิ่นรส เมื่อตั้งผลิตภัณฑ์ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งพบน้ำมันส้มลอยแยกเป็นชั้นน้ำมันอยู่ด้านบนเหนือผิวน้ำ รูปภาพนำมาจาก [2]



รูปที่ 2 ปรากฏการณ์ออสวาร์ดริพเพนนิ่ง (Ostwald ripening) ซึ่งเป็นหนึ่งในกลไกการสลายตัวของอิมัลชันโดยน้ำมันแพร่ออกจากอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กไปสู่อนุภาคน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้อิมัลชันมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยรวมเพิ่มขึ้นตามเวลา (ก) เป็นรูปอิมัลชันเมื่อเวลาตั้งต้น และ (ข) และ (ค) เป็นอิมัลชันที่ตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ

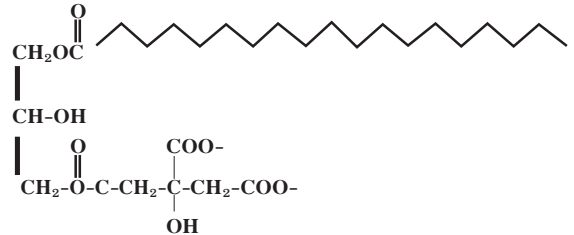


รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ
น้ำมันเลมอนีน (Limonene)

ในการศึกษานี้สนใจเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันส้มโดยการเตรียมอิมัลชันแบบเมมเบรนสองชั้นอิมัลชันแบบเมมเบรนสองชั้นสามารถเตรียมได้จากการใช้อิมัลซิไฟเออร์ประเภทหัวมีขั้วประจุไฟฟ้าร่วมกับสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีขั้วประจุไฟฟ้าตรงกันข้าม สารพอลิเมอร์ชีวภาพจะไปเคลือบบนชั้นอิมัลซิไฟเออร์เนื่องจากแรงดึงดูดที่เกิดจากขั้วประจุต่างกัน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอิมัลชันแบบเมมเบรนสองชั้นหรือแบบเมมเบรนหลายชั้นเช่นที่เตรียมจาก SDS (sodium dodecyl sulphate) – เจลาติน [3], เลซิทิน – โคโคซาน [4, 5], SDS – โคโคซาน – เพคติน [6], โปรตีนเคซีนเนต-เพคติน [7] มีความคงตัวต่อภาวะปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ในภาวะความเป็นกรด ในสารละลายเกลือ และในภาวะอุณหภูมิต่างๆดีกว่าอิมัลชันแบบปกติ [8] น้ำมันที่ใช้ในการศึกษาดังกล่าวได้แก่น้ำมันข้าวโพด [3, 4, 6, 7] และน้ำมันปลา [5] ซึ่งเป็นน้ำมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่แตกต่างจากน้ำมันส้ม

วัตถุประสงค์แรกของงานวิจัยนี้คือศึกษาวิธีการเตรียมอิมัลชันแบบเมมเบรนสองชั้นโดยใช้ซิเทรียม (Citrem หรือ citric acid ester) และเจลาติน ซิเทรียมเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ปลอดภัยสำหรับอาหารแต่ยังไม่มี การนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายนัก มีโครงสร้างส่วนหัวเป็น หมูกรดอะซิติกที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ (รูปที่ 4) ส่วนเจลาติน เป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพประเภทโปรตีนที่มีประจุไฟฟ้า สุกทิเป็นบวกที่ค่า pH เท่ากับ 3 โดยการทดลองเลือกใช้ที่ค่า pH นี้ เนื่องจากเป็นค่า pH โดยประมาณของ

เครื่องตีประเภทน้ำส้ม วัตถุประสงค์ที่สองของงานวิจัยนี้คือศึกษาความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันส้มแบบเมมเบรนสองชั้นที่เตรียมได้ (อิมัลชันทุติยภูมิ) โดยศึกษาอัตราการเพิ่มขนาดอนุภาคเปรียบเทียบกับอิมัลชันปฐมภูมิที่เตรียมจากอิมัลซิไฟเออร์ซิเทรียม



รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของซิเทรียม (Citrem หรือ Citric acid ester of monoglyceride)

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายอะซิเตดบัพเฟอร์ 100 มิลลิโมลที่ค่า pH เท่ากับ 3 และเตรียมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์โดยละลายซิเทรียม (Citrem, Danisco, Denmark) 0.5% โดยน้ำหนัก ในสารละลายอะซิเตดบัพเฟอร์ pH 3 ที่เตรียมไว้ ให้ความร้อนจนกระทั่งซิเทรียมละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (~25 °C)

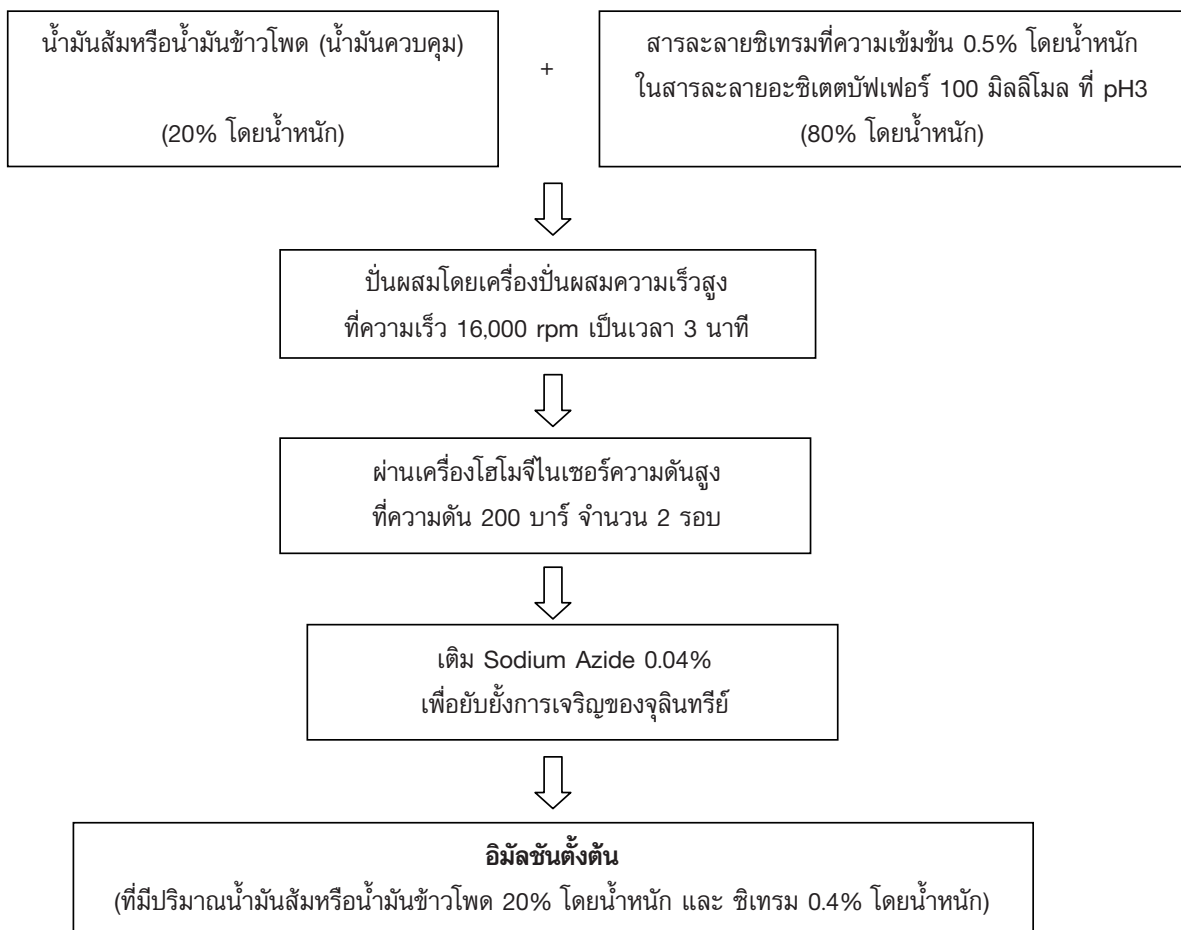
เตรียมสารละลายเจลาติน (Gelatin from porcine skin, for electrophoresis, Type A, Sigma, USA) (pl = 7-9) ที่ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก ในสารละลายอะซิเตดบัพเฟอร์ pH 3 ที่เตรียมไว้ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เพื่อให้เจลาตินละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (~25 °C)

2.2. การเตรียมอิมัลชันตั้งต้นและอิมัลชันปฐมภูมิ

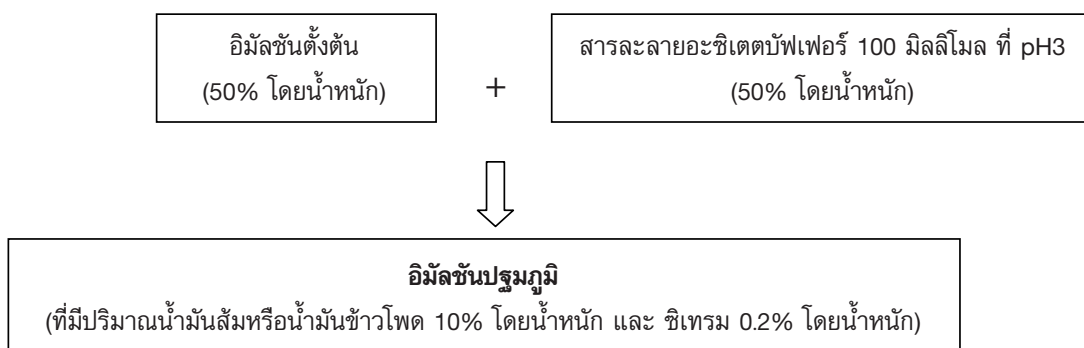
อิมัลชันตั้งต้นเตรียมโดยนำน้ำมันส้ม (บริษัท เครื่องหอมไทยจีน, นนทบุรี) หรือน้ำมันข้าวโพด (Sime Darby Edible Products Limited, Singapore) (น้ำมันคั่ว) 20% โดยน้ำหนัก และสารละลายซิเทรียมที่เตรียมได้ 80% โดยน้ำหนักมาปั่นผสมรวมกันโดยใช้เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (Ystral 18G, Germany) ที่ความเร็วรอบ 16,000 rpm เป็นเวลา 3 นาที นำของผสมที่ได้ผ่าน

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง (APV 15 MR, USA) ที่ความดัน 200 บาร์ จำนวน 2 รอบ เติมสาร Sodium azide 0.04% โดยน้ำหนัก เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (ตั้งขั้นตอนแสดงในรูปที่ 5.1) จากนั้นเติมน้ำละลาย

อะซิเตตบัฟเฟอร์ที่ pH 3 ในสัดส่วน 1:1 ลงในอิมัลชันที่ตั้งต้น เพื่อเตรียมเป็นอิมัลชันปฐมภูมิที่มีปริมาณน้ำมันสั้มหรือน้ำมันข้าวโพด 10% โดยน้ำหนัก และซิเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก (ตั้งขั้นตอนแสดงในรูปที่ 5.2)



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันตั้งต้น

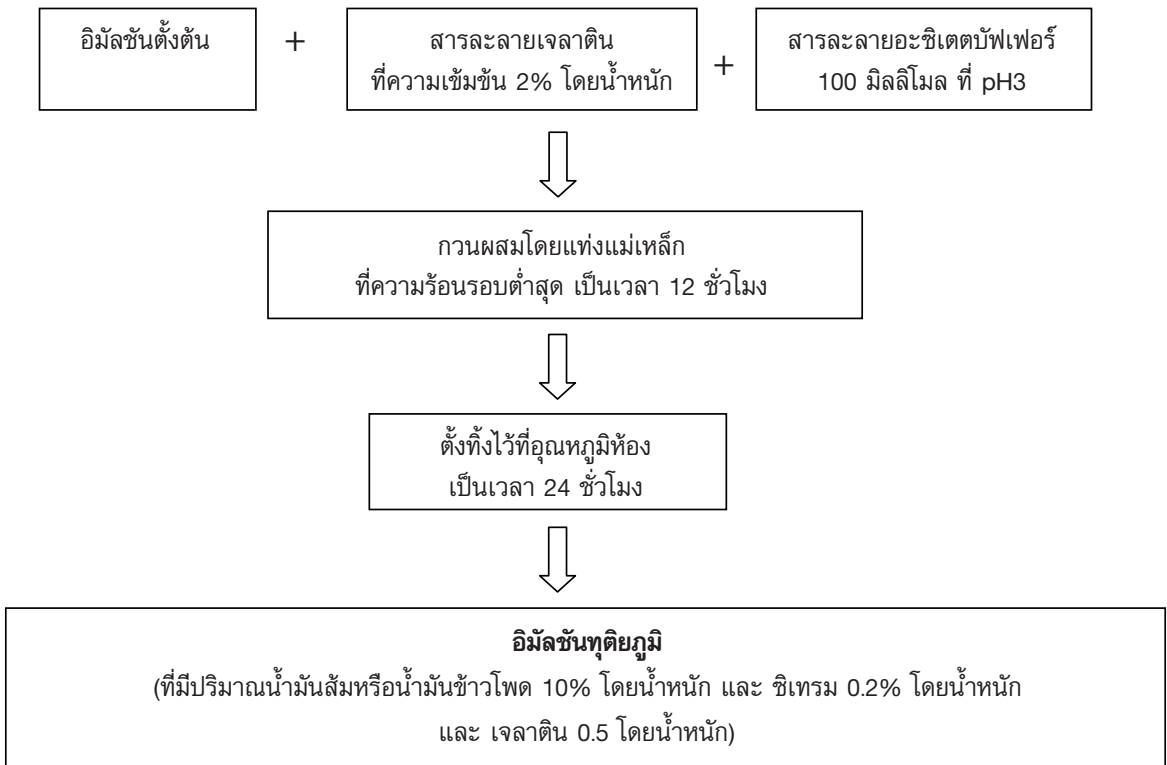


รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันปฐมภูมิ

2.3. การเตรียมอิมัลชันทุติยภูมิ

นำอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดตั้งต้น สารละลายเจลาตินที่เตรียมไว้ และสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ pH 3 ผสมรวมกันให้มีสัดส่วนน้ำมันข้าวโพด 10% โดยน้ำหนัก ชิเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก และเจลาติน 0.1-1.5% โดยน้ำหนัก กวนผสมโดยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วต่ำสุด (~60 rpm) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (~25 °C) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เจลาตินไปเคลือบบนอนุภาคอิมัลชันตั้งต้น (ตั้งชั้นตอนแสดงในรูปที่ 5.3) ตรวจวัดค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพด หลังเติมสารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อเลือกความเข้มข้นเจลาตินที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชัน

ทุติยภูมิ (หัวข้อ 3.1) และตรวจสอบการเคลือบของเจลาตินที่ความเข้มข้นดังกล่าวบนอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันหลังการปรับค่า pH ที่ 3, 5, 7, และ 9 โดยใช้ HCl 0.1 โมลาร์ หรือ NaOH 0.1 โมลาร์ ค่าประจุไฟฟ้าของโปรตีนเจลาตินจะแปรเปลี่ยนไปตามค่า pH (หัวข้อ 3.2) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันข้าวโพดมีความคงตัวมากกว่าน้ำมันส้ม จึงเลือกใช้อิมัลชันน้ำมันข้าวโพดเพื่อศึกษาหาความเข้มข้นเจลาตินที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันทุติยภูมิ (หัวข้อ 3.1) และตรวจสอบการเคลือบของเจลาติน (หัวข้อ 3.2) อิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิสามารถเตรียมได้ด้วยการและสภาวะอย่างเดียวกันกับอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดทุติยภูมิ



รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันทุติยภูมิ

2.4. การตรวจสอบคุณสมบัติของอิมัลชันที่เตรียมได้

ค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันสามารถตรวจวัดได้โดยใช้เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา (Zetasizer nano ZS, Malvern Instruments, UK) และขนาดอนุภาคอิมัลชันสามารถตรวจวัดได้จากเครื่องวัดอนุภาคโดยใช้หลักการกระจายแสง (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, UK) โดยเลือกใช้ค่า Refractive index ของน้ำ น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันสั้มเท่ากับ 1.33, 1.47 และ 1.47 ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d_{3,2} = \frac{\sum_i (n_i d_i^3)}{\sum_i (n_i d_i^2)} \quad (1)$$

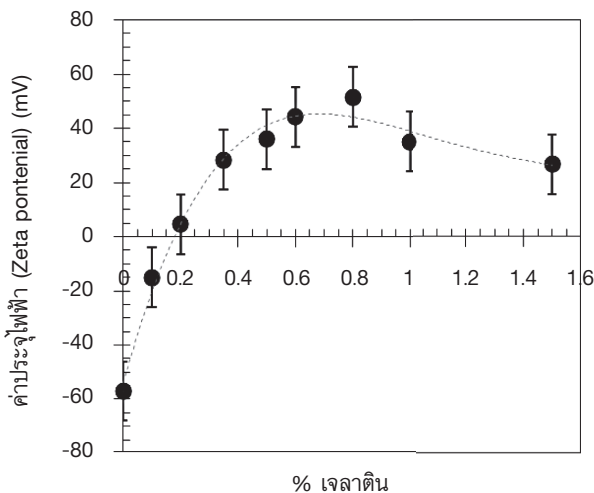
โดย i คือจำนวนช่วงย่อยๆ ที่ได้จากการแบ่งการกระจายขนาดอนุภาคที่วัดได้, d_i คือ ขนาดตรงกึ่งกลางของช่วงขนาดหนึ่งๆ และ n_i คือจำนวนอนุภาคในช่วงขนาดนั้นๆ

3. การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลของการแปรค่าความเข้มข้นเจลาตินต่อค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชัน

รูปที่ 6 แสดงค่าประจุไฟฟ้าบนอิมัลชันน้ำมันข้าวโพด อิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิที่เตรียมได้เริ่มต้นที่มีความเข้มข้นเจลาตินเท่ากับศูนย์มีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ ~ -57 มิลลิโวลต์ ซึ่งค่าประจุไฟฟ้าเป็นลบเนื่องจากซิเทรรมเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่มีหัวเป็นประจุลบ เมื่อเติมสารละลาย

เจลาตินที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงในอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิพบว่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเจลาติน โดยค่าประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก ~-57 mV เป็น ~0 mV เมื่อเติมสารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 0.2 %โดยน้ำหนัก ค่าประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก ~0 mV เป็น ~ +38 mV เมื่อเติมสารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 0.5% โดยน้ำหนัก และ เมื่อเติมสารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5% โดยน้ำหนักขึ้นไป ค่าประจุไฟฟ้าไม่เพิ่มขึ้นมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่หรือประมาณ ~+38 mV ผลดังกล่าวแสดงว่าเจลาตินซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีค่าประจุไฟฟ้าเป็นบวกได้ไปเคลือบบนอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิในปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเจลาตินที่เพิ่มขึ้นและอิมัลชันอิมัลชันอิมัลชันที่ความเข้มข้นเจลาตินประมาณ 0.5% โดยน้ำหนัก ในการทดลองต่อจากนี้จึงเลือกใช้สารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนักในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดและน้ำมันสั้มทุกขุมภูมิ ในงานวิจัยที่ผ่านมานิยมใช้วิธีดังกล่าวในการตรวจสอบปริมาณสารพอลิเมอร์ชีวภาพเพื่อเคลือบอิมัลชันปฐุมภูมิ เช่นใช้ในการตรวจสอบปริมาณเจลาตินจากปลาที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดแบบเมมเบรนสองชั้นที่มี sodium dodecyl sulfate เป็นชั้นอิมัลซิไฟเออร์ [3]

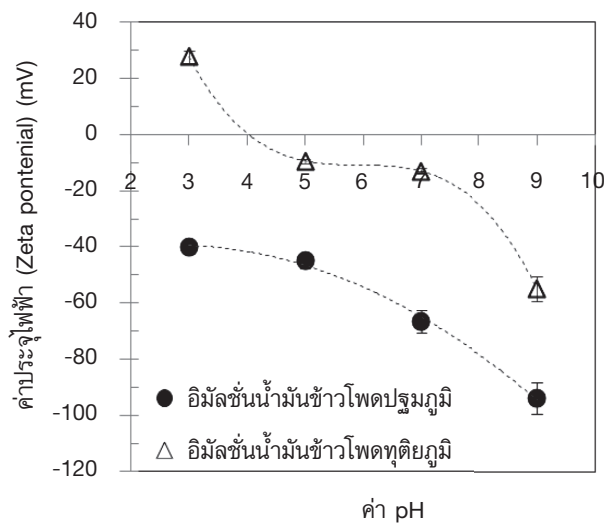


รูปที่ 6 ค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพด (น้ำมันข้าวโพด 10% โดยน้ำหนัก และซิเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH 3) หลังเติมสารละลายเจลาตินที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.2 ผลของการแปรค่า pH ต่อค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชัน

รูปที่ 7 แสดงค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิและอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดทุติยภูมิที่เตรียมโดยใช้เจลาตินที่ความเข้มข้น 0.5% โดยน้ำหนัก หลังปรับที่ค่า pH ต่างๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิมีค่าเป็นลบตลอดช่วงค่า pH ตั้งแต่ 3 ถึง 9 เนื่องจากอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิถูกล้อมรอบด้วยอิมัลซิไฟเออร์ซีเทรรมที่มีหัวเป็นประจุลบ ในขณะที่ประจุไฟฟ้าบนอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ +28 mV ที่ค่า

pH เท่ากับ 3 และมีค่าเท่ากับ -9 mV, -13 mV, และ -55 mV ที่ค่า pH เท่ากับ 5, 7, และ 9 ตามลำดับ เนื่องจากอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดทุติยภูมิล้อมรอบด้วยโปรตีนเจลาตินที่มีค่าประจุไฟฟ้าสุทธิลดลงโดยเปลี่ยนจากค่าบวกเป็นค่าลบเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวยืนยันว่ามีโปรตีนเจลาตินเคลือบบนชั้นซีเทรรมของอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดทุติยภูมิ ในงานวิจัยที่ผ่านมานิยมใช้วิธีดังกล่าวในการตรวจสอบการเคลือบสารพอลิเมอร์ชีวภาพบนอิมัลชันทุติยภูมิ เช่นใช้ในการตรวจสอบการเคลือบโปรตีนจากปลาบนชั้นอิมัลซิไฟเออร์ sodium dodecyl sulfate [3] และการเคลือบของโคโคซานบนชั้นอิมัลซิไฟเออร์เลซิทีน [5]



รูปที่ 7 ค่าประจุไฟฟ้าบนอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิ (น้ำมันข้าวโพด 10% โดยน้ำหนัก และซีเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก) และบนอนุภาคอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดทุติยภูมิ (น้ำมันข้าวโพด 10% โดยน้ำหนัก ซีเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก และเจลาติน 0.5% โดยน้ำหนัก) หลังปรับที่ค่า pH ต่างๆ

3.3 ขนาดอนุภาคอิมัลชันปฐุมภูมิและอิมัลชันทุติยภูมิที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

รูปที่ 8 และ รูปที่ 9 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{3,2}$) และแผนภูมิขนาดอนุภาคอิมัลชันที่ตรวจวัดตั้งแต่วันแรกที่เตรียมอิมัลชันหรือวันที่ 1 และหลังการเก็บไว้ที่ระยะเวลาต่างๆ จากรูปที่ 8ก และ รูปที่ 9ก พบว่า อิมัลชันน้ำมันสัปปฐุมภูมิมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น

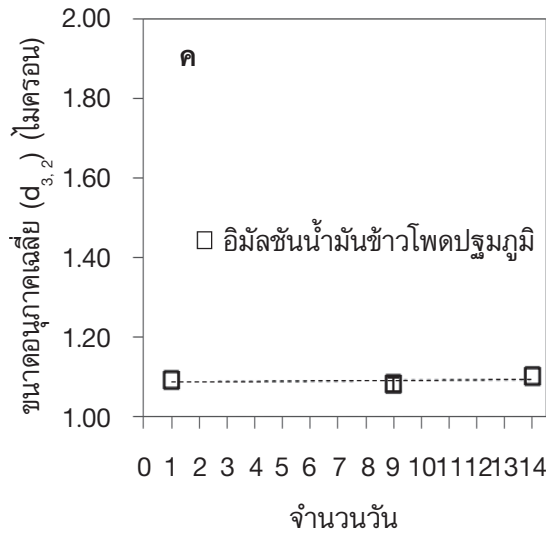
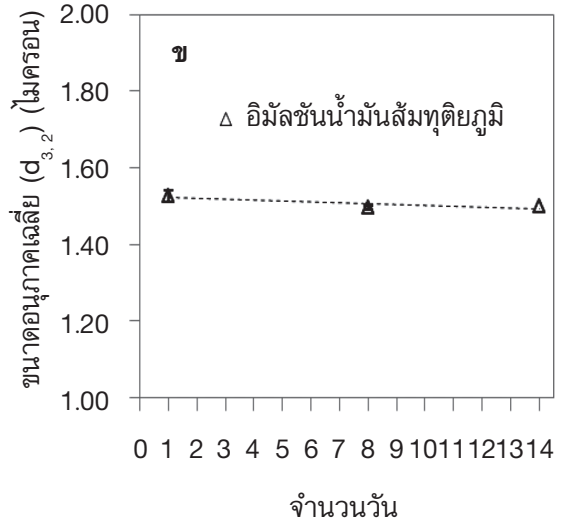
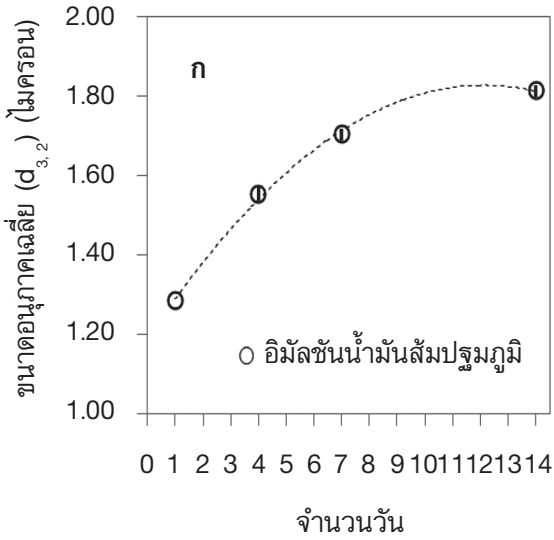
ตามลำดับ จากขนาดอนุภาคเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ $1.3 (\pm 0.02)$ ไมครอน เป็น $1.8 (\pm 0.02)$ ไมครอนในวันที่ 14 หรือมีขนาดเพิ่มขึ้น 1.4 เท่า จากรูปที่ 8ข และรูปที่ 9ข พบว่าขนาดอนุภาคของอิมัลชันน้ำมันสัปปฐุมภูมิมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ $1.5 (\pm 0.02)$ ไมครอน และมีขนาดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 14 วัน และจากรูปที่ 8ค และรูปที่ 9ค พบว่าอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิมี

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยเริ่มต้น $1.1 (\pm 0.02)$ ไมครอน และมีขนาดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน ขนาดอนุภาคเริ่มต้นของอิมัลชันน้ำมันส้มปฐุมภูมิ (1.3 ± 0.02 ไมครอน) อิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิ (1.5 ± 0.02 ไมครอน) และอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิ (1.1 ± 0.02 ไมครอน) มีขนาดใกล้เคียงกันแต่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นั้นเกิดจากความคลาดเคลื่อนขณะเตรียมอิมัลชันตั้งต้นในแต่ละครั้งระหว่างปั่นผสมหรือโฮโมจีไนเซชัน จากกราฟความถี่รูปที่ 9 ข พบกลุ่มประชากรด้านขวาต่อจากกลุ่มประชากรอิมัลชัน สันนิษฐานว่าเป็นอนุภาคเจลาตินจำนวนเล็กน้อยที่ไม่ละลายน้ำแขวนลอยร่วมกับอิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิ ในการศึกษาที่ใช้เจลาตินที่ความเข้มข้นต่ำคือ 0.5% โดยน้ำหนัก เมื่อเขย่าและสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าเจลาตินที่เติมไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพหรือความเหนียวของอิมัลชัน [9]

การที่อิมัลชันน้ำมันส้มปฐุมภูมิมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น (รูปที่ 8 ก หรือ 9 ก) อาจเกิดจากกลไกการสลายตัวของอิมัลชันสองกลไกด้วยกันคือออกสวาร์ตริฟเฟนนิ่ง (Ostwald ripening) หรือการรวมตัวกันเป็นอนุภาคน้ำมันที่ใหญ่ขึ้น (Coalescence) เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นกลไกใด ในการทดลองนี้จึงใช้น้ำมันข้าวโพดเป็นน้ำมันควบคุม น้ำมันข้าวโพดเป็นน้ำมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าน้ำมันส้มมากและไม่สามารถเกิดการออกสวาร์ตริฟเฟนนิ่ง [10] อิมัลชันน้ำมันข้าวโพดจะสลายตัวด้วยกลไกการรวมตัวกันเป็นอนุภาคน้ำมันที่ใหญ่ขึ้นเท่านั้น ผลการทดลองในรูปที่ 8 ค และ 9 ค พบว่าอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิมีขนาดอนุภาคคงที่

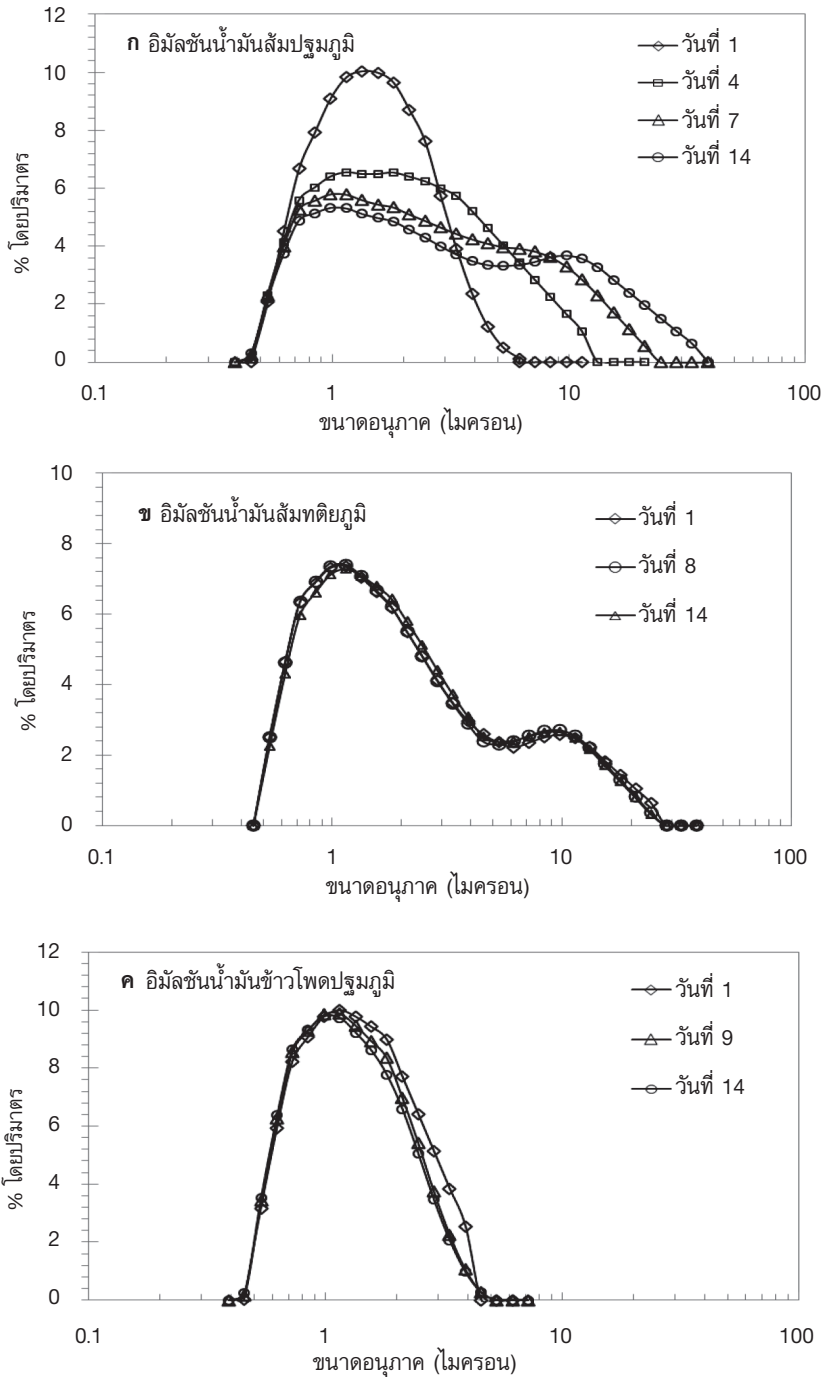
ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาเก็บ 14 วัน แสดงว่าอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิที่เตรียมได้ไม่ได้เกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคน้ำมันที่ใหญ่ขึ้นและมีความคงตัวในช่วงระยะเวลาเก็บดังกล่าว อิมัลชันน้ำมันส้มปฐุมภูมิที่เตรียมด้วยปริมาณน้ำมันเท่ากัน ใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดเดียวกันและปริมาณเท่ากัน และเก็บในสภาวะเดียวกับอิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิจึงควรให้ผลในทิศทางเดียวกันคือไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคน้ำมันที่ใหญ่ขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลองเดียวกันด้วย การเพิ่มขนาดของอนุภาคอิมัลชันน้ำมันส้มปฐุมภูมิในรูปที่ 8 ก และ 9 ก จึงควรเกิดจากการสลายตัวด้วยกลไกออกสวาร์ตริฟเฟนนิ่งเท่านั้น [11-13]

จึงกล่าวได้ว่าอิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิที่เตรียมจากซิเทรรมและเจลาตินมีความคงตัวมากกว่าอิมัลชันน้ำมันส้มปฐุมภูมิและลดอัตราการเกิดออกสวาร์ตริฟเฟนนิ่งได้ Dickinson et. al. [14] และ Djordjevic et. al. [15] ศึกษาอิมัลชันปฐุมภูมิประเภทน้ำมันส้มที่เตรียมจากอิมัลซิไฟเออร์ประเภทกัมพบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการศึกษาหนึ่งพบว่าอิมัลชันแบบเมมเบรนสองชั้นที่เตรียมจาก SDS (sodium dodecyl sulphate) และโคโตซานสามารถป้องกันการเกิดออกสวาร์ตริฟเฟนนิ่งของน้ำมันประเภทเตตระดีเคน (tetradecane) โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีขนาดคงที่ตลอดระยะเวลา 400 ชั่วโมง หรือ 16 วัน [16] จากการศึกษาพบว่าอิมัลชันแบบเมมเบรนสองชั้นสามารถป้องกันการเกิดออกสวาร์ตริฟเฟนนิ่งของอิมัลชันน้ำมันส้มเช่นกัน สันนิษฐานว่าชั้นเจลาตินที่ล้อมรอบอนุภาคอิมัลชันสามารถลดอัตราการถ่ายโอนน้ำมันระหว่างอนุภาคอิมัลชัน



รูปที่ 8 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ

- (ก) อิมัลชันน้ำมันส้มปฐุมภูมิ (น้ำมันส้ม 10% โดยน้ำหนัก และซิเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH 3)
- (ข) อิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิ (น้ำมันส้ม 10% โดยน้ำหนัก ซิเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก และเจลาติน 0.5% โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH 3) และ
- (ค) อิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐุมภูมิ (น้ำมันข้าวโพด 10% โดยน้ำหนัก และซิเทรรม 0.2% โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH 3) ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ



รูปที่ 9 กราฟความถี่แสดงขนาดอนุภาคของ

- (ก) อิมัลชันน้ำมันสั้มปฐมภูมิ (น้ำมันสั้ม 10% โดยน้ำหนัก และซิเทรล 0.2% โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH 3)
- (ข) อิมัลชันน้ำมันสั้มทติยภูมิ (น้ำมันสั้ม 10% โดยน้ำหนัก ซิเทรล 0.2% โดยน้ำหนัก และเจลาติน 0.5 % โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH 3)
- (ค) อิมัลชันน้ำมันข้าวโพดปฐมภูมิ (น้ำมันข้าวโพด 10% โดยน้ำหนัก และซิเทรล 0.2% โดยน้ำหนัก ที่ค่า pH 3) หลังการเก็บเป็นเวลาต่างๆ วันที่เก็บตัวอย่างของ (ก), (ข), และ (ค) แตกต่างกันเนื่องจากข้อจำกัดในวันส่งตัวอย่างเพื่อตรวจวัด

4. สรุปผล

จากการทดลองนี้พบว่าอิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิที่เตรียมได้จากการใช้เมมเบรนแบบสองชั้น มีความคงตัวมากกว่าอิมัลชันน้ำมันส้มปฐมภูมิ กล่าวคืออิมัลชันทุติยภูมิมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บ 14 วัน ในขณะที่อิมัลชันน้ำมันส้มปฐมภูมิมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากการเกิดออสวาร์ดริฟเฟอิ่ง จึงกล่าวได้ว่าอิมัลชันน้ำมันส้มทุติยภูมิที่เตรียมจากเมมเบรนสองชั้น –ซิเทรรมและเจลาติน– สามารถลดอัตราการเกิดออสวาร์ดริฟเฟอิ่งในอิมัลชันน้ำมันส้มได้ ในอนาคตอิมัลชันทุติยภูมินี้สามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อลดปัญหาการเกิด Ring ในเครื่องดื่มประเภทที่ใช้น้ำมันส้มในการแต่งกลิ่นรส สำหรับงานวิจัยต่อจากนี้อาจศึกษาความคงตัวของอิมัลชันทุติยภูมิที่เตรียมจากน้ำมันประเภทโมเลกุลเล็กอื่นๆ เพื่อการนำอิมัลชันทุติยภูมิไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อิมัลชันอื่นๆ ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

1. Peter S, G., Jr., 2009, "Encapsulation of Flavors in Emulsions for Beverages", *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Vol. 14, No. 1, pp. 43-47.
2. Shachman, M., 2005, Emulsions-The Cloudy Drinks, in *The Soft Drinks Companion: A Technical Handbook for the Beverage Industry*, CRC Press LLC, Boca Raton London New York Washington, D.C.
3. Surh, J., Gu, Y.S., Decker, E.A., and McClements, D.J., 2005, "Influence of environmental stresses on stability of O/W emulsions containing cationic droplets stabilized by SDS-fish gelatin membranes", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 53, No. 10, pp. 4236-4244.
4. Ogawa, S., Decker, E.A., and McClements, D.J., 2003, "Influence of environmental conditions on the stability of oil in water emulsions containing droplets stabilized by lecithin-chitosan membranes", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 51, No. 18, pp. 5522-5527.
5. Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decker, E.A., and McClements, D.J., 2005, "Encapsulation of emulsified tuna oil in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition", *Food Hydrocolloids*, Vol. 19, No. 6, pp. 1044-1053.
6. Aoki, T., Decker, E.A., and McClements, D.J., 2005, "Influence of environmental stresses on stability of O/W emulsions containing droplets stabilized by multilayered membranes produced by a layer-by-layer electrostatic deposition technique", *Food Hydrocolloids*, Vol. 19, No. 2, pp. 209-220.
7. Surh, J., Decker, E.A., and McClements, D.J., 2006, "Influence of pH and pectin type on properties and stability of sodium-caseinate stabilized oil-in-water emulsions", *Food Hydrocolloids*, Vol. 20, No. 5, pp. 607-618.
8. Ariyaprakai, S., 2011, "Multilayered Emulsions (In Thai)", *Food Journal (IFRPD, Kasetsart University)*, Vol. 41, No. 1, pp. 21-26.
9. Surh, J., Decker, E.A., and McClements, D.J., 2006, "Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by fish gelatin", *Food Hydrocolloids*, Vol. 20, No. 5, pp. 596-606.
10. McClements, D.J., *Food Emulsions : Principle, Practices, and Techniques*. Contemporary Food Science, ed. F. Clydesdale. 2004, Boca Raton, Florida: CRC Press.
11. Ariyaprakai, S. and Dungan, S.R., "Influence of surfactant structure on the contribution of micelles to Ostwald ripening in oil-in-water emulsions", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 343, No. 1, pp. 102-108.
12. Ariyaprakai, S. and Dungan, S.R. *Role of Surfactant Micelles on Emulsion Stability in The Proceeding of 47th Kasetsart University Annual*

Conference. 2009. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

13. Hoang, T.K.N., La, V.B., Deriemaeker, L., and Finsy, R., 2003, "Ostwald Ripening of Alkane in Water Emulsions Stabilized by Hexaethylene Glycol Dodecyl Ether", *Langmuir*, Vol. 19, No. 15, pp. 6019-6025.

14. Dickinson, E., Galazka, V.B., and Anderson, D.M.W., 1991, "Emulsifying Behavior of Gum Arabic. Part 1: Effect of the Nature of the Oil Phase on the Emulsion Droplet-size Distribution", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 14, pp. 373-383.

15. Djordjevic, D., Cercaci, L., Alamed, J., McClements, D.J., and Decker, E.A., 2007, "Chemical and physical stability of citral and limonene in sodium dodecyl sulfate-chitosan and gum arabic-stabilized oil-in-water emulsions", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 55, No. 9, pp. 3585-3591.

16. Mun, S. and McClements, D.J., 2006, "Influence of Interfacial Characteristics on Ostwald Ripening in Hydrocarbon Oil-in-Water Emulsions", *Langmuir*, Vol. 22, No. 4, pp. 1551-1554.

