

# กลไกการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน

## Multiple Emulsion Stability Mechanism

ปิชญอส ไหมสุทธิสกุล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400

Pitchaon Maisuthisakul

School of Science and Technology, University of the Thai Chamber of Commerce,

Dindang, Bangkok, 10400

E-mail: pitchaon\_mai@utcc.ac.th

### บทคัดย่อ

อิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ เนื่องจากระบบต้องการพลังงานอิสระในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างเฟสของน้ำและน้ำมัน เมื่อเวลาผ่านไป ระบบอิมัลชันจะเกิดการแยกชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นของน้ำมันที่อยู่ด้านบน และชั้นของน้ำอยู่ด้านล่าง ความคงตัวของอิมัลชันเกี่ยวข้องกับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค กลไกการรักษาความคงตัวของอิมัลชันขึ้นอยู่กับการรักษาความคงตัวโดยประจุบนพื้นผิวของอนุภาค คอลลอยด์ การรักษาความคงตัวโดยประจุที่ผิวร่วมระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง การรักษาความคงตัวโดยโมเลกุลที่ผิวร่วมระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง

**คำสำคัญ:** อิมัลชันเชิงซ้อน ความคงตัวของอิมัลชัน กลไก

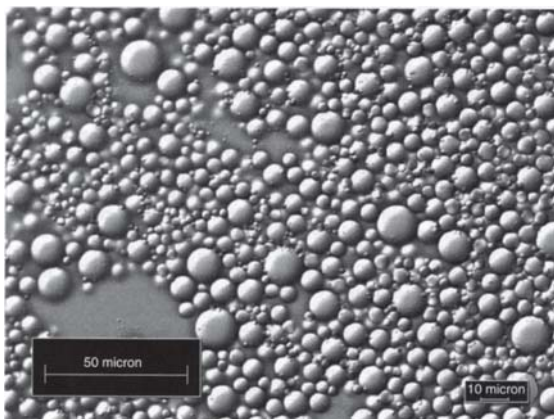
### Abstract

An emulsion is a thermodynamic unstable system, since the system requires free energy for increasing the surface area of the interface between water and oil. As time passes, the emulsion system will separate into layers, consisting of oil as the upper and water as the bottom layer. The stability of the emulsion is related to the balance between absorptive and repulsive forces among its particles. The mechanism of stability of the emulsion depends on maintenance of stability via charge stabilization, steric stabilization and molecular stabilization.

**Keywords:** Multiple Emulsions, Emulsion Stability, Mechanism

## 1. บทนำ

อิมัลชันประกอบด้วยของเหลวสองส่วนที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible Liquids) โดยปกติเป็นน้ำมันกับน้ำ ซึ่งเป็นของเหลวที่กระจายแบบอนุภาค ในอาหารส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.1-100 ไมครอน [5, 3, 19] อิมัลชันสามารถแบ่งกลุ่มได้โดยใช้เฟสน้ำมันและเฟสน้ำเป็นเกณฑ์ คือ ระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคไขมันกระจายอยู่ในเฟสน้ำ เรียกระบบอิมัลชันนี้ว่า อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in Water, O/W) (ภาพที่ 1) เช่น มายองเนส นม ครีม ชุป และซอส ในทางตรงกันข้าม ระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคน้ำกระจายอยู่ในเฟสน้ำมัน เรียกระบบอิมัลชันนี้ว่า อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in Oil, W/O) เช่น มากา린 และเนยเหลว นอกจากนี้ ยังมีระบบอิมัลชันเชิงซ้อน ซึ่งแบ่งเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (Oil in Water in Oil, O/W/O) และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (Water in Oil in Water, W/O/W) [4] ยกตัวอย่างเช่น ระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำประกอบด้วยอนุภาคของน้ำกระจายตัวอยู่ในอนุภาคของน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่าและกระจายอยู่ในเฟสต่อเนื่องที่ประกอบด้วยน้ำ

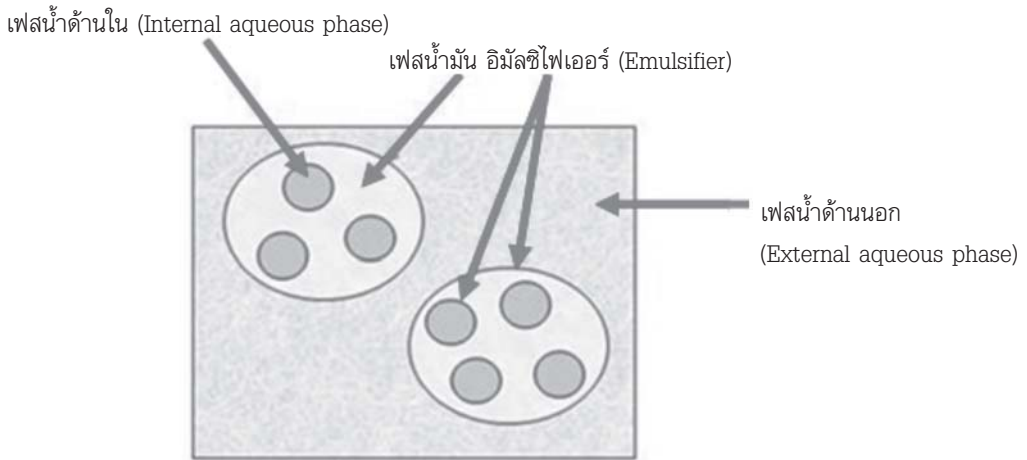


ภาพที่ 1 ลักษณะของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W)

ที่มา: McClements [11]

## 2. เทคนิคอิมัลชันเชิงซ้อน

อิมัลชันเชิงซ้อนเป็นระบบที่ซับซ้อนสามารถเรียกอีกอย่างได้ว่า ระบบอิมัลชันในอิมัลชัน (Emulsions in Emulsions) กล่าวคือ เป็นระบบที่อนุภาคของเฟสที่กระจายตัวมีอนุภาคขนาดเล็กกว่ากระจายตัวอยู่ในอีกชั้นหนึ่ง [6] อิมัลชันเชิงซ้อนสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (Water-in-Oil-in-Water Emulsion, W/O/W) และอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (Oil-in-Water-in-Oil Emulsions, O/W/O) [6] ซึ่งอิมัลชันทั้งสองชนิดนี้นำมาพัฒนาให้สามารถรักษาสารสำคัญให้เกิดความเสถียรมากขึ้น เช่น สารละลายวิตามินซีในระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ สารละลายน้ำมันปลาพุน่าในระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำในน้ำมัน ทั้งนี้ลักษณะของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิด W/O/W แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อิมัลชันชนิด W/O/W

โดยทั่วไปวิธีการที่นิยมในการทำอิมัลชันเชิงซ้อน คือ การใช้กระบวนการผลิตอิมัลชันสองขั้นตอน (Two-step Emulsification) โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิดด้วยกัน โดยชนิดแรกเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ชอบน้ำมัน (Lipophilic Emulsifier) ที่มีค่า Hydrophilic Lipophilic Balance (HLB) ต่ำ ซึ่งค่า HLB มีการกำหนดค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 20 ชนิดที่มีค่าต่ำ คือ ค่าระหว่าง 4 ถึง 6 ซึ่งใช้ในขั้นตอนการสร้างอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water-in-Oil, W/O) และชนิดที่สองเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Emulsifier) ที่มีค่า HLB ที่มีค่าสูง คือ ค่าในช่วง 8-18 ซึ่งใช้ในขั้นตอนการสร้างอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-Water, O/W) ค่าเอชแอลบีระหว่าง 6 ถึง 8 ไม่มีการแนะนำให้ใช้มักใช้เป็นสารดูดความชื้น และค่าเอชแอลบี ต่ำกว่า 4 และมากกว่า 18 จะมีค่าแรงตึงผิวชนิดต่ำ จึงไม่นิยมใช้ จากนั้นทำการเตรียมอิมัลชันด้วยการใช้แรงเฉือนที่สูงโดยอาจใช้วิธีอัลตราโซนิก (Ultrasonification) หรือการโฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) ส่วนขั้นตอนถัดมาที่ใช้สร้างอิมัลชันเชิงซ้อนนั้น ใช้แรงเฉือนที่น้อยกว่าเพื่อป้องกันการแตก (Rupture) ของอนุภาคอิมัลชัน [6, 16]

อิมัลชันเชิงซ้อน ประกอบด้วยอนุภาคอิมัลชันขนาดใหญ่ และมีการกระจายตัวของอนุภาคขนาดแตกต่างกัน (Polydispersed) ส่งผลให้เกิดความไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิก (Thermodynamically Instability) มีแนวโน้มเกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค (Flocculation) การรวมตัวกันของอนุภาค (Coalescence) และการแยกชั้นเป็นครีม (Creaming) [1]

การสูญเสียความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำนั้นสามารถเป็นไปได้จากหลายกลไกด้วยกัน ได้แก่ การรวมตัวกันของอนุภาคของน้ำเฟสภายใน (Internal Aqueous Phase) จนกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ การเกาะกลุ่มกันของอนุภาคไขมันจนแขวนลอยบนเฟสน้ำด้านนอก (External Aqueous Phase) การแตกของอนุภาคไขมันที่กั้นระหว่างเฟสภายในและเฟสภายนอก และการเคลื่อนของน้ำจากเฟสภายในผ่าน

แผ่นฟิล์มของอนุภาคไขมันออกมาสู่เฟสน้ำภายนอก ซึ่งอาจเกิดจากการแพร่ของน้ำผ่านผิวอนุภาคไขมันบริเวณฟิล์มที่ห่อหุ้มรอบอนุภาคไขมัน [16, 17] ส่วนการสูญเสียความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมันนั้นสามารถเป็นไปได้จากหลายกลไกคล้ายคลึงกับการสูญเสียความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน เช่น การรวมตัวกันของอนุภาคของน้ำมันเฟสภายใน (Internal Pile Phase) จนกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ [9]

### 3. กลไกการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อน

ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability) หมายถึง ความสามารถของอิมัลชันในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่าง ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป เช่น กรณีที่อิมัลชันมีความคงตัวสูงจะทำให้การเปลี่ยนแปลงสมบัติต่าง ๆ อาทิ การแยกชั้นเป็นไปได้ช้า [9] ซึ่งกลไกการรักษาความคงตัวของอิมัลชันประกอบด้วย

#### 3.1 การรักษาความคงตัวโดยประจุบนพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ (Charge Stabilization)

ความคงตัวของระบบคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งสามารถเกิดพันธะต่อกันได้ พันธะที่เกี่ยวข้องนี้เป็นพันธะในกลุ่มของแรงช่วงยาว ได้แก่ แรงดึงดูดแวน เดอ วาลส์ และแรงผลักระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์ที่มีประจุเหมือนกัน (Electrical Repulsion) ผลรวมของแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างศักย์ไฟฟ้า (Electrical Potentials) ขึ้นอยู่กับระยะห่างอนุภาคของคอลลอยด์ เมื่ออนุภาคของคอลลอยด์อยู่ห่างกันถึงแม้ผลรวมของศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ คือ แรงดึงดูดมากกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคอยู่ใกล้กันเกินกว่าจะเกิดพันธะในกลุ่มของแรงช่วงสั้น เช่น พันธะโคเวเลนต์ เมื่ออนุภาคของคอลลอยด์เข้ามาใกล้กันมากขึ้น ผลรวมของศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก คือ แรงผลักระหว่างอนุภาคมากกว่าแรงดึงดูด อนุภาคคอลลอยด์ไม่เกิดการเกาะกลุ่มกันหรือรวมตัวกัน ทำให้ระบบคอลลอยด์รักษาความคงตัวไว้ได้ไม่เกิดการตกตะกอนหรือแยกชั้น เมื่อมีการเติมไอออนลงในระบบคอลลอยด์ ประจุไฟฟ้าของไอออนไปเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าของระบบคอลลอยด์ทั้งในเฟสที่กระจายตัวและเฟสต่อเนื่อง ดังนั้น ศักย์ไฟฟ้าที่ระยะห่างระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์จะเปลี่ยนไปทำให้แรงผลักลดลง [7] ที่ระยะห่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์สั้น ๆ ผลรวมของศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ คือ แรงดึงดูดมากกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์จึงเกิดการเกาะกลุ่มและทำให้ระบบคอลลอยด์เสียความคงตัวผลของการลดแรงผลักระหว่างอนุภาคเติมไอออนขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนที่สามารถทำให้ประจุบนพื้นผิวของอนุภาคเป็นกลาง (Charge Neutralization) ความเข้มข้นของไอออนที่เติม และ pH ของระบบคอลลอยด์นั้น ๆ ที่จะทำให้ประจุรวมของอนุภาคคอลลอยด์เปลี่ยนไป [8]

#### 3.2 การรักษาความคงตัวของแรงผลักระหว่างโมเลกุลที่ผิวร่วมของเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง (Steric Stabilization)

การรักษาความคงตัวของระบบคอลลอยด์โดยโมเลกุลที่ผิวร่วม เกิดขึ้นได้เนื่องจากสารประกอบที่มีส่วนของโมเลกุลที่ละลายได้ทั้งในเฟสที่กระจายตัวและเฟสต่อเนื่องมีขนาดโมเลกุลใหญ่เพียงพอที่สามารถกีดขวางการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ เช่น โปรตีน ซึ่งมีโมเลกุลค่อนข้างใหญ่จะถูกดูดซับหรือละลายได้ในเฟสของน้ำมัน (Oil Phase) และมีบางส่วนที่ละลายน้ำได้ที่อยู่ในเฟสของน้ำ (Aqueous Phase) ดังนั้น

ที่ผิวร่วมระหว่างน้ำมันกับน้ำ (Oil-water Interface) จึงเกิดโครงสร้างซึ่งสามารถทำหน้าที่กีดขวางการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน เพราะโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่พอที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องกีดขวาง (Barrier) ไม่ให้อนุภาคคอลลอยด์เกาะกลุ่มกันได้ [10]

### 3.3 การรักษาความคงตัวโดยอนุภาคที่ผิวร่วมระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง (Particle Stabilization)

ความสามารถในการรักษาความคงตัวของระบบคอลลอยด์โดยอนุภาค (Particle) ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดเรียงตัวของอนุภาคนั้น ๆ ที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง เช่น อนุภาคน้ำมัน (Oil Droplet) ถูกล้อมรอบด้วยอนุภาคของคอลลอยด์ ทำให้การรวมตัวของอนุภาคน้ำมันเกิดขึ้นได้ยากเมื่อมีการชนกัน เพราะอนุภาคของคอลลอยด์ทำหน้าที่เป็นเครื่องกีดขวาง ความสามารถในการรักษาความคงตัวโดยกลไกนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคคอลลอยด์และมุมที่อนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผิวร่วม เรียกว่า มุมสัมผัส (Contact Angle) ถ้าอนุภาคคอลลอยด์ละลายได้ง่ายในน้ำมัน อนุภาคมีส่วนที่อยู่ในน้ำมันมากกว่าในน้ำ (มุมน้อยกว่า  $90^\circ$ ) ประสิทธิภาพในการเป็นเครื่องกีดขวางไม่มากเท่าอนุภาคคอลลอยด์ที่สามารถละลายในน้ำและน้ำมันเท่า ๆ กัน (มุม =  $90^\circ$ ) และถ้าอนุภาคละลายในน้ำได้ดี อนุภาคมีส่วนที่อยู่ในน้ำมากกว่าน้ำมัน (มุมมากกว่า  $90^\circ$ ) ทำให้เป็นเครื่องกีดขวางได้ไม่ดีเท่ากับเมื่อมีมุมเท่ากับ  $90^\circ$  เพราะอนุภาคสามารถหลุดออกจากส่วนที่เป็นน้ำมันได้ง่าย [18]

อิมัลชันเป็นระบบที่ไม่คงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์ เนื่องจากระบบต้องการพลังงานอิสระในการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างเฟสของน้ำและน้ำมัน เมื่อเวลาผ่านไป ระบบอิมัลชันเกิดการแยกชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นของน้ำมันที่อยู่ด้านบน (มีความหนาแน่นต่ำ) และชั้นของน้ำอยู่ด้านล่าง (มีความหนาแน่นสูง) ความคงตัวของอิมัลชันเกี่ยวข้องกับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค โดยแรงดึงดูดซึ่งเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals) เป็นแรงที่ทำให้เกิดความไม่คงตัวของอิมัลชัน ในขณะที่แรงผลักร่วมกันทำให้เกิดความคงตัว โดยทำให้อนุภาคแยกจากกัน [14]

## 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลไกการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเชิงซ้อนมากมาย อาทิ

Su et al. [15] ศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่น้อยที่สุดที่ส่งผลให้ระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำมีความคงตัวและมีปริมาณผลผลิตสูง โดยใช้ Polyglycerol Ester of Polyricinoleate Acid (PGPR) ผสมกับโซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในเฟสแรกของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน และ NaCN ในเฟสที่สองของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ ซึ่งเป็นการศึกษาการรักษาความคงตัวโดยอนุภาคคอลลอยด์ที่ผิวร่วมระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง (Particle Stabilization) จากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของ PGPR (ร้อยละ 0.5-8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เพียงอย่างเดียวไม่ทำให้ขนาดของอนุภาคของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำแตกต่างกัน นอกจากนี้ การเติม NaCN ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 0.03-0.5) ในอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำส่งผลให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น และมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเพิ่มขึ้น (น้อยกว่าร้อยละ 90)

นอกจากนั้น การผสมร้อยละ 2 ของ PGPR โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กับ NaCN ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในเฟสแรกของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำทำให้ได้ปริมาณผลผลิตและความคงตัวของอิมัลชันไม่แตกต่างจากการเติม PGPR เพียงอย่างเดียวในเฟสแรกของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ

Choi et al. [2] ศึกษาผลของการกักเก็บเหล็ก ( $Fe^{3+}$ ) ภายในเฟสของน้ำภายในของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำต่อขนาดของอนุภาคไขมันโดยใช้ไขมันข้าวโพดและใช้ PGPR เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในเฟสของน้ำมันและเวย์โปรตีนไอโซเลท (Whey Protein Isolate: WPI) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในเฟสของน้ำภายนอก ซึ่งเป็นการศึกษาการรักษาความคงตัวโดยอนุภาคคอลลอยด์ที่ผิวร่วมระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง (Particle Stabilization) พบว่า ขนาดอนุภาคของไขมันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเก็บไว้ 7 วัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเติมเหล็กเข้าไปในอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำโดยใช้ไขมันปลา และทำการวัดอัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันในรูปของ TBARs เป็นที่น่าสนใจว่าการไม่เติมเหล็กลงไปใช้น้ำมันปลาทำให้เกิดออกซิเดชันช้าลง

Muschiolik et al. [12] ศึกษาการเตรียมอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชันเชิงซ้อนชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน พบว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และเจลาติน ในเฟสน้ำสามารถป้องกันการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน ทั้งนี้ เจลาตินรักษาความคงตัวของแรงผลักระหว่างโมเลกุลที่ผิวร่วมของเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่องได้มากขึ้น โดยการเติมเจลาตินนั้น พบว่า เจลของเจลาตินจะเป็นตัวป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคน้ำมัน ส่วน NaCl สามารถรักษาความคงตัวโดยประจุบนพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ (Charge Stabilization) นอกจากนี้ โซเดียมคลอไรด์และเจลาตินยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการห่อหุ้มสารและเพิ่มความเสถียรของอนุภาคไขมันในอิมัลชันเชิงซ้อน

O'Regan et al. [13] ศึกษาผลของการใช้โซเดียมเคซิเนต ( $NaCN$ ) ร่วมกับมอลโตเดกซ์ตรินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลชัน โดยทำการเปรียบเทียบผลของการใช้  $NaCN$ ,  $NaCN$  ร่วมกับมอลโตเดกซ์ตรินชนิด Maltrin040 (Md40) และ  $NaCN$  ร่วมกับมอลโตเดกซ์ตริน ชนิด Maltrin100 (Md100) ซึ่งเป็นการศึกษาการรักษาความคงตัวโดยประจุบนพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ (Charge Stabilization) ซึ่งความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำพิจารณาจากขนาดของอนุภาค ความหนืด และลักษณะภายในของอิมัลชัน ส่วนความคงตัวของของเฟสภายในนั้นพิจารณาจากประสิทธิภาพในการห่อหุ้มวิตามินบี 12 ซึ่งเป็นการศึกษาความคงตัวของแรงผลักระหว่างโมเลกุลที่ผิวร่วมของเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง (Steric Stabilization) จากการทดลองพบว่า การใช้  $NaCN$  ร่วมกับ มอลโตเดกซ์ตรินทำให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มวิตามินบี 12 ดีกว่าการใช้  $NaCN$  เพียงอย่างเดียว

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อน ให้มีความคงตัวมากขึ้น มักเกี่ยวข้องกับกลไกการรักษาความคงตัวโดยอนุภาคคอลลอยด์ที่ผิวร่วมระหว่างเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง (Particle Stabilization) และการรักษาความคงตัวของแรงผลักระหว่างโมเลกุลที่ผิวร่วมของเฟสที่กระจายตัวกับเฟสต่อเนื่อง (Steric Stabilization) มากกว่า

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Benichou, A. Aserin and N. Garti, "Double emulsions stabilized with hybrids of natural polymers for entrapment and slow release of active matters" *Advanced Colloid Interface Science*, **vol.** 108, pp 29-41, 2004.
- [2] S.J. Choi, E.A. Decker and D. J. McClements, "Impact of iron encapsulation within the interior aqueous phase of water-in-oil-in-water emulsions on lipid oxidation" *Food Chemistry*, **vol.** 116, pp. 271-276, 2009.
- [3] E. Dickinson, *An Introduction to Food Colloids*. Oxford: Oxford University Press, 1992.
- [4] E. Dickinson and D.J. McClements. *Advance in Food Colloids*. London: Chapman & Hall, 1995.
- [5] E. Dickinson and G. Stainsby. *Colloids in Food*. London: Applied Science Publishers, 1982.
- [6] N. Garti, "Double emulsions-scope, limitations and new achievements" *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **vol.** 123, pp. 233-246, 1997.
- [7] A.Y. Khan, S. Talegaonkar, Z. Iqbal, F.J. Ahmed, R.K. Khar. "Multiple emulsions: an overview" *Current Drug Delivery*, **vol.** 3, **no.** 4, pp. 429-43, 2006.
- [8] T. Mahmood and N. Akhtar. "Stability of a cosmetic multiple emulsion loaded with green tea extract" *The Scientific World Journal*, **vol.** 2013, pp. 1-7, 2013.
- [9] P. Maisuthisakul and T. Harnsilawat, "Effect of pH and sucrose on physical properties of drinking yoghurt stabilized by whey protein isolate" *University of the Thai Chamber of Commerce Journal*, **vol.** 28, **no.** 3, pp. 148-161, 2008.
- [10] P.Maisuthisakul, W. Tanawan and H. Thepkunya. "Tamarind kernel powder, gum arabic and maltodextrin as a novel combination for encapsulating agents of phenolic antioxidants" *International Food Research Journal*, **vol.** 20, **no.** 2, pp. 645-652, 2013.
- [11] D.J. McClements, *Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques*. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [12] G. Muschiolik, I. Scherza, P. Preissler, J. Weiss, A. Knoth and A. Fechner. (2012, March). Multiple emulsions-preparation and stability. [Online]. Available: <http://iufost.edpscience.org>
- [13] J. O'Regan and D.M. Mulvihill, "Sodium caseinate-maltodextrin conjugate stabilized double emulsions: encapsulation and stability" *Food Research International Journal*, **vol.** 43, pp. 224-231, 2010.

- [14] A.L. St. Angelo, A brief introduction to food emulsions and emulsifiers, pp. 1-8. In G. Charalambous and G. Doxastakis, eds. *Food Emulsifiers Chemistry, Technology, Functional Properties and Applications*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1989.
- [15] J. Su, J. Flanagan, Y. Hemar and H. Singh, “Synergistic effects of polyglycerol ester of polyricinoleic acid and sodium caseinate on the stabilisation of water-oil-water emulsions” *Food Hydrocolloids*, **vol.** 20, pp. 261-268, 2006.
- [16] S. Sugiura, M. Nakajima, K. Yamamoto, S. Iwamoto, T. Oda, M. Satake and M. Seki, “Preparation characteristics of water-in-oil-in-water multiple emulsions using microchannel emulsification” *Journal of Colloid Interface Science*, **vol.** 270, pp. 221-228, 2004.
- [17] S. Van der Graaf, C.G. P.H. Schroen and R.M. Boom, “Preparation of doubleemulsion by membrane emulsification-a review” *Journal of Membrane Science*, **vol.** 251, pp. 7-15, 2005.
- [18] D.D. Vasiljević, J.V. Parojčić, M.M. Primorac, and G.M. Vuleta, “Rheological and droplet size analysis of W/O/W multiple emulsions containing low concentrations of polymeric emulsifiers” *Journal of the Serbian Chemical Society*, **vol.** 74, **no.** 7, pp. 801-816, 2009.
- [19] P. Walstra, Dispersed systems: basic considerations, pp. 95-155. In O.R. Fennema, ed. *Food Chemistry*. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996.



**Assistant Professor Dr. Pitchaon Maisuthisakul** is Dean of School of Science and Technology, University of the Thai Chamber of Commerce. Her Ph.D. from Kasetsart University, Thailand, is in Product Development. Her primary research interest is plant phenolic compounds and antioxidants, sensory analysis, product development especially in oral care, including antimicrobial and anti-inflammation capacity of plant extracts.