

# ระบบอิมัลชัน

## อาหารและความคงตัว



สุภัทชนม์ คล่องดี

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป  
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



อิมัลชันเป็นคอลลอยด์ประเภทหนึ่ง ซึ่งเกิดจากของเหลว 2 ชนิดขึ้นไปที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ตัวทำอิมัลชัน หรืออิมัลซิฟายเออร์ (*emulsifier*) เป็นตัวผสมให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันแต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะเห็นเป็น 2 วัฏภาค คือ เห็นเป็นหยดเล็กๆ ของของเหลวชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคภายใน หรือวัฏภาคกระจายตัว (*internal or dispersed phase*) ซึ่งกระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า วัฏภาคภายนอก หรือวัฏภาคต่อเนื่อง (*external or continuous phase*) โดยทั่วไปขนาดของวัฏภาคกระจายตัว อาจมีขนาดต่างๆ กัน ตั้งแต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน จนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของวัฏภาคกระจายตัว มีผลต่อการกระเจิงของแสงได้ต่างกัน ส่งผลให้อิมัลชันมีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน (*McClements, 2005*) ตัวอย่างอาหารประเภทอิมัลชัน ได้แก่ นม เนย สลัดครีม ไอศกรีม มายองเนส และมาร์การีน เป็นต้น



ปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น (*ความชื้นและประจุไอออน*) ทำให้มีผลต่อลักษณะคุณสมบัติของระบบอิมัลชันในอาหาร

## 2. วัฏภาคน้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันมีบทบาทสำคัญด้านคุณค่าทางโภชนาการ การผลิต และสมบัติทางเคมีกายภาพของอาหารในระบบอิมัลชัน เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารที่จำเป็น แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันและไขมันบางชนิด เช่น คอเลสเตอรอล ไขมันอิ่มตัว กรดไขมันชนิดทรานส์ (*trans fatty acids*) จะส่งผลต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคอ้วน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน และมะเร็ง (*Bhathena, 2000; Bruckner, 2000; Glauert, 2000; McClements, 2005*) ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวโน้มที่จะลดปริมาณน้ำมันและไขมันส่วนที่เกิดผลเสียต่อสุขภาพในผลิตภัณฑ์อาหารลง อย่างไรก็ตามวัฏภาคน้ำมันในระบบอิมัลชันมี

## องค์ประกอบที่สำคัญในระบบอิมัลชัน

### 1. วัฏภาคน้ำ

น้ำมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพโดยรวม (*bulk physicochemical properties*) และสมบัติทางประสาทสัมผัสของระบบอิมัลชันในอาหาร สมบัติเชิงโครงสร้างและเชิงโมเลกุลที่มีความเฉพาะตัวของน้ำจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลาย การจัดเรียง และการเข้าทำปฏิกิริยาขององค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในระบบอิมัลชัน ด้วยความสามารถของโมเลกุลน้ำในการเข้าทำ

ความสำคัญต่อกลิ่นรส เนื่องมาจากภูมิภาคน้ำมันทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายองค์ประกอบที่สำคัญในอาหาร อาทิเช่น วิตามินที่ละลายได้ในน้ำมัน สารต้านออกซิเดชัน สารกันบูด และน้ำมันหอมระเหย (*essential oil*) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสในอาหาร

### 3. ตัวทำอิมัลชันหรืออิมัลซิฟายเออร์ (*emulsifier*)

อิมัลซิฟายเออร์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีความสามารถในการลดตึงผิวบนพื้นผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ และยังป้องกันการรวมกลุ่มกันของหยดน้ำมันในอิมัลชัน ได้แก่ การเกาะกลุ่มกัน (*flocculation*) และ/หรือ การหลอมรวมกัน (*coalescence*) อิมัลซิฟายเออร์ที่ใช้ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวโมเลกุลขนาดเล็ก ไบโอโพลีเมอร์ที่มีขั้วและไม่มีขั้วในตัวเอง และวัตถุติดที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบ ซึ่งความสามารถในการสร้างอิมัลชัน และทำให้อิมัลชันคงตัวอยู่ได้ขึ้นอยู่กับโมเลกุลและคุณลักษณะด้านเคมีกายภาพของอิมัลซิฟายเออร์ คุณสมบัติของอิมัลซิฟายเออร์ในอุดมคติคือ สามารถลดตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างน้ำมันและน้ำได้อย่างรวดเร็ว ลดแรงตึงผิวได้มากพอ และป้องกันการสูญเสียความคงตัวภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ ในกระบวนการผลิต การขนส่ง การเก็บรักษา และการนำไปใช้ (*McClements, 2005*) ตัวอย่างอิมัลซิฟายเออร์ที่ใช้โดยทั่วไปในอาหารอิมัลชัน ได้แก่ เลซิทีน ฟอสโฟลิปิด โมโนกลีเซอไรต์ Tween Span เป็นต้น

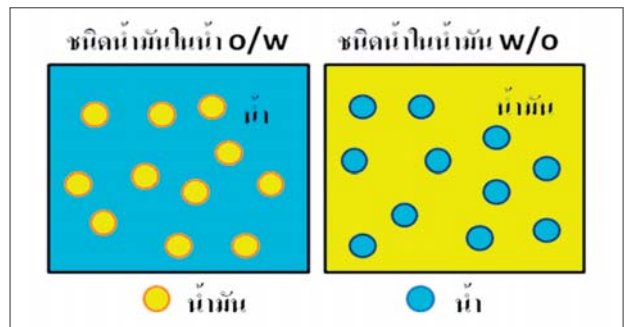
### ชนิดและรูปแบบของอิมัลชัน

#### 1. อิมัลชันเชิงเดี่ยว (*single emulsion*)

เป็นอิมัลชันที่ประกอบด้วยภูมิภาคภายในและภายนอกเท่านั้น ได้แก่ อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (*W/O emulsion*) อิมัลชันชนิดนี้มีภูมิภาคภายในเป็นน้ำ ภูมิภาคภายนอกเป็นน้ำมัน ตัวอย่างอาหาร ได้แก่ มายองเนส เนย เป็นต้น และอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (*O/W emulsion*) อิมัลชันชนิดนี้กลับกันกับชนิดแรก คือ มีภูมิภาคภายในเป็นน้ำมัน ภูมิภาคภายนอกเป็นน้ำ เช่น นม มายองเนส ครีม เป็นต้น

#### 2 อิมัลชันเชิงซ้อน (*multiple emulsion*)

เป็นอิมัลชันที่มีภูมิภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน สามารถเรียกได้ว่าเป็นอิมัลชันใน



ภาพที่ 1 ภาพจำลองอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำและชนิดน้ำในน้ำมัน ที่มา: ดัดแปลงจาก *McClements (2005)*

อิมัลชัน เช่น อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (*W/O/W*) ซึ่งมีน้ำเป็นภูมิภาคภายนอก แต่ภูมิภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็กๆ ของน้ำกระจายตัวอยู่อีกที หรือ ชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (*O/W/O*) โดยน้ำมันเป็นภูมิภาคภายนอก แต่ภูมิภาคภายในเป็นน้ำและมีหยดเล็กๆ ของหยดน้ำมันกระจายตัวอยู่

### กลไกการเกิดอิมัลชัน

เมื่อนำของเหลวสองชนิดที่ไม่เข้ากันมาผสมกันของเหลวทั้งสองชนิดจะแยกกันอยู่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากเกิดแรงตึงผิวระหว่างผิวของของเหลวทั้งสอง แต่เมื่อมีการเขย่าซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิว ทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกัน เกิดเป็นอิมัลชัน แต่การเกิดอิมัลชันลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราว เมื่อเวลาผ่านไปของเหลวทั้งสองจะเกิดการแยกชั้นขึ้น ซึ่งหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อธิบายได้ว่าการเขย่าเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระที่พื้นผิวของเหลวจึงเข้ากันได้ชั่วคราว สภาวะนี้ถือว่าไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวน ของเหลวเหล่านั้นก็จะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากการปรับสภาวะให้เข้าจุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด ซึ่งหากต้องการให้เกิดเป็นอิมัลชันถาวร ต้องใช้อิมัลซิฟายเออร์เข้ามาช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวทั้งสอง ให้เกิดการกระจายตัวในกันและกัน มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (*พิมพร, 2532*) ดังนั้นในขั้นตอนการเกิดอิมัลชันจึงต้องทำให้ของเหลวที่เป็นภูมิภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดเล็กๆ โดยอาศัยการให้พลังงานซึ่งอาจใช้ในรูปของความร้อน การคนหรือเขย่า การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง หรือไฟฟ้า เป็นต้น จากนั้นจึงใช้อิมัลซิฟายเออร์ช่วยทำให้ภูมิภาคภายในที่เป็นหยดเล็กกระจายตัวอยู่ในอีกภูมิภาคหนึ่ง



## ความคงตัวของระบบอิมัลชัน

ความคงตัวของระบบอิมัลชัน หมายความว่า ความสามารถของระบบอิมัลชันที่ชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตามระยะเวลา ซึ่งระยะเวลานั้นขึ้นกับธรรมชาติของระบบอิมัลชันในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ บางผลิตภัณฑ์ต้องการระยะเวลาในการคงตัวเพียงไม่นานแต่ทว่าบางผลิตภัณฑ์ต้องการระยะเวลาในการคงตัวนานเป็นเดือนหรือปี ได้แก่ มายองเนส น้ำสลัด เป็นต้น ดังนั้นการทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชันจึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง

### 1. ขนาดอนุภาคหยดน้ำมัน

ขนาดของอนุภาคหยดน้ำมันเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน อนุภาคหยดน้ำมันมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (*Brownian movement*) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตลอดเวลาแบบสุ่ม ไม่มีทิศทางแน่นอน ซึ่งการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนช่วยให้อนุภาคหยดน้ำมันเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกและกระจายตัวอยู่ในระบบได้อย่างไรก็ตามเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะมีแนวโน้มเคลื่อนที่ตามแรงโน้มถ่วงของโลกมากขึ้น ทำให้เคลื่อนที่แบบบราวเนียนน้อยลง อนุภาคหยดน้ำมันจึงสูญเสียความคงตัว โดยอาจเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน (*creaming*) หรืออาจตกตะกอนลงด้านล่าง (*sedimentation*) (McClements, 2005)

### 2. ประจุของอนุภาคหยดน้ำมัน

ค่าประจุทางไฟฟ้าของอนุภาคหยดน้ำมันพิจารณาในหลายลักษณะ อาทิ ความหนาแน่นประจุที่พื้นผิว (*surface charge density*) หรือปริมาณประจุต่อพื้นที่ผิวสัมผัส และค่าประจุที่พื้นผิวอนุภาคหยดน้ำมัน ( $\zeta$ -potential หรือ *Zeta potential*) ซึ่งก็คือค่าความต่างศักย์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวสเตอร์น (*stern potential*) กับศักย์ไฟฟ้าในชั้นสารละลาย แสดงถึงค่าประจุที่ดูดซับบริเวณพื้นผิวอนุภาคหยดน้ำมัน ประจุที่พื้นผิวอนุภาคหยดน้ำมันสามารถกำหนดการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคหยดน้ำมันได้ โดยหากอนุภาคหยดน้ำมันมีประจุที่พื้นผิวอนุภาคเหมือนกัน อนุภาคหยดน้ำมันจะเกิดการผลักกัน และหากมีประจุที่พื้นผิวอนุภาคหยดน้ำมันต่างกัน อนุภาคหยดน้ำมันจะดึงดูดเข้าหากัน อนุภาคหยดน้ำมันในระบบอิมัลชันส่วนใหญ่มีประจุที่พื้นผิวหยดน้ำมันเหมือนกัน

เนื่องจากใช้อิมัลซิไฟเออร์เดียวกัน หากมีค่าประจุที่พื้นผิวอนุภาคหยดน้ำมันมากพอ อนุภาคหยดน้ำมันก็จะมี การกระจายตัวที่ดี เนื่องจากแรงผลักทางประจุ พีเอช (pH) และความแรงไอออน (*ionic strength*) มีผลต่อค่าประจุที่พื้นผิวอนุภาคอย่างมาก โดยหากพีเอชมีการเปลี่ยนแปลง หรือมีการเติมเกลือในระบบอิมัลชัน ประจุของไอออนของเกลือที่แตกตัวจะเข้าไปกั้นขวางอันตรกิริยาทางประจุระหว่างอนุภาคหยดน้ำมัน ทำให้มีแรงผลักไม่เพียงพอต่อการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน อนุภาคหยดน้ำมันเกิดการเกาะกลุ่มกันและอาจเกิดการแยกชั้นอย่างรวดเร็ว

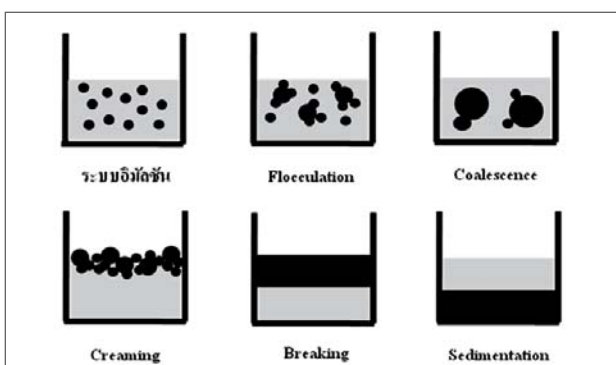
### 3. การสูญเสียความคงตัวของระบบอิมัลชัน

ความคงตัวของระบบอิมัลชันในอาหารมีความซับซ้อน เนื่องจากครอบคลุมปรากฏการณ์ และกลไกต่าง ๆ มากมาย ขั้นตอนการสูญเสียความคงตัวคือเกิดการเกาะกลุ่มของอนุภาค จากนั้นหลอมรวมเป็นอนุภาคเดียวกัน เกิดครีม และสุดท้ายเกิดการแยกชั้น ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีกลไกการเกิดที่ต่างกัน (Friberg and Larsson, 1997) (ภาพที่ 2) การแยกชั้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงนั้น เกิดจากความแตกต่างของแรงโน้มถ่วง และความหนาแน่นระหว่างอนุภาค และของเหลวรอบ ๆ ทำให้อิมัลชันเกิดการแยกออกจากกัน ถ้าอนุภาคตัวถูกกระจายมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลวโดยรอบ อนุภาคจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ซึ่งหมายความว่า การเกิดครีม (*creaming*) ในทางตรงกันข้าม ถ้าอนุภาคมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลวโดยรอบ อนุภาคจะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง ซึ่งหมายความว่า เกิดการตกตะกอนที่ด้านล่าง (*Sedimentation*) การแยกชั้นที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงส่งเสริมให้อนุภาคเข้ามาใกล้กัน ซึ่งส่งผลให้อนุภาคเกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับอนุภาคข้างเคียง หลังจากการชนกันอนุภาคในอิมัลชันเกิดการแยกออกจากกันหรือเกาะกลุ่มกันขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของขนาดแรงดึงดูดและแรงผลักที่เกิดระหว่างอนุภาค

การรวมกลุ่มกันของอนุภาคในระบบอิมัลชันของอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ การเกาะกลุ่มของอนุภาค (*Flocculation*) และการหลอมรวมเป็นอนุภาคเดียวกัน (*Coalescence*) การเกาะกลุ่มของอนุภาคเกิดจากอนุภาคสองอนุภาคหรือมากกว่านั้นเข้ามาเกาะกลุ่มกันโดยที่ยังคงลักษณะเดิมเฉพาะตัวไว้ได้ ซึ่งมีกลไกการเกิดหลายรูปแบบ เช่น การเกิดการเกาะกลุ่มกัน



เนื่องจากการเติมอิมัลซิฟายอิงเอเจนต์ (*emulsifying agent*) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการดูดซับที่พื้นผิวอนุภาคมากกว่าหนึ่งอนุภาค อนุภาคจึงเชื่อมต่อกันเป็นสาย (*molecular bridges*) ซึ่งเป็นการเกิด bridging flocculation และกลไกการเกิดการเกาะกลุ่มกันเนื่องจากการเติมโพลิเมอร์ที่ไม่ดูดซับที่พื้นผิวอนุภาค ทำให้มีปริมาณโพลิเมอร์ในส่วนวัฏภาคต่อเนื่องเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดแรงดันออสโมติก (*osmotic pressure*) ผลักดันโมเลกุลนี้ออกจากพื้นผิวอนุภาค ทำให้อนุภาคเกิดการเกาะกลุ่มกันเมื่อเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน เรียกกลไกการเกิดการเกาะกลุ่มกันนี้ว่า depletion flocculation ในขณะที่การหลอมรวมเป็นอนุภาคเดียวกันนั้น เกิดจากอนุภาคสองอนุภาคหรือมากกว่านั้นมาหลอมรวมกันกลายเป็นอนุภาคเดี่ยวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การเกาะกลุ่มของอนุภาคและการหลอมรวมเป็นอนุภาคเดียวกันเร่งอัตราเร็วในการเกิดการแยกชั้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (*Coupland and McClements, 2001; McClements, 2005*) การเสียดความคงตัวของอิมัลชันมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ในด้านข้อดีนั้นการสูญเสียความคงตัวของอิมัลชันช่วยสร้างลักษณะเนื้อสัมผัสที่พึงประสงค์ ตัวอย่างเช่น การผลิตชีสด้วยการตกตะกอน ส่วนข้อเสียคือลดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เปลี่ยนลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหาร



ภาพที่ 2 การสูญเสียความคงตัวของอิมัลชัน  
ที่มา: ดัดแปลงจาก McClements (2005)

## เอกสารอ้างอิง

พิมพ์พร ลีลาพรพิสิฐ. 2532. เครื่องสำอางสำหรับผิวหนัง. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 220 หน้า

Bhathena, S.J. 2000. Dietary fatty acids and fatty acid metabolism in diabetes, pp. 915-962. In C.K. Chow, ed. *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*. Marcel Dekker, New York. 1045 p.

Bruckner, G. 2000. Fatty acid and cardiovascular diseases, pp. 843-864. In C.K. Chow, ed. *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*. Marcel Dekker, Inc., New York. 1045 p.

Coupland, J.N. and D.J. McClements. 2001. Ultrasonic characterization in food emulsion, pp. 233-242. In J. Sjöblom, ed. *Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology*. Marcel Dekker, Inc., New York. 736 p.

Friberg, S.E. and K. Larsson. 1997. *Food Emulsions*. Marcel Dekker Inc., New York.

Glauert, H.P. 2000. Dietary fatty acids and cancer, pp. 865-882. In C.K. Chow, ed. *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*. Marcel Dekker, Inc., New York. 1045 p.

McClements, D.J. 2005. *Food Emulsions : Principles, Practice, and Techniques*. 2 ed. CRC Press, Boca Raton. 609 p.

