

บทที่ 1

บทนำ

บทนำในเรื่อง

ไคโตแซนจัดเป็นสารพอลิเมอร์จากธรรมชาติชนิดหนึ่งที่พบได้ในส่วนของเปลือกแข็งของสัตว์ทะเล แมลง และผนังเซลล์ของพืชพวกเห็ด รา ดังนั้นจึงสามารถนำวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เปลือกกุ้ง เปลือกปู มาใช้ในการผลิตไคโตแซน เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเศษเหลือเหล่านั้นได้ ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินซึ่งผ่านการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้หลายหมู่ เช่น หมู่อะมิโน ($-NH_2$) ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และ 3 ไคโตแซนจึงมีความสามารถในการจับกับสารอื่นๆ เช่น น้ำ ไขมัน สี โปรตีน รวมถึงอออนโลหะเป็นต้น (ภาวดี เมธะกานนท์ และคณะ, 2542; Marie *et al.*, 2002; Majeti and Ravi, 2000; Shahidi *et al.*, 1999) นอกจากนี้ไคโตแซนเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่มีความเป็นพิษ ไม่มีกลิ่น มีสีขาว และมีความสามารถเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต จึงมีการนำไคโตแซนมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ แพร่หลายมากขึ้น เช่น ด้านการเกษตร ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ และมีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อช่วยเพิ่มลักษณะต่างๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารให้ดียิ่งขึ้น อาจกล่าวได้ว่าไคโตแซนเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการนำไปใช้ได้หลากหลาย โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ไคโตแซนในด้านอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจัยที่ใช้ในการผลิตไคโตแซนไม่ว่าจะเป็นลำดับขั้นตอนในกระบวนการผลิตชนิดของสารเคมี ระยะเวลา อุณหภูมิ และความดันที่ใช้ใน แต่ละกระบวนการผลิต ล้วนมีผลต่อสมบัติของไคโตแซน จึงต้องทำการเลือกใช้สภาวะในการผลิตไคโตแซนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไคโตแซนที่มีสมบัติตามที่ต้องการ ปัจจุบันมีการศึกษาสมบัติของไคโตแซนเพื่อนำไคโตแซนไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแตกต่างกันไป เช่น การใช้ไคโตแซนในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เนื่องจากไคโตแซนสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารได้ การนำไคโตแซนไปใช้เป็นตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) ในผลิตภัณฑ์มายองเนส เนื่องจากไคโตแซนมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความสามารถในการจับน้ำและจับไขมัน (amphiphilic polyelectrolytes) อีกทั้งความหนืดของไคโตแซนยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์อิมัลชันเกิดความคงตัวมากขึ้น โดยถือว่าตัวทำอิมัลชันเป็นตัวการสำคัญในการทำให้ผลิตภัณฑ์อิมัลชันเกิดความคงตัว ประสิทธิภาพการทำหน้าที่ของไคโตแซนในผลิตภัณฑ์อิมัลชันขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมี และกายภาพของไคโตแซน อาทิเช่น

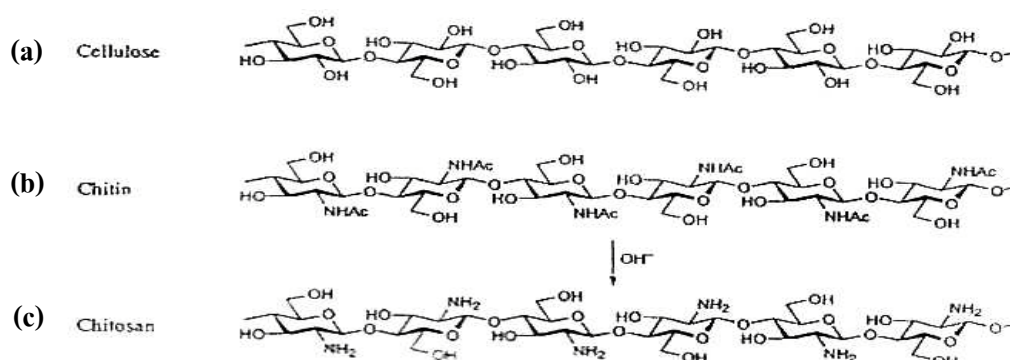
ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล น้ำหนักโมเลกุล รวมทั้งสภาวะในการเตรียมซึ่งแตกต่างกันไปตามแหล่งของไคโตแซน และการประยุกต์ใช้ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้มีเป้าหมายที่จะศึกษาผลของไคโตแซนที่ผลิตจากเปลือกกุ้งกุลาดำ ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ความร้อนต่อสมบัติของอิมัลชัน เพื่อนำไปสู่แนวทางการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

ตรวจเอกสาร

1. ไคโตแซน

1.1 ลักษณะโครงสร้างของไคโตแซน

ไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ของ β -1,4-2-amino-2 deoxy-D-glucopyranose ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่มีการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไป โดยหมู่อะซิทิล (-NHCOCH₃) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในวงไพราโนสของไคติน เปลี่ยนเป็นหมู่เอมิโนอิสระ (-NH₂) ที่สามารถรับโปรตอนและทำให้ พอลิเมอร์ที่ได้มีประจุเป็นบวก (ภาพที่ 1) ไคโตแซนไม่มีความเป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีสีขาว มีความสามารถเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต และมีสมบัติในการดูดซับและจับสารอื่นๆ เช่น โปรตีน ลีซอัม กรดไขมันอิสระ และโลหะหนักเป็นต้น จึงมีการนำไคโตแซนมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2542; Marie *et al.*, 2002; Majeti and Ravi, 2000; Shahidi *et al.*, 1999)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโตแซน

Figure 1. Chemical structure of cellulose, chitin and chitosan

- (a) cellulose, poly (1,4- β -D-glucose)
- (b) chitin, poly (1,4-2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucose)
- (c) chitosan, poly (1,4-2-amino-2-deoxy- β -D-glucose)

ที่มา : Kurita (2001)

1.2 สมบัติทางกายภาพของไคโตแซน

ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (degree of deacetylation)

ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นค่าที่ใช้ในการบ่งชี้ความเป็นไคโตแซน เนื่องจากไคโตแซนเป็นสารพอลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือมีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน ในขณะที่เดียวกันถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือมีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตแซน (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2542)

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

น้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซนอยู่ในช่วง 1×10^5 ดาลตัน ถึง 1.2×10^6 ดาลตัน ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2542) โดยไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายไคโตแซนมีค่าสูงขึ้น (No *et al.*, 2000; Muzzarelli, 1977)

รูปแบบของโมเลกุล (molecular conformation)

ไคโตแซนเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประเภทบวก (cationic polyelectrolyte) เนื่องจากเมื่อไคโตแซนละลายในสารละลายที่มีสภาวะเป็นกรด ส่งผลให้หมู่เอมีโนอิสระ (NH_2) ในสายโซ่โมเลกุลสามารถรับโปรตรอนแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูป $-\text{NH}_3^+$ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของไคโตแซนมีประจุบวก รูปแบบโมเลกุลของไคโตแซนเมื่อละลายในสารละลาย สามารถบ่งชี้ได้โดยค่า Mark-Houwink Exponent (ค่า a) ถ้าค่า a มีค่าประมาณ 0.5-0.8 และ 1.8 สามารถบ่งชี้ได้ว่า พอลิเมอร์มีลักษณะขดตัวเป็นวงกลม (Sphere) มีลักษณะเป็น Random Coil และมีลักษณะเป็นแท่ง (Rod) ตามลำดับ รูปแบบโมเลกุลของไคโตแซนที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของไอออน ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความเข้มข้นของยูเรีย น้ำหนักโมเลกุล และระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคโตแซน (Chen and Tsaih, 1998 อ้างโดย ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2542)

การละลาย (solubility)

ไคโตแซนมีโครงสร้างที่เป็นผลึกอยู่มาก จึงไม่สามารถละลายในน้ำ ค้าง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดหมู่อะซิทิลทำให้ไคโตแซนมีหมู่เอมีโนอิสระ ($-\text{NH}_3^+$) ซึ่งมีสมบัติเป็นประจุบวกที่สภาวะเป็นกรด และมีค่า pK_a ที่ความเป็นกรดต่าง 6.3 ดังนั้นไคโตแซนจึงสามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์หลายชนิดที่มีความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 5.5 และสามารถตกตะกอนได้ที่ความเป็นกรดต่างมากกว่า 7 (Marie *et al.*, 2002; Ravikumar, 2000; Poole, 1989) กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตแซน นอกจากนี้

กรดอินทรีย์บางชนิด เช่นกรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตแซนภายใต้การคนกวนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง ทั้งนี้อาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น แต่พบว่าไคโตแซนไม่ละลายในกรดซัลฟูริก อีกทั้งยังพบว่าสารละลายไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ประมาณ 1×10^7 g/mol) มีความเหนียวใสเมื่อละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน และมีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโตเนียน (non-newtonian) (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2542; Qurashi *et al.*, 1992)

สุวดี จันทร์กระจ่าง (2542) ศึกษาความสามารถในการละลายของไคโตแซนในกรดชนิดต่างๆที่มีระดับความเข้มข้นของกรดแตกต่างกันคือร้อยละ 1 5 และ 10 พบว่าไคโตแซนสามารถละลายได้ดีในกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก และกรดมาลิก ในทุกระดับความเข้มข้นของกรดที่ทำการศึกษา แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การละลายของไคโตแซนในสารละลายกรดชนิดต่างๆ (1 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ของสารละลายกรด)

Table 1. Solubility of chitosan with different acid solution (1 mg/100 ml of acid solution)

Acid concentration	1%	5%	10%
Acetic	+	+	+
Citric	-		
Formic	+	+	+
Lactic	+	+	+
Malic	+	+	+
Tartaric	-		+
Hydrochloric	+	-	-

+ : ละลาย , - : ไม่ละลาย

+ : solubility , - : insolubility

ที่มา : ดัดแปลงจาก สุวดี จันทร์กระจ่าง (2542)

ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตแซนขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ระดับการก่อกำจัดหมู่อะซิติก น้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างโมเลกุล อัตราส่วนระหว่างไคโตแซนและกรด ความเข้มข้นของอออน ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิ (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2542; Anonymous, 1989; Muzzarelli, 1977) โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างของสารละลายพอลิเมอร์ ส่งผลให้ค่าความหนืดแตกต่างกัน เช่นความหนืดของไคโตแซนในกรดอะซิติกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีความเป็นกรดต่างลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตแซนในกรดไฮโดรคลอริก มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดต่างของสารละลายเพิ่มขึ้น (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2542) ไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือมีความเข้มข้นของไคโตแซนในสารละลายสูงมีผลให้ความหนืดสูงขึ้นเช่นกัน (No *et al.*, 2000; Muzzarelli, 1977) นอกจากนั้นมีการศึกษาพบว่าความเข้มข้นต่าง และระยะเวลาในการก่อกำจัดหมู่อะซิติกที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายไคโตแซนมีค่าลดลง (Wu and Bough, 1978)

1.3 สมบัติทางเคมีของไคโตแซน

ไคโตแซนมีสมบัติทางเคมีหลากหลาย ซึ่งล้วนมีผลต่อเนื่องไปถึงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไคโตแซนไม่ว่าจะเป็น คุณสมบัติในการจับน้ำ จับไขมัน สมบัติในการเป็นตัวทำอิมัลชัน การเกิดเจล การเกิดแผ่นฟิล์ม และคุณสมบัติในการเป็นสารตกตะกอน โดยจะกล่าวถึงสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของไคโตแซนซึ่งมีความเกี่ยวเนื่องกัน ดังนี้

การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล (intermolecular properties)

การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล เช่น การเกิดฟิล์ม เป็นสมบัติที่เกิดจากการเกิดพันธะ หรือการประสานตัวระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค สมบัติทางเคมีในข้อนี้ ส่งผลให้สามารถทำการขึ้นรูปไคโตแซนในรูปของฟิล์ม หรือเมมเบรนได้ โดยนำไคโตแซนมาละลายในกรดเจือจาง เช่น กรดอะซิติก จะได้สารละลายชั้นหนืดซึ่งใช้ในการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม หรือเมมเบรน

Hosokawa และคณะ (1990) ศึกษาฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากไคโตแซน ผสมกับไฮโมจิโนสเซลลูโลส พบว่าฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการยอมให้ออกซิเจนผ่านได้สูง และเมื่อปริมาณของไคโตแซนเพิ่มขึ้น ค่าแรงต้านของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น Hosokawa และคณะ (1991) พบว่าการฟอร์มตัวของฟิล์มไคโตแซน เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่คาร์บอนิลของเซลลูโลส และหมู่อะมิโนของไคโตแซน

Averbach (1978) ทำการศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มของไคโตแซน พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่น สามารถใช้ห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากสามารถรับประทานได้ ไม่เป็นพิษ ทนความร้อนสูงและมีความแข็งแรงสูง เช่น ทำปลอกหุ้มไส้กรอก ไปจนถึงวัสดุห่อหุ้มอาหารที่จะเข้าเตาอบ และใช้ในการบรรจุอาหารต่างๆได้

Yang และ Zall (1984) ได้ผลิตแผ่นกรองรีเวอร์สออสโมซิสโดยละลายไคโตแซนในกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 2 แล้วแผ่เป็นแผ่นบางบนกระจก ปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 แผ่นฟิล์มชนิดนี้ทนต่อต่าง (ความเป็นกรดต่าง = 13) แต่ยังคงละลายในกรด ดังนั้นการเติมหมู่อะซิทิลให้กับหมู่เอมิโนอิสระทำให้แผ่นฟิล์มคงทนต่อกรด ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าแผ่นกรองที่ผลิตจากเซลลูโลสอะซิเตท

การทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส (interphasic properties)

ไคโตแซนมีสมบัติในการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส เช่น ความสามารถในการจับไขมัน (fat binding capacity) ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsion capacity) และความสามารถในการจับสี (dye binding capacity)

ความสามารถในการจับไขมัน (fat binding capacity) ของไคตินในรูปผลึกขนาดเล็ก และไคโตแซน มีค่าในช่วงร้อยละ 170-315 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) โดยไคโตแซนมีคุณสมบัตินี้ต่ำกว่าไคติน (Knorr, 1982) ซึ่งตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Cho และคณะ (1998) ศึกษาลักษณะทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของไคตินและไคโตแซนทางการค้า พบว่าความสามารถในการจับไขมันของไคตินส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน ก็จะอยู่ในช่วงร้อยละ 316-320 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) แต่ไคโตแซนมีความสามารถในการจับไขมันแตกต่างจากไคติน โดยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 314-535 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)

ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsion capacity) ของไคโตแซนนั้น Rodriguez และคณะ (2002) ศึกษาการเกิดอิมัลชันระหว่างน้ำมันเมล็ดทานตะวันกับสารละลายไคโตแซน ซึ่งมีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลระหว่างร้อยละ 75 ถึง 95 ทำการเตรียมสารละลายไคโตแซนในกรดไฮโดรคลอริกที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่าสามารถเกิดอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันในน้ำ (water/oil/water) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Del และคณะ (1999) ที่ศึกษาการเกิดอิมัลชันระหว่างน้ำมันเมล็ดทานตะวันกับสารละลายไคโตแซน ซึ่งมีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลระหว่างร้อยละ 75 ถึง 95 โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน พบว่าในทุกะดับการกำจัดหมู่อะซิทิล จะให้ความคงตัวของอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันในน้ำ (w/o/w) เช่นกัน

ความสามารถในการจับสี (dye binding capacity) ของไคโตแซนนั้น Knorr (1983) ได้ศึกษาการใช้ไคตินและไคโตแซนในการจับสี (FD & C Red No. 40) พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสี (0.2-1.6 มิลลิกรัมต่อกรัมไคติน และไคโตแซน) โดยในช่วงความเป็นกรดต่าง

2.0 ถึง 7.0 ความสามารถในการจับสีของไคตินคงที่ แต่ลดลงเมื่อความเป็นกรดต่างสูงกว่า 7.0 ส่วนความสามารถในการจับสีของไคโตแซนมีค่าคงที่ที่ความเป็นกรดต่าง 7.0 และ 5.5

No และคณะ (2000) ศึกษาความสามารถในการจับของไคโตแซนชนิดต่างกัน พบว่าความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity, WBC) ความสามารถในการจับไขมัน (fat binding capacity, FBC) และความสามารถในการจับสี (dry binding capacity, DBC) 3 สี คือ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน ขึ้นอยู่กับชนิดของไคโตแซน โดยไคโตแซนแต่ละชนิดมีสมบัติต่างกัน ค่า WBC ของไคโตแซนมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 355 ถึง 611 FBC มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 217 ถึง 403 และ DBC ของสีแดงอยู่ในช่วงร้อยละ 21.3 ถึง 100 สีเหลืองอยู่ในช่วงร้อยละ 7.4 ถึง 99.8 และสีน้ำเงินอยู่ในช่วงร้อยละ 14.9 ถึง 98.0 ไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีค่า DBC สูงกว่า ไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

สมบัติการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis reactions)

ไคโตแซนสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรดหรือด่าง ภายใต้สภาวะของกรดหรือด่าง กลุ่มอะซิทิลในไคโตแซนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของกลุ่ม N-acetyl ที่ตำแหน่ง C-2 เหลือเพียงกลุ่มเอมีน (NH_2) โดยเฉพาะในสภาวะกรด พอลิเมอร์ของไคโตแซนอาจถูกตัดที่พันธะ β -glycosidic ทำให้ขนาดของพอลิเมอร์เล็กลง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินจะสามารถต้านทานการย่อยสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตแซน ในขณะเดียวกันการย่อยสลายไคโตแซนโดยด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การย่อยสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า peeling reaction (ภาวดี เมธะกานนท์ และคณะ, 2542; Winterowd and Sandford, 1995)

สมบัติการเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ (enzymatic reactions)

การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์มีข้อดีคือ มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการใช้สารเคมี ไคโตแซนถูกทำให้ย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไลโซไซม์ (Lysozyme) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ ความเข้มข้นของออสโมส และความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม ปริมาณ N-acetylation มากยิ่งเกิดปฏิกิริยาสลายตัวได้เร็วขึ้น ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้การจับตัวเป็นผลึกของไคโตแซนลดลง และสลายการจับตัวของพอลิเมอร์ ในร่างกายคนเรามีเอนไซม์ไลโซไซม์เพียงเล็กน้อยในปากและกระเพาะอาหาร จึงสามารถย่อยสลายไคโตแซนได้เล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากสัตว์ต่างๆ ที่มีเชื้อแบคทีเรียบางชนิดปะปนไปกับอาหาร ทำให้เกิดเอนไซม์ chitinase หรือ chitosanase ที่ช่วยย่อยสลายสารไคตินหรือไคโตแซนได้ โดยเอนไซม์ chitinase สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของไคตินแบบส้อม ตรงตำแหน่งพันธะ 1, 4-linkage ได้เป็น N-Acetyl-chitooligosaccharide ในขณะที่เอนไซม์ chitosanase สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของ ไคโตแซนแบบส้อมตรงตำแหน่ง

พันธะ 1, 4-linkage ได้เป็น chitooligosaccharide (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2542; Winterowd and Sandford, 1995)

ความสามารถในการตกตะกอน (coagulating ability)

ไคโตแซนเป็นตัวสร้างตะกอนและเป็นตัวตกตะกอน (flocculant and coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากโครงสร้างของไคโตแซนมีหมู่อะมิโนจำนวนมากซึ่งสามารถแตกตัวเป็นประจุบวก และจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน ลีซอม และพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2542)

Holland และ Shabaz (1995) ใช้ไคโตแซน 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการตกตะกอนโปรตีนจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมการผลิตหอยแมลงภู่ ที่ความเป็นกรดต่าง 6.0-7.0 โดยทำการทดลองแบบกะพบว่า สามารถตกตะกอนโปรตีนได้ร้อยละ 80 Whistler และ Bemiller (1995) พบว่าไคโตแซนสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำทิ้งได้ โดยการตกตะกอนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ มีการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนโดยใช้เกลือบางชนิดร่วมด้วย กล่าวได้ว่า สามารถนำไคโตแซนไปใช้ในการแก้ปัญหาน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารได้ (Jun *et al.*, 1994)

มีการนำไคตินและไคโตแซนไปใช้ในการกำจัดโลหะหนัก เช่น Co^{++} Cu^{++} Ni^{++} Hg^{++} และ Fe^{++} เนื่องจากโครงสร้างของไคโตแซนมีหมู่ซึ่งมีประจุยื่นออกมาจากโครงสร้าง ดังนั้นไคโตแซนจึงมีสมบัติในการจับกับโลหะหนักได้ (Brair and Jishi, 2000; Knorr, 1991) นอกจากนี้ไคตินและไคโตแซนสามารถจับกับสารกำจัดแมลง เช่น DDT และสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เช่น พลูโตเนียม เมทิลเมอร์คิวรีอะซิเตท ซึ่งเกิดจากโรงงานผลิตอะเซทิลซัลไฟด์ ตลอดจนมีการใช้ไคโตแซนในการกำจัดปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ในน้ำเสีย (Bizeski, 1987)

2. อิมัลชัน

อิมัลชัน คือระบบของสารที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสม ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิดซึ่งไม่สามารถละลายเข้ากันได้ เช่น น้ำและน้ำมัน สามารถนำมาผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยอาศัยตัวทำอิมัลชัน ผลิตภัณฑ์อิมัลชันบางชนิดมีการใช้ตัวทำอิมัลชัน 1 ชนิด และบางผลิตภัณฑ์ก็มีการใช้ตัวทำอิมัลชันมากกว่า 1 ชนิด แล้วแต่ความเหมาะสมในแต่ละผลิตภัณฑ์ (McClements, 1999) อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเห็นลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็น 2 ส่วนคือ เม็ดหรือหยด (droplets) ของของเหลวชนิดหนึ่ง เรียกว่าตัวกระจาย (internal or dispersed phase) ซึ่งจะกระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งเรียกว่าตัวทำกระจาย (external or continuous phase) ความคงตัวของอนุภาคตัวกระจายเกิดจากสารช่วย

เกาะยึดอนุภาคของแข็ง โดยสิ่งเหล่านี้จะอยู่รวมตัวกันที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลว อาจมีเพียงชั้นเดียวหรือมากกว่าก็ได้ นอกจากนี้ยังอาจอยู่ในรูปของผลึก ตัวกระจายที่อยู่ในอิมัลชันที่เจือจางมีลักษณะกลม แต่ในอิมัลชันที่เข้มข้นตัวกระจายจะมีรูปเปลี่ยนไป ซึ่งอาจเกิดจากแรงกดดันหรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาสัมพันธ์กับสารอื่นๆ เช่น อนุภาคโปรตีน ฟองอากาศ เม็ดแป้ง ผลึกไขมัน และผลึกน้ำแข็ง เป็นต้น (พิมพา ลีลาพรพิสิฐ, 2540; ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

2.1 ชนิดของอิมัลชัน

สามารถแบ่งชนิดของอิมัลชันได้หลายลักษณะดังนี้ (พิมพา ลีลาพรพิสิฐ, 2540)

. แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้เป็น 2 ชนิด คือ

(1) แมโครอิมัลชัน (macroemulsion) คือ อิมัลชันลักษณะขุ่นขาว อนุภาคของตัวกระจาย (dispersed phase) มีขนาดตั้งแต่ 0.25–10 ไมครอน (โดยทั่วไปมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน) จึงทำให้เกิดความแตกต่างในค่าดัชนีการหักเหแสงของเฟสทั้งสอง และเกิดการกระจายแสงทำให้มองขุ่นขาว อิมัลชันชนิดนี้อาจแบ่งย่อยได้เป็นอิมัลชันเนื้อหยาบ (coarse emulsion) ซึ่งมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ และอิมัลชันเนื้อละเอียด (fine emulsion) ซึ่งมีขนาดอนุภาคค่อนข้างเล็กหรือเล็กกว่า 5 ไมครอนลงไป แมโครอิมัลชันเป็นอิมัลชันที่พบมากที่สุดทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เช่น ไอศกรีม และครีมสกด เป็นต้น

(2) ไมโครอิมัลชัน (microemulsion) มีลักษณะโปร่งใส เนื่องจากอนุภาคของตัวกระจาย (dispersed phase) มีขนาดเล็กมาก (ประมาณ 10-75 นาโนเมตร) ซึ่งมิต้านน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (visible light) จึงไม่หักเหหรือกระจายแสง แสงจะทะลุผ่านได้ ทำให้มองดูโปร่งใส

ณรงค์ นิยมวิทย์ (2538) กล่าวว่าโดยทั่วไปอนุภาคของตัวกระจายอาจมีขนาดต่างกันได้ตั้งแต่เล็กกว่า 0.05 ไมครอนจนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของตัวกระจายมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน จึงทำให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของอิมัลชันเมื่อตัวกระจายมีขนาดต่างกัน

Table 2. Characteristics of emulsion with different size of dispersed phase

Size of dispersed phase	Characteristics of emulsion
Macroglobules	อิมัลชันอาจแยกเป็น 2 ชั้นจนเห็นได้ชัด
$> 1 \mu$	อิมัลชันขุ่นขาว
$0.1-1.0 \mu$	อิมัลชันสีน้ำเงิน
$0.1-0.15 \mu$	อิมัลชันค่อนข้างใส สีเทา ไม่มีประกาย
$< 0.05 \mu$	อิมัลชันมีประกาย

ที่มา : ณรงค์ นิยมวิทย์ (2538)

. แบ่งตามชนิดของตัวกระจาย (dispersed phase) และตัวทำกระจาย (continuous phase) ได้เป็น 3 ชนิด คือ

(1) อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water – in – oil, w/o emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีตัวกระจายเป็นน้ำ ส่วนตัวทำกระจายเป็นน้ำมัน เนื้อสัมผัสจะคล้ายจาระบี (greasy texture)

(2) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil – in – water, o/w emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีตัวกระจายเป็นน้ำมัน ส่วนตัวทำกระจายเป็นน้ำ เนื้อสัมผัสจะเป็นลักษณะคล้ายครีมข้น (creamy texture)

(3) อิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีอนุภาคภายในซ้อนกัน อยู่ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น water-in-oil-in water, w/o/w emulsion หรือ oil-in-water-in-oil, o/w/o emulsion

ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบชนิดของอิมัลชันหลายวิธีดังนี้

- Dilution test อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เมื่อหยดลงในน้ำจะกระจายตัวได้ดี แต่ อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน จะคงสภาพเป็นหยดบนผิวน้ำ แต่กระจายตัวดีในน้ำมัน

- Dye test ทดสอบโดยเติมสีชนิดละลายน้ำ เช่น methylene blue ลงในอิมัลชัน และคน ถ้าสีละลายได้ดีจะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ถ้าสียังคงสภาพเป็นเม็ดจะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน อาจใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูอนุภาคของตัวกระจายได้

- Conductivity test เป็นการทดสอบความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำนำไฟฟ้าได้ดี วิธีนี้เหมาะสมกับตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) ชนิดมีประจุ

- Fluorescence test อาศัยสมบัติในการเรืองแสงอัลตราไวโอเล็ตของหยดน้ำมัน อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำเกิดการเรืองแสงเป็นจุดๆ ในขณะที่อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันเกิดการเรืองแสงทั่วไป

2.2 กลไกการเกิดและการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน

การทำให้เกิดอิมัลชันและการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเป็นคุณสมบัติในการใช้ประโยชน์ที่ต้องการในอาหารบางชนิด เช่น นมพร้อมดื่ม นมข้นหวาน มายองเนส น้ำสลัด เป็นต้น แต่ผลิตภัณฑ์บางชนิดไม่ต้องการความคงตัวของอิมัลชันอย่างสมบูรณ์ เช่น วิปครีม และ ไอศกรีม ซึ่งต้องการการสูญเสียความคงตัวบางส่วนของระบบ เพื่อให้เกิดโครงสร้างของไขมันหุ้มอากาศไว้ การทำให้ระบบอิมัลชันสูญเสียความคงตัวอย่างสมบูรณ์สามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารบางชนิด เช่น การแยกครีมซึ่งต้องการให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวมีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถแยกออกได้โดยการหมุนเหวี่ยง การทำเนยซึ่งเป็นการเปลี่ยนอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) เป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) ต้องอาศัยการทำให้อิมัลชันเสียความคงตัวเช่นเดียวกัน จึงกล่าวได้ว่าอาหารแต่ละชนิดมีกลไกในการเกิดอิมัลชันแตกต่างกันไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ (สัญญาชัย จตุรสิทธิ์, 2543; ปาริฉัตร หงส์ประภาส, 2542; พิมพา ลีลาพรพิสิฐ, 2540)

ของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันเมื่อถูกนำมารวมกันจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตึงระหว่างผิวขึ้น ในสถานะที่ไม่มีตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) เมื่อมีการเขย่าซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นเกิดการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ และมีลักษณะของอิมัลชันเกิดขึ้น อิมัลชันที่อยู่ในสภาพนี้จะไม่อยู่ตัว เนื่องจากมีพลังงานผิวมาก เม็ดตัวกระจายจะเข้ามาจับตัวกันเป็นตะกอนขุ่น หรือรวมตัวกันเป็นเม็ดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (coalescence) เนื่องจากต้องการลดพลังงานในระบบให้ต่ำลง การรวมตัวกันเป็นตะกอนขุ่นนั้นบางครั้งมีมากจนกระทั่งส่วนหนึ่งลอยขึ้นสู่ผิวหน้า (creaming) หรือจมลงสู่ก้นภาชนะสำหรับการรวมตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ขึ้นบางครั้งเกิดขึ้นมากจนกระทั่งน้ำมันและน้ำแยกตัวออกจากกัน (breaking) การที่จะเตรียมอิมัลชันให้อยู่ตัวนั้นจำเป็นต้องเติมตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) เพื่อป้องกันมิให้เม็ดน้ำมันเคลื่อนที่เข้ามาจับตัวกัน (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538; ปาริฉัตร หงส์ประภาส, 2542; พิมพา ลีลาพรพิสิฐ, 2540; สัญชัย จตุรสิทธิ์, 2543)

2.2.1 กลไกการเกิดอิมัลชัน

อิมัลชันประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิดซึ่งไม่สามารถเข้ากันได้ เช่น น้ำและน้ำมัน สามารถนำมาผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยอาศัยตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) นอกจากนี้ยังต้องอาศัยกลไกการเกิดอิมัลชัน ดังนี้

(1) การทำให้ของเหลวที่เป็นตัวกระจาย (dispersed phase) แตกเป็นอนุภาคเล็กๆ โดยอาศัยการใช้พลังงานซึ่งอาจใช้ในรูปแบบของความร้อน (heat) การคนหรือเขย่า (mechanical agitation) การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (ultrasonic vibration) หรือไฟฟ้า (electricity)

(2) การทำให้อนุภาคเล็กๆ ที่กระจายตัวอยู่คงสภาพอยู่ได้ ซึ่งอาศัยตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) ฟิล์มที่ผิวของอนุภาคตัวกระจายทำให้ตัวกระจายสามารถกระจายตัวในระบบอิมัลชันได้โดยไม่เกิดการรวมตัวกัน

2.2.2 การรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (McClements, 1999)

คุณภาพของอิมัลชันเป็นที่ยอมรับเมื่อของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิดซึ่งไม่สามารถเข้ากันได้ เช่น น้ำและน้ำมัน สามารถนำมาผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัวของอิมัลชันสูง อิมัลชันไม่เกิดการแยกชั้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงวิธีการในการรักษาความคงตัวของอิมัลชันด้วยกลไกแตกต่างกัน ดังนี้

การรักษาความคงตัวโดยประจุบนพื้นผิว (charge stabilization)

ความคงตัวของอิมัลชันขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคซึ่งสามารถเกิดพันธะต่อกันได้ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals attractions) และแรงผลักระหว่างอนุภาคที่มีประจุเหมือนกัน (electrical repulsion) เกิดชั้นคู่ของไฟฟ้าสถิตเป็นกันชนทางไฟฟ้า (electrical double layer) โดยเกิดจากกลุ่มของโมเลกุลที่มีประจุ (electrically charged groups) ซึ่งอยู่รอบๆ ฟิล์มของอนุภาคตัวกระจาย ความต่างศักย์ไฟฟ้าของไอออนที่มีประจุชนิดเดียวกันทำให้เกิดการผลักกัน ดังนั้นจึงส่งผลให้อนุภาคตัวกระจายไม่เข้ามารวมตัวกัน ดังนั้นจึงรักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันได้

การรักษาความคงตัวโดยโมเลกุลที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวกระจายและตัวทำกระจาย (steric stabilization)

ความคงตัวของอิมัลชันเกิดเนื่องจากสารประกอบที่มีส่วนของโมเลกุลที่ละลายได้ทั้งในตัวกระจาย และตัวทำกระจาย คือมีสมบัติเป็น amphiphilic molecule มีขนาดโมเลกุลใหญ่ และมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะกีดขวางการรวมตัวของตัวกระจาย เกิดฟิล์มที่แข็งแรงและยืดหยุ่นโดยรอบอนุภาคตัวกระจาย (dispersed phase) ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของฟิล์มแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของตัวทำอิมัลชันที่ใช้ ฟิล์มอาจเรียงตัวเป็นโมเลกุลเดี่ยว

(monomolecular film) โดยหันด้านมีประจุเข้าหาส่วนที่เป็นน้ำ ด้านไม่มีประจุเข้าหาส่วนที่เป็นไขมัน ฟิล์มชนิดนี้เกิดจากการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นตัวทำอิมัลชัน หรือมีการเรียงตัวซ้อนกันของโมเลกุล (multimolecular film) เกิดจากการใช้คอลลอยด์ที่ชอบน้ำเป็นตัวทำอิมัลชัน หรือมีการเรียงตัวของอนุภาคเล็กละเอียดของของแข็ง (solid particle film) โดยเกิดจากการใช้ของแข็งเล็กละเอียดบางชนิดที่สามารถดูดซับที่ผิวของอนุภาคทั้งสองได้ เช่น โปรตีน เป็นต้น

การรักษาความคงตัวโดยอนุภาคที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวกระจายและตัวทำกระจาย (particle stabilization)

ความคงตัวของอิมัลชันขึ้นอยู่กับความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคในตัวกระจายและตัวทำกระจาย การที่ตัวกระจายถูกล้อมรอบด้วยอนุภาค ทำให้การรวมตัวของตัวกระจายเกิดขึ้นได้ยากเมื่อมีการชนกัน ความคงตัวโดยกลไกนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาค และมุมที่อนุภาคสัมผัสกับพื้นผิวของตัวกระจายและตัวทำกระจาย ซึ่งเรียกว่ามุมสัมผัส (contact angle) ถ้าอนุภาคละลายได้ง่ายในน้ำมัน อนุภาคจะมีส่วนที่อยู่ในน้ำมันมากกว่าในน้ำ (มุมน้อยกว่า 90 องศา) ประสิทธิภาพในการกีดขวางจะน้อยกว่าอนุภาคที่สามารถละลายในน้ำและน้ำมันเท่าๆกัน (มุมเท่ากับ 90 องศา) และถ้าอนุภาคละลายน้ำได้ดี อนุภาคส่วนที่อยู่ในน้ำมากกว่าน้ำมัน (มุมมากกว่า 90 องศา) ความคงตัวไม่ดีเช่นกัน เนื่องจากอนุภาคจะหลุดออกจากส่วนที่เป็นน้ำมันได้ง่าย

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของอิมัลชัน

สมบัติของอิมัลชันที่สำคัญ คือ ความหนืด ขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดไขมัน ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน และความคงตัวของอิมัลชัน เป็นต้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของอิมัลชัน ดังนี้

2.3.1 ตัวทำอิมัลชัน (emulsifier)

ตัวทำอิมัลชันมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์อิมัลชันแตกต่างกันไป ซึ่งไม่มีตัวทำอิมัลชันชนิดใดที่สามารถนำไปใช้ได้กับผลิตภัณฑ์อิมัลชันทุกชนิด จึงต้องทำการคัดเลือกตัวทำอิมัลชันที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (Aoki *et al.*, 2005) การเลือกใช้ตัวทำอิมัลชันจะต้องคำนึงถึงสมบัติและปริมาณที่ใช้ เนื่องจากมีผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มที่เคลือบอยู่รอบอนุภาคตัวกระจาย (dispersed phase) ซึ่งทำให้อิมัลชันคงตัวอยู่ได้ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำในโมเลกุลของตัวทำอิมัลชันมีผลต่อฟิล์มที่เคลือบ หากส่วนดังกล่าวเป็นสายโซ่ที่มีความอิ่มตัว (saturated chain) จะได้ฟิล์มที่แข็งแรง ทำให้อิมัลชันมีความหนืดสูงและคงตัวดี ในขณะที่สายโซ่ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated chain) มีความหนืดของอิมัลชันน้อยลง

การละลายของตัวทำอิมัลชันมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน โดยตัวทำอิมัลชันที่ดีควรละลายได้ในน้ำและน้ำมันอย่างสมดุลกัน ถ้าละลายในน้ำได้มากเกินไปจะทำให้เกิดไมเซลล์ (micelle) ในน้ำ ดังนั้นจะไม่เกิดฟิล์มหุ้มรอบตัวกระจายซึ่งจะทำให้ตัวกระจายรวมตัวกันและอิมัลชันแยกตัวได้ นอกจากนี้ปริมาณของตัวทำอิมัลชันจะต้องเพียงพอในการทำให้เกิดฟิล์มหุ้มรอบอนุภาคตัวกระจายได้หมด หากต้องการให้ขนาดอนุภาคตัวกระจายมีขนาดเล็กมากต้องใช้ตัวทำอิมัลชันที่มีความเข้มข้นสูง โดยทั่วไปถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นตัวทำอิมัลชัน อาจใช้ปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง 10 ขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

ตัวทำอิมัลชันที่ใช้ในการลดแรงตึงผิวของอิมัลชันมี 2 ชนิด คือ ตัวทำอิมัลชันที่มีขนาดเล็ก (small molecular weight emulsifier) ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด โมโนและไดกลีเซอไรด์ เป็นต้น ซึ่งสามารถลดแรงตึงผิวได้มาก แต่ตัวทำอิมัลชันเหล่านี้ไม่มีความสามารถในการรักษาความคงตัวของอิมัลชันในระยะยาว (long-term stabilization) จำเป็นต้องใช้ตัวทำอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่ (high molecular weight emulsifier) ซึ่งได้แก่ โปรตีน ทำหน้าที่รักษาความคงตัวของอิมัลชันโดยใช้กลไกการเพิ่มประจุบนพื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมัน (charge stabilization) กลไกการกีดขวางที่พื้นผิวของอนุภาคเม็ดไขมันในระดับโมเลกุลและระดับอนุภาค (steric stabilization) โปรตีนบางชนิดทำหน้าที่เพิ่มความหนืดของ aqueous phase ซึ่งจะชะลอการเคลื่อนที่ของอนุภาคเม็ดไขมันเข้าหากัน ทำให้ระบบอิมัลชันคงตัวอยู่ได้ (สัญญา จตุรสิทธิ์, 2543; พิมพา ลีลาพรพิสิฐ, 2540; ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538; McClements, 1999)

แนวทางในการเลือกใช้ตัวทำอิมัลชันให้เหมาะสมกับชนิดของอิมัลชัน โดยดูจากสัดส่วนของส่วนที่ชอบน้ำต่อส่วนที่ชอบน้ำมันซึ่งเรียกว่า hydrophilic-lipophilic balance (HLB) ซึ่งตัวทำอิมัลชันแต่ละชนิดมีค่า HLB แตกต่างกัน สารที่ให้ค่า HLB ต่ำ จะเหมาะสมกับอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ สารที่ให้ค่า HLB ปานกลางจะเหมาะสมกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ และสารที่ให้ค่า HLB สูงจะเหมาะสำหรับการละลายน้ำมันในน้ำ (พิมพา ลีลาพรพิสิฐ, 2540; Sherman, 1968 อ้างโดยณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

ผลิตภัณฑ์อิมัลชันบางชนิด มีการใช้ตัวทำอิมัลชันหลายชนิด Thanasukarn และคณะ (2006) ศึกษาผลของการใช้ตัวทำอิมัลชันร่วมกัน 3 ชนิด (tertiary emulsion) คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) โคลิโดแซน และเพคตินในการเตรียมอิมัลชัน โดยตัวทำอิมัลชันแต่ละชนิดมีประจุที่โครงสร้างโมเลกุลแตกต่างกันไป คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต เป็น anionic surfactant โคลิโดแซนเป็น cationic biopolymer และเพคตินเป็น anionic polymer ทำการผลิตอิมัลชันโดยใช้เทคนิค electrostatic layer by layer ทำให้ตัวทำอิมัลชันเคลือบอยู่ที่ผิวของเม็ดไขมันแต่ละชั้น ตามลำดับ ส่งผลให้อิมัลชันที่ได้มีความคงตัวดีขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Aoki และคณะ (2005) และผลการทดลองของ Krog และคณะ (2004)

Ogawa และคณะ (2003) ศึกษาผลของการใช้ตัวทำอิมัลชันร่วมกัน 2 ชนิด (secondary emulsion) คือ เลซิทีน และโคโคแซน ทำการผลิตอิมัลชันโดยใช้เทคนิค electrostatic layer by layer กำหนดให้เลซิทีนเคลือบที่ผิวของเม็ดไขมันชั้นแรก จากนั้นใช้โคโคแซนเคลือบที่ผิวของเม็ดไขมันเป็นชั้นที่สอง ผลปรากฏว่าอิมัลชันที่ได้ทนต่อสภาวะแวดล้อมไม่ว่าจะเป็น ความเป็นกรดต่าง ความร้อน และความเย็นที่เปลี่ยนไปได้ดีกว่าการใช้เลซิทีนเป็นตัวทำอิมัลชันเพียงชนิดเดียว (primary emulsion)

2.3.2 สถานะความเป็นกรดต่าง ของผลิตภัณฑ์อิมัลชัน

สถานะความเป็นกรดต่าง หรืออิเล็กโทรไลต์ของผลิตภัณฑ์อิมัลชัน มีผลกระทบต่อความคงตัวของอิมัลชัน แสดงในตารางที่ 3 ดังนั้นในการเลือกชนิดของตัวทำอิมัลชันต้องคำนึงถึงสถานะความเป็นกรดต่าง ของผลิตภัณฑ์อิมัลชันเพื่อให้ตัวทำอิมัลชันมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดและส่งผลให้อิมัลชันที่ได้มีความคงตัวสูงสุดเช่นกัน

ตารางที่ 3 ผลของความเป็นกรดต่าง และชนิดของตัวทำอิมัลชันต่อความคงตัวของอิมัลชัน

Table 3. Effect of different pH and emulsifier type on emulsion stability

condition	emulsifier type		
	anionic	onionic	cationic
pH>7	stable	stable	unstable
pH=7, non-salt	stable	stable	stable
pH=7, polyvalent salt	unstable	stable	unstable
pH<7	unstable	stable	stable

ที่มา : Balsam และ Sagarin (1974)

Aoki และคณะ (2005) ศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 3 ถึง 8 ต่อชนิดของประจุที่ผิวของเม็ดไขมันและความคงตัวของอิมัลชัน โดยใช้ตัวทำอิมัลชัน 3 ชนิดคือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) โคโคแซน และเพคติน พบว่าเมื่อเตรียมอิมัลชันโดยใช้ตัวทำอิมัลชัน 1 ชนิด (primary emulsion) คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ทำให้ประจุที่ผิวสัมผัสของอนุภาคเม็ดไขมันที่ได้มีประจุลบในทุกช่วงของความเป็นกรดต่าง ในขณะที่อิมัลชันที่ใช้ตัวทำอิมัลชัน 2 ชนิด (secondary emulsion) คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต และโคโคแซน พบประจุบวกที่ผิวสัมผัสของเม็ดไขมันในช่วงความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 6 และแสดงค่าประจุเป็นลบเมื่อความเป็นกรดต่างของ

อิมัลชันเป็น 7 และ 8 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเป็นกรดต่ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 6 ส่งผลให้ไคโตแซนไม่สามารถจับที่ผิวสัมผัสของเม็ดไขมันเนื่องจากหมู่อะมิโนอิสระ ($-\text{NH}_3^+$) ในโครงสร้างโมเลกุลมีค่า pK_a ที่ความเป็นกรดต่ำ 6.3 ถึง 7 ดังนั้นไคโตแซนจึงเกิดการสูญเสียประจุในช่วงความเป็นกรดต่ำมากกว่า 6 (Ogawa *et al.*, 2004)

ในส่วนของอิมัลชันที่ใช้ตัวทำอิมัลชัน 3 ชนิด (tertiary emulsion) คือ โซเดียม-โดเดซิลซัลเฟต ไคโตแซน และเพคติน มีประจุที่ผิวสัมผัสของอนุภาคเม็ดไขมันเป็นประจุลบในทุกช่วงความเป็นกรดต่ำ ค่าประจุลบเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรดต่ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประจุลบจากโมเลกุลของเพคติน ($pK_a \sim 4.5$) และการลดลงของประจุบวกจากโมเลกุลของไคโตแซน ($pK_a \sim 6$) โดยเหตุผลที่ทำให้เกิดการลดลงของประจุบวกจากโมเลกุลไคโตแซน เนื่องจากไคโตแซนอยู่ระหว่างชั้นของพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ จึงส่งผลให้ค่า pK_a ของไคโตแซนมีค่าเพิ่มขึ้น (Burke and Barrett, 2003 a, b)

นอกจากนี้ Aoki และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาความคงตัวของอิมัลชัน คือ อิมัลชันที่ใช้ตัวทำอิมัลชัน 1 2 และ 3 ชนิด พบว่าอิมัลชันมีความคงตัวที่ความเป็นกรดต่ำ 3 ถึง 5 แต่เมื่อความเป็นกรดต่ำเพิ่มขึ้นเป็น 6 ถึง 8 ส่งผลให้อิมัลชันที่ใช้ตัวทำอิมัลชัน 1 ชนิด (โซเดียม-โดเดซิลซัลเฟต) และ 2 ชนิด (โซเดียม-โดเดซิลซัลเฟต และไคโตแซน) เกิดการแยกชั้นเนื่องจากค่าประจุที่ผิวสัมผัสของเม็ดไขมันและแรงผลักระหว่างอนุภาคเม็ดไขมันมีค่าลดลง

2.3.3 สภาพที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน

ในการเตรียมอิมัลชันโดยกำหนดให้มีสภาวะที่ใช้ในการเตรียมต่างกัน ส่งผลให้อิมัลชันที่ทำการผลิตมีสมบัติของอิมัลชันต่างกัน โดยสภาวะที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน มีดังนี้

อุณหภูมิที่ใช้ผสม

อุณหภูมิมีผลทางอ้อมต่อความคงตัวของอิมัลชัน โดยทั่วไปทำการผลิตอิมัลชันที่ระดับอุณหภูมิประมาณ 70 ถึง 75 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้อาจทำให้น้ำมันเกิดการหลอมละลายไม่หมด การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความตึงผิวที่หน้าสัมผัส และความหนืดของตัวกระจายลดลง การดูดซับตัวทำอิมัลชันที่หน้าสัมผัสจะน้อยลง การเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจึงทำให้ความคงตัวของอิมัลชันมีค่าน้อย การใช้อุณหภูมิสูงเกินไป เช่น สูงกว่า 85 องศาเซลเซียส อาจทำให้ตัวทำอิมัลชันบางชนิดเกิดไฮโดรไลซิส หรือเปลี่ยนสีได้ (Sherman, 1968)

ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม

ขนาดอนุภาคของตัวกระจายมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 2 ถึง 3 วินาทีแรกของการผสม และขนาดอนุภาคของตัวกระจายมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อการผสมไม่เกิน 5 นาที การผสมในระยะแรกมีผลให้ตัวกระจายแตกตัวมากกว่าการรวมตัวกัน แต่เมื่อการแตกตัวถึงจุดสูงสุดแล้วการรวมตัวกันของอนุภาคตัวกระจายจะมีค่าเพิ่มขึ้น การใช้เวลามากเกินไปจึงมีผลให้อนุภาคตัวกระจายบางส่วนมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นความคงตัวของอิมัลชันมีค่าต่ำลง (Sherman, 1968)

2.3.4 สภาวะในการเก็บรักษาอิมัลชัน

ความคงตัวของระบบอิมัลชันมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเก็บรักษาในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นความร้อน ความเย็น และการสัมผัสเนื่องจากการขนส่งล้วนส่งผลให้ความคงตัวของผลิตภัณฑ์อิมัลชันมีค่าลดลงทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้นโดยใช้สารเคลือบที่ผิวของเม็ดไขมัน ซึ่งก็คือ ตัวทำอิมัลชันที่มีความสามารถในการเคลือบที่ผิวของเม็ดไขมันให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Stauffer, 1999)

Thanasukarn และคณะ (2006) ศึกษาผลของการแช่แข็งอิมัลชันต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อิมัลชันซึ่งทำการผลิตโดยใช้เทคนิค electrostatic layer by layer ใช้ตัวทำอิมัลชัน 3 ชนิด คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) โปไลเอทเธน และเพคติน โดยนำอิมัลชันไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปตั้งทิ้งไว้ให้อิมัลชันเกิดการละลายที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอิมัลชันที่ได้เกิดการแยกชั้น จึงทำการเพิ่มความเข้มข้นของเพคตินจากระดับความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 2 เป็นมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่าภายหลังการนำอิมัลชันไปแช่แข็ง และทำการละลายอิมัลชันที่ได้ไม่เกิดการแยกชั้นและมีความคงตัวของอิมัลชันดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Aoki และคณะ (2005) และผลการทดลองของ Ogawa และคณะ (2003)

เหตุผลที่ทำให้อิมัลชันซึ่งผลิตจากตัวทำอิมัลชัน 3 ชนิด (tertiary emulsion) สามารถทนต่อสภาวะการแช่แข็งได้ดีขึ้นเนื่องจากความหนาของผิวสัมผัสที่เคลือบอนุภาคเม็ดไขมันมีความหนาถึง 3 ชั้น ทำให้เกิดแรงผลักดันระหว่างอนุภาคของเม็ดไขมัน จึงสามารถช่วยชะลอการรวมตัวของเม็ดไขมันได้ดีกว่าอิมัลชันที่ผลิตจากตัวทำอิมัลชัน 1 ชนิด (primary emulsion) และอิมัลชันที่ผลิตจากตัวทำอิมัลชัน 2 ชนิด (secondary emulsion) (Israelachvili, 1992; Hunter, 1986) และผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจากการแช่แข็งมีโอกาสนในการทำลายผิวสัมผัสที่เคลือบอนุภาคเม็ดไขมันได้ลดลง อิมัลชันที่ได้จึงสามารถรักษาความคงตัวได้ดีภายหลังการแช่แข็ง และภายหลังการนำอิมัลชันที่ผ่านการแช่แข็งไปทำการละลาย

Aoki และคณะ (2005) ศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อิมัลชันต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์อิมัลชันซึ่งทำการผลิตโดยใช้เทคนิค electrostatic layer by layer ใช้ตัวทำ

อิมัลชัน 3 ชนิด คือโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ไคโตแซน และเพคติน พบว่า ภายหลังจากให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อิมัลชันโดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 เป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอิมัลชันที่ได้ไม่เกิดการแยกชั้น จึงกล่าวได้ว่าอิมัลชันที่ทำการผลิตมีความคงตัวต่อความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 90 องศาเซลเซียส ได้เป็นอย่างดี

3. บทบาทของไคโตแซนต่อระบบอิมัลชัน

ไคโตแซนมีสมบัติในการเป็นตัวทำอิมัลชัน เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความสามารถในการจับน้ำและจับไขมันได้ อีกทั้งความหนืดของไคโตแซนสามารถเพิ่มความคงตัวของระบบอิมัลชัน ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงบทบาทของไคโตแซนต่อระบบอิมัลชัน ดังนี้

3.1 สมบัติของไคโตแซนในการเป็นตัวทำอิมัลชัน (emulsifier)

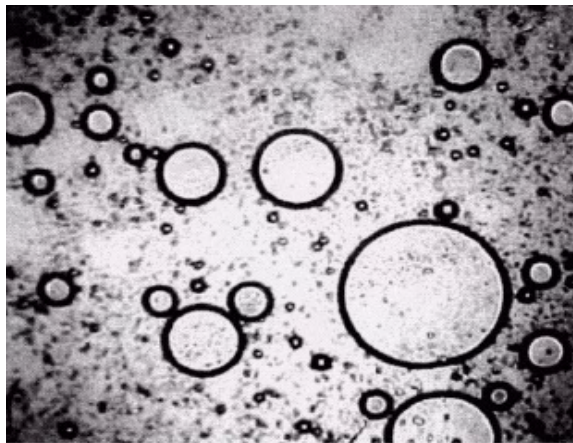
ไคโตแซนเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประเภทยบวก (cationic polyelectrolyte) เนื่องจากในสารละลายที่เป็นกรด หมูอะมิโน (NH_2) ในสายโซ่โมเลกุลของไคโตแซนจะรับโปรตรอนแล้วอยู่ในรูป $-\text{NH}_3^+$ โดยมีรูปแบบโมเลกุลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่า ionic strength ความเป็นกรด่าง อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และระดับการกำจัดหมู่เอซิติล (Chen and Tsaih, 1998 อ้างโดย ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2542) ไคโตแซนมีสมบัติในการเป็นตัวทำอิมัลชัน เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลมีความสามารถในการจับน้ำและจับไขมันได้ (amphiphilic polyelectrolytes) โดยส่วนที่มีประจุของไคโตแซนจะจับกับส่วนของน้ำ ในขณะที่ส่วนที่ไม่มีประจุจะจับกับส่วนของไขมัน

ความคงตัวของอิมัลชันเกิดเนื่องจากการจับกันระหว่างไคโตแซนกับส่วนของน้ำและไขมัน รวมทั้งขึ้นอยู่กับความหนืดที่เกิดขึ้น โดยไคโตแซนที่มีความหนืดมาก อิมัลชันมีความคงตัวดี นอกจากนี้พบว่ายังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่ สภาพในการผลิตไคโตแซน และสภาพในการเตรียมอิมัลชัน เป็นต้น (Rodriguez *et al.*, 2002) จึงมีการศึกษาถึงการนำไคโตแซนมาใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์อิมัลชันมากขึ้น เช่น ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก (Jo *et al.*, 2001; Lin and Chao, 2001) ในผลิตภัณฑ์วิปป์ครีม (Kim *et al.*, 2000) และในผลิตภัณฑ์มายองเนส (วันทนา ปิติ, 2545)

Cho และคณะ (1998) รายงานว่า ไคโตแซนมีผลต่อความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนในไข่แดง การเติมไคโตแซนทำให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนในไข่แดงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่เติมไคโตแซน

Rodriguez และคณะ (2002) ศึกษาการเกิดอิมัลชันระหว่างน้ำมันเมล็ดทานตะวันกับสารละลายไคโตแซน ซึ่งมีระดับการกำจัดหมู่เอซิติลระหว่างร้อยละ 75 ถึง 95 ที่ความเข้มข้นของไคโตแซนร้อยละ 0.2 1.0 และ 2.0 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ใน 0.1 โมลาร์ ของสารละลายกรด

ไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าเกิดอิมัลชันแบบ น้ำในน้ำมันในน้ำ (water/oil/water) แสดงดังภาพที่ 2 (Del *et al.*, 1999; Schulz *et al.*, 1998)



ภาพที่ 2 ลักษณะการกระจายตัวของอิมัลชันจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน กับสารละลายไคโตแซน

Figure 2. Droplet size distribution of emulsion from sun flower oil with chitosan solution

ที่มา : Rodriguez และคณะ (2002)

3.2 สมบัติและปริมาณไคโตแซนต่อสมบัติของอิมัลชัน

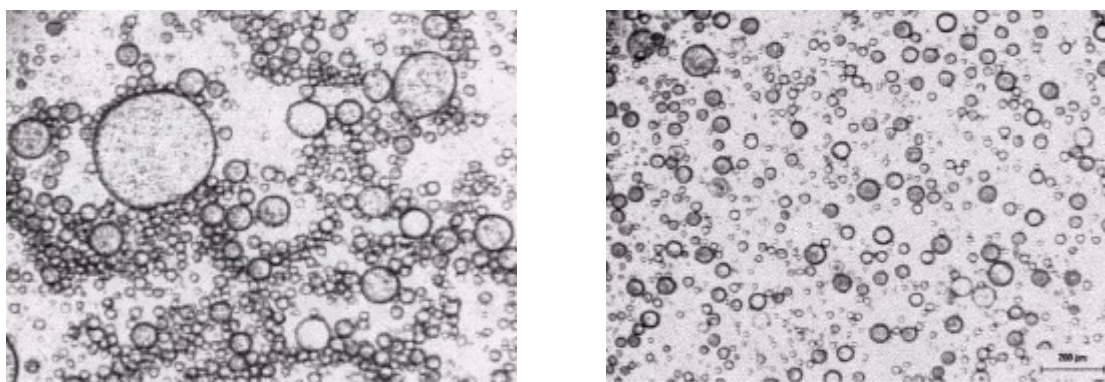
สมบัติอิมัลชันไม่ว่าจะเป็น ความหนืด ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดไขมัน ลักษณะการไหล รวมทั้งความคงตัวของอิมัลชัน มีค่าขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย คือ ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล น้ำหนักโมเลกุล รวมทั้งปริมาณของไคโตแซน จึงมีการศึกษาถึงสมบัติและปริมาณ ไคโตแซนต่อสมบัติของอิมัลชันดังนี้

3.2.1 ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (degree of deacetylation)

ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตแซน เนื่องจากไคติน-ไคโตแซนเป็นสารพอลิเมอร์ระหว่างโมโนเมอร์สองชนิดคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ชนิดแรกมากกว่า คือ มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ชนิดที่สองมากกว่า คือมีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตแซน (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2542)

ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลแตกต่างกัน ส่งผลต่อจำนวนประจุในโครงสร้างของไคโตแซน โดยไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงจะมีจำนวนประจุในโครงสร้างของโมเลกุลสูง ซึ่งมีผลต่อการจับกันระหว่างไคโตแซนกับส่วนของน้ำและไขมัน ดังนั้นจึงส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน (Del *et al.*, 1999)

Rodriguez และคณะ (2002) ศึกษาการกระจายตัวของน้ำมันเมล็ดทานตะวันในสารละลายไคโตแซน พบว่าไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิetylร้อยละ 78 มีลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันเมล็ดทานตะวันแบบเกาะกลุ่ม (polymodal) (ภาพที่ 3A) ในขณะที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิetylร้อยละ 95 มีการกระจายตัวของน้ำมันเมล็ดทานตะวันแบบอนุภาคเดี่ยว (unimodal) (ภาพที่ 3B) ซึ่งอิมัลชันมีความคงตัวดีกว่าการกระจายตัวแบบ polymodal นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นไคโตแซนเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดและความคงตัวของอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับผลการทดลองของ Del และคณะ (1999) พบว่าไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่ อะซิetylสูง มีลักษณะการกระจายตัวแบบ unimodal แต่ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิetylต่ำ มีลักษณะการกระจายตัวแบบ bimodal หรือ polymodal



A (DD 78%)

B (DD 95%)

ภาพที่ 3 การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันของอิมัลชันที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิetylต่างกัน

Figure 3. Droplet distribution of emulsion with different degree of deacetylation (DD)

ที่มา : Rodriguez และคณะ (2002)

วันทนา ปิติ (2545) ศึกษาผลของไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิetylต่างกัน ต่อลักษณะการไหลของมายองเนส โดยการตรวจวัดค่า yield stress, shear stress และ shear strain พบว่ามายองเนสที่เติมไคโตแซนที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิetylร้อยละ 70 มีค่าแรงต้านการไหล ความข้นหนืด และค่าความคงตัวของมายองเนสสูงกว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิetylร้อยละ 85 และ 90

3.2.2 น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

ไคโตแซนมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ดาลตัน ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต (ภาวดี เมธะกานนท์ และคณะ, 2542) น้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซนที่แตกต่าง

กันส่งผลให้ความหนืดของสารละลายไคโตแซนมีค่าแตกต่างกัน สารละลายไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของไคโตแซนสูง มีผลให้ความหนืดสูงขึ้น (No *et al.*, 2000; Muzzarelli, 1977) จึงส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน

Kim และคณะ (2000) ศึกษาลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ และทางประสาทสัมผัสของ whipping cream ที่มีการผสมไคโตแซนที่สามารถละลายน้ำได้ (water soluble chitosan, WSC) โดยมีน้ำหนักโมเลกุล 0.2 ถึง 3 กิโลดาลตัน และ 10 ถึง 30 กิโลดาลตัน พบว่าที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน ไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 10 ถึง 30 กิโลดาลตัน ให้ความคงตัวของ whipping cream สูงกว่าการใช้ไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 0.2 ถึง 3 กิโลดาลตัน

Marie และคณะ (2002) ศึกษาขนาดอนุภาคเม็ดไขมันในระบบอิมัลชันที่เตรียมจากไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight) และน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight) พบว่าอิมัลชันที่ผสมไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันเล็กกว่าที่น้ำหนักโมเลกุลสูง

3.3.3 ปริมาณของไคโตแซน

ปริมาณของตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) ที่ใช้ในระบบมีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน Ogawa และคณะ (2003) ศึกษาความคงตัวของระบบอิมัลชันที่เกิดจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันกับสารละลายไคโตแซน พบว่าเมื่อความเข้มข้นไคโตแซนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดและความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rodriguez และคณะ (2002)

Schulz และคณะ (1998) ศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณไคโตแซนต่อปริมาณน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ซึ่งมีผลต่อขนาดอนุภาคเม็ดไขมันพบว่า เมื่อปริมาณไคโตแซนเพิ่มขึ้น เม็ดไขมันมีขนาดอนุภาคเล็กลง ให้ความคงตัวของอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้น อาจกล่าวได้ว่า อิมัลชันที่ใช้ปริมาณไคโตแซนที่มากพอ ส่งผลให้อิมัลชันที่ได้มีความคงตัวดี เนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างประจุบวกของไคโตแซนซึ่งเคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาคเม็ดไขมัน ทำให้อนุภาคเม็ดไขมันไม่เกิดการรวมตัวกัน (Pinotti *et al.*, 1997, 1999, 2001; Pinotti and Zaritzky, 2001)

มีการประยุกต์ใช้ไคโตแซนเพื่อลดปริมาณไขมันใน whipping cream เนื่องจากไคโตแซนมีสมบัติในการเกิดอิมัลชัน และสามารถจับไขมันได้ Kim และคณะ (2000) ศึกษา ลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ และทางประสาทสัมผัสของ whipping cream ที่มีการผสมไคโตแซนที่สามารถละลายน้ำได้ (water soluble chitosan, WSC) ที่น้ำหนักโมเลกุล 0.2 ถึง 3 กิโลดาลตัน ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ถึง 2.5 พบว่า WSC ที่ระดับความเข้มข้นน้อย มีความคงตัวของ whipping cream สูงกว่าการใช้ WSC ที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากเคซีนไมเซลล์มีอิทธิพลต่อความคงตัวของ whipping cream ส่วนไคโตแซนมีความสามารถในการจับกับประจุลบของอนุภาคอื่นได้ดี ดังนั้น

ไคโตแซนที่เติมลงไปสามารถจับกับเคซีน ทำให้โครงสร้างของไมเซลล์ เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลให้ความคงตัวของอิมัลชันมีค่าลดลง เมื่อไขมันจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ WSC เพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีศึกษาผลของปริมาณไคโตแซนต่อความคงตัวของมายองเนส พบว่าตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของไคโตแซนสูงที่สุด คือเข้มข้นร้อยละ 0.4 จะมีค่าความคงตัวของมายองเนสสูงที่สุด (วันทนา ปิติ, 2545)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล และ น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน
2. ศึกษาผลของปริมาณ ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซน ที่มีต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน
3. การประยุกต์ใช้ไคโตแซนทดแทนไข่แดงในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำสลัด