

รายงานการวิจัย

ผลไม้เพื่อสุขภาพที่เคลือบเกลือแร่และวิตามินสำหรับผู้สูงอายุ
(Fruit coated mineral supply for healthy aging)

คณะผู้วิจัย

นาย สเตฟอน คูบาส*

อ.ดร. ลักขณา คูบาส**

*สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2550 และ
คณะทำงานขอขอบคุณ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ และ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย สำหรับสถานที่และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวิธีการเตรียมฟิล์มเคลือบผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ที่มีคุณสมบัติที่ทานได้ และสามารถเติมสารอาหารชนิดต่างๆ ลงไป โดยพอลิเมอร์ที่จะนำมาเตรียมเป็นฟิล์มนี้ ได้แก่ เจลาติน ไคโตซาน อัลจิเนต และคาราจีแนน โดยสารอาหารที่เติมลงไปในฟิล์มที่เตรียมจากพอลิเมอร์เหล่านี้ควรมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ที่สำคัญฟิล์มนี้ควร โปร่งแสง สารอาหารหรือแร่ธาตุชนิดต่างๆ ที่จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้เช่น แคลเซียม สังกะสี เหล็ก หรือ โอเมกา-3 เป็นต้น การเติมสารอาหารลงไปในฟิล์มได้ศึกษาวิจัยเป็น 2 แนวทาง โดยแนวทางแรกคือ การผสมสารละลายไอออนของแคลเซียม สังกะสี หรือ เหล็ก ลงไปในพอลิเมอร์ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มเคลือบบาง และการเติมอนุภาคของสารอาหารเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต อิมัลชันของน้ำมัน โอเมกา-3 ลงในแผ่นฟิล์ม โดยแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้นี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไปใช้เพื่อเพิ่มสารอาหารและวิตามินรวมถึงน้ำมันที่สำคัญในสินค้าบริโภคได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

In this research, we aim to develop an edible thin film to be applied as coatings on fresh fruits and containing various classes of nutriments. The biopolymers used in this study are Gelatin, Chitosan, Alginate and Carrageenan. The film formation of these polymers was used to form uniform and transparent coatings which were further doped with nutriments such as Calcium, Zinc, Iron, or Omega-3 essential oils. For the immobilization of the nutriments into the thin film, two different approaches were employed. First is the direct blending of the solutions of calcium, zinc or iron ions into the polymer solutions. Second approach is the incorporation of particles such as calcium carbonate or emulsion droplet of omega-3 oil into the polymer solutions. The resulting film could show interesting applications in the field of nutrition supply of nutrition as well as essential oil to consumer products.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
1. บทนำ	1
2. การทดลอง	
2.1. การเตรียมอนุภาคขนาดไมโครและนาโนของแคลเซียม และน้ำมัน โอเมกา-3 และการเตรียมเป็นฟิล์มที่เติมอนุภาคลงไป	3
2.1.1 อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต	3
2.1.2 อนุภาคแคลเซียม โดยใช้วิธี hydrocolloid ของแคลเซียมอัลจินเตต	4
2.1.3 อนุภาค calcium alginate nanosphere โดยเตรียมเป็นอิมัลชัน ในระบบน้ำในน้ำมัน	4
2.1.4 อิมัลชันของน้ำมัน โอเมกา-3	5
2.2. วิธีเตรียมฟิล์มบางที่เติมเกลือแร่และสารอาหารลงไปโดยตรง	
2.2.1 ชนิดของไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) ต่อการเคลือบบนพื้นผิว	5
2.2.2 ฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เติม $Zn(CH_3COO)_2$	5
2.2.3 ฟิล์มที่เติมหยคน้ำมันอิมัลชัน	6
2.3 การเคลือบผลไม้	7
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล	
3.1 การเตรียมอนุภาคระดับไมโครและนาโนของแคลเซียมคาร์บอเนต	8
3.1.1 ผลของความเข้มข้นของอัลจินเตตต่อการเกิดอนุภาค	9
3.1.2 อัตราเร็วของการเกิดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต	11
3.2. การเตรียมอนุภาคระดับไมโคร/นาโนของแคลเซียม โดยใช้วิธี hydrocolloid ของแคลเซียมอัลจินเตต	12
3.3 การเตรียมอนุภาคระดับไมโคร/นาโนของแคลเซียมอัลจินเตตนาโนสเฟียร์ โดยใช้วิธีอิมัลชัน	12
3.4 อิมัลชันของน้ำมัน โอเมกา-3	12
3.4.1 ศึกษาถึงผลของจำนวนครั้งในการทำ homogenize ต่อขนาดของหยดอิมัลชัน	12
3.4.2 ศึกษาถึงผลความเข้มข้นของสารละลายเคซีนต่อขนาดของหยดอิมัลชัน และความเสถียร	13
3.4.3 ศึกษาถึงผลของสัดส่วนของสารละลายเคซีนต่อน้ำมันต่อความเสถียรของอิมัลชัน	16
3.5 ชนิดของไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) ต่อการเคลือบบนพื้นผิว	17

3.6	ฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เติมซิงค์อะซิเตต ($Zn(CH_3COO)_2$)	19
3.7	ฟิล์มที่เติมหยดน้ำมันอิมัลชัน	19
3.7.1	ไคโตซานฟิล์ม	19
3.7.2	composite ฟิล์มระหว่างไคโตซานและเจลาติน	20
3.8	การเคลือบผลไม้	20
4.	สรุป	22
	บรรณานุกรม	23
	ประวัติผู้วิจัย	24



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 , Na_2CO_3 และ อัลจินต	3
ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มข้นของ CaCl_2 , Na_2CO_3 และ อัลจินต	4
ตารางที่ 2.3 แสดง % โดยน้ำหนักของสารละลาย ไคโตซานและอิมัลชัน	7
ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	18



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของไบโอพอลิเมอร์	2
รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของ capping reagent	8
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายจาก SEM ของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต โดย a) ไม่เติมอัลจินต b) เติมอัลจินตที่ขนาดกำลังขยาย 16,000 เท่า c) เติมอัลจินตที่ขนาดกำลังขยาย 500 เท่า	9
กราฟที่ 3.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต กับความเข้มข้นของสารละลายอัลจินต เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 และ Na_2CO_3 เป็น 10 mM โดยผสมสารละลายทั้งสามชนิดในอัตราส่วน โดยปริมาตรเป็น 1:1:1 และปฏิกิริยาดำเนินมา 5 วัน	10
รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายจาก SEM ของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติม capping reagent ที่ความเข้มข้น a) 20; b) 30; c) 40 และปฏิกิริยาดำเนินมา 5 วัน	10
กราฟที่ 3.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ที่เวลาต่าง 0 ถึง 300 นาที โดยความเข้มข้นของอัลจินตมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 50 mM โดยให้ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 และ Na_2CO_3 คงที่ที่ 10 mM	11
รูปที่ 3.4 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคแคลเซียมอัลจินต ที่กำลังขยาย 500 เท่า	12
กราฟที่ 3.3 แสดงจำนวนครั้งในการ homogenize สารผสมอิมัลชัน ต่อค่า %transmission ที่ความเข้มข้นของสารละลายเคซีน 0.4%, 0.8%, 1.6%, 2% และ 2.4 %w/w	13
รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของหยดน้ำมัน โอเมกา-3 อิมัลชัน ที่มี % เคซีนเท่ากับ a) 0.5%, b) 1%, c) 1.5% และ d) 2% w/w,	13
กราฟที่ 3.4 แสดงการเกิดครีมที่ความเข้มข้นของสารละลายเคซีนต่างๆ	14
กราฟที่ 3.5 แสดงขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำมันในอิมัลชันที่ใช้ความเข้มข้นของ เคซีนต่างๆ (เจือจาง 5 เท่า)	15
กราฟที่ 3.6 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายเคซีนที่มีต่อค่า zeta potential ของอิมัลชันที่เจือจาง 5 เท่า	15
กราฟที่ 3.7 แสดงการเกิดครีมที่ความเข้มข้นของน้ำมัน (%w/v)	16
กราฟที่ 3.8 %การเกิดครีมของ primary emulsion และ secondary emulsion ตามปริมาณเคซีน ที่เพิ่มขึ้น (0.5%, 1.5% และ 2.5% w/w) หลังจากทิ้งไว้เป็นเวลา 4 วัน	17
กราฟที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่เคลือบบน กระจกสไลด์กับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์	18

รูปที่ 3.6 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของพื้นผิวฟิล์มของโคโคซานและเจลาติน
ที่เติม 0.5 mL อิมัลชันที่เตรียมจากเคซีนที่ความเข้มข้นเท่ากับ a) 0.5%,
b) 1%, c) 1.5% และ d) 2.0% w/w

20

รูปที่ 3.7 a) รูปจำลองฟิล์มที่เคลือบบนผิวของผลไม้ด้วยการจุ่มลงในสารละลายผสม
ของโคโคซานและเจลาตินอัตราส่วน 1:1 ที่มีอิมัลชันผสมอยู่ 0.5%w/w
b) ชมพูซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มที่มีการเติมน้ำมัน โอเมกา-3 เกลือของสังกะสี
แคลเซียม และเหล็ก และ c) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของชั้นฟิล์มที่
เคลือบบนชมพู

21



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันประชากร โดยเฉพาะผู้สูงอายุป่วยเป็นโรคเรื้อรัง เช่นโรคกระดูกและข้อพรุน โรคเมเร็ง โรคเบาหวาน และโรคความดันโลหิตสูง ในอัตราที่สูงขึ้น¹ ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญ ปัญหาหนึ่ง และเป็นภาระต่อรัฐบาลที่ต้องทุ่มเทงบประมาณ ทั้งด้านทรัพยากรและบุคลากรเพื่อให้การรักษาพยาบาลแก่ผู้ป่วย ได้มีการรายงานถึงอิทธิพลของรูปแบบการบริโภคอาหารต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ในประชากร โดยประชากรส่วนใหญ่ที่ได้รับวิตามินและแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม และวิตามินบี ทานไม่เพียงพอจะก่อให้เกิดโรคหัวใจล้มเหลว โรคความจำเสื่อม²

การรับประทานอาหารที่ถูกต้องเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยส่งเสริมและป้องกันการป่วยเป็นโรคเรื้อรัง ในประชากร อย่างไรก็ตาม แนวทางการดำเนินชีวิตในปัจจุบันมีเอื้อต่อการรับประทานอาหารที่เหมาะสม คณะวิจัยหลายคณะได้ทำงานวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการเพิ่มสารอาหาร ในอาหารชนิดต่างๆ เช่นการเพิ่มไอโอดีนในเกลือ บริษัททิปโก้ได้วางจำหน่ายผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้สำหรับเด็กที่มีการเติมน้ำมันตับปลาลงไป การเพิ่มวิตามิน เกลือแร่ได้รับความสนใจมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งมีการพัฒนาไปหลายรูปแบบ

เทคนิคการเคลือบผิวบนผลิตภัณฑ์อาหารมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ซึ่งมุ่งเพื่อประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่นการเคลือบผิวของสตอเบอร์รี่และราสเบอร์รี่ด้วยโคโคซานเพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์ การเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ช็อคโกแลต M&M เพื่อให้ละลายได้เมื่อรับประทานเข้าไป การเคลือบผลไม้ หรือ ผักด้วย wax เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว นอกจากนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผิว ช่วยรักษากลิ่นและรสของสารระเหยง่าย รวมถึงด้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

เมื่อไม่นานนี้ได้มีการรายงานการเติมสารอาหารลงในผิวเคลือบที่เคลือบบนผลไม้เช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณไอโอดีนในเกลือ เช่นการเคลือบ Xanthan gum ที่มีองค์ประกอบของ แคลเซียมอยู่ 5% และวิตามิน E อยู่ 0.2% โดยน้ำหนักนอกจากนี้ได้มีการรายงานการเคลือบผิวสตอเบอร์รี่และ ราสเบอร์รี่ด้วยโคโคซานที่มีแคลเซียม และวิตามิน E เป็นองค์ประกอบ³ อยู่เช่นกัน

โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเสริมสร้างสุขภาพของประชากร โดยพัฒนาฟิล์มบางที่เติมสารอาหารเช่นเกลือแร่และวิตามินและเคลือบบนผลไม้หรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อแก้ปัญหาการขาดสารอาหารประเภทวิตามินและเกลือแร่ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ประชากรมีภาวะโภชนาการดีขึ้น โดยฟิล์มนี้ต้องสามารถรับประทานได้ โปร่งแสง เสถียร ง่ายต่อการเตรียมและไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และรสชาติของผลไม้

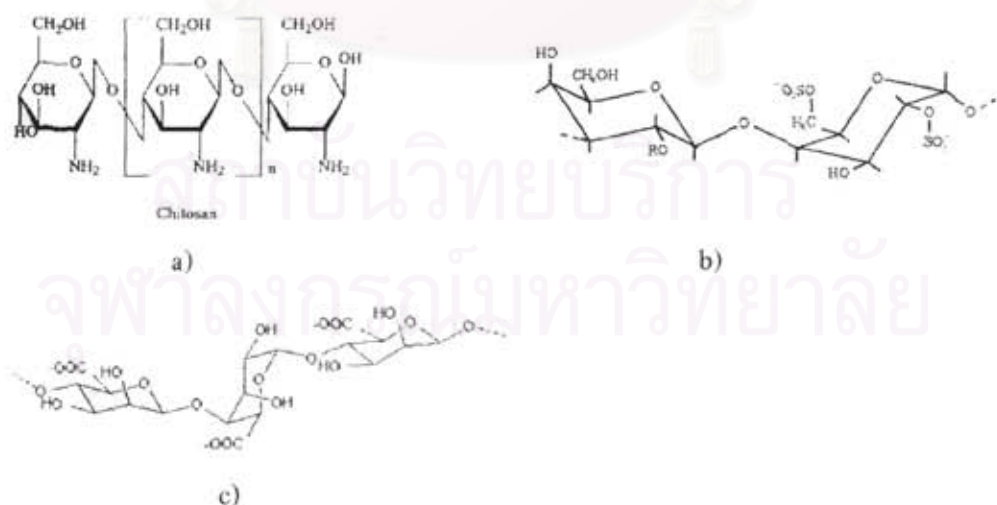
ในปีที่ 1 งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวิธีการเตรียมฟิล์มบางที่สามารถเคลือบผลไม้ และเติมอนุภาคเกลือแร่ หรือสารอาหารลงได้ ซึ่งอาจเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกัน พอลิเมอร์ที่ใช้เพื่อเตรียมเป็นฟิล์มได้แก่ เจลาติน โคโคซาน อัลจินเนต และคาราจีแนน สารอาหารหรือแร่ธาตุชนิดต่างๆ ที่ใช้ได้แก่

แคลเซียม สังกะสี และ โอเมกา-3 นอกจากนี้ยังศึกษาประสิทธิภาพการเคลือบของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ โดยวัดการหดยของพอลิเมอร์ในขั้นตอนการเคลือบผิว และคุณสมบัติโปร่งแสงของฟิล์มที่เคลือบผิว เพื่อหาชนิดและอัตราส่วนของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เหมาะสม นอกจากนี้ ผู้วิจัยมุ่งพัฒนาวิธีการเตรียมน้ำมัน โอเมกา-3 ให้อยู่ในรูปอิมัลชันเพื่ออำนวยความสะดวกการเตรียมเป็นฟิล์ม และเป็นการเพิ่มความเสถียรของอิมัลชัน น้ำมันโอเมกา-3 อีกด้วย

ไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymer)

พอลิแซคคาไรด์ โปรตีน หรือไขมัน ที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารและ สามารถใช้เตรียมเป็นฟิล์มเคลือบบนผลไม้ได้ โดยทั่วไปฟิล์มเคลือบบนอาหารในอุตสาหกรรมอาหารทำด้วย cellulose ether, แป้ง, corn zein, wheat gluten และ โปรตีนจากถั่วเหลือง เป็นต้น

ไคโตซานซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่มีในเปลือกสัตว์จำพวก กุ้ง ปู และแมลง นอกจากนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเชื้อราและสาหร่ายบางชนิด ไคโตซานสามารถนำมาใช้งานได้แพร่หลายทั้งด้านวัสดุทางการแพทย์และเกษตร ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการเกษตร และทางด้านอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ ไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย สลายตัวช้า และร่างกายสามารถดูดซึมได้ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ยังลดการเกิดเชื้อแบคทีเรีย และยีสต์อายุการเน่าสลายของผลไม้เนื่องจากลดปริมาณแก๊สออกซิเจน ความชื้น จากภายนอกสัมผัสกับผลไม้ เจลาตินเป็นสารอีกชนิดหนึ่งใช้เป็นสารเคลือบผิวอาหารและยา เพื่อความมันวาว อัลจินเนตเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล และใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารเพื่อทำให้อาหารมีลักษณะเป็นเจล คาราจีแนนมีความเสถียรต่อการต้มผัด รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของไบโอพอลิเมอร์ที่จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้



รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของไบโอพอลิเมอร์ a) ไคโตซาน b) คาราจีแนน c) อัลจินเนต

บทที่ 2 การทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มบางที่เติมเกลือแร่ หรือสารอาหาร และสามารถเคลือบบนผลไม้ได้โดยวิธีการจุ่ม (dipping process) ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิจัยเป็น 2 แนวทาง คือ

1. วิธีเตรียมอนุภาคขนาดไมโครและนาโนของแคลเซียม และน้ำมันโอเมกา-3 และการเตรียมเป็นฟิล์มที่เติมอนุภาคลงไป
2. วิธีเตรียมฟิล์มบางที่เติมเกลือแร่และสารอาหารลงไปโดยตรง

2.1 การเตรียมอนุภาคขนาดไมโครและนาโนของแคลเซียม และน้ำมันโอเมกา-3 และการเตรียมเป็นฟิล์มที่เติมอนุภาคลงไป

2.1.1 อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต

2.1.1.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายอัลจินตซึ่งทำหน้าที่เป็น *capping reagent* ต่อขนาดของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต

- เตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ ตามตารางที่ 2.1
- เติมสารละลายอัลจินตลงในสารละลาย CaCl_2 แล้วเติมสารละลาย Na_2CO_3 ในปริมาณที่เท่ากัน
- ทำการโชนิเคตสารละลายผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เกิดการตกตะกอน ณ อุณหภูมิห้อง (25°C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง, 1 วัน, 5 วัน และ 8 วันตามลำดับ
- ตรวจสอบลักษณะอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์และ scanning electron microscope (SEM)

ตารางที่ 2.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 , Na_2CO_3 และอัลจินต

CaCl_2 (mM)	Na_2CO_3 (mM)	Alginate (mM)
10	0	10
10	20	10
10	30	10
10	40	10
10	60	10
10	80	10
10	100	10

2.1.1.2 ศึกษาอัตราเร็วของการเกิดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต

- เตรียมสารละลายอัลจินเนต, CaCl_2 และ Na_2CO_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามตารางที่ 2.2
- ทำการเตรียมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเหมือนในข้อ 2.1.1 แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่อง uv-visible spectrophotometer ณ เวลาในการทำปฏิกิริยาทุกๆ 20 นาที จนถึง 300 นาที

ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มข้นของ CaCl_2 , Na_2CO_3 และอัลจินเนต

CaCl_2 (mM)	Na_2CO_3 (mM)	Alginate acid (mM)
5	5	50
10	10	50
12.5	12.5	50
15	15	50
17.5	17.5	50
20	20	50

2.1.2 อนุภาคแคลเซียมโดยใช้วิธี hydrocolloid ของแคลเซียมอัลจินเนต

เติมสารละลายอัลจินเนตอย่างช้าๆ โดยใช้ปิเปตต์ในสารละลาย CaCl_2 คนด้วยเครื่องกวนหรือเครื่องเขย่าใช้คลื่นเสียง

2.1.3 อนุภาค calcium alginate nanosphere โดยเตรียมเป็นอิมัลชันในระบบน้ำในน้ำมัน

- เติม 3 ml ของสารละลายอัลจินเนต 2 %w/w ลงใน 50 ml ของน้ำมันพาราฟิน โดยใช้ span 80 เป็น emulsifier แล้วทำการคนเพื่อให้ได้อิมัลชัน หลังจากนั้นเติมสารละลาย CaCl_2 ลงในอิมัลชันเพื่อให้เกิดการ cross-link กับ alginate

- ทำลายระบบอิมัลชัน โดยเติม acetone อนุภาคของ calcium alginate ที่เตรียมได้จะอยู่ในชั้นน้ำ

- ตรวจสอบ nanosphere ที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ และ SEM

2.1.4 อิมัลชันของน้ำมันโอเมกา-3

ในการศึกษานี้จะเตรียมอิมัลชันของน้ำมันโอเมกา-3 ระบบ oil in water โดยเตรียมอิมัลชันด้วยเครื่อง homogenizer (Polytron PT3100) ทำการ homogenize สารผสมในแต่ละรอบเป็นเวลา 2 นาที โดยมีการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

2.1.4.1 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการ homogenize ต่อขนาดของหยดอิมัลชัน

อิมัลชันเตรียมโดย homogenize สารผสมระหว่างน้ำมันงูนา 5% กับ 95% ของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ ณ pH 5.6 ที่ความเข้มข้นของเคซีน (อิมัลซิไฟเออร์) เท่ากับ 0.4%, 0.8%, 1.6%, 2% และ 2.4%w/w ทำการ homogenize สารละลายตั้งแต่ 1 ถึง 10 รอบ โดยทำการวัด %transmission ในแต่ละครั้งของการ homogenize เพื่อหาจำนวนรอบที่ดีที่สุดในการเตรียมอิมัลชันที่ดีที่สุด และใช้ในการทดลองคอนอื่น ๆ

2.1.4.2 ศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายเคซีนต่อขนาดของหยดอิมัลชันและความเสถียร

- อิมัลชันเตรียมโดย homogenize สารผสมระหว่างน้ำมันงูนา 5% กับ 95% ของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ ณ pH 5.6 ที่ความเข้มข้นของเคซีน (อิมัลซิไฟเออร์) 0.4%, 0.8%, 1.6%, 2%w/w

- วัดขนาดโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

- วัดความเสถียรของอิมัลชันที่เตรียมได้ด้วยการวัด % creaming

2.1.4.3 ศึกษาถึงผลของสัดส่วนของสารละลายเคซีนต่อน้ำมันต่อความเสถียรของอิมัลชัน

สัดส่วนของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ค่อน้ำมันที่ทำการศึกษาคือ 99:1, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 โดยใช้สารละลายอิมัลซิไฟเออร์ที่มีความเข้มข้นของเคซีน (อิมัลซิไฟเออร์) เป็น 1.6% และ pH 5.6 โดยจะทำการวัดความเสถียรต่อการเกิดครีมของอิมัลชันที่เตรียม

2.2 วิธีเตรียมฟิล์มบางที่เดิมเกลือแร่และสารอาหารลงไปโดยตรง

2.2.1 ชนิดของไบโอพอลิเมอร์ต่อการเคลือบบนพื้นผิว

เนื่องจากไบโอพอลิเมอร์แต่ละชนิดมี ความหนืด หมู่ฟังก์ชันและมวลโมเลกุลที่แตกต่างกัน ในการเคลือบบนผิวของผลไม้ นั้น จึงจำเป็นในการศึกษาผลของความเข้มข้นของพอลิเมอร์แต่ละชนิดค่อน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่สามารถเคลือบติดอยู่บนผิวของผลไม้ที่เรียบและลื่นได้ โดยในที่นี้ใช้แผ่นสไลด์เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยจุ่มแผ่นกระจก (glass slide) ลงใน

สารละลายพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยจุ่มให้ความสูง ¼ ของแผ่นกระจกสัมผัสน้ำสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 10 นาที และนำไปขังน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่เคลือบอยู่บนแผ่นสไลด์ สารละลายที่ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- โคลโคซานฟิล์มเตรียมจากสารละลายโคลโคซาน 2 % (w/w) ใน 1% กรดอะซิติก โดยสารละลายนี้ผ่านการกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางเป็นความเข้มข้น 1.5, 1, 0.5%
- เจลาตินฟิล์มเตรียมจากสารละลายเจลาติน 10, 7.5, 5, 2.5 % (w/w) ในน้ำกลั่น
- อัลจินเตฟิล์มเตรียมจากสารละลายอัลจินเตในน้ำกลั่น 2% w/w แล้วเจือจางเป็น 1.5, 1, 0.5%
- composite film ระหว่างโคลโคซานและเจลาติน เตรียมจากสารละลายผสมของโคลโคซานกับสารละลายเจลาตินเตรียมโดยผสมสารละลาย 2% โคลโคซานกับสารละลาย 5% เจลาตินในอัตราส่วน 1:1 (v/v) กวนเป็นเวลา 3 นาที pH ของสารละลายถูกปรับให้มีค่า 6 ด้วยสารละลาย 1M NaOH
- คาราจีแนน ที่ความเข้มข้น 1, 0.75, 0.5, 0.25% w/w

2.2.2 ฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เติม $Zn(CH_3COO)_2$

หยดสารละลาย $Zn(CH_3COO)_2$ เข้มข้น 10 mM 2.9 ml ลงในสารละลายอัลจินเตเข้มข้น 40, 60, 80, 100 mM ปริมาตร 20 ml ที่ pH 6 คนให้เข้ากัน จากนั้นหยดสารละลายผสมที่ได้ 1 ml บนกระจกแก้ว (glass slide) ทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง 1 คืน ส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาลักษณะของฟิล์ม

2.2.3 ฟิล์มที่เติมหยดน้ำมันอิมัลชัน

2.2.3.1 โคลโคซานฟิล์ม

ผสมสารละลายโคลโคซานเข้มข้น 1 และ 2% ที่ pH 4 ปริมาตร 10 ml กับ อิมัลชัน (1% เคซีน) pH 3 ที่ปริมาตรต่างๆ ตามตารางที่ 2.3 จากนั้นหยดสารละลายผสมที่ได้ 1 ml บนกระจกแก้ว (glass slide) และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ศึกษาการกระจายตัวของสารละลายอิมัลชันในฟิล์มโคลโคซานด้วยกล้องจุลทรรศน์

ตารางที่ 2.3 แสดง % โดยน้ำหนักของสารละลายไคโตซานและอิมัลชัน

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นไคโตซาน (%w/w)	ปริมาตรของอิมัลชัน (ml)
1	1	1
2	1	5
3	1	10
4	1	50
5	2	1
6	2	5
7	2	10
8	2	50

2.2.3.2 composite ฟิล์มระหว่างไคโตซานและเจลาติน

ในการศึกษานี้ เพื่อปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของไคโตซานฟิล์มให้เป็นมันวาวและเรียบโดยเติมเจลาติน และทำการศึกษาสัดส่วนเคซีนปริมาณของอิมัลชันในฟิล์มต่อการลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบางเช่น ความเรียบ ความเป็นมันวาว และการกระจายตัวของ droplet

ผสมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1% w/w ที่ pH 4 (ในกรดอะซิติกเข้มข้น 1 M) 5 ml ลงใน 5 ml สารละลายเจลาติน 10% ที่ pH 4 และเติม 0.5 ml อิมัลชันที่เตรียมจาก % เคซีนที่แตกต่างกัน (0.5, 1, 1.5, 2 % เคซีน) จากนั้นหยดสารละลายผสมที่ได้ 1 ml บนกระจกแก้ว (glass slide) และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตรวจสอบการกระจายตัวของ oil droplet ในฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์

2.3 การเคลือบผลไม้

นำผลไม้จุ่มลงในสารละลายไคโตซานตามรายละเอียดในหัวข้อ 2.2.3.1 ทิ้งให้แห้ง ได้ไคโตซานฟิล์มที่มีไอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบ จุ่มลงในสารละลายผสมระหว่างอัลจินต, $Fe(II)SO_4$ และ $Zn(CH_3COO)_2$ ทิ้งให้แห้งอีกครั้ง สังเกตลักษณะทางกายภาพของผลไม้

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาวิธีการเตรียมฟิล์มเคลือบผลไม้ที่ทานได้ และเติมสารอาหารชนิดต่างๆ ลงไป เนื่องจากวิตามินไวต่อแสง ความชื้นมาก ดังนั้นในปีที่ 1 คณะผู้วิจัยได้เลือกที่จะศึกษาเกลือแร่ได้แก่ แคลเซียม และ สังกะสี โดยพัฒนาวิธีการเตรียมอนุภาคขนาดไมโครและนาโนของแคลเซียมในรูปแบบแคลเซียมคาร์บอเนต, hydrocolloid ของ calcium alginate และ calcium alginate nanosphere โดยใช้วิธีอิมัลชันเอมิวชัน และนำไปเตรียมเป็นแผ่นฟิล์ม โดยศึกษาเปรียบเทียบกับกรณีเติมเกลือแร่นี้ลงไปโดยตรงในฟิล์ม นอกจากนี้ยังศึกษาวิธีการเติมโอเมกา-3 ลงในแผ่นฟิล์มโดยโอเมกา-3 นี้จะเตรียมให้อยู่ในรูปอิมัลชันก่อน

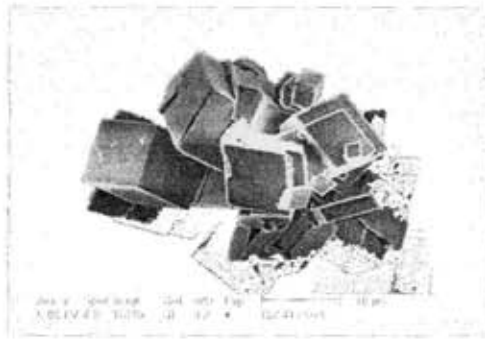
3.1 การเตรียมอนุภาคระดับไมโครและนาโนของแคลเซียมคาร์บอเนต

เนื่องจากขนาดอนุภาคขนาดใหญ่อาจมีผลต่อลักษณะทางกายภาพเช่น สีของผลไม้ซึ่งอาจมีผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภคได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเตรียมอนุภาคขนาดไมโครและนาโนของแคลเซียมในรูปแบบแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเตรียมโดยผสมสารละลายระหว่าง CaCl_2 , $\text{Na}_2(\text{CO}_3)$ และมีอัลจินเตทำหน้าที่เป็น capping reagent กลไกการเกิดอนุภาคอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุของอัลจินเต (polyelectrolyte) และแคลเซียมไอออน ดังแสดงในรูปที่ 3.1

จากรูปถ่าย SEM ของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่ไม่เติมอัลจินเต (capping reagent) (รูป 3.2 a) พบว่าได้ผลึกขนาดใหญ่ เมื่อเติม capping reagent นั้นพบว่าขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กลง (ขนาดประมาณ 4 ไมครอน) และมีรูปร่างเป็นทรงกลม และมีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาวะที่ไม่เติมสาร capping reagent (รูป 3.2 b และ c) โดย capping reagent นี้ทำหน้าที่ห่อหุ้มผลึกหรืออนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคขนาดเล็กเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุนี้ถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการเกิดผลึก และควบคุมการเกิดการรวมตัวกันของผลึก



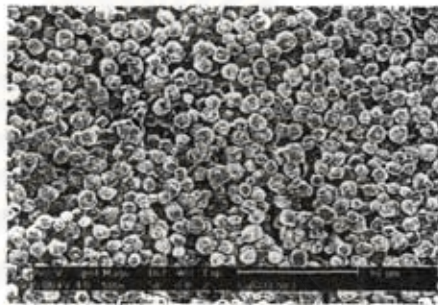
รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของ capping reagent



a)



b)

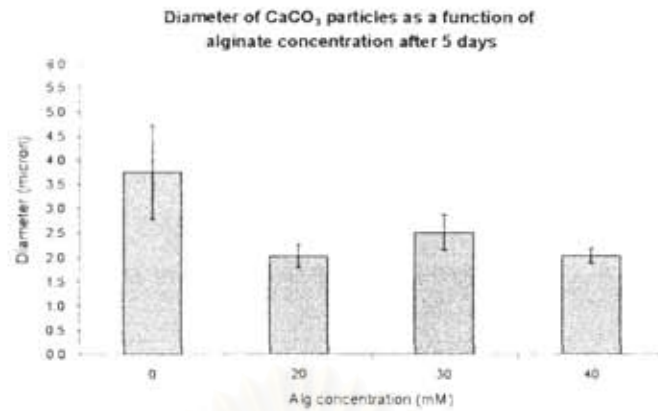


c)

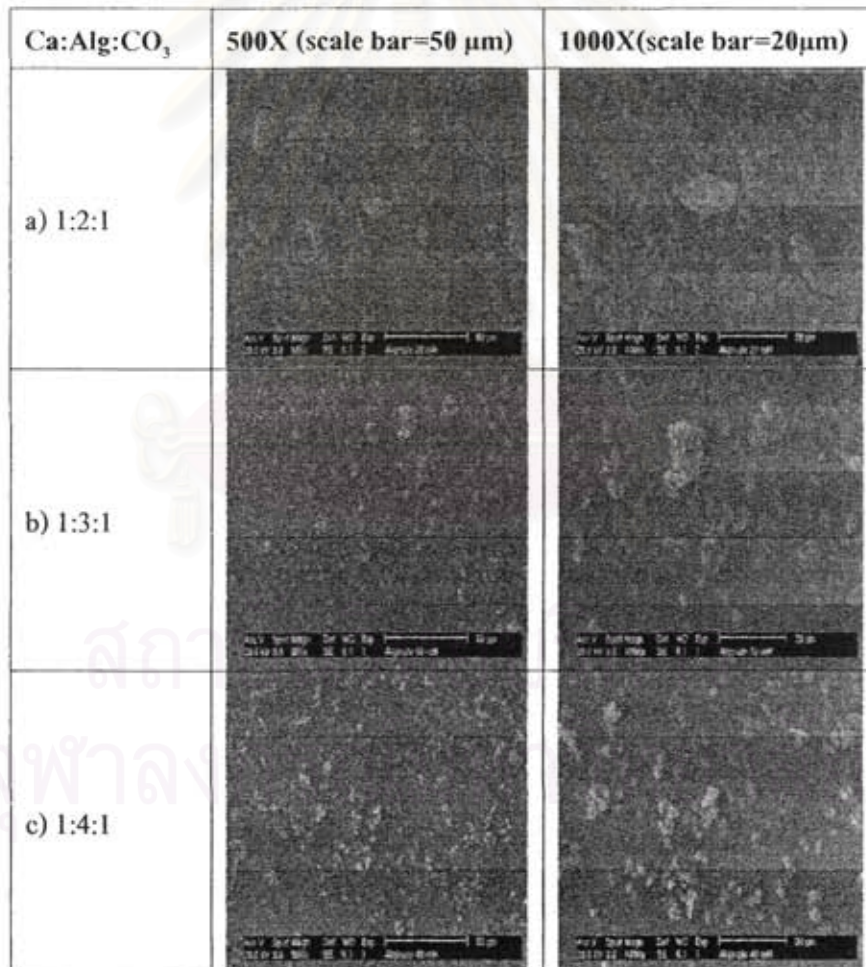
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายจาก SEM ของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต โดย a) ไม่เติมอัลจินต b) เติมอัลจินตที่ขนาดกำลังขยาย 16000 เท่า c) เติมอัลจินตที่ขนาดกำลังขยาย 500 เท่า

3.1.1 ผลของความเข้มข้นของอัลจินตต่อการเกิดอนุภาค

ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของอัลจินตต่อขนาดของอนุภาค จากรูปถ่าย SEM เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน พบว่าในภาวะที่ไม่เติมอัลจินต ลักษณะผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมและมีขนาดใหญ่เกาะกันเป็นกลุ่ม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอัลจินตเป็น 20, 30 และ 40 mM ตามลำดับ พบว่าลักษณะของผลึกมีขนาดเล็กลง กลมมน และกระจายอยู่ทั่วไป ดังแสดงในกราฟที่ 3.1 และรูปที่ 3.3 เมื่อความเข้มข้นของอัลจินตมีค่าระหว่าง 60-100 mM พบว่าผลึกมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และเกาะกันเป็นกลุ่ม ไม่กระจายตัว



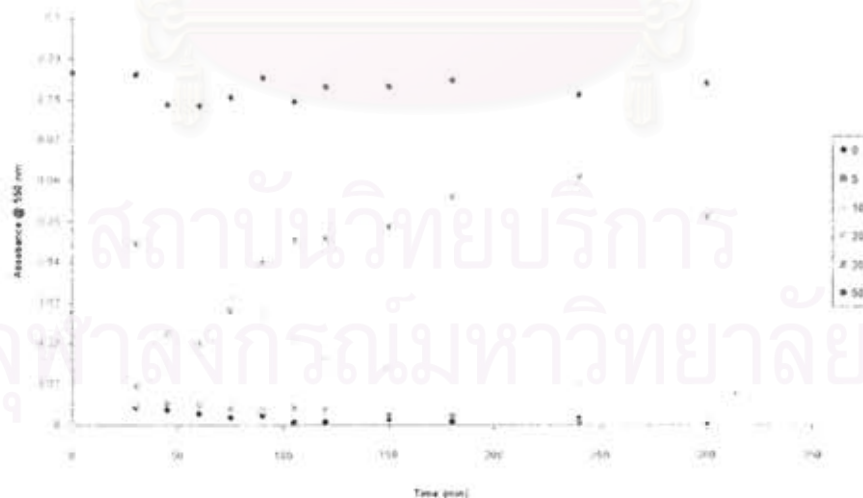
กราฟที่ 3.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตกับความเข้มข้นของสารละลายอัลจินต เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย CaCl₂ และ Na₂CO₃ เป็น 10 mM โดยผสมสารละลายทั้งสามชนิดในอัตราส่วนโดยปริมาตรเป็น 1:1:1 และปฏิบัติยาคำเนินมา 5 วัน



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายจาก SEM ของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติม capping reagent ที่ความเข้มข้น a) 20 ; b) 30; c) 40 และปฏิบัติยาคำเนินมา 5 วัน

3.1.2 อัตราเร็วของการเกิดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต

จากงานวิจัยของ Krishna Gopal ในปี 2006 ได้เสนอถึงอิทธิพลของไอออนลบ phospholipids ที่มีต่อการเกิดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งพบว่าปริมาณประจุลบของ phospholipids มีอิทธิพลต่อโครงสร้างผลึก (crystal morphology) ของแคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณอัลจินเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 50 mM โดยให้ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 และ Na_2CO_3 คงที่ที่ 10 mM แล้วทำการวัด UV spectrum ของสารละลาย พบว่าเมื่อไม่เติมอัลจินเนต ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเกิดขึ้นทันทีแล้วลดลงจนใกล้ค่าศูนย์ เนื่องจากในภาวะที่ไม่เติมอัลจินเนตซึ่งทำหน้าที่เป็น capping reagent ผลึกหรืออนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว (aggregation) และตกตะกอน ได้สารละลายใส จึงทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเข้าใกล้ศูนย์ และจากกราฟที่ 3.2 เห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของอัลจินเนตเพิ่มขึ้น การเกิดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจะเป็นไปอย่างช้าๆ จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล (ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด) เมื่อความเข้มข้นของอัลจินเนตสูงขึ้น เวลาในการเกิดปฏิกิริยาจนถึงสมดุลพบว่ามีมากขึ้นด้วย ณ ความเข้มข้นของอัลจินเนตมากกว่า 30 mM พบว่าค่าการดูดกลืนแสงลดลงเล็กน้อยแล้วคงที่ เนื่องจากอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดใหญ่ได้ตกตะกอนออกมา เหลือเพียงอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในสารละลาย ซึ่งไปตามแนวโน้มเดียวกับงานวิจัยของ C.Wang¹ ในปี 2007 แสดงถึงอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแคลเซียม และคาร์บอเนตไอออน ต่อกรดโอเลอิก (oleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เป็น capping reagent มีผลต่อขนาดของผลึก ทั้งยังพบว่าที่ความเข้มข้นของกรดโอเลอิก ส่งผลให้ผลึกมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น



กราฟที่ 3.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ที่เวลาต่าง 0 ถึง 300 นาที โดยความเข้มข้นของอัลจินเนตมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 50 mM โดยให้ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 และ Na_2CO_3 คงที่ที่ 10 mM

3.2. การเตรียมอนุภาคระดับไมโคร/นาโนของแคลเซียมโดยใช้วิธี hydrocolloid ของแคลเซียมอัลจิเนต

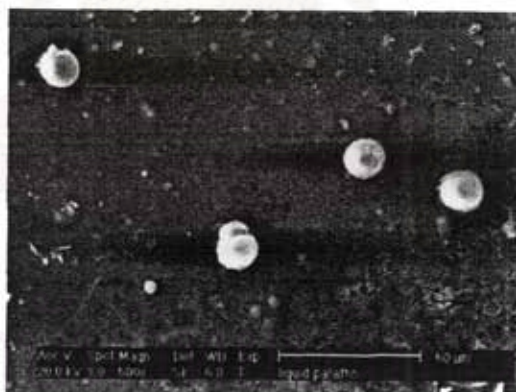
hydrocolloid ของแคลเซียมอัลจิเนตสามารถเตรียมได้โดยการหยดสารละลายอัลจิเนตลงในสารละลาย CaCl_2 ที่จุ่มอยู่ในเครื่องโซนิกเตด พบว่าสามารถเตรียมเป็นอนุภาคได้ แต่มีจำนวนน้อยมากเนื่องจากลำแสงที่เกิดจากปรากฏการณ์ Tyndall Effect มีความเข้มข้นน้อย ดังนั้นในการเตรียมอนุภาคแคลเซียมอัลจิเนตโดยวิธีนี้ยังต้องมีการปรับปรุงต่อไป

3.3 การเตรียมอนุภาคระดับไมโคร/นาโนของแคลเซียมอัลจิเนตโดยใช้ emulsification technique

จากกล้องจุลทรรศน์ และภาพถ่าย SEM พบว่าอนุภาคแคลเซียมอัลจิเนตสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไอออนกับอิมัลชันของอัลจิเนต โดยอนุภาคแคลเซียมอัลจิเนตที่เตรียมได้นี้มีลักษณะค่อนข้างกลม (microsphere) และมีขนาดประมาณ $10 \mu\text{m}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

การที่ขนาดของอนุภาคนี้มีขนาดใหญ่อาจเป็นผลจากความเข้มข้นของสารละลายอัลจิเนตที่เข้มข้นเกินไป จึงทำให้ขนาดของหยดของอัลจิเนตในน้ำมันมีขนาดใหญ่ และปริมาณของอนุภาคที่เตรียมได้นั้นยังคงมีในปริมาณน้อย ซึ่งจะต้องทำการศึกษาค่าต่อไป

นอกจากนี้การทำลายอิมัลชันของอัลจิเนตในน้ำมันด้วยอะซิโตน พบว่าไม่ค่อยสมบูรณ์เนื่องจากมีน้ำมันปนออกมากับอนุภาคที่เตรียมได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงวิธีการทำลายอิมัลชันให้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 3.4 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคแคลเซียมอัลจิเนต ที่กำลังขยาย 500 เท่า

3.4 อิมัลชันของน้ำมันโอเมกา-3

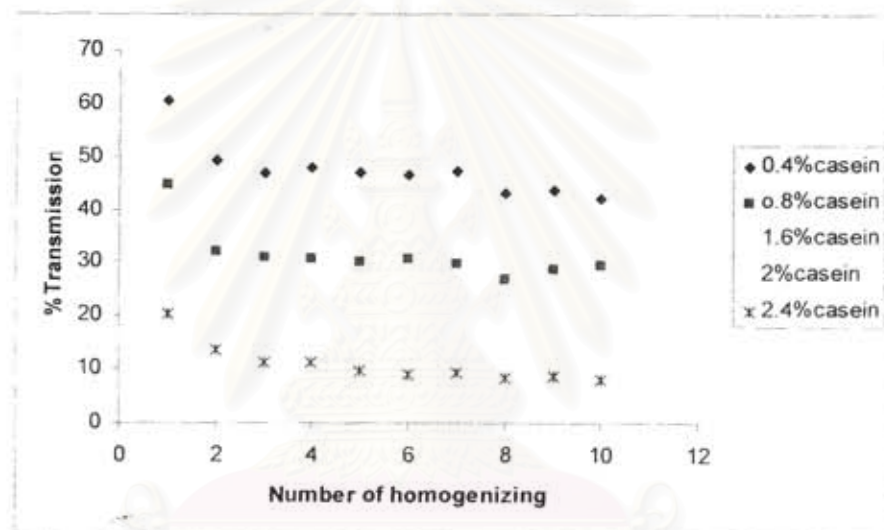
3.4.1 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการ homogenize ต่อขนาดของหยดอิมัลชัน

จากกราฟที่ 3.3 แสดงผลของจำนวนครั้งที่ homogenize สารผสมเทียบกับ % การส่องผ่านของแสง (%transmission) ของอิมัลชันที่เตรียมได้ โดย % การส่องผ่านของแสงนี้เป็นการ

วัดความขุ่น (turbidity) ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบ่งชี้ถึงขนาดของอิมัลชัน ในการวัด % การส่งผ่านของแสง ที่ความยาวคลื่น 550 nm

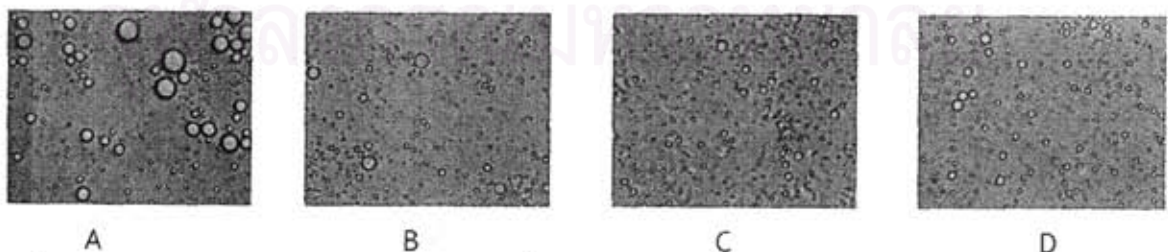
จากการทดลองพบว่าค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น (% การส่งผ่านแสงลดลง) เมื่อจำนวนรอบของการ homogenize เพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้ว่าขนาดของหยดน้ำมันโอเมกา-3 อิมัลชันเล็กลง เมื่อทำการ homogenize มากกว่า 5 ครั้ง พบว่า % การส่งผ่านแสงลดลงคงที่ แสดงว่าขนาดอนุภาคเริ่มคงที่

นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของเคซีนไม่มีผลต่อความขุ่น ดังนั้นเพื่อให้ได้ขนาดของหยดน้ำมันโอเมกา-3 ของอิมัลชันที่เล็กและประหยัดเวลาในการเตรียมอิมัลชัน ผู้วิจัยจึงเลือกทำการ homogenize จำนวน 5 ครั้ง



กราฟที่ 3.3 แสดงจำนวนครั้งในการ homogenize สารผสมอิมัลชัน ต่อค่า %transmission ที่ความเข้มข้นของสารละลายเคซีน 0.4%, 0.8%, 1.6%, 2% และ 2.4 %w/w

3.4.2 ศึกษาถึงผลความเข้มข้นของสารละลายเคซีนต่อขนาดของหยดอิมัลชันและความเสถียร



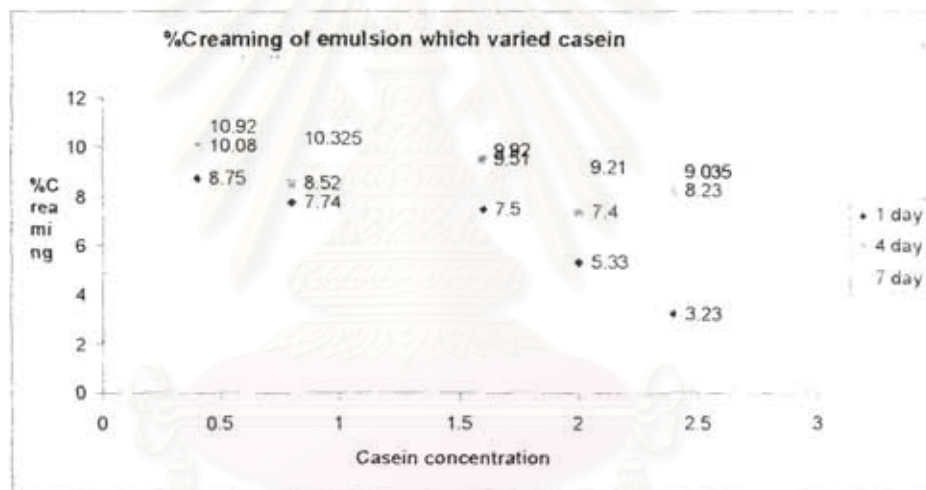
รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของหยดน้ำมัน โอเมกา-3 อิมัลชัน ที่มี % เคซีนเท่ากับ a) 0.5% b) 1%, c) 1.5% และ d) 2% w/w

จากรูปที่ 3.5 เห็นว่าเมื่อ % เคซีนสูงขึ้น ขนาดของหยดน้ำมันโอเมกา-3 มีขนาดเล็กลง และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น

ความเสถียรของอิมัลชันสามารถศึกษาได้จาก %การเกิดคริม โดย % การเกิดคริมเป็นการวัดที่สามารถบ่งบอกถึงความเสถียรของอิมัลชันที่เตรียมได้ ในการวัด % การเกิดคริม ทำได้โดยวัดความสูงของคริมที่เกิดขึ้นเทียบกับความสูงของอิมัลชันทั้งหมด แสดงผลเป็นค่า %การเกิดคริม สามารถคำนวณได้ดังสมการข้างล่าง

$$\% \text{ การเกิดคริม} = \frac{\text{ความสูงของคริมที่เกิดขึ้น}}{\text{ความสูงของอิมัลชันทั้งหมด}} \times 100$$

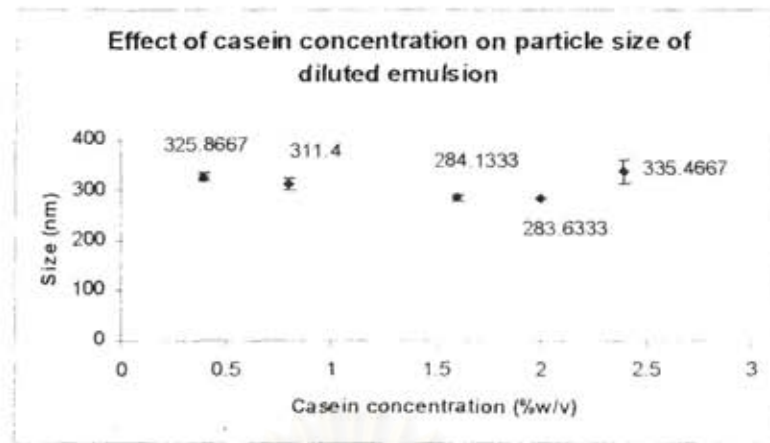
%การเกิดคริมมาก แสดงว่าอิมัลชันมีความเสถียรต่ำ ในการศึกษาครั้งนี้ทำการวัดการเกิดคริมของอิมัลชันที่เตรียมจากความเข้มข้นของเคซีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เมื่อเวลาผ่านไป 1, 7 และ 14 วันตามลำดับ



กราฟที่ 3.4 แสดงการเกิดคริมที่ความเข้มข้นของสารละลายเคซีนต่างๆ

จากกราฟที่ 3.4 พบว่า อิมัลชันที่เตรียมด้วย 0.4%w/w ความเข้มข้นของเคซีนมีความเสถียรต่ำที่สุด เนื่องจากเคซีนไม่สามารถล้อมรอบหยดน้ำมันได้ดี จึงทำให้หยดน้ำมันเกิดการรวมตัวกันได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งสามารถสังเกตเห็นชั้นคริมแยกตัวออกมาตั้งแต่วันที่ 1 ในขณะที่อิมัลชันที่เตรียมจากความเข้มข้นของเคซีนตั้งแต่ 2%w/w มีความเสถียรต่อการเกิดคริมดีกว่า

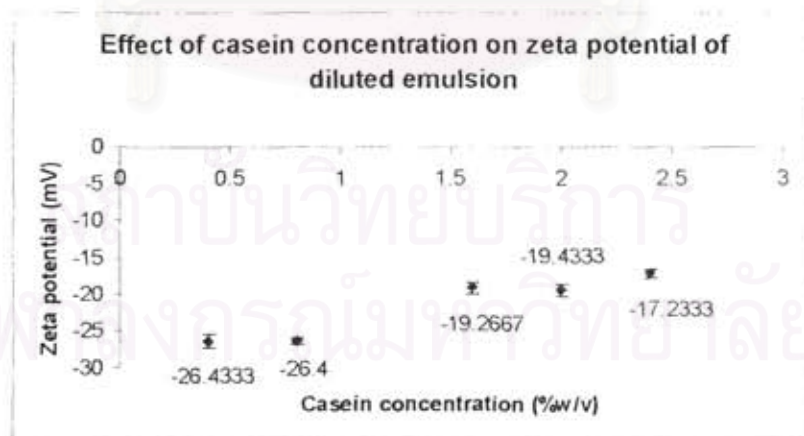
ในการวัดขนาดของหยดน้ำมันนั้นจะวัดด้วยเครื่อง nanosizer จำเป็นต้องทำการเจือจางอิมัลชันในอัตราส่วน 1:5 ซึ่งการเจือจางดังกล่าวไม่กระทบต่อ emulsion ของสารละลายเพราะไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำและน้ำมัน จากการวัดขนาดของอิมัลชันพบว่า % เคซีนมีผลต่อขนาดของหยดน้ำมันเฉลี่ยค่อนข้างน้อย(กราฟที่ 3.5)



กราฟที่ 3.5 แสดงขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำมันในอิมัลชันที่ใช้ความเข้มข้นของเคซีนต่างๆ (เจือจาง 5 เท่า)

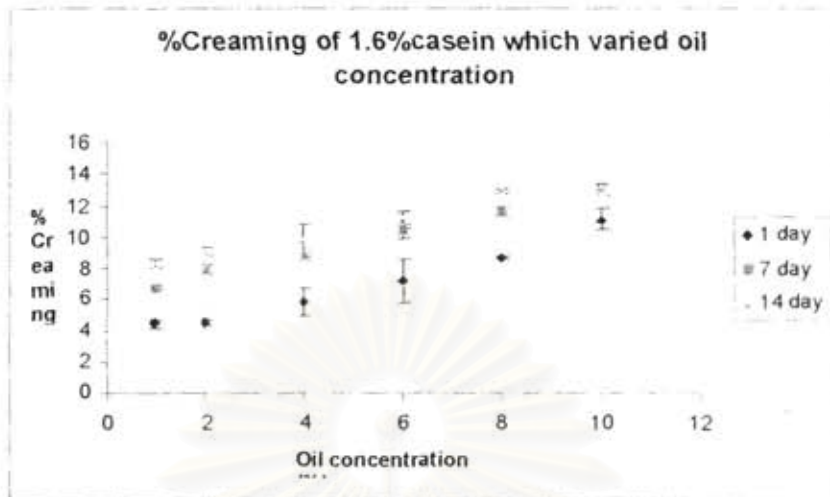
การวัดค่า zeta potential เป็นการวัดความหนาแน่นประจุในชั้น bilayer รอบๆ droplet emulsion เช่นเดียวกับการวัดขนาดของอิมัลชัน ในการวัดค่า zeta potential จำเป็นต้องทำการเจือจางอิมัลชันในอัตราส่วน 1:5

จากกราฟ 3.6 เห็นได้ว่าอิมัลชันที่เตรียมโดยมีสารละลายเคซีน ณ pH 5.6 (ค่า pI ของเคซีนเท่ากับ 4.5) ให้ค่า zeta potential เป็นค่าลบ แสดงว่าหยดน้ำมันมีเคซีนเข้าไปล้อมรอบไว้ แต่เนื่องจากค่า zeta potential นี้มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน (-30mV) แสดงว่าเคซีนมิได้เข้าไปล้อมรอบหยดน้ำมันไว้ทั้งหมด ทำให้แรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) นั้นมีน้อย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ว่าอิมัลชันที่เตรียมได้มีความเสถียรไม่มากเท่าที่ควร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเคซีนมากขึ้นพบว่าค่า zeta potential นั้นมีค่าลดลงเล็กน้อย อาจจะเป็นเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการเจือจางสาร



กราฟที่ 3.6 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายเคซีนที่มีต่อค่า zeta potential ของอิมัลชันที่เจือจาง 5 เท่า

3.4.3 ศึกษาถึงผลของสัดส่วนของสารละลายเคซีนต่อน้ำมันต่อความเสถียรของอิมัลชัน

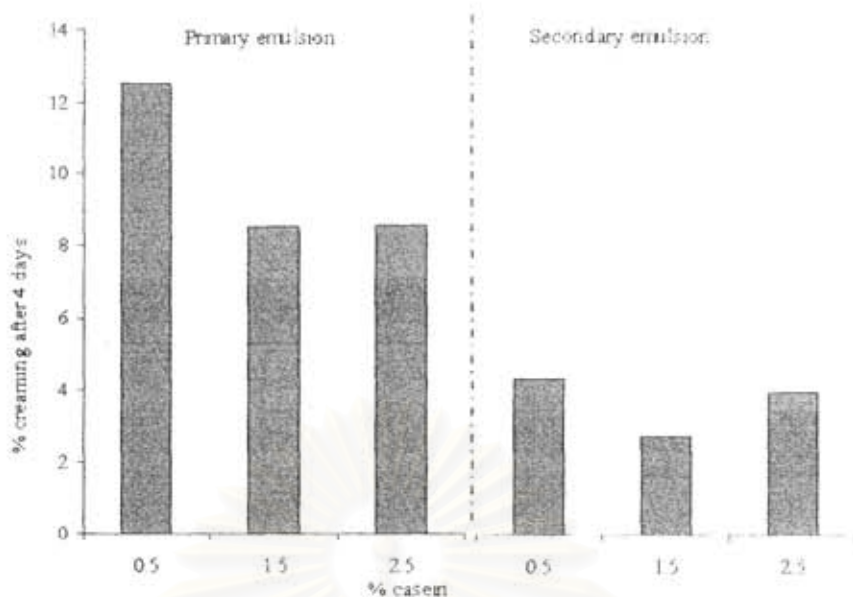


กราฟที่ 3.7 แสดงการเกิดครีมที่ความเข้มข้นของน้ำมัน (%w/v)

จากการทดลองพบว่าอิมัลชันที่อัตราส่วนของน้ำมันต่อสารละลายอิมัลซิไฟเออร์เป็น 1% และ 2% (%w/v) มีความเสถียรต่อการเกิดครีมดีกว่าสัดส่วนอื่นๆ เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวมีปริมาณของเคซีนต่อปริมาณน้ำมันสูงพอที่สามารถล้อมรอบน้ำมันได้ดี ทำให้น้ำมันเกิดการรวมตัวกันกลับได้ยาก

อิมัลชันที่เตรียมได้นี้จัดว่าเป็น primary emulsion คณะวิจัยได้ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงการเพิ่มความเสถียรของ primary emulsion นี้ด้วยการเตรียมเป็น secondary emulsion ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยผสม 4 mL ของ primary emulsion ด้วย 14 mL 0.1%w/w โคลโคซานที่ pH 5.6 พบว่า secondary emulsion มีความเสถียรมากกว่า primary emulsion ในทุกความเข้มข้นของเคซีน โดยมีค่า % การเกิดครีมเพียง 3-4% ในทางตรงกันข้าม primary emulsion มีค่า % การเกิดครีมสูงถึง 8-12% ซึ่งแสดงว่ามีการรวมตัวกันของหยดน้ำมัน ดังในแสดงในรูปที่ 3.8

นอกจากนี้ยังพบว่าค่า % การเกิดครีมมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของเคซีนเพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งบอกได้ว่าความเข้มข้นของเคซีนที่มากขึ้นสามารถล้อมรอบหยดน้ำมันได้ดีกว่า ส่งผลให้หยดน้ำมันผลัดกัน จึงทำให้อิมัลชันที่มีความเข้มข้นของเคซีนมากกว่ามีความเสถียรต่อการเกิดครีมสูงขึ้น



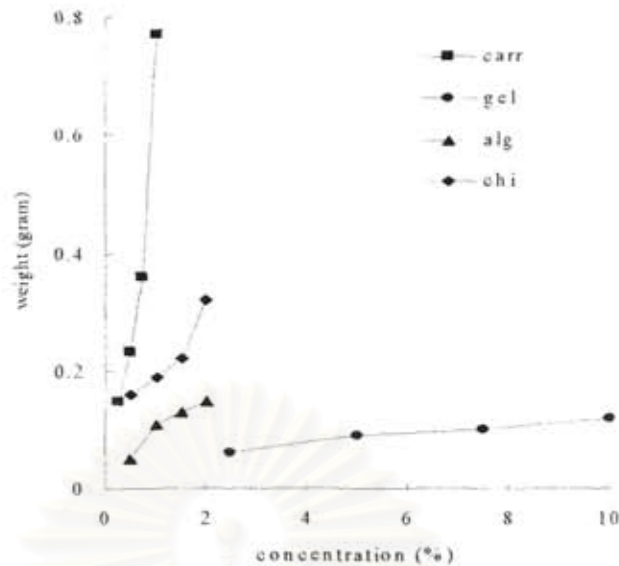
กราฟที่ 3.8 % การเกิดครีมของ primary emulsion และ secondary emulsion ตามปริมาณเคซีนที่เพิ่มขึ้น (0.5%, 1.5% และ 2.5%w/w) หลังจากทิ้งไว้เป็นเวลา 4 วัน

3.5 ชนิดของไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) ต่อการเคลือบบนพื้นผิว

จากกราฟที่ 3.9 ปริมาณพอลิเมอร์ที่สามารถเคลือบบนกระจกสไลด์ขึ้นอยู่กับความหนืดเป็นตัวแปรที่สำคัญ ณ ความเข้มข้นที่เท่ากัน คาราจีแนนมีความหนืดมากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ จึงส่งผลให้สามารถเคลือบกระจกสไลด์ได้มากที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์สูงขึ้นสามารถเคลือบพื้นผิวได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามคาราจีแนนไม่เหมาะต่อการใช้งานเนื่องจากมีความหนืดสูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาค

ในทางตรงกันข้ามเจลาตินมีความหนืดน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเคลือบบนกระจกสไลด์ได้น้อยที่สุด และความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์มีผลน้อยต่อปริมาณที่สามารถเคลือบบนพื้นผิว อย่างไรก็ตามฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติมันวาว ไคโตซานสามารถเคลือบกระจกสไลด์ได้ดีเช่นกัน แต่พื้นผิวของไคโตซานฟิล์มมีความเรียบต่ำ

ดังนั้นผู้วิจัยได้เตรียมฟิล์มผสมระหว่างพอลิเมอร์ 4 ชนิด ได้แก่ไคโตซาน คาราจีแนน อัลจิเนต และเจลาติน เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความหนาพอสมควร แต่มีความเรียบ มันวาว ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นว่า composite film ที่เตรียมจากอัลจิเนตและเจลาติน และอัลจิเนตและคาราจีแนน มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นฟิล์มที่ใช้เคลือบผลไม้ได้



กราฟที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่เคลือบบนกระดาษไล่ดักกับความเข้มข้นของพอลิเมอร์

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

พอลิเมอร์	ลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้
ไคโตซานและอัลจินต	เกิดการแยกตัว
ไคโตซานและเจลาติน	มีของแข็งตกออกมาอยู่ภายในฟิล์มที่เตรียมได้
ไคโตซานและคาราจีแนน	มีของแข็งตกออกมาอยู่ภายในฟิล์มที่เตรียมได้
อัลจินตและเจลาติน	ได้ฟิล์มที่พื้นผิวเรียบ เป็นมันวาว และuniform
อัลจินตและคาราจีแนน	ได้ฟิล์มที่พื้นผิวเรียบ เป็นมันวาว และuniform
เจลาตินและคาราจีแนน	มีของแข็งตกออกมาอยู่ภายในฟิล์มที่เตรียมได้
ไคโตซาน อัลจินตและเจลาติน	ฟิล์มที่เตรียมได้ มีพื้นผิวที่ไม่เรียบ แต่มันวาว
ไคโตซาน อัลจินตและคาราจีแนน	ฟิล์มที่เตรียมได้ มีพื้นผิวที่ไม่เรียบ
ไคโตซาน เจลาตินและคาราจีแนน	ฟิล์มที่เตรียมได้ มีพื้นผิวที่ไม่เรียบ มีของแข็งตกออกมาอยู่ภายในฟิล์ม
อัลจินต เจลาตินและคาราจีแนน	ฟิล์มที่เตรียมได้ มีพื้นผิวที่ไม่เรียบ มีของแข็งตกออกมาอยู่ภายในฟิล์ม
ไคโตซาน อัลจินต เจลาตินและคาราจีแนน	ฟิล์มที่เตรียมได้ มีพื้นผิวที่ไม่เรียบ มีของแข็งตกออกมาอยู่ภายในฟิล์ม

3.6 फिल्मพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เติม $Zn(CH_3COO)_2$

จากหัวข้อ 3.5 อัลจินเนตเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นฟิล์มเคลือบ ประกอบด้วยอัลจินเนตสามารถทำปฏิกิริยา crosslink กับไอออนได้หลายชนิด เช่น แคลเซียม หรือ ซิงค์ไอออนเกิดเป็นเจลได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้อัลจินเนตเป็นพอลิเมอร์ต้นแบบในการทำเป็นฟิล์มและใช้ซิงค์ไอออนเป็นสารอาหารที่เติมเข้าไป จากการทดลองพบว่า ฟิล์มที่เตรียมได้โดยใช้อัลจินเนต 60 mM มีความเรียบที่สุด อย่างไรก็ตามผู้วิจัยสามารถหาปริมาณโลหะที่มีอยู่ฟิล์มที่เตรียมได้ เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เสีย

3.7 फिल्मที่ได้เติมหยคน้ำมันอิมัลชัน

3.7.1 โคลโคซานฟิล์ม

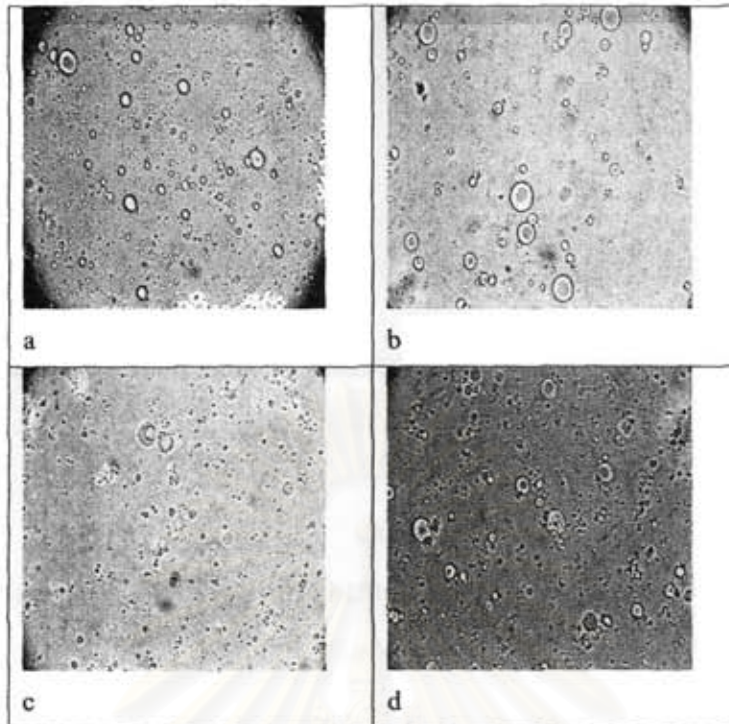
ในการทดลองครั้งนี้ต้องการเตรียมฟิล์มเคลือบผลไม้ที่ทำจากโคลโคซาน และมีโอเมกา-3 เป็นองค์ประกอบ โดยศึกษาปริมาณของอิมัลชันและความเข้มข้นของโคลโคซานที่เหมาะสมต่อการเตรียมเป็นฟิล์ม และการกระจายตัวของหยคน้ำมันในฟิล์ม

จากภาพถ่าย SEM พบว่าสามารถใช้โคลโคซานในการเตรียมเป็นฟิล์มที่มีหยคน้ำมันผสมอยู่ได้ สารละลายโคลโคซานเข้มข้น 1% เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม เนื่องจากฟิล์มที่เตรียมได้มีความเรียบและหยคน้ำมันไม่แตกออก และพบว่าปริมาณของอิมัลชันที่เติมลงไปมีผลต่อลักษณะของฟิล์มเช่นกัน โดยปริมาณที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.5-0.7 mL

3.7.2 composite फिल्मระหว่างโคลโคซานและเจลาติน

จากการศึกษาใน 3.7.1 พบว่าสารละลายโคลโคซานสามารถรวมตัวได้เป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลายอิมัลชัน แต่ทั้งนี้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะที่ไม่มันวาวและไม่สม่ำเสมอสวยงามเท่าที่ควรซึ่งอาจก่อให้เกิดความไม่พึงพอใจในการบริโภคของผู้บริโภคได้ จากข้อด้อยดังกล่าวจึงนำผสมเจลาตินกับสารละลายโคลโคซานเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติภายนอก

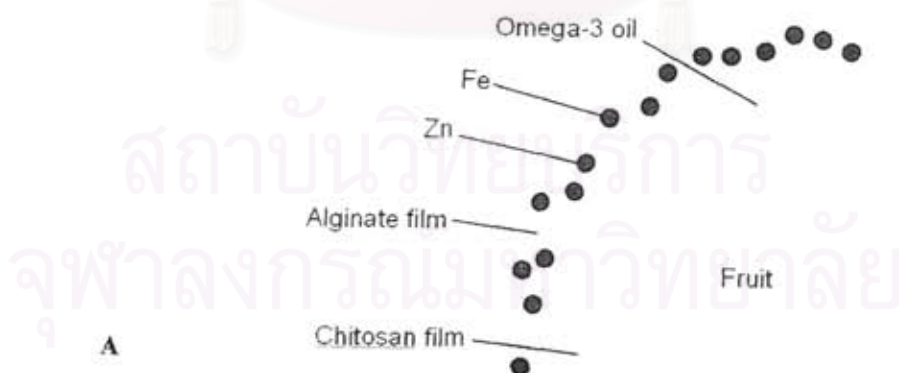
จากรูปที่ 3.6 พบว่าอิมัลชันที่เตรียมโดยใช้ 0.5% เคซีนเป็น emulsifier เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเตรียมเป็น composite फिल्मของโคลโคซานและเจลาติน เนื่องจากไม่มีการรวมตัวกันของหยคน้ำมัน และแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มีความเรียบ เป็นมันวาว

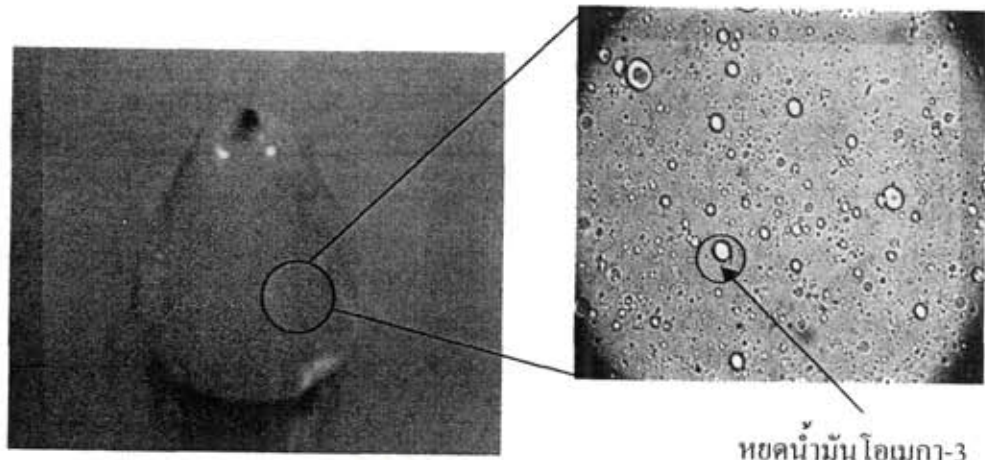


รูปที่ 3.6 รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของพื้นผิวฟิล์มของไคโตซานและเจลาติน ที่เติม 0.5 mL อิมัลชันที่เตรียมจากเคซีนที่ความเข้มข้นเท่ากับ a) 0.5%, b) 1%, c) 1.5% และ d) 2.0% w/w

3.8 การเคลือบผลไม้

จากรูปที่ 3.7 แสดงผลไม้ซึ่งถูกเคลือบพื้นผิวด้วยฟิล์มที่มีการเติมสารอาหารหลายชนิดไว้ โดยชั้นแรกจะเป็นการเคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานซึ่งมีเซตน้ำมันโอเมกา-3 อิมัลชันกระจายอยู่ และเคลือบชั้นที่สองด้วยอัลจินตฟิล์มซึ่งเติมเกลือของสังกะสี แคลเซียม และเหล็กไว้ในฟิล์ม





B

C

รูปที่ 3.7 a) รูปจำลองฟิล์มที่เคลือบบนผิวของผลไม้ด้วยการจุ่มลงในสารละลายผสมของโคโคซานและเจลาตินอัตราส่วน 1:1 ที่มีอิมัลชันผสมอยู่ 0.5%w/w b) ชมพูซึ่งเคลือบด้วยฟิล์มที่มีการเติมน้ำมัน โอเมกา-3 เกลือของสังกะสี แคลเซียม และเหล็ก และ c) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของชั้นฟิล์มที่เคลือบบนชมพู

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมุ่งพัฒนาไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) พลาสติกที่เติมเกลือแร่ชนิดต่างๆ เช่น สังกะสี เหล็ก แคลเซียม ลงไป ในปีแรกผู้วิจัยได้เตรียมแผ่นฟิล์มที่มีสังกะสี แคลเซียมและน้ำมันโอเมกา-3 ผสมอยู่ ซึ่งดำเนินการศึกษาเป็น 2 แนวทาง การเตรียมอนุภาคของเกลือแร่และสารอาหาร เพื่อนำไปเติมในฟิล์มต่อไป และการเติมสารอาหารเข้าไปโดยตรงในขั้นตอนการทำเป็นฟิล์ม ฟิล์มที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถเคลือบลงบนผลไม้ได้โดยการจุ่มซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย

การเตรียมอนุภาคแคลเซียมในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, hydrocolloid ของแคลเซียมอัลจินต และอนุภาคนาโนเสฟิไรซ์ของแคลเซียมอัลจินต ซึ่งเตรียมโดย emulsification technique พบว่าอนุภาคที่เตรียมได้ยังมีขนาดที่ใหญ่ ผู้วิจัยต้องพัฒนาศึกษาต่อไปโดยจะมุ่งพัฒนาวิธีการเตรียมแคลเซียมอัลจินตโดย emulsification technique เพื่อให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร

ในการเติมน้ำมันโอเมกา-3 ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญ เนื่องจากคุณสมบัติการไม่ละลายน้ำจึงมีความจำเป็นในการทำให้อยู่ในรูปอิมัลชันก่อน โดยเตรียมอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ มีเคซีนเป็นอิมัลซิฟายเออร์ พบว่า ที่ pH 5.6 อิมัลชันที่เตรียมได้มีประจุเป็นลบ ขนาดและความเสถียรของอิมัลชันขึ้นอยู่กับ %อิมัลซิฟายเออร์ สัดส่วนระหว่างสารละลายอิมัลซิฟายเออร์กับน้ำมัน และ secondary emulsion มีความเสถียรมากกว่า primary emulsion

พอลิเมอร์ที่สามารถทำเป็นแผ่นฟิล์มที่ให้อัตลักษณ์มันวาว มีความเรียบ และสามารถเติมสารอาหารได้ ได้แก่ อัลจินต อัลจินตผสมกับเจลาติน ไคโตซาน เกลือของสังกะสีสามารถผสมกับสารละลายไคโตซาน และทำเป็นแผ่นฟิล์มได้ แต่มิได้ศึกษาปริมาณที่อยู่ในแผ่นเนื่องจากเครื่องมือในการวิเคราะห์เสีย ในการเติมหยคน้ำมันโอเมกา-3 อิมัลชันในแผ่นฟิล์มไคโตซานพบว่ามีความเป็นไปได้ แต่เติมได้ในปริมาณที่ไม่สูงนัก เนื่องจากเกิดการแตกของหยดไขมัน จึงต้องมีการพัฒนาต่อไป

ในงานวิจัยนี้ยังได้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการเติมสังกะสี แคลเซียม เหล็ก และน้ำมันโอเมกา-3 ลงในแผ่นฟิล์มที่เคลือบผลไม้ได้ โดยอาศัยการเคลือบ 2 ชั้น

แนวทางในการวิจัยในขั้นต่อไป

1. พัฒนาวิธีการเตรียมอนุภาคแคลเซียมให้มีขนาดระดับนาโน โดยมุ่งที่ใช้ emulsification technique
2. พัฒนาวิธีเตรียมหยคน้ำมันโอเมกา-3 ด้วยอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ ให้ได้หยดอิมัลชันที่มีขนาดเล็กลงและมีความเสถียรมากขึ้น
3. เตรียมฟิล์มที่หยคน้ำมันไม่แตกตัว
4. วิเคราะห์ปริมาณสารอาหารที่เติมลงไป

บรรณานุกรม

1. <http://data.schq.mi.th/~medo/update2.html>
2. สุจิตรา ผลประไพ, มาลี เขาวล่อง, ศิริบงกช ดวงดาว. การศึกษาภาวะโภชนาการผู้สูงอายุ รายงานการวิจัย. กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2533
3. S. Park, Y. Zhao "Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into chitosan-based films". *J. Agric. Food chem.*, 52 (2004) 1933-1939.
4. C. Wang, Z. Xu, Z. Jingzhe, L. Yanhua, S. Ye, W. Zichen" Biomimetic nucleation and growth of hydrophobic vaterite nanoparticles with oleic acid in a methanol solution"n *Applied Surface Science* 253 (2007) 4768–4772.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัตินักวิจัย

1. นาย สเตฟาน ดูบาส (Mr. Stephan T. Dubas)

ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อ

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ 0-2218-4234 E-mail : Stephan.d@chula.ac.th

2. ดร.ลักษณา ดูบาส (กิมสวรรค์) (Dr. Luxsana Dubas)

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ 0-2218-7611 โทรสาร 02 254 1309 E-mail: Luxsana.l@chula.ac.th



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญาเลขที่ GRB_๒๖_๕๐_๒๓_๐๒

โครงการวิจัยเรื่อง แผนงานวิจัยนวัตกรรมเพื่อยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยทางอาหาร

ผู้โครงการเศรษฐกิจยุคใหม่

การรายงานความก้าวหน้าผลการดำเนินงาน (ครั้งที่ 3)

รายงานช่วงระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2549 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2550

ชื่อหัวหน้าโครงการ นายสเทพาน คูบาล

หน่วยงาน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การดำเนินงาน : ได้ดำเนินงานตามแผนที่ได้วางไว้ทุกประการ

ได้เปลี่ยนแปลงแผนงานที่ได้วางไว้ดังนี้คือ

1. ต้องมีการศึกษาวิตามินด้วยในปีนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ค้นคว้าข้อมูลพบว่าวิตามินมีความไม่เสถียรต่อระบบที่ใช้อยู่ในขณะนี้ จึงไม่ได้เริ่มทำการศึกษาคาร์บอนในฟิล์ม
2. ทำการศึกษาวิธีการเติมน้ำมันโอเมกา-3 ลงในฟิล์ม เนื่องจากว่าจากการค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่าการอาหารชนิดนี้มีความจำเป็นต่อร่างกาย และประชากรส่วนใหญ่ได้รับสารอาหารในกลุ่มนี้น้อย
3. มิได้ทำการศึกษาความเสถียรของฟิล์ม ค่าเวลา อุณหภูมิ และ pH
4. มิได้ตรวจวัดปริมาณสารอาหารที่บรรจุในแผ่นฟิล์ม

2. สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการเตรียมอนุภาคขนาดไมโครของแคลเซียม ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต, อนุภาคของอัลจินตที่เติมแคลเซียม ไอออน และการเตรียมอิมัลชันของน้ำมัน โอเมกา-3 รวมทั้งสามารถเตรียมแผ่นฟิล์มที่มีการเติม แคลเซียม สังกะสี เหล็ก และหยคน้ำมัน โอเมกา-3 ได้ ซึ่งผลงานวิจัยนี้จะต้องพัฒนาประสิทธิภาพต่อไป เพื่อนำไปใช้

3. การดำเนินงานในช่วงต่อไป

1. พัฒนาวิธีการเตรียมอนุภาคเกลือแร่ให้มีขนาดระดับนาโน โดยมุ่งใช้ emulsification technique

2. พัฒนาวีธีเตรียมหอยค่น้ำมัน โอเมกา-3 ด้วยอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ ให้ได้หอยคอดิมัลชันที่มีขนาดเล็กลงและมีความเสถียรมากขึ้น
3. เตรียมฟิล์มที่หอยค่น้ำมัน ไม่แตกตัว
4. วิเคราะห์ปริมาณสารอาหารที่เติมลงไป

4. อุปสรรคในการดำเนินงานและแนวทางแก้ไข

การเบิกจ่ายงบประมาณเป็นไปได้ช้าในระยะเวลาที่ควรจะเป็น



.....
(หัวหน้าโครงการ)
...../...../.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย