



รายงานวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากไบโอพอลิเมอร์ผสมสารสกัดใบเตยในการควบคุมการเกิดออกซิเดชันของไขมันในการเก็บรักษาอาหาร

Development of Packaging from Biopolymer Incorporated with Pandan Extract to Control Lipid Oxidation in Food during Storage

โดย

ดร.ณัฐธิดา ศิลาสาย (หัวหน้าโครงการวิจัย)

และ

ผศ.ดร.ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ (ผู้ช่วยโครงการวิจัย)

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อภาษาไทย

เรื่อง	การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากไบโอพอลิเมอร์ผสมสารสกัดใบเตยในการควบคุมการเกิดออกซิเดชันของไขมันในการเก็บรักษาอาหาร
โดย	ดร.ณัฐริกา ศีลาสาย และ ผศ.ดร.ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารจากสารสกัดจากใบเตยหอมในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และศึกษาแนวทางการผลิตภาชนะบรรจุอาหารชนิดแข็งโดยแปรปริมาณของเส้นใยใบเตยและสารละลายแป้งผสมในการขึ้นรูป อัตราส่วนที่เหมาะสมของโคโตแซนต่อเคซีนในการขึ้นรูปฟิล์มคือ 80 : 20 ที่เติมกลีเซอรอลในปริมาณร้อยละ 1 โดยมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) ต่ำที่สุด เท่ากับ $100.93 \pm 2.17 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ hr}$ และความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) มีค่าสูงสุด คือ เท่ากับ $0.41 \pm 0.03 \text{ N}$ ในขณะที่ความสามารถในการยืด (Elongation) ให้ค่าต่ำสุด เท่ากับ 69.3 % ส่วนความสามารถในการต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance) มีค่ามากกว่า 30 วัน ประสิทธิภาพสารสกัดใบเตยในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ พบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 ที่การเก็บรักษาอาหาร ณ อุณหภูมิห้องคงที่ (30°C) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และการวิเคราะห์ total phenolics มีค่าเท่ากับ 0.8768 % และ 1.0293 ppm ตามลำดับ โดยอุณหภูมิในการเก็บที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฟิล์มลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ค่า peroxide value และ กรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในอาหารที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มในอัตราส่วน 80:20 ที่เติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30°C และ MgCl_2 ถูกนำมาใช้ในการรักษาสีของใบเตยอบแห้ง โดยอัตราส่วนของปริมาณแป้งผสมและใบเตยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งที่สุด คือ 50 : 50 และปริมาณใบเตยอบแห้งเท่ากับ ร้อยละ 4 ซึ่งมีค่าแรงกดมากกว่า 3000 N และเวลาในการซึมของน้ำนานกว่า 30 นาที

คำสำคัญ : สารสกัดใบเตย, ใบเตยหอม, โคโตแซน, เคซีน, ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์

Abstract

Project title	Development of Packaging from Biopolymer Incorporated with Pandan Extract to Control Lipid Oxidation in Food during Storage
Student's name	Dr. Nattiga Silalai and Asst. Prof. Dr. Tunyaporn Sirilert
Academic year	2018

Abstract

Objectives of this research was to develop films added pandan leaves extract for lipid oxidation and to study a guideline for producing food packages with different ratios of dried pandan leaves and flour mixtures. The suitable ratio of chitosan to casein for film formation was 80:20 with 1% glycerol as a plasticizer. Its WVTR value was the lowest ($100.93 \pm 2.17 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ hr}$), tensile strength was the highest ($0.41 \pm 0.03 \text{ N}$), elongation was the lowest (69.3%), and grease and oil resistance of all films were more than 30 days. Biopolymer films containing 0.5% (w/w) pandan leaves extract could retard lipid oxidation during storage at room temperature (30°C) as determined by change rates in antioxidant capacity and total phenolic content, which was 0.8768% and 1.0293 ppm, respectively. However, the antioxidant capacity of all biopolymer films containing the pandan extract decreased dramatically with increasing temperature. Peroxide value and free fatty acid increased gradually in the biopolymer films containing 0.5% (w/w) during storage at the room temperature. In the present study, MgCl_2 was also used to keep color of pandan leaves prior to drying. The ratio of mixed flours (corn flour : potato starch) at 50:50 and 4% (w/w) dried pandan leaves was suitable for food package casting. Its compressive force was more than 3,000 N and water penetrating time was longer than 30 min.

Keywords: Pandan leave, Biopolymer film, Lipid oxidation, Antioxidant capacity, Food packaging

(จ)

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสยามที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย อีกทั้งเอื้อเพื่อห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ สารเคมีและสถานที่เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จได้ และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ผศ.ดร.ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและแก้ปัญหา ข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณนักวิจัยและนักศึกษาที่ช่วยงานวิจัยครั้งนี้ คือนางสาวชนากานต์ พ่วงเงิน นางสาวกัญญารัตน์ แสนใจ และนางสาววิรดา คิดเห็น ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์และสารเคมี รวมทั้งการวิเคราะห์ผลต่างๆ งานงานดำเนินมาได้ด้วยดีและสำเร็จในที่สุด



(๑)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ค)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ง)
กิตติกรรมประกาศ	(จ)
สารบัญ	(ฉ)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญภาพ	(ซ)
บทที่ 1 บทนำ	(1)
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	(3)
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี วิธีการทดลอง	(18)
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	(24)
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	(40)
เอกสารอ้างอิง	(44)
ภาคผนวก	(50)
ภาคผนวก ก	(51)
ภาคผนวก ข	(54)
ภาคผนวก ค	(63)

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความแตกต่างของความเข้มข้นและชนิดของตัวทำละลายโคโคแซน	6
4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical properties) ของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโคแซนและเคซีนในอัตราส่วนต่างๆ ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 1 และ 2	24
4.2 ค่า Peroxide value (PV) ในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารสกัดใบเตย ณ อุณหภูมิในการเก็บต่างๆ	32
4.3 ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FFA) ในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารสกัดใบเตย ณ อุณหภูมิในการเก็บต่างๆ	32
4.4 ค่าความแตกต่างของสีใบเตยอบแห้งที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับใบเตยสดก่อนอบแห้ง	34
4.5 เวลาที่น้ำซึมออกจากถ้วยและความแข็งแรงของถ้วยที่ขึ้นรูปแข็งด้วยแป้งผสม (แป้งข้าวโพด : แป้งมันฝรั่ง) ที่มีการเติมใบเตยอบแห้ง	36
4.6 ลักษณะปรากฏของบรรจุขึ้นรูปชนิดแข็งที่ผลิตจากแป้งผสมและใบเตยอบแห้งในอัตราส่วนต่างๆ	37
ค.1 ลักษณะปรากฏของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ (โคโคแซน:เคซีน) ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 1	63
ค.2 ลักษณะปรากฏของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ (โคโคแซน:เคซีน) ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 2	64

สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไคตินและไคโตแซน	6
2.2 ภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของเคซีนพลาสติก	11
2.3 ใบเตยหอม	12
3.1 ขั้นตอนการเตรียมภาชนะบรรจุตัวอย่างอาหารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมและค่า Peroxide value (PV) ของอาหารที่บรรจุไว้	21
3.2 ขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็ง	23
4.1 ความสามารถในการต้านทานน้ำมันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตแซนและเคซีนที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วัน	27
4.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์ม (ที่เติม 1% glycerol) ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง (30°C)	28
4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตย (a) และปริมาณฟีนอลิกของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตย (b) ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้องคงที่ (30°C)	30
4.4 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (a) และปริมาณฟีนอลิก (b) ของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ (30, 40 และ 50°C)	31
4.5 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ในอาหารที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ (30, 40 และ 50°C)	33
ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid	58
ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารมาตรฐาน gallic acid	60
ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า % antioxidant capacity และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid	60

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมสามารถสร้างตลาดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อกระตุ้นความต้องการที่แอบแฝงภายในของผู้บริโภคได้ เช่น การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยสารอาหารที่สกัดจากธรรมชาติ รวมทั้งกระบวนการผลิตที่ช่วยให้อาหารมีความสดใหม่และไม่ทำลายคุณค่าสารอาหาร บรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable food package) ที่สามารถยืดอายุและคงความสดของอาหารได้ รวมถึงช่องทางการจัดจำหน่ายและบริการในตลาดอาหารพร้อมรับประทานใหม่ๆ ที่สะดวกและบริการถึงมือผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว (ศูนย์ข้อมูลและการคาดการณ์เทคโนโลยี สวทช., 2561) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อสินค้าและการส่งออก ซึ่งบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีการนำมาใช้ที่รู้จักกันดี คือ ฟิล์มพลาสติก ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำ ก๊าซ ไขมันและน้ำมันเข้าออกจากอาหารได้ดี จึงมีอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น แต่ฟิล์มพลาสติกมีต้นทุนในการผลิตสูง ทำลายยาก ย่อยสลายได้ยากและต้องใช้ระยะเวลาานาน จึงก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (สมศักดิ์, 2544) ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ควรมีสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงและคงความปลอดภัยต่อผลิตภัณฑ์และผู้บริโภค รวมทั้งการอนุรักษ์ รักษาสิ่งแวดล้อม การเข้าใจถึงคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของ บรรจุภัณฑ์ในปี 2012 พบว่า บรรจุภัณฑ์อาหารมากกว่าร้อยละ 30 เป็นพลาสติกสังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ยาก และก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม (Tharanathan, 2012) ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโฟมมากถึง 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 7,000 ตันต่อวัน เป็นถุงพลาสติกถึงร้อยละ 80 หรือ 5,300 ตันต่อวัน หรือประมาณ 2 ล้านตัน ใช้เวลาย่อยสลายนานถึง 450 ปี ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน (ปิยาพรรณ, 2558)

การศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาฟิล์มจากสารไบโอพอลิเมอร์ สำหรับภาชนะบรรจุอาหาร เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดการใช้ภาชนะบรรจุจากสารสังเคราะห์และยังสามารถช่วยลดปัญหามลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้วัสดุจากธรรมชาติในการทำบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้เพื่อใช้ในการบรรจุอาหารมีหลายชนิด เช่น สตาร์ชตัดแปร โปรตีน ลิปิด ไคโตแซน แป้งกล้วยใบทอง แป้งข้าวโพด กากถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเขียว แป้งหัวจิ้น ผักตบชวา เป็นต้น (สุกัญญา, 2545; อารณ, 2549; บุขรา และคณะ 2554) นอกเหนือจากวัสดุธรรมชาติที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีพืชเศรษฐกิจอีกหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ คือ ใบเตยหอม (Pandanus leaf) เนื่องจากเตยหอมเป็นพืชที่มีเส้นใยเป็นองค์ประกอบสูง และยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่

ปลูกกันมากในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกและดูแลง่ายกว่าพืชชนิดอื่นๆ ใบเตยหอมสามารถนำมาใช้งานได้สารพัดประโยชน์เป็นได้ทั้งอาหารและสมุนไพร เนื่องจากมีกลิ่นหอม มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและไวรัส และต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่มักจะแปรรูปเป็นใบเตยผงจำหน่ายในราคาถูกลง ซึ่งการเสริมเส้นใยธรรมชาติในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์ม ซึ่งเส้นใยเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เมื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปภาชนะบรรจุทำให้ภาชนะที่ได้มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี และที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ นับได้ว่าการนำไคโตแซนและเส้นใยธรรมชาติมาใช้ในการขึ้นรูปภาชนะบรรจุเพื่อใช้ในการบรรจุอาหารเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมหรือวัชพืชที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศให้มีประโยชน์สูงสุด

ดังนั้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารสกัดจากใบเตยมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ร่วมกับสารไบโอพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ คือ โปรตีนเคซีน (Casein) และไคโตแซน (Chitosan) เพื่อการป้องกันหรือชะลอการเกิดกลิ่นหืนของอาหารที่มีไขมันสูงในระหว่างการเก็บรักษาอาหารและจัดจำหน่าย อีกทั้งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่ย่อยสลายยาก เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเตยหอมของไทยทำให้เกิดรายได้เพิ่มขึ้นแก่ชุมชนอีกด้วย โดยวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ คือ 1) เพื่อพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหารที่เติมสารสกัดจากใบเตยหอมเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร และ 2) เพื่อศึกษาแนวทางการผลิตภาชนะบรรจุอาหารโดยแปรปริมาณของเส้นใยใบเตยและสารละลายแป้งผสมในการขึ้นรูปภาชนะบรรจุชนิดแข็ง

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร

2.1 พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic)

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หรือเรียกอีกอย่างว่า “พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic)” หมายถึง พลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ วัสดุธรรมชาติที่นำมาทำเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่จะได้อาจมาจากทั้งพืชและสัตว์ เช่น เซลลูโลส (cellulose) คอลลาเจน (collagen) ไคโตแซน (chitosan) เคซีน (casein) แป้ง (starch) และโปรตีนจากถั่ว (soy protein) เป็นต้น ซึ่งแป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุด เพราะหาง่าย มีปริมาณมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถผลิตแป้งได้จากพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ คือ ข้าวโพดและมันสำปะหลัง ซึ่งพลาสติกชีวภาพเมื่อถูกย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้

การใช้ประโยชน์ของพลาสติกชีวภาพ

1. ด้านการแพทย์ โดยการนำพลาสติกชีวภาพมาผลิตเป็นวัสดุทางการแพทย์ เช่น หมอนแผล ผ้าพันแผล อุปกรณ์ประเถทศกรู และแผ่นตามกระดูกที่ฝังอยู่ในร่างกายย่อยสลายได้เอง
2. ด้านบรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค เช่น สารเคลือบกระดาษสำหรับห่ออาหาร แก้วน้ำถาดฟิล์ม และถุงพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นต้น
3. ด้านการเกษตร นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับคลุมดินและวัสดุสำหรับการเกษตร

กลไกการย่อยสลายของพลาสติก จะแบ่งประเภทของการย่อยสลายออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง

เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติก ทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความชื้น แสงยูวี หรือแรงทางกล เป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

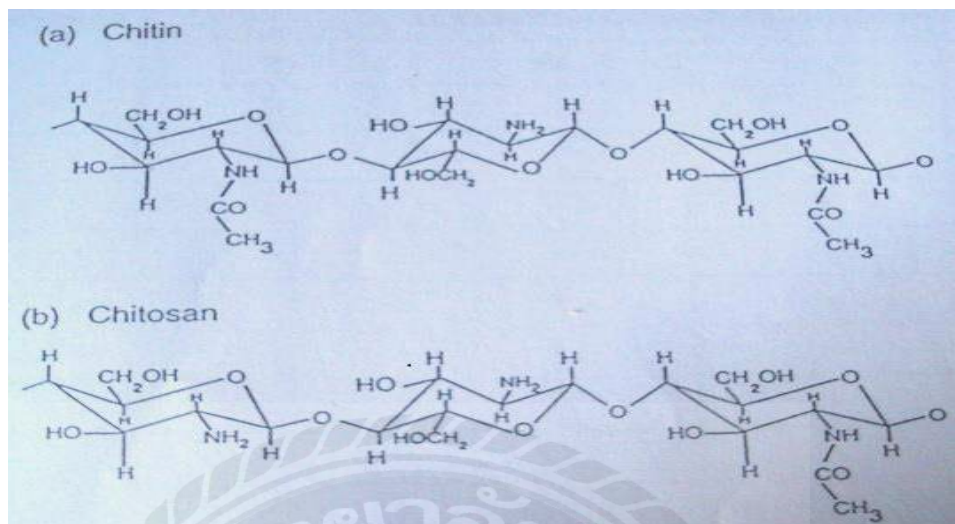
4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดริด พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูริเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะ

แอลคาไลด์ (alkaline metal) เบส (base) และกรด(acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล(Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือแร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (biomass)

2.2 ไคโตแซน (Chitosan)

ไคโตแซน เป็นสารไบโอพอลิเมอร์พวกโพลีแซคคาไรด์หรือพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่า 10 หน่วยขึ้นไป สามารถพบได้ตามธรรมชาติจากเปลือกของสัตว์ เช่น กุ้ง หอย ปู กระดองปลาหมึก และผนังเซลล์ของจุลินทรีย์บางชนิด ไคโตแซนเป็นสารโพลิเมอร์ ประจุบวก มีชื่อทางเคมีว่า poly - β (1,4)-amino-2-deoxy-D-glucose มีสูตรทั่วไป คือ $(C_6H_{11}NO_4)_n$ เกิดจากการกำจัดหมู่ อะซิติก (deacetylation) ออกจากสายไคตินด้วยสารละลายต่าง มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไคตินและไคโตแซน

คุณสมบัติและประโยชน์ของไคโตแซน

1. คุณสมบัติการละลาย

ไคโตแซนสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจางที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 โดยเฉพาะกรดฟอร์มิกและกรดอะซิติกจะสามารถละลายได้ดีมาก แต่ไม่ละลายในสารละลายอินทรีย์ที่เป็นกลางและต่าง (Kienzle *et al.*, 1982) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1 และไม่สามารถละลายในน้ำได้ เนื่องจากไคโตแซนมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte เนื่องจากมีหมู่อะมิโนอิสระที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 2 ซึ่งมีความเป็นประจุบวกบนหมู่ NH_2 จึงทำให้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจาง

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของความเข้มข้นและชนิดของตัวทำละลายไคโตแซน

ชนิดของตัวทำละลาย	ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย (v/v)			
	1 %	5 %	10 %	50 %
Acetic	+	+	+	+
Citric	-	-	0	0
Formic	+	+	+	+
Lactic	+	+	+	0

Tartaric	-	0	+	0
Hydrochloric	+	-	-	0
Sulfuric	-	-	-	0
Malic	+	+	+	0
หมายเหตุ :	+	แสดงว่าไคโตแซนละลายได้		
	-	แสดงว่าไคโตแซนไม่สามารถละลายได้		
	0	แสดงว่าไม่พบการทดลอง		

ที่มา : สุกัญญา (2545)

2. ความหนืด

สารละลายไคโตแซนมีความเหนียว ใส มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวตันเนียน (non-newtonian) ในสารละลาย มีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic กล่าวคือเมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นความหนืดของสารละลายจะลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซน (สุกัญญา, 2542) ความหนืดของสารละลายไคโตแซนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิดิล น้ำหนักโมเลกุล อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลาย ความเป็นกรดต่างและชนิดของกรดที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย เป็นต้น การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้นมากและเวลาในการกำจัดหมู่อะซิดิลนานจะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล

3. คุณสมบัติการจับสี

ไคตินและไคโตแซนมีคุณสมบัติในการจับสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสี และความเป็นกรดต่าง โดยทั่วไปไคตินจะมีค่าคงที่ ที่ pH 2.0-7.0 และไคโตแซนจะมีค่าคงที่ในช่วง pH 5.5-7.0 และที่ pH ต่ำจะสามารถทำให้ไคโตแซนอยู่ในรูปของเจล (Knorr, 1984)

4. คุณสมบัติการจับกับน้ำและไขมัน

Knorr (1984) รายงานว่าการจับกับน้ำและไขมันของไคตินและไคโตแซนอยู่ในช่วงร้อยละ 230-440 ไคโตแซนสามารถจับกับน้ำได้ดีกว่าไคติน เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เหลือหลังจากกำจัดโปรตีนออก คุณสมบัติการจับน้ำจะลดลงถ้าการสกัดโปรตีนออกแล้วยังมีโปรตีนเหลืออยู่มาก แต่ไคตินมีคุณสมบัติสามารถจับกับไขมันได้ดีกว่าไคโตแซน

5. คุณสมบัติการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม

ไคโตแซนสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ มีลักษณะใส เหนียว และมีความยืดหยุ่นสามารถนำไปใช้ในการห่อหุ้มอาหารซึ่งสามารถนำมาบริโภคได้และทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี โดยการนำไคโตแซน

มาละลายในกรดฟอร์มิกหรือกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มาขึ้นรูปบนแผ่นพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนหรือแผ่นแก้วแล้วทำให้แห้ง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่น สามารถใช้ห่อหุ้มอาหาร สามารถทนได้ดีที่อุณหภูมิสูง ป้องกันก๊าซออกซิเจน และสามารถนำไปบริโภคได้เนื่องจากไคโตแซนไม่เป็นสารอันตรายต่อมนุษย์ สามารถย่อยสลายได้ในร่างกายของมนุษย์ (ธวัชชัย, 2546)

6. คุณสมบัติการเป็นสารตัวพาของไคโตแซน

ไคโตแซนสามารถเกิดลักษณะเป็นร่างแห (Matrix) และมีลักษณะเป็นเจล (Ionotropic gel) ซึ่งสามารถห่อหุ้มสารที่เป็นตัวพาไว้ข้างในได้ และสามารถย่อยสลายได้ด้วย Lysosome ซึ่งเป็นเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ จึงไม่ก่อให้เกิดอันตรายเมื่อใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหาร

เนื่องจากไคโตแซนเป็นสารที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์โดดเด่นเฉพาะตัว คือ เป็นสารธรรมชาติ เป็นวัสดุทางชีวภาพที่มีสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ และไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันได้มีการศึกษาค้นคว้าวิจัยและนำไคโตแซนไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย เช่น ปู้อาหารสัตว์ เป็นต้น นอกจากนั้นไคโตแซนยังนำมาใช้ในยืดอายุผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากไคโตแซนมีประสิทธิภาพช่วยในการยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร โดยพบว่าไคโตแซนมีประสิทธิภาพในการลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิด โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยตรง และกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชให้เกิดภูมิต้านทานเชื้อราบางชนิด ซึ่งการนำไคโตแซนมาใช้เคลือบผลผลิตทางการเกษตรมีความปลอดภัยมากกว่ายาฆ่าเชื้อราบางชนิด โดยการนำไคโตแซนมาละลายในกรดอะซิติกเจือจาง และนำไปเคลือบผิวส้มด้วยความหนาประมาณ 30-35 ไมครอน พบว่าสามารถเก็บรักษาส้มได้ถึง 35-40 วัน โดยสีของเปลือกนอกไม่เปลี่ยนแปลงและยังสามารถนำไปเคลือบผลไม้อื่นๆ ได้ เช่น ลูกพีช ลูกแพร์ และสตรอเบอร์รี่ ทำให้สามารถยืดอายุและควบคุมการเน่าเสียได้ และยังสามารถลดการสูญเสียจากการคายน้ำได้อีกด้วย (Shahidi และคณะ, 1999) นอกจากนั้นเส้นใยที่ทำจากไคโตแซนยังมีสมบัติทนทานต่อความร้อน ไออน้ำ และสารเคมีหลายชนิด ตัดสีและสารอื่นได้ดี เส้นใยพอลิยูรีเทนที่เคลือบด้วยไคโตแซน มีสมบัติในการควบคุมความชื้นซบแห้งได้ดี ทนต่อการซักล้าง สัตัดทนนานและยังป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา (รามนรี, 2543) การนำไคโตแซนไปผสมกับกระดาษ ทำให้กระดาษมีความคงทนเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ได้งานพิมพ์ที่สวยงาม คมชัด เมื่อใช้ร่วมกับหมึกพิมพ์ที่มีประจุลบ (anionic inks) นอกจากอุตสาหกรรมดังกล่าวแล้ว ยังสามารถนำมาใช้กับอาหารได้อีกด้วย เนื่องจากไคโตแซนเป็นเส้นใยอาหารหรือไฟเบอร์จากสัตว์ ซึ่งเป็นสารพวกคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่มีรสหวาน ไม่ละลายน้ำ ไม่ย่อยในกระเพาะอาหารของคน ไม่ให้พลังงานหรือสารอาหารแก่ร่างกาย แต่มีประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย ช่วยลดอัตราการเสี่ยงต่อโรกระบบทางเดินอาหาร เช่น มะเร็งลำไส้

ท้องผูก โรคอ้วน และไขมันอุดตันเส้นเลือด เนื่องจากโคโตแซนสามารถจับกับกรดไขมันได้ (รามนรี, 2543)

Degree of Deacetylation ของโคโตแซน

Degree of Deacetylation (%DD) เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นโคติน-โคโตแซน เนื่องจากโคติน-โคโตแซน เป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ *N*-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation ต่ำ (น้อยกว่า 60%) จะแสดงสมบัติของโคตินซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือ มีค่า degree of deacetylation สูง (สูงกว่าร้อยละ 60) จะแสดงสมบัติของโคโตแซนซึ่งละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจาง (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2543)

2.3 เคซีน (Casein)

เคซีน (Casein) เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในน้ำนมเท่านั้น และมีปริมาณมากที่สุดของโปรตีนในนม ซึ่งเคซีน (casein) เป็นโปรตีน (protein) ชนิดฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) ที่พบในน้ำนม (milk) มีประมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำนม โดยเคซีนรวมตัวกับฟอสฟอรัสและแคลเซียม มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในโมเลกุล แขนงลอยอยู่ในน้ำเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ในรูปแบบไมเซลล์ (micelle) ทรงกลมทำให้น้ำนมมีสีขาวขุ่น ซึ่งแคลเซียมฟอสเฟตมีบทบาทสำคัญในการคงตัวของเคซีนไมเซลล์ (casein micelle) มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในโมเลกุลของเคซีนไม่ละลายน้ำแต่ละลายในกรดและด่างเข้มข้น โดยเกิดเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้

เคซีน จะมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวเหลือง ในสภาพบริสุทธิ์จะมีสีขาว ไม่มีกลิ่น และรส เคซีนเป็นตัวช่วยให้เกิดความขาวในน้ำนม และพบอยู่คู่กับแคลเซียม เคซีนมีอยู่ 3 ชนิด คือ แอลฟา (alpha casein) เบต้า (beta casein) แกมมา (gamma casein) โดยปกติแล้ว แอลฟา และ เบต้า จะถูกสร้างในเต้านมโค ส่วนแกมมา ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 3.7 ของเคซีน ได้มาจากกระแสน้ำที่ไหลผ่าน เต้านม เคซีนจะแยกจากน้ำนมโดยการตกตะกอนนมที่ pH 4.6 ที่อุณหภูมิ 20°C ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20°C การตกตะกอนจะไม่สมบูรณ์

การทำให้เคซีนแยกจากนม ทำได้หลายวิธี เช่น

1. การเติมกรด กรดที่ใช้ เช่น กรดซัลฟูริก (sulphuric acid) กรดแลคติก (lactic acid)
2. การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต
3. การทำให้เย็นจัดจนแข็งตัว
4. การเติมเรนเนท

ประโยชน์ของเคซีน

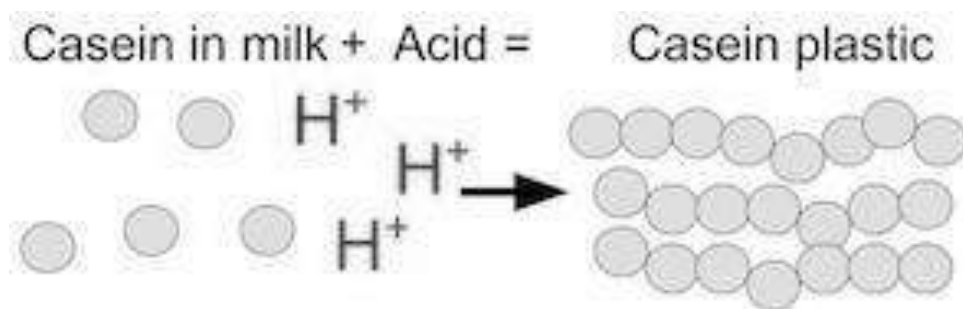
1. ใช้เป็นส่วนผสมอาหาร เช่น ผสมขนมปัง หรืออาหารจากเมล็ดพืช เป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารของขนมปัง ใช้เป็นประสานในการทำผลิตภัณฑ์สัตว์ เช่น ใส้กรอกและเนื้อมัด ใช้ผสมไอศกรีมเพื่อลดการหดตัว และทำให้ไอศกรีมฟูดี เป็นต้น

2. ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นที่ไม่เกี่ยวกับอาหาร เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตฟิล์มพลาสติกห่ออาหาร ใช้ทำกระดุม หวี ตัวปากกาหมึกซึม เป็นต้น

พลาสติกชีวภาพจากเคซีน

สำหรับพลาสติกชีวภาพ คือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ โดยเมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตต่อไปได้ สำหรับพลาสติกชีวภาพที่เรารู้จักส่วนใหญ่จะมาจากพืช ได้แก่ ข้าวโพดและมันสำปะหลัง นอกจากนั้นแล้วโปรตีนนม (milk protein) ก็สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพได้ การใช้เคซีนพลาสติกหรือพลาสติกจากนมได้ถูกนำมาใช้เมื่อต้นศตวรรษที่ 20 โดยผลิตจากโปรตีนในนมวัวร่วมกับเอนไซม์เรนิน แม้ว่าเคซีนจะผลิตได้ง่ายภายใต้ความร้อนและความดันปานกลาง แต่ไม่มีความคงตัวจนกว่าจะทำให้แข็งตัวขึ้นโดยการแช่ฟอร์มาลินเป็นเวลานาน (ฟอร์มาลดีไฮด์ 5% ในน้ำ) หลังจากนั้นสามารถนำเคซีนมาขึ้นรูป และย้อมสีเติมแต่ง

พลาสติกเกิดจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์โพลิเมอร์ หรือที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization)” ซึ่งก็คือปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้โมโนเมอร์โมเลกุลเล็กๆ เกิดปฏิกิริยาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวๆ โดยในนมมีโมเลกุลของโปรตีน ที่เรียกว่า เคซีน (Casein) เมื่อมีการเติมนมลงในกรด เช่น กรดแอสซิติค (CH_3COOH) หรือน้ำส้มสายชู ค่า pH ของนมจะเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงค่า pH ทำให้โมเลกุลของเคซีนเริ่มคลายตัว และจัดระเบียบใหม่เป็นโซ่ยาว ทำให้เกิดการแข็งตัวของนม ซึ่งสามารถนำนมที่แข็งตัวนี้ไปขึ้นรูปเป็นพลาสติกได้ โดยเรียกพลาสติกชนิดนี้ว่า “เคซีนพลาสติก” (ดังรูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของเคซีนพลาสติก
ที่มา : <http://study.com/academy/lesson/how-to-turn-milk-into-plastic-science-experiment.html>

Bonnaillie และคณะ (2014) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตด้วยเคซีน พบว่าการใช้เคซีนร่วมกับโพลีแซคคาไรด์จะช่วยให้ฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ใช้โปรตีนนม เช่น เคซีน (Casein) และ เวย์โปรตีน (Whey protein) มาผลิตฟิล์มที่ให้ลักษณะยืดหยุ่น ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและกลิ่นต่างๆได้ดี แต่ยังไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้มากนัก เนื่องจากมีหมู่ที่เป็นพวกชอบน้ำ (Hydrophilic group) อยู่มากนั่นเอง (Mc Hugh and Krochta, 1994)

2.4 ใบเตยหอม (Pandanus Leaves)

ใบเตย หรือ เตยหอม ชื่อสามัญ Pandan leaves, Pandanus, Fragrant pandan, Pandan wangi ซึ่งเตยหอมมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Pandanus amaryllifolius* Roxb Linn. Palm อยู่ในวงศ์ PANDANACEAE ต้นเตยหอมจัดเป็นไม้ยืนต้นพุ่มเล็ก ขึ้นเป็นกอ ลำต้นอยู่ใต้ดิน มีใบเป็นใบเดี่ยวเรียงสลับเวียนเป็นเกลียวจนถึงยอดใบ ลักษณะของใบเป็นทางยาว สีเขียวเป็นมัน ใบค่อนข้างแข็ง มีขอบใบเรียบ เราสามารถนำใบเตยมาใช้ได้ทั้งใบสดและใบแห้ง ใบมีกลิ่นหอมจากน้ำมันหอมระเหย (Fragrant Screw Pine) สีเขียวจากใบเป็นสีของคลอโรฟิลล์ สามารถนำมาใช้แต่งสีขนมได้ (ดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ใบเตยหอม

ที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/เตยหอม>; <https://medthai.com/ใบเตย>

ในบังกลาเทศเรียกว่า ketaki ใช้เพิ่มกลิ่นหอมของ ข้าวพิลลาฟ หรือข้าวปุกเลา บิรยานี และพุดดิงมะพร้าว payesh ในอินโดนีเซียเรียก pandan wangi พม่าเรียก soon-mhway ในศรีลังกาเรียก rampe ในเวียดนามเรียก lá dứa ใบใช้ได้ทั้งใบสดและใบแห้ง และมีขายในรูปแบบแช่แข็งในประเทศที่ปลูกไม่ได้ ใช้ปรุงกลิ่นในอาหารของหลายประเทศเช่น อินโดนีเซีย สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย ไทย บังกลาเทศ เวียดนาม จีน ศรีลังกา และพม่า โดยเฉพาะข้าวและขนม

ใบเตยเป็นพืชที่คนไทยทุกคนต่างก็รู้จักกันดี เนื่องจากมีการนำมาใช้กันอย่างหลากหลาย ตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาปรุงแต่งอาหารอย่างขนมไทยให้มีกลิ่นหอม อร่อย และยังให้สีสันท่ารับประทานอีกด้วย ใบเตยหอม (Pandan leaf) เป็นพืชที่ปลูกกันมากในประเทศไทย และนำมาใช้มากทางอาหารและยา เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและไวรัส และต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และกระตุ้นกระบวนการซ่อมแซมเซลล์ เป็นต้น ใบมีกลิ่นหอมอ่อนคล้ายข้าวใหม่ สารที่ให้กลิ่น ได้แก่ 3-methyl-2(5H)-furanone ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมขณะที่เป็นใบสด และ 2-acetyl-1-pyrroline (C_6H_9NO) เรียกอ่อๆว่า ACPY หรือ 2AP เป็นสารที่ให้กลิ่นหอมคล้ายกับกลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิหรือกลิ่นหอมของข้าวใหม่ ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกันและจะให้กลิ่นเมื่อผ่านความร้อน รวมทั้งน้ำมันหอมระเหยจากใบยังใช้ประโยชน์ในทางยาและความสวยงามได้ด้วย ลักษณะโครงสร้างของใบเตยเป็นรูพรุน สามารถกักเก็บรักษากลิ่นไว้ได้ ซึ่งสารสำคัญที่พบในเตยหอม เป็นสารที่มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ได้แก่ anthocyanin, carotenoids,

tocopherols, tocotrienols, quercetin, alkaloids, fatty acids, esters and essential oils (พีร์รัตน์, 2556; Peungvicha, *et.al.* 1998)

ประโยชน์ของใบเตย

1. ช่วยบำรุงหัวใจให้ชุ่มชื้น และช่วยลดอัตราการเต้นของหัวใจ (น้ำใบเตย)
2. ช่วยปรับสมดุลในร่างกาย
3. ช่วยรักษาโรคเบาหวาน ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
4. ช่วยลดความดันโลหิต (สารสกัดจากใบเตย)
5. ช่วยป้องกันการแข็งตัวของหลอดเลือด
6. ใช้รักษาโรคหืดและหัด
7. ใบเตยสดนำมาตำใช้พอกรักษาโรคผิวหนังได้
8. ใช้แต่งสีและกลิ่นในอาหารอย่างหลากหลาย
9. ช่วยทำให้น้ำมันไม่มีกลิ่นเหม็นหืน ทำให้น้ำมันที่ใช้ทอดมีกลิ่นเหมือนน้ำมันใหม่

เยาวมาลย์ (2547) รายงานว่า มีการนำสารสกัดใบเตยมาใช้ในในการผลิตอาหารและยาอย่างกว้างขวาง โดยส่วนใหญ่นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารโดยตรงหรือเอาสารสกัดออกฤทธิ์มาเสริมกัน เนื่องจากใบเตยมีสารสกัดที่สำคัญหลายชนิดที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

อัจฉรา (2555) ได้ศึกษาผลของการเสริมใบเตยหอม (*Pandanus amarylifolius* Roxb.) ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของนกกกระทุงญี่ปุ่นและคุณภาพไข่ พบว่าอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนนกมีชีวิต อัตราการผลผลิตไข่ต่อจำนวนนกเริ่มต้นการทดลอง และความเข้มสีไข่แดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Dakin and Scholey (1970) พบว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลก่อนปอกเปลือกและก่อนตัดแต่งเป็นชิ้นของมันฝรั่ง หัวหอม แครอท ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิแช่แข็งได้เป็นอย่างดี Mapson and Wager (1961) พบว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาล อันเนื่องจากเอนไซม์ในชิ้นมันฝรั่งดิบ และสามารถป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ในผักและผลไม้ได้ดี , Waqar และคณะ (1997) ศึกษาอิทธิพลของสารเคมีต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศผงโดยใช้สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 1%, โพตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 2% และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaCl) 2% กับมะเขือเทศผงต่อการสูญเสียแคโรทีนอยด์ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศ 40 องศาเซลเซียส นาน 90 วัน พบว่า

K2S2O5 จะลดการสูญเสียและมีอายุการเก็บนานกว่า เมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 12%

นอกจากนี้งานวิจัยของ Fatihanim, *et.al.* (2008) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากใบเตยหอมสามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันที่ใช้ในการทอดอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อีกทั้งสารสกัดจากใบเตยหอมยังมีสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณ 102 mg/g ซึ่งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่ทนต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งอาจเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารทอดได้

2.5 หลักการเตรียมฟิล์ม

2.5.1. การเกิดฟิล์ม

ในการเตรียมฟิล์มจะมีแรงที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 แรง ได้แก่ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุล พอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมตัวของผิววัตถุเดียวกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน คือ โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลายและสภาวะในการเตรียมฟิล์ม ส่วนแรงที่ 2 คือ แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม

สภาวะในการเตรียมฟิล์ม ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่น สภาวะแวดล้อมในระหว่างการขึ้นรูปเป็นฟิล์มมีอิทธิพลต่อแรงโคฮีชัน การนำสารละลายที่จะขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่อยู่ในสภาพอุ่นไปใส่ผิวหน้าภาชนะรองรับที่มีอุณหภูมิอุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม จะมีผลทำให้ฟิล์มมีแรงโคฮีชันมาก แต่ถ้าใช้อุณหภูมิที่ใช้ทำให้ฟิล์มแห้งสูงเกินไปจะมีผลทำให้อัตราการระเหยของตัวทำละลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สารละลายพอลิเมอร์มีความเข้มข้นสูงมาก โมเลกุลของพอลิเมอร์หยุดการเคลื่อนที่ก่อนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ ทำให้เกิดได้น้อยและโมเลกุลของพอลิเมอร์จะถูกตรึงก่อนที่จะมีการรวมตัวกันอย่างเหมาะสม และต่อเนื่องอย่างสมบูรณ์ มีผลทำให้ฟิล์มที่ได้มีรอยตำหนิ เช่น การเกิดรูเข็ม (pinholes) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ โครงร่างตาข่ายจึงไม่แข็งแรง ในทางตรงกันข้ามการใช้ความร้อนต่ำเพื่อระเหยตัวทำละลายอย่างช้าๆ ทำให้สารละลายพอลิเมอร์มีความเข้มข้นต่ำมาก ทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์บางส่วนตกตะกอนอย่างช้าๆ แล้วแยกออกจากกลุ่มโมเลกุลที่ตกตะกอนเร็วกว่า และเกิดโครงร่างตาข่ายไปก่อนแล้ว จึงได้โครงร่างตาข่ายที่ไม่แข็งแรง (ศูนย์การบรรจุหีบห่อ, 2549)

2.5.2. การขึ้นรูปฟิล์ม

1. Casting method

การขึ้นรูปฟิล์มโดยวิธีการหล่อแบบด้วยภาชนะ เป็นวิธีการทำได้ง่าย โดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทำให้พอลิเมอร์เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำสารละลายเทลงในแม่แบบแล้วปล่อยให้แห้ง หรือ การนำสารละลายผสมของฟิล์มมาทาเป็นแผ่นบางลงบนภาชนะที่ทนความร้อน แล้วใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้แห้งแล้วลอกออกเป็นแผ่นฟิล์มตามที่ต้องการ

2. Extrusion

เป็นการขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้เครื่องมือในการทำให้เกิดฟิล์ม มีการขึ้นรูปฟิล์มที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง นิยมใช้ในการขึ้นรูปเป็นพลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีความแข็งแรงและการต้านแรงดึงได้มากตามปริมาณของแป้ง

3. Calendering

เป็นวิธีการทำแห้งฟิล์มโดยใช้ลูกกลิ้ง โดยผ่านแผ่นฟิล์มไปยังลูกกลิ้งร้อน เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้ง ความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับแรงกดอัด และระยะห่างของลูกกลิ้ง การเพิ่มความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารที่ใช้ทำฟิล์มและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้จะมีผลต่อแรงในการเกาะตัวกันของฟิล์มทั้งแรงโคฮีชัน และแรงแอกฮีชัน ที่มีผลต่อคุณภาพของฟิล์ม

2.6 พลาสติกไซเซออร์ (Plasticizers)

พลาสติกไซเซออร์ เป็นสารเติมแต่งที่ใส่เข้าไปในพลาสติก เรซิน (resin) หรืออีลาสโตเมอร์ (elastomer) เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกล เช่น ความอ่อนตัว ความสามารถในการหักงอ และความสามารถในการยืดตัวของพอลิเมอร์ พลาสติกไซเซออร์จะละลายในพอลิเมอร์ และช่วยลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ เนื่องจากตัวมันเองจะเกิดพันธะกับโซ่พอลิเมอร์โดยพันธะไฮโดรเจนหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (สารเติมแต่งในพลาสติก, 2531) ทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์อยู่ห่างกันพันธะระหว่างโซ่พอลิเมอร์ลดลง สามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น มีความอ่อนตัวและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น (อรอุษา, 2546) พลาสติกไซเซออร์แบ่ง 2 ประเภท คือ พลาสติกไซเซออร์ภายนอก (external plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปในการสร้างพอลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์ไปจับยึดกับพอลิเมอร์ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงเกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว (Mellan, 1961) และ พลาสติกไซเซออร์ภายใน (internal plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารร่วมช่วยในการเกิดพอลิเมอร์ สารที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ควรเป็นสารที่ระเหยได้ยาก มีจุดเดือดสูง และไม่เกิดการแยกตัวภายหลังการเติม พลาสติกไซเซออร์ที่เลือกใช้ควรเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความดันไอ

ต่ำ และอัตราการแพร่ต่ำ เพื่อป้องกันการแยกตัวออกขณะระเหยตัวทำละลายออกจากสารละลายพอลิเมอร์ (ศูนย์บรรจุหีบห่อ, 2549) พลาสติกไซเซออร์ที่ต้องไม่มีสี กลิ่นรส ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ

ชนิดของพลาสติกไซเซออร์ (สมศักดิ์, 2544)

1. พอลิออล (Polyols) หรือพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิออลบางชนิดพบในผลไม้โดยเฉพาะพวกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ซอร์บิทอล หรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (hydrogenation) พอลิออลมีคุณสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สลายตัวง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้ มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาล มีแคลลอรี่เพียง 2.4 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัม เนื่องจากถูกดูดซึมได้ช้ามากจึงสามารถใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้

1.1) กลีเซอรอล (glycerol) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้ในการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารทำละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง

1.2) ซอร์บิทอล (sorbitol) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม น้ำหนักโมเลกุล 182 พบในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิล เชอร์รี่ แพร์ เป็นต้น ซอร์บิทอลเป็นผลึกสีขาวอยู่ในรูปของ γ -ซอร์บิทอล ซึ่งคงตัว มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลครึ่งหนึ่งละลายได้ดีในน้ำ สารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ เป็นสารทำละลายน้ำมันที่ไม่ดี เมื่อใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3-60 สามารถรักษาความชื้นและคงลักษณะของความยืดหยุ่นไว้ได้

2. พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) มีสูตรทั่วไปคือ $H(OCH_2CH_2)_nOH$ โดยที่ n มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 ปกติจะบอกค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยด้วย เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล -400 เป็นต้น พอลิเอทิลีนไกลคอลมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรืออยู่ในรูปของเหลวใส มีความข้นหนืด ละลายน้ำได้ให้สารละลายใส เสื่อมเสียด่าง เนื่องจากเชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ มีความเป็นพิษต่ำ

อิทธิพลของมวลโมเลกุลของ Plasticizer ต่อการขึ้นรูปฟิล์ม

โมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์ขนาดใหญ่เกาะติดอยู่กับพอลิเมอร์ ชัดขวางการเคลื่อนที่ของสายพอลิเมอร์ เกิดพันธะมีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจนอย่างหลวมๆ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้อ่อนลง เกิดจากพันธะไฮโดรเจนหรือแรงอื่นๆ ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ถูกหักล้างไป ทำให้พอลิเมอร์จับตัวกันได้น้อยทำให้ฟิล์มอ่อนตัวมาก เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างพอลิเมอร์กับพลาสติก ทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์ไม่สามารถจับกันเองได้ ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดความเปราะแตกง่าย เมื่อใช้พลาสติกไซเซออร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง เป็นผลทำให้

การระเหย การเคลื่อนย้ายและความสามารถในการละลายของพลาสติกไซเซออร์ลดลง การใช้พลาสติกไซเซออร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงในการขึ้นรูปฟิล์มจะส่งผลให้มีค่าการต้านทานแรงดึงลดลงแต่ค่าความยืดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจาก พลาสติกไซเซออร์ที่เติมลงไปทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลงสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้น เมื่อพลาสติกไซเซออร์ที่เติมมีมวลโมเลกุลสูงจะสามารถเข้าแทรกระหว่างพันธะของพอลิเมอร์ได้มากขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มลดลงและมีค่าความยืดตัวสูงขึ้น ขนาดโมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์ที่นิยมใช้ในการเตรียมฟิล์มมีมวลโมเลกุลประมาณ 400



บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุดิบ

- 1) ไคโตแซน (ค่า Degree of deacetylation = 90 %DD) บริษัท ที.ซี. ยูเนียนโกลบอล จำกัด (มหาชน)
- 2) แป้งมันฝรั่ง ตราแม็กกาแรต แบ่งบรรจุบริษัท คอนติเนนตัล ฟูด จำกัด
- 3) แป้งข้าวโพด ตรา โอเซียน แบ่งบรรจุโดยบริษัท โอเซียนฟูดส์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 4) เคซีน นำเข้าโดยบริษัท วิกี้เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด
- 5) สารสกัดไบโอดีเอเอ็มซี บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
- 6) ไบโอดีเอเอ็มเอส

3.1.2 วัสดุและสารเคมี

- 1) Formic acid บริษัท CARIO ERBA REAGENT ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2) Sodium hydroxide บริษัท CARIO ERBA REAGENT ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3) Hydrochloric acid บริษัท CARIO ERBA REAGENT ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4) Sodium chloride บริษัท CARIO ERBA REAGENT ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 5) Hydrogen peroxide บริษัท POLSKIE ODCZYNNIKI CHEMICZNE S.A.
- 6) Polyethylene glycol Mw 400 บริษัท Fluka Chemic GmbH ประเทศเบลเยียม
- 7) Polyethylene glycol Mw 4000 บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited ประเทศออสเตรเลีย
- 8) Ethanol (C₂H₆O) เข้มข้น 95% ยี่ห้อโรงกลั่นอยุธยา ประเทศไทย
- 9) Ethanol (C₂H₆O) เข้มข้น 99.9% ยี่ห้อ QRec ประเทศนิวซีแลนด์
- 10) Acetic acid (C₂H₄O₂) ยี่ห้อ QRec ประเทศนิวซีแลนด์
- 11) Hydrochloric acid (HCl) ยี่ห้อ QRec ประเทศนิวซีแลนด์
- 12) Petroleum Ethre ยี่ห้อ QRec ประเทศนิวซีแลนด์
- 13) Magnesium carbonate (MgCO₃) ยี่ห้อ QRec ประเทศนิวซีแลนด์
- 14) Magnesium oxide (MgO) บริษัท PanReac Applichem ประเทศเยอรมัน
- 15) Magnesium Chloride (MgCl₂) บริษัท LOBA Chemie ประเทศมุนไบ

- 16) Potassium iodide (KI) ยี่ห้อ Univar ประเทศนิวซีแลนด์
- 17) Sodium carbonate (Na_2CO_3) ยี่ห้อ Univar ประเทศนิวซีแลนด์
- 18) Chloroform (CHCl_3) ยี่ห้อ VWR CHEMICALS ประเทศฝรั่งเศส
- 19) 2,2-DiPhenyl-1-picryl-hydrazyl ยี่ห้อ Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 20) 2 N Folin & Ciocalteu's phenol reagent ยี่ห้อ Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 21) Gallic acid ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$) ยี่ห้อ Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 22) Sodium Hypochlorite (NaOCl) ยี่ห้อ LOBA ประเทศอินเดีย
- 23) SAND, acid washed ยี่ห้อ UNILAB ประเทศออสเตรเลีย
- 24) Glycerin บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ประเทศไทย

3.1.3 เครื่องมืออุปกรณ์

- 1) เครื่องผสม Agitator Mixer Eurostor/IKA รุ่น Euro-STB
- 2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น UM-300 ประเทศอังกฤษ
- 3) เครื่องวัดความหนา (Micrometer) CHINA SHANGCH
- 4) เครื่องทดสอบแรงดึงและการยึดตัวของฟิล์ม (Texture analyzer) รุ่น TA.XT Plus บริษัท จาร์พาเทค เซ็นเตอร์
- 5) เครื่องชั่งละเอียด METTLER รุ่น AE-200 ประเทศอังกฤษ
- 6) โถดูดความชื้น และ moisture can ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร
- 7) เครื่องวัดสี (Colorimeter) ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น Color Flex 45/0 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 8) เครื่องสกัดไขมัน Soxhlet extraction-apparatus
- 25) เครื่องแก้ว และ ถาดเมลามีนขนาด 25x35 ตารางเซนติเมตร

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารไบโอพอลิเมอร์ผสม (ไคโตแซน : เคซีน) ต่อการขึ้นรูปฟิล์ม

ศึกษาอัตราส่วนของไคโตแซนต่อเคซีนที่เหมาะสมในการผลิตโดยแปรอัตราส่วนดังนี้ 100 : 0 (Control), 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 (ดัดแปลงจาก Sunney et al., 2002; ธีญาภรณ์ และ วรณิศา, 2552) โดยเตรียมสารละลายไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ละลายในสารละลายกรดฟอร์มิก เข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวนที่

ความเร็วรอบ 450 รอบ/นาที นาน 55 นาที จากนั้นเตรียมสารละลายเคซีนเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในน้ำกลั่น นำสารละลายทั้งสองผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 450 รอบ/นาที นาน 55 นาที จากนั้นแปรผันปริมาณของกลีเซอรอล 2 ระดับดั้งเดิมเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 (กลีเซอรอลใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์) กวนต่ออีกเป็นเวลา 5 นาที ขึ้นรูปฟิล์มโดยวิธี solvent casting อบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง (ดังภาคผนวก ก.1)

จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คือ

3.2.1.1 ความหนาของฟิล์มที่ขึ้นรูป (Thickness) ตามมาตรฐาน ASTM D 645-92 (ดังภาคผนวก ข.1)

3.2.1.2 การต้านทานแรงดึงขาดและค่าการยืดตัวของฟิล์ม (Tensile strength and Elongation) ตามมาตรฐาน ASTM D 882-95a (ดังภาคผนวก ข.2)

3.2.1.3 การต้านทานไอน้ำของฟิล์ม (Water vapor transmission rate) ตามมาตรฐาน ASTM E 96-95 (1996) (ดังภาคผนวก ข.3)

3.2.1.4 ความสามารถในการต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance) ตามมาตรฐาน มอก. 654-2529 (ดังภาคผนวก ข.4)

3.2.2 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารสกัดใบเตยและประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน

คัดเลือกฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสมที่ได้จากข้อที่ 3.2.1 มาเติมสารสกัดใบเตยในปริมาณที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดใบเตยที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ (0.1, 0.3 และ 0.5%, w/w) นำไปขึ้นรูปฟิล์ม จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาตัดให้เป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 เซนติเมตร ผนึกฟิล์มบนฝาถ้วยที่ถูกเจาะออก บรรจุตัวอย่างอาหารที่มีไขมันสูง (มันฝรั่งทอดกรอบชนิดแผ่น) ประมาณ 10 กรัม ลงในถ้วยพลาสติก ปิดทับด้วยตัวยึดและผนึกด้วยเทียนไซเพื่อป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและอากาศ ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ค่า WVTR (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) นำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 7 14, 21 และ 28 วัน จากนั้นนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสม ดังนี้

3.2.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) ของฟิล์ม โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu Analysis ด้วยการนำตัวอย่างฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เก็บ ณ สภาวะต่างๆ ในแต่ละเวลาของการเก็บรักษา มาตรวจสอบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก คงศักดิ์ และคณะ, 2560) (ดังภาคผนวก ข.5)

3.2.2.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของฟิล์ม ด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) ด้วยการนำตัวอย่างในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เก็บ ณ สภาพต่างๆ ในแต่ละเวลาของการเก็บรักษามาตรวจสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจาก คงศักดิ์ และคณะ, 2560) (ดั่งภาคผนวก ข.6)

3.2.2.3 การวิเคราะห์ค่า Peroxide value (PV) และ Free fatty acid ของอาหารในบรรจุภัณฑ์ เพื่อตรวจสอบความสามารถของสารสกัดไบโอดีในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมในระหว่างการเก็บรักษา (Storage stability) ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำตัวอย่างอาหารที่เก็บในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิดังกล่าว ในแต่ละเวลาของการเก็บรักษา มาวิเคราะห์หาค่า Peroxide Value (PV) และ Free fatty acid (ดัดแปลงจาก Rico-Pena และ Torres, 1991) (ดั่งภาคผนวก ข.7 และ ข.8)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมภาชนะบรรจุตัวอย่างอาหารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมและค่า Peroxide value (PV) ของอาหารที่บรรจุไว้

นำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 7 14, 21 และ 28 วัน จากนั้นนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสม ดังนี้

3.2.3 ศึกษากระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปชนิดแข็งโดยใช้ไบโอดีอบแห้ง

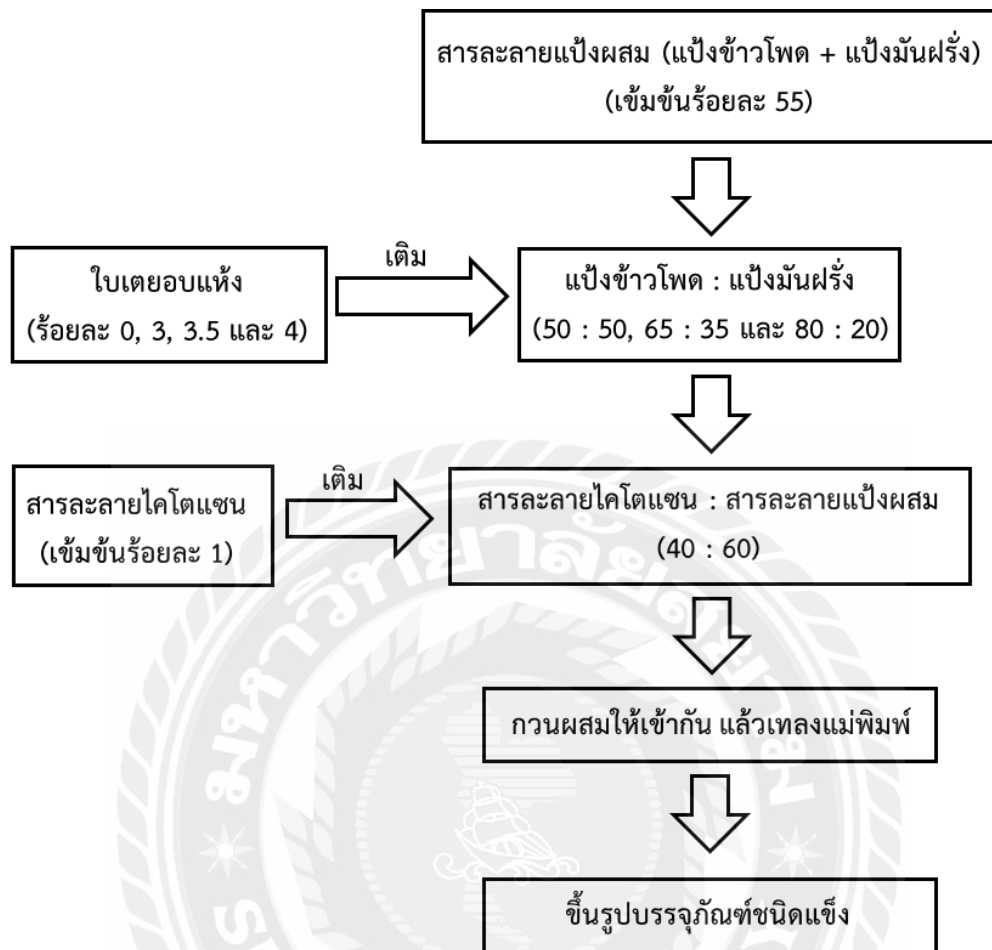
3.2.3.1 ศึกษาอิทธิพลของสารละลายเกลือต่อสีของไบโอดีอบแห้ง

ในการศึกษาอิทธิพลของสารละลายเกลือต่อความคงตัวของสีไบโอดี ด้วยการใส่สารละลายเกลือที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ $MgCO_3$, MgO และ $MgCl_2$ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยการนำไบโอดีสดมาหั่นให้มีขนาดเล็กกลง แล้วนำไปแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้ 3 ชนิด เป็นเวลานาน 20 นาที และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าไบเตยจะแห้งสนิท จากนั้นนำไบเตยที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือแต่ละชนิดและอบแห้งแล้ว มาวิเคราะห์สี โดยการวัดความแตกต่างของสี (Color difference) ที่ได้เปรียบเทียบกับสีของไบเตยสด (ΔE^* , L^* , a^* และ b^*) เพื่อนำไปใช้ในการผสมขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งต่อไป

3.2.3.2 ศึกษาอัตราส่วนของปริมาณแป้งผสม (แป้งข้าวโพด : แป้งมันฝรั่ง) และไบเตยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็ง

การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งจะถูกเตรียมด้วยวิธีการดัดแปลงจากการศึกษาของ อารมณ์ และ ัญญาภรณ์ (2549) ดังนี้ ใช้สารละลายโคโคแชน (เข้มข้นร้อยละ 1) ต่อสารละลายแป้งผสม (เข้มข้นร้อยละ 55) ในอัตราส่วนเท่ากับ 40 : 60 โดยในส่วนของแป้งผสมจะประกอบด้วยแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งในอัตราส่วน 3 ระดับ ดังนี้ 50 : 50, 65 : 35 และ 80 : 20 (แป้งข้าวโพด : แป้งมันฝรั่ง) จากนั้นกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมไบเตยอบแห้งในปริมาณต่างๆ (4 ระดับ) คือ ร้อยละ 0, 3, 3.5 และ 4 โดยน้ำหนัก กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้ง จากนั้นเทลงแม่พิมพ์แล้วปิดฝาแม่พิมพ์เพื่อทำการขึ้นรูป โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เปิดฝาแม่พิมพ์และนำภาชนะที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ นำตัวอย่างที่ขึ้นรูปไปอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่เหลือออกไปด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ได้มาศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งขึ้นรูป ดังนี้ ลักษณะปรากฏ ความแข็งแรง (แรงกด) และการซึมผ่านของน้ำ (ดังรูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็ง

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มไคโตแซนทุกสิ่งทดลอง นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Two-way ANOVA ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows (demo version) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารไบโอพอลิเมอร์ผสม (โคโตแซน : เคซีน) ต่อการขึ้นรูปฟิล์ม

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโคโตแซนและเคซีนในอัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20 70 : 30 และ 60 : 40 โดยใช้กลีเซอรอลในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 ในการผลิตฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ พิจารณาได้จากสมบัติทางเคมีกายภาพของฟิล์มที่ผลิตได้ คือ ความหนา (Thickness) อัตราการซึมผ่านไอน้ำ ความต้านทานแรงดึง และความสามารถในการยืด (ตารางที่ 4.1) และความสามารถในการต้านทานน้ำมัน (รูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical properties) ของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตแซนและเคซีนในอัตราส่วนต่างๆ ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 1 และ 2

Treatment	Thickness	WVTR	TS	%E
1 (100:0)_1%	0.072 ± 0.019 ^D	110.46 ± 2.17 ^{ABC}	0.46 ± 0.10 ^A	70.59 ± 4.06 ^{BC}
2 (90:10)_1%	0.122 ± 0.014 ^{BDC}	100.48 ± 2.14 ^D	0.26 ± 0.04 ^B	71.82 ± 3.48 ^{BC}
3 (80:20)_1%	0.084 ± 0.011 ^D	100.93 ± 2.17 ^D	0.41 ± 0.03 ^A	69.31 ± 2.35 ^C
4 (70:30)_1%	0.102 ± 0.016 ^{CD}	101.20 ± 1.74 ^D	0.21 ± 0.01 ^{BCD}	73.72 ± 3.95 ^{BC}
5 (60:40)_1%	0.112 ± 0.016 ^{BCD}	101.51 ± 2.60 ^D	0.25 ± 0.01 ^{BC}	71.87 ± 3.03 ^{BC}
6 (100:0)_2%	0.098 ± 0.016 ^{CD}	113.83 ± 2.24 ^A	0.14 ± 0.01 ^{DEF}	81.62 ± 3.05 ^A
7 (90:10)_2%	0.152 ± 0.024 ^{ABC}	107.44 ± 2.13 ^C	0.18 ± 0.05 ^{CDE}	75.57 ± 4.05 ^B
8 (80:20)_2%	0.198 ± 0.038 ^A	106.87 ± 2.17 ^C	0.22 ± 0.02 ^{BC}	73.35 ± 1.02 ^{BC}
9 (70:30)_2%	0.158 ± 0.064 ^{AB}	108.68 ± 2.74 ^{BC}	0.11 ± 0.01 ^{EF}	71.52 ± 0.49 ^{BC}
10 (60:40)_2%	0.144 ± 0.029 ^{BC}	112.29 ± 1.60 ^{AB}	0.10 ± 0.01 ^F	73.16 ± 4.11 ^{BC}

หมายเหตุ: A, B, C, D, E, F ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความหนาของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เติม 1% glycerol ดูเหมือนว่ามีความหนาอยู่ในช่วง 0.072 – 0.122 mm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เติม 2% glycerol ซึ่งมีความหนาอยู่ในช่วง 0.098 – 0.198 mm ในทุกอัตราส่วนของโคโตแซนต่อเคซีน ซึ่งการควบคุมให้ฟิล์มให้มีความหนาเท่าๆกันนั้นค่อนข้างยากแก่การควบคุม อันเนื่องมาจากภาวะที่

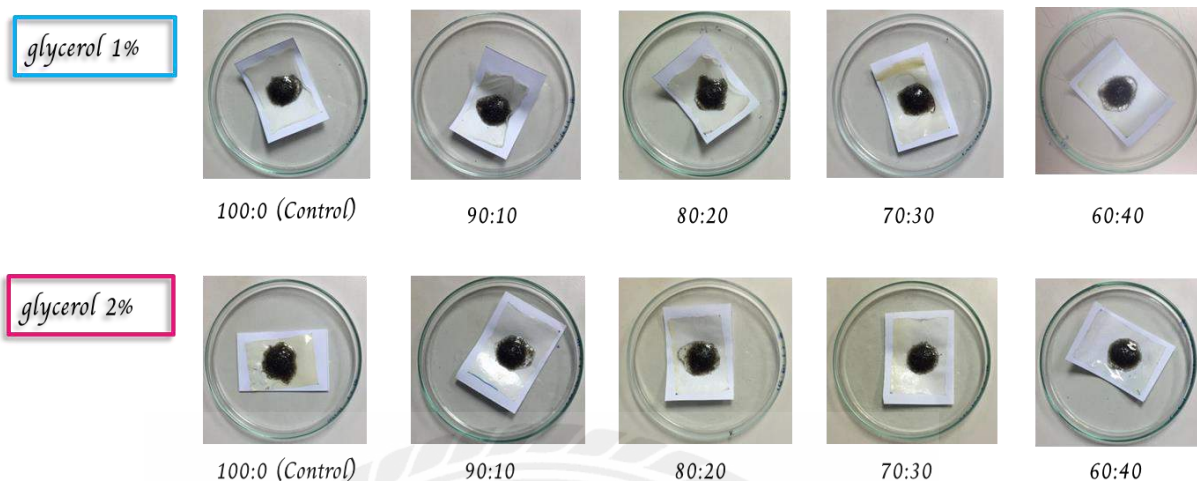
ใช้ในการขึ้นรูป อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ พยายามควบคุมปริมาณของสารละลายที่ใช้ในการเทขึ้นรูปฟิล์ม เพื่อให้ฟิล์มที่ได้มีความหนาที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งฟิล์มที่ได้จากการทดลองมีความหนาอยู่ในช่วง 0.072 - 0.198 mm โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกสิ่งทดลอง ($p > 0.05$)

นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาในแต่ละอัตราส่วนของโคโตนต่อเคซีนในสารละลายฟิล์ม พบว่าทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) ในฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล (glycerol) ร้อยละ 1 และ 2 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า WVTR ในฟิล์มที่มีการเติม 1% glycerol สูงกว่าในฟิล์มที่มีการเติม 2% glycerol ของทุกๆอัตราส่วน เนื่องจาก glycerol เป็นสารประเภท polyol ที่ชอบน้ำ (hydrophilic plasticizer) จึงสามารถเข้าจับกับ hydrophilic sites บนโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ง่ายส่งผลให้ internal hydrogen bonding ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง และเพิ่ม molecular spacing ในฟิล์ม (Lieberman และ Gilbert, 1973) ดังนั้นจึงทำให้ฟิล์มจึงมี flexibility เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ molecular spacing ในฟิล์มที่มากขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มที่ผลิตได้มี hole ขนาดใหญ่ขึ้น ไอน้ำสามารถแพร่ผ่านฟิล์มได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ค่า WVTR สูงขึ้นด้วย (Tomasula และคณะ, 2003) ซึ่งยังสอดคล้องกับการทดลองของ Gontard and Guilbert (1993) ที่พบว่าการเติม glycerol ลงในการผลิตฟิล์มกลูเตนจากข้าวสาลีจะทำให้ฟิล์มสามารถขยายตัว (extensibility) ได้มากขึ้น เนื่องจากเกิดการสร้างพันธะ hydrogen ระหว่างโครงสร้างของโมเลกุลกลีเซอรอลและโปรตีน (glycerol-protein interaction) ซึ่งจะปลดการจับกันของโมเลกุลโปรตีน ส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง และส่งผลให้สมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability barrier properties) ลดลง อย่างไรก็ตามถ้าใช้ glycerol ในปริมาณที่สูงมากเกินไปจะทำให้ได้ฟิล์มที่นิ่มแฉะ และไม่สามารถยึดติดกับพื้นผิวที่ขึ้นรูปได้ จึงทำให้ฟิล์มมีลักษณะการย่นเกิดขึ้น (อรอุษา, 2546; อารณ, 2549) แต่เมื่อพิจารณาถึงการแปรปริมาณของโคโตนต่อเคซีนในสารละลายฟิล์มของแต่ละความเข้มข้นของ Glycerol พบว่า การเติมเคซีนในสารละลายโคโตน ทำให้ค่า WVTR ของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมลดลง โดยค่า WVTR ของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมโคโตนและเคซีนในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Avena-bustillos and Krochta (1993) และ Akter, et al. (2012) ที่แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มโปรตีนมีค่า WVTR ต่ำ เนื่องจากการสร้าง internal hydrogen bonding ระหว่างโครงสร้างของโมเลกุลโคโตนและโปรตีน ส่งผลให้ส่วนที่เป็น hydrophobic sites ของโปรตีนเหลืออยู่ ซึ่งอาจจะไปมีผลต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ลดลงได้ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ความแข็งแรงของฟิล์มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก molecular spacing ของฟิล์มลดลง (Lieberman และ Gilbert, 1973) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้ ดูเหมือนว่าฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ในอัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10 และ 80 : 20 มีค่าต่ำสุด คือ 100.48 และ 100.93 $\text{g/m}^2 \cdot 24 \text{ hr}$ ตามลำดับ

(ตารางที่ 4.1) นั่นคือยินยอมให้อิอน้ำผ่านฟิล์มได้ต่ำสุด ซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากความชื้นจะส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียและเปลี่ยนแปลงของอาหารได้ง่ายจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกายภาพในระหว่างการเก็บรักษา (Labuza, 1997)

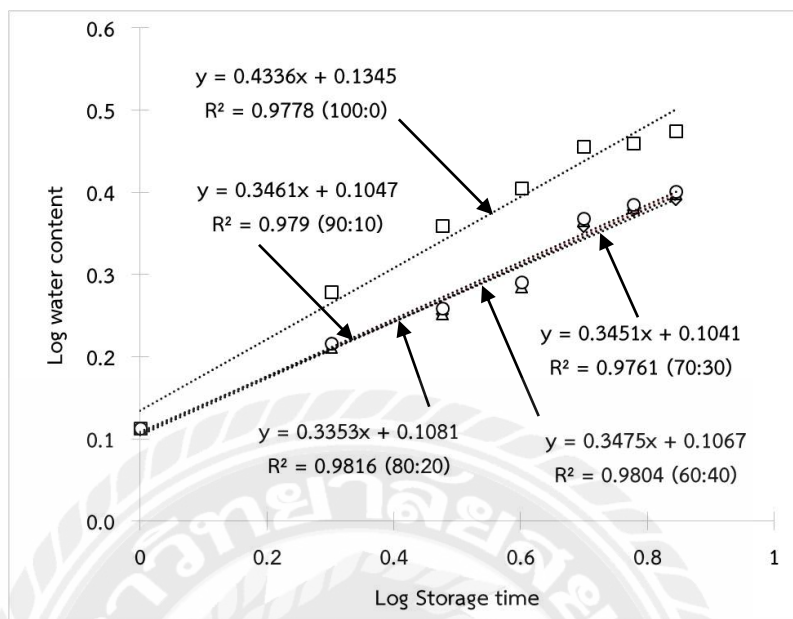
ขณะที่ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และความสามารถในการยืด (Elongation) ของฟิล์ม พบว่า ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 1 มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 2 ในทุกอัตราส่วนของฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนต่อเคซีน (ตารางที่ 4.1) โดย 80 : 20 ให้ค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด (0.41 N) ซึ่งใกล้เคียงกับ Control (100:0) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.46 N ในขณะที่ความสามารถในการยืดของฟิล์มผสมระหว่างไคโตแซนต่อเคซีนในอัตราส่วนเท่ากับ 80 : 20 มีค่าต่ำสุด (69.31%) ซึ่งผลการทดลองที่ได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Khwalidia et al. (2004) ที่แสดงให้เห็นว่าการเติมสารโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีนจะไปเพิ่มความแข็งแรงของฟิล์มได้ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนมีส่วนที่เป็น hydrophobic group อยู่ในโครงสร้าง (Phadungath, 2005) ทำให้เกิดการสร้างพันธะ hydrogen ระหว่างโปรตีนและไคโตแซนที่แข็งแรง ดังนั้นช่องว่างระหว่างโมเลกุลในโครงสร้างของฟิล์มลดลงและค่า glass transition temperature สูงขึ้น จึงส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้นและอัตราการซึมผ่านไอน้ำลดลง

นอกจากนั้นแล้วความสามารถในการต้านทานน้ำมันของฟิล์ม เป็นอีกสมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่ใช้ในการพิจารณาเลือกฟิล์มบรรจุอาหาร ซึ่งผลการทดลองเรื่องความสามารถในการต้านทานน้ำมันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่ผลิต ซึ่งพบว่า ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสม (ไคโตแซน : เคซีน) ที่ผลิตได้ทุกสิ่งทดลอง (100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40) มีความสามารถในการต้านทานน้ำมันของฟิล์มได้นานกว่า 30 วัน ด้วยการสังเกตจากราบน้ำมันบนกระดาษสีขาวที่รองไว้ใต้ฟิล์ม ซึ่งพบว่าไม่มีคราบน้ำมันปรากฏบนกระดาษสีขาวที่รองไว้ใต้ฟิล์มเลยในทุกสิ่งทดลองเลย นั่นแสดงว่าฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ทุกสิ่งทดลอง (ดังในรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ความสามารถในการต้านทานน้ำมึนของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตแซนและเคซีน ที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วัน

ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่านไอน้ำกับเวลาของฟิล์มที่ใช้ 1% glycerol เป็นพลาสติกไซเซออร์ พบว่า ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่ไม่เติมเคซีน (100:0) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มสูง (ค่าความชันเท่ากับ 0.4336) ในขณะที่ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่มีการเติมเคซีนในอัตราส่วนต่างๆไป จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่านไอน้ำในระหว่างการเก็บรักษาลดลง โดยมีความชันอยู่ในช่วง 0.3353 – 0.3475 (ดังในรูปที่ 4.2) จะเห็นได้ว่าการเติมเคซีนจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่านของไอน้ำในระหว่างการเก็บรักษาได้ เมื่อเทียบกับตัวอย่างฟิล์มที่ไม่เติมเคซีน ทั้งนี้เนื่องจากเคซีนเป็นโปรตีนที่มีส่วนของ Hydrophobic group ที่ไม่ชอบน้ำอยู่ในโมเลกุลค่อนข้างมาก ซึ่งช่วยต้านการจับน้ำในโครงสร้าง ส่งผลให้ฟิล์มมีการอุ้มน้ำได้น้อยลง (Phadungath, 2005)



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์ม (ที่เติม 1% glycerol) ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง (30°C)

จากผลการทดสอบฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมด้านสมบัติทางเคมีกายภาพ (ความหนา, WVTR, แรงดึง การยึดตัว และความสามารถในการต้านน้ำมัน) ซึ่งให้เห็นว่า 80 : 20 และเติม 1% Glycerol มีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำมาผลิตฟิล์ม ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกฟิล์มโคโตนผสมกับเคซีนในอัตราส่วนเท่ากับ 80 : 20 และเติม 1% Glycerol ไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพสารสกัดใบเตยในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ถัดไป

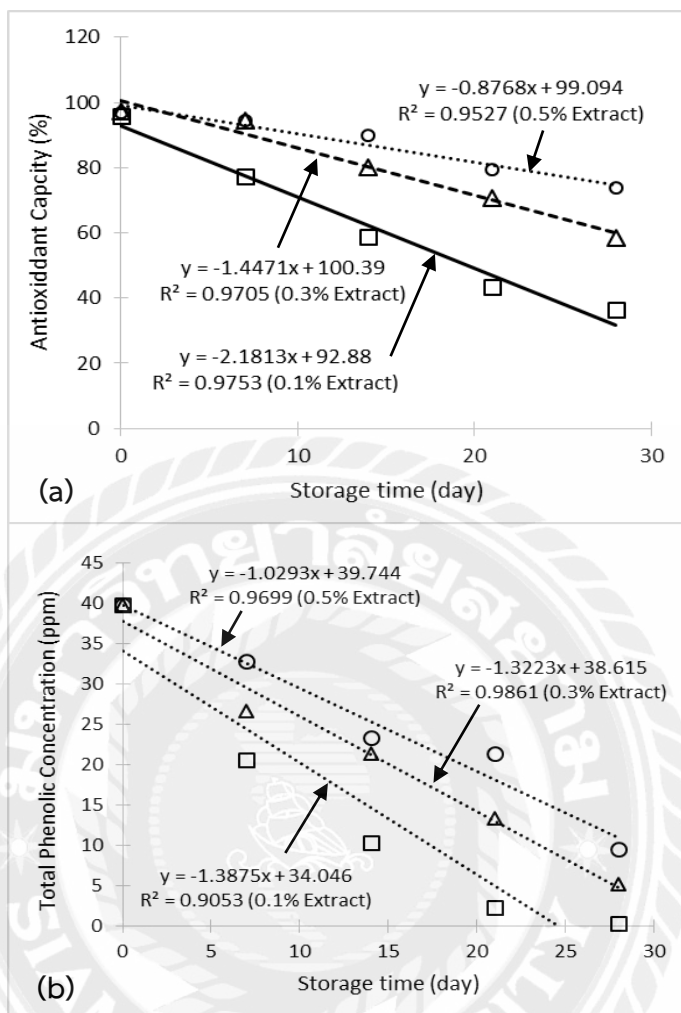
4.2 ประสิทธิภาพสารสกัดใบเตยในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์

4.2.1 อิทธิพลของปริมาณสารสกัดใบเตยในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง (30°C)

ฟิล์มที่ถูกคัดเลือกได้จากข้อ 4.1 ถูกนำมาเติมสารสกัดใบเตยเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ เพื่อใช้ในการป้องกันการออกซิเดชันในอาหารที่ไปเก็บไว้ ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบเตยในฟิล์มที่ใช้ห่อหุ้มอาหาร ณ อุณหภูมิต่างๆในการเก็บรักษา ด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร ณ อุณหภูมิห้องคงที่ (30°C) ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5

จะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) ได้มากกว่าฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.1 และ 0.3 ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 จะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.1 และ 0.3 จะมีการลดลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ซึ่งสังเกตได้จากค่าความชันของอัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยอัตราของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 มีค่าเท่ากับ 0.8768 ในขณะที่อัตราของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.1 และ 0.3 มีค่าเท่ากับ 2.1813 และ 1.4471 ตามลำดับ (รูปที่ 4.3a) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกโดยรวมในสารสกัดใบเตย (รูปที่ 4.3b) เนื่องจากในสารสกัดใบเตยมีสารสำคัญมากมายที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ anthocyanin, carotenoids, tocopherols, tocotrienols, quercetin, alkaloids (พีร์รัตน์, 2556; Peungvicha, et.al. 1998) โดยสารสำคัญเหล่านี้อยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารสกัดใบเตยในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่ามีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่เติม 0.5% Pandan extract จะลดลงน้อยกว่าที่เติม 0.1 และ 0.3% Pandan extract ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง โดยอัตราในการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่เติม 0.5% Pandan extract มีค่าเท่ากับ 1.0293 ในขณะที่ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่เติม 0.1 และ 0.3% Pandan extract มีอัตราในการเปลี่ยนสูงกว่า คือ 1.3875 และ 1.3223 ตามลำดับ (รูปที่ 4.3b)



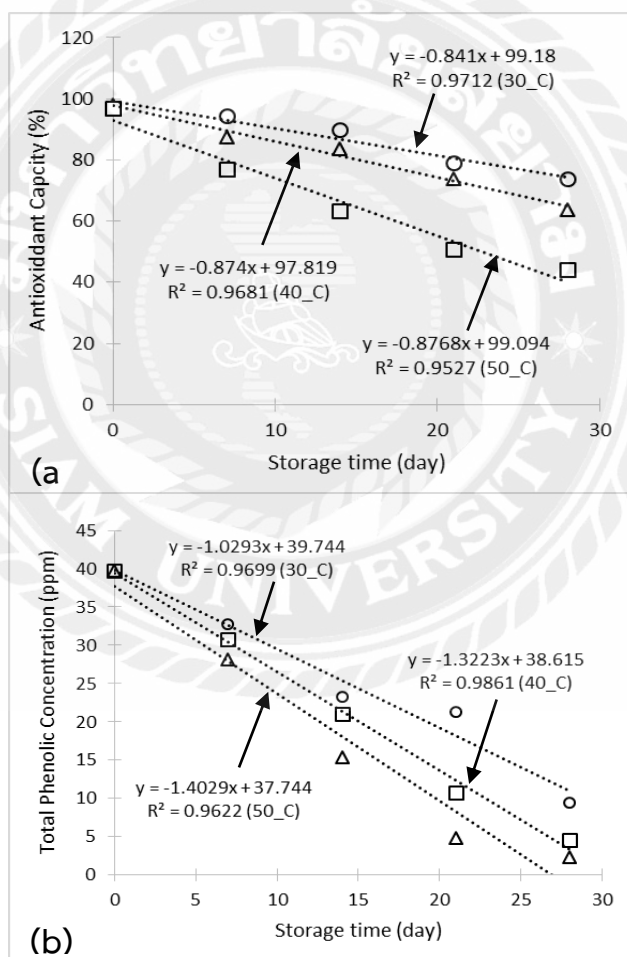
รูปที่ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตย (a) และปริมาณฟีนอลิกของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตย (b) ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้องคงที่ (30°C)

4.2.2 ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ (30, 40 และ 50°C)

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิต่างๆ คือ 30, 40 และ 50°C (แสดงในรูปที่ 4.4a) พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฟิล์มทั้งใน 3 อุณหภูมิ มีลักษณะเป็น zero-order reaction และเป็นแบบ Temperature dependence โดยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฟิล์มลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่ง

อัตราการเปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากับ 0.8410, 0.8768 และ 0.8740 ณ อุณหภูมิการเก็บรักษาคือ 30, 40 และ 50°C ตามลำดับ

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตย ในระหว่างการเก็บรักษามีความสอดคล้องกับค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในฟิล์มที่มีการเติมสารสกัด ใบเตยเช่นกัน คือปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 50°C และ จะลดลงอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 30°C อันเนื่องมาจากความร้อนในการทำลายสารประกอบฟีนอลิก โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในฟิล์มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50°C มี ค่าเท่ากับ 1.0293, 1.3223 และ 1.4029 ตามลำดับ (รูปที่ 4.4b)



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (a) และปริมาณฟีนอลิก (b) ของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ (30, 40 และ 50°C)

4.2.3 ปฏิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มที่เติมสารสกัดใบเตย ณ อุณหภูมิต่างๆ (30, 40 และ 50°C)

ในการศึกษาครั้งนี้ตัวอย่างอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง ได้แก่ มันฝรั่งทอดกรอบ ถูกนำมาใช้ในทดสอบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มในการออกซิเดชันในอาหารที่เก็บรักษา โดยการวิเคราะห์หาค่า peroxide value (PV) และปริมาณของกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) ของอาหารเหล่านี้ เนื่องจากอาหารที่มีไขมันเป็นองค์สูงเหล่านี้มักเสื่อมเสียได้ง่ายจากปฏิริยาออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งค่า PV และ FFA เป็นค่าดัชนีในการบ่งชี้การเกิดปฏิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหาร โดยผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่า Peroxide value (PV) ในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารสกัดใบเตย ณ อุณหภูมิในการเก็บต่างๆ

Time (day)	Peroxide value (meq.O ₂ /Kg)		
	30°C	40°C	50°C
0	8.3 ± 1.4 ^{Ca}	8.3 ± 1.4 ^{Da}	8.3 ± 1.4 ^{Da}
7	8.6 ± 0.8 ^{Ca}	9.5 ± 0.5 ^{CDa}	10.5 ± 2.1 ^{CDa}
14	9.3 ± 0.9 ^{Cb}	10.9 ± 0.8 ^{Cab}	11.3 ± 0.8 ^{Ca}
21	14.1 ± 1.5 ^{Ba}	15.6 ± 1.0 ^{Ba}	16.5 ± 1.4 ^{Ba}
28	26.8 ± 0.6 ^{Ab}	27.8 ± 0.6 ^{Aab}	28.8 ± 0.5 ^{Aa}

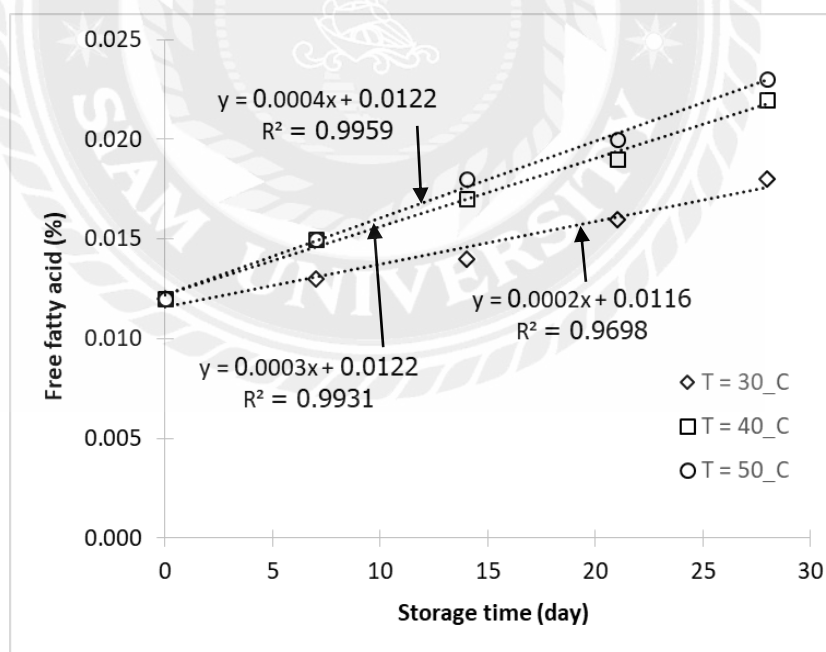
หมายเหตุ: A, B, C, D, E, F ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FFA) ในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารสกัดใบเตย ณ อุณหภูมิในการเก็บต่างๆ

Time (day)	Free fatty acid (%)		
	30°C	40°C	50°C
0	0.012 ± 0.001 ^{Ba}	0.012 ± 0.001 ^{Ca}	0.012 ± 0.001 ^{Da}
7	0.013 ± 0.003 ^{Ba}	0.015 ± 0.001 ^{BCa}	0.015 ± 0.001 ^{CDa}
14	0.014 ± 0.003 ^{ABa}	0.017 ± 0.007 ^{ABCa}	0.018 ± 0.001 ^{BCa}
21	0.016 ± 0.003 ^{Aba}	0.019 ± 0.002 ^{Aba}	0.020 ± 0.002 ^{Aba}
28	0.018 ± 0.002 ^{Aa}	0.022 ± 0.003 ^{Aa}	0.023 ± 0.003 ^{Aa}

หมายเหตุ: A, B, C, D, E, F ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง มันฝรั่งทอดกรอบที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่มีฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตแซนและเคซีนในอัตราส่วน 80 : 20 ที่เติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ค่า peroxide value (PV) ของตัวอย่างอาหารเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาในทุกๆ อุณหภูมิของการเก็บ ซึ่งดูเหมือนว่าในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษาตัวอย่างอาหาร ค่า PV จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง และจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในทุกๆ อุณหภูมิของการเก็บ (ตารางที่ 4.2) ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับปริมาณ Free fatty acid ในอาหารที่เก็บรักษาในสภาวะต่างๆ (ตารางที่ 4.3) โดยที่อุณหภูมิ 50°C มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณ free fatty acid สูงมาก (ความชันเท่ากับ 0.0004) รองลงมาคือ ที่ 40 และ 30°C (ความชันเท่ากับ 0.0003 และ 0.0002 ตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะยิ่งเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของไขมันในอาหาร ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นสายโซ่ยาว (long chain fatty acid) แตกเป็นสายโซ่สั้นๆ (short chain fatty acid) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยา oxidation ในอาหารไขมันสูง โดยเฉพาะไขมันที่เป็นกลุ่มกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) จะสามารถเกิดปฏิกิริยา oxidation ได้มาก (Yun and Surh, 2012)



รูปที่ 4.5 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ในอาหารที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ (30, 40 และ 50°C)

4.3 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปชนิดแข็งด้วยไบเตยอบแห้ง

4.3.1 อิทธิพลของสารละลายเกลือต่อสีของไบเตยอบแห้ง

ในการศึกษาอิทธิพลของสารละลายเกลือต่อความคงตัวของสีไบเตยด้วยการใช้สารละลายเกลือที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ MgO , $MgCO_3$ และ $MgCl_2$ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0.5 ในการรักษาสีของไบเตยที่ผ่านการอบแห้งโดยเปรียบเทียบกับสีของไบเตยสดก่อนการอบแห้ง แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า สารละลายเกลือที่ใช้ในการแช่ไบเตยก่อนนำไปอบแห้ง ให้ค่า L^* (สว่าง-มืด), a^* (แดง-เขียว) และ b^* (เหลือง-น้ำเงิน) ของไบเตยหลังการอบแห้งแตกต่างกันจากสีของไบเตยสด (Control) อย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L^*) ของไบเตยที่ผ่านการแช่ด้วย MgO และ $MgCl_2$ มีค่าสูงกว่า Control อย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าสี a^* ของทุกตัวอย่างออกไปทางสีเขียว โดยตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลาย $MgCO_3$ ให้ค่าสีเขียวที่ใกล้เคียงกับ Control แต่ก็มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าสี b^* ของทุกตัวอย่างออกไปทางสีเหลือง โดยตัวอย่างที่แช่ด้วยสารละลาย $MgCl_2$ มีค่าใกล้เคียงกับ Control ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งจะเห็นได้ว่า สารละลายเกลือที่แตกต่างกันจะให้ความแตกต่างกันของสีที่ต่างกันออกไป

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ของไบเตยที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเกลือทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับ Control พบว่า ค่า ΔE^* ของไบเตยอบแห้งที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเกลือทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ของไบเตยอบแห้งที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเกลือ $MgCl_2$ มีค่าน้อยที่สุด คือ $\Delta E^* = 5.22$ ซึ่งหมายถึงมีสีโดยรวมใกล้เคียงกับ Control มากที่สุด ดังนั้นสารละลายเกลือ $MgCl_2$ จึงถูกนำไปใช้ในการรักษาสีของไบเตยอบแห้งเพื่อใช้ในการผสมขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งต่อไป

ตารางที่ 4.4 ค่าความแตกต่างของสีไบเตยอบแห้งที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับไบเตยสดก่อนอบแห้ง

Treatment	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Control (ไบเตยสด)	40.82±0.08 ^C	-8.83±0.11 ^A	22.02±0.06 ^A	-
MgO	41.48±0.04 ^B	-6.89±0.04 ^D	16.01±0.11 ^B	8.53±0.24 ^A
$MgCO_3$	38.23±0.07 ^D	-8.29±0.02 ^B	16.77±0.11 ^C	7.86±0.09 ^B
$MgCl_2$	46.02±0.16 ^A	-7.76±0.05 ^C	21.77±0.21 ^A	5.22±0.08 ^C

หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C, D ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 อัตราส่วนของปริมาณแป้งผสมและใบเตยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็ง

การขึ้นบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งจะถูกเตรียมด้วยการผสมสารละลายโคโตนแซน (เข้มข้นร้อยละ 1) ต่อสารละลายแป้งผสม (เข้มข้นร้อยละ 55) ในอัตราส่วนเท่ากับ 40 : 60 โดยในส่วนของแป้งผสมจะประกอบด้วยแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งในอัตราส่วน 3 ระดับ ดังนี้ 50 : 50, 65 : 35 และ 80 : 20 (แป้งข้าวโพด : แป้งมันฝรั่ง) และเติมใบเตยอบแห้งในปริมาณต่างๆ (4 ระดับ) คือ ร้อยละ 0, 3, 3.5 และ 4 โดยน้ำหนัก จากการทดลองด้านกายภาพ คือ แรงที่ใช้ในการกดถ้วยต่างๆ (ความแข็งแรงของถ้วย) พบว่า ถ้วยที่ขึ้นรูปแข็งด้วยแป้งผสมที่ไม่เติมใบเตยอบแห้ง (Control) มีความแข็งแรงน้อยที่สุด เนื่องจากใช้แรงกดเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้ถ้วยแตกหักเสียหาย โดยค่าแรงกดของถ้วยที่แปรปริมาณแป้งผสมและไม่เติมใบเตยอบแห้งจะมีค่าอยู่ในช่วง 113 – 207 N ในขณะที่การเติมใบเตยอบแห้งจะไปเพิ่มความแข็งแรงของถ้วยขึ้นรูปจากแป้งผสมทุกอัตราส่วน ซึ่งมีค่าแรงกดมากกว่า 3000 N (ตารางที่ 4.5) ซึ่งที่ปริมาณใบเตยอบแห้งร้อยละ 4 จะให้ถ้วยที่มีความแข็งแรงมาก โดยค่าแรงกดมีค่าสูงที่สุด คือ 6,174.73 N ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของใบเตยมีลักษณะเป็นใบเดี่ยวที่มีโครงสร้างแข็งแรง เรียบเป็นมัน มีลักษณะยาวรี ใบเป็นทางยาว มีเส้นกลางชัด มีสีเขียว และมีกลิ่นหอม (Ningrum and Schreiner, 2014)

นอกจากนั้นการซึมน้ำและความแข็งแรงของภาชนะบรรจุที่มีการแปรปริมาณของแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันฝรั่งและมีเติมใบเตยอบแห้งในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ถ้วยที่มีการแปรปริมาณแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งในทุกอัตราส่วนและไม่มีการเติมใบเตยอบแห้ง (Control) มีเวลาที่น้ำซึมออกมาต่ำกว่า 5 นาที ในขณะที่เมื่อมีการเติมใบเตยอบแห้งลงไปผสมในการขึ้นรูปถ้วย พบว่าเวลาที่น้ำซึมออกมานั้นส่วนใหญ่ยาวนานกว่า 15 นาที อย่างไรก็ตามดูเหมือนว่าการแปรปริมาณแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งไม่มีผลต่อแรงกดและเวลาในการซึมน้ำ เนื่องจากค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยถ้วยที่แปรปริมาณแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันฝรั่งในอัตราส่วน 65 : 35 และมีการเติมใบเตยอบแห้งร้อยละ 3 มีเวลาในการรับน้ำได้นานที่สุด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 39.83 นาที แต่มีแรงกดเท่ากับ 4115.05 N ในขณะที่ถ้วยที่แปรปริมาณแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันฝรั่งในอัตราส่วน 50 : 50 และมีการเติมใบเตยอบแห้งร้อยละ 4 ใช้เวลาในการรับน้ำนาน 29.91 นาที กลับมีค่าแรงกดสูงสุด (ดังในตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 เวลาที่น้ำซึมออกจากถ้วยและความแข็งแรงของถ้วยที่ขึ้นรูปแข็งด้วยแป้งผสม (แป้งข้าวโพด : แป้งมันฝรั่ง) ที่มีการเติมไบเตยอบแห้ง


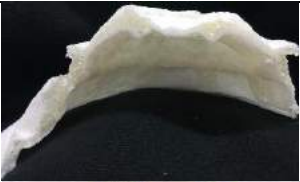








Treatment	เวลาที่น้ำซึมออกจากถ้วย (นาที)	แรงกด (N)
Tr.1 50 : 50 (0%)	4.91±3.45 ^{DEF}	204.67±7.24 ^D
Tr.2 50 : 50 (3%)	26.78±8.11 ^{ABC}	4580.29±192.46 ^B
Tr.3 50 : 50 (3.5%)	34.29±19.68 ^{AB}	4337.59±15.53 ^B
Tr.4 50 : 50 (4%)	29.91±16.18 ^{ABC}	6174.73±266.09 ^A
Tr.5 65 : 35 (0%)	2.84±1.19 ^{EF}	207.60±32.49 ^D
Tr.6 65 : 35 (3%)	39.83±0.60 ^A	4115.05±915.17 ^B
Tr.7 65 : 35 (3.5%)	16.88±2.02 ^{CDE}	4210.73±9.06 ^B
Tr.8 65 : 35 (4%)	25.30±3.99 ^{ABC}	5974.37±420.68 ^A
Tr.9 80 : 20 (0%)	0.73±0.11 ^F	113.24±12.30 ^D
Tr.10 80 : 20 (3%)	21.82±0.43 ^{BC}	3373.10±358.81 ^C
Tr.11 80 : 20 (3.5%)	17.28±2.58 ^{CDE}	4306.20±21.10 ^B
Tr.12 80 : 20 (4%)	18.40±2.86 ^{CD}	4600.16±470.65 ^B

หมายเหตุ: ตัวอักษร A, B, C, D ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อย่างไรก็ตามการเติมปริมาณไบเตยอบแห้งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ภาชนะบรรจุที่ขึ้นรูป แต่ปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลต่อคุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปชนิดแข็งเช่นกัน กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณไบเตยอบแห้งมากขึ้นภาชนะที่ได้แข็งแรงมากขึ้น แต่ไม่สามารถขึ้นรูปถ้วยได้สมบูรณ์ เนื่องจากการเพิ่มไบเตยอบแห้งไปส่งผลให้สารละลายแป้งผสมมีความหนืดมากขึ้นจนมีลักษณะกึ่งของแข็ง ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (ตารางที่ 4.6) โดยผลจากลักษณะปรากฏของภาชนะบรรจุ รวมทั้งสมบัติทางกายภาพของถ้วย ได้แก่ แรงกดและเวลาที่น้ำซึมออกจากถ้วย นำมาใช้ในการหาอัตราส่วนของแป้งผสมและปริมาณไบเตยอบแห้งที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ้วย











จากตารางที่ 4.6 ปริมาณไบเตยอบแห้งที่เหมาะสมแก่การเติมลงในแป้งผสม คือ ร้อยละ 4 คือ ให้โครงสร้างที่แน่นและแข็งแรง และเมื่อพิจารณาถึงผลของเวลาที่น้ำซึมออกจากถ้วยและความแข็งแรงของถ้วยที่ขึ้นรูปแข็งด้วยแป้งผสม (แป้งข้าวโพด : แป้งมันฝรั่ง) ดังตารางที่ 4.5 พบว่า อัตราส่วนของแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันเท่ากับ 50 : 50 ให้ความแข็งแรงสูงสุด

ตารางที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของบรรจุภัณฑ์รูปชนิดแข็งที่ผลิตจากแป้งผสม (แป้งข้าวโพด : แป้งมันฝรั่ง) และไบโพลีเอสเตอร์ในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของแป้งผสม	ปริมาณไบโพลีเอสเตอร์ (%)	ลักษณะปรากฏ		ระดับคะแนน
50:50	0%			1
	3%			2
	3.5%			3
	4%			5
	4.5%			4








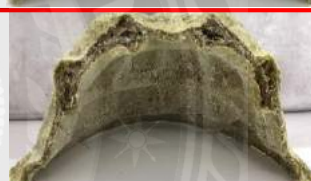


หมายเหตุ

- 1 คะแนน คือ เปราะบาง แตกง่าย โปรงแสง มีรูพรุน
- 2 คะแนน คือ ค่อนข้างแข็งแรง ทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อย
- 3 คะแนน คือ ค่อนข้างแข็งแรง ทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อย
- 4 คะแนน คือ แข็งแรงมาก ทึบแสง มีรูพรุนน้อยมาก แต่ถ้วยไม่สมบูรณ์
- 5 คะแนน คือ แข็งแรงมาก ทึบแสง มีรูพรุนน้อยมาก

อัตราส่วน ของ แป้งผสม	ปริมาณ ไบโตน (%)	ลักษณะปรากฏ		ระดับ คะแนน
65:35	0%			1
	3%			2
	3.5%			3
	4%			5
	4.5%			4

หมายเหตุ

- 1 คะแนน คือ เปราะบาง แตกง่าย โปรงแสง มีรูพรุน
- 2 คะแนน คือ ค่อนข้างแข็งแรง ทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อย
- 3 คะแนน คือ ค่อนข้างแข็งแรง ทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อย
- 4 คะแนน คือ แข็งแรงมาก ทึบแสง มีรูพรุนน้อยมาก แต่ด้วยไม่สมบูรณ์
- 5 คะแนน คือ แข็งแรงมาก ทึบแสง มีรูพรุนน้อยมาก

อัตราส่วนของ แป้งผสม	ปริมาณ ไบเตย (%)	ลักษณะปรากฏ		ระดับ คะแนน
80:20	0%			1
	3%			2
	3.5%			3
	4%			5
	4.5%			4

หมายเหตุ

- 1 คะแนน คือ เปราะบาง แตกง่าย โปร่งแสง มีรูพรุน
- 2 คะแนน คือ ค่อนข้างแข็งแรง ทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อย
- 3 คะแนน คือ ค่อนข้างแข็งแรง ทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อย
- 4 คะแนน คือ แข็งแรงมาก ทึบแสง มีรูพรุนน้อยมาก แต่ถ้วยไม่สมบูรณ์
- 5 คะแนน คือ แข็งแรงมาก ทึบแสง มีรูพรุนน้อยมาก

ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า อัตราส่วนของแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันเท่ากับ 50 : 50 และปริมาณไบเตยอบแห้งเท่ากับร้อยละ 4 เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งในการศึกษาครั้งนี้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารไบโอพอลิเมอร์ผสม (โคโตแซน : เคซีน) ต่อการขึ้นรูปฟิล์ม

5.1.1 ความหนาของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตแซนและเคซีน

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างโคโตแซนและเคซีนในอัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20 70 : 30 และ 60 : 40 โดยใช้กลีเซอรอลในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 พบว่าความหนาของฟิล์มที่ผลิตได้มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกสิ่งทดลอง

5.1.2 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) ของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตแซนและเคซีน

จากการศึกษาอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR) ของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมที่เติมกลีเซอรอลในปริมาณร้อยละ 1 และ 2 พบว่าค่า WVTR ในฟิล์มที่มีการเติม 1% glycerol สูงกว่าในฟิล์มที่มีการเติม 2% glycerol ของทุกๆอัตราส่วน และเมื่อนำค่า WVTR ในอัตราส่วนต่างๆ (90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40) มาเปรียบเทียบกับฟิล์มโคโตแซนเพียงอย่างเดียว (100:0) และอัตราส่วนอื่นๆ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าในอัตราส่วนเท่ากับ 80 : 20 ที่เติม 1% glycerol มีค่า WVTR ต่ำสุด นั่นคือยินยอมให้ไอน้ำผ่านฟิล์มได้ต่ำสุด ซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ต่อไป

5.1.3 ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และความสามารถในการยืด (Elongation) ของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตแซนและเคซีน

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมด้านความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และความสามารถในการยืด (Elongation) ของฟิล์มระหว่างโคโตแซนและเคซีนในอัตราส่วนต่างๆ ที่เติม 1% glycerol พบว่าฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตแซนและ

เคซีนในอัตราส่วน 80 : 20 ให้ค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด เท่ากับ 0.41 ± 0.03 ในขณะที่ค่าความสามารถในการยึดต่ำสุด เท่ากับ 69.31 ± 2.35

5.1.4 ความสามารถในการต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance)

จากการศึกษาความสามารถในการต้านทานน้ำมันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ด้วยการสังเคราะห์จากคราบไขมันบนกระดาษสีขาวที่รองไว้ใต้ฟิล์ม ซึ่งพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 30 วัน ไม่มีคราบไขมันปรากฏบนกระดาษสีขาวเลยในทุกสิ่งทดลอง และระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือนยังไม่มีคราบไขมันปรากฏเช่นกัน

5.2 ประสิทธิภาพสารสกัดใบเตยในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์

5.2.1 อิทธิพลของสารสกัดใบเตยในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาอิทธิพลของสารสกัดใบเตยในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ผลจากการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบเตยในฟิล์มที่ใช้ห่อหุ้มอาหาร ณ อุณหภูมิต่างๆในการเก็บรักษา ด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร ณ อุณหภูมิห้องคงที่ (30°C) ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 จะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) ได้มากกว่าฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.1 และ 0.3 ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยสังเกตได้จากค่าความชันของอัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.5 มีค่าเท่ากับ 0.8768 ในขณะที่อัตราของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยร้อยละ 0.1 และ 0.3 มีค่าเท่ากับ 2.1813 และ 1.4471 โดยผลที่ได้นี้สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกโดยรวมในสารสกัดใบเตย ซึ่งปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่เติม 0.5% Pandan extract จะลดลงน้อยกว่าที่เติม 0.1 และ 0.3% Pandan extract ในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง โดยอัตราในการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกในฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่เติม 0.5% Pandan extract มีค่าเท่ากับ 1.0293 ในขณะที่ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ที่เติม 0.1 และ 0.3% Pandan extract มีอัตราในการเปลี่ยนสูงกว่า คือ 1.3875 และ 1.3223

5.2.2 ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมในระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระใน

ฟิล์มที่มีการเติมสารสกัดใบเตยเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิต่างๆ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฟิล์มทั้งใน 3 อุณหภูมิ มีลักษณะเป็น zero-order reaction และเป็นแบบ Temperature dependence โดยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในฟิล์มลดลงอย่างรวดเร็ว

5.2.3 ปฏิกริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารที่เก็บรักษาด้วยฟิล์มที่เติมสารสกัดใบเตย ณ อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดสอบมีศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหาร โดยการวิเคราะห์หาค่า peroxide value (PV) และปริมาณ ของกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) พบว่า ฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตแซนและเคซีนในอัตราส่วน 80:20 ที่เติมสารสกัดใบเตย ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิต่างๆ ในระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า อุณหภูมิของการเก็บที่ดีที่สุด คือ 30°C ที่มีค่า peroxide value (PV) เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด และค่าปริมาณของกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) ต่ำที่สุด ที่ค่าความชื้นเท่ากับ 0.0002

5.3 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปชนิดแข็งด้วยใบเตยอบแห้ง

5.3.1 อิทธิพลของสารละลายเกลือต่อสีของใบเตยอบแห้ง

จากการศึกษาอิทธิพลของสารละลายเกลือต่อความคงตัวของสีใบเตยด้วยการใช้สารละลายเกลือที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ค่า ΔE^* ของใบเตยอบแห้งที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเกลือทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) ของใบเตยอบแห้งที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายเกลือ $MgCl_2$ มีค่าน้อยที่สุด คือ $\Delta E^* = 5.22$ ซึ่งหมายถึงมีสีโดยรวมใกล้เคียงกับ Control มากที่สุด ดังนั้นสารละลายเกลือ $MgCl_2$ จึงถูกนำไปใช้ในรักษาสีของใบเตยอบแห้งเพื่อใช้ในการผสมขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งต่อไป

5.3.2 อัตราส่วนของปริมาณแป้งผสมและใบเตยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็ง

จากการทดลองด้านกายภาพ คือ การชิมผ่านน้ำของภาชนะบรรจุที่มีการแปรปริมาณของแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันฝรั่ง และมีเติมใบเตยอบแห้งในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ถ้วยที่มีการแปรปริมาณแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งในทุกอัตราส่วนและมีการเติมใบเตยอบแห้งลงไปผสมในการขึ้นรูปถ้วยพบว่า เวลาที่น้ำชิมออกมานั้นส่วนใหญ่ยาวนานกว่า 15 นาที โดยถ้วยที่แปรปริมาณแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันฝรั่งในอัตราส่วน 50 : 50 และมีการเติมใบเตยอบแห้งร้อยละ 3.5 มีเวลาในการรับน้ำได้นานที่สุด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 34.29 นาที ในขณะที่ถ้วยที่มีการแปรปริมาณแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันฝรั่งใน

อัตราส่วน 65 : 35 และ 80 : 20 และเติมไบเตยอบแห้งร้อยละ 3 มีเวลาในการรับน้ำได้นานที่สุด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 39.83 และ 21.82 นาที ตามลำดับ

จากการทดลองใช้แรงกดเพื่อทดสอบความแข็งแรงของถั่ว พบว่า ถั่วที่ขึ้นรูปแข็งด้วยแป้งผสมที่ไม่เติมไบเตยอบแห้ง (Control) มีความแข็งแรงน้อยที่สุด โดยค่าแรงกดของถั่วมีค่าอยู่ในช่วง 113 – 207 N ในขณะที่การเติมไบเตยอบแห้ง จะไปเพิ่มความแข็งแรงของถั่วขึ้นรูปจากแป้งผสมทุกอัตราส่วน ซึ่งมีค่าแรงกดมากกว่า 3000 N ซึ่งอัตราส่วนของแป้งผสมและปริมาณไบเตยอบแห้งที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชนิดแข็ง คืออัตราส่วนของแป้งข้าวโพดต่อแป้งมันเท่ากับ 50 : 50 และปริมาณไบเตยอบแห้งเท่ากับ ร้อยละ 4



เอกสารอ้างอิง

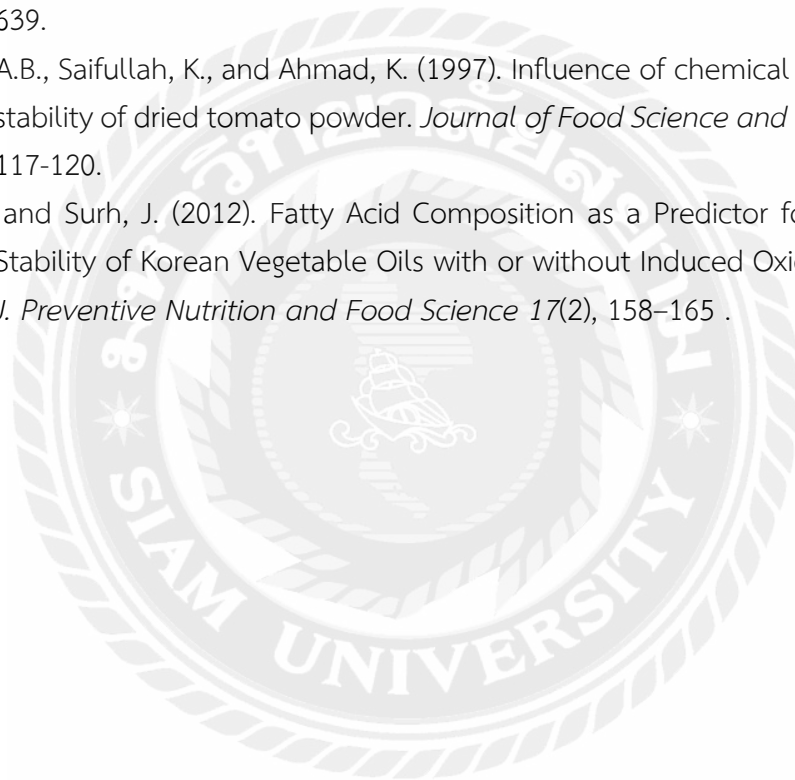
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2543). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า15-23, 38-60.
- กุลจณี พนาวรางกูร. (2547). ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และเปอร์ออกไซด์ต่อสมบัติของยางธรรมชาติคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยลัมบาระด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต). ปัตตานี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เกษม สีตอกบวบ. (2543). การกำจัดอินโพลีเมอร์ในน้ำเสียโดยโคโคแชน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์. (2541). การนำโคโคแชนไปใช้ประโยชน์ทางด้านโภชนาการ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คงศักดิ์ บุญยะประณัย, สะแกวัลย์ อุ่นใจจัน, นพชนพงษ์ ตั้งพูนเลิศ และ ชัยอนันท์ นามงาม. (2560). [DOC]ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลโคซิเดสของสารสกัดหอมแดง-วิทยาลัยนอร์ทเทิร์น. เข้าถึงได้จาก http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VBn5kiO6CSQJ:www.northern.ac.th/north_research/p/document/file_14892501410.docx+&cd=4&hl=th&ct=clnk&gl=th
- ชลวสา บางยี่ขัน. (2546). การเตรียมฟิล์มลามิเนตจากแป้งมันสำปะหลังและโคโคแชน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 39-42.
- ธวัชชัย ลิ้มสมเกียรติ. (2546). การศึกษาฟิล์มหุ้มจากโคโคแชนผสมสารโซเดียมเบนโซเอตที่มีอิทธิพลต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะละกอ. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. กรุงเทพฯ
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ และ วรณิศา กิจไธสง. (2552). ผลของฟิล์มโคโคแชนผสมสารโซเดียมเบนโซเอตต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะละกอ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 4 (1).
- ปรีดา นันทพลทรัพย์. (2544). ผลของความแรงไอออนและสารคีเลตต่อการดูดซับตะกั่วจากสารละลายด้วยโคโคแชน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พยุงค์ศักดิ์ ศรีอำไพ. (2542). คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มอร์ต้าเสริมเส้นใยผักตบชวา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.
- พรเทพ พรหมเจียม. (2549). เครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม.
- พีรรัตน์ ดวงดี. (2556). ใบเตย - ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์อิเล็กทรอนิกส์ (e-Theses). เข้าถึงได้จาก CMU2556 http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2556/food40356pd_ch1.pdf

- รามนรี เนตรวิเชียร. (2543). *การกำจัดสารหนูในรูปอาร์ซิเนตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไคโตแซนแบบเม็ด*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิมลศิริ อมรไชย. (2545). *การตัดแปรรูปพื้นผิวของฟิล์มไคโตแซนโดยการกราฟต์ด้วยอนุพันธ์อัลดีไฮด์ของเอทิลีนไกลคอล*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีระ รัตนศิริโสภณ. (2546). *การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดเคลือบด้วยไคโตแซนในการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำธรรมชาติ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศุภสิทธิ์ ศิลปสิทธิ์. (2544). *การใช้ผักตบชวาทดแทนโปรตีนในอาหารเลี้ยงปลาแรด*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรมหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2549). *การสัมมนาเรื่อง "Biodegradable Packaging ทางเลือกใหม่เพื่อสิ่งแวดล้อม"*.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2543). *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตแซน* (เล่มที่ 1, หน้า 1-5). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2543). *การประยุกต์ใช้สารไคติน-ไคโตแซน* (เล่มที่ 3, หน้า 1-9). กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- สมศักดิ์ ภัคดีวารานนท์. (2544). *การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง* (หน้า 1-9, 36-42). (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุกัญญา โพธิ์สูงเนิน. (2545). *การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มไบโอโพลิเมอร์ผสมจากไคโตแซนและสตาร์ชตัดแปรรูปเพื่อการประยุกต์ใช้ในระบบจำลองอาหาร* (หน้า 1-13). กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.
- สุกิจ ปัญญาชัยเสนะ. (2542). *การเตรียมฟิล์มโพลิเมอร์ของไคโตแซนและเมทิลเซลลูโลส*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรอุษา สรวารี. (2546). *สารเติมแต่งพอลิเมอร์* (เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 107-149). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อาภรณ์ บุญญะ. (2549). *ฟิล์มไบโอโพลิเมอร์จากไคโตแซน:คุณสมบัติในการขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหาร* (หน้า 16-21). (ภาคินพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). กรุงเทพฯ: สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.
- Akter, N., Khan, R.A, Tuhin, M.O., Haque, M.E., Nurnabi, M., Parvin, F., and Islam, R. (2012). Thermomechanical, barrier, and morphological properties of chitosan-reinforced starch-based biodegradable composite films. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(7), 1-16.

- Avena-bustillos, R.J. and Krochta, J.M. (1993). Water vapor permeability of caseinate-based edible films as affected by pH, calcium crosslinking and lipid content. *Journal of Food Science*, 58(4), 904-907.
- Caner C., Vergano P.J., Wiles J.L. (1998). Chitosan film mechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer and storage. *J.Food Sci*, 63(6), 1049-1053.
- Conca K.R. and Yang T.C.S. (1993). *Edible food barrier coating in Biodegradable Polymer and Packaging* (357-369). Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA
- Debeaufort, F., & Voiley, A. (1997). Methylcellulose based edible films and coating: Mechanical and thermal properties as a function of plasticizer content. *J.of Agric and Food chem* 45, 685-689.
- Devahastin, S. and Suvarnakuta, P. (2004). Superheated steam drying of food products. In: Mujumdar, A.S. (Ed.), *Dehydration of Products of Biological Origin* (493-512). Science Publishers, Enfield
- Fabra, M.J., Talens, P., and Chiralt, A. (2008). Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Journal of Food Engineering* 85(3), 393-400.
- Farah, A., Donangelo, C.M., (2006). Phenolic compounds in coffee Brazilian. *Journal of Plant Physiology* 18(1), 1-14.
- Fatihanim Mohd Nor, Suhaila Mohamed, Nor Aini Idris and Razali Ismail. (2008). *Antioxidative properties of Pandanus amaryllifolius leaf extracts in accelerated oxidation and deep frying studies*. Food Chemistry. 110: 319-327. Fatihanim, M.N.et.al.
- Gontard, N., and Guilbert, S. (1993). Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *Journal of Food Science* 58(1), 206 - 211.
- Hasegawa M., Isogai A., Onabe F., Usuda M. and Atalla R.H. (1992). Characterization of Cellulose-Chitosan Blend Films. *Journal of Applied Polymer Science* 45, 1873 - 1879.
- Khwaldia, K., Banon, S., Perez, C., and Desobry, S. (2004). Properties of Sodium Caseinate Film-Forming Dispersions and Films. *Journal of Dairy Science* 87(7), 2011-2016.
- Kienzle, S., C.D.R. Sanchez and C. Rha. (1982). Dilute solution behavior of a cationic Polyelectrolite. *J. Appl Polym Sci* 27, 44-67.

- Knorr, D. (1982). Functional properties of chitin and chitosan. *J. Food Sci* 47, 593 - 595.
- Knorr, D. (1984). *Use of chitinous polymer in food*. Food Technology 38, 85-97.
- Lieberman, E.R. and Gilbert, S.G. (1973). Gas Permeation of collagen films as affected by cross-linkage, moisture, and plasticizer content. *J. Polym. Sci* 41, 33-43.
- Mapson, L.W., and Wager, M.G. (1961). Preservation of peeled potato (1) : Use of Sulphite and its effect on thiamine content. *Journal of Food Science and Agriculture* 12, 43.
- Mark A.M. et al. (1996). *Oxygen permeability of amylose starch films*. Food Technology, 75-77.
- McHugh T.H. et al. (1994). Plasticized whey protein edible films : water vapor permeability properties. *J. Food Sci* 59(2), 416-429.
- Mellan I. (1961). Properties of plasticizer .In *The Behavior of Plasticizer* (1-25). New York. Pergamon Press.
- Mima, S.; Miya, M.; Iwamoto, R. and Yoshigawa, S. (1983). Highly Deacetylated Chitosan and Its Properties. *J. Appl. Poly. Sci.* 28, 1909-1917.
- Muzzarelli, R.A.A. (1985). *Encyclopedia of polymer Science and Engineering* (3, 430-44). New York. Wiley
- Ningrum, A., Schreiner, M. Pandan leaves. (2014) "Vanilla of the East" as potential natural food ingredient. *J. Agro Food Industry Hi-Tech.* 25(3), 10 - 14.
- Park H.J. et al. (1993). Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. *J. Food Sci* 58(6), 1361-1364.
- Penchom Peungvicha, Rungravi Tamsiririrkkul, Jeevan Kurmar Prasain, Yasuhiro Tezuka, Shigetoshi Kadota, Suwan S. Thirawarapan, Hiroshi Watanabe. (1998). 4-Hydroxy benzoic acid: a hypoglycemic constituent of aqueous extract of Pandanus odoratus root. *Journal of Ethnopharmacology* 62, 70-84.
- Phadungath, C. (2005). Casein micelle structure: a concise review. *Songklanakarin Journal Science and Technology* 27(1), 201-212.
- Qurashi M.T., Blair H.S. and Allen A.J. (1992). Studies on Modified Chitosan Membranes In : Preparation and Characterization. *J. Appl. Poly. Sci.* 46, 255-261.
- Shahidi F., Arachchi J.K.V. and Jeon Y.J. (1999). Food applications of chitin and chitosans. *J. Trends in Food Science & Technology* 10, 37-51.
- Tettweiler, P. (1991). Snack foods worldwide. *J. Food Technology* 45(2), 58-62.

- Theodore P Labuza. .(2000). (PDF) Shelf Life Testing: Procedures and Prediction Methods for ... Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/2402471_Shelf_Life_Testing_Procedures_and_Prediction_Methods_for_Frozen_Foods
- Toffey A., Samaranayake G., Frazier C.E. and Glasser W.G. (1996). Chitin derivatives. I. Kinetics of the Heat-Induced Conversion of Chitosan to Chitin. *J. Appl. Poly. Sci.* 60, 75-85.
- Tomasula,P.M., Yee, W.C., and Parris,N. (2003). Oxygen Permeability of Films Made from CO₂-Precipitated Casein and Modified Casein. *J.Agric. Food Chem* 51, 634-639.
- Waqer, A.B., Saifullah, K., and Ahmad, K. (1997). Influence of chemical additives on the stability of dried tomato powder. *Journal of Food Science and Technology* (32), 117-120.
- Yun, J., and Surh, J. (2012). Fatty Acid Composition as a Predictor for the Oxidation Stability of Korean Vegetable Oils with or without Induced Oxidative Stress. *J. Preventive Nutrition and Food Science* 17(2), 158-165 .

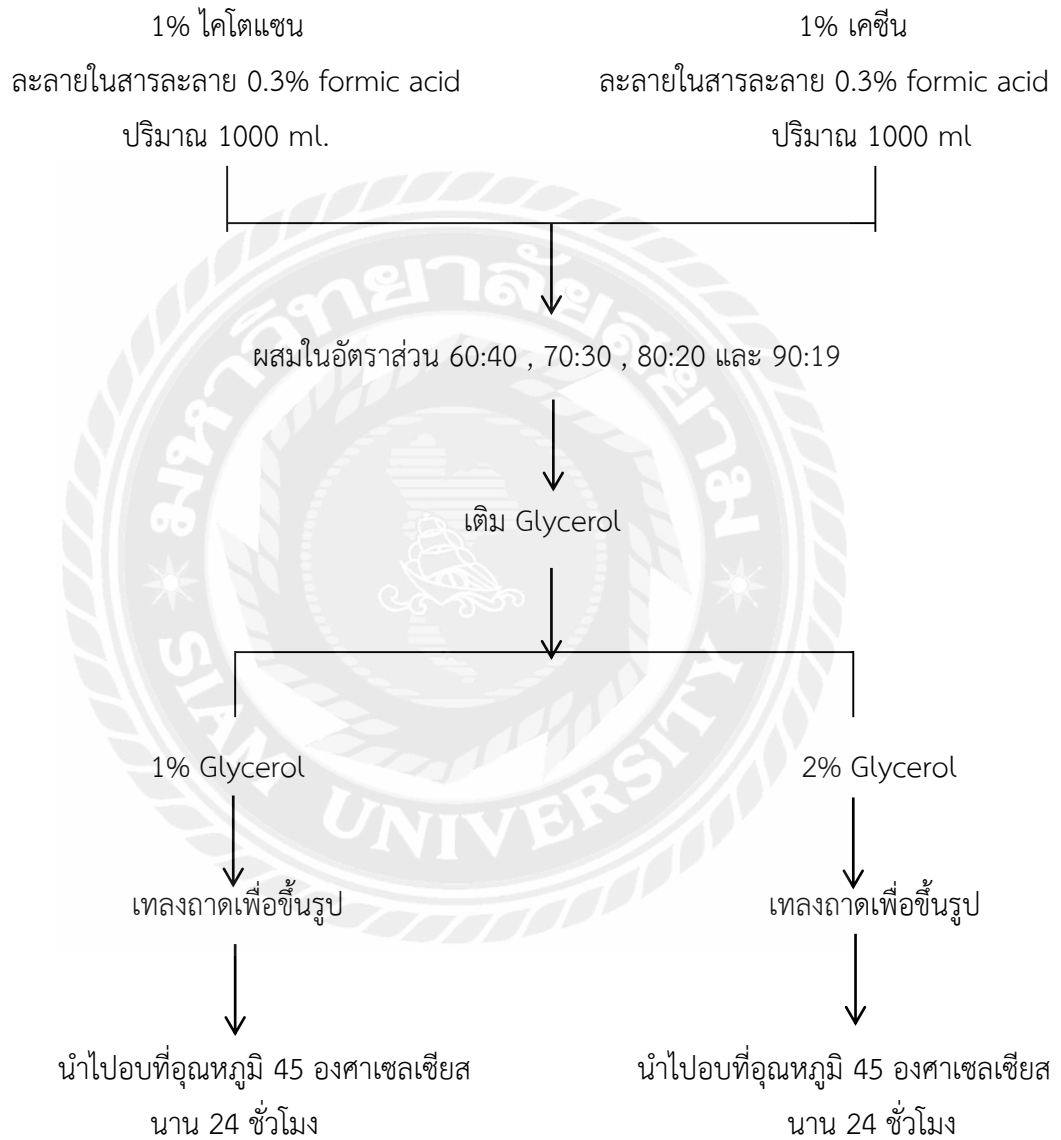




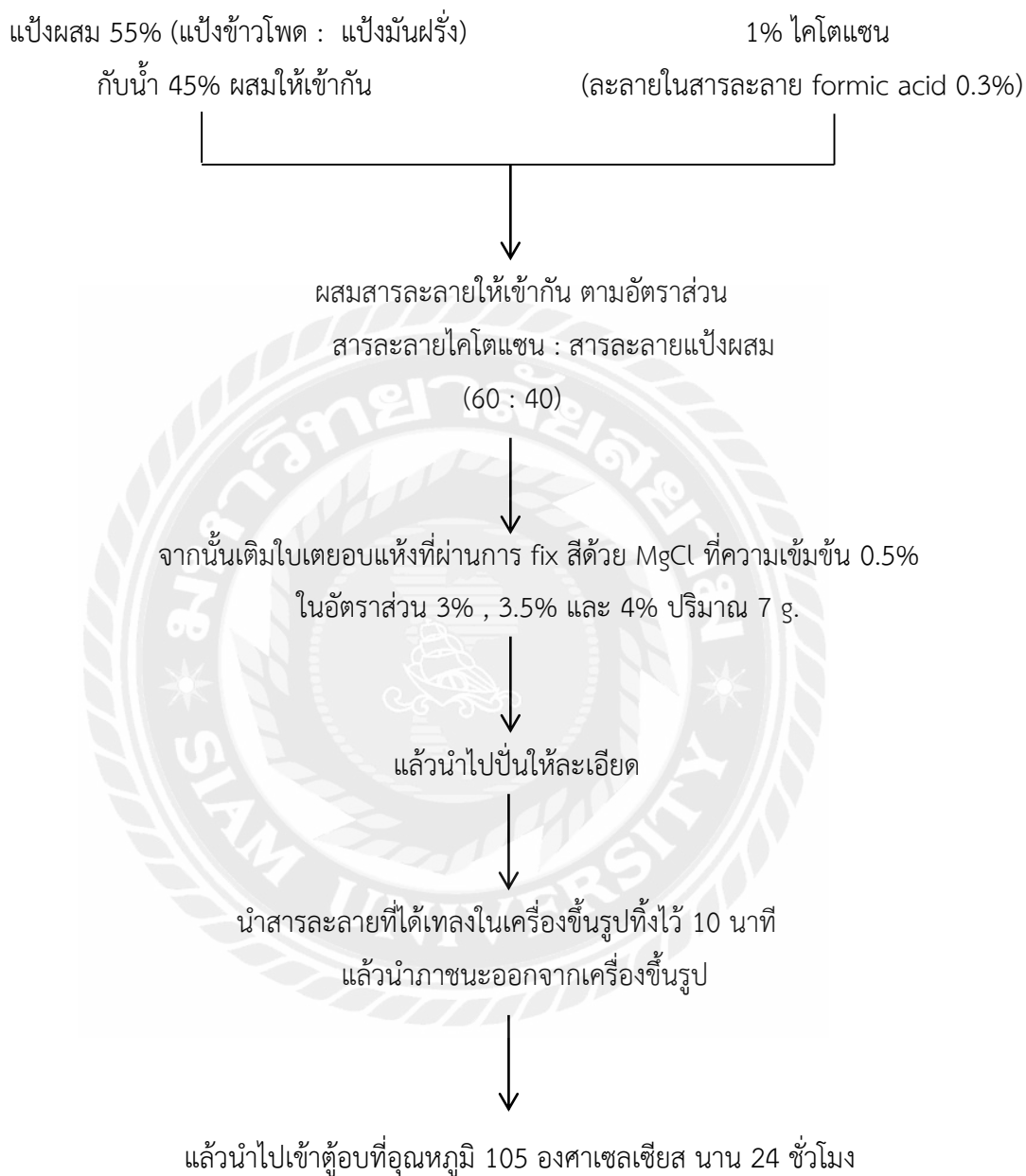
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
วิธีการทดลอง

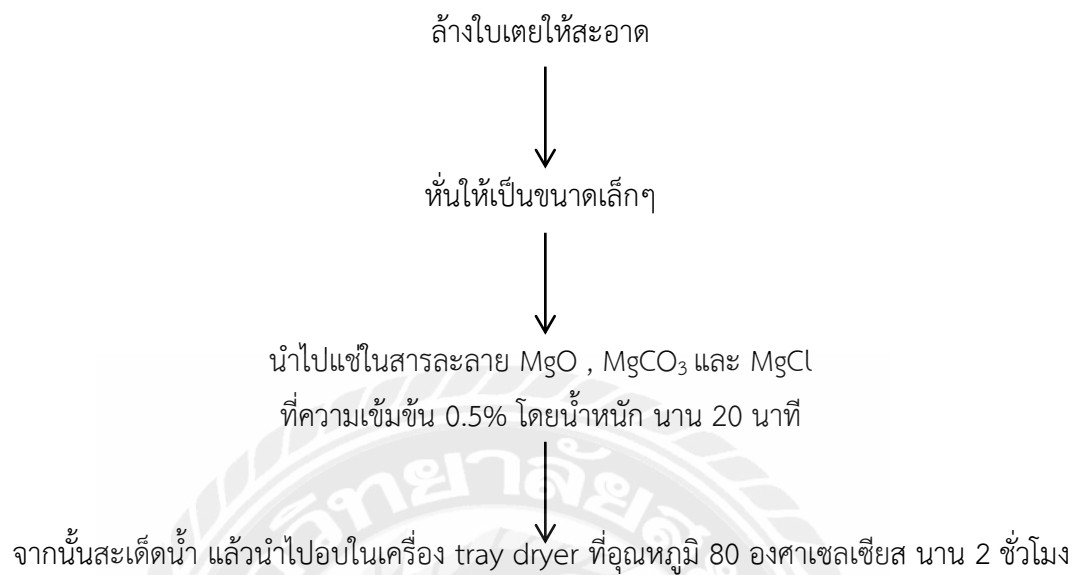
ก.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์ม



ก.2 ขั้นตอนการเตรียมภาชนะบรรจุแบบแข็ง



ก.3 ขั้นตอนการ fix สีใบเตย



ภาคผนวก ข.
วิธีการวิเคราะห์และตรวจสอบ

ข.1 ความหนา (Thickness) ดัดแปลงจากวิธีของ ASTM 654-92

- 1) สุ่มวัดตำแหน่งต่างๆของฟิล์ม 5 จุด ในแต่ละตัวอย่างฟิล์มที่ตำแหน่งต่างกัน
- 2) วัดความหนาโดยใช้ Micro meter ทุกตำแหน่ง และหาค่าเฉลี่ยความหนาของฟิล์ม

ข.2 การต้านทานแรงดึงและแรงยืดตัว (Tensile Strength; TS and Elongation; %E) ตามวิธีของ ASTM D 882-95a (1996)

- 1) ตัด film ให้มีขนาดตามตัวอย่างรูปดัมเบล และติด masking tape ตรงส่วนปลายทั้ง 2 ข้าง ขนาด 5 มิลลิเมตร
- 2) วัดค่าความต้านทานแรงดึงขาดและค่าการยืดตัวของฟิล์มโดยใช้เครื่อง Texture analyzer ตั้งค่าเครื่องให้ grip separation load มีระยะห่าง 55 mm ปรับ weighing & recording system ของเครื่อง
- 3) ใส่ตัวอย่างฟิล์มระหว่าง grip ตัวบนและตัวล่าง ให้ตั้งฉาก ไม่หย่อน ไม่ดึงจนเกินไป เปิดเครื่องวัดโดย grip ตัวบนจะดึงฟิล์ม ขึ้นจนขาดและ recording system
- 4) รายงานผลค่า load จากนั้นนำค่ามาคำนวณค่าการต้านทานแรงดึงขาด และ ความยืดตัว

สูตรการคำนวณ :

$$\text{การต้านทานแรงดึงขาด (TS)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จาก load} \times 9.81}{\text{พื้นที่ผิวฟิล์ม}}$$

$$\text{ความยืดตัว (\%E) \%E} = \frac{\text{ระยะห่างของ grip} \times 100}{\text{ระยะที่ฟิล์มยืดตัว}}$$

$\%E = (\text{ระยะห่างของ grip} \times 100) / \text{ระยะที่ฟิล์มยึดตัว}$

โดย พื้นที่ผิวของฟิล์ม คือ ผลคูณระหว่างความหนาและความกว้างของฟิล์ม ระยะห่างของ grip คือ ระยะห่างระหว่าง grip ก่อนดึงฟิล์ม (55 มิลลิเมตร)

ข.3 การต้านทานไอน้ำของฟิล์ม (Water vapour transmission rate : WVTR)

ดัดแปลงจาก ASTM 96-95 (1996)

- 1) เตรียมถ้วยพลาสติก+ฝา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 cm.
- 2) ตัดฟิล์มให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.5 cm. ผนึกฟิล์มบนปากถ้วยพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลหนัก 15 g.
- 3) นำไปใส่กล่องที่บรรจุสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวและนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
- 4) ชั่งน้ำหนักทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน แล้วพรอทกราฟระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นกับเวลา
- 5) คำนวณหาอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม ได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับเวลาหารด้วยพื้นที่ของไอน้ำที่แพร่ผ่านฟิล์มในภาชนะบรรจุ

สูตรคำนวณ

$$WVTR = \frac{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับเวลา}}{A}$$

เมื่อ

WVTR คือ อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม

A คือ พื้นที่ของไอน้ำที่แพร่ผ่านฟิล์มในภาชนะบรรจุ

ข.4 ความสามารถในการต้านทานน้ำมัน (grease and oil resistance)

ตัดแปลงโดยวิธีของ มอก. 654-2529

- 1) ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 3.5x5 cm.
- 2) นำทราย 1 g. วางบนกระฟิล์มที่อยู่บนกระดาษขาว โดยจัดกองทรายให้มีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว
- 3) หยดน้ำมันพืชลงบนกองทรายจนชุ่มโดยไม่ให้เลอะออกนอกกองทราย
- 4) สังเกตการณ์ซึมผ่านของน้ำมันบนกระดาษขาวทุกๆ 24 ชั่วโมง บันทึกเวลาที่ทั้งหมดของน้ำมันเมื่อซึมผ่านมาบนกระดาษขาว นั่นคือ ค่าในการต้านทานน้ำมันของแผ่นฟิล์ม

ข.5 การวิเคราะห์ total phenolics โดยวิธี Colorimetric assay

(Farah, 2006)

สารเคมี

1. 7.5% Sodium carbonate (ซึ่งสาร 7.5 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL)
2. 2 N Folin-Ciocalteu reagent
3. 10,000 mg/L Gallic acid (ซึ่งสาร 1 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตร 100 mL)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
3. เครื่อง Vortex mixer
4. Water bath

วิธีวิเคราะห์

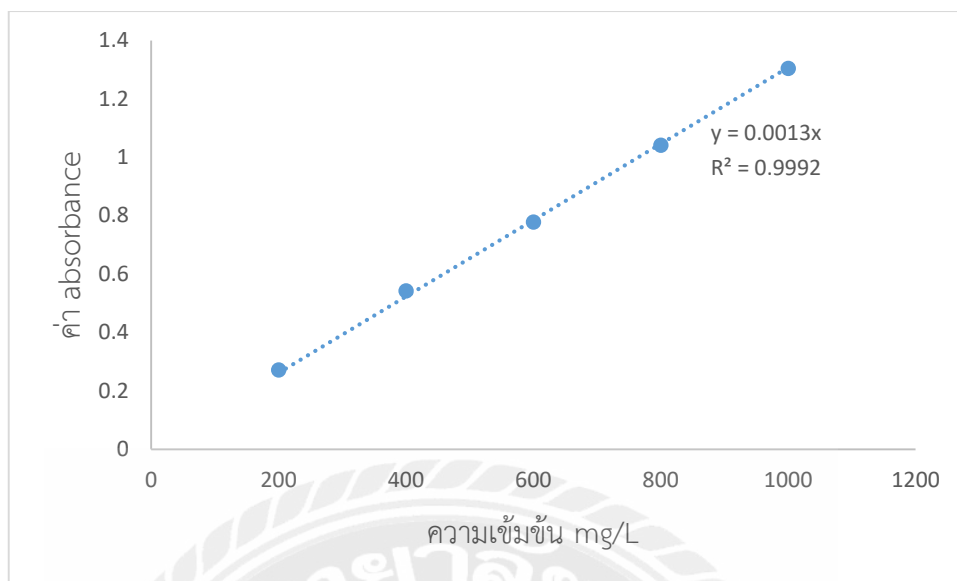
1. ทำการเจือจางตัวอย่างสารสกัด 50 เท่าด้วยน้ำกลั่น และนำตัวอย่างที่ได้ใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 50 μ L
2. เติม 7.5% Sodium carbonate จำนวน 600 μ L และ 2 N Folin-Ciocalteu reagent จำนวน 150 μ L และน้ำกลั่น 2 mL ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นเขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 10 วินาที
3. นำไปตั้งไว้ใน water bath อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร (ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank)
5. หาความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดจากกราฟมาตรฐานซึ่งพลอตระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของ Gallic acid ที่ 200, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L
6. คำนวณหาปริมาณ total phenolics

วิธีการเตรียมสารมาตรฐาน Gallic acid

1. เตรียม stock solution โดยชั่งสาร Gallic acid 1 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL จะได้ความเข้มข้น 10,000 mg/L จากนั้นเจือจาง stock solution เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐาน Gallic acid ที่มีความเข้มข้น 200, 400, 600, 800 และ 1000 mg/L ดังนี้

ความเข้มข้น (μM)	Stock solution (mL)	ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)	ปริมาตรสุดท้าย (mL)
200	0.20	9.80	10.00
400	0.40	9.60	10.00
600	0.60	9.40	10.00
800	0.80	9.20	10.00
1000	1.00	9.00	10.00

2. ปิเปิดสารละลายมาตรฐาน gallic acid ในแต่ละความเข้มข้นใส่ลงในหลอดทดลอง ๆ 50 μL
3. เติม 7.5% Sodium carbonate จำนวน 600 μL และ 2 N Folin-Ciocalteu reagent จำนวน 150 μL และน้ำกลั่น 2 mL ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นเขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 10 วินาที
4. นำไปตั้งไว้ใน water bath อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร (ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank)
6. สร้างกราฟมาตรฐานโดยการพลอตระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของ gallic acid ดังรูปที่ **รูปที่ ข.1**



รูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid

ข.6 การวิเคราะห์สมบัติต้านออกซิเดชันโดยใช้วิธี DPPH (Suvarnakuta, 2004)

สารเคมี

1. Ethanol 99.9%
2. 100 μM DPPH(2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) in ethanol 99.9% (ซึ่งสาร DPPH 19.7 mg ละลายในเอทานอลแล้วปรับปริมาตรเป็น 500 mL)
3. Gallic acid

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
3. เครื่องผสม (Vortex mixer)

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลาย 100 μM DPPH แล้วนำสารละลายใส่ในหลอดทดลอง 3.9 ml
2. ทำการเจือจางตัวอย่างสารสกัด 50 เท่าด้วยน้ำกลั่น และนำตัวอย่างที่ได้ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลาย DPPH อยู่แล้วหลอดละ 200 μl แล้วเขย่าด้วยเครื่อง vortex 1 วินาที
3. ทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (โดยใช้เอทานอลเป็น blank) คำนวณหา % antioxidant capacity

$$\% \text{ Antioxidant capacity} = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPD

A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัด

- หาความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดกาแฟจากกราฟมาตรฐานซึ่งพลอตระหว่าง % antioxidant capacity และความเข้มข้นของ gallic acid ที่ระดับ 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/L
- คำนวณหาปริมาณสารต้านออกซิเดชัน

วิธีการเตรียมกราฟมาตรฐานของ gallic acid

- เตรียม stock solution ของสารละลายมาตรฐาน gallic acid โดยชั่ง Gallic acid 2.5 mg ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL จะได้ความเข้มข้น 25 mg/mL จากนั้นเตรียมสารมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/L ดังนี้

ความเข้มข้น (mg/mL)	Stock solution (mL)	ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)	ปริมาตรสุดท้าย (mL)
5	1.00	4.00	5.00
10	2.00	3.00	5.00
15	3.00	2.00	5.00
20	4.00	1.00	5.00
25	5.00	0.00	5.00

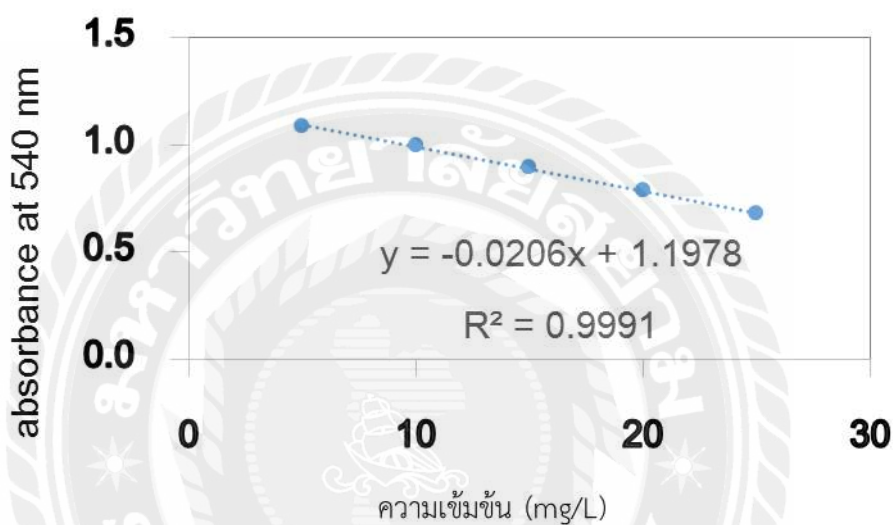
- ปิเปตสารละลายมาตรฐาน gallic acid ในแต่ละความเข้มข้น จำนวน 200 μ L ใส่ลงในหลอดทดลองที่มี DPPH อยู่แล้วจำนวน 3.9 mL จากนั้นเขย่าให้ผสมกันอย่างดี
- นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (โดยใช้เอทานอลเป็น blank)
- คำนวณหา % antioxidant capacity ของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น ดังนี้

$$\% \text{ Antioxidant capacity} = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100$$

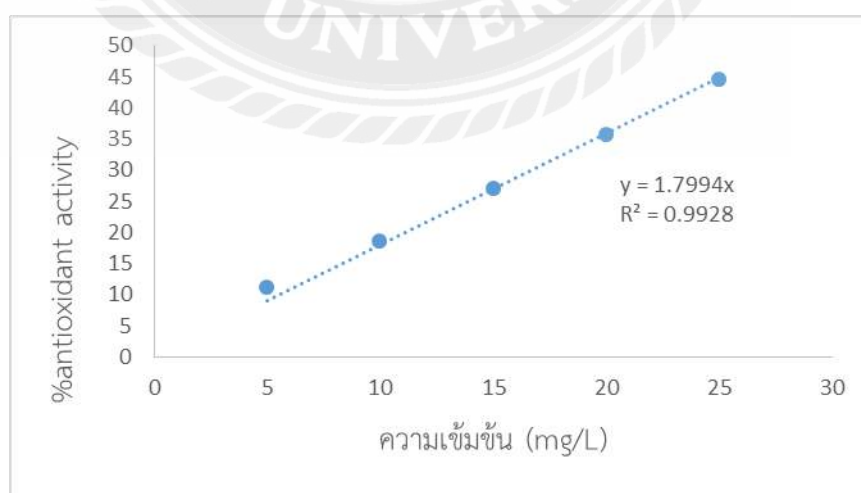
A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPD

A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น

5. สร้างกราฟมาตรฐานที่ 1 ระหว่างค่า absorbance (แกน Y) และ ความเข้มข้น (แกน X) ของสารละลายมาตรฐาน gallic acid (รูปที่ ข.1)
6. สร้างกราฟมาตรฐานที่ 2 ระหว่าง % antioxidant capacity และความเข้มข้นของสารละลาย gallic



รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารมาตรฐาน gallic acid



รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า % antioxidant capacity และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid

ข.7 การวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์วิเคราะห์หาค่า peroxide value (PV)

ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 ± 0.05 g. ลงในขวดรูปชมพู่ 250 ml. พร้อมทำ Blank ควบคู่ โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างลงไป

- 1) เติม Acetic acid : Chloroform ในอัตราส่วน 3 : 2 ปริมาณ 25 ml. จากนั้นเขย่าเป็นเวลา 1 นาที เติมละลายอิมิตัว Potassium iodide 0.5 ml. เขย่าและเก็บไว้ในที่มืด 1 นาที
- 2) เติมน้ำกลั่น 75 ml. เพื่อยับยั้งปฏิกิริยา พร้อมทั้งเขย่าให้เข้ากัน
- 3) นำมาไตเตรทด้วยสารละลาย Sodium thioulphate จนได้สารละลายเกือบใส
- 4) เติมน้ำแปะง 1 ml. เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ ไตเตรทต่อจนได้สารละลายใส จนบันทึกปริมาตรที่แน่นอนพร้อมทั้งคำนวณหาค่า PV

สูตรการคำนวณ :

$$PV (\text{meq.O}_2 / \text{kg.}) = V \times N \times 1000 / W$$

V คือ ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (ml.)

N คือ normality ของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร (g.)

meq คือ milliequivalent

ข.8 การวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA)

- 1) ผสม 95% Ethanol 20 ml. เข้าด้วยกันในขวดชมพู่ขนาด 250 ml. เติม phenolphthalein ลงไป 5-6 หยด (สังเกตสารละลายมีสีหรือไม่ เพราะอะไร) นำไป ไตเตรท 0.01 M NaOH ค่อย เติมทีละน้อย และเขย่า หยดเมื่อสารละลายมี สีชมพูอ่อน แสดงว่าสารละลายเป็นกลางแล้ว
- 2) นำขวดที่ไตเตรทในข้อ 1 เรียบร้อยแล้ว ไปชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าในห้องเครื่องชั่ง ปรับให้เครื่องชั่งเป็น 0 g. จึงค่อยๆ เติมน้ำมันตัวอย่าง จนได้น้ำหนัก 1 g. จดน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปไตเตรทต่อด้วย 0.01 M NaOH จนได้สารละลายสีชมพูอ่อนคงตัว
- 3) จดปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ที่ใช้ในข้อ 2 แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ

การคำนวณ

สมมติให้น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ไตเตรท = A g.

ปริมาณของ 0.01 M NaOH ที่ใช้ไตเตรทที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมัน A g. = B ml.

ดังนั้น จำนวน NaOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมัน A g. = $B \times 10^{-3} \text{ L} \times 0.01 \text{ M (mol L}^{-1}\text{)}$

$$= B \times 10^{-3} \times 0.01 \text{ mol}$$

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันอิสระ = 282

ดังนั้น จำนวนกรดไขมันอิสระ (Oleic acid) ที่มี = $B \times 10^{-3} \times 0.01 \text{ mol}$


$$= 282 B \times 10^{-5} \text{ g.}$$

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = $\frac{B \times 10^{-5} \times 282 \times 10^2}{A}$






ดังนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระ = $\frac{B \times 282 \times 10^{-3}}{A}$

ภาคผนวก ค
ตารางผลการวิเคราะห์ค่าทางเคมี และกายภาพ

ตารางที่ ค.1 ลักษณะปรากฏของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ (ไคโตแซน:เคซีน) ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 1

อัตราส่วน (ไคโตแซน : เคซีน)	อัตราส่วน 1% กลีเซอรอล	ภาพ	ลักษณะปรากฏ
Control	1%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาวทั้ง 2 ด้าน มีความยืดหยุ่น
60:40	1%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่น
70:30	1%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่น
80:20	1%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่น
90:10	1%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่น

ตารางที่ ค.2 ลักษณะปรากฏของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ (โคโตะแซน:เคซีน) ที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 2

อัตราส่วน (โคโตะแซน : เคซีน)	อัตราส่วน 2% กลีเซอรอล	ภาพ	ลักษณะ
Control	2%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาวทั้ง 2 ด้าน มีความยืดหยุ่นมาก ขาดง่าย
60:40	2%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่นมาก
70:30	2%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่นมาก
80:20	2%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่นมาก
90:10	2%		สีน้ำตาล โปร่งใส ผิวมันวาว 1 ด้าน ผิวหยาบ 1 ด้าน มีความยืดหยุ่นมาก