

การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดย่อยสลายได้ระหว่างไคโตซาน
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์



นายฉัตรชัย ลิ้มอุไร
นางสาวพัชรา ศรีธีระทรัพย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43921
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

Study of Polymer Blend Films from
Chitosan, Poly(Vinyl Alcohol) and Ester-Modified Starch



Mr. Chatchai Limurai
Miss Patchara Sriteerasup

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดย่อยสลายได้ระหว่างโคโตะซาน
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์

โดย นายฉัตรชัย ลิ้มอุไร
นางสาวพัชรา ศรีธีระทรัพย์

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.อนุวัตร แจ่มชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี



(ดร.ปยุตต์มา ศรีพันธ์โนน)

ประธานกรรมการ




(ดร.ภัททาวุธ มนต์วิเศษ)

กรรมการ



(ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด)

กรรมการ



(ผศ.ดร.อนุวัตร แจ่มชัด)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดย่อยสลายได้ระหว่าง
ไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งชนิดปรับปรุง
ด้วยเอสเทอร์

นักศึกษา นายฉัตรชัย ลิ้มอุไร รหัสประจำตัว 41052016
นางสาวพัชรา ศรีธีระทรัพย์ รหัสประจำตัว 41052061

ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์

ภาคเคมี สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ ผศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด
ผศ.ดร. อนุวัตร แจ่มชัด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

พอลิเมอร์จากธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน และแป้ง มีมากมายในธรรมชาติ มีใช้ไม่หมดสิ้น และมีสมบัติเด่นหลายประการ สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย อย่างไรก็ตาม ฟิล์มพอลิเมอร์เหล่านี้มีข้อจำกัดคือ มีสมบัติเชิงกลต่ำ ฟิล์มเปราะ ขาดง่าย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์ผสมชนิดรับประทานได้ระหว่างไคโตซาน (Chitosan, CHI) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVOH) และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (Ester Modified starch, MST) เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ โดยทำการศึกษาฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมแต่ละคู่ ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบจากสารละลาย (Solution casting) เสนอที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ เช่น อัตราส่วนผสม ชนิดของพอลิเมอร์ผสม ฯลฯ โดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อน เพื่อให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติที่ดี สามารถประยุกต์ใช้งานต่างๆได้ เช่น ฟิล์มเคลือบผลิตผลทางการเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บ หรือฟิล์มห่อหุ้มชนิดรับประทานได้ (Edible film) พบว่าในพอลิเมอร์ผสม PVOH/MST ฟิล์มที่เตรียมได้มีความไม่เข้ากัน (Immiscible) โดยสมบัติเชิงกลจะลดลง เมื่อปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ส่วนในพอลิเมอร์ผสม CHI/MST นั้น พบว่าเป็นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมแบบเข้ากันได้ (Miscible) ซึ่งอัตราส่วนที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดคือ CHI/MST 50/50 และนอกจากนี้ ยังพบว่า อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม PVOH/MST ที่ 95/5 จะมีคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Study of Polymer Blend Films from Chitosan,
Poly(Vinyl Alcohol) and Ester-Modified Starch

Names Mr. Chatchai Limurai Code 41052016
Miss Patchara Sriteerasup Code 41052061

Special Project Advisors Asst.Prof.Dr.Ittipol Jangchud
Asst.Prof.Dr.Anuvat Jangchud

Department Chemistry

Academic Year 2001

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Natural polymers, such as chitin-chitosan and starch, are naturally abundant, renewable, and showing many advantages. They can be used in several applications. However, these polymer films have some drawbacks including low mechanical properties, i.e., brittle and low tear strength. This research work involved a study of polymer blends as edible films made from chitosan (CHI), polyvinyl alcohol (PVOH), and ester-modified starch (MST) in order to improve properties of these polymer blend films. Each pairs of the blends was shaped into films by solution casting technique. Then the films were characterized for their properties including physical, mechanical, and thermal properties. Some factors affecting film properties were studied, such as, blend ratios, pairs of the polymer blends, etc. The ultimate goal is to produce a film with good overall properties in order to be used as coating film to prolong shelf-life and edible film, etc. It was found that polymer blends between PVOH and MST were immiscible films. Mechanical properties of the blends were decreased as modified starch content was increased. The polymer blends between CHI and MST were found to be miscible. At ratio CHI/MST 50/50 is the best of mechanical properties. The blend ratio of 50/50 (CHI/MST) had better mechanical properties compared to others. It was found that the PVOH/MST blend at 95/5 showed the optimum water vapor permeability and oxygen permeability.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการจะสำเร็จลุล่วงไม่ได้เลย ถ้าปราศจาก คณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ผู้มีพระคุณ ยิ่ง ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้ จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

- ผศ. ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด และความอดทนที่มีให้รอยยิ้ม และเสียงหัวเราะที่ทำให้กำลังใจตลอดเวลา

- ผศ. ดร.อนุวัตร แจ่มชัด ให้คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆเป็นอย่างดี

- ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม. เกษตรศาสตร์ ที่ให้ความ อนุเคราะห์ทำการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านไอน้ำ และออกซิเจนให้

- บริษัทสยามมอดิไฟด์ สตาร์ช จำกัด ให้ความเอื้อเฟื้อแบ่งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์

- พี่ พรรณี สุมิตร ให้ความเอื้อเฟื้อข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้

- คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน

- เพื่อนๆ และพี่ๆทุกคน สำหรับความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้หากขาดรายชื่อบุคคลที่มีพระคุณท่านใดนอกเหนือจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอ อภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย ท่านล้วนเป็นส่วนหนึ่งของโครงการพิเศษนี้

นายฉัตรชัย ลิ่มอุไร

นางสาวพัชรา ศรีธีระทรัพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากโครงการพิเศษ	3
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ไคตินและไคโตซาน	8
2.1.1 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน	8
2.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคติน-ไคโตซาน	12
2.1.3 วิธีใช้ไคติน-ไคโตซาน	14
2.1.4 การทำงานของไคติน-ไคโตซาน	14
2.1.5 ปัจจัยทางเคมีและกายภาพที่ผู้ซื้อต้องคำนึงเพื่อจะนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ	15
2.1.6 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานไคโตซาน	15
2.1.7 อนาคตและการประยุกต์ใช้งานไคโตซาน	16
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	17
2.2.1 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์	18
2.3 แป้ง (Starch)	20
2.3.1 คุณสมบัติของแป้ง	21
2.3.2 คุณสมบัติของแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	25
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	27
การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DMTA	28
การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ	29
การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	33
4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	33
4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	33
4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	42
4.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปการวิจัย	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก ก	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติบางประการของไคตินและไคโตซาน	15
3.1 สมบัติบางประการของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	25
3.2 สมบัติบางประการของไคโตซาน	26
3.3 สมบัติบางประการของแป้งชนิดปรับปรุงที่ใช้ในการทดลอง	26
3.4 แสดงเวลาในการทำงานวิจัย	32
4.1 ค่า Tg ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	42
4.2 ค่า Tg ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับ แป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	43
4.3 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิด ปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	44
4.4 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และค่าการซึมผ่าน ของก๊าซออกซิเจน ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	46
4.5 ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และค่าการซึมผ่านของไอน้ำของ ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	48
4.6 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และค่าการซึมผ่านของ ก๊าซออกซิเจน ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับ แป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	6
1.2 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดัดยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	6
1.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	7
2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน	9
2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	9
2.3 การจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของผลึกไคโตซาน	11
2.4 แบบจำลองการเปลี่ยนโครงสร้างไคโตซานจากผลึกที่มีน้ำ (Hydrated chitosan) เป็นผลึกที่ไม่มีน้ำ (Anhydrated chitosan)	11
2.5 ผลึกแบบสเฟียรูไลต์ (Spherulites) ของไคโตซาน	11
4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	34
4.2 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดัดยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	35
4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	36
4.4 กราฟแสดงค่ามอดุลัส (Modulus) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	37
4.5 กราฟแสดงค่า Work done ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	38
4.7 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดัดยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	39
4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	40
4.9 กราฟแสดงค่ามอดุลัส (Modulus) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	41
4.10 กราฟแสดงค่า Work done ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	41
4.11 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	44
4.12 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	47
4.13 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	49
4.14 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมประชากรส่วนใหญ่จึงมีรายได้หลักจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น พืช ผัก และผลไม้ เป็นต้น ปัจจุบันเกษตรกรไทยประสบปัญหามากมาย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาภัยธรรมชาติ อันได้แก่ น้ำท่วม และฝนไม่ตกตามฤดูกาล หรืออาจจะเกิดจากสาเหตุที่ป่วยและยารฆ่าแมลงมีราคาแพง ฯลฯ แต่ปัญหาที่รุนแรงที่สุด คือ ราคาผลผลิตตกต่ำ อันเนื่องมาจากการล้นตลาดของผลผลิต ซึ่งปัญหานี้ก็ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างทันท่วงที จึงเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดของประเทศชาติอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยตรง

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีผู้พยายามคิดค้นหาวิธีที่จะเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรต่างๆให้มีความสดเอาไว้ใช้ในฤดูแล้งด้วยวิธีต่างๆมากมาย แต่โดยมากวิธีที่คิดค้นได้นั้นให้ผลไม่คุ้มค่า เช่น เก็บมะนาวสดฝังไว้ในทรายชื้น วิธีเก็บไว้ในตู้เย็น หรือเคลือบผิวมะนาวด้วยแว็กซ์ (Wax) ซึ่งสามารถเก็บได้ไม่นาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องค้นหาวิธีที่คุ้มค่า และยังรักษาความสดของมะนาวให้เหมือนกับเก็บจากต้นใหม่ๆ ทั้งภายในและภายนอก

การใช้สารเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้สารเคลือบผิวมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมการคายน้ำที่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และอาการเหี่ยวเฉาของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการหายใจ และช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ด้วย สารเคลือบผิวผลไม้สด โดยทั่วไปนิยมใช้สารสังเคราะห์ที่ผลิต และจำหน่ายในรูปแบบใช้ที่สำเร็จรูป สูตรจึงเป็นความลับทางการค้า และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมักมีราคาแพง เมื่อนำมาเคลือบผลไม้จึงดูเหมือนกับการเพิ่มราคาของผลไม้ให้มีราคาสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาต่อการแข่งขันในตลาดโลก ดังนั้นการศึกษาหาแหล่งของสารเคลือบผิวจากธรรมชาติจึงน่าจะเป็นที่จะลดความเสียหายได้

ไคโตซาน (Chitosan) เป็นสารชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ทำสารเคลือบผิว เนื่องจากไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ที่เกิดจากการแยกหมู่อะซิetyl (Acetyl) ออกจากไคตินที่พบในธรรมชาติของเปลือกสัตว์พวกครัสเตเชีย (Crustacea) สามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 5.5 โดยมีสมบัติที่สำคัญ คือ นำมาขึ้นรูปให้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะใสเหนียวและยืดหยุ่น สามารถใช้ห่อหุ้มอาหารได้ ทนอุณหภูมิสูง และสามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีผลต่อการควบคุมกระบวนการหายใจและเผาผลาญอาหารของผลไม้ [1]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถละลายน้ำ การนำไปใช้ประโยชน์แบ่งกว้างๆ ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การละลายน้ำได้และทนต่อแรงดึงสูง จึงใช้เป็นตัวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยให้กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันและแขวนลอยขั้นขึ้น (เรียกว่าใช้เป็น Thickening agent) ใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มบรรจุของที่ละลายน้ำได้ เช่น ลีเยียมผ้า ยาฆ่าเชื้อแมลง ทำน้ำยาถอดแบบในอุตสาหกรรมพลาสติกหล่อ ฯลฯ ส่วนการใช้ประโยชน์อีกลักษณะหนึ่งคือ สารยึดติด (Adhesive) ถ้าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยาเคมีแล้ว จะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนจากละลายน้ำเป็นไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงนำไปใช้อุตสาหกรรมเส้นใยผ้าเป็นหลัก โดยนำพอลิเมอร์ไปปั่นแบบเปียก (Wet spun) เป็นเส้นเข้าไปยังสารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้นที่มีกรดซัลฟูริก และฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย ประมาณ 0.333 ของหมู่ -OH ของพอลิเมอร์นี้เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล (Formal, CH₂O) ได้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีลักษณะเหนียว และมีค่าความแข็งแรงสูง [2]

แบ่งในการผลิตหมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ และมีสิ่งอื่นเจือปนเช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแบ่งที่มีการสกัดเอาสารสิ่งเจือปนพวกนี้ออกแล้วจะเรียกว่า แป้ง (Starch) จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างของเม็ดแป้งมีรูที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งที่สามารถให้น้ำและโมเลกุลเล็กๆผ่านได้ เป็นส่วนอณูฐานที่แทรกเข้าไปในเม็ดแป้งเกิดเป็นเจล (Gel phase) อยู่ระหว่างช่องของจำนวนผลึกที่ขนานกัน คุณสมบัติของแป้งจะมีการดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลายเมื่อให้ความร้อน การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) จะได้แป้งที่มีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบและคงความหนืดไว้ได้ดี มีลักษณะเป็นเจลใส คงตัวต่ออุณหภูมิต่ำในสภาวะการแช่แข็งและละลาย

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซาน (Chitosan, CHI) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVOH) และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (Ester Modified starch, MST) เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ โดยทำการศึกษาฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมแต่ละคู่คือ CHI/PVOH CHI/MST และ PVOH/MST ขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบจากสารละลาย (Solution casting) เสนอที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ เช่น อัตราส่วนผสม ปริมาณสารเติมแต่ง ฯลฯ โดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยา เพื่อให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติที่ดี สามารถประยุกต์ใช้งานต่างๆได้ เช่น ฟิล์มเคลือบผลิตผลทางการเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บ หรือฟิล์มห่อหุ้มชนิดรับประทานได้ (Edible film)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมของไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ให้อยู่ในรูปของฟิล์มที่มีสมบัติที่ดี
2. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการพิเศษ

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสมบัติของไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ ที่นำมาใช้ในการทดลอง
3. ศึกษาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม
4. ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากโครงการพิเศษ

1. ทราบถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ ที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด
2. สามารถประยุกต์ใช้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ได้กับการประยุกต์ใช้แบบต่างๆ เช่น
 - ฟิล์มเคลือบผลผลิตทางการเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เช่น ผัก ผลไม้ ฯลฯ
 - ฟิล์มห่อหุ้มชนิดรับประทานได้ (Edible film)
3. ช่วยลดปัญหาการกำจัดกากของเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู ฯลฯ

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับไคโตซานโดยตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

Jin Xu, Stephen P. McCarthy และ Richard A. Gross [3] ศึกษาฟิล์มไคโตซานด้วยเทคนิคมัลติเพล็กซ์อินเทอร์เฟอเมทรีฟลูออเรสเซนซ์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Multiple internal reflective Fourier transform infrared spectroscopy) ให้ผลคือ NH_2 1590 cm^{-1} , amide II ที่ 1555 cm^{-1} และเอสเทอร์ที่ 1735 cm^{-1} ทำให้ทราบการอะซิติกเลชันที่พื้นผิวตรงหมู่อะมิโน จากนั้นนำไปทำการอะซิติกเลชันของไคโตซานโดยใช้กรดอะซิติก 52% และหลังจากนั้นได้นำไคโตซานฟิล์มที่ได้ไปศึกษาการสลายตัวทางชีวภาพพบว่า ไคโตซานฟิล์มที่ทำการอะซิติกเลชันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะสลายตัว 100% โดยน้ำหนักในเวลา 28 วัน ส่วนไคโตซานที่ไม่ได้ทำการขึ้นรูปนั้นต้องใช้เวลามากกว่าคือ 35 วัน

ไพโรจน์ โสภณโณตร สุทรวัดณ์ เบญจกุล และวิคเนตร พระพุทธ [4] ทำการศึกษาไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว โดยใช้สารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.25 เคลือบผิวมะนาวที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำผสมสารป้องกันเชื้อราสามารถยืดระยะเวลาการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเวลา 24 วัน และ 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน เมื่อทำการเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิห้อง และที่ 11 องศาเซลเซียส ส่วนการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวพบว่า การเคลือบผิวมะนาวด้วยไคโตซานให้ผลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยที่คุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาวที่ได้ยังคงใกล้เคียงกับคุณภาพตอนเริ่มต้น

ปริศา จิตตารมย์ [5] ศึกษาคุณสมบัติของการเคลือบผิวสำหรับส้มเขียวหวาน ที่เตรียมได้จากไซ 2 ชนิดคือ คาร์นูบา (Carnauba) เข้มข้น 0-15% และเชลแลค (Shellac) เข้มข้น 0-20% พบว่า Carnauba สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ถึง 60% ซึ่งจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นและไม่จำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซของผลส้ม ทำให้ O_2 และ CO_2 ภายในผลรวมทั้งปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) ในช่องว่างบริเวณเหนือผลส้มกับเปลือกส้ม (Head space) ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ Shellac สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้เพียง 20% และไม่ต่างกันในทุกความเข้มข้น แต่มีสมบัติการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซของผลส้มได้ดีสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้น สอดคล้องกับปริมาณ Ethyl alcohol ใน head space ซึ่งมีมากกว่าปกติ การเคลือบผิวส้มด้วยสารทุกชนิดและความเข้มข้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Soluble solid (SS), กรดที่ไทเทรตได้ (TA)

V.L. Alexeev, E.A. Kelberg และ G.A. Evmenento [6] ทำการศึกษาและปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มไคโตซานโดยการเติม Poly(ethylene oxide) (PEO) การเตรียมฟิล์มทำได้โดยผสมไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติก และ PEO พบว่าอัตราส่วนระหว่างไคโตซานกับ PEO 5% โดยน้ำหนักจะให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานบริสุทธิ์ และศึกษาถึงสมบัติความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) ของฟิล์มจากการแยกตัวภาคระหว่างไคโตซานกับ PEO โดยใช้ Small angle neutron scattering (SANS) พบว่า อัตราส่วน 5% โดยน้ำหนัก มีความเป็น Heterogeneous ที่น้อยที่สุด ทำให้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็น Biomedical ได้

Emir Baki Denkbasa และ Mehmet Odabasi [7] ทำการเตรียมไคโตซานไมโครสเฟียร์ โดยใช้เทคนิคการแขวนลอยให้ขนาดของรูอยู่ในช่วง 30-700 ไมโครเมตร โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมโยง จากการทดลองพบว่า มีตัวแปรที่มีผลต่อการเตรียมคือ อัตราเร็วในการปั่นกววน อัตราส่วนของไคโตซานกับกรดอะซิติก ตัวอิมัลซิฟายเออร์ และปริมาณสารเชื่อมโยง โดยพบว่าจะมีผลต่อการกระจายตัว อัตราการปั่นกววนที่เหมาะสมคือ 1000-2000 rpm และพบว่าเมื่อลดปริมาณของสารเชื่อมโยงลงจะทำให้การบวมตัวของไมโครสเฟียร์เพิ่มขึ้น

J.H. Kim และ Kea Young Kim [8] ทำการศึกษามวลและลักษณะการบวมตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซานเมมเบรน (Membrane) ที่เชื่อมโยงด้วยกลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) โดยใช้เทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solvent casting) และศึกษาสมบัติโดยใช้การอินฟราเรด (Infrared) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-ray diffraction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) พบว่าเมื่อทำการเชื่อมโยงแล้วเมมเบรนมีความเป็นผลึกต่ำ และเอนทัลปีรวมตัวน้อย ซึ่งค่าการรวมตัวจะขึ้นกับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ด้วย แต่สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้น แต่การเชื่อมโยงจะลดความสามารถในการรวมตัวของเมมเบรน เพราะการเชื่อมโยงทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ และหมู่อะมิโนในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และไคโตซานลดลง จึงสามารถนำมาประยุกต์เพื่อควบคุมการปลดปล่อยได้

T.Kayano, N. Koshizaki และ N. Minoura [9] ทำการศึกษาพื้นผิวไฮโดรเจลระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (Electron Microscope) วิเคราะห์โดยใช้ไคโตซานในอัตราส่วนตั้งแต่ 10-40% โดยน้ำหนักผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พบว่า เมื่อปริมาณของไคโตซานมากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำบนไฮโดรเจลมีมุมสัมผัส (Contact angle) สูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของไคโตซานมีขั้วน้อยกว่าโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ค่าเซตาโพเทนเชียล (Zeta potential) เพิ่มขึ้นเป็นค่าคงที่เมื่อปริมาณของไคโตซานสูงขึ้นมากกว่า 10% โดยน้ำหนักและการวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโพรบไมโครสโคป (Electron-probe microscope) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวแบบ 2 ทิศทาง (2-Dimensional) ของไคโตซานที่เป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวที่สัมผัสกับอากาศพบว่า ไคโตซาน 15% โดยน้ำหนักมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) ซึ่งผลจาก Laser-SAN microscope ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

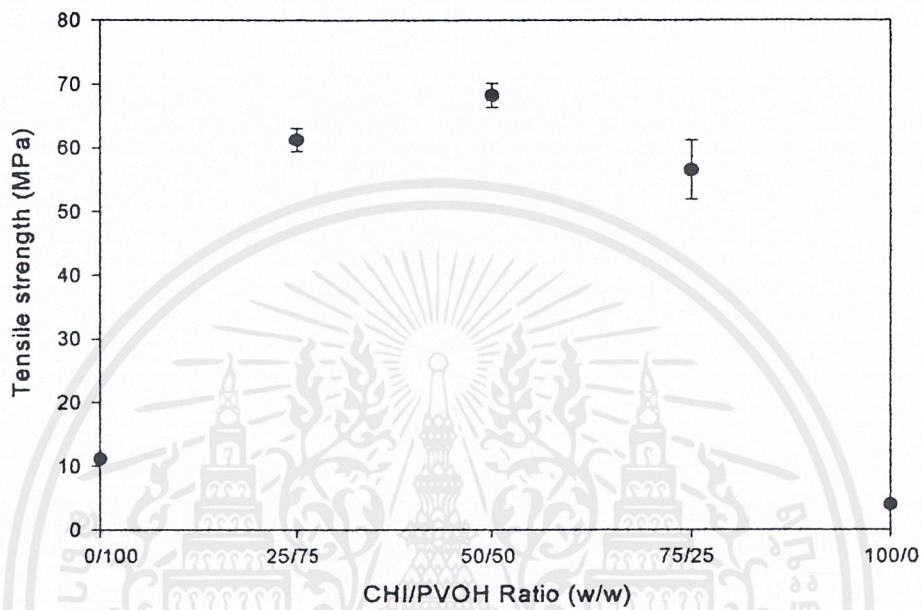
Miya [10] รายงานการเตรียมฟิล์มผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานในการนำไปใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านแบบไดอะไลซิส (Dialysis) ว่าฟิล์มผสมแสดงค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงสุดที่ 15-30% ไคโตซานและผลการทดลองจากรามาน (Raman) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (Electron Microscope) แสดงให้เห็นถึงอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานในฟิล์มผสม

M.Mucha [11] ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นซีลที่ทำจากโพลีเมอร์ผสมของ CHI PVOH และ Starch เป็นสารตัวเติมพบว่ามีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

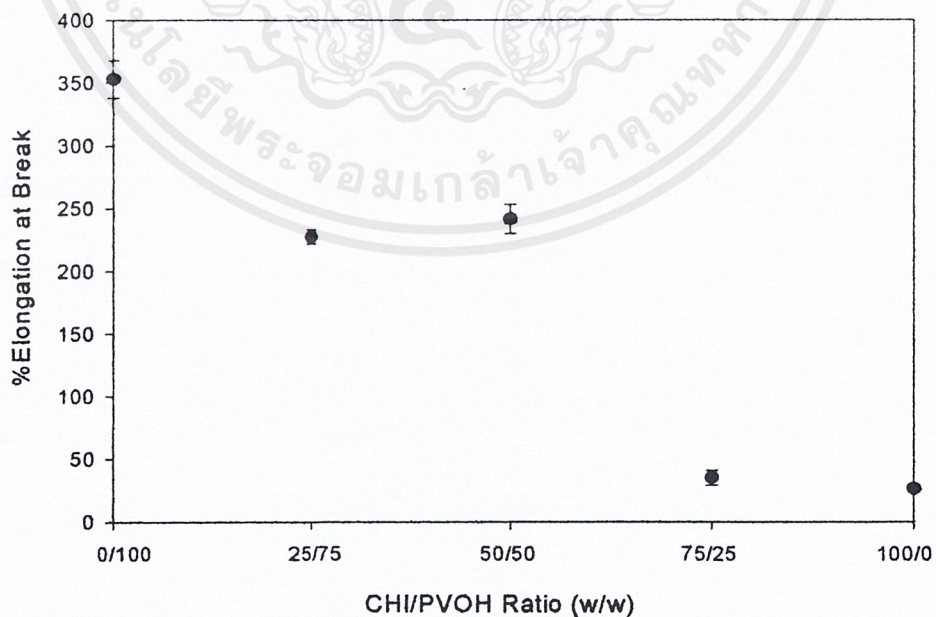
I. Arvanitoyannis, E. Psomiadou, A. Nakayama, S. Aiba & N. Yamamoto [12] ทำการศึกษาฟิล์มที่รับประทานได้โดยใช้เจลาตินผสมด้วยสารละลายแป้งและกลีเซอรอล โดยใช้วิธีการหล่อ 2 วิธี ได้แก่ การหล่อที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ โดยจะได้ค่าความแข็งแรงยืดหยุ่นและค่าความแข็งแรงดึงลดลง 50% จากเดิม ที่ปริมาณแป้ง 30% โดยค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเจลาตินเพิ่มขึ้น

ศิลมน ชัยภักดิ์, สุชาติ บุญญาเดช, ศุภกิจ โหศิริ [13] ทำการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นฟิล์มเคลือบผิวมะนาวยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น โดยทำการทดลอง ณ อุณหภูมิห้องที่ 5 ด้ส่วนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโตซานต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดังนี้ 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 และ 100/0 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าที่สัดส่วนของโคโตซานต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50/50 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานที่สุด อีกทั้งมีแนวโน้มค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) สูงที่สุด

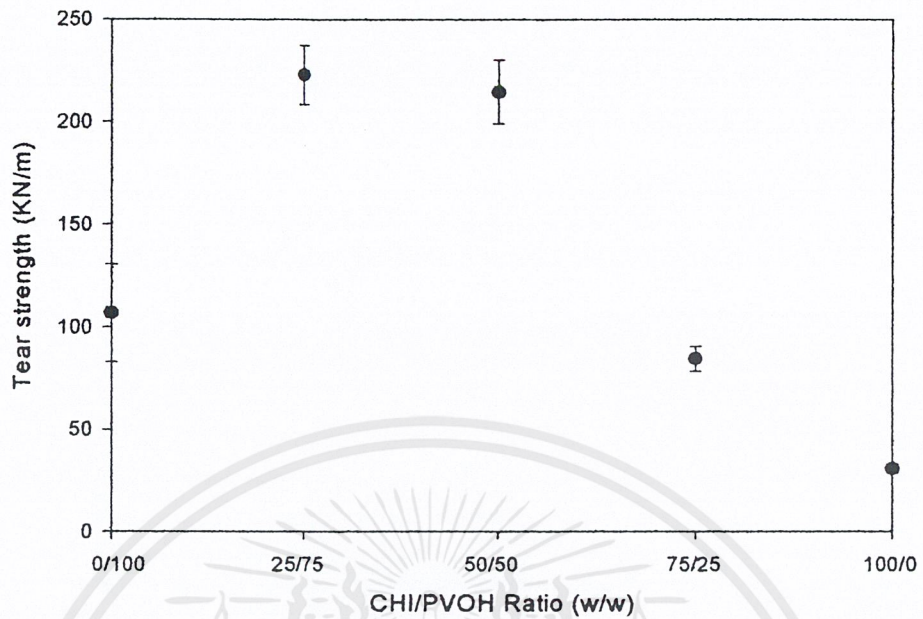


รูปที่ 1.1 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVOH)



รูปที่ 1.2 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไคตินและไคโตซาน

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่ธรรมชาติได้สร้างสรรให้กับสิ่งมีชีวิตมากมายในหลายรูปแบบ ไคตินได้รับการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดย Odier คำว่า ไคติน (Chitin) มาจากคำว่า Chiton ในภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่าเกราะหุ้ม (Foster and Webber , 1960 ,Shahidiet al., 1999) ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) พอลิเมอร์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตนอกจากนี้อาจพบในผนังเซลล์ของเห็ดและสาหร่ายบางพันธุ์

ไคตินบริสุทธิ์เป็นวัสดุสีขาวเหมือนเยื่อกระดาษ ไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง (Dilute acid) อัลคาไลน์ (ทั้งเข้มข้นและเจือจาง) และตัวทำละลายอินทรีย์ใดๆ แต่ละลายใน Anhydrous formic acid , สารละลายไฮโปคลอไรต์และใน Mineral acid เข้มข้น [14] โดยสมบัติของไคตินและไคโตซานขึ้นกับปริมาณการเกิดปฏิกิริยา Deacetylation

ไคโตซาน (Chitosan) เป็นพอลิเมอร์สารพัดประโยชน์ที่สังเคราะห์ได้จากไคติน (Chitin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) มีหน่วยที่ซ้ำๆ กันคือ อะซิตาลกลูโคซามาน (N-Acetylglucosamine) ไคตินพบมากในเปลือกแข็งของสัตว์ทะเลและแมลงเช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู ฯลฯ เราสามารถเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตซานได้โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีกำจัดหมู่อะซิetyl (Acetyl) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาดีอะซิetylเลชัน (Deacetylation)

การสกัดไคตินจากเปลือกสัตว์ทะเลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

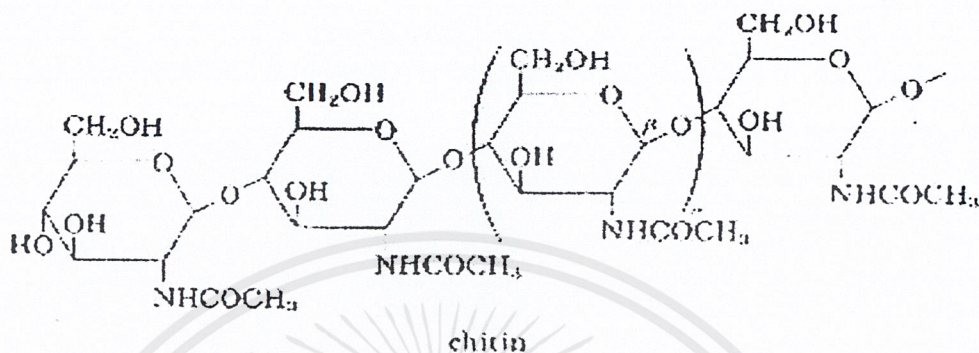
1. การกำจัดแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต หรือหินปูน ด้วยสารละลายกรด
2. การกำจัดโปรตีนจากการที่เหลือด้วยสารละลายต่าง ไคตินที่แยกได้จะถูกนำไปตัดแปลงด้วยวิธีทางเคมีอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ไคโตซานตามที่ต้องการ

2.1.1 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ของ N-acetyl-2-amino-deoxy-D-glucose โครงสร้างผลึกของไคตินศึกษาโดยใช้ X-ray Diffraction และ Infrared Absorption Spectra ผลึกเป็น Orthorhombic ปกติไคตินจะมีในโตรเจนประมาณ 5-10 % โดยน้ำหนัก ไคตินที่ผ่านการทำปฏิกิริยา Deacetylation จะได้เป็นไคโตซานที่เป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพอลิเอไมด์สายโซ่ตรง (Linear polyamine) มีหมู่เอมีนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีและอยู่ในรูปเกลือเมื่ออยู่ในสภาวะกรด

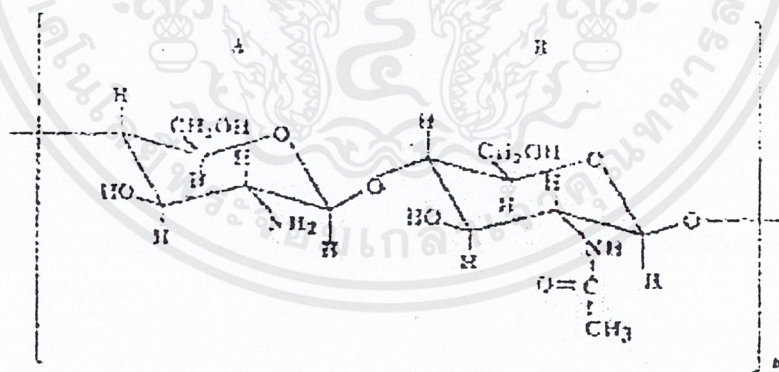
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำข้อมูลไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแม้ว่าไคตินและไคโตซานมีพันธะ $[\beta(1\rightarrow4)]$ แอนไฮโดรกลูโคซิดิก $[\beta(1\rightarrow4)$ Anhydroglucosidic] ที่ตำแหน่ง C_1 และ C_4 และตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลตรงตำแหน่งคาร์บอนปฐมภูมิ [Primary (C_6)] และตำแหน่งคาร์บอนทุติยภูมิ [Secondary (C_3)] เหมือนในเซลลูโลส ซึ่งจะแสดงโครงสร้างของไคตินดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน [14]

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์รูปหนึ่งของไคติน มีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับไคติน แต่ปราศจากหมู่อะซิติก (Acetyl groups) หรือมีบางส่วนขึ้นกับองศาของการดีอะซิทิเลชัน (Degree of Deacetylation, DD) โครงสร้างประกอบด้วย 2-Acetamide-2-deoxy- β -D-glucopyranose (GlcNac, A) และ 2-Amino-2-deoxy- β -D-glucopyranose (GlcN, D) ต่อกัน ดังรูปที่ 2.2



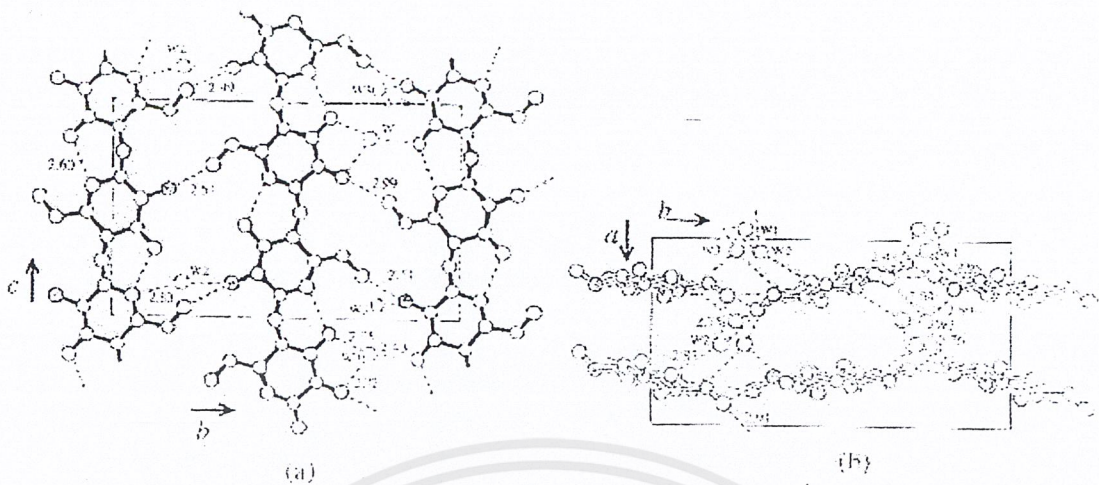
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน อัตราส่วนของ A และ B ขึ้นกับองศาของการดีอะซิทิเลชัน (Degree of Deacetylation, DD) ปกติแล้ว DD จะมีค่ามากกว่า 75 % หมายความว่า มีโครงสร้าง A 75 % B 25 % โดยที่ n มีค่าประมาณ 1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ทางชีวภาพที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรงคล้ายกับเซลลูโลส เนื่องจากไคตินและไคโตซานพบในเปลือกสัตว์ทะเล เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู ฯลฯ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ผลิตได้จากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมประมงเป็นส่วนใหญ่ พบว่าในเปลือกสัตว์ทะเล ประกอบด้วย ไคติน 20-30 % โปรตีน 30-40 % และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 30-50 % อัตราส่วนนี้ไม่แน่นอนขึ้นกับพันธุ์สัตว์ทะเลและฤดูกาล นอกจากนี้ยังขึ้นกับวิธีการกรรมวิธีหรือกระบวนการแยกไคตินออกจากเปลือกสัตว์ ดังนั้นสมบัติต่างๆของไคตินและไคโตซานจึงหลากหลายและไม่แน่นอน เช่น น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, MW) องศาการดีอะซิไทเลชัน (Degree of deacetylation, DD) ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดจับสี (Dye binding capacity, DBC) และความสามารถในการดูดจับน้ำและไขมัน (Water and Fat Binding Capacity, WBC, FBC)

จากการศึกษาโครงสร้างของไคโตซานพบว่า ไคโตซานอยู่ในรูปผลึกที่มีน้ำอยู่ในโครงสร้าง (Hydrated crystalline form) ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นโครงสร้างที่ไม่มีน้ำ (Anhydrated form) โดยการให้ความร้อนหรือแอนนิง (Annealing) [15] พบว่าโครงสร้างของไคโตซานที่ไม่มีน้ำเป็นโครงสร้างแบบเกลียวสองเส้นพันกัน (2-fold helical conformation) มีระยะระหว่างหน่วยซ้ำๆกัน 10.34 แองสตรอม และยูนิตเซลล์แบบออร์โธโรมบิก (Ortho rhombic) จากการศึกษาโครงสร้างไคโตซานแบบมีน้ำพบว่า โครงสร้างคล้ายกันยูนิตเซลล์ประกอบด้วยสายโซ่ไคโตซาน 4 โมเลกุล และมีน้ำ 8 โมเลกุล [16] มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลข้างเดียวทำให้เกิดโครงสร้างเป็นแผ่นตามระนาบ "bc" ดังรูปที่ 2.3 รูปโครงสร้างโมเลกุลไคโตซานเมื่อสูญเสียโมเลกุลน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 จากการที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดผลึกของไคโตซานพบว่า ไคโตซานสามารถเกิดผลึกก้อนกลมหรือ สเฟียรูไลต์ (Spherulites) ดังรูปที่ 2.5 ลักษณะผลึกจะขึ้นกับหลายปัจจัยเช่น อุณหภูมิตกผลึก pH และอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นต้น

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่มีขั้วชอบน้ำ (Hydrophilicity) ว่องไวต่อสารเคมีสูง ละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง (เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก ฯลฯ) แต่ไม่ละลายในสารละลายต่าง สามารถหล่อแบบ (Casting) ทำเป็นฟิล์มหรือเยื่อเลือกผ่านได้ง่าย [17] ไคโตซานมีสมบัติที่หลายประการเช่น สมบัติการดูดจับโลหะหนัก ฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถยึดเกาะได้ดีกับประจุลบ ไม่มีพิษ (Nontoxicity) และเข้าได้ดีกับชีวภาพ (Biocompatibility)



รูปที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของผลึกไคโตซาน (a) มองตามแนวแกน a (b) มองตามแนวแกน c ก้อนกลมระบายสีคือ อะตอมของไนโตรเจน [15]



รูปที่ 2.4 แสดงแบบจำลองการเปลี่ยนโครงสร้างไคโตซานจากผลึกที่มีน้ำ (Hydrated chitosan) เป็นผลึกที่ไม่มีน้ำ (Anhydrous chitosan) แสดงการหายไปของพันธะไฮโดรเจน [16]



รูปที่ 2.5 แสดงผลึกแบบสเฟียรูไลต์ (Spherulites) ของไคโตซาน [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโคซานมีสมบัติการดูดซับโลหะหนักได้ดี เพราะโครงสร้างโคโคซานมีหมู่อะมิโนในรูปรับโปรตอนทำหน้าที่เป็นตัวจับประจุที่ดีสามารถเกิดพันธะเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะกับหมู่อะมิโนได้ เช่น สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม สามารถยึดเกาะได้ดีกับประจุลบ ไม่มีพิษ เข้าได้ดีกับชีวภาพ ใช้เป็นสารเคลือบผิวผลไม้และผัก เพื่อลดการสูญเสียและยืดอายุการใช้งาน

2.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโคติน-โคโคซาน

2.1.2.1 การละลาย (Solubility)

โคตินไม่ละลายน้ำ กรดเจ็จจาง ต่างเจ็จจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) เข้มข้น กรดฟอสฟอริก (78-97%) กรดฟอร์มิก (Anhydrous formic acid) และ DMAc-LiCl (N,N-Dimethylacetamide-Lithiumchloride) ความยากในการละลายของโคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลมาจากสายโซ่ที่อยู่กันหนาแน่นมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน (หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะซิตามิโด) โคโคซานไม่สามารถละลายน้ำต่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายโคโคซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และ กรดฟอสฟอริก สามารถละลายโคโคซานได้เช่นกันภายใต้การคนกวนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายโคโคซานมีความเหนียวใส มีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ในสารละลายหมู่อะมิโนของโคโคซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ขึ้นกับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดย pK_a ของโคโคซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2-6.8

2.1.2.2 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

โคตินในธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 1×10^6 ในขณะที่โคโคซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^5 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต

2.1.2.3 Degree of deacetylation (DD)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นโคติน-โคโคซาน เนื่องจากโคติน-โคโคซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง 2 มอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์แรกมากกว่า คือมีค่า Degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของโคติน แต่

ถ้าสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่สองมากกว่า คือมีค่า Degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

2.1.2.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับหลายอย่าง เช่น Degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น Ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้น เมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.1.2.5 ความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการสลายพันธะแบบไฮโดรไลซิส (Hydrolysis heat of activation)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาการสลายพันธะที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สายโซ่พอลิเมอร์ของไคติน มีลักษณะเช่นเดียวกับเซลลูโลสคือ เป็นพันธะ Glycosidic linkage แบบ $\beta(1 \rightarrow 4)$ ดังนั้นไคตินจึงมี Hydrolytic heat of activation 29 kcal

2.1.2.6 การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคติน-ไคโตซาน เหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์ทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลาย จะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ หรือโอลิโกแซคคาไรด์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่ามอนอเมอร์ หรือมอนอแซคคาไรด์ โอลิโกเมอร์ หรือโอลิโกแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-chitooligosaccharide และ Chitooligosaccharides ตามลำดับ ส่วนมอนอเมอร์ หรือมอนอแซคคาไรด์ ของไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ

- การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม จะได้โอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆกัน และมอนอเมอร์ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินจะสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

- การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของพอลิแซคคาไรด์ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Peeling reaction

- การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบ ซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง ที่อุณหภูมิน้อยกว่า หรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น Glass transition temperature (Tg) ลดลง ความสามารถในการละลายไคโตซานเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้ง ที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ไคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่อุณหภูมิสูงกว่า หรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายไคโตซานจะลดลงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่า หรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไคโตซานจะไม่ละลายในกรดอะซิติก (0.2 M) ต่อดีเอมอะซิเตต (0.1 M) สำหรับเรื่องการอบแห้งโดยใช้ไอร้อนไคโตซานจะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังการอบที่อุณหภูมิมากกว่า หรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การอบที่อุณหภูมिन้อยกว่า หรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

2.1.3 วิธีใช้ไคติน-ไคโตซาน

โดยปกติจะใช้ไคตินเป็นรูปของแข็งโดยบดเป็นผงหรือนำไปละลาย เพื่อตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพก่อน หรือนำไปละลายในสารผสมของไดเมทิลอะเซตาไมด์ (DMAC), เอ็นเมทิลไพโรลิโดน (NMP) ในลิเทียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารมีพิษสูง

ส่วนไคโตซานมักถูกนำไปใช้ทั้งในรูปของแข็งและสารละลาย โดยละลายไคโตซานด้วยกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดแลกติก กรดกลูตามิก ฯลฯ จนได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวใส จากนั้นจึงนำไคโตซานไปใช้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ

2.1.4 การทำงานของไคติน-ไคโตซาน

ไคติน-ไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวสร้างตะกอน (ทำหน้าที่กระตุ้นให้เศษของเสียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและตกเป็นตะกอนลงมา) และตัวตกตะกอน (ทำหน้าที่จับกับสารแขวนลอยในน้ำและตกตะกอนลงมา) ในตัวเดียวกัน เนื่องจากไคโตซานมีหมู่อะมิโนที่สามารถแตกตัวให้ประจุบวก จึงทำให้ประจุลบอย่างโปรตีน สีย้อม กรดไขมันอิสระ คอเลสเตอรอล เข้ามาเกาะประจุบวกของไคโตซาน ส่วนโลหะเป็นประจุบวก ไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนกับโลหะหนักในน้ำทำให้เกิดพันธะเคมีที่เรียกว่าพันธะเชิงซ้อน (Co-ordinate) ขึ้นมา และจากการทดลองพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานจะสามารถจับกับโลหะหนักในน้ำได้ดีกว่าหมู่ซัลไฟด์ของไคติน ดังนั้นค่า Degree of deacetylation จะมีผลมาก โดยถ้ามีค่าสูงจะมีการดูดซับโลหะหนักได้มาก แต่ถ้าค่านี้ต่ำการดูดซับโลหะหนักก็จะไม่ดีขึ้นไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ปัจจัยทางเคมีและกายภาพที่ผู้ซื้อต้องคำนึงเพื่อจะนำไปใช้งานได้ตามที่ต้องการ

- Degree of deacetylation (%)
- ความชื้น (%)
- ปริมาณเถ้า (Ash content %)
- ปริมาณโปรตีน (Protein content %)
- ความหนืด (Viscosity, centi-poise, cp)
- น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, g/mol)

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติบางประการของไคตินและไคโตซาน [18]

Specification	ไคติน	ไคโตซาน
น้ำหนักโมเลกุล	$>10^6$	$(1-5) \times 10^5$
%ความชื้น	2-10	2-10
%ไนโตรเจน	6-7	7-8.4
Deacetylation, %	10	60
ปริมาณเถ้าที่ 900 องศาเซลเซียส mPa.s (Cp)	<1.0	<1.0
Dissociation constant, K_a	6.0-7.0	6.0-7.0
X-ray diffraction, peaks	8°58'-10°26' 19°58'-20°00'	8°58'-10°26' 19°58'-20°00'
Transition metals, $\mu\text{g/g}$	<5.0	<5.0

2.1.6 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานไคโตซาน

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่มีประโยชน์มากมาย และได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิทยาศาสตร์และประชาชนผู้บริโภคทั่วไป เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายการใช้งาน เช่น

• ไคโตซานกับการแพทย์ยุคใหม่

- เร่งให้แผลหายเป็นปกติได้เร็วขึ้น ลดความเจ็บปวด ลดอาการติดเชื้อ หยุดการไหลของเลือด ไม่ติดแผล ไม่มีผลกระทบและปฏิกิริยาต่อต้านของร่างกาย ช่วยในการรักษาลงผ่าตัดเหงือก พบว่า ไคโตซานแอสคอร์เบตเจสสามารถช่วยให้เกิดการเจริญของเซลล์และการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ ช่วยห้ามเลือดและลดการเกิดหินปูน [19-20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• **ไคโตซานกับภาคอุตสาหกรรม**

- ไคโตซานเป็นสารตรึงเอนไซม์ เวลาใช้ต้องทำให้ไคโตซานเกิดการก่อตัวเป็นเจล (โดยใช้สารพวกไพโรฟอสเฟต) ห่อหุ้มเอนไซม์ไว้ข้างในเราเรียกการตรึงนี้ว่า Entrapment ซึ่งจะช่วยในการลดการใช้เอนไซม์นั่นคือ จะกักเอนไซม์ไว้ทำปฏิกิริยาหลายๆรอบทำให้เอนไซม์ไม่เสียไปในระหว่างการผลิตและสามารถนำกลับมาใช้ผลิตใหม่ได้อีก ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนที่สำคัญได้เป็นอย่างดี [21]

• **ไคโตซานกับการเกษตร**

- ไคโตซานสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบางใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ใช้เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรและเมล็ดพันธุ์ พวกมันทำงานได้ดีเนื่องจากฟิล์มบางที่ก่อตัวขึ้นจะช่วยลดอัตราการหายใจและการผลิตก๊าซเอทิลีน (ฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่กระตุ้นให้ผัก ผลไม้สุก งามเร็ว) ลดการเปลี่ยนสี (Browning) ของผัก ผลไม้ และการรบกวนของเชื้อราและแมลง ไคโตซานยังสามารถช่วยกระตุ้นการเกิดรากทำให้อัตราการงอกของพืชเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย [22]

• **ไคโตซานกับสิ่งแวดล้อม**

- บทบาทที่สำคัญคือ บำบัดน้ำทิ้ง น้ำเสียมีความสามารถจับของแข็งที่แขวนลอยได้ดีและจับกับอะตอมของโลหะหนัก เช่น ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว ด้วยพันธะเชิงซ้อนได้อีกด้วย ยังมีการนำไคโตซานไปจับกับสารกัมมันตภาพรังสีอย่างพลูโตเนียมและยูเรเนียม อีกทั้งการใช้ไคโตซานผสมกับพลาสติกช่วยในการย่อยสลายของพลาสติก [23-24]

• **ไคโตซานกับอุตสาหกรรมอาหาร**

- ใช้ถนอมอาหารเพื่อยืดอายุและป้องกันการสูญเสียจากแบคทีเรียและเชื้อราโดยใช้ได้กับอาหารสดและแบบปรุงสำเร็จ ใช้ผสมกับอาหารที่ต้องการควบคุมไขมันและคอเรสเตอรอลในร่างกาย โดยทำเป็นอาหารหลัก อาหารเสริมและอาหารขบเคี้ยว ใช้ในการกรองและตกตะกอนของสิ่งเจือปนในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ เบียร์ และเครื่องดื่มต่างๆ [21]

2.1.7 อนาคตและการประยุกต์ใช้งานไคโตซาน

ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์ไคโตซานในหลายรูปแบบ เช่น เป็นแผ่นฟิล์มบาง เป็นก้อนกลมขนาดเล็ก (Microspheres), ฟองน้ำรูพรุน (Sponges), เป็นแผ่น (Flakes), ไฮโดรเจลแบบเชื่อมโยงพันกัน (Semi-IPN hydrogels), เส้นใยคอมโพสิต (Composite fibers), พอลิเมอร์ผสม เป็นต้น ได้มีงานวิจัยจำนวนมากตีพิมพ์เกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสมของไคโตซาน เช่น พอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO), พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), พอลิเอไมด์หรือไนลอน-6 (PA6) และคอนแจคกลูโคแมนแนน (Konjac Glucomannan, KGM) เป็นต้น เนื่องจากการทำพอลิเมอร์ผสมช่วยทำให้ไคโตซานมีสมบัติต่างๆดีขึ้น สามารถประยุกต์ใช้งานต่างๆได้กว้างขวางและมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ ถ้าพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน (รูปที่ 2.2) จะเห็นได้ว่าโคโตซานมีหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี 3 หมู่ ได้แก่ หมู่อะมิโน ($-NH_2$) หมู่แอลกอฮอล์แบบปฐมภูมิ (Primary alcohol, $-CH_2OH$) และหมู่แอลกอฮอล์แบบทุติยภูมิ (Secondary alcohol, $=CHOH$) โคโตซานจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีปรับปรุงโครงสร้างที่หมู่ฟังก์ชันทั้งสามของโคโตซาน ทำให้ได้สารที่มีสมบัติต่างๆ หลากหลายมากมาย

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [Poly(vinyl alcohol), PVOH]

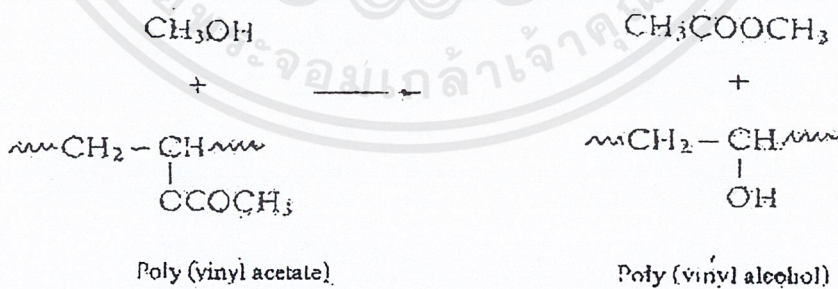
สูตรโครงสร้าง



เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่เสถียรที่สภาวะปกติเพราะจะเปลี่ยนไปเป็นคีโตเททาโทเมอร์ (Keto tautomer) ที่เสถียรกว่าดังนี้



การเตรียมจึงเตรียมได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต ดังนี้



ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้อาจเป็นเมทานอล หรือเอทานอล ปฏิกิริยานี้อาจเร่งปฏิกิริยาโดยกรดแก่หรือเบสแก่ก็ได้ แต่ถ้าใช้เบสแก่เกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ในทางปฏิบัติทั่วไปละลายพอลิไวนิลอะซิเตตแล้วเติมตัวเร่ง (กรดแก่ หรือเบสแก่) และให้ความร้อน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนออกจากสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่สะดวกในการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากพอลิไวนิลอะซิเตดคือ การใช้กระบวนการแบบสารละลาย หรือแบบแขวนลอย โดยเฉพาะแบบสารละลายสะดวกมากเนื่องจากใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายด้วย จะได้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แยกออกมาได้เลย [2]

2.2.1 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้ในอุตสาหกรรมมักจะมีหมู่อะซิติดปะปนมาบ้างประมาณ 1.5-2 โมลเปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่า หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะอยู่ในตำแหน่ง 1,3 เวลาเกิดปฏิกิริยากับกรดโครมิก หมู่แอลกอฮอล์จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่คีโตน เมื่อทำปฏิกิริยาต่อกับเบส จะได้อะซิโตนกับกรดอะซิติก



พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 1.293 g/cm³ อุณหภูมิ Tg 80 °C มีสมบัติคล้ายแป้งคือ เกิดสีน้ำเงินกับไอโอดีน ละลายในน้ำ และต่างอ่อน ที่ต่างกับพอลิไวนิลอะซิเตดคือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเป็นผลึกมากพอสมควร ทั้งๆที่เป็นอะแทกติกเช่นกัน เนื่องจากหมู่ -OH เล็กกว่าหมู่อะซิเตดนั่นเอง น้ำหนักโมเลกุล (MW) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีอยู่ 4 ช่วงคือ 250,000-300,000 170,000-220,000 120,000-150,000 และ 25,000-35,000 ตามลำดับ

สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ สามารถละลายในน้ำได้โดยละลายอย่างช้าๆในน้ำเย็น แต่จะละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น และทั่วไปจะสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 °C ความสามารถในการละลายในน้ำของแอลกอฮอล์ขึ้นกับปริมาณของหมู่ -OH ในโมเลกุลเช่นกัน โดยที่สามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ -OH 88% ในโมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ -OH สูงกว่านี้ ความสามารถในการละลายกลับลดต่ำลงตามลำดับ เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นกับดีกรีของแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับดีกรีของแอลกอฮอล์ไอซิสคือ ถ้าถูกไฮโดรไลซิสสมบูรณ์ 100% จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาดได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ถูกไฮโดรไลซิสเพียงบางส่วน เนื่องจากมีความเป็นผลึกมากกว่าและพันธะไฮโดรเจนมากกว่า นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพยังได้รับอิทธิพลจากความชื้นของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

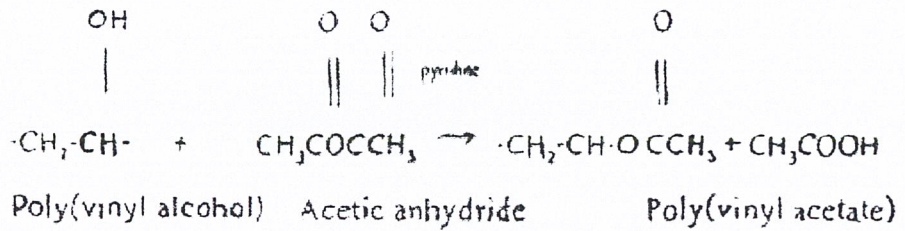
สิ่งแวดล้อมด้วย เพราะว่ามันจะทำให้ตัวเป็นพลาสติกไซเซอริให้กับพอลิเมอร์ตัวนี้ได้ เช่น ถ้ามีความชื้น 50% ความทนทานต่อแรงดึงจะลดลง แต่จะไปเพิ่มความสามารถในการยืดตัวออกมากขึ้น น้ำหนักโมเลกุลก็มีผลต่อสมบัติทางกายภาพด้วย เช่น ถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทนต่อแรงดึงต่ำ ทนต่อแรงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง [2]

เกี่ยวกับคุณสมบัติการละลายน้ำนั้นพบว่า การละลายจะเพิ่มขึ้นถ้าหมู่ไฮดรอกซิลใน พอลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น และจะสูงสุดเมื่อมีดีกรีของการเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล 88% ถ้าถึงจุดนี้การละลายสมบูรณ์และละลายในน้ำเย็นปกติได้ สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทนทานได้หลายชนิด โดยความทนทานจะเพิ่มขึ้นตามดีกรีของหมู่ไฮดรอกซิล ถ้าสูงจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั้งอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน คลอริเนตไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนสูงๆ เอสเทอร์ อีเทอร์ และคีโตน แต่ถ้าเป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนต่ำ จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้ละลายได้ และสารจำพวกเอไมด์ เช่น ฟอร์มาไมด์ (Formamide, HCO-NH₂) อะเซตาไมด์ (Acetamide, CH₃CO-NH₂) สารจำพวกเอมีนก็สามารถละลายได้เช่นกัน เนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พันธะไฮโดรเจนในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีผลทำให้พอลิเมอร์มีอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) สูงถึง 230 °C ถ้ามีหมู่ -OH ถึง 88% แต่เมื่อถึงจุด T_m แล้ว พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะไม่หลอมตัวเหมือนเทอร์โมพลาสติกทั่วไป แต่จะสลายตัวได้น้ำกับสารที่เป็นพันธะคู่แบบคอนจูเกต ทำให้เกิดสีขึ้น ดังนี้



หมู่ -OH ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเปลี่ยนไปเป็นหมู่อะซิเตตได้โดยจะทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) ในพิริดีน (Pyridine) และให้ความร้อน แต่พอลิไวนิลอะซิเตตที่ได้อาจมีโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างออกไปจากพอลิไวนิลอะซิเตตเดิมก็ได้



การใช้ประโยชน์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้น แบ่งกว้างๆ ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

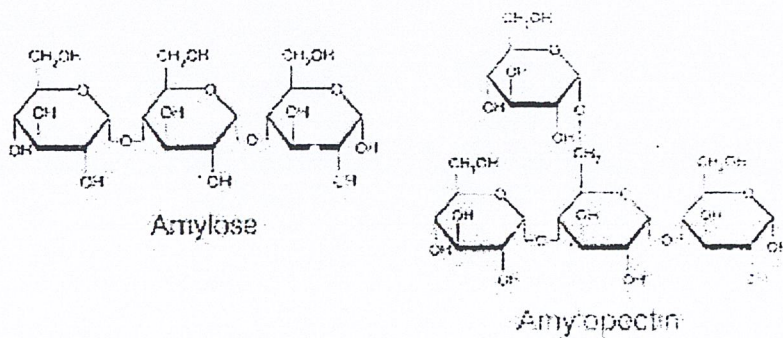
1. จะอาศัยสมบัติการละลายน้ำได้และทนต่อแรงดึงสูง จึงใช้เป็นตัวที่ช่วยให้กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันและแขวนลอยชั้นขึ้น (เรียกว่าใช้เป็น Thickening agent) ใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มบรรจุของที่ละลายน้ำได้ เช่น สีย้อมผ้า ยาฆ่าเชื้อแมลง ทำน้ำยาถอดแบบในอุตสาหกรรมพลาสติกหล่อ ทำกาวย ฯลฯ

2. Adhesive ถ้าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยาเคมีแล้ว จะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนจากละลายน้ำเป็นไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงนำไปใช้อุตสาหกรรมเส้นใยผ้าเป็นหลัก โดยนำพอลิเมอร์ไปปั่นแบบเปียก (Wet Spun) เป็นเส้นเข้าไปยังสารละลายไซเตียมซัลเฟตเข้มข้นที่มีกรดซัลฟูริกและฟอร์มัลดีไฮด์ด้วย ประมาณ 0.333 ของหมู่ -OH ของพอลิเมอร์นี้เปลี่ยนไปเป็นหมู่ฟอร์มัล (Formal, CH₂O) ได้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ดังนี้



2.3 แป้ง (Starch)

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (Amylose) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (Amylopectin) [25]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 คุณสมบัติของแบริ่ง

2.3.1.1 การดูดซับ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแบริ่งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแบริ่งจะดูดซึมน้ำจากบรรยากาศสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแบริ่งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แบริ่งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายในบรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10-17% จากการทดลองของ Leach (1965) พบว่า แบริ่งมันสำปะหลัง สามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 42.9 กรัมต่อน้ำหนักแบริ่งแห้ง 100 กรัม

น้ำที่อยู่ในเม็ดแบริ่งมี 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปของ Bound water และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแบริ่งได้แน่นตามลำดับ และแบริ่งที่มีความชื้น 8-10% สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแบริ่งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแบริ่ง

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแบริ่งเม็ดแบริ่งจะเกิดการพองตัวและบางส่วนของแบริ่งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแบริ่งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแบริ่งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแบริ่งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแบริ่ง ได้แก่

(1.) ชนิดของแบริ่ง

แบริ่งจากส่วนรากหรือ Pitch เช่น แบริ่งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงชั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแบริ่งธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แบริ่งจากส่วนรากจะเกิดเจลาตินในซีที่อุณหภูมิต่ำกว่าแบริ่งธัญพืช

(2.) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแบริ่ง

(3.) สิ่งเจือปนในเม็ดแบริ่งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

(4.) ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสถานะที่เกิดการพองตัว

2.3.1.2 ความหนืด

เมื่อเม็ดแบริ่งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแบริ่งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแบริ่งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด เป็นจุดที่เม็ดแบริ่งพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีกรวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดจะลดลง ต่อ

มาลดอุณหภูมิลง ทำให้เกิดรีโทรเกรเดชัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง

เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผลสมน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปฏิกิริยาการนี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแห 3 มิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปฏิกิริยาการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Setback)

2.3.1.3 คุณสมบัติของแป้งเปียก

คุณสมบัติของแป้งเปียกจากแป้งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ปริมาณแป้ง กระบวนการให้ความร้อน อุณหภูมิ pH เวลาในการให้ความร้อน การกวน และเครื่องมือที่ใช้ สำหรับแป้งมันสำปะหลังจะมีความหนืดสูงกว่าแป้งจากธัญพืช ความใสของแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป สำหรับแป้งมันสำปะหลังจะใส โปร่งแสง

2.3.1.4 คุณสมบัติของแป้งฟิล์ม

แป้งฟิล์มจะมีคุณสมบัติเฉพาะ ได้แก่ ความเป็นพลาสติก ความแข็งแรง การละลายน้ำ การทนต่อความชื้น ความโปร่งใสของฟิล์ม และความเป็นเงามัน (Gloss) สำหรับแป้งมันสำปะหลังจะมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมาก จึงเหมาะสมในการทำแห้งเป็นแป้งฟิล์มได้

2.3.2 คุณสมบัติของแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอนไซม์

แป้งเอนไซม์เป็นแป้งที่ดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาเอนไซม์รีฟิเคชัน (ปฏิกิริยาของกลุ่มแอลกอฮอล์กับกรด) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งกับหมู่เอนไซม์ของสารเคมี แป้งเอนไซม์ที่นิยมใช้ทางการค้า ได้แก่ แป้งอะซิเตด และสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอนไซม์ [26] แป้งดัดแปรทั้งสองชนิดมีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบ และรักษาความหนืดไว้ได้ดี เมื่อเกิดเป็นเจลจะมีความใส มีความ

อ่อนตัวและยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน มีความคงตัวต่อสภาวะการแช่แข็งและการละลาย เหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมแช่แข็ง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการเป็นสารช่วยแตกตัวที่ดีและมีราคาถูก จึงมีการนำแป้งเอสเทอร์มาใช้เป็นสารช่วยในการผลิตยาเม็ด [27] หมู่ฟังก์ชันที่สามารถเข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยกลูโคสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แป้งเอสเทอร์มีดังนี้ acetate, benzoate, phosphate, succinate, maleinate, etc.

2.3.2.1 แป้งอะซิเตต (Starch acetate)

แป้งอะซิเตต (Starch acetate) เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาอะซิทิเลชัน (Acetylation) ระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่อะซิติก เช่น อะซิติกแอนไฮไดรด์ ไวนิลอะซิเตต หรือกรดอะซิติก หมู่อะซิติกที่เข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของแป้งจะยับยั้งการรวมตัวกันของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน ทำให้แป้งสามารถต้านทานการคืนตัวหลังจากเกิดแป้งเปียกและทำให้เย็นลง แป้งดัดแปรชนิดนี้ใช้เป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) และสารเพิ่มความข้น (Thickener) ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผงชูรส พุดดิ้ง ฯลฯ และใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ แป้งดัดแปรที่ได้ต้องมีความหนืดสูงกว่าแป้งดิบที่นำมาดัดแปรและรักษาความหนืดไว้ได้ดี มีลักษณะเจลาโต ยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน และมีลักษณะอ่อนตัว (Cohesive flow) [28]

2.3.2.1.1 คุณสมบัติและการนำไปใช้

โครงสร้างของเม็ดแป้งดัดแปรเหมือนกับแป้งดิบ แป้งดัดแปรสามารถละลายได้มากขึ้น ถ้าระดับการแทนที่ของหมู่อะซิติกเพิ่มขึ้น [29] มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินไนซ์ต่ำลง มีอัตราการคืนตัวลดลง ความหนืดคงที่ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ไม่เกิดการบีบตัวของน้ำออกมาจนเจลา และทำให้สีของแป้งไม่ขุ่น ฟิล์มจากแป้งอะซิเตต มีความใส มั่นคง ยืดหยุ่น ละลายน้ำได้มาก และมีแนวโน้มที่จะแตกน้อยลง

ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้แป้งอะซิเตตเป็นส่วนประกอบในอาหารแช่แข็งเนื่องจากคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้มาก [30] แป้งอะซิเตตที่ดัดแปรร่วมกับวิธีครอสลิงใช้เป็นสารเพิ่มความข้นในอาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง อาหารแห้ง อาหารเด็กอ่อน หรือแป้งอะซิเตตที่ดัดแปรร่วมกับพรีเจลาตินไนซ์ ใช้สำหรับผลิตน้ำเกรวี่ พุดดิ้ง โดยแป้งอะซิเตตที่ใช้กับอาหารต้องมีปริมาณอะซิติกไม่เกิน 2.5% ตามข้อกำหนดของ FDA (The Food and Drug Administration)

ในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ผลิตกระดาษกาวที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และเนื่องจากแป้งอะซิเตตมีคุณสมบัติในการยึดติดกับเซลลูโลสได้ดีจึงนำมาใช้ในการเคลือบกระดาษ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการพิมพ์ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้แป้งอะซิเตดเคลือบเส้นด้าย ทำให้เส้นด้ายแข็งแรง ยืดหยุ่น ยึดเกาะกันได้ดี และแยกออกได้ง่าย เนื่องจากละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังมีการผสมแป้งอะซิเตดกับ thermoset resin ใช้ผลิตน้ำมันชักเงา [26]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 100,000 และค่าองศาการดีอะซีติเลชัน (Degree of deacetylation, %DD) เท่ากับ 95% บริษัท T.C. Union สมบัติบางประการของไคโตซาน แสดงดังตารางที่ 3.1
2. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Commercial grade) น้ำหนักโมเลกุล 100,000 บริษัท P&N Associate สมบัติบางประการของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงดังตารางที่ 3.2
3. แป้งชนิดปรับปรุงด้วยหมู่เอสเทอร์ (Ester modified starch) บริษัทสยามอติพายด์สตาร์ จำกัด สมบัติบางประการของแป้งชนิดปรับปรุงที่ใช้ในการทดลอง แสดงค่าดังตารางที่ 3.3
4. กรดอะซิติกเข้มข้น 2% W/W บริษัท Merck

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติบางประการของไคโตซาน

Specification	ไคโตซาน
น้ำหนักโมเลกุล	$(1-5) \times 10^5$
%ความชื้น	2-10
%ไนโตรเจน	7-8.4
Deacetylation, %	94.5
ปริมาณเถ้าที่ 900 องศาเซลเซียส mPa.s (Cp)	<1.0
Dissociation constant, K_a	6.0-7.0
X-ray diffraction, peaks	8°58' -10°26' 19°58' -20°00'
Transition metals, $\mu\text{g/g}$	<5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติบางประการของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Specification	PVOH
น้ำหนักโมเลกุล (MW)	100,000
ความหนาแน่น, g/cm ³	1.293
อุณหภูมิ Tg (°C)	80
อุณหภูมิ Tm (°C)	230
% Solubility	88

ตารางที่ 3.3 แสดงสมบัติบางประการของแป้งชนิดปรับปรุงเอสเทอร์ที่ใช้ในการทดลอง

PHYSICAL DATA	LOW ESTERIFICATION
Decomposition temperature	above 140 °C
pH	5.0-7.0
Physical form	powder
Colour/Odour	white/odourless
Bulk density	0.5 kg/l
Degree of Substitution	0.2-0.3

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก้ว
2. ชุดไบพัตบีนกวน
3. Hot Plate
4. ถาดเมลามีน
5. ไมโครมิเตอร์
6. เครื่องชั่ง
7. โต๊ะปรับระดับ
8. Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA) บริษัท Rheometric Scientific
9. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Tester) บริษัท LLOYD LR30K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ชุดวิเคราะห์การซึมผ่านของไอน้ำ

11. ชุดวิเคราะห์การซึมผ่านของออกซิเจน ยี่ห้อ Illinois Instrument รุ่น 8500

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ตอนที่ 1 การเตรียมโคโตะซานฟิล์ม

- 1.1 นำโคโตะซานมาทำการผสมกับกรดอะซิติกโดยใช้โคโตะซาน 2% โดยน้ำหนักมาผสมกับกรดอะซิติกเข้มข้น 2% โดยปริมาตร
- 1.2 นำมาทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 1.3 นำสารละลายโคโตะซานที่ได้มาหล่อแบบ (Casting) ลงบนภาดเมลามีนที่มีผิวเรียบ แล้วนำไปกำจัดฟองอากาศออก
- 1.4 นำภาดเมลามีนที่มีสารละลายอยู่ มาวางบนโต๊ะปรับระดับ เพื่อควบคุมความหนาของฟิล์มให้สม่ำเสมอ
- 1.5 จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งในตู้ดูดควันที่อุณหภูมิห้อง

ตอนที่ 2 การเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์

ทำเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยใช้แป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ แทนโคโตะซาน ทำการละลายแป้งในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 2% แล้วใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) ในระหว่างการปั่นกวน โดยให้สัดส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) 100/0 95/5 90/10 85/15 80/20 75/25 50/50 25/75 0/100 โดยน้ำหนัก นำฟิล์มที่ได้มาทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับตอนที่ 1 เพื่อศึกษาหาสัดส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ดีที่สุด

ตอนที่ 3 การเตรียมฟิล์มโคโตะซานผสมแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์

ทำเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่ใส่แป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ ในระหว่างการปั่นกวน โดยใช้สัดส่วนโคโตะซานต่อแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) 100/0 95/5 90/10 85/15 80/20 75/25 50/50 25/75 0/100 โดยน้ำหนัก นำฟิล์มที่ได้มาทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับตอนที่ 1 เพื่อศึกษาหาสัดส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ดีที่สุด

การศึกษาสมบัติของฟิล์มดังนี้

1. สมบัติเชิงกล
 - ทดสอบความแข็งแรงดึงโดยใช้ ASTM638-81
 - ทดสอบความแข็งแรงต่อการฉีกขาดด้วย ASTM D1004
2. สมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DMTA
3. สมบัติทางกายภาพ
 - การซึมผ่านของไอน้ำ
 - การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA) สำหรับฟิล์ม

อุปกรณ์

ชุดที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบ Rectangular Tension ประกอบด้วย

- Right Angle Clamp Support
- Right Angle Frame
- Drive Shaft Clamp : Wide Face Frame Bar
- Frame Bar : Wide Face Frame Bar

วิธีการทดสอบ

1. ทำการ Calibration Check ซึ่งเป็นกร Calibrate เฉพาะ Spring Calibration ค่าที่เปลี่ยนไปต้องไม่ต่างจากค่าเริ่มต้น $\pm 20\%$
2. ทำการตั้งค่า Gap ให้ระยะห่างไม่มากกว่า 10 mm แล้วจึงประกอบชุดทดสอบแบบ Rectangular Tension
3. ใส่ตัวอย่างฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบ
4. หาค่า strain โดยเลือก Test Setup เป็น Dynamic Strain Sweep Test ใน Edit/Start Instrument Test จากนั้นทำการควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบตามที่ต้องการ
5. หาค่า frequency โดยเลือก Test Setup เป็น Dynamic Frequency Sweep Test (Strain Control) ใน Edit/Start Instrument Test จากนั้นทำการควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบตามที่ต้องการ และใส่ค่า strain ที่หาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากนั้นหาค่า T_g โดยเลือก Test Setup เป็น Dynamic Temperature Ramp Test ใน Edit/Start Instrument Test จากนั้นทำการควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบตามที่ต้องการ แล้วใส่ค่า frequency ที่หาได้และค่า strain ลงไปด้วย
7. ในการรายงานผลเครื่องจะรายงานเป็นกราฟแสดงค่า E' (Storage Modulus), E'' (Loss Modulus) และ $\tan \delta$ สัมพันธ์กับ Temperature ($^{\circ}\text{C}$) ซึ่งค่า T_g สามารถหาได้จากจุดยอดของพีค $\tan \delta$

การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ มาตรฐาน ASTM E96-95 (1996) [31]

อุปกรณ์

1. ถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ซีลิ่งพาราฟิน
4. ซิลิกาเจลอบแห้ง

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างต้องไม่มีรอยพับ ขูด ซีต ริว ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ก่อนทำการทดสอบต้องเก็บไว้ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (27/65) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบ

ใส่ซิลิกาเจลอบแห้งลงในถ้วย นำตัวอย่างฟิล์มปิดทับลงบนปากถ้วยผนึกด้วยพาราฟินเหลว เพื่อป้องกันรอยรั่ว นำถ้วยทดสอบไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด แล้วนำไปเก็บในที่ควบคุมสภาวะ บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 วัน

การคำนวณ

$\text{อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR)} = (G/t)/A$	unit : $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$
---	--

โดยที่ G/t คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา (slope)

A คือ พื้นที่ของตัวอย่างที่วัดการซึมผ่าน = 0.002827 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WVTR คือ Water Vapor Transmission rate

การซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) = Permeance. ความหนาฟิล์ม unit : g.mm/ m².day.kPa

โดยที่ Permeance = WVTR/ ΔP = WVTR/S(R₁-R₂)

เมื่อ S คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 25 °C (3.169kPa หรือ 23.7694 mmHg.)

R₁ คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศห้องทดสอบ = 72%

R₂ คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศในถ้วยทดสอบ = 0%

WVP คือ Water Vapor Permeability

การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจน มาตรฐาน ASTM D3985-81 (1981) [32]

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างต้องไม่มีรอยพับ รูด ซีด ร้าว ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นรูป 8 เหลี่ยมด้วย Cutting template เก็บตัวอย่างในสภาวะที่กำหนด (27/65) ก่อนนำมาทดสอบอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

วิธีทดสอบ

วางชิ้นตัวอย่างตรงกลางระหว่างเซลล์ ปล่อก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนเข้าไป โดยก๊าซไนโตรเจนจะเป็นตัวนำก๊าซออกซิเจนที่สามารถผ่านแผ่นฟิล์มไปยังด้านที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า ไปยังเครื่องบันทึกค่า ค่าที่อ่านได้จะเป็นปริมาตรของก๊าซที่วัดได้จากการซึมผ่านซึ่งจะคงที่ ณ อุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่กำหนด มีหน่วยเป็น cc/m².day

การคำนวณ

OTR = ค่าที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องวัด unit : cc/m².day

OP = permeance. ความหนาของแผ่นฟิล์ม unit : cc.µm/m².day.kPa

$$= \frac{OTR}{\Delta P} \cdot \text{ความหนา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันของก๊าซที่แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ
(48 psi หรือ 330.9485 kPa)

OTR คือ Oxygen Transmission rate

OP คือ Oxygen Permeability



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงเวลาในการทำงานวิจัย

แผนงาน	เดือนที่	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		←→								
เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสม โคโตะซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และโคโตะซานกับแป้ง				←→						
ศึกษาสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม โคโตะซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และโคโตะซานกับแป้ง					←→					
เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้ง							←→			
ศึกษาสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้ง								←→		
สรุปผลการทดลองและงานเอกสาร									←→	←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซาน (CHI) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST)

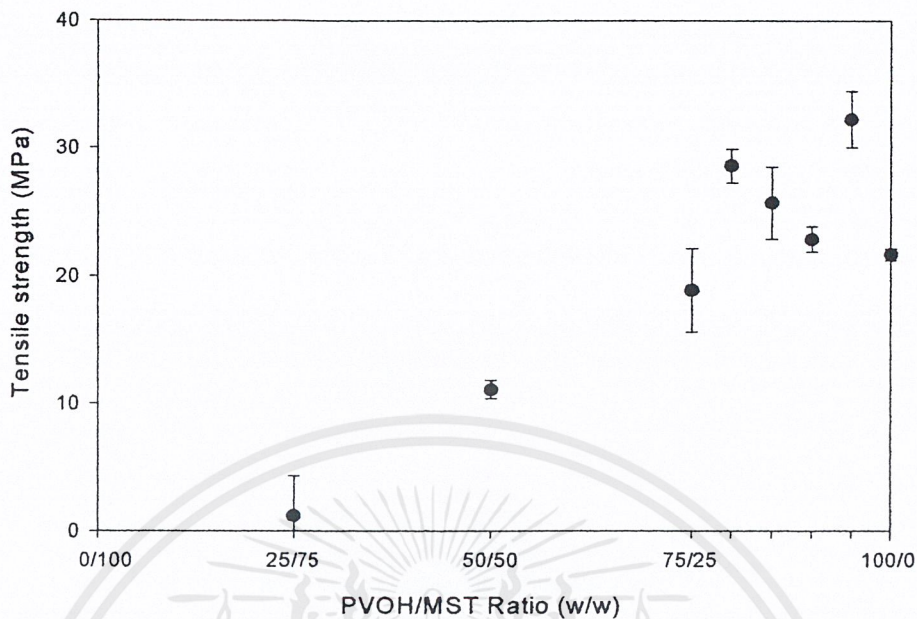
ในการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมนี้ ได้ทำการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสม 2 คู่ ได้แก่ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) และ พอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) โดยทำการเตรียมในอัตราส่วนต่างๆในแต่ละคู่ ดังนี้ 25/75 50/50 75/25 โดยน้ำหนัก หลังทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่ได้จากฟิล์มพอลิเมอร์ของสารบริสุทธิ์แต่ละชนิด (CHI100 PVOH100 และ MST100) โดยทำการศึกษสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

4.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

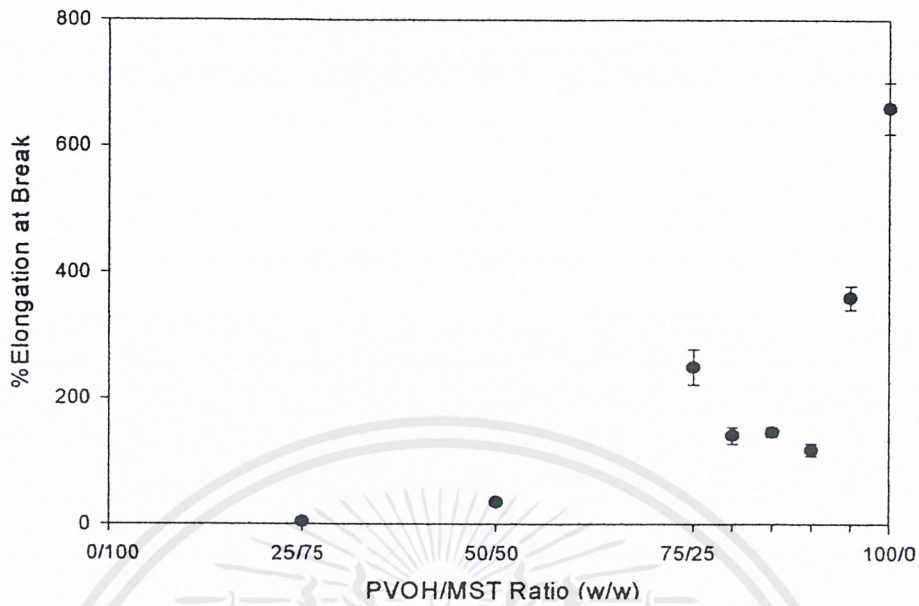
จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) จะเห็นได้ว่าไม่มีข้อมูลแสดงสมบัติต่างๆของฟิล์มแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์บริสุทธิ์ (MST100) ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถเตรียมฟิล์มแป้งเป็นแผ่นตัวอย่างทดสอบได้ เพราะฟิล์มแป้งมีสมบัติเชิงกลต่ำมาก เปราะแตกง่าย เมื่อได้รับแรง ไม่สามารถดึงฟิล์มแป้งออกจากแม่พิมพ์ได้

จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงดึงที่ได้จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณของแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) ลดลง โดยในอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) เท่ากับ 95/5 นั้น จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์แปรผกผันกับค่าความแข็งแรงดึง อาจเนื่องมาจากการผสมไม่เข้ากันของฟิล์ม (เนื่องจากการทดลองการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่เตรียมได้ในสูตรผสมที่อัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) 25/75 50/50 และ 75/25 นั้น แสดงถึงความไม่เข้ากันอย่างชัดเจน) จึงได้มีการทำการทดลองในอัตราส่วนที่มีปริมาณของแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ต่ำคือ PVOH/MST 80/20 85/15 90/10 และ 95/5 ตามลำดับ



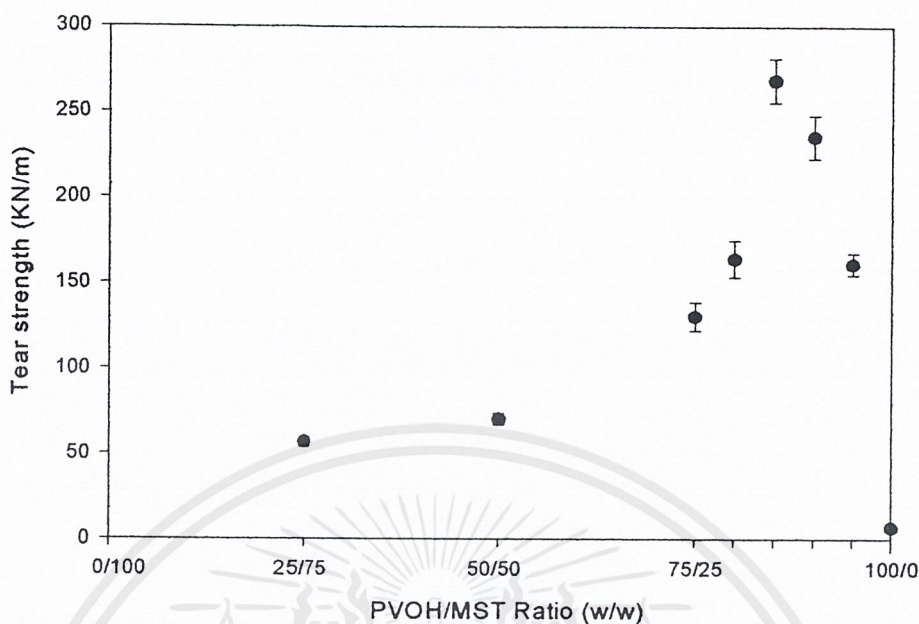
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุดคือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (PVOH100) แต่เมื่อมีปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาดจะมีแนวโน้มลดลง สามารถอธิบายได้ว่าในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีพันธะไฮโดรเจนอยู่มากกว่า เมื่อนำมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ จากกราฟจะเห็นว่าที่อัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) เท่ากับ 75/25 จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่าที่อัตราส่วน PVOH/MST 50/50 และ 25/75 เนื่องจากมีอัตราส่วนของกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์สูงกว่านั่นเอง โดยจะมีค่าสูงที่สุดที่อัตราส่วน PVOH/MST เท่ากับ 95/5



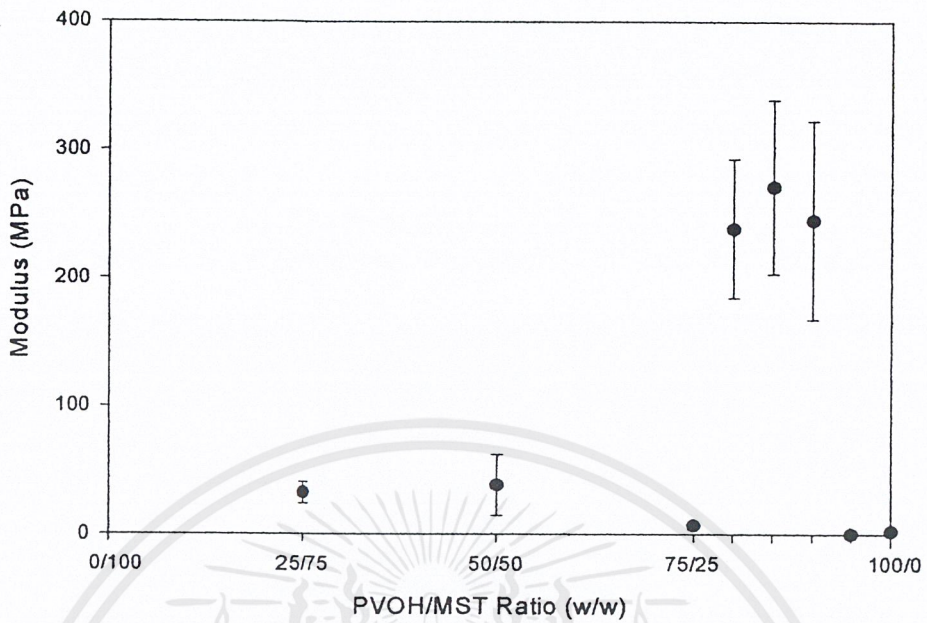
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) จากการศึกษาค่าอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) แต่อัตราส่วนที่ให้ค่าความแข็งแรงฉีกขาดสูงสุดคือ PVOH/MST 85/15 ซึ่งสามารถอธิบายได้คล้ายกับเหตุผลของค่าความแข็งแรงดึงคือ ปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์จะแปรผกผันกับค่าความแข็งแรงฉีกขาด แต่ที่ PVOH/MST 85/15 มีค่าความแข็งแรงฉีกขาดสูงกว่า PVOH/MST 90/10 และ 95/5 อาจเนื่องมาจากเม็ดแป้งที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้บริเวณที่มีการขยายของรอยฉีกนั้นทำได้ยากขึ้น เมื่อมีปริมาณมากขึ้น อาจทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น

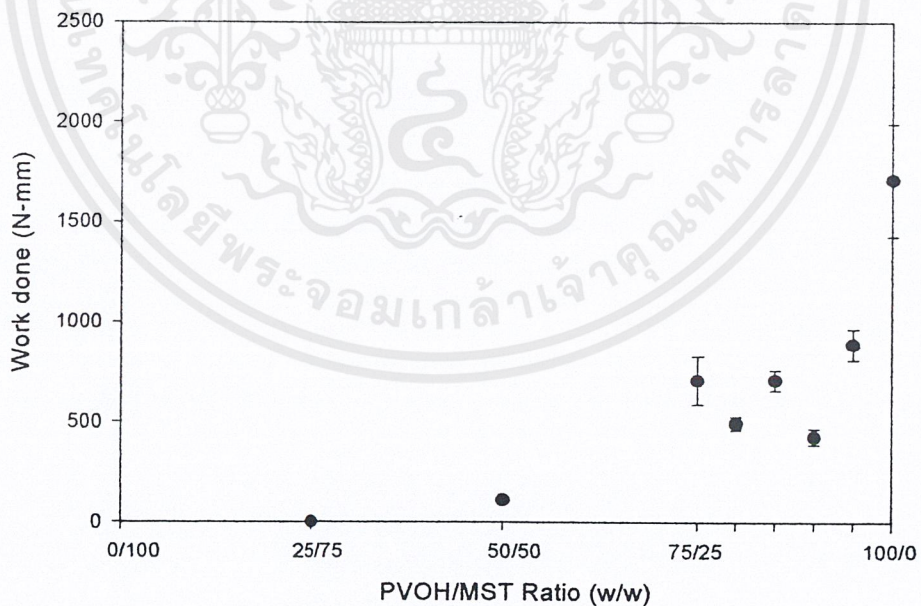


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

จากรูปที่ 4.4 ค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุ (Modulus) ที่ได้ สังเกตได้ว่า เมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) เพิ่มขึ้น ค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุลดลงเล็กน้อย แต่ค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุ จะมีค่ามากที่สุด ในบริเวณอัตราส่วน PVOH/MST 80/20 85/15 และ 90/10 ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ในอัตราส่วนบริเวณนี้มีปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) พอเหมาะที่ทำให้ฟิล์มสามารถต้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากขึ้น หรือมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่วนในรูปที่ 4.5 ค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) นั้น ค่าที่ได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) เพิ่มขึ้น โดยในอัตราส่วน PVOH/MST 100/0 นั้น ให้ค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหักมากที่สุด อาจเนื่องมาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเหนียว และสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากนั่นเอง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุ (Modulus) จากการศึกษาลำดับอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

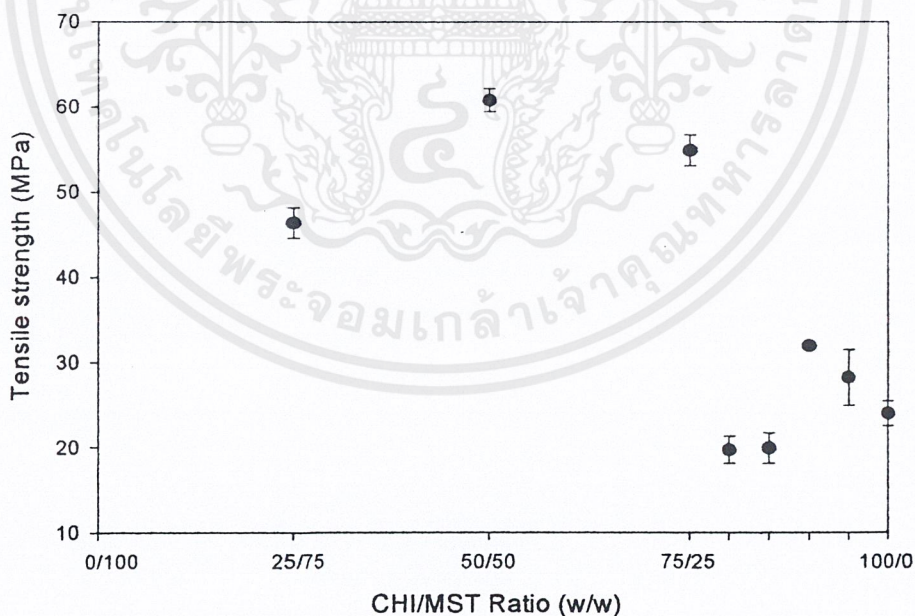


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) จากการศึกษาลำดับอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

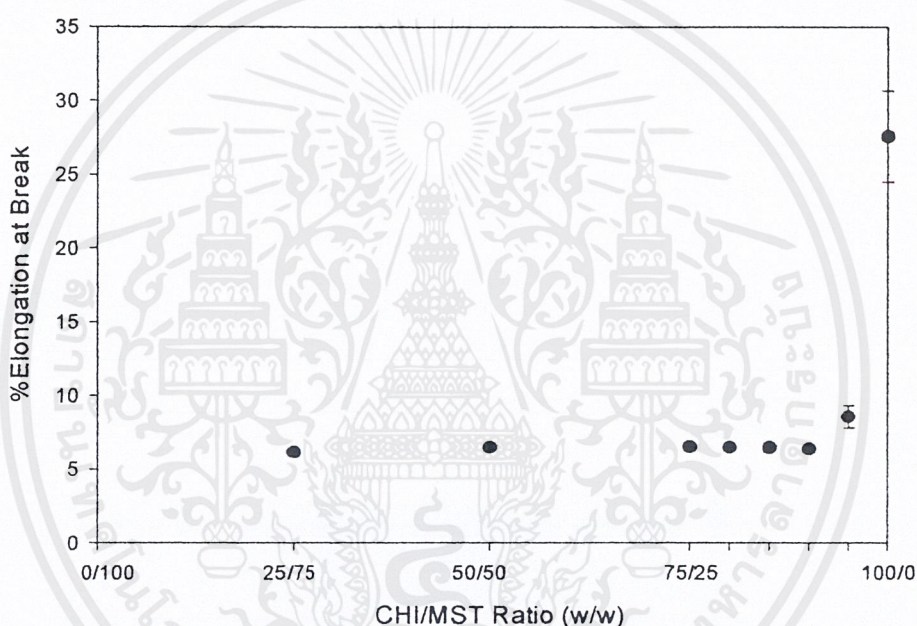
4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) พบว่าจะมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงดึงของไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) โดยที่อัตราส่วนไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) 50/50 โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และที่อัตราส่วนไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) 75/25 และ 25/75 โดยน้ำหนัก ให้ค่ารองลงมาตามลำดับ อาจเนื่องมาจากทั้งพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) เกิดความเข้ากันได้สูงมาก อาจเป็นเพราะพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แต่ที่ปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) ต่ำ คือ CHI/MST 80/20 85/15 90/10 และ 95/5 ค่าความแข็งแรงดึงจะมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เนื่องจากอาจเกิดการผสมไม่เข้ากันของฟิล์ม และจะสังเกตเห็นว่าค่าความแข็งแรงดึงของไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) จะมีค่าไม่เท่ากับรูปที่ 1.1 เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองไม่ได้ควบคุมความชื้นจึงส่งผลให้ค่าที่ได้ไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

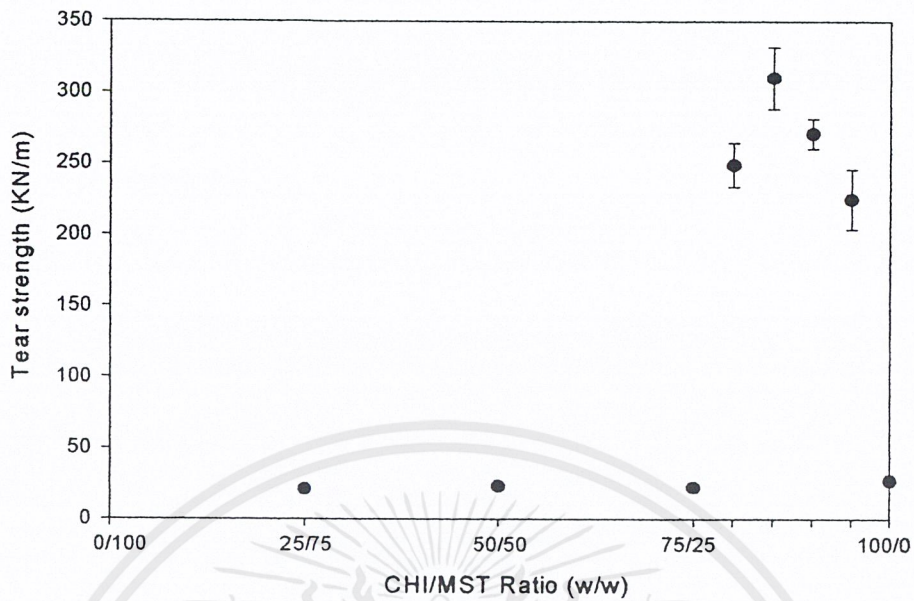
จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) พบว่าอัตราส่วนที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาดสูงสุดคือ ไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) แต่เมื่อมีปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) เพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาดที่ได้จะต่ำกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าในไคโตซานมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่า เมื่อนำมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาดที่ได้นั้นจะต่ำ แต่ที่อัตราส่วน CHI/MST เท่ากับ 95/5 จะสูงสุด



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

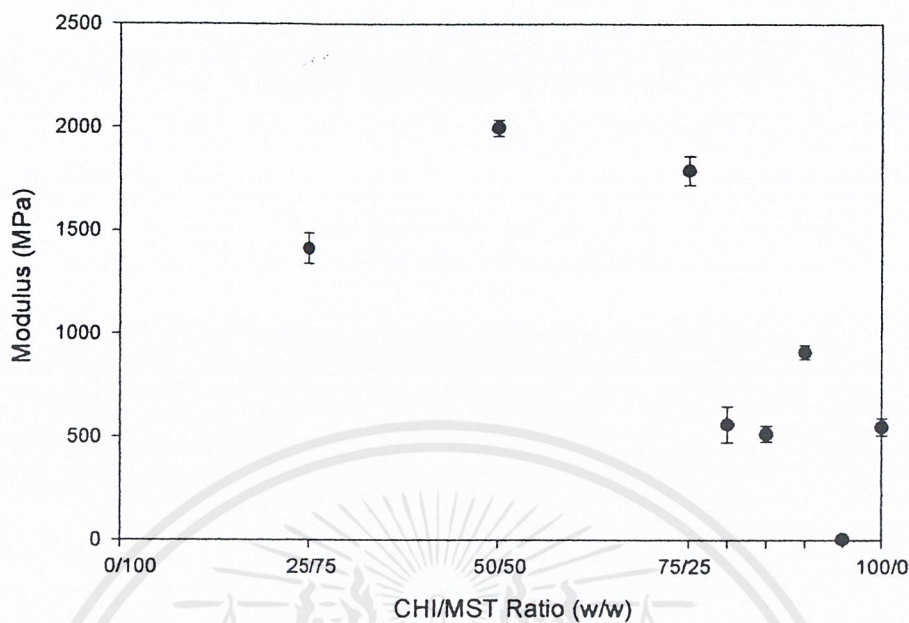
จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) ที่ได้นั้น จะมีค่าสูงที่สุดที่อัตราส่วน CHI/MST เท่ากับ 85/15 ซึ่งสามารถอธิบายได้คล้ายกับเหตุผลของค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tensile strength) คือ ปริมาณของแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์จะแปรผกผันกับค่าความแข็งแรงฉีกขาด แต่ที่ CHI/MST 85/15 จะมีค่าความแข็งแรงฉีกขาดสูงกว่า CHI/MST 90/10 และ 95/5 ก็สามารถอธิบายได้โดยเหตุผลเหมือนเดิมเกี่ยวกับเม็ดแป้งมีอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้บริเวณที่มีการขยายของรอยฉีกนั้นทำได้ยากขึ้น และเมื่อมีปริมาณมากขึ้น ก็อาจทำให้สามารถรับแรงได้มาก

ขึ้นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

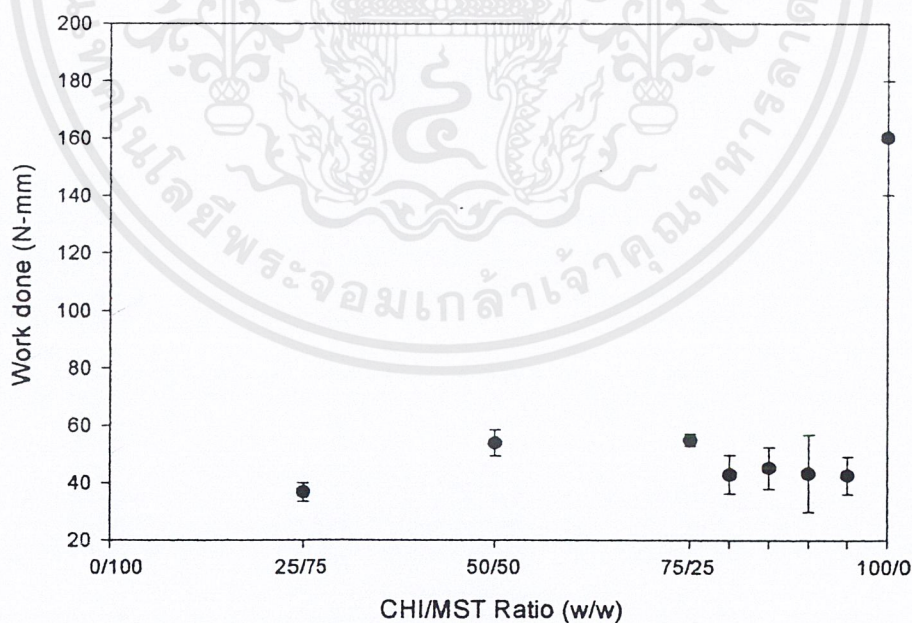


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) จากการศึกษาลำดับอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุ หรือค่ามอดุลัส (Modulus) ของพอลิเมอร์ผสม จะเห็นได้ว่าค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไคโตซาน (CHI) เพิ่มขึ้น และจะให้ค่าสูงสุดที่อัตราส่วน CHI/MST 50/50 จากนั้นก็จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณไคโตซาน (CHI) เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในอัตราส่วนนี้เกิดการเข้ากันได้ดีมีการเกิดพันธะเชื่อมโยงกัน ทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น และจากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) จะแสดงให้เห็นว่าในส่วนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆนั้น ที่อัตราส่วน CHI/MST 50/50 จะให้ค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหักสูงสุด แต่ก็ยังต่ำกว่าค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหักของไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) ซึ่งฟิล์มไคโตซานนั้นจะมีความเหนียวสูงมาก จึงต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้แตกหัก



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่ามอดุลัส (Modulus) จากการศึกษาค่าอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) จากการศึกษาค่าอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดข้างต้น ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) นั้น ที่อัตราส่วน 95/5 จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และที่อัตราส่วน PVOH/MST 100/0 จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด และค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) สูงที่สุด ที่อัตราส่วน PVOH/MST 85/15 จะให้ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่ามอดุลัส (Modulus) สูงที่สุด ส่วนในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) ที่อัตราส่วน 50/50 จะให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัส สูงที่สุด ที่อัตราส่วน CHI/MST100/0 จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด และค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหักสูงสุด และที่อัตราส่วน CHI/MST85/15 จะให้ค่าความแข็งแรงฉีกขาดสูงสุด

4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

4.3.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

ในการทดลองตอนนี้ ได้ทำการศึกษาโดยใช้เทคนิค Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA) ซึ่งสามารถหาค่า Tg ได้จากจุดยอดของพีค $\tan \delta$ โดยเราสามารถหาข้อมูลของการเข้ากันได้ (Miscibility) และการเข้ากันไม่ได้ (Immiscibility) ของฟิล์มได้

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) จากเทคนิค Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA)

อัตราส่วน PVOH/MST	Tg (°C)
25/75	38
50/50	45, 97
95/5	32
100/0	39

จากตารางแสดงค่า Tg ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) ในอัตราส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่า Tg ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) ที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (PVOH100) และอัตราส่วน PVOH/MST 50/50 พบว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ค่า Tg 2 ค่า จากการศึกษาค้นพบว่า ค่า Tg ของ แป้งอะซิเตต (Starch-acetate) มีค่าประมาณ 165-195 °C [33] ซึ่งพิกที่ 97 °C อาจเป็นพิกของแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ที่เกิดการเลื่อนมาทางซ้ายมือ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า พิล์มที่เตรียมได้เป็นแบบ Immiscible และในอัตราส่วนที่ 25/75 และ 95/5 ที่ขึ้นเพียงค่าเดียวนั้น อาจเป็นเพราะฟิล์มที่นำมาทดสอบเป็นส่วนที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ตัวใดตัวหนึ่งเป็นหลัก จากการสังเกตเห็นลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้จะไม่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างเห็นได้ชัด

4.3.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

ตารางที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) จากเทคนิค Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA)

อัตราส่วน CHI/MST	alpha transition (°C)	beta transition (°C)
25/75	112	78
50/50	150	59
95/5	162	105
100/0	150	63

จากตารางแสดงค่า Tg ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) ในอัตราส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่า Tg ของฟิล์มไคโตซานบริสุทธิ์ (CHI100) ได้ค่า 2 ค่าคือ α และ β glass transition และเมื่อมีปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) เพิ่มขึ้น จะได้ค่า Tg เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากการศึกษาค้นพบว่า ค่า Tg ของแป้งอะซิเตต (Starch-acetate) มีค่าประมาณ 165-195 °C [33] ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลอง เนื่องจากค่า Tg ที่วัดได้เลื่อนไปทางขวา หรือซ้าย ซึ่งการที่ค่า Tg เลื่อนไปนั้นจะขึ้นอยู่กับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) เป็นแบบเข้ากันได้ (Miscible) และจากการสังเกตฟิล์มที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Compatible)

4.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

4.4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

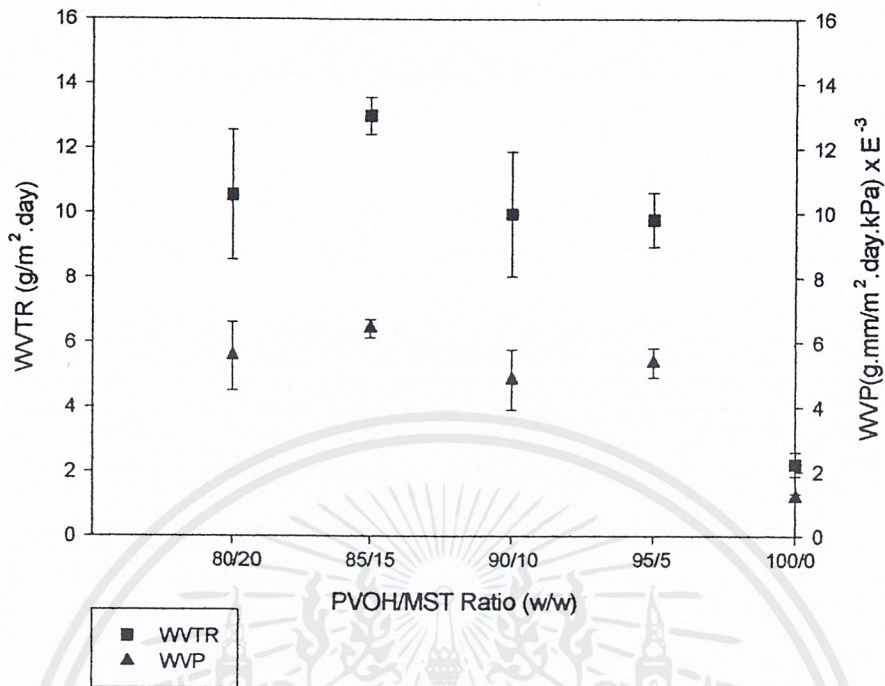
ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ จากชุดวิเคราะห์การซึมผ่านของไอน้ำ

PVOH / MST	ความหนา ^{ns} (mm)	WVTR ^{ns} g/m ² .day	Water Vapor Permeability ^{ns} g.mm/m ² .day.kPa
80/20	0.1204 (0.0107)	10.5589 (2.8480)	5.57E-3 (1.50E-3)
85/15	0.1128 (0.0219)	13.0079 (0.8165)	6.43E-3 (4.03E-4)
90/10	0.1107 (0.0229)	9.9705 (2.7347)	4.84E-3 (1.33E-3)
95/5	0.1251 (0.0126)	9.7948 (1.1833)	5.37E-3 (6.45E-4)
100/0	0.1290 (0.0467)	2.2339 (0.5197)	1.19E-3 (1.60E-4)

หมายเหตุ

- ns ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
- ค่าที่อยู่ในวงเล็บเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

จากรูปที่ 4.11 ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) ที่อัตราส่วนต่างๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) เพิ่มขึ้น ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเม็ดแป้งมีรูพรุน สามารถดูดน้ำได้ จึงทำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น สำหรับอัตราส่วนที่ให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) มากที่สุดคือ PVOH/MST 85/15 และอัตราส่วนที่ให้ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) น้อยที่สุดคือ PVOH/MST 100/0

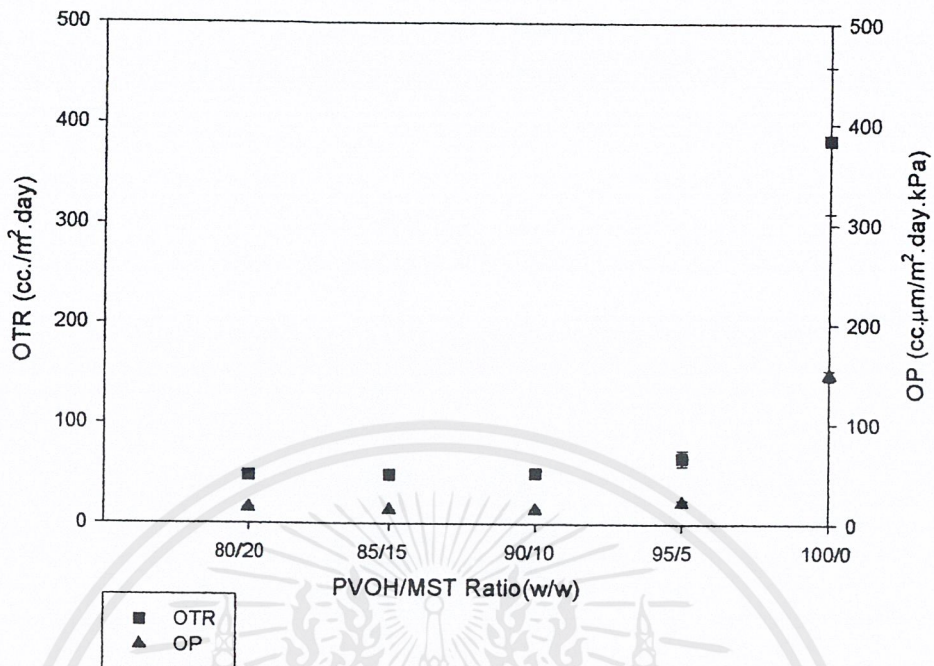
ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ จากชุดวิเคราะห์การซึมผ่านของออกซิเจน

PVOH / MST	ความหนา ^{ns} (mm)	OTR ^{ns} cc./m ² .day	Oxygen Permeability ^{ns} cc.µm/m ² .day.kPa
80/20	0.1070 (0.0191)	48.5 b (2.12)	15.6807 b (0.6859)
85/15	0.0923 (0.0262)	49.0 b (1.41)	13.6215 b (0.3931)
90/10	0.0914 (0.0197)	50.5 b (2.12)	13.8859 b (0.5833)
95/5	0.1106 (0.0192)	66.0 a (11.31)	21.2812 a (3.8808)
100/0	0.1285 (0.0120)	384 (103.2376)	149.0987 (6.9484)

หมายเหตุ

- ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ OTR (90%) , OP (95%)
- ค่าที่อยู่ในวงเล็บเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ns ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) ที่อัตราส่วนต่างๆเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) ลดลง ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ จึงทำให้ไปบดบังการซึมผ่านของออกซิเจนได้ สำหรับอัตราส่วนที่ให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) มากที่สุดคือ PVOH/MST 100/0 และอัตราส่วนที่ให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) น้อยที่สุดคือ PVOH/MST 85/15

จากข้อมูลผลการทดลองสมบัติทางกายภาพดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่า ในอัตราส่วน PVOH/MST 85/15 นั้น จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) สูงที่สุด แต่จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ต่ำที่สุด อีกด้านหนึ่งที่อัตราส่วน PVOH/MST 100/0 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ต่ำที่สุด แต่จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงส่วนวิชาหการเขางนเพอการศกษาแทนน นเอนูญาตเหนาไปเขประเชอนนดำนการค้ำ

ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) มากที่สุด ดังนั้นในการเตรียมฟิล์มเพื่อให้มีคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสม ควรเลือกใช้อัตราส่วน PVOH/MST 95/5

4.4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโคซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

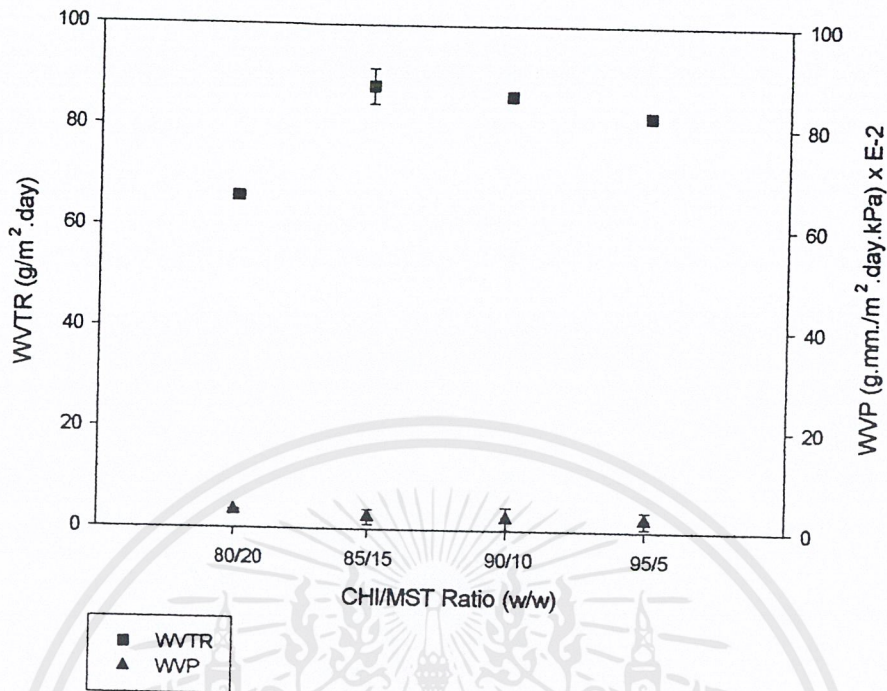
ตารางที่ 4.5 ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ จากชุดวิเคราะห์การซึมผ่านของไอน้ำ

CHI / MST	ความหนา ^{ns} (mm)	WVTR ^{ns} g/m ² .day	Water Vapor Permeability ^{ns} g.mm/m ² .day.kPa
80/20	0.119 (0.0156)	65.9011 (0.2499)	3.437E-2 (4.29E-3)
85/15	0.0647 (0.0227)	87.8681 (4.3181)	2.492E-2 (2.13E-2)
90/10	0.063 (0.0014)	86.0424 (0.7496)	2.376E-4 (3.22E-2)
95/5	0.065 (0.0014)	82.1555 (0.2499)	2.34E-4 (2.34E-2)

หมายเหตุ

- ns ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
- ค่าที่อยู่ในวงเล็บเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) จากการศึกษาค่าอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน CHI/MST 85/15 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) มากที่สุด และที่อัตราส่วน CHI/MST 80/20 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) น้อยที่สุด ส่วนในค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) นั้น จะใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน อัตราส่วนที่ให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) มากที่สุดคือ CHI/MST 80/20 เนื่องจากอนุภาคของเม็ดแป้งนั้นมีรูพรุน การที่ปริมาณแป้งมีจำนวนมาก จึงทำให้แป้งสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นไอน้ำจึงสามารถซึมผ่านได้มากขึ้นเช่นกัน

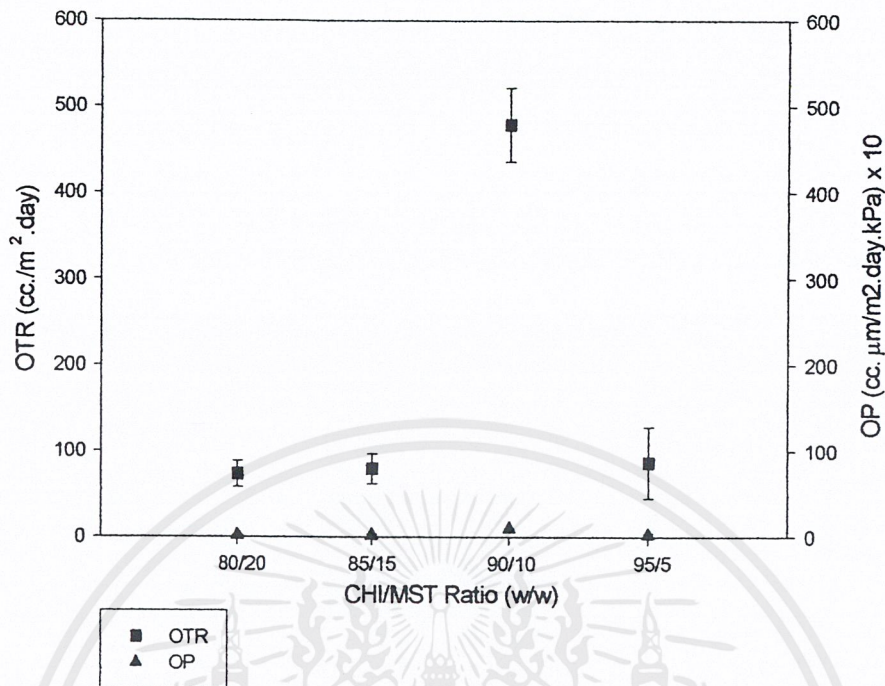
ตารางที่ 4.6 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ จากชุดวิเคราะห์การซึมผ่านของออกซิเจน

CHI / MST	ความหนา ^{ns} (mm)	OTR ^{ns} cc./m ² .day	Oxygen Permeability ^{ns} cc.µm/m ² .day.kPa
80/20	0.0684 (0.0150)	73.3333 (21.5019)	15.1564 (9.0497)
85/15	0.0767 (0.0221)	79.5 (24.7487)	18.4248 (18.0439)
90/10	0.0661 (0.0040)	479 (60.8112)	95.6702 (5.8875)
95/5	0.0811 (0.0110)	86.3333 (58.7055)	21.1563 (34.9312)

หมายเหตุ

- ns ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
- ค่าที่อยู่ในวงเล็บเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

จากรูปที่ 4.14 ที่อัตราส่วน CHI/MST 90/10 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) มากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน CHI/MST 90/10 นั้น จะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมนั้นอาจมีฟองอากาศเหลืออยู่มาก ทำให้ค่าที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง และที่อัตราส่วน CHI/MST 80/20 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และ ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ต่ำที่สุด

จากผลการทดลองสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) นั้น สามารถบอกได้ว่า ที่อัตราส่วน CHI/MST 90/10 นั้นเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีคุณสมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนที่ดี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

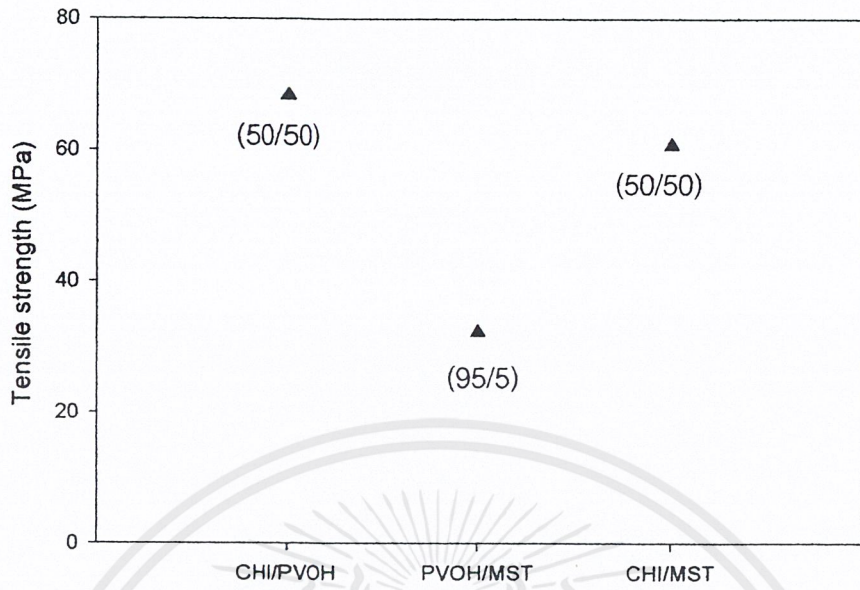
5.1 สรุปการวิจัย

5.1.1 สมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

1. ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) พบว่าที่อัตราส่วน PVOH/MST 95/5 นั้น จะให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูงที่สุด ที่อัตราส่วน PVOH/MST 85/15 จะให้ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) และค่ามอดุลัส (Modulus) สูงที่สุด ส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) และค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) นั้น จะให้ค่าสูงสุดที่อัตราส่วน PVOH/MST 100/0 นั่นคือ จะสังเกตได้ว่าสมบัติเชิงกลของฟิล์มจะดีขึ้น เมื่อปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) ลดลง

2. ในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) นั้น พบว่า ที่อัตราส่วน 50/50 จะให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่ามอดุลัส (Modulus) สูงที่สุด ส่วนในค่าของเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) และค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) ที่อัตราส่วน 100/0 จะให้ค่าทั้งสองสูงสุด และที่อัตราส่วน 85/15 จะให้ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) สูงสุด นั่นคือ ในอัตราส่วน CHI/MST 50/50 ฟิล์มจะมีความแข็งแรงมากที่สุด และจะมีสมบัติยืดหยุ่นดีขึ้น เมื่อปริมาณแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (MST) ลดลง

3. ในการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้มีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูงที่สุด ควรเลือกเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVOH) ที่อัตราส่วน CHI/PVOH 50/50 ส่วนในการเตรียมฟิล์มเพื่อให้มีสมบัติยืดหยุ่นมากที่สุด ควรเลือกเตรียมฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (PVOH 100) และในการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้มีความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) มากที่สุด ควรเลือกเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) ที่อัตราส่วน CHI/MST 85/15 ซึ่งดูการเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3

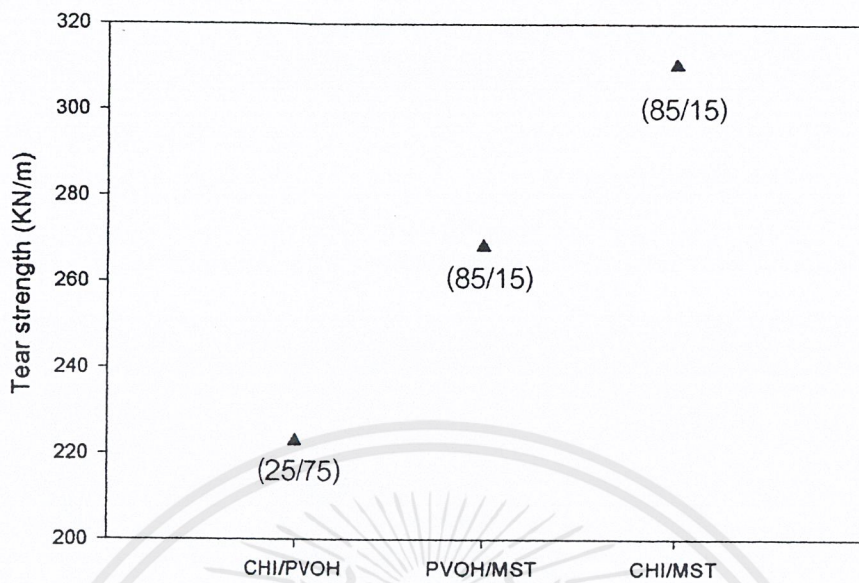


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมกับค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมกับค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์ผสมกับค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

5.1.2 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

1. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) จากการทดสอบด้วย DMTA พบว่า ค่า T_g ในอัตราส่วนที่ 50/50 เกิดขึ้น 2 ค่าคือ 45 และ 97 °C ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ค่า T_g ของแป้งอะซิเตต (Starch-acetate) มีค่าประมาณ 165-195 °C [33] ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มที่เตรียมเป็นแบบ Immiscible ส่วนในอัตราส่วนอื่นๆที่พบเพียงค่า T_g ค่าเดียวนั้น อาจเนื่องมาจากตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นเพียงส่วนของพอลิเมอร์ตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น เพราะจากการสังเกตพบว่า ฟิล์มที่เตรียมจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างเห็นได้ชัด

2. ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) จากการทดสอบด้วย DMTA พบว่า ค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงไปโดยจะเลื่อนไปทางซ้าย หรือขวา นั้นขึ้นอยู่กับ interaction ที่เกิดขึ้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม ซึ่งค่า T_g ที่เกิดขึ้น สามารถวัดได้ 2 ค่าคือ เป็นของ alpha และ beta transition ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเป็นแบบ Miscible และจากการสังเกตพบว่า ฟิล์มที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Compatible)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม

1. ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WVTR) และ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม จะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) จะให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำมากที่สุดที่อัตราส่วน 85/15 และที่อัตราส่วน PVOH/MST 100/0 จะให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำน้อยที่สุด และในพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) ที่อัตราส่วน CHI/MST 85/15 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำสูงสุด และที่อัตราส่วน CHI/MST 80/20 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำที่สุด

2. ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) และค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OP) ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม จะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST) ที่อัตราส่วน PVOH/MST 100/0 จะให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมากที่สุด และที่อัตราส่วน PVOH/MST 85/15 จะให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนน้อยที่สุด และในพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST) ที่อัตราส่วน CHI/MST 90/10 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงที่สุด และที่อัตราส่วน CHI/MST 80/20 จะให้ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำสุด

3. ในการเตรียมฟิล์มเพื่อให้มีคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสม ควรเลือกใช้อัตราส่วน PVOH/MST 95/5 หรือ CHI/MST 90/10

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่รับประทานได้ ระหว่างพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ โคโตะซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาในอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาแล้วอาจทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆดังต่อไปนี้

- ศึกษาพอลิเมอร์ผสมชนิดอื่นๆที่อาจเตรียมเป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการใช้งานได้ดี
- ศึกษาผลของสารเติมแต่ง และสารเชื่อมโยงต่างๆ เช่น Starfresh-Wax, โฟแทสเซียมซอร์เบท, กลูตาออลไดอัลดีไฮด์ เป็นต้น
- พัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมให้เป็นบรรจุภัณฑ์รูปอื่นๆ เช่น ก่อถ่วง ถุง เป็นต้น
- ทำการศึกษสมบัติต่างๆที่มีต่อการใช้งานในอุณหภูมิต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จริงแท้ ศิริพานิช , สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ , กรุงเทพฯ , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2542 , 1-60.
2. M.Ratajka and S. Boryiec , Polym. Adv. Technol. (1999) , 10(10) , 625-633.
3. J.Xu, S. P. Mccarthy, R.a.Gross, and D. L. Kaplan, Macromolecules (1996), 29, 3436-3440.
4. ไพโรจน์ ไสภณโณคร สุทธวัฒน์ เบญจกุล และวิคเนตร พระพุทธ, (2535) การยืดอายุการเก็บรักษามะนาวโดยการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน, ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา
5. ปรีดา จิตตารมย์, (2536) การพัฒนาสารเคลือบผิวสำหรับส้มเขียวหวาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
6. V.L. Alaexeev, E.A. Kelberg and G.A. Evmenenko, J. Polym. Eng. Sci. (2000), 40(5), 1211-1215.
7. E.B.Denkbas and M. odabasi, J. Appl. Polym. Sci. (2000), 76, 1637-1643.
8. C. Xiao, S. gao, H. Wang, and L. Zhang, J. Appl. Polym. Sci. (2000), 76, 509-515.
9. T. Koyanno, N. Koshizaki, H. Umehara, M. Nagura, and N. Monoura, Polymer (2000), 41, 4461-4465.
10. M. Miya, S. Yoshikawa, R. Iwamoto, and S. Mima, Kobunshi Ronbunshu (1983), 40, 645.
11. M.Mucha, Journal of Applied Polymer Science
12. I. Arvanitoyannis,E. Psomiadou,A. Nakayama,S. Aiba & N. Yamamoto, Food Chemistry.(1997), 60(4), 593-604.
13. ศิลมน ชัยภักดิ์, สุชาดา บุญญาเดช, ศุภกิจ โหศิริ, การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อเคลือบผิวยืดอายุการเก็บรักษามะนาว, โครงการพิเศษปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง
14. อิทธิพล แจ่มชัด, วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, (2543), 10(1), 27-33
15. C.L.Lasko and M.P. Hurst, Environ. Sci. Techohnol. (1999), 33, 3622-3626.
16. K. Ogawa, S.Hirano, T. Miyanishi, T. Yui, and T. Watanabe, Macromolecules (1984), 17, 973.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. K.Okuyama, K.Noguchi, T. Miyanishi, T. Yui, and K.Ogawa, Macromolecules (1997), **30**, 5849-5855.
18. กฤษณ์ เรืองธรรม, 2543 การศึกษาโคโตนานาโนคอมโพสิตชนิดใหม่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง, กรุงเทพ
19. W. K. Loke, S.K.Lau, L.L.Yong, E. Khor, and C.K. Sum, J.biomed. Mater.Res. (2000), **53(1)**, 8-17.
20. H. Yamamoto and M. Amaike, Macromolecules (1997), **30**, 3936-3937.
21. Z. Modrzejewska and W.Kaminski, Ind. Eng.Chem. Res. (1999), **38**,4946-4950.
22. M.M.Bonvin and M.M. de Bertorello. Polym. Bull. (1993), **31**, 375-378.
23. J.Gruz, M. Kawasaki and W. Gorski, Anal.Chem. (2000), **72**, 680-686.
24. A.A. De Angelis, D. Capitani, and V. Crescenzi, Macromolecules (1998), **31**, 1595-1601.
25. กล้านรงค์ ศรีวรรต, เทคโนโลยีของแป้ง, (2543), สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2
26. Rutenberg, M.W., and D. Solarek. 1984. Starch derivatives: technology and uses. In R.L.Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall (Eds.). Starch: Chemistry and Technology. 2nd Ed. Academic Press Inc., Florida. Pp.311-388
27. Mitrevej, A. 1996.Pramaceuticals and high value from starch In Advanced Post-Academic Course on Tapioca Starch Technology (I). January 22-26 & February 19-23, 1996. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
28. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร. เอกสาร มอก. ที่ 1073-2535. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 11 หน้า.
29. Khalil, M.I., A. Hashem, and A. Hebeish. 1995. Preparation and characterization of starch acetate. Starch/Starke. 45(12) : 443-445
30. Aiyeleye, F.B., J.O. Akingbala, and G.B. Oguntimein. 1993. Chemical factors affecting acetylation of cassava starch. Starch/Starke.
31. American Standard for Testing and Materials. 1996. Standard Testing Method for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM E 96-95. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia.1030p.
32. American Standard for Testing and Materials. 1981. Standard Testing Method for oxygen Gas transmission rate through plastic films and Sheeting Using a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coulometric Sensor. ASTM D3985-81. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia.

33. J. Brandrup, E.H. Immergut, E.A. Gulke, Polymer Handbook, พิมพ์ครั้งที่ 4, 1999



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVOH) [13]

ครั้งที่	Tensile Strength (MPa)				
	CHI100	CHI75/PVOH25	CHI50/PVOH50	CHI25/PVOH75	PVOH100
1	5.117	40.61	67.57	68.16	9.163
2	3.831	54.76	72.60	57.42	11.90
3	2.204	62.61	72.72	60.81	12.98
4	4.425	68.29	63.85	60.84	11.50
5	4.247	56.54	64.58	59.01	10.24

ตารางที่ ก-2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) จากการศึกษหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVOH) [13]

ครั้งที่	%Elongation at Break				
	CHI100	CHI75/PVOH25	CHI50/PVOH50	CHI25/PVOH75	PVOH100
1	29.52	33.25	239.7	239.8	309.6
2	23.18	25.93	242.9	206.9	371.7
3	34.45	57.97	249.7	229.4	397.8
4	23.94	24.59	274.2	237	346.7
5	20.05	34.47	201.2	223.7	340.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) จากการศึกษาลำดับอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (CHI/PVOH) [13]

ครั้งที่	Tear Strength (KN/m)				
	CHI100	CHI75/PVOH25	CHI50/PVOH50	CHI25/PVOH75	PVOH100
1	36.63	92.06	177.04	199.77	127.45
2	27.53	90.17	227.06	228.41	131.04
3	34.34	96.94	261.68	180.60	141.75
4	30.71	79.52	182.83	256.55	142.45
5	24.95	63.74	224.25	249.31	120.89

ตารางที่ ก-4 แสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) จากการศึกษาลำดับอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

PVOH / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	Tensile Strength (MPa)
100/0	6.245	0.216	21.680
95/5	6.605	0.086	32.260
90/10	6.497	0.128	25.510
85/15	6.285	0.16	25.870
80/20	6.355	0.133	28.890
75/25	6.288	0.134	18.890
50/50	6.510	0.194	11.091
25/75	6.280	0.305	1.164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดัดยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

PVOH / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	%Elongation at Break
100/0	6.245	0.216	660.6
95/5	6.605	0.086	360.0
90/10	6.497	0.128	118.4
85/15	6.285	0.160	146.4
80/20	6.355	0.133	141.4
75/25	6.288	0.134	249.8
50/50	6.510	0.194	35.0
25/75	6.280	0.305	3.9

ตารางที่ ก-6 แสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

PVOH / MST	ความหนา (mm)	Tear Strength (KN/m)
100/0	0.141	6.835
95/5	0.111	161.000
90/10	0.107	235.400
85/15	0.123	268.300
80/20	0.135	164.200
75/25	0.111	130.400
50/50	0.141	70.200
25/75	0.141	56.700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 แสดงค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุ (Modulus) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

PVOH / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	Modulus (MPa)
100/0	6.245	0.216	2.170
95/5	6.605	0.086	0.144
90/10	6.497	0.128	245.200
85/15	6.285	0.160	271.200
80/20	6.355	0.133	238.600
75/25	6.288	0.134	6.672
50/50	6.510	0.194	38.465
25/75	6.280	0.305	32.430

ตารางที่ ก-8 แสดงค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work Done) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (PVOH/MST)

PVOH / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	Work Done (N-mm)
100/0	6.245	0.216	1709.0
95/5	6.605	0.086	888.8
90/10	6.497	0.128	417.8
85/15	6.285	0.160	679.7
80/20	6.355	0.133	631.2
75/25	6.288	0.134	709.5
50/50	6.510	0.194	110.6
25/75	6.280	0.305	2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 แสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

CHI / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	Tensile Strength (MPa)
100/0	6.250	0.200	23.922
95/5	6.280	0.146	28.160
90/10	6.224	0.108	31.868
85/15	6.240	0.179	19.898
80/20	6.077	0.251	19.680
75/25	6.250	0.100	54.852
50/50	6.250	0.100	60.753
25/75	6.250	0.100	46.328

ตารางที่ ก-10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

CHI / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	%Elongation at Break
100/0	6.245	0.216	27.580
95/5	6.605	0.086	8.568
90/10	6.497	0.128	6.399
85/15	6.285	0.160	6.477
80/20	6.355	0.133	6.504
75/25	6.288	0.134	6.524
50/50	6.510	0.194	6.509
25/75	6.280	0.305	6.175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-11 แสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโคซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

CHI / MST	ความหนา (mm)	Tear Strength (KN/m)
100/0	0.1	26.717
95/5	0.1	224.900
90/10	0.1	271.200
85/15	0.1	310.400
80/20	0.1	249.100
75/25	0.1	22.136
50/50	0.1	23.082
25/75	0.1	20.738

ตารางที่ ก-12 แสดงค่าความสามารถรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดวัสดุ (Modulus) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโคซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

CHI / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	Modulus (MPa)
100/0	6.250	0.200	549.350
95/5	6.280	0.146	3.775
90/10	6.224	0.108	913.025
85/15	6.240	0.179	515.550
80/20	6.077	0.251	560.900
75/25	6.250	0.100	1791.500
50/50	6.250	0.100	1997.667
25/75	6.250	0.100	1413.700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-13 แสดงค่าพลังงานที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก (Work Done) จากการศึกษาหาอัตราส่วนฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโคซานกับแป้งชนิดปรับปรุงด้วยเอสเทอร์ (CHI/MST)

CHI / MST	ความกว้าง (mm)	ความหนา (mm)	Work Done (N-mm)
100/0	6.250	0.200	160.167
95/5	6.280	0.146	42.610
90/10	6.224	0.108	43.288
85/15	6.240	0.179	45.228
80/20	6.077	0.251	42.930
75/25	6.250	0.100	54.923
50/50	6.250	0.100	53.808
25/75	6.250	0.100	36.752

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้