

การเตรียมฟิล์มพอลิเล็กทริกแอซิดเสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์

นางสาวธิดาทิพย์ ตันวุฒิมพร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF POLY(LACTIC ACID) FILM REINFORCED WITH ACETYLATED
CHITOSAN WHISKER

Miss Thidatip Tunwutthiporn



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile
Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การเตรียมฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดเสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์ |
| โดย | นางสาวธิดาทิพย์ ต้นวุฒิมิพร |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ |

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โปธิยะราช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะพร คามภิรภาพพันธ์)

5572000723 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS: CHITOSAN FI / POLYLACTIC ACID / VINYL ACETATE / COMPOSITE FILM / WHISKER

THIDATIP TUNWUTTHIPORN: PREPARATION OF POLY(LACTIC ACID) FILM REINFORCED WITH ACETYLATED CHITOSAN WHISKER. ADVISOR: ASSOC. PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., 39 pp.

Chitosan particle is an interesting filler for imparting functional properties into polymer composites such as improved mechanical properties, antimicrobial activity and barrier property. However, the challenging task in preparing the polymer composite containing chitosan particle is the problem of chitosan hard agglomerate due to extremely strong hydrogen bonding, resulting in the bad dispersibility of chitosan whiskers in polymer matrix. In this research, chitosan whiskers were prepared by enzymatic hydrolysis of starch/chitosan miscible blend film (gradual dissolution of starch part by amylase enzyme which controlled the conversion of acid solubilized chitosan to fine colloidal particles). To prevent hydrogen bonding among whiskers, chitosan whiskers were further modified by acetylation with vinyl acetate to obtain acetylated chitosan whiskers. Acetylated chitosan whiskers presented in soft agglomerate form which exhibited good dispersibility in poly(lactic acid). The transparency of poly(lactic acid) films containing 0.5 -1.5 wt% acetylated chitosan whisker was found equivalent to neat poly(lactic acid) film. Interestingly, it was found that acetylated chitosan whisker containing films exhibited oxygen barrier properties due to the fact that acetylated chitosan whiskers absorbed oxygen gas and retarded its diffusion rate.

Department: Materials Science Student's Signature

Field of Study: Applied Polymer Science Advisor's Signature
and Textile Technology

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

บุคคลที่มีบทบาทมากที่สุดในการผลักดันงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กาวิ ศรีกุลกิจ ผู้ที่คอยกระตุ้น ตักเตือน ให้คำแนะนำ สนับสนุนทางวิชาการ และทางด้านเงินทุนแก่ผู้วิจัยในทุกด้านตั้งแต่เริ่มงานวิจัยจนงานเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาเป็นการฝึกฝนผู้วิจัยให้เรียนรู้และสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยตนเอง ในส่วนภาคปฏิบัติของงานวิจัยนี้ ช่วงแรกผู้วิจัยยังไม่มีประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร จึงใช้เวลาในการทดลองผิดถูกอยู่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ต้องขอขอบคุณคำแนะนำจากผู้มีประสบการณ์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เงินทุนสำหรับงานวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ (PETRO MAT)

นอกจากนี้ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเพื่อสถานที่ปฏิบัติงาน สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือในการทดลอง พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกระหว่างการปฏิบัติงาน และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ช่วยเหลือในการทดสอบตัวอย่าง มีผลให้ผู้วิจัยได้รับข้อมูลครบถ้วนในระยะเวลาอันสั้น

ท้ายที่สุดนี้ประสบการณ์จากการศึกษา ความสำเร็จ และกำลังใจทั้งหมดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อน ที่สนับสนุนตลอดมา อีกทั้งคณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... | 3 |
| บทที่ 2 วารสารปริทัศน์..... | 4 |
| 2.1 พอลิแล็กติกแอซิด (Polylactic acid) | 4 |
| 2.1.1 โครงสร้าง องค์ประกอบและการสังเคราะห์..... | 5 |
| 2.1.2 สมบัติของพอลิแล็กติกแอซิด | 7 |
| 2.1.2.1 สมบัติการละลาย..... | 7 |
| 2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางกล..... | 7 |
| 2.1.2.3 สมบัติทางความร้อน..... | 8 |
| 2.1.2.4 สมบัติด้านการซึมผ่านของแก๊สและของเหลว (Barrier properties)..... | 11 |
| 2.1.3 การแปรรูป..... | 12 |
| 2.1.4 การเสื่อมสภาพของพอลิแล็กติกแอซิด..... | 13 |
| 2.1.5 ภาพรวมและทิศทางการพัฒนาพอลิแล็กติกแอซิด | 14 |
| 2.2 ไคโตซาน (Chitosan) | 15 |
| 2.3 ไวนิลอะซิเตด (Vinyl Acetate) | 17 |

| | |
|--|----|
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 18 |
| บทที่ 3 วิธีการทดลอง..... | 20 |
| 3.1 วัตถุประสงค์..... | 20 |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์..... | 20 |
| 3.3 แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง..... | 21 |
| 3.4 ขั้นตอนการทดลอง..... | 22 |
| 3.4.1 การเตรียมฟิล์มผสมแป้ง/ไคโตซานด้วยเทคนิคการหล่อ) Casting Process(..... | 22 |
| 3.4.2 การเตรียมไคโตซานวิสเกอร์)CTS (ด้วยการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ฟิล์มผสม แป้ง/ไคโตซานด้วยเอนไซม์..... | 22 |
| 3.4.3 การตัดแปรรไคโตซานวิสเกอร์ (CHWs) ด้วยไวโนลอะซีเตต..... | 22 |
| 3.4.4 การเตรียมฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดผสมแอซิติลเลเตดไคโตซานด้วยเทคนิคการหล่อ (casting)..... | 22 |
| 3.5 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ..... | 23 |
| 3.5.1 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transforms infrared spectroscopy: FTIR)..... | 23 |
| 3.5.2 วิเคราะห์พฤติกรรมการบวมตัวและการกระจายในตัวทำละลาย โดยเทคนิค swelling test..... | 23 |
| 3.5.3 วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความสามารถในการกระจายตัวด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)..... | 23 |
| 3.5.4 วิเคราะห์ลักษณะความเป็นผลึกด้วยเทคนิคเอกเรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray Diffraction : XRD)..... | 24 |
| 3.5.5 ทดสอบสมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน..... | 25 |
| 3.5.6 ความโปร่งแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์..... | 26 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... | 27 |

| | |
|---|----|
| 4.1 ขอบเขตการวิจัย | 27 |
| 4.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโตซานวิสเกอร์ | 27 |
| 4.3 พฤติกรรมการบวมตัวและการกระจายในตัวทำละลายของแอสีทีเลตโคโตซานวิสเกอร์..... | 28 |
| 4.4 ความเป็นผลึกของแอสีทีเลตโคโตซานวิสเกอร์ | 30 |
| 4.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transforms infrared spectroscopy: FTIR)..... | 31 |
| 4.6 ลักษณะของฟิล์มคอมพอสิต..... | 32 |
| 4.7 การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน..... | 33 |
| 4.8 ความโปร่งใส | 34 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 35 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 35 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 36 |
| รายการอ้างอิง | 37 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 39 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2. 1 สมบัติเชิงกลของพอลิเล็กทริกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูง | 8 |
| ตารางที่ 2. 2 สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability) ของไอน้ำของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET) พอลิสไตรีนที่มีการจัดเรียงโมเลกุล (OPS) และพอลิเล็กทริกแอซิดที่มีการจัดเรียงโมเลกุล (OPLA)..... | 11 |
| ตารางที่ 4. 1 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน | 33 |
| ตารางที่ 4. 2 ร้อยละของแสงที่ส่องผ่านแผ่นฟิล์มคอมพอลสิตแต่ละอัตราส่วนที่แตกต่างกัน..... | 34 |



สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2. 1 วัฏจักรของพอลิแล็กติกแอซิด | 4 |
| รูปที่ 2. 2 โครงสร้างของกรดแล็กติก | 5 |
| รูปที่ 2. 3 การสังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิดจากกรดแล็กติกชนิดแอลและดี | 6 |
| รูปที่ 2. 4 อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิแล็กติกแอซิด และเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่น ๆ | 9 |
| รูปที่ 2. 5 อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ของพอลิแล็กติกแอซิดที่มีสัดส่วนของแอล-ไอโซเมอร์ และน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ | 9 |
| รูปที่ 2. 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และปริมาณมีโซ-แลคไทด์ในพอลิแล็กติกแอซิด- | 11 |
| รูปที่ 2. 7 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแก๊สในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิสไตรีน (PS) พอลิแล็กติกแอซิด (PLA) ที่มีค่าสัดส่วนไอโซเมอร์ L:D เท่ากับ 96:4 และพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) | 12 |
| รูปที่ 2. 8 โครงสร้างทางเคมีของโคโคซาน | 15 |
| รูปที่ 2. 9 โครงสร้างทางเคมีของไวนิลอะซิเตด | 17 |
| รูปที่ 2. 10 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนและอะซิติกแอซิดในการสังเคราะห์ไวนิลอะซิเตด | 17 |
| รูปที่ 3. 1 ขั้นตอนการทดลอง | 21 |
| รูปที่ 3. 2 เครื่องฟูเรียร์แทรนส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ | 23 |
| รูปที่ 3. 3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 24 |
| รูปที่ 3. 4 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก | 24 |
| รูปที่ 3. 5 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน | 25 |
| รูปที่ 3. 6 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ | 26 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 4. 1 การเตรียมฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดผสมแอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์..... | 27 |
| รูปที่ 4. 2 ลักษณะสัณฐานทางวิทยาของอนุภาค (ด้านซ้าย) โคโตซานวิสเกอร์ (ด้านขวา) โคโตซานที่ตกตะกอนโดยอิสระ..... | 28 |
| รูปที่ 4. 3 การบวมตัวของแอซีทีเลเตดโคโตซานในตัวทำละลายโทลูอีน..... | 30 |
| รูปที่ 4. 4 กราฟ X-ray diffraction ของแอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์และโคโตซานที่ไม่ได้มีการตัดแปร..... | 30 |
| รูปที่ 4. 5 IR Spectrum ของแอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนของไวนิลอะซีเตตที่แตกต่างกัน คือ (a)โคโตซานบริสุทธิ์ (b)แอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวนิลอะซีเตต 25%wt (c) แอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวนิลอะซีเตต 50%wt (d)แอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวนิลอะซีเตต100%wt และ(e) แอซีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวนิลอะซีเตต200 %wt ตามลำดับ..... | 31 |
| รูปที่ 4. 6 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดที่ประกอบด้วยโคโตซานวิสเกอร์ในปริมาณต่างๆ ที่ความหนา 0. มิลลิเมตร คือ 5(a)พอลิแล็กติก-แอซิดบริสุทธิ์) b)พอลิแล็กติกแอซิด/แอซีทีเลเตดโคโตซาน 0.5%wt (c)พอลิแล็กติกแอซิด/แอซีทีเลเตดโคโตซาน 1.0%wt และ (d)พอลิแล็กติกแอซิด/แอซีที เลเตดโคโตซาน-1.5%wt..... | 32 |
| .. | |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์ขยะของไทยตามรายงานของกรมควบคุมมลพิษระบุว่า ช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยขยะมูลฝอยเป็นขยะที่มีปริมาณมากที่สุดของประเทศไทย โดยปี 2555 มีขยะมูลฝอยประมาณ 16 ล้านตัน ซึ่งเป็นขยะที่เกิดขึ้นในกรุงเทพฯ ร้อยละ 22 หรือเฉลี่ย 9,800 ตันต่อวัน สำหรับขยะกลุ่มนี้กำจัดอย่างถูกวิธีตามหลักวิชาการเพียง 5.8 ล้านตัน (ร้อยละ 36) ที่เหลืออีกกว่า 10 ล้านตัน กำจัดโดยการเผาทิ้ง กองทิ้งในบ่อดินเก่าหรือพื้นที่รกร้างทั้งนี้ มีการนำขยะมูลฝอยบางส่วนทั้งที่มาจากชุมชนและภาคอุตสาหกรรมมาคัดแยกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ขวดแก้ว ขวดพลาสติก หรือกระดาษ ก็นำไปรีไซเคิล ส่วนขยะจากชุมชนส่วนอื่น เช่น ขยะอินทรีย์ก็ทำเป็นปุ๋ยหรือผลิตแก๊สชีวภาพ และนำไปผลิตพลังงานทดแทน [1] แต่ปริมาณของขยะที่สามารถกำจัดได้นั้นมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี ซึ่งขยะที่พบมากเป็นอันดับต้นๆ คือ ขยะพลาสติก เนื่องจาก ในปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่ง ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น และนำมาแทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น ไม้ เหล็ก เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก มีน้ำหนักเบาและมีขอบข่ายการใช้งานได้กว้าง สามารถผลิตพลาสติกให้มีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้ โดยขึ้นกับการเลือกใช้วัตถุดิบ ปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้อย่างมากมาย และนอกจากนี้ ยังสามารถปรุงแต่งคุณสมบัติได้ง่าย โดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น [2] ขยะที่เกิดจากพลาสติกสามารถกำจัดได้หลายวิธี เช่น การนำไปฝัง (Burial) หรือนำไปถมดิน (Landfill) การนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง (Incineration) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกำจัดขยะพลาสติกและการเพิ่มปริมาณของขยะพลาสติก จึงได้มีการพัฒนาแนวทางใหม่ๆ ขึ้นมา แนวทางที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันแนวทางหนึ่งคือการพัฒนาพลาสติกชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งสามารถย่อยสลายได้หรือผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ เพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พอลิแล็กติกแอซิด (Poly(lactic acid) : PLA) และ พอลิ(3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต) (Poly(3-hydroxybutyrate) : PHB) เป็นต้น [3] พอลิแล็กติกแอซิด (Poly(lactic acid) : PLA) เป็น เทอร์โมพลาสติกอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ ซึ่งผลิตได้จากกรดแล็กติก (Lactic acid) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการ

หมักผลผลิตทางการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันสำปะหลัง เป็นต้น PLA มีศักยภาพในการทดแทนพลาสติกเชิงพาณิชย์ เช่น พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ได้ เนื่องจากมีสมบัติทางกลที่ใกล้เคียงกันและสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการออกแบบโมเลกุล [4] มีช่วงการหลอมเหลว (Melting range) 173-178 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามทนความร้อนได้ไม่เกิน 110 องศาเซลเซียส มีปริมาณความเป็นผลึก (Crystallinity) ประมาณร้อยละ 37 และอุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) อยู่ระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียส มีสมบัติขวางกั้นการซึมผ่าน (Barrier properties) ดี เข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (Biocompatibility) สมบัติพิเศษคือ มีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้ เมื่อนำไปฝังกลบในดิน สามารถขึ้นรูปด้วยเทคนิคการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกทั่วไป เช่น กระบวนการการอัดรีด (Extrusion) กระบวนการฉีด (Injection molding) มีลักษณะเป็น พลาสติกใส นำมาใช้บรรจุอาหารที่ไม่มีความร้อนสูงมาก ไม่ใช้กับไมโครเวฟ [5] นอกจากนี้ PLA ยังไม่เป็นพิษ (Non-toxic) อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม PLA ยังมีข้อด้อยในเรื่องของการเกิดผลึกที่ช้า มีความเปราะ และทนต่อความร้อนต่ำ เนื่องจากพอลิแล็กติกแอซิดยังมีข้อจำกัด ในหลายด้าน [4] จึงได้มีการศึกษาการเติมสารฟิลเลอร์ในพอลิแล็กติกแอซิด เพื่อปรับปรุงสมบัติดังกล่าวของพอลิแล็กติกแอซิด ซึ่งสารเติมแต่งที่นิยมศึกษาคือ ไคโตซาน เนื่องจาก เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และไม่เป็นพิษ [6]

ไคโตซาน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์แบบเส้นที่ประกอบด้วย β -(1-4)-linked D-glucosamine (deacetylated unit) และ N-acetyl-D-glucosamine (acetylated unit) อยู่รวมกันแบบสลับ ไคโตซานสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradability) ไม่เป็นพิษ (Nontoxicity) และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Renewability) ปัจจุบันจึงมีการนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ อาทิเช่น ด้านอาหาร ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด ทางทางการแพทย์มีรายงานการนำ N-acetyl-D-glucosamine ไปใช้รักษาไขข้อเสื่อม และนำแผ่นไคโตซานมาใช้ปิดแผล เป็นต้น [7] ในการศึกษาวิจัยคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ปัจจุบันนิยมนำมาใช้กับพอลิเมอร์ทางชีวภาพ โดยใช้ในการผลิตหรือดัดแปลงเป็นวัสดุต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในพลาสติกที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น พลาสติก ยางสังเคราะห์ ฟิล์มพลาสติกผสม เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากมีสมบัติเด่นคือ ไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย เป็นคาร์โบไฮเดรต จะสลายตัวอย่างช้า และถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จึงไม่ส่งผลใดๆที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค [8]

ในโครงการวิจัยนี้จึงสนใจการนำไคโตซานวิสเกอร์มาใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับพอลิแล็กติก-แอซิด การเตรียมไคโตซานวิสเกอร์ในการทดลองนี้ทำได้โดยการย่อยส่วนของแป้งออกจากพอ

ลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งและไคโตซาน ได้เป็นสารแขวนลอยไคโตซานวิสเกอร์ การนำไคโตซานไปใช้ผสมโดยตรงยังไม่สามารถทำได้เนื่องจากไคโตซานวิสเกอร์จะเกิดการเกาะยึดติดกันอย่างเหนียวแน่นเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (Aggregate) จึงทำการตัดแปรรูปร่างของไคโตซานวิสเกอร์ด้วยไวโนลอะซิเตตได้เป็น แอซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ ที่อนุภาคจะเกาะรวมกลุ่มกันแบบหลวมๆ (Agglomerate) ก่อนนำไปเติมในพอลิแล็กติกแอซิดโดยเทคนิคการละลาย และหล่อแบบให้ได้เป็นฟิล์มคอมพอสิต จากนั้นนำฟิล์มไปวิเคราะห์และทดสอบด้วยเทคนิคและวิธีการทดสอบต่างๆ เช่น วิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคสเปกสโคปี วิเคราะห์สมบัติทางความร้อน วิเคราะห์สัณฐานวิทยา ทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้น (Moisture absorbency) ความโปร่งแสง การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

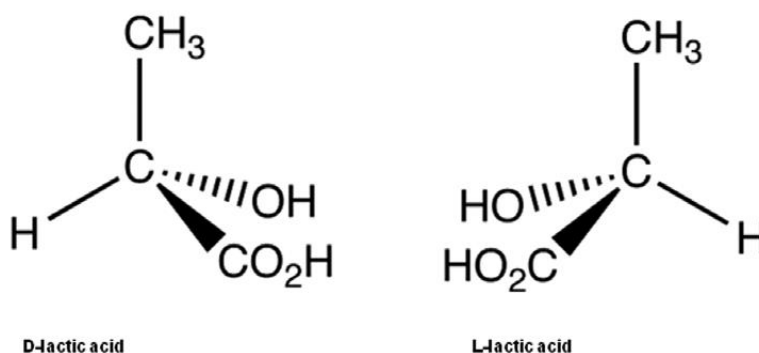
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1. เพื่อเตรียมไคโตซานวิสเกอร์
2. เพื่อตัดแปรรูปร่างของไคโตซานวิสเกอร์ด้วยไวโนลอะซิเตตให้เป็นแอซีทีเลเตดไคโตซาน-วิสเกอร์
3. เพื่อเตรียมฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดเสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์
4. เพื่อวิเคราะห์และศึกษาสมบัติของฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดที่เตรียมได้

ในอดีตการใช้งานของพอลิแล็กติกแอซิดจำกัดอยู่ในวงการแพทย์ เช่น อุปกรณ์การปลูกถ่ายอวัยวะ (Implant devices) วัสดุค้ำจุนสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue scaffolds) และไหมละลาย (Sutures) เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง หาได้ยากและพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้มีสมบัติทางกลต่ำ เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ ที่ช่วยให้สามารถผลิตพอลิแล็กติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในเชิงพาณิชย์ขึ้นได้ การใช้งานของพอลิเมอร์ชนิดนี้จึงเริ่มขยายออกไป เนื่องจากพอลิแล็กติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ที่สลายตัวได้และผลิตได้จากวัตถุดิบที่สร้างทดแทนใหม่ได้ จึงคาดกันว่า การใช้วัสดุชนิดนี้จะช่วยลดปัญหาขยะลงได้ และสมบัติความไม่เป็นพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทำให้ พอลิแล็กติกแอซิดเป็นวัสดุในอุดมคติสำหรับงานด้านบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคบริโภคอื่น ๆ ทิศทางการวิจัยในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะพัฒนาพอลิแล็กติกแอซิดเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งทนทาน (Semi-durable products) และสามารถใช้ทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

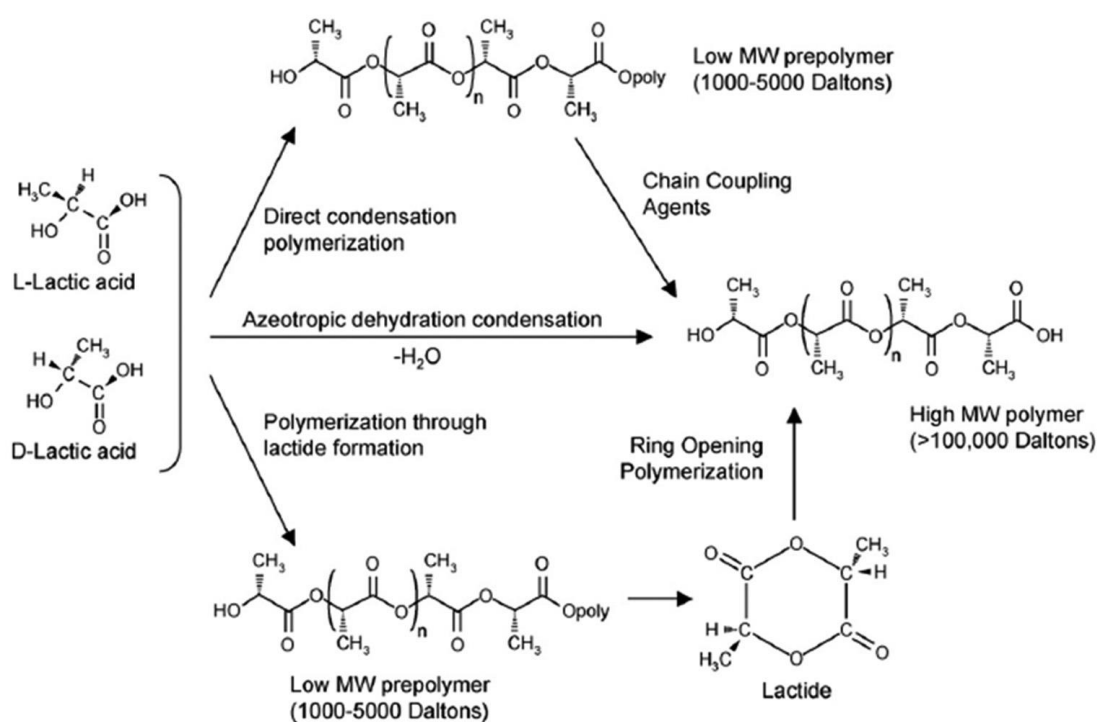
2.1.1 โครงสร้าง องค์ประกอบและการสังเคราะห์

พอลิแล็กติกแอซิดสังเคราะห์ขึ้นจากกรดอัลฟาไฮดรอกซี (α -Hydroxy acids) หน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ของพอลิแล็กติกแอซิด คือ กรดแล็กติก หรือมีชื่อทางเคมีคือ 2-ไฮดรอกซี โพรพิโอนิก แอซิด (2-Hydroxy propionic acid) กรดแล็กติกมีไอโซเมอร์สองรูปแบบ คือ แบบดี และแอล (รูปที่ 2.2) ซึ่งเป็นอแนนชิโอเมอร์ (Enantiomer) ที่มีความว่องไวต่อแสง (Optical active) ต่างกัน กล่าวคือ มีสูตรเคมีเหมือนกันแต่จัดเรียงตัวในสามมิติไม่เหมือนกัน และบิตระนาบแสงโพลาไรซ์ในทิศทางต่างกัน ในธรรมชาติส่วนใหญ่พบในรูปแบบแอล-ไอโซเมอร์ หรือพบในรูปของผสมระหว่างแอล-และดี-ไอโซเมอร์ เรียกว่า ของผสมราซีมิก (Racemic mixture, อัตราส่วน = 1:1 เขียนแทนด้วย DL) หรือ สารประกอบมีโซ (meso-compound) ซึ่งไม่มีสมบัติบิตระนาบแสงโพลาไรซ์ (Optically inactive) ปัจจุบันการผลิตกรดแล็กติกอาศัยการหมักเป็นหลัก ซึ่งสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ที่ดี



รูปที่ 2. 2 โครงสร้างของกรดแล็กติก

การผลิตพอลิแล็กติกแอซิดอาจกระทำโดยสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอะซีโทรปิค (Azeotropic dehydrative condensation) ปฏิกิริยาการควบแน่นโดยตรง (Direct condensation polymerization) และ/หรือการสังเคราะห์ผ่านการเกิดแลคไทด์ (Lactide formation) (รูปที่ 2.3) พอลิแล็กติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูง (มากกว่า 100,000 ดาลตัน) ในเชิงพาณิชย์สังเคราะห์ได้โดยผ่านการเปิดวง (Ring-opening polymerization) ของแลคไทด์



รูปที่ 2.3 การสังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิดจากกรดแล็กติกชนิดแอลและดี

เนื่องจากกรดแล็กติกมีสองไอโซเมอร์ สายโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่อาจประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ชนิดแอล-ไอโซเมอร์เกือบทั้งหมด (พอลิแอล-แล็กติกแอซิด (PLLA)) หรือประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ที่เป็นของผสมราซิมิก (พอลิติแอล-แล็กติกแอซิด (PDLLA)) ในปัจจุบันการผลิตดี-ไอโซเมอร์ของกรดแล็กติกที่บริสุทธิ์นั้นทำได้ยาก การผลิตพอลิเมอร์ที่สายโซ่หลักประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ชนิด ดี หรือพอลิติ-แล็กติกแอซิด (PDLA) ในเชิงพาณิชย์จึงยังไม่มี

พอลิแล็กติกแอซิดมีโครงสร้างผลึกสามรูปแบบ ได้แก่ แอลฟา (α) เบตา (β) และแกมมา (γ) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอินนอร์ซิโอมเมอร์แอล หรือดี, แอล โครงสร้างแบบอัลฟาเป็นโครงสร้างที่เสถียรที่สุด หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ในขณะที่โครงสร้างเบต้า หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส

2.1.2 สมบัติของพอลิแล็กติกแอซิด

ความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ของพอลิแล็กติกแอซิดส่งผลอย่างมากต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านการซึมผ่านของแก๊สและของเหลว (Barrier properties) [7-8] พอลิแล็กติกแอซิดที่มีสัดส่วนของแอล-ไอโซเมอร์สูงกว่าร้อยละ 90 มีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer) ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีดี-ไอโซเมอร์ในองค์ประกอบเพิ่มขึ้น มีความบริสุทธิ์เชิงแสงต่ำลงและมีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) นอกจากนี้อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิกลาสทรานสิชันและระดับความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของแอล-ไอโซเมอร์ที่ลดลงด้วย

สัดส่วนของไอโซเมอร์ที่แตกต่างกันในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิแล็กติกแอซิดที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีสมบัติได้หลากหลาย จึงสามารถปรับให้รองรับความต้องการการใช้งานได้กว้างขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และ พอลิสไตรีน (PS) พอลิแล็กติกแอซิดมีความใส และมีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านการซึมผ่านของแก๊สใกล้เคียงกัน

2.1.2.1 สมบัติการละลาย

การละลายของพอลิแล็กติกแอซิดขึ้นอยู่กับสัดส่วนของหน่วยที่เป็นองค์ประกอบในสายโซ่พอลิเมอร์ และระดับความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) พอลิแล็กติกแอซิดไม่ละลายน้ำ แอลกอฮอล์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ เช่น เฮกเซน (Hexane) และเฮปเทน (Heptane) ตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิแล็กติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูง (Poly(L-lactic acid), PLLA) ได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มคลอรีเนตและฟลูออรีเนต (Chlorinated or fluorinated organic solvents) ไดออกเซน (Dioxane) ไดออกโซเลน (Dioxolane) และฟูเรน (Furane) ราซิมิกพอลิแล็กติกแอซิด (Poly(rac-lactic acid)) นอกจากละลายได้ในตัวทำละลายสำหรับพอลิแล็กติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูงที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ยังละลายได้ใน อะซิโตน (Acetone) ไพริดีน (Pyridine) เอทิลแลกเตต (Ethyl lactate) เอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate) เตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran) ไชลีน (Xylene) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide) เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มามิด (N,N-dimethylformamide) และเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone)

2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางกล

พอลิแล็กติกแอซิดมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 พอลิเมอร์ที่ไม่ผ่านการดึงยึด (Unoriented PLA) มีความเปราะมากแต่มีความคงรูป (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) สูง เมื่อนำไปผ่านการดึงยึด (Oriented) จะมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเรต

(Polyethylene terephthalate, PET) แต่ดีกว่า พอลิไทรีนที่ผ่านการดึงยืด (Oriented PS) มอดูลัสแรงดึงและแรงดัด (Tensile and flexural modulus) ของพอลิเอทิลีน

ความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิไทรีน (PS) แต่ความทนต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) และการยืดที่จุดแตกหัก (Elongation at break) มีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนที่ผ่านการดึงยืดและไม่ผ่านการดึงยืดแสดงดังตารางที่ 2.1

| สมบัติ | ไม่ผ่านการดึงยืด (Unoriented) | ผ่านการดึงยืด (Oriented)* |
|--|----------------------------------|---------------------------|
| ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength, psi) | 6,900-7,700 | 6,900-24,000 |
| ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Tensile yield strength, psi) | 6,600-8,900 | N/A |
| มอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus, psi) | 500,000-580,000 | 564,000-600,000 |
| ความต้านทานแรงกระแทก (Notched Izod impact, ft lb in-1) | 0.3-0.4 | N/A |
| ร้อยละการยืดตัวที่จุดแตกหัก Elongation at break (%) | 3.1-5.8 | 15-160 |
| ความแข็ง (Rockwell hardness) | 82-88 | 82-88 |

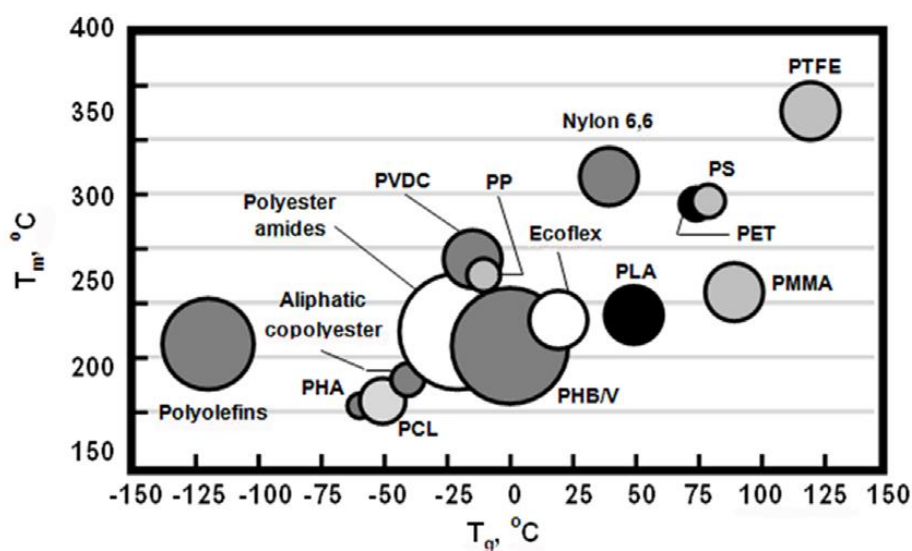
ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง

* ผลการทดสอบขึ้นอยู่กับระดับการจัดเรียงตัว (Degree of orientation) และสัดส่วนของไอโซเมอร์

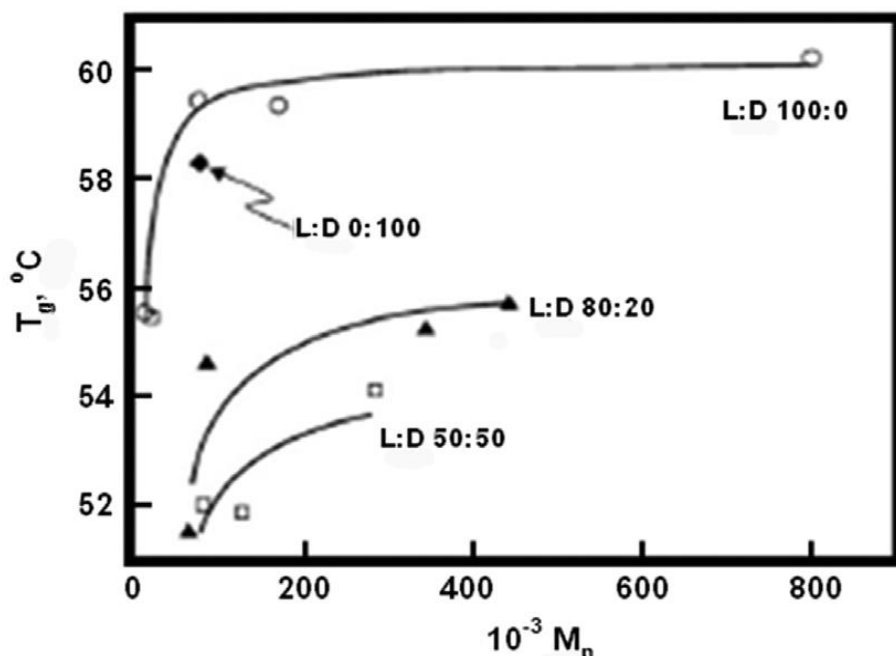
2.1.2.3 สมบัติทางความร้อน

พอลิเอทิลีนมีอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ค่อนข้างสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกทั่วไป (รูปที่ 2.5) อุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีค่าขึ้นอยู่กับ น้ำหนักโมเลกุลและ

อัตราส่วนระหว่างอีแนนซีโอเมอร์ (L:D ratio, รูปที่ 2.6) โดยพบว่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล การผสมแอล-อีแนนซีโอเมอร์เข้ากับดีอีแนนซีโอเมอร์ทำให้อุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่ออัตราส่วนระหว่างแอลและดีใกล้เคียงกันมากขึ้น เช่น อัตราส่วนระหว่างแอลต่อดีเป็น 50:50 อุณหภูมิกลาส-ทรานสิชันมีแนวโน้มลดต่ำลงมากที่สุด



รูปที่ 2. 4 อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิเอ็กซีตและเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่น ๆ



รูปที่ 2. 5 อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ของพอลิเอ็กซีตที่มีสัดส่วนของแอล-ไอโซเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกลาสทรานสิชันและน้ำหนักโมเลกุลแสดงได้ด้วยสมการของ Flory-Fox
 ดังสมการที่ 1

$$T_g = T_g^\infty - \frac{K}{\bar{M}_n} \quad (1)$$

เมื่อ

T_g^∞ = T_g ของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับอนันต์ สำหรับ PLLA และ PDLA
 มีค่าประมาณ 57-58 องศาเซลเซียส

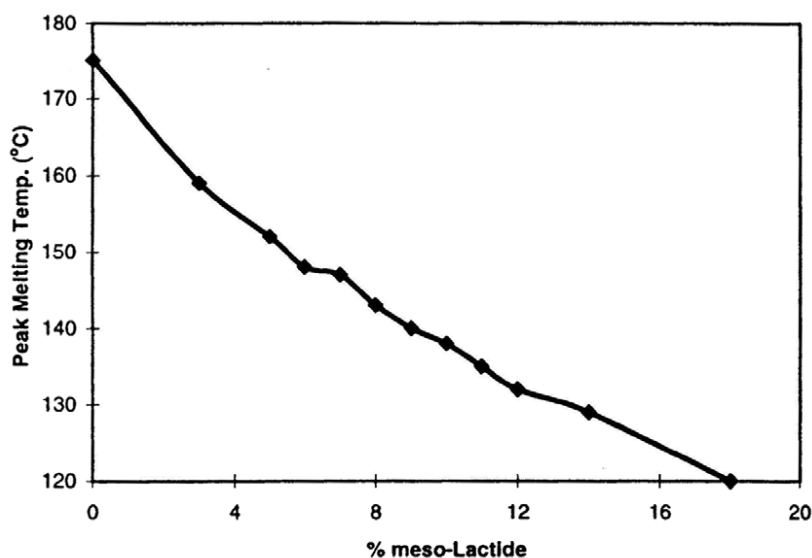
K = ค่าคงที่แสดงปริมาตรอิสระส่วนเกิน (Excess free volume) ที่หมู่ปลาย (End groups) ของสายโซ่โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ไปได้ สำหรับ PLLA และ PDLA มี
 ค่าประมาณ $(5.5-7.3) \times 10^4$

\bar{M}_n = น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน

พฤติกรรมกลาสทรานสิชันของพอลิแล็กติกแอซิดยังขึ้นอยู่กับประวัติทางความร้อน
 (Thermal history) ของพอลิเมอร์อีกด้วย

อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิแล็กติกแอซิดขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์เชิงแสงของพอลิ-
 เมอร์ด้วยเช่นกัน อุณหภูมิหลอมเหลวสูงที่สุดที่พบในพอลิแล็กติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (ทั้ง
 PLLA และ PDLA) มีค่าประมาณ 180 องศาเซลเซียส และมีค่าเอนทัลปี 40-50 จูลต่อกรัม อุณหภูมิ
 หลอมเหลวของพอลิเมอร์มีค่าลดลง หากในโครงสร้างมีปริมาณของดี-แลคไทด์เป็นองค์ประกอบ
 เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงได้มากถึง 50 องศาเซลเซียส รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนแปลง
 ของอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิแล็กติกแอซิดเมื่อใช้ปริมาณ มีโซแลคไทด์ (meso-lactide) เพิ่มขึ้น
 ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์

โดยทั่วไปอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิแล็กติกแอซิดมีค่าอยู่ในช่วง 130-160 องศา-
 เซลเซียส การลดลงของอุณหภูมิหลอมเหลวเนื่องจากผลของมีโซ-แลคไทด์มีความสำคัญโดยช่วยให้ขึ้น
 รูปง่ายขึ้น และลดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน



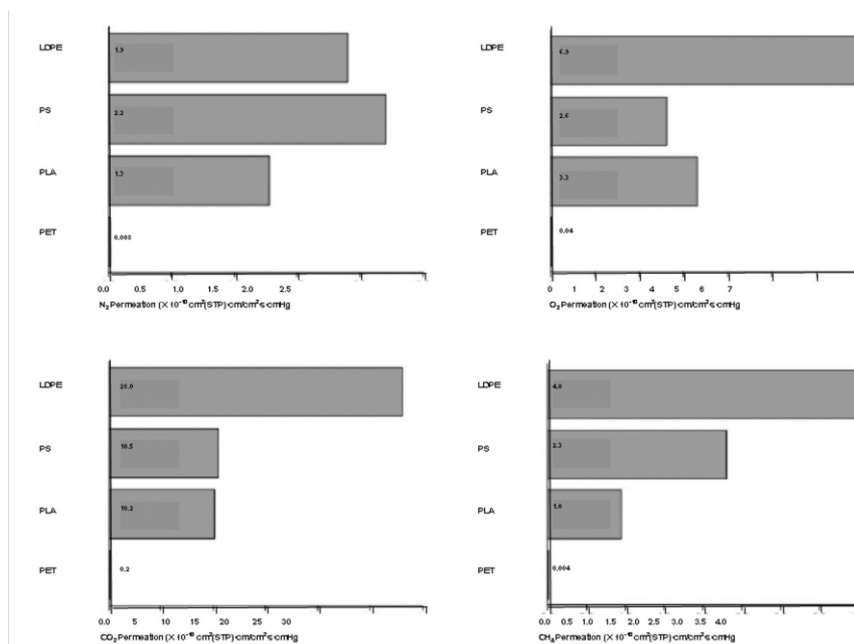
รูปที่ 2. 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) และปริมาณมีโซ-แลคไทด์ในพอลิแล็กติก-แอซิด

2.1.2.4 สมบัติด้านการซึมผ่านของแก๊สและของเหลว (Barrier properties)

สมบัติด้านการซึมผ่านของแก๊สและของเหลวของพอลิแล็กติกแอซิดมีค่าใกล้เคียงกับพอลิเมอรัทัวไปที่ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ เช่น พอลิสไตรีน หรือ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจนผ่านได้ของ PLA มีค่าน้อยกว่า พอลิสไตรีน (PS) แต่สูงกว่าพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET) ส่วนการยอมให้น้ำซึมผ่านมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 2.2) นอกจากนี้พอลิแล็กติกแอซิดยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของกลิ่นได้ดี โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของสารประกอบอินทรีย์ เช่น เอทิลอะซิเตท และ ดี-ไลโมนีน (D-limonene) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต

ตารางที่ 2. 2 สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability) ของไอน้ำของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET) พอลิสไตรีนที่มีการจัดเรียงโมเลกุล (OPS) และพอลิแล็กติกแอซิดที่มีการจัดเรียงโมเลกุล (OPLA)

| ตัวอย่าง | ความหนา (มม.) | สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน [กก./ม./(ม ² /วินาที/ปาสคาล)] |
|----------|---------------|--|
| PET | 18 | $2.82 \times 10^{-15} \pm 1.50 \times 10^{-17}$ |
| OPS | 18 | $4.18 \times 10^{-15} \pm 2.07 \times 10^{-17}$ |
| OPLA | 20 | $1.34 \times 10^{-14} \pm 3.61 \times 10^{-17}$ |



รูปที่ 2. 7 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแก๊สในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิสไตรีน (PS) พอลิแล็กติกแอซิด (PLA) ที่มีค่าสัดส่วนไอโซเมอร์ L:D เท่ากับ 96:4 และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)

2.1.3 การแปรรูป

วิธีการแปรรูปหลักสำหรับพอลิแล็กติกแอซิดคือการขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนเช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติกทั่วไป ระดับความร้อนที่ใช้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการขึ้นรูป สำหรับกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยความร้อนหรือเทอร์โมฟอร์มมิ่ง (Thermoforming) ความร้อนที่ใช้อยู่ในระดับที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการอ่อนตัวและสามารถดึงยืดได้ตามแบบของแม่พิมพ์เท่านั้น ในขณะที่การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) และการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) นั้น ความร้อนที่ใช้อยู่ในระดับสูงถึงอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์หลอมเหลวจะไหลเข้าไปเติมเต็มช่องว่างในแม่พิมพ์ แล้วเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งและมีรูปร่างตามแบบแม่พิมพ์เมื่อเย็นตัวลง ดังนั้นการเข้าใจถึงพฤติกรรมทางความร้อน การตกผลึกของพอลิเมอร์หลอมเย็นตัว และพฤติกรรมด้านกระแสวิทยา (Rheological behavior) จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการปรับการผลิตและควบคุมคุณภาพ

ก่อนนำพอลิแล็กติกแอซิดไปขึ้นรูปจำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการอบไล่ความชื้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของพอลิแล็กติกแอซิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลง รวมถึงป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไประดับความแห้งอยู่ในระดับที่น้อยกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) (ร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก)

บริษัทเนเจอร์เวิร์ค (Natureworks LLC) ซึ่งเป็นผู้ผลิตพอลิเอทิลีนแอกไซด์เชิงพาณิชย์รายแรกของโลกแนะนำให้ผู้ผลิตทำให้เรซินแห้งจนมีระดับความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 250 ส่วนในล้านส่วน (ppm) (ร้อยละ 0.025 โดยน้ำหนัก) ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการอัดรีด ในกรณีที่กรรมวิธีต้องใช้เวลาานาน (Long residence times) หรืออุณหภูมิสูงใกล้เคียง 240 องศาเซลเซียส ควรทำให้แห้งในระดับ 50 ส่วนในล้านส่วน เพื่อคงระดับน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุดไว้

พอลิแลกติกแอซิดที่ใช้กันทั่วไปในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่มีความเป็นผลึก จึงนิยมทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเพื่อลดเวลาการทำแห้งลง อุณหภูมิการทำแห้งอยู่ในช่วง 80-100 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเม็ดพลาสติกที่มีโครงสร้างอสัณฐานจำเป็นต้องทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (น้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันการเหนียวติดกันเองและทำให้เครื่องทำแห้งอุดตัน การเลือกเกรดพอลิเอทิลีนแอกไซด์ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยทั่วไปชิ้นงานพอลิเอทิลีนแอกไซด์ที่ต้องการสมบัติความทนทานต่อความร้อนสูงสามารถฉีดขึ้นรูปได้โดยใช้เรซินที่มีดี-ไอโซเมอร์ผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 1 และการเติมสารก่อผลึก (Nucleating agent) ช่วยเพิ่มความเป็นผลึกภายในระยะเวลาการขึ้นรูปที่สั้น (Short molding cycle) ในทางกลับกันเรซินที่มีสัดส่วนดี-ไอโซเมอร์สูงขึ้น (ร้อยละ 4-8) เหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง (Thermoforming) กระบวนการอัดรีด (Extrusion) และกระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) เนื่องจากกระบวนการเหล่านี้ทำได้ง่ายกว่าเมื่อเรซินมีความเป็นผลึกต่ำ

2.1.4 การเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีนแอกไซด์

การเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีนแอกไซด์ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของโมเลกุล ในธรรมชาติการเสื่อมสภาพเกิดจากการกระตุ้นด้วยความร้อน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือกิจกรรมทางชีวภาพ (เช่น เอนไซม์) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การแตกสลายด้วยแสง (Photolysis) และการแตกสลายด้วยรังสี (Radiolysis) เนื่องจากการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นทั้งจากกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพ กลไกการเสื่อมสภาพจึงมักเกี่ยวโยงไปกับการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อม (Environmental degradation) การเสื่อมสภาพของพอลิแลกติกแอซิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิ น้ำหนักโมเลกุล ระดับความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ อุณหภูมิ สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระดับความเข้มข้นของเกลือ (Salinity) การมีอยู่ของออกซิเจน หรือปริมาณอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ ดังนั้นในการทดสอบการเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีนแอกไซด์จึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย นอกจากนี้การเสื่อมสภาพยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพ เช่น อัตราการแพร่ (Diffusivity) ความเป็นรูพรุน (Porosity) สัณฐานวิทยา (Morphology) และความแข็งแรงทางกล (Mechanical strength) เป็นต้น

พอลิเล็กทิกแอซิดสลายตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในสภาวะปุ๋ยหมักที่ถูกควบคุม (Controlled composting environment) ภายใน 90 วัน การเติมพอลิเล็กทิกแอซิดปริมาณเล็กน้อย (น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) ในของเสียจากการทำสวนที่ยังไม่ผ่านการหมัก (Pre-composted yard waste) ทำให้การหมักมีประสิทธิภาพ

พอลิเล็กทิกแอซิดถูกไฮโดรไลซ์ในน้ำเดือดหรือน้ำให้กรดเล็กทิกซึ่งสามารถนำกลับไปใช้เป็นมอนอเมอร์สำหรับสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ พอลิ(แอล-เล็กทิกแอซิด) ถูกไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 180-350 องศาเซลเซียส ในเวลา 30 นาที ได้กรดแอล-เล็กทิก

การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) ของพอลิเล็กทิกแอซิดและโคพอลิเมอร์เกิดขึ้นได้จากเอนไซม์ประเภทเอสเทอเรส โปรตีเอส และไลเปสที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการแตกสลายด้วยน้ำทั้งหมดของพอลิเล็กทิกแอซิดสามารถถูกดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์ เช่น เห็ดราและแบคทีเรีย

2.1.5. ภาพรวมและทิศทางการพัฒนาพอลิเล็กทิกแอซิด

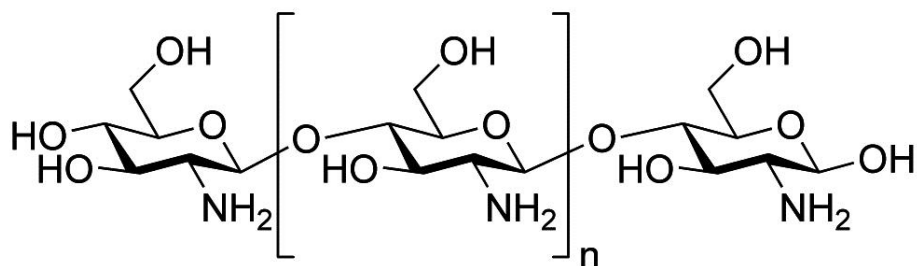
โดยภาพรวมแล้วอาจกล่าวได้ว่า พอลิเล็กทิกแอซิดมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานทดแทนเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แม้ปัจจุบันราคาของพอลิเล็กทิกแอซิดอยู่ในระดับสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมาก ปัจจัยด้านราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ภาษีสิ่งแวดล้อม (Green tax) ในสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีและญี่ปุ่น และการบังคับใช้พอลิเมอร์ที่แตกสลายได้ทางชีวภาพสำหรับบรรจุภัณฑ์ขององค์กรขนาดใหญ่ ได้สร้างแรงผลักดันให้การใช้งานพอลิเล็กทิกแอซิดขยายตัวออกไป หากการใช้งานของพอลิเล็กทิกแอซิดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความต้องการวัตถุดิบด้านการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตาม (ปัจจุบันใช้ข้าวโพดเป็นหลัก) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการจัดการห่วงโซ่อุปทานอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์ที่จำนวนประชากรมีการขยายตัวอย่างมาก ดังนั้นการผลิตพอลิเล็กทิกแอซิดโดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งอาหารจะเป็นปัญหาใหญ่ในอนาคตหากไม่มีนโยบายการจัดการที่ดีหรือไม่มีการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์จากแหล่งวัตถุดิบที่สร้างทดแทนใหม่ได้ชนิดอื่น เช่น เซลลูโลส การผลิตพอลิเล็กทิกแอซิดจากเซลลูโลสจึงเป็นอีกนวัตกรรมหนึ่งซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

2.2 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ของหน่วยย่อยที่ชื่อว่า glucosamine มากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป นั่นคือมีปริมาณ N- acetylglucosamine นั้นเอง ดังโครงสร้างในรูปที่ 2.8 ในธรรมชาติย่อมมีไคตินและไคโตซาน ประกอบอยู่ในโพลิเมอร์ ที่เป็นสายยาวในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ถ้ามีปริมาณของ glucosamine น้อยกว่าร้อยละ 40 ลงมา พอลิเมอร์นั้นจะละลายได้ในกรดอินทรีย์ต่าง ๆ นั้นหมายถึงมีปริมาณไคโตซานมากกว่าร้อยละ 60 นั้นเอง ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้ไคตินเปลี่ยนไปเป็นไคโตซาน คือการลดลงของหมู่อะซีทิลหรือเรียกว่า Deacetylation ขณะที่มีการลดลงของหน่วยย่อย N-acetyl glucosamine ย่อมเป็นการเพิ่มขึ้นของ Glucosamine ในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งคือการเปลี่ยนแปลงไคตินให้เป็นไคโตซานนั่นเอง การจัดระดับของการ Deacetylation มีค่าร้อยละหรือเรียกว่า Percent Deacetylation (% DD) กล่าวคือเมื่อในพอลิเมอร์มีค่าเกิน ร้อยละ DD เกินกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป ของการกระจายไคโตซานในกรดอินทรีย์มากจะเพิ่มขึ้นของหมู่เอมิโนของ glucosamine ทำให้มีความสามารถในการรับโปรตรอน จากสารละลายได้เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยในการละลายดีขึ้น เพราะมีสมบัติของประจุบวกเพิ่มขึ้น ฉะนั้นไคโตซานจึงสามารถละลายได้ดีขึ้นในกรดต่างๆ เช่น กรดน้ำส้ม กรดแล็กติก และกรดอินทรีย์อื่นๆ

ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว ไคโตซานจะไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง กระดองปู หรือเปลือกไม้ทั่วไป แต่ไคโตซานจะละลายได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย สารละลายของไคโตซานจะมีความข้นเหนียวแต่ใสคล้ายวุ้น หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะให้เป็นรูปแบบต่างๆได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบางๆเป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกล็ด เส้นใย สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น นอกจากนี้ไคโตซานยังย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อกินเข้าไป และไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมลงไป

ไคโตซานที่ผลิตขึ้นมาใช้ในปัจจุบันนี้ มีหลายรูปแบบ และส่วนใหญ่จะผลิตมาจากบริษัทต่างประเทศ จึงมีราคาค่อนข้างสูง



รูปที่ 2. 8 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

2.2.1 การนำโคโตซานไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบันมีการนำโคตินและโคโตซานมาประยุกต์ในด้านต่างๆ อาทิเช่น

1. ด้านอาหาร โคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไกคือ โคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนโคตินและโคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความชื้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (edible film) สำหรับบรรจุอาหาร

2. ด้านอาหารเสริม มีรายงานว่า โคโตซานช่วยลดคอเลสเตอรอล และไขมันในเส้นเลือด โดยโคโตซานไปจับกับคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้หรือดูดซึมได้น้อยลง จึงมีการโฆษณาเป็นผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากโคโตซานสามารถจับวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ ทางการแพทย์ มีรายงานการนำ N-acetyl-D-glucosamine ไปใช้รักษาข้อเสื่อม โดยอธิบายว่า ข้อเสื่อมเกิดเนื่องจากการสึกกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนที่เคลือบอยู่ระหว่างข้อกระดูก ซึ่ง glucosamine เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ Proteoglycan และ matrix ของกระดูกอ่อน จึงช่วยทำให้เยื่อหุ้มกระดูกอ่อนหนาขึ้น

3. ด้านการแพทย์ มีการวิจัยนำแผ่นโคโตซานมาใช้ปิดแผล ช่วยทำให้ไม่เปื้อนแผลเป็น โดยโคโตซานช่วยลดการ Contraction ของ Fibroblast ทำให้แผลเรียบ กระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้น

4. ด้านเภสัชกรรม มีรายงานการใช้โคโตซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญ

5. ด้านการเกษตร เนื่องจากโคตินและโคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช และกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมี ต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง

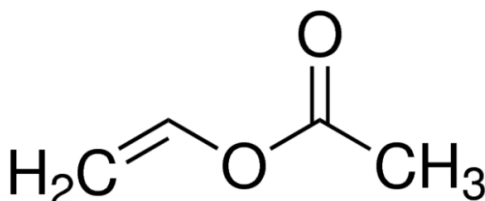
6. **ด้านการปลุสัตัว** ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

7. **ด้านการบำบัดน้ำเสีย** โดยทั่วไป น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร มีสารแขวนลอยสูง ไคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี ซึ่งโปรตีนที่ได้สามารถแยกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป นอกจากนี้ ไคโตซานยังสามารถดูดซับอออนของโลหะหนัก และจับสี (Dye) ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

8. **ด้านสิ่งทอ** นำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใย และใช้ในการทอร่วมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติการต้านจุลชีพ ลดการเกิดกลิ่นอับชื้น

2.3 ไวนิลอะซิเตต (Vinyl Acetate)

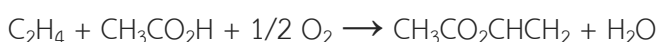
ไวนิลอะซิเตต เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CHCH}_2$ ซึ่งเป็นสารละลายใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน เป็นสารตั้งต้นในการผลิต พอลิไวนิลอะซิเตต ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในอุตสาหกรรม มีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.9



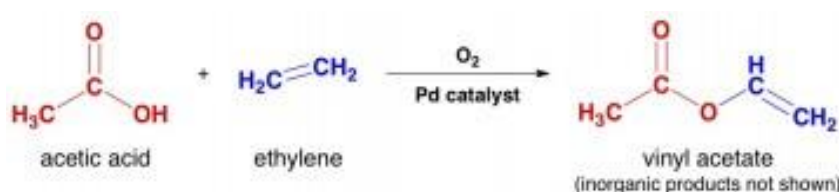
รูปที่ 2. 9 โครงสร้างทางเคมีของไวนิลอะซิเตต

2.3.1 ขั้นตอนการเตรียมไวนิลอะซิเตต

ในเชิงอุตสาหกรรมหลักไวนิลอะซิเตต เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนและกรดอะซิติก ในปฏิกิริยาที่มีออกซิเจนโดยมีพอลลาเดียมเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยา ดังปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



และดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2. 10 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนและอะซิติกแอซิดในการสังเคราะห์ไวนิลอะซิเตต

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือการรวมตัวกันของสารตั้งต้นที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งไวโนลอะซีเตตเป็นชนิดหนึ่งที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาไฮโดรเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยหลักการนี้เกี่ยวข้องกับสถานะแก๊ส เมื่อมีการเติมกรดอะซิติกเพื่อให้เป็นแอซิทิลีน โดยมีโลหะหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่นิยมใช้กัน คือ พรอท (II) ไวนิลอะซีเตตได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกโดย Klatt ในปี 1912 และนอกจากนี้ไวโนลอะซีเตตยังสามารถสังเคราะห์ได้จากการเปลี่ยนสภาพทางความร้อนของ เอทิลีนไดอะซีเตต ได้อีกด้วย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jittrawadee Sriupayoa และคณะ ได้มีการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมอัลฟา - ไคตินวิสเกอร์ที่ใช้เสริมแรงในการเตรียมนาโนคอมพอสิตโดยเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการที่ผ่านไคตินด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยความร้อนและปราศจากความร้อน โดยศึกษาจากการเตรียมอัลฟาไฮโดรคลอริก หลังจากนั้นนำไปกระจายตัวในน้ำกลั่น และเตรียมสารละลายไคโตซานด้วยวิธีการละลายเกลือไคโตซานในกรดอะซิติกและคนให้ละลาย หลังจากนั้นเติมอัลฟาไคตินวิสเกอร์ลงในอ่างและนำไปผ่านสารละลายไคโตซาน แล้วเทลงในแม่แบบพลาสติก ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิกระบวนการทางความร้อนในเตาอบ แผ่นฟิล์มที่ได้ถูกนำมาทดสอบและวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่า weight loss จะเริ่มต้นในช่วงอุณหภูมิ องศาเซลเซียส และหลังจาก 80 - 60 ยี่น้ำหนักอย่างเห็นได้ชัดที่สูญเสียความชื้นไป ไคโตซานบริสุทธิ์และนาโนไคโตซานมีพฤติกรรมการสูญเสีย องศาเซลเซียส 400 - 300 ขึ้น โดยความแตกต่างที่เห็นได้ชัดที่สุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 2 ซิตียส โดยค่อยๆ ลดลงเมื่อปริมาณของวิสเกอร์เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณากราฟอนุพันธ์ของ TGA พบว่า ไคโตซานบริสุทธิ์และไคโตซานนาโนคอมพอสิตฟิล์มมีพีคของการสลายตัว 300 และ 200 น่ง คือที่ อุณหภูมิตำแหน่ง 2 ตำแหน่งของ 2 องศาเซลเซียสซึ่งไม่เกี่ยวเนื่องโดยตรงกับพีคของการสลายตัวเบต้า ไคติน ที่อุณหภูมิ องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้าม อัลฟา 350 และ 260-ไคตินวิสเกอร์ จะแสดงการสูญเสียน้ำหนักเพียงตำแหน่งเดียวหลังจากการสูญเสียความชื้น ซึ่งสังเกตจากกราฟอนุพันธ์ของ TGA ที่อุณหภูมิ องศาเซลเซียส ซึ่งผลที่ได้นั้น แสดงว่า ปริมาณของ อัลฟา 347-ไคตินวิสเกอร์ไม่ได้ส่งผลมากนักต่อเสถียรภาพทางความร้อนในไคโตซานฟิล์มที่เสริมแรงด้วย อัลฟา-ไคตินวิสเกอร์ความหนาแน่นจะเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตซาน ตามการเพิ่มปริมาณของอัลฟา-ไคตินวิสเกอร์จนถึงที่จุดสูงสุดคือร้อยละ โดยน้ำหนัก และและลดลงที่เล็กน้อย 2.96% เมื่อมีปริมาณมากขึ้น ในขณะที่ร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตซานที่ไม่ได้เสริมแรงด้วย อัลฟา-ไคตินวิสเกอร์โดยยังมีการเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ อัลฟา-ไคตินวิสเกอร์และรักษาระดับคงที่เมื่อปริมาณ อัลฟา-ไคตินวิสเกอร์ เท่ากับร้อยละ โดย 2.96% น้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่า การเติม อัลฟา-ไคตินวิสเกอร์และผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการอบช่วยปรับปรุงสมบัติการทนน้ำ นำไปสู่การลดลงร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก และระดับการบวมตัวของคอมพอสิตฟิล์มอีกด้วย [9]

Nihat Sami Cetin และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการดัดแปรเซลล์ด้วยไวรัลอะซีเตด โดยการให้เกิดการทำปฏิกิริยาของไวรัลอะซีเตดกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลล์ของนาโนวิสเกอร์ พบว่าในขั้นแรกจะเกิดการทำปฏิกิริยาเฉพาะที่ผิวของเซลล์ ในขณะที่ขนาดและความเป็นผลึกของส่วนที่เหลือยังไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อเวลาผ่านไปในการเกิดปฏิกิริยา กลไกการแพร่จะเกิดขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยา acetylation ที่สูงขึ้นของนาโนวิสเกอร์ทำให้มีขนาดเล็กและมีผลลดลงตามมา[10]

Bonilla และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของโคโตซานที่เสริมแรงในพอลิเอ็กทิกแอซิด โดยการเติมโคโตซานในปริมาณที่แตกต่างกันในพอลิเอ็กทิกแอซิด โดยผ่านกระบวนการ extrusion โดยพบว่าการเติมโคโตซานพบว่าทำให้โครงสร้างที่แข็งแรงลดลง แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางความร้อน และมีสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีกว่าฟิล์มพอลิเอ็กทิกแอซิดที่ไม่เสริมแรง อาจเกิดขึ้นจากความสามารถในการดึงดูน้ำของพันธะ C-H ซึ่งช่วยในการส่งผ่านของโมเลกุลน้ำผ่านฟิล์มนั้นดีขึ้น และพอลิเอ็กทิกแอซิดที่มีการเติมโคโตซานนั้น จะมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น และยิ่งโคโตซานมีขนาดอนุภาคเล็กจะแสดงให้เห็นว่า มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีกว่าพอลิเอ็กทิกแอซิดที่ไม่เสริมแรงด้วยโคโตซานและมีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรียได้ดีอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดอนุภาคของโคโตซานมีขนาดเล็ก[11]

ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้นำมาศึกษาวิจัยต่อไปในงานวิจัยนี้ เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเอ็กทิกแอซิดโดยการเสริมแรงด้วยโคโตซานนาโนวิสเกอร์ที่ดัดแปรด้วยไวรัลอะซีเตดเพื่อให้มีสมบัติในการทนน้ำ และสมบัติเชิงกลของพอลิเอ็กทิกแอซิดดีขึ้น

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

3.1.1 พอลิแล็กติกแอซิด (poly(lactic acid), PLA) ผลิตโดย NatureWorks ชื่อทางการค้า Ingeo™ เกรด 2002D ซื้อจากตัวแทนจำหน่าย บริษัท พีซี โพลีเมอร์ส มาร์เก็ตติ้ง จำกัด (ประเทศไทย)

3.1.2 ไคโตซาน แหล่งที่มา : (ชนิดเกล็ด)Ebase Co., Ltd (Thailand) เปอร์เซนต์ของ degree of deacetylation ที่ 85% น้ำหนักโมเลกุล 1,000,000

3.1.3 ไวนิลแอซิเตด (Vinyl Acetate) ของเหลวใส ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามโปรเทรคติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.4 ไดเมทิลฟอรัมาไมด์ (Dimethyl formamide) ของเหลว ใส จากบริษัท ทาริโก้ จำกัด

3.1.5 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) ผงสีขาว จากบริษัท แกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด

กรดอะซิติก 3.16 (Acetic Acid) ของเหลว ใส จากบริษัท แกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.7 ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ของเหลว ใส จากบริษัท ไทย พอลิเคมีคอล จำกัด

3.1.8 เอนไซม์อะไมเลส (Amylase Enzyme) ของเหลว สีน้ำตาลเข้ม จากบริษัท ชันชัน อินดัสทรี จำกัด อุณหภูมิใช้งาน 60-80 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 6-7

3.2 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

3.2.1 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One

3.2.2 Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV

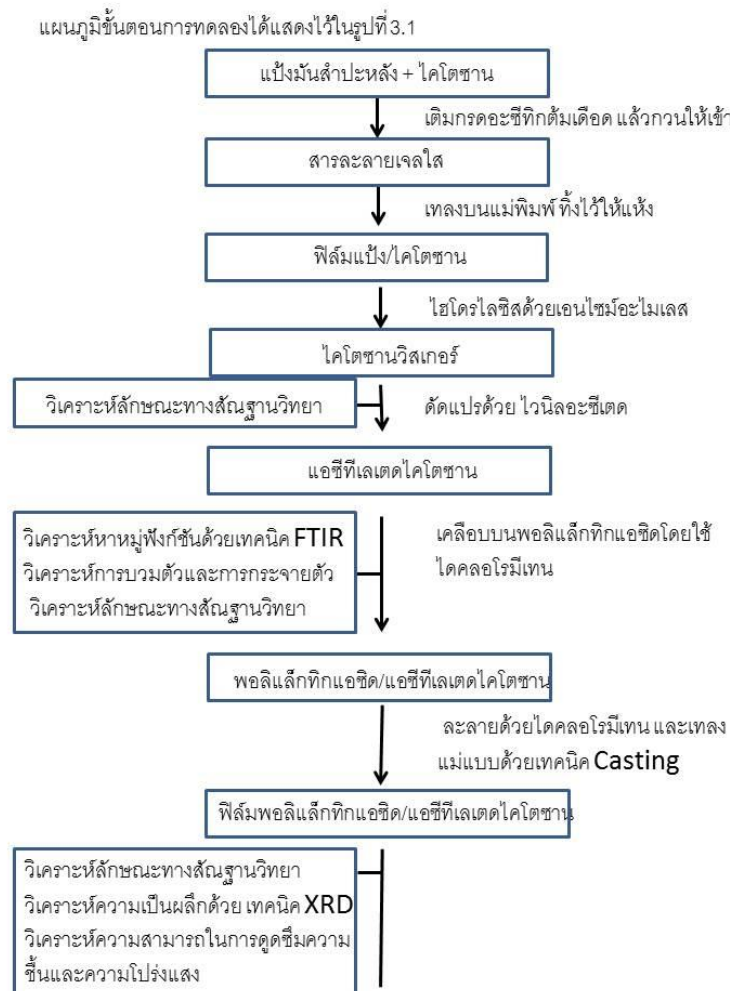
3.2.3 Optical Microscope ยี่ห้อ Optika รุ่น B-193

3.2.4 X-Ray Diffractometer (XRD) with Super Speed Detector ประกอบด้วยรูปแบบการวัดแบบ Powder, High Resolution, Reflection, Texture, Stress, และ High Temperature (up to 1,600oC) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8-Discover

3.2.5 Gas Permeability Tester รหัส GDP-C ยี่ห้อ Brugger รุ่น GDP-C

3.2.6 Spectrophotometer ยี่ห้อ MACBETH รุ่น MACBETH Color-Eye 7000

3.3 แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3. 1 ขั้นตอนการทดลอง

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 การเตรียมฟิล์มผสมแป้ง) ไคโตซานด้วยเทคนิคการหล่อ/Casting Process(

นำผงแป้งมันสำปะหลังและผงไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักมาคลุกผสมกันในบีกเกอร์ เตรียมเจลแป้งมันสำปะหลัง/ไคโตซานร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยนำสารละลายกรดแอซิดิกเข้มข้นร้อยละ 1 (v/v) ที่ผ่านการต้มเดือดมาเทลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ คนอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดเป็นเจลใส แล้วเทเจลแป้งลงในแบบเพื่อให้เกิดเป็นฟิล์ม

3.4.2 การเตรียมไคโตซานวิสเกอร์)CTS (ด้วยการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ฟิล์มผสมแป้งไคโตซานด้วยเอนไซม์/

นำฟิล์มแป้งมาตัดให้มีขนาดเล็กที่สุด 1 ไคโตซาน ที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนที่/ คืบ เพื่อให้ฟิล์มบวมตัวเต็มที่ หลังจากนั้น 2 ไคโตซานที่ได้ ไปแช่น้ำทิ้งไว้/หลังจากนั้นนำฟิล์มแป้งนำไปให้ความร้อนบน hot plate โดยกวนตลอดเวลา ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาชั่วโมง 1 เติมเอนไซม์อะไมเลสร้อยละ 5 โดยปริมาตรลงไปเพื่อให้เกิดการไฮโดรไลซิสย่อยสลายแป้ง ออก กวนต่อเป็นเวลา ชั่วโมง ในขณะที่เดียวกันจะได้สารแขวนลอยไคโตซานวิสเกอร์เกิดขึ้น 1 กรองสารละลายแป้งออกด้วยกรวยกรองเพื่อแยกไคโตซานวิสเกอร์ออกหลังจาก นั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2- 3 ครั้ง แช่ไคโตซานนาโนวิสเกอร์ด้วย isopropanol เพื่อไม่ให้ไคโตซานวิสเกอร์ที่ได้ไม่แข็งตัวเพื่อป้องกันไคโตซานวิสเกอร์เกาะยึดกันเป็นแอคคิเกจ (Aggregate)

3.4.3 การดัดแปรไคโตซานวิสเกอร์ (CHWs) ด้วยไวนิลอะซิเตด

นำไคโตซานวิสเกอร์ไปแช่กระจายตัวใน Dimethylformamide และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C พร้อมทั้งกวนตลอดเวลา หลังจากนั้นเติมไวนิลอะซิเตดในปริมาณต่างๆกัน คือ 25, 50 , 100 และ 200 wt% และ Na_2CO_3 กวนที่อุณหภูมิ 90 °C เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา acetylation และรักษาค่าความเป็นกรดต่างให้คงที่ โดย pH=10 โดยใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปกรองแอซิติเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ด้วยกรวยกรอง และล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลางเพื่อนำไปวิเคราะห์และใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.4.4. การเตรียมฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดผสมแอซิติเลเตดไคโตซานด้วยเทคนิคการหล่อ (casting)

นำแอซิติเลเตดไคโตซานมาผสมกับพอลิแล็กติกแอซิดด้วยวิธีทางกายภาพ โดยในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 0.25, 0.5, 1.5 และ 1.0wt% โดยใช้ dichloromethane เป็นตัวทำละลายเพื่อละลายพอลิแล็กติกแอซิด กรัม 3 แอซิติเลเตดไคโตซานหนัก/ให้มีลักษณะเป็นสารละลายที่เป็น

เจล เทสารละลายเจลลงในแม่แบบที่เป็นแก้ว และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาวัน หลังจากนั้น นำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่างๆในขั้นต่อไป

3.5 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของชั้นทดสอบ

3.5.1 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transforms infrared spectroscopy: FTIR)

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมและวัสดุคอมพอสิตด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FTIR) (รูปที่ 3.2) ในช่วงความยาวคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$ บริเวณพื้นผิวของชั้นทดสอบ



รูปที่ 3. 2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5.2 วิเคราะห์พฤติกรรมการบวมตัวและการกระจายในตัวทำละลาย โดยเทคนิค swelling test

วิเคราะห์พฤติกรรมการบวมตัวและการกระจายตัวในตัวทำละลาย โดยการนำอนุภาคที่ต้องการทดสอบมาแช่ในโทลูอีน เป็นเวลา ชั่วโมงและสังเกตลักษณะการกระจายตัวของ 1 อนุภาค

3.5.3 วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความสามารถในการกระจายตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

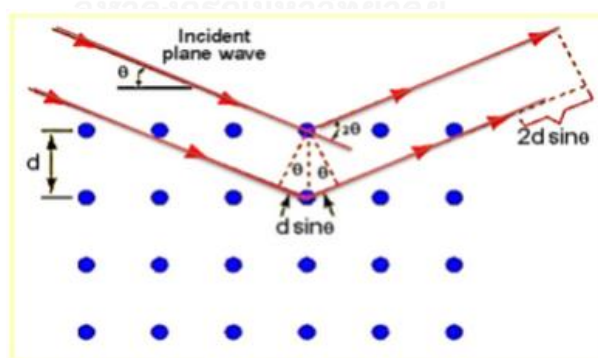
ตรวจสอบสัณฐานวิทยาบริเวณรอยแตกหักของชั้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความทนแรงดึงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รูปที่ 3.3) โดยทำการเคลือบทอง บนพื้นผิวก่อนทำการตรวจสอบ



รูปที่ 3. 3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.5.4 วิเคราะห์ลักษณะความเป็นผลึกด้วยเทคนิคเอกเรย์ดิฟแฟกชัน (X-ray Diffraction : XRD)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่มีการใช้กันแพร่หลายในการวิเคราะห์วัสดุต่างๆ โดยสามารถใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบชนิดปริมาณคุณภาพของสารประกอบแบบผลึกต่างๆ ขึ้นงานได้โดย อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาค จะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำ รังสีตกกระทบดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3. 4 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก

จากรูปที่ 3.4 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการของ Bragg 's Law คือ

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

โดยที่ λ แทน ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

n แทน ลำดับการสะท้อน

dh_{kl} แทน ระยะห่างระหว่างระนาบ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่สามารถแยกแยะประเภทและชนิด ของวัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใดหรือจำแนกได้ว่าวัสดุ ที่พบเห็นนั้นเป็นธาตุ ชนิดใดโดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมา ที่มีมุมต่างๆเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน ที่ทำการตรวจวัด

3.5.5 ทดสอบสมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen gas transmission rate) ของฟิล์ม คือ การวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนที่ซึมผ่านฟิล์ม ต่อ โดยใช้ .ชม 24 ตารางเมตร ในระยะเวลา 1 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

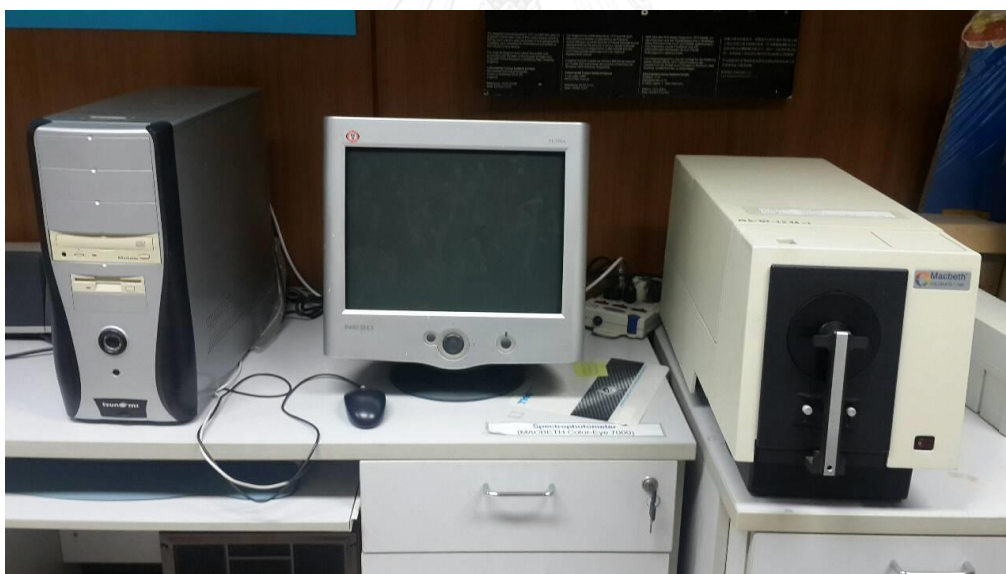


รูปที่ 3. 5 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

3.5.6 ความโปร่งแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณของ สารเคมี สี โวลุ่ม เลกุล รวมถึงจุลชีพ ทั้งหลาย โดยใช้หลักการวัดปริมาณของแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนเข้าไป ตัวเครื่องประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง (Light source) เลนส์ หรือกระจกรับแสง (Lens or Mirror) ตัวแยกความยาวคลื่น (Monochromator) และ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector)

แหล่งกำเนิดแสงทำหน้าที่ให้แสงผ่านตัวอย่าง แหล่งกำเนิดแสงที่ดีควรให้แสงที่มีความเข้มสม่ำเสมอ และนิ่งตลอดความยาวคลื่นที่ใช้งาน ปัจจุบันแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมนำมาใช้มีหลากหลาย ชนิดยกตัวอย่างเช่น Deuterium Arc (190-420 nm), Tungsten (350-2500 nm), และ Xenon Lamp (190-800 nm) อีกส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญนั้นคือตัวตรวจจับสัญญาณ สำหรับเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ ได้แก่ PMT (photomultiplier tube), diode arrays และ CCDs (charge coupled devices) เครื่อง จะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน



รูปที่ 3. 6 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการเตรียมโคโตซานวิสเกอร์ด้วยเทคนิค top down โดยการย่อยฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง/โคโตซานด้วยเอนไซม์อะไมเลส ผลจากการย่อยส่วนของแป้งมันสำปะหลังออกจากฟิล์มทำให้เหลือโคโตซานวิสเกอร์ที่อยู่ในรูปคอลลอยด์ ก่อนนำโคโตซานวิสเกอร์ไปผสมในพอลิ-แล็กติกแอซิดได้ทำการตัดแปรรูปโคโตซานวิสเกอร์ด้วยไวโนลอะซิเตตได้เป็นแอซิติเลเตดโคโตซานวิสเกอร์ ซึ่งแอซิติเลเตดโคโตซานวิสเกอร์มีความสามารถในการเข้ากันได้ดีจึงกระจายตัวได้ดีในพอลิ-แล็กติกแอซิด พอลิแล็กติกแอซิดที่ผ่านการผสมด้วยแอซิติเลเตดโคโตซานวิสเกอร์พบว่ามีความโปร่งแสงสูง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และมีสมบัติการสกัดการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและไอน้ำได้ดีขึ้น

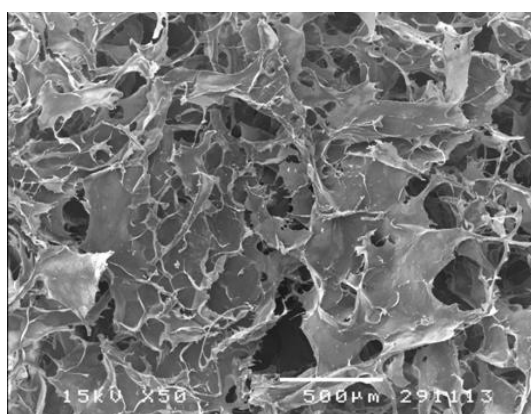


รูปที่ 4. 1 การเตรียมฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดผสมแอซิติเลเตดโคโตซานวิสเกอร์

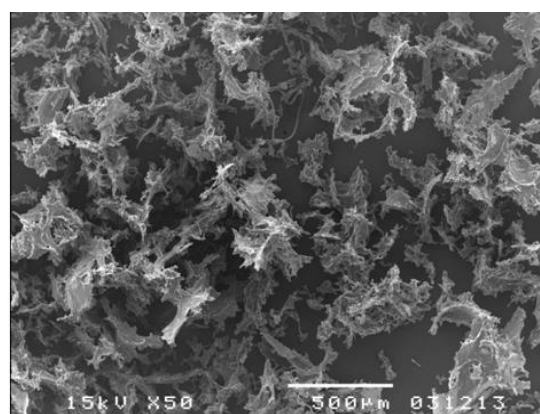
4.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโตซานวิสเกอร์

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือภาพ SEM ของลักษณะสัณฐานวิทยาของโคโตซานวิสเกอร์ (ด้านซ้าย) และโคโตซานที่ตกตะกอนอย่างอิสระ (ด้านขวา) จากรูปแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างโคโตซานในรูปวิสเกอร์ และโคโตซานในรูปตกตะกอนแบบอิสระ โดยจะสังเกตเห็นว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโตซานวิสเกอร์มีลักษณะเป็นแผ่น ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวของโคโตซานวิสเกอร์เกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบ จึงเกิดการเรียงขนานชิดกันเป็นแพ ผลของการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจึงทำให้ปรากฏเห็นโคโตซานวิสเกอร์ มีลักษณะคล้ายกับแผ่นกระดาษ เหตุผลที่โคโตซานวิสเกอร์มีรูปร่างเป็นเส้นตรงนั้นก็เนื่องมาจากโคโตซานในฟิล์มแป้งถูกบังคับให้เกิดการจัดเรียงตัวในแนวขนานกันกับโมเลกุลของแป้ง ดังนั้นเมื่อกำจัดโมเลกุลของแป้งออกจากฟิล์มด้วยปฏิกิริยาเอ็นไซม์ไฮโดรไลซิส จึงเหลือไว้ซึ่งโคโตซาน

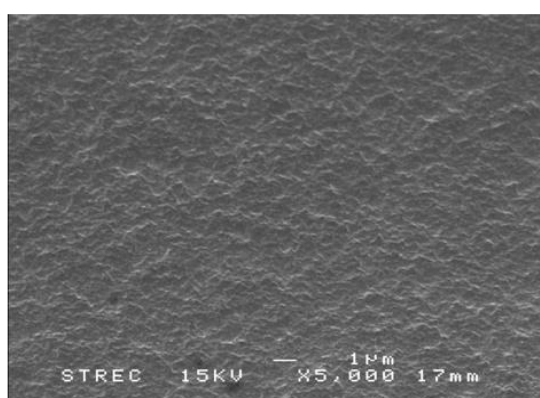
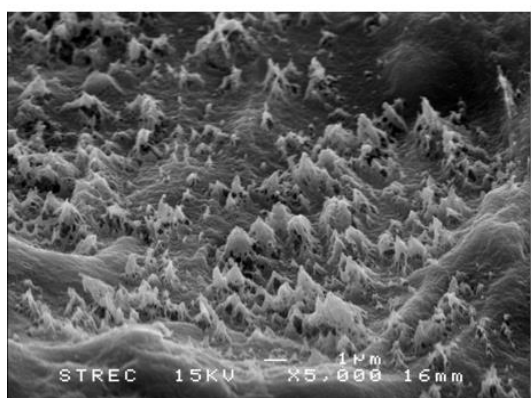
วิสเกอร์ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบเมื่อทิ้งไว้ให้เกิด aggregation ดังปรากฏในรูป ในทางตรงกันข้าม เมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานที่ปล่อยให้ตกตะกอนโดยอิสระ พบว่าจะเกิดการรวมตัวกันในลักษณะที่เป็นก้อน เนื่องจากไคโตซานอิสระจะอยู่ในรูปขด (coiled) เมื่อตกตะกอนจึงรวมกันเป็นกลุ่มก้อนดังปรากฏเห็นในรูปที่ 4.2



Chitosan whisker [500 μ (Above), 1 μ (below)]



Freely precipitated chitosan [500 μ (Above), 1 μ (below)]



รูปที่ 4. 2 ลักษณะสัณฐานทางวิทยาของอนุภาค (ด้านซ้าย) ไคโตซานวิสเกอร์ (ด้านขวา) ไคโตซานที่ตกตะกอนโดยอิสระ

4.3 พฤติกรรมการบวมตัวและการกระจายในตัวทำละลายของแอซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์

พฤติกรรมการบวมตัวและการกระจายตัวในตัวทำละลายของอนุภาคแอซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์และอนุภาคไคโตซานที่ไม่ได้ตัดแปรรู วิเคราะห์ที่ได้โดยการนำไปกระจายตัวในตัวทำละลายโทลูอีนเพื่อสังเกตระดับการบวมตัวแล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าไคโตซานที่ไม่ได้ตัดแปรรูนั้นมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนหนาแน่น ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานมีลักษณะเป็นไฮโดรฟิลิกและมีความเป็นผลึกสูง ทำให้โทลูอีนไม่ชอบที่จะสอดแทรกเข้าไปภายในโครงสร้างของไค-

โตนานในขณะทีแอสซีทีเลเตดไคโตซานมีโครงสร้างผลึกทีลดลงอันเนื่องมาจากการเพิ่มหมู่เกะกะ คีอ หมู่แอสซิลเลต เข้าไปทำในโครงสร้าง การแทนทีหมู่ไฮโดรเจนของไคโตซานด้วยหมู่แอสซิลเลตทำให้ลด การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลลง ดังนั้นจึงทำให้โตนานสามารถแทรกสอดเข้าไปใน โครงสร้างของแอสซีทีเลเตดไคโตซานได้ง่าย จึงปรากฏให้เห็นพฤติกรรมการบวมตัวของแอสซีทีเลเตดไค- โตนาน ในโตนานอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับไคโตซานทีไม่ผ่านการดัดแปร และความสามารถในการ บวมตัวของแอสซีทีเลเตดไคโตซาน ก็แปรผันตามปริมาณของไวโนลอะซีเตตทีใช้ในการดัดแปร ซึ่ง กล่าวสรุปได้ว่าความสามารถในการบวมตัวในโตนานแปรผันตามระดับความเป็นผลึกของแอสซีทีเลเตด ไคโตซานและความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (intermolecular hydrogen bonding) ยังมีความเป็นผลึกลดลง ยิ่งลดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล จึงยังมีสามารถในการ บวมตัวในโตนานมากยิ่งขึ้น



(a) Unmodified chitosan X4



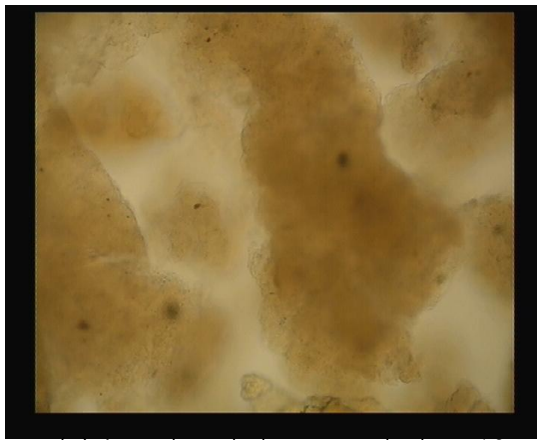
(b) Unmodified chitosan X10



(c) Unmodified chitosan X20



(d) Acetylated chitosan whisker X4



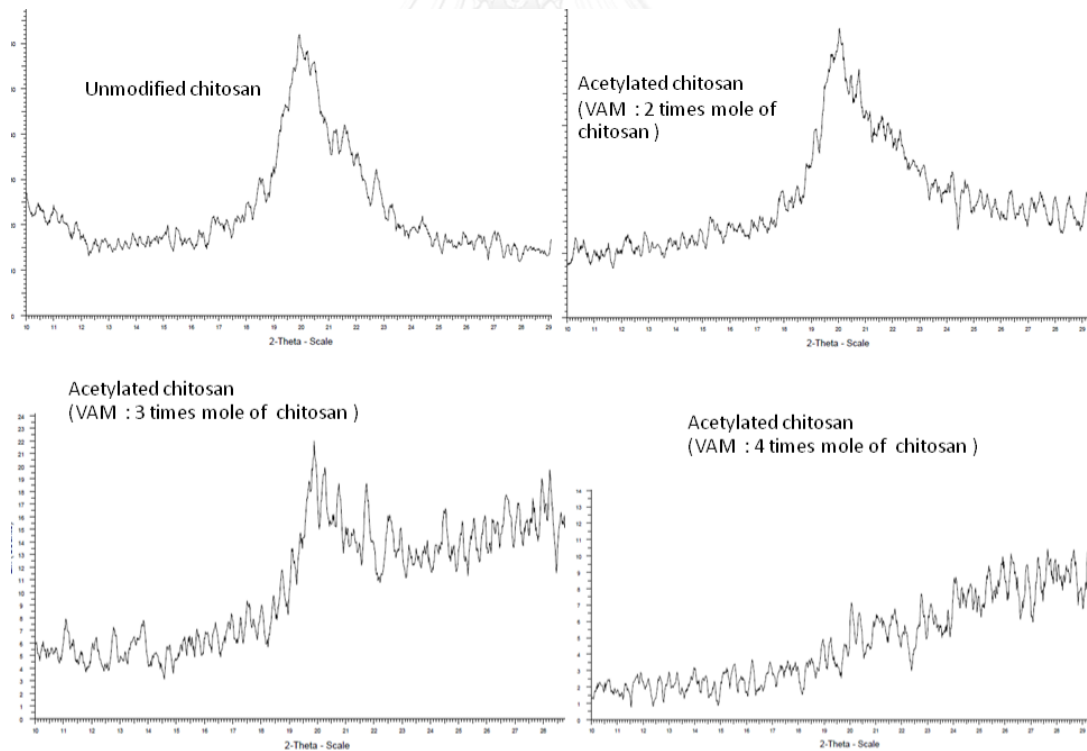
(e) Acetylated chitosan whiskerX10



(f) Acetylated chitosan whiskerX20

รูปที่ 4. 3 การบวมตัวของแอสีทีเลเตดโคโตซานในตัวทำละลายโทลูอิน

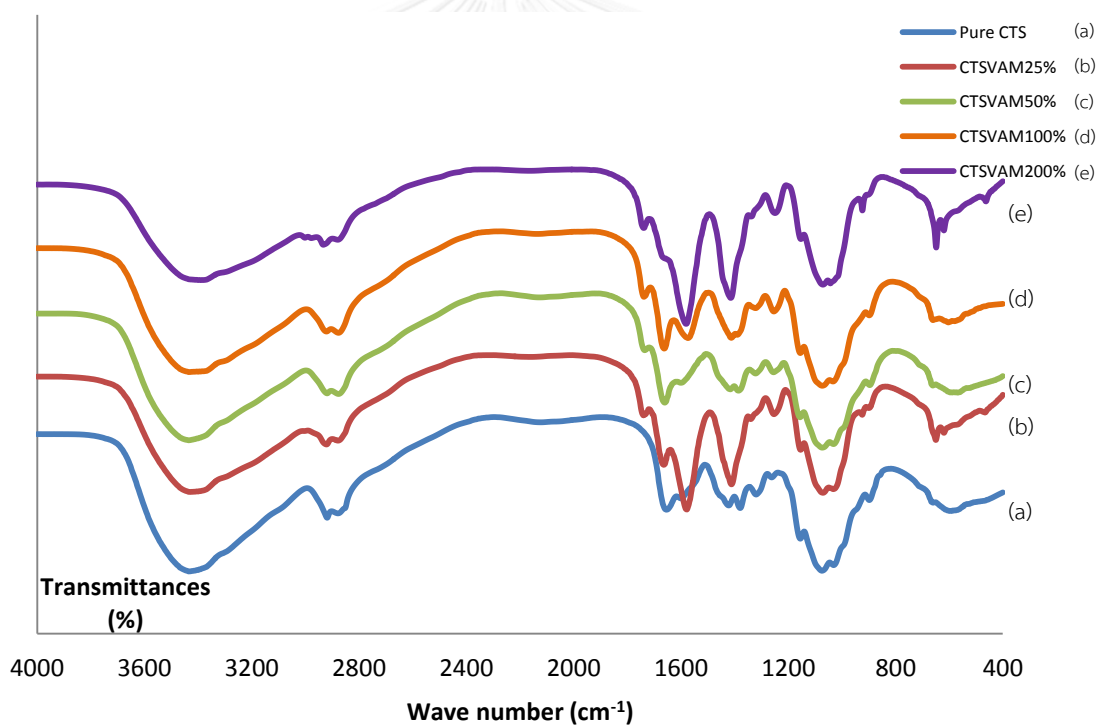
4.4 ความเป็นผลึกของแอสีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์



รูปที่ 4. 4 กราฟ X-ray driffraction ของแอสีทีเลเตดโคโตซานวิสเกอร์และโคโตซานที่ไม่ได้มีการดัดแปร

กราฟแสดงผล XRD Diffractograms ของแอสซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์และไคโตซานที่ไม่ได้มีการตัดแปรรูป ดังแสดงในรูปแบบที่ แสดงให้เห็นว่า มีพีคปรากฏในช่วง $3.3 \ 2\theta = 19^\circ$ ถึง 21° ตามลำดับโครงสร้างกึ่งผลึกของไคโตซานโดยทั่วไปและแสดงให้เห็นถึงอนุภาคของแอสซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ มีพฤติกรรมที่มีโครงสร้างผลึกที่ลดลงกว่าไคโตซานที่ไม่ได้ตัดแปรรูป ระดับความเป็นผลึกลดลงเมื่อปริมาณของไวโนลอะซีเตตซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาแอสซีทีเลชัน ซึ่งไม่ได้เกิดแค่เพียงที่ผิวของวิสเกอร์เท่านั้นแต่ยังเกิดทั้งภายในของวิสเกอร์ด้วย ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพีคเพียงเล็กน้อยในไคโตซานที่ตกตะกอนอย่างอิสระเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานที่ไม่ได้มีการตัดแปรรูป ซึ่งเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาแอสซีทีเลชันเพียงแค่ว่าเฉพาะที่ผิวของอนุภาค ซึ่งขณะที่ภายในอนุภาคยังเหลือส่วนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้จึงส่งผลให้จับตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่

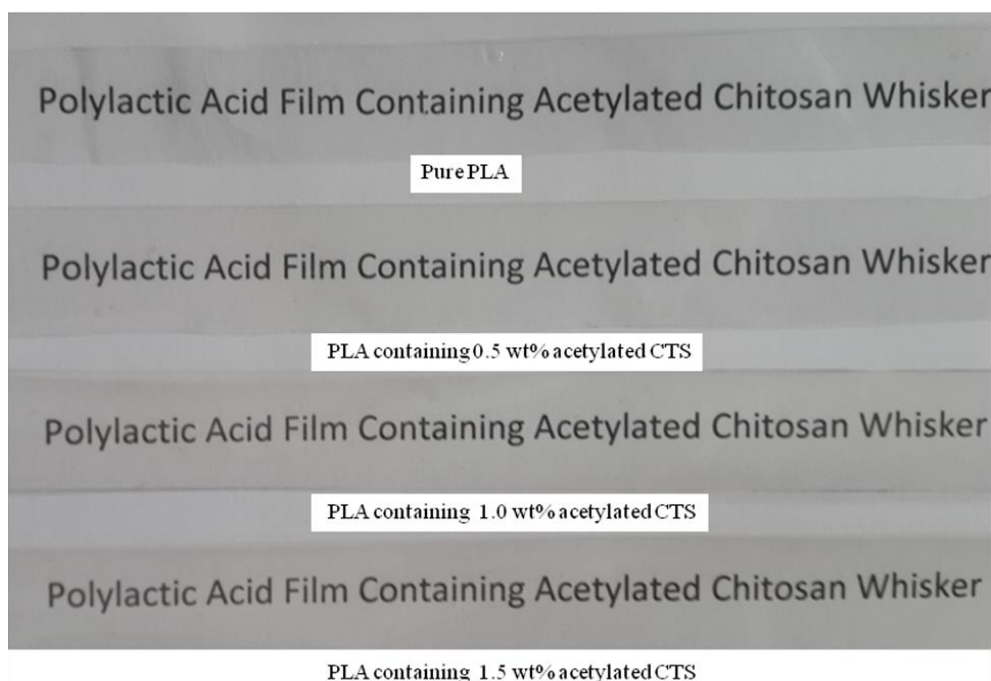
4.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transforms infrared spectroscopy: FTIR)



รูปที่ 4. 5 IR Spectrum ของแอสซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนของไวโนลอะซีเตตที่แตกต่างกัน คือ (a)ไคโตซานบริสุทธิ์ (b)แอสซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวโนลอะซีเตต 25 %wt (c) แอสซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวโนลอะซีเตต 50%wt (d)แอสซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวโนลอะซีเตต 100%wt และ (e) แอสซีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนไวโนลอะซีเตต 200%wt ตามลำดับ

กราฟ IR Spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของแอสีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ในอัตราส่วนที่ต่างกันดังต่อไปนี้ คือ 25%wt, 50%wt, 100%wt และ 200%wt ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า จะปรากฏพีคที่ประมาณ 1700nm ซึ่งหมู่คาร์บอนิลที่เกิดจากการที่ไวนิลอะซีเตตเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนของหมู่เอไมด์ของไคโตซาน ได้เป็นแอสีเตตคาร์บอนิลพีค ซึ่งปรากฏในทุกอัตราส่วนของไวนิลอะซีเตตที่เติมเข้าไปในอัตราส่วนที่ต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงว่า ไวนิลอะซีเตตได้เข้าทำปฏิกิริยากับไคโตซานวิสเกอร์อย่างสมบูรณ์

4.6 ลักษณะของฟิล์มคอมพอสิต



รูปที่ 4. 6 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดที่ประกอบด้วยไคโตซานวิสเกอร์ในปริมาณต่างๆ ที่ความหนา 0.5 มิลลิเมตร คือ (a)พอลิแล็กติก) แอซิดบริสุทธิ์-b)พอลิแล็กติกแอซิด/แอสีทีเลเตดไคโตซาน 0.5%wt (c)พอลิแล็กติกแอซิดแอสีทีเลเตดไคโตซาน 1.0%wt และ(d)พอลิแล็กติกแอซิดแอสีทีเลเตดไคโตซาน 1.5%wt

ฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดแอสีทีเลเตดไคโตซานในปริมาณที่ต่างกัน คือ 1.5 และ 1.0 ,0.5 %wt ดังที่แสดงในรูปที่ 4.5 จะสังเกตเห็นว่าฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดแอสีทีเลเตดไคโตซานที่ได้จะมีลักษณะโปร่งแสงเช่นเดียวกับฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดบริสุทธิ์ ซึ่งสังเกตได้จากที่แสงปกติสามารถส่องผ่านทะลุคอมพอสิตฟิล์มได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคของแอสีทีเลเตดไคโตซานวิสเกอร์นั้น

มีขนาดเล็กกว่า นาโนเมตร แล 400กระจายตัวเป็นอย่างดีในชั้นพอลิแล็กติกแอซิดที่เป็นเมทริกซ์ โดยไม่เกิดปัญหาการรวมตัวกัน

4.7 การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen gas Transition : ORT) ที่ซึมผ่านฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์ในอัตราส่วน 0.25%wt, 0.5 %wt , 1.0 %wt และ 1.5%wt ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน คือ 1080 cc/m²-วัน, 622 cc/m²-วัน, 418 cc/m²-วัน, 344 cc/m²-วัน และ 203 cc/m²-วัน ในฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดและฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์ 0.25 wt%, 0.5 wt%, 1.0 wt%, และ 1.5 wt% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดที่บริสุทธิ์กับฟิล์มคอมพอสิต พบว่าฟิล์มคอมพอสิตมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน และเมื่อปริมาณของแอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนลดลง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า แอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์ มีผลต่อการซึมผ่านของแก๊สของพอลิแล็กติกแอซิดที่เป็นเมทริกซ์ ซึ่งทำให้สามารถกล่าวได้ว่าแอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์ช่วยให้แก๊สนั้นเคลื่อนตัวได้ยากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของแอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์ที่มีขนาดเล็กมากกระจายตัวอยู่ในพอลิแล็กติกแอซิดได้เป็นอย่างดี และอนุภาคมีขนาดเล็ก จึงทำให้แก๊สออกซิเจนที่จะซึมผ่านฟิล์มนั้นใช้ระยะเวลานานขึ้นในการเคลื่อนตัว จึงช่วยปรับปรุงสมบัติการซึมผ่านของฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิดได้

ตารางที่ 4. 1 อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน

| ฟิล์มคอมพอสิต | ความหนาของฟิล์ม (micron) | อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (cc/m ² -วัน) |
|---------------|--------------------------|---|
| Virgin film | 65 | 1080 |
| PLACTS0.25 | 65 | 622 |
| PLACTS0.50 | 65 | 418 |
| PLACTS1.00 | 63 | 344 |
| PLACTS1.50 | 61 | 203 |

4.8 ความโปร่งใส

ความโปร่งใสของฟิล์มคอมพอสิตพอลิเอทิลีนแอสเตทเสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตนานาโนวิสเกอร์ในปริมาณที่ต่างกัน ดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ามีค่าที่ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือฟิล์มที่ได้มีความโปร่งแสงและแสงสามารถทะลุผ่านได้ทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนแอสเตทที่ไม่ได้มีการเสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตนานาโนวิสเกอร์นั้น มีค่าการส่องผ่านของแสงที่มากกว่าร้อยละ 90 ในช่วงแสงปกติที่มองเห็น และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4. 2 ร้อยละของแสงที่ส่องผ่านแผ่นฟิล์มคอมพอสิตแต่ละอัตราส่วนที่ต่างกัน

| ฟิล์มคอมพอสิต | % แสงที่ส่องผ่าน |
|---------------|------------------|
| Virgin film | 93.21 |
| PLACTS0.25 | 92.71 |
| PLACTS0.50 | 92.57 |
| PLACTS1.00 | 91.52 |
| PLACTS1.50 | 91.38 |

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการปรับปรุงสมบัติของพอลิเอ็กทิกแอซิดที่เสริมแรงด้วยแอซิติเลเตดไคโตซาน วิสเกอร์ ในอัตราส่วนต่างๆ คือ 0.25%wt ,0.5 %wt, 1.0%wt และ 1.5%wt โดยการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อ (casting) สามารถสรุปได้ดังนี้:

5.1.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคไคโตซานวิสเกอร์ มีลักษณะเป็นแผ่นติดกันคล้ายแผ่นกระดาษ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กมากมารวมกลุ่มกัน ในขณะที่อนุภาคไคโตซานที่ตกตะกอนอย่างอิสระนั้น จะมีลักษณะที่จับกลุ่มรวมตัวกันเป็นก้อนอย่างเห็นได้ชัด

5.1.2 การบวมตัวและการกระจายตัวในตัวทำละลายของไคโตซานวิสเกอร์มีระดับการบวมตัวที่ดี เนื่องจากอนุภาคมีความเป็นระเบียบที่ลดลง จึงทำให้เกิดช่องว่างที่ตัวทำละลายสามารถแทรกตัวเข้าไปในโมเลกุลได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับไคโตซานที่ตกตะกอนอย่างอิสระซึ่งมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ

5.1.3 ระดับความเป็นผลึกของแอซิติเลเตดไคโตซานวิสเกอร์มีระดับความเป็นผลึกที่ลดลง เมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตซานที่ตกตะกอนอย่างอิสระ เนื่องจากมีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบของอนุภาคที่เพิ่มมากขึ้น

5.1.4 ลักษณะภายนอกของฟิล์มพอลิเอ็กทิกแอซิดที่สังเกตเห็นได้คือ โปร่งแสงและเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเอ็กทิกบริสุทธิ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

5.1.5 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มพอลิเอ็กทิกแอซิดนั้นมีอัตราการซึมผ่านที่ลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเอ็กทิกแอซิดที่ไม่ได้มีการเสริมแรง และมีอัตราการซึมผ่านที่ลดลงเมื่อปริมาณของแอซิติเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ในฟิล์มเพิ่มขึ้น

5.1.6 แอซิติเลเตดไคโตซานวิสเกอร์มีหมู่แอซิติลคาร์บอร์นิลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไวนิลอะซีเตตและไคโตซาน เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้น

5.1.7 นอกจากนี้ความโปร่งใสของฟิล์มพอลิเอ็กทิกแอซิดที่เสริมแรงด้วยแอซิติเลเตดไคโตซานวิสเกอร์ พบว่ามีความโปร่งใส แสงสามารถทะลุผ่านได้ถึงร้อยละ 90 และเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเอ็กทิกแอซิดบริสุทธิ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเล็กทริกแอซิดที่เสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตนานวิสเกอร์

ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดอื่นๆ .2

ศึกษาการขึ้นรูปของฟิล์มพอลิแล. 3.ศึกษาทิกแอซิดที่เสริมแรงด้วยแอซีทีเลเตดโคโตนานด้วยเทคนิคอื่นๆ



รายการอ้างอิง

1. สถานการณ์ “ขยะ” ของไทย. [ออนไลน์]. 2013. แหล่งที่มา: <http://thaipublica.org/2013/05/weast-1/> [21 กันยายน 2556]
2. พลาสติกไร้โซเดียม. [ออนไลน์]. 2541. แหล่งที่มา: <http://kanchanapisek.or.th/kp11/articles/article-2.th.html> [25 กันยายน 2556]
3. Nampoothiri, K. M., Nair, N. R., and John, R. P. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. Bioresource Technology 101 (2010): 9.
4. Jamshidian, M., et al. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 9 (2010): 20.
5. Bioplastics. [ออนไลน์]. 2012. แหล่งที่มา: <http://enchemcom1po.wordpress.com/bioplastics> [5 ตุลาคม 2556]
6. Dutta, P. K., Dutta, J., and Tripathi, V. S. Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications. Journal of scientific & Industrial Research 63 (2004): 12.
7. Bie, P., et al. The properties of antimicrobial films derived from poly(lactic acid)/starch/chitosan blended matrix. Carbohydrate Polymers 98 (2013): 8.
8. Chitin and chitosan. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.dss.go.th/images/st-article/ct_3_2545_chitin_chitosan.pdf [18 October 2013]
9. Cetin, N. S., et al. Acetylation of cellulose nanowhiskers with vinyl acetate under moderate conditions. Macromol Biosci 9 (2009): 997-1003.
10. Sriupayo, J., et al. Preparation and characterization of α -chitin whisker-reinforced chitosan nanocomposite films with or without heat treatment. Carbohydrate Polymers 62 (2005): 7.
11. Bonilla, J., et al. Effects of chitosan on the physicochemical and antimicrobial properties of PLA films. Journal of Food Engineering 119 (2013): 8.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธิดาทิพย์ ต้นวุฒิพร เกิดเมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ.2532 สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชา
วัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 หลังจากนั้นจึงเข้า
ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยี
สิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

