

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน



นางสาว เพียงรวี นกน้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF POLY(LACTIC ACID)/HYDROPHOBIC CHITOSAN BLENDS



Miss Phiangrawee Noknoi

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

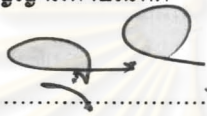
Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรไฟบิกโคโคธาน
โดย	นางสาว เพียงรวี นกน้อย
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.กฤษณา ศิริเลิศมกุล

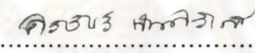
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นารหนองบัว)

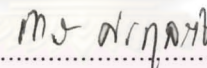
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



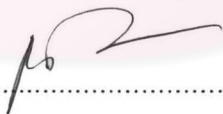
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวันว์ เจียมศิริเลิศ)

ประธานกรรมการ




(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก




(อาจารย์ ดร.กฤษณา ศิริเลิศมกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อัจจงค์)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

เพียงรวี นกน้อย :การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซาน.

(PREPARATION OF POLY(LACTIC ACID)/HYDROPHOBIC CHITOSAN BLENDS).

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. กาวี ศรีกุลกิจ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :

อ.ดร. กฤษณา ศิริเลิศมุกด, 98 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมไฮโดรฟิสิกโคโตซานสำหรับเป็นสารตัวเติมให้กับพอลิแล็กติกแอซิด ไฮโดรฟิสิกโคโตซานเตรียมขึ้นโดยเทคนิคคอมเพล็กซ์เซชันระหว่างโคโตซานและไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนต โดยใช้ อัตราส่วนผสมไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนตต่อโคโตซานที่ 3 : 1 และ 5 : 1 (โดยน้ำหนัก) หลังจากนั้นจึงนำไฮโดรฟิสิกโคโตซานที่ได้ไปผสมกับพอลิแล็กติกแอซิดโดยเทคนิคการหลอมเหลวและการละลาย อัตราส่วนในการผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและไฮโดรฟิสิกโคโตซาน 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ ทำการตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติของไฮโดรฟิสิกโคโตซานประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชัน สัณฐานวิทยา และเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค XRD, FTIR, SEM และ TGA การเป็นไฮโดรฟิสิกสามารถยืนยันด้วยผลการทดสอบการบวมตัวในไดคลอโรมีเทน ผลจาก ATR/FT-IR พบว่าที่ผิวของไฮโดรฟิสิกโคโตซานมีหมู่ไฮดรอกซิลลดลงแสดงให้เห็นว่าโคโตซานดัดแปรไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องจากการถูกห่อหุ้มด้วยไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนต ผลจาก XRD พบว่าความสามารถในการเกิดผลึกของโคโตซานลดลงเมื่อปริมาณของไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนตเพิ่มขึ้น เสถียรภาพทางความร้อนของ ไฮโดรฟิสิกโคโตซานลดลงประมาณ 20°C เมื่อเติมไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนตปริมาณ 20 wt% ผล FTIR ของพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซาน พบพีกที่ประมาณ 1640 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของหมู่เอมีนเกิดการเคลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ต่ำลงเนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ N-H ของโคโตซานกับหมู่คาร์บอนิลของพอลิแล็กติกแอซิด พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นสามารถบ่งบอกการยึดติดกันที่ดีของไฮโดรฟิสิกโคโตซานกับพอลิแล็กติกแอซิด เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซานลดลงกว่าพอลิแล็กติกแอซิดเริ่มต้นเมื่อปริมาณของไฮโดรฟิสิกโคโตซานเพิ่มสูงขึ้น ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของพลาสติไซเซอร์ของไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนตในไฮโดรฟิสิกโคโตซาน ซึ่งช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซานให้ดีขึ้น โดยพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความแข็งแรงลดลง และพบว่าพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซานสามารถต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียได้เนื่องจากผลของหมู่ NH_3^+ ในโคโตซาน

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5172396923 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS :HYDROPHOBIC CHITOSAN/ DIOCTYL SULFOSUCCINATE-CHITOSAN
COMPLEX/ PLA/HYDROPHOBIC CHITOSAN BLEND.

PHIANGRAWEE NOKNOI : PREPARATION OF POLY(LACTIC ACID)/HYDROPHOBIC
CHITOSAN BLENDS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D.,
THESIS CO-ADVISOR : KRISANA SIRALERTMUKUL, Ph.D., 98 pp.

In this study, hydrophobic chitosan was prepared, aiming at applying this material as a filler for poly(lactic acid). Hydrophobic chitosan (dioctyl sulfosuccinate-chitosan complex) was prepared by a mechanical mixing of aqueous chitosan with sodium dioctyl sulfosuccinate using the dioctyl sulfosuccinate to chitosan ratios of 3:1 and 5:1 (by weight). The resultant hydrophobic chitosan was mixed with poly(lactic acid) using melt mixing and solution mixing. PLA to hydrophobic chitosan ratios of 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 and 80:20 were prepared. The structure of hydrophobic chitosan and properties including functional group, morphology and thermal stability were characterized by XRD, FTIR, SEM and TGA techniques. The hydrophobic characteristic was also confirmed by swelling test (in dichloromethane). ATR/FTIR spectra of hydrophobic chitosan revealed that the hydroxyl group on the surface of hydrophobic chitosan markedly decreased, indicating an increase in hydrophobicity as a result of the coverage of dioctyl sulfosuccinate. The XRD results of hydrophobic chitosan showed that crystallinity of chitosan decreased with an increase in dioctyl sulfosuccinate content. The decomposition temperature of hydrophobic chitosan was decreased by 20°C with the addition of 20 wt% dioctyl sulfosuccinate. FTIR spectra of PLA/hydrophobic chitosan samples indicated that the band at 1640 cm⁻¹ shifted to lower wave number due to occurrence of the hydrogen bonding between chitosan N-H group and PLA carbonyl group. This hydrogen bonding was indicative of good adhesion arising from the close proximity of hydrophobic chitosan to PLA. Thermal properties of PLA/hydrophobic chitosan blend was less stable than pristine PLA particularly that containing high hydrophobic chitosan content. This phenomenon was associated with the plasticizing effect of dioctyl sulfosuccinate moiety in hydrophobic chitosan. Fortunately, the impact strength of PLA/hydrophobic chitosan tended to be improved as a result of the decrease in the rigidity. In addition, antimicrobial activity of PLA/hydrophobic chitosan blend was observed due to the presence of active chitosan NH₃⁺ group.

Department:..... Materials Science..... Student's Signature *Phiangrawee N.*
Field of Study:..... Applied Polymer Science and Textile technology..... Advisor's Signature *Kawee Srikulkit*
Academic Year: 2010..... Co-Advisor's Signature *R. Sril.*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเชื่อเพื่อด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกันดังรายนาม ต่อไปนี้

1. รศ.ดร. กาวี ศรีภูลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. กฤษณา ศิริเลิศ-มุกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย
6. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

ขอขอบคุณน้องและเพื่อนที่แสนดีที่สุดของข้าพเจ้า(อัชจิมากร เพาะพีช) ที่คอยเป็นกำลังใจและยื่นเคียงข้างข้าพเจ้าเสมอมา และเพื่อนๆของข้าพเจ้าทุกคน ขอขอบคุณศรีจรี อุดม-ถาวรสวัสดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นทีปรึกษาในทุกๆเรื่องตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ ขอขอบคุณสุภาภรณ์ พรหมสุรินทร์ และ รุ่งอรุณ พัดเย็นชื่น ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการสอบวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ชายของข้าพเจ้าทั้งสองคน ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณปารเมศ นกน้อย พี่ชายที่ให้การสนับสนุนเงินทุนและที่พักในการศึกษาครั้งนี้ อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรควิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พอลิแล็กติกแอซิด (Polylactic acid, PLA).....	4
2.1.1 การเตรียมมอนอเมอร์.....	4
2.1.2 กระบวนการสังเคราะห์.....	5
2.1.2.1 กระบวนการควบแน่น (Polycondensation).....	5
2.1.2.2 กระบวนการเปิดวงแหวน (Ring-opening polymerization).....	6
2.1.3 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์.....	8
2.1.3.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties).....	8
2.1.3.2 การเสื่อมสภาพด้วยจุลชีพ (Biodegradation).....	8
2.1.3.3 การนำไปใช้ประโยชน์.....	8
2.2 ไคตินและไคโตซาน.....	9
2.2.1 ไคติน (Chitin).....	9
2.2.2 ไคโตซาน (Chitosan).....	9
2.2.3 การเตรียมไคตินและไคโตซาน.....	10
2.2.3.1 การกำจัดแร่ธาตุ (Dem Mineralization).....	10

บทที่	หน้า
2.2.3.2 การกำจัดโปรตีน (Deproteination).....	11
2.2.4 สมบัติของโคโตซาน.....	11
2.2.4.1 การละลาย.....	11
2.2.4.2 ความหนืด.....	12
2.2.4.3 สมบัติทางความร้อน.....	12
2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends).....	12
2.3.1 กลไกของการเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism).....	13
2.3.2 วิธีทำให้เข้ากันได้ (Method of Compatibilization).....	13
2.3.2.1 ความเข้ากันทางอุณหภูมิก่อนผสม (Thermodynamic Miscibility).....	13
2.3.2.2 การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of block or graft copolymers).....	14
2.3.2.3 การเติมพอลิเมอร์ที่หมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of functional/reactive polymers).....	14
2.3.2.4 การเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม (In-situ grafting copolymerization).....	15
2.3.3 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม (Properties of polymer blends).....	15
2.3.4 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม (Morphology of polymer blends).....	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.3 วิธีการทดลอง.....	20
3.3.1 วิเคราะห์สมบัติของโคโตซาน.....	20
3.3.1.1 การวิเคราะห์ความหนืด.....	20

บทที่	หน้า
3.3.1.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (solubility)...	21
3.3.1.3 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น.....	22
3.3.1.4 การวิเคราะห์การบวมตัวในไดคอลลอโรมีเทน.....	22
3.3.2 การดัดแปรโคโตซานด้วยไดออกทิลซัลโฟซึกซิเนต (dioctyl sulfosuccinate-chitosan complex).....	22
3.3.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซาน.	24
3.3.3.1 การเตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว (Melt Mixing).	24
3.3.3.2 การเตรียมด้วยกระบวนการละลาย (Solution Mixing)..	26
3.3.4 การขึ้นรูปชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซาน.....	28
3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ.....	29
3.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค XRD.....	29
3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี(FT-IR).....	30
3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM.....	30
3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	31
3.4.4.1 Thermal gravimetric analysis (TGA).....	31
3.4.5 การศึกษาลักษณะภายนอกของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope).....	32
3.4.6 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	32
3.4.6.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก.....	32
3.4.7 การทดสอบความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย.....	33
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	34
4.1 สมบัติของไฮโดรโฟบิกโคโตซาน.....	34
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ไฮโดรโฟบิกโคโตซานด้วยเทคนิค FT-IR.....	35
4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโคโตซาน-ไฮโดรโฟบิกโคโตซานด้วยเทคนิค XRD.....	37

บทที่	หน้า
4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของไฮโดรฟอบิกโคโตซานที่ได้ด้วยเทคนิค TGA.....	38
4.1.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของโคโตซานและไฮโดรฟอบิกโคโตซานด้วยเทคนิค SEM.....	40
4.2 การวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟอบิกโคโตซาน.....	40
4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟอบิกโคโตซานด้วยเทคนิค FT-IR.....	40
4.2.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ด้วยเทคนิค TGA.....	43
4.2.3 การศึกษาภาพถ่ายของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟอบิกโคโตซาน (กระบวนการหลอมเหลว) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (optical microscope).....	50
4.2.4 การศึกษาภาพถ่ายของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟอบิกโคโตซาน (กระบวนการละลาย) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (optical microscope).....	52
4.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟอบิกโคโตซานด้วยเทคนิค XRD.....	54
4.2.6 การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟอบิกโคโตซาน.....	55
4.2.6.1 การศึกษาความต้านทานต่อแรงกระแทก.....	55
4.2.7 การศึกษาความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย.....	58
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก.....	66

	หน้า
ภาคผนวก ข.....	69
ภาคผนวก ค.....	76
ภาคผนวก ง.....	81
ภาคผนวก จ.....	90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมโคโตซานดัดแปร.....	23
ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการหลอมเหลว..	26
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมพอลิแล็กติกแอซิดและไฮโดรฟิสิกโคโตซา.....	27
ตารางที่ 3.4 ภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดแบบ (Compression molding)....	28
ตารางที่ 4.1 คุณหมุมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของโคโตซานและไฮโดรฟิสิกโคโตซาน.....	39
ตารางที่ 4.2 คุณหมุมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/โคโตซาน.....	46
ตารางที่ 4.3 คุณหมุมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซาน.....	49
ตารางที่ 4.4 ความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ ศึกษาโดยใช้แบคทีเรียชนิด <i>Staphylococcus aureus</i>	58

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างพอลิแล็กติกแอซิด..... 4
รูปที่ 2.2	กระบวนการผลิตกรดแล็กติก (Lactic acid, C ₃ H ₆ O ₃)..... 5
รูปที่ 2.3	“back-biting” และการเกิด lactide ring formation..... 6
รูปที่ 2.4	กระบวนการสังเคราะห์ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง..... 7
รูปที่ 2.5	โครงสร้างทางเคมีของแล็กไทด์..... 7
รูปที่ 2.6	โครงสร้างไคติน..... 9
รูปที่ 2.7	โครงสร้างไคโตซาน..... 9
รูปที่ 2.8	ขั้นตอนการเตรียมไคตินและไคโตซาน..... 10
รูปที่ 2.9	การกระจายตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงเฉือน..... 13
รูปที่ 2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติและอัตราส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสม..... 15
รูปที่ 2.11	ลักษณะต่างๆของดิสเพอร์สเฟสที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม.... 16
รูปที่ 3.1	สูตรโครงสร้างไซเดียมไดออกซิลฟอสเฟต..... 19
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการดัดแปรไคโตซาน (ไฮโดรฟิสิกไคโตซาน)..... 23
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการหลอมเหลว..... 25
รูปที่ 3.4	เครื่องอัดรีดสกรูคู่..... 25
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการละลาย..... 27
รูปที่ 3.6	เครื่องอัดแบบ..... 28
รูปที่ 3.7	X-ray Diffractometer..... 29
รูปที่ 3.8	เครื่อง FT-IR spectrometer 30
รูปที่ 3.9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 31
รูปที่ 3.10	เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA)..... 31
รูปที่ 3.11	กล้อง Optical microscope..... 32
รูปที่ 3.12	เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก..... 33
รูปที่ 4.1	แสดงลักษณะทางกายภาพของไคโตซานและไฮโดรฟิสิกไคโตซาน..... 35
รูปที่ 4.2	แสดงการเกิดคอมเพล็กซ์เซชันระหว่างไคโตซานกับไดออกซิลฟอสเฟต..... 35

รูปที่ 4.3	แสดงลักษณะทางกายภาพของไคโตซานและไฮโดรฟิสิกไคโตซาน.....	36
รูปที่ 4.4	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของไคโตซาน และไฮโดรฟิสิกไคโตซาน.....	37
รูปที่ 4.5	TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-500°C ของไคโตซานและไคโตซานดัดแปร.....	38
รูปที่ 4.6	DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของไคโตซานและไคโตซาน ดัดแปรที่อัตราส่วนของไดออกซิลซิลฟิสิกซีเนต:ไคโตซาน ต่างๆ.....	39
รูปที่ 4.7	ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของไคโตซานและไฮโดรฟิสิกไคโตซาน ที่กำลังขยาย 1500 เท่า.....	40
รูปที่ 4.8	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการหลอมเหลว แสดงการ เปรียบเทียบโครงสร้างของ.....	41
รูปที่ 4.9	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการ หลอมเหลวแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้าง.....	42
รูปที่ 4.10	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการ ละลายแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้าง.....	43
รูปที่ 4.11	TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C ของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการหลอมเหลว.....	44
รูปที่ 4.12	DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม จากกระบวนการหลอมเหลว.....	44
รูปที่ 4.13	TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C ของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการละลาย.....	45
รูปที่ 4.14	DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม จากกระบวนการละลาย.....	45
รูปที่ 4.15	TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C ของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการหลอมเหลว.....	47
รูปที่ 4.16	DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม จากกระบวนการหลอมเหลว.....	48
รูปที่ 4.17	TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C	

	ของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการละลาย.....	48
รูปที่ 4.18	DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม จากกระบวนการละลาย.....	49
รูปที่ 4.19	ภาพถ่ายแบบส่องผ่านด้วยกล้อง OM ที่กำลังขยาย 10 เท่าที่เตรียมด้วย กระบวนการหลอมเหลว.....	51
รูปที่ 4.20	ภาพถ่ายแบบส่องผ่านด้วยกล้อง OM ที่กำลังขยาย 10 เท่าที่เตรียมด้วย กระบวนการละลาย.....	53
รูปที่ 4.21	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ เตรียมจากกระบวนการหลอมเหลว.....	54
รูปที่ 4.22	XRD ดิฟแฟรกโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ เตรียมจากกระบวนการละลาย.....	55
รูปที่ 4.23	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเตรียมจาก CTS-DSS ใน อัตราส่วน 1 : 3.....	56
รูปที่ 4.24	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเตรียมจาก CTS-DSS ใน อัตราส่วน 1 : 5.....	56
รูปที่ 4.25	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 3 นาที...	57
รูปที่ 4.26	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 5 นาที...	57
รูปที่ 4.27	จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ที่ปรากฏบนตัวอย่างที่เวลา 0 ชั่วโมง ภายใน plates incubated อุณหภูมิ 37°C.....	59
รูปที่ 4.28	จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ที่ปรากฏบนตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมงภายใน plates incubated อุณหภูมิ 37°C.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงเวลากว่า 100 ปีที่พลาสติกถูกสังเคราะห์ขึ้น พลาสติกนับเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์ของใช้และบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ รวมถึงอุปกรณ์สำหรับทางการแพทย์และการเกษตร ปัจจุบันพลาสติกถูกผลิตขึ้นมาใช้งานทั่วโลกมากกว่า 200 ล้านตันต่อปี เนื่องจากมีราคาถูก น้ำหนักเบา ทนความชื้น ไม่เป็นสนิม ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปต่างๆ ได้ง่ายกว่าวัสดุอื่นๆ ดังนั้นพลาสติกจึงถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินชีวิตประจำวัน และเพิ่มความสะดวกสบายให้กับมนุษย์มากยิ่งขึ้น แต่การนำพลาสติกมาใช้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของปริมาณขยะจำพวกพลาสติก เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่ไม่เกิดการย่อยสลายหรือย่อยสลายได้ยากจึงก่อให้เกิดปัญหาเรื่องขยะและส่งผลโดยตรงต่อภาวะแวดล้อมจากการใช้เวลาย่อยสลายนานหลายร้อยปี

ด้วยเหตุนี้เองทำให้มนุษย์เริ่มตระหนักและเห็นความสำคัญของปัญหาที่ตามมา จึงทำให้แนวโน้มการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเกษตรกรรม การแพทย์ หรือแม้กระทั่งด้านการบรรจุภัณฑ์ หีบห่อ เห็นได้จากเกิดงานวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตและปรับปรุงสมบัติของพลาสติกย่อยสลายได้เพิ่มมากขึ้น หนึ่งในวิธีที่นิยมกันมากคือ การพัฒนาพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้สามารถขึ้นรูปได้หลากหลายและมีสมบัติการใช้งานกว้างขวางขึ้น

พอลิแล็กติกแอซิด หรือ พอลิแล็กไทด์ เป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในประเภทพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ เนื่องจากมีสมบัติย่อยสลายได้เองในธรรมชาติและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความต้องการสูงในการนำมาใช้ทดแทนพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก พอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถเตรียมได้จากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ เช่น ข้าวโพด, มันสำปะหลัง โดยการหมักผลผลิตทางการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก โดยใช้จุลินทรีย์เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแล็กติก แล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ แต่พอลิเมอร์ชนิดนี้มีข้อจำกัด คือ มีสมบัติทนทานต่อความร้อนไม่ดีนัก เทคนิคในการผลิตซับซ้อน มีราคาแพง มีลักษณะทางกายภาพที่แข็ง เปราะ จึงทำให้ไม่เหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานที่ต้องการความเหนียวสูง ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิ-

ลิแกล็กติกแอซิดให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์รวมทั้งสามารถลดต้นทุนการผลิตด้วยการเตรียมแบบผสม (Blending) กับพอลิเมอร์ตัวอื่น

พอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นพอลิเมอร์ผสมกับ พอลิแล็กติกแอซิด คือ โคลโตซาน ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพ ประเภทพอลิแซคคาไรด์ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต พบได้ในธรรมชาติ โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวก กุ้ง ปู แกนปลาน้ำจืด เป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน โดยเหตุผลที่นำโคลโตซานมาผสมกับพอลิแล็กติกแอซิด เนื่องจากโคลโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติที่มีสมบัติเหนียวตัวดี จึงคาดว่าจะสามารถช่วยเพิ่มความเหนียวของพอลิแล็กติกแอซิดได้ อย่างไรก็ตามการนำโคลโตซานผสมกับพอลิแล็กติกแอซิดโดยตรง จะพบกับปัญหาความเข้ากันได้ไม่ดีระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสอง เนื่องจากพอลิแล็กติกแอซิดมีสมบัติไม่ชอบน้ำ ในขณะที่โคลโตซานมีสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นเพื่อช่วยปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างโคลโตซานกับพอลิแล็กติกแอซิด จึงทำการดัดแปรโคลโตซานให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำก่อนนำไปผสมกับพอลิแล็กติกแอซิด

ในงานวิจัยนี้มีขอบเขตตั้งแต่การเตรียมสารประกอบคอมเพล็กซ์ของโคลโตซาน กับ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบได้เป็นโคลโตซานดัดแปรหรือไฮโดรโฟบิกโคลโตซาน จากนั้นจึงนำไฮโดรโฟบิกโคลโตซานที่ได้มาทำการผสมกับพอลิแล็กติกแอซิด โดยกระบวนการผสมแบบหลอมเหลว ซึ่งใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่องที่เรียกว่าการอัดรีดแบบสกรูคู่ จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยการอัด แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล โดยคาดหวังว่าการเติมไฮโดรโฟบิกโคลโตซานจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และทดสอบด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย Thermogravimetric Analysis (TGA) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ทดสอบ X-Ray Diffractometer (XRD) ทดสอบการบวมตัว (Swelling Test) และการทดสอบการทนแรงกระแทก เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมไฮโดรโฟบิกโคลโตซานด้วยเทคนิคคอมเพล็กซ์เซชันด้วยการดัดแปรโคลโตซานด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ
2. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคลโตซาน
3. ศึกษาภาวะการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคลโตซานด้วยกระบวนการอัดรีดด้วยความร้อนและกระบวนการละลาย

4. วิเคราะห์และทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซานที่
ได้ทั้งสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดัดแปรโคโคซานด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (dioctyl sulfosuccinate) โดยวิธีคอม-เพล็กซ์เซชัน เพื่อให้ได้เป็นไฮโดรโฟบิกโคโคซาน โดยศึกษาผลของปริมาณ dioctyl sulfosuccinate ต่อ โคโคซาน ในอัตราส่วน 3:1 และ 5:1 ตามลำดับ
2. ศึกษาสมบัติของโคโคซาน ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล ความหนืด ความสามารถในการละลาย โครงสร้าง หมู่ฟังก์ชันทางเคมี และเสถียรภาพทางความร้อน
3. ศึกษาสมบัติของไฮโดรโฟบิกโคโคซานที่ได้ ได้แก่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ผลึก สมบัติทางความร้อน หมู่ฟังก์ชัน
4. เตรียมเม็ดพอลิเมอร์ผสมของพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซานโดยกระบวนการอัดรีดด้วยความร้อนและกระบวนการละลาย โดยศึกษาผลของปริมาณพอลิแล็กติกแอซิดต่อไฮโดรโฟบิกโคโคซานในอัตราส่วน 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ และศึกษาผลของปริมาณไฮโดรโฟบิกโคโคซานที่มีต่อสมบัติของพอลิแล็กติกแอซิด
5. ศึกษาสมบัติทางความร้อน หมู่ฟังก์ชัน ของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซาน
6. เตรียมชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมของพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซานด้วยกระบวนการอัด เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล
7. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซาน ได้แก่ การทดสอบการทนแรงกระแทก

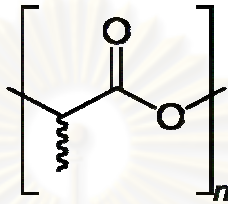
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้พอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซาน ที่มีสมบัติเชิงกลและความเหนียว

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิแล็กติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) [1]



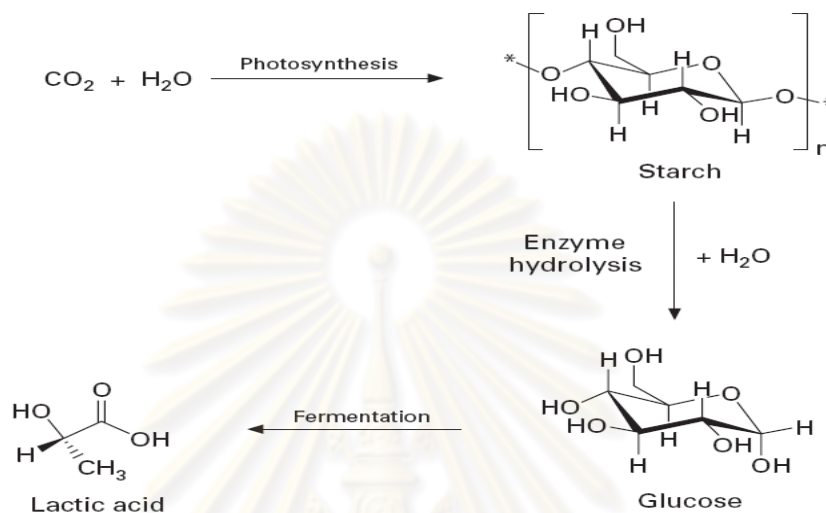
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างพอลิแล็กติกแอซิด[2]

พอลิแล็กติกแอซิด หรือพอลิแล็กไทด์ เป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในประเภทพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเตอร์ มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ linear aliphatic polyester โดยพอลิเมอร์ชนิดนี้เตรียมได้จากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง หรืออ้อย โดยการหมักผลผลิตทางการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก โดยใช้จุลินทรีย์เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแล็กติก เมื่อนำมาแยกให้บริสุทธิ์แล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์เป็น PLA พอลิแล็กติกแอซิดได้มีการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1930 โดย Carothers ในตอนนั้นเขาได้สังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิดจากสารเคมี ด้วยปฏิกิริยา direct condensation polymerization พอลิเมอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้มีจุดหลอมเหลวต่ำจึงไม่เหมาะในการนำมาใช้ประโยชน์ ในปัจจุบันพอลิแล็กติกแอซิดกำลังได้รับความนิยมเนื่องจากมีสมบัติย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ จึงมีความต้องการสูงในการนำมาใช้ทดแทนพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก

2.1.1 การเตรียมมอนอเมอร์ [1,3]

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต PLA จะเป็นพืชผลทางการเกษตรพวกแป้ง เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ซึ่งกระบวนการผลิต PLA ในขั้นเริ่มต้นจะเป็นการเตรียมวัตถุดิบ โดยการปลูกข้าวโพด จะมีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้ผลผลิตออกมาเป็นแป้ง จากนั้นนำแป้งที่ได้มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล

เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) โดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสที่มีเอนไซม์ หรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำการหมักอีกครั้งเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแล็กติกใช้เป็นมอนอเมอร์ในกระบวนการสังเคราะห์ PLA ต่อไป ซึ่งแบคทีเรียที่ใช้ในการหมักจะเป็นพวก *Lactobacilli*



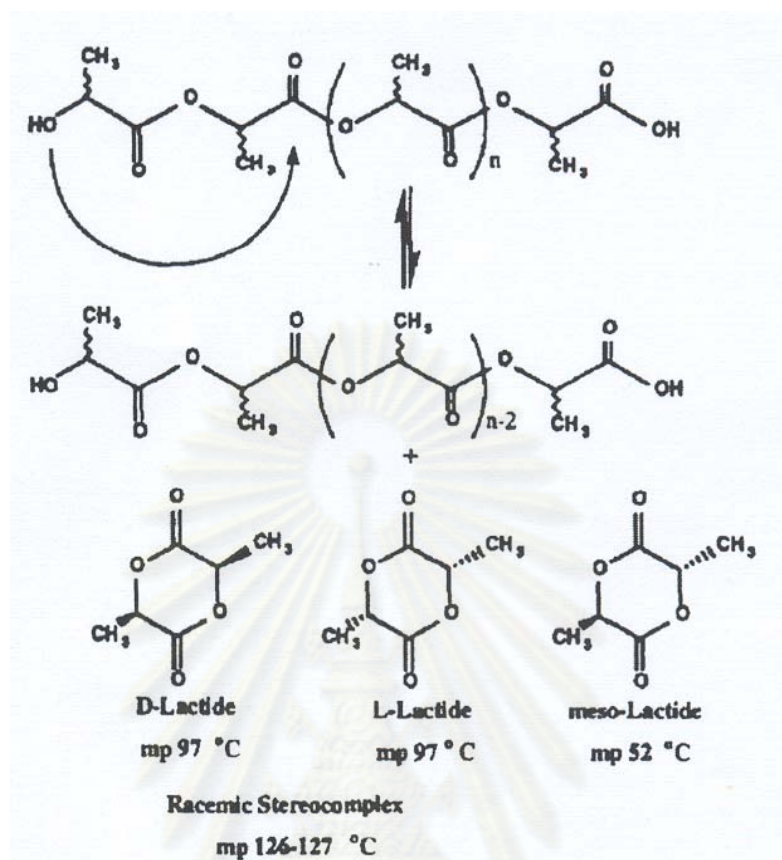
รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตกรดแล็กติก (Lactic acid, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$) [3]

2.1.2 กระบวนการสังเคราะห์ [3,4]

กระบวนการสังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิด มี 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบแน่น และกระบวนการเปิดวงแหวน

2.1.2.1 กระบวนการควบแน่น (Polycondensation)

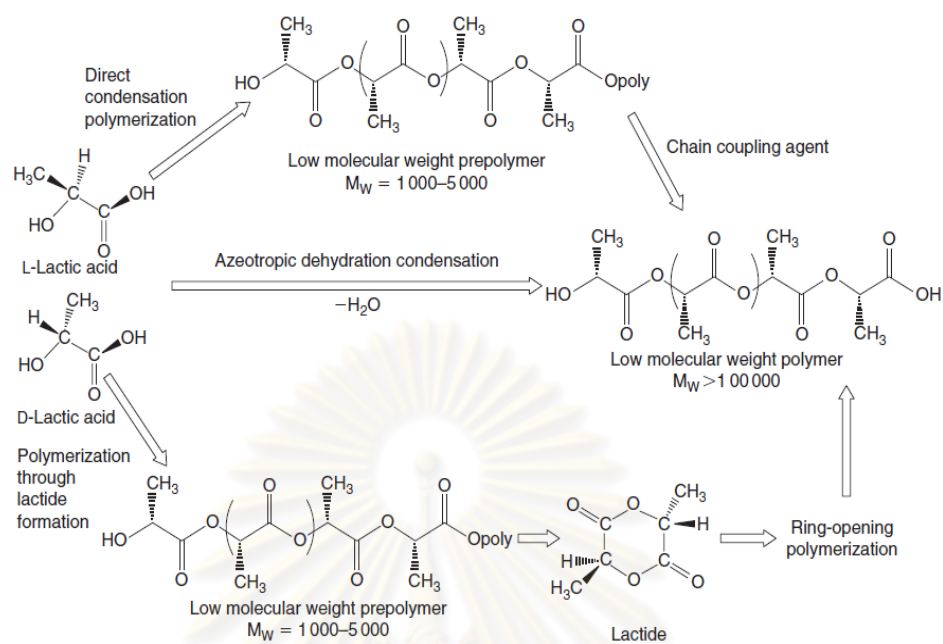
กระบวนการควบแน่นนี้มอนอเมอร์ที่ใช้เป็นกรดแล็กติก ซึ่งเกิดปฏิกิริยาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาวเป็น PLA ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีสมดุล และพบว่าการกำจัดน้ำที่ได้ในระหว่างการสังเคราะห์ออกให้หมดเป็นเรื่องที่ยาก น้ำจึงไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยา หรือ เกิดปฏิกิริยา“back-biting” สร้าง six-member lactide ring ที่เป็นของผสมของ L-lactide, D-lactide, meso-lactide หรือ 1:1 racemic stereocomplex (D,L-lactide) ส่งผลให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่า “พอลิแล็กติกแอซิด” (Polylactic acid, PLA) เนื่องจากกระบวนการเริ่มต้นใช้กรดแล็กติก ดังนั้นวิธีแก้ไขให้สามารถสังเคราะห์ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คือ (1) โดยการทำให้ปฏิกิริยาควบแน่นร่วมกับการดึงน้ำออกระหว่างเกิดปฏิกิริยา (Azeotropic dehydration condensation) (2) โดยการใช้ coupling agent



รูปที่ 2.3 “back-biting” และการเกิด lactide ring formation [4]

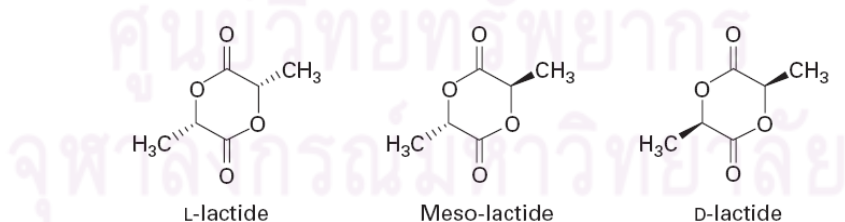
2.1.2.2 กระบวนการเปิดวงแหวน (Ring-opening polymerization)

กระบวนการเปิดวงแหวนนี้ มอนอเมอร์ที่ใช้เป็นแล็กไทด์ ซึ่งมีโครงสร้างแบบวงแหวนได้ จากปฏิกิริยาการรวมตัวของกรดแล็กติก 2 โมเลกุล จากนั้นวงแหวนแล็กไทด์เกิดปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนแล้วเชื่อมต่อไปเป็นสายโซ่ยาวเป็นพอลิแล็กไทด์ (Polylactide, PLA) โดยมีสารประกอบดีบุก เช่น ทินออกโทเตต (tin(II) octoate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการนี้จะได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่ากระบวนการแรก และพอลิเมอร์ที่ได้เรียกว่า “พอลิแล็กไทด์” (Polylactide, PLA)



รูปที่ 2.4 กระบวนการสังเคราะห์ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูง [5]

ตั้งนั้นปัจจุบันการผลิต PLA จะเตรียมจากกระบวนการเปิดวงแหวน ซึ่งบริษัท Cargill Dow LLC ได้พัฒนาและจดสิทธิบัตรกระบวนการผลิต PLA ที่ต่อเนื่องและมีต้นทุนการผลิตต่ำ เริ่มจากปฏิกิริยาควบแน่นแบบต่อเนื่องของกรดแล็กติกเพื่อผลิตพรีพอลิแล็กติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จากนั้นพรีพอลิแล็กติกแอซิดถูกเปลี่ยนเป็นแล็กไทด์โดยการเร่งปฏิกิริยาจากสารประกอบดีบุก ซึ่งจะถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นภายใต้สุญญากาศ และจากกระบวนการเปิดวงแหวนโดยการเร่งปฏิกิริยาจากสารประกอบดีบุก จะได้ PLA โมเลกุลสูงเป็นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของแล็กไทด์ [6]

และเนื่องจากไม่มีการใช้สารละลายอินทรีย์ กระบวนการนี้จึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแล้วแล็กไทด์ที่เหลือจะถูกกลั่นออกมาภายใต้ระบบสุญญากาศและนำกลับไปใช้ใหม่อีกครั้ง

2.1.3 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ [4,7]

2.1.3.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

1. มีค่าดรรชนีหักเหแสง (refractive index) 1.35-1.45 จึงมีความแวววาวสูง และใส
2. ไม่มีการซึมผ่านของน้ำ น้ำมัน อากาศ
3. ที่อุณหภูมิห้อง PLA มีลักษณะเป็น stiff polymer
4. ความต้านทานแรงดึง 30-50 เมกกะปาสคาล
5. มอดุลัสการโค้งงอ 2.4-2.9 จิกะปาสคาล
6. ร้อยละของปริมาณผลึก 37%
7. มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(Tg) ระหว่าง 55–65°C
8. มีอุณหภูมิหลอมเหลว(Tm) ระหว่าง 160-170°C

2.1.3.2 การเสื่อมสภาพด้วยจุลชีพ (Biodegradation) [1]

PLA ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะคอมโพสท์ที่อุณหภูมิ 60°C การย่อยสลายแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ เกิดการย่อยสลายผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ถูกตัดสั้นลงจนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ในขั้นตอนนี้พลาสติกจะมีสมบัติที่แตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจะถูกย่อยสลายต่อโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ได้ง่าย เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ แต่ PLA ย่อยสลายได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60°C เนื่องจากมีอุณหภูมิกลาสทรานสิชันที่ 60°C

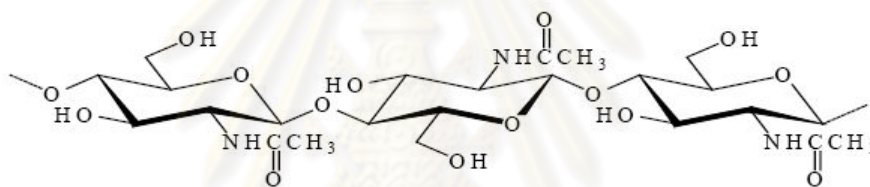
2.1.3.3 การนำไปใช้ประโยชน์ [1,3]

PLA เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปได้ง่ายโดยกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก จึงสามารถผลิตเป็นสินค้าได้หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นจานใส่อาหาร แก้ว ช้อน แผ่นฟิล์มอาหาร แผ่นซีดี และมีศักยภาพในการนำมาใช้งานด้านเส้นใย สิ่งทอ และผ้าชนิดไม่ถักทอ (non-woven) มีสมบัติจับจีบและคงรูปได้ดี เชื่อมติดกันได้ด้วยความร้อน มีความทนทานต่อแสงยูวี ทำให้สีของเส้นใยซีดช้า มีสมบัติติดไฟ และการเกิดควันต่ำ เหมาะสำหรับใช้ทำเสื้อผ้าและงานตกแต่ง ผ้าคลุมพื้น ผ้าโบนอกจากนี้ PLA ยังเป็นวัสดุที่เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ เหมาะสำหรับงานทางการแพทย์ เช่นนำมาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยตัวยา ไหมเย็บแผล (sutures) วัสดุปิดแผล (wound dressing)

2.2 ไคตินและไคโตซาน

2.2.1 ไคติน (Chitin) [3,8]

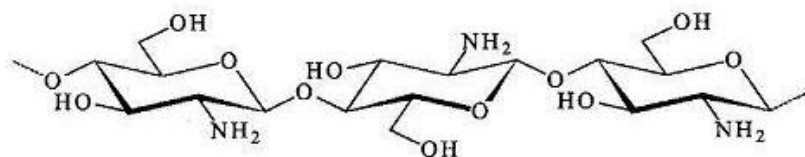
ไคติน เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ พบในธรรมชาติมากเป็นอันดับสอง รองจากเซลลูโลส โดยไคตินส่วนใหญ่อยู่ในสัตว์จำพวกเปลือกหุ้มแข็ง (exoskeleton) ของพวก crustacean (สัตว์ที่มีเปลือกหุ้ม) เช่น กุ้ง ปู และในธรรมชาติจะพบไคตินในรูปแบบของเส้นใยแทรกตัวอยู่ในแมทริกซ์ของโปรตีนและปะปนร่วมกับแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า poly[β -(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] โดยแต่ละหน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-linkage และมีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ไคตินมีสูตรโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส ต่างกันตรงที่การแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองด้วยหมู่ acetamido ($-NHC=OCH_3$)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างไคติน [9]

2.2.2 ไคโตซาน (Chitosan) [3,8]

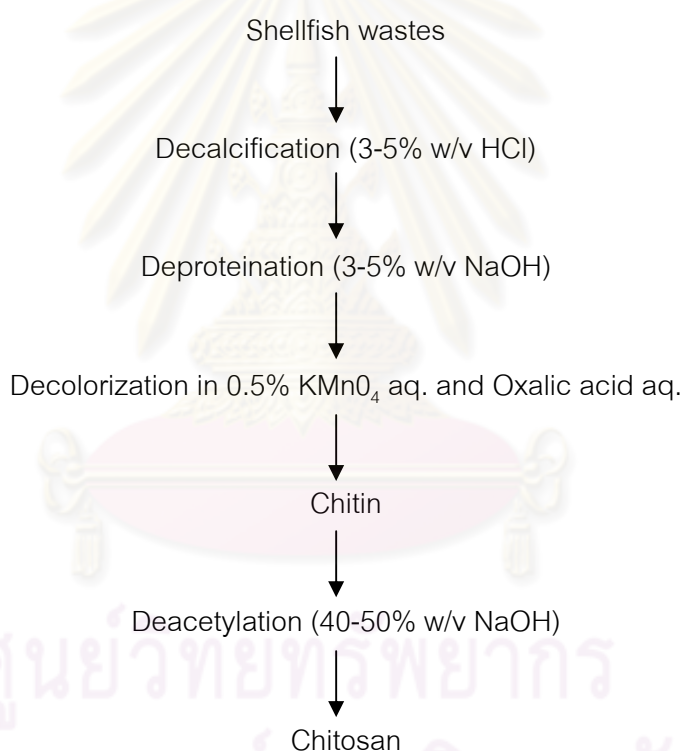
ไคโตซาน เป็นอนุพันธ์ของไคตินเนื่องจากสามารถเตรียมได้จากขบวนการ alkaline hydrolysis ของไคติน หรืออาจเรียกว่าขบวนการ deacetylation เนื่องจากหลังจากที่ไคตินถูกไฮโดรไลซิสแล้วหมู่ acetamido ($-NHC=OCH_3$) บางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ amine ($-NH_2$) ดังนั้นไคโตซานจึงมีชื่อทางเคมีว่า poly[β -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] และมีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{11}NO_4)_n$ ไคตินที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอสติลตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป เรียกว่าไคโตซาน โดยทั่วไปไคโตซานจะมีปริมาณการกำจัดหมู่แอสติลอยู่ในช่วงร้อยละ 70 ถึง 90 และถ้าการกำจัดหมู่แอสติลมากกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไปจะเรียกว่า fully deacetylation



รูปที่ 2.7 โครงสร้างไคโตซาน [9]

2.2.3 การเตรียมไคตินและไคโตซาน [3,10]

เนื่องจากในธรรมชาติจะพบไคตินอยู่ในรูปของเส้นใยแทรกตัวอยู่ในแมทริกซ์ของโปรตีน และปะปนร่วมกับแร่ธาตุบางชนิดเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟต ดังนั้นการสกัดไคตินออกจากเปลือกกุ้งหรือปู จึงต้องผ่าน 2 กระบวนการที่สำคัญคือ demineralization และ deproteination โดยกระบวนการผลิตไคติน มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 การแยกโปรตีนออก (deproteinization) ด้วยเบสเจือจางพร้อมกับให้ความร้อน ขั้นตอนที่ 2 การแยกแร่ธาตุที่ปนอยู่ออกก่อน (demineralization หรือ decalcification) ด้วยกรดเกลือเจือจาง และ ขั้นตอนที่ 3 การแยกเม็ดสี (decoloration) ซึ่งขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถสลับลำดับก่อนหลังได้



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการเตรียมไคตินและไคโตซาน [3]

2.2.3.1 การกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization)

เป็นขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมฟอสเฟต โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ขั้นตอนนี้จะต้องระวังอย่างมากเนื่องจากไคตินสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ในอุตสาหกรรมนิยมใช้กรดซัลฟิวริกแทนกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีข้อดีคือ ลดการสูญเสียธรรมชาติของไคติน เนื่องจากกรดซัลฟิวริกเป็นกรดอ่อน

2.2.3.2 การกำจัดโปรตีน (Deproteination)

เป็นขั้นตอนการกำจัดโปรตีนและป้องกันการเน่าเสียของเปลือกกุ้งจากเอนไซม์และแบคทีเรีย โดยขั้นตอนนี้นิยมใช้สารละลายที่เป็นต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และพบว่าการลดขนาดของวัตถุุดิบมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน และยังมีการใช้เอนไซม์ในการกำจัดโปรตีนด้วย ซึ่งทำให้ความหนืดของสารละลายไคโตซานลดลง

ส่วนการผลิตไคโตซานจากไคตินจะเพิ่มอีกหนึ่งกระบวนการหลังจากที่สกัดไคตินออกมาแล้ว คือ Alkali hydrolysis ของไคตินด้วยเบสเข้มข้นพร้อมกับให้ความร้อน หรือที่เรียกว่ากระบวนการ Deacetylation

2.2.4 สมบัติของไคโตซาน

2.2.4.1 การละลาย [8,9]

เนื่องจากไคโตซานมีโครงสร้างประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น ดังนั้นโมเลกุลของตัวทำละลายจึงไม่สามารถแทรกผ่านและทำลายพันธะกับสายโซ่ของไคโตซานได้ จึงพบว่าไคโตซานไม่สามารถละลายในตัวทำละลายทั่วไปแต่จะบวมหรือพองตัวในตัวทำละลายเท่านั้น แต่ไม่ละลายอย่างสมบูรณ์

โครงสร้างไคโตซานประกอบด้วยหมู่เอมีนอิสระ (free amine) และเป็น primary amine ที่มีคู่อิเล็กตรอนว่างอยู่ จึงทำให้ไคโตซานมีสมบัติเป็นด่างอ่อน สามารถรับโปรตอนจากสารละลายกรดเกิดเป็น cationic amino (NH_3^+) ดังนั้นตัวทำละลายที่ดีสำหรับไคโตซาน จึงอาศัยหลักการทำให้เกิดพันธะไฮออนไปทดแทนตำแหน่งไฮโดรเจน เช่น ที่ตำแหน่งอะมิโน เมื่อตำแหน่งดังกล่าวกลายเป็นไอออนบวก พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย และไอออนบวกจะสร้างพันธะไฮออนกับไอออนลบในตัวทำละลายเป็นผลให้ไคโตซานเกิดการละลาย

โดยทั่วไปไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ด่าง ตัวทำละลายอินทรีย์ และในตัวทำละลายที่มีพีเอชมากกว่า 6.5 แต่สามารถละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรดอินทรีย์ เช่น สารละลายกรดแอสติค สารละลายกรดซิตริกและสารละลายกรดฟอร์มิก นอกจากนี้ยังสามารถละลายในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น สารละลายกรดไฮโดรคลอริก สารละลายกรดไนตริก

2.2.4.2 ความหนืด [10]

ความหนืดของสารละลายโคโตะซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการกำจัดหมู่ อะเซทิล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ค่า pH และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของ สารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของ สารละลายพอลิเมอร์มีผลต่อความหนืดต่างกัน เช่น ความหนืดของโคโตะซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น เมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของโคโตะซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อ ค่า pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.2.4.3 สมบัติทางความร้อน [9]

สมบัติทางความร้อนเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงความเสถียรของโคโตะซาน โดยโคโตะซานเป็นพอลิ- เมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ควรแสดงสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ซึ่งจะให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) เมื่อให้ความร้อนแก่โคโตะซานจนถึงระดับหนึ่ง แต่ความเป็นจริงเมื่อให้ความร้อนแก่โคโตะซาน พบว่าโคโตะซานไม่แปรสภาพเป็นสารหนืด แต่จะไหม้และสลายไปมากที่สุด

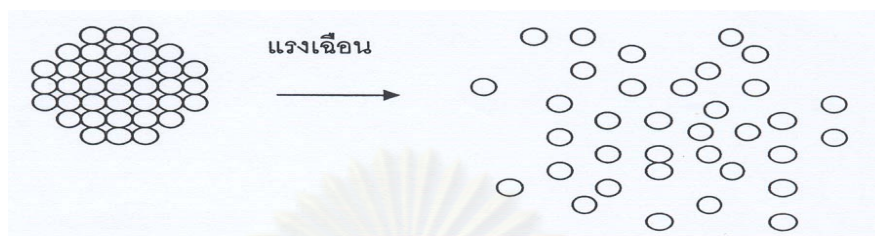
2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends) [11,12]

พอลิเมอร์ผสม คือ การนำพอลิเมอร์ต่างชนิดกันมาผสมกันเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น และลดต้นทุนการผลิต แต่การนำพอลิเมอร์มาผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้นนั้นจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบต่างๆของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน เช่น โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์แต่ละชนิด รวมทั้งความเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ หากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันไม่สามารถเข้ากันได้ดีจะส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติที่ต่ำลงด้วย

การผสมกันของพอลิเมอร์มี 2 ลักษณะ คือ

1. การผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Reactive blending) วิธีนี้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันต้องมีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำปฏิกิริยาเคมี เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตและพอลิเอไมด์ จะเห็นว่าพอลิเมอร์จะมีหมู่ฟังก์ชันสำหรับทำปฏิกิริยา
2. การผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Non-Reactive blending) การผสมวิธีนี้ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก โดยใช้เครื่องมือในการผสม เช่น เครื่องอัดรีด (extruder) หรือ เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) โดยเครื่องมือประเภทนี้จะทำให้เกิดแรงเฉือนเพิ่มขึ้นในระหว่างการผสม

แรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันเกิดการกระจายตัวมากขึ้น ทำให้การผสมมีประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 2.9 การกระจายตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงเฉือน [12]

2.3.1 กลไกของการเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะสมบัติเชิงกล ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัส (interfacial adhesion) ของดีสเฟอรัลเฟสกับเมทริกซ์ต่ำและความเค้นสะสม (stress concentration) ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม จึงนิยมใช้สารช่วยผสม (compatibilizer) หรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (in-situ chemical reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์เพื่อให้ได้สัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

2.3.2 วิธีทำให้เข้ากันได้ (Method of Compatibilization)

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การเลือกใช้ขึ้นกับผู้ผลิตเป็นหลักโดยพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญ เทคนิคเหล่านี้คือ

2.3.2.1 ความเข้ากันทางอุณหภูมิมิอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Miscibility)

ความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ เป็นหลักการที่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางการค้า โดยหลักการดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างเอนทัลปี (enthalpy) และเอนโทรปี (entropy) ของการผสมที่มีต่อพลังงานอิสระของการผสม (free energy of mixing) โดยที่เอนโทรปีเป็นการวัดระดับความเป็นอิสระ (degree of freedom) หรือความไม่เป็นระเบียบของโมเลกุลเมื่อการผสมเกิดขึ้น โดยการผสมจะทำให้เอนโทรปีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการ

เข้ากันได้จึงขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสมจะแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

โดยที่	ΔG	=	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสม
	ΔH	=	การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการผสม
	ΔS	=	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการผสม
	T	=	อุณหภูมิ (K)

โดยเมื่อพลังงานอิสระในการผสม Gift free energy (ΔG) เมื่อ $\Delta G \approx \Delta H \leq 0$ พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะเป็น Miscible blends แต่ถ้าพลังงานอิสระในการผสม $\Delta G \approx \Delta H > 0$ พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะเป็น Immiscible blends

2.3.2.2 การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of block or graft copolymers)

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยพบว่าสายโซ่ของพอลิเมอร์ต้องยาวพอที่จะจับกับพอลิเมอร์ที่ผสม แต่ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงเกินไป เพราะจะแพร่ไปที่ผิวระหว่างเฟสได้ช้ากว่า โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสมอย่างมาก

2.3.2.3 การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of functional/reactive polymers)

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม เป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไฮโดรเจน กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ ซึ่งการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด ตัวอย่างเช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิไอโอเลฟินส์ โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโน

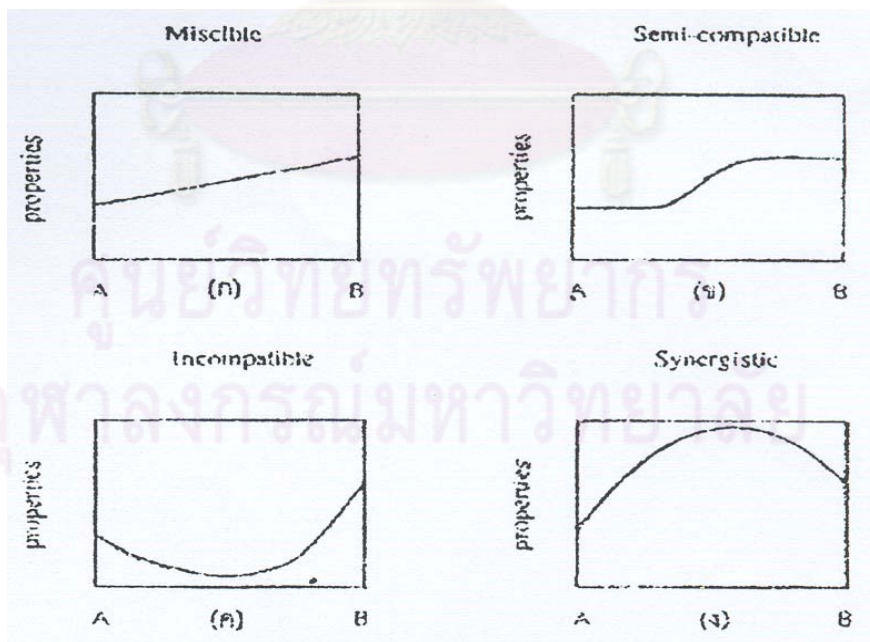
ของพอลิเอไมด์ได้ ทั้งนี้พอลิโพลีเอทรีนส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จัดเป็นสารช่วยผสมที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

2.3.2.4 การเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม (In-situ grafting copolymerization)

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม หรือ reactive blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือ องค์ประกอบที่ผสมจะถูกดัดแปรเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมพอลิคาร์บอนเนตกับพอลิเอสเทอร์

2.3.3 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม (Properties of polymer blends) [13]

สมบัติของพอลิเมอร์ผสมขึ้นกับอัตราส่วนของแต่ละองค์ประกอบ รวมทั้งสมบัติของแต่ละองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละองค์ประกอบ สถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสม และการจัดเรียงโมเลกุล โดยการผสมที่เข้ากันอย่างสมบูรณ์จะแสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาศาสตร์เพียงเฟสเดียว ซึ่งง่ายที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนผสม

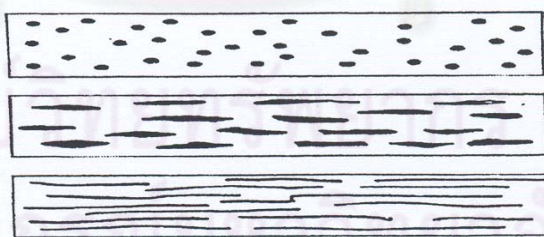


รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติและอัตราส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสม [13]

จากรูปที่ 2.10 ในระบบที่สามารถผสมเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ อัตราส่วนการผสมกับสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะมีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันเพิ่ม ดังแสดงในรูป 2.10 (ก) แต่การผสมส่วนใหญ่ต้องการความเข้ากันได้บางส่วน (semi-compatible) กล่าวคือ อนุภาคของดีสเพอร์สเฟสจะกระจายอยู่ในเมทริกซ์โดยระหว่างเฟสจะมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน และเมื่อพล็อตกราฟระหว่างสมบัติและอัตราส่วนการผสมจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส ดังแสดงในรูป 2.10 (ข) โดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนผสมมากกว่าจะมีแนวโน้มเป็นเฟสหลัก และควบคุมสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ส่วนบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกราฟเนื่องจากการกลับเฟสของผสม ส่วนในระบบที่มีความเข้ากันน้อยมากหรือไม่เข้ากันจะมีการแยกเฟสเกิดขึ้น โดยดีสเพอร์สเฟสจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กระจายอยู่ในเฟสหลัก และระหว่างเฟสจะมีแรงดึงดูดอย่างอ่อนๆหรือไม่มีเลย ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์และได้กราฟระหว่างอัตราส่วนการผสมและสมบัติเป็นรูปตัวยู ดังแสดงในรูป 2.10 (ค) ส่วนระบบสุดท้ายจะพบเห็นได้น้อย โดยการผสมจะปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้มากกว่าระบบอื่นๆ กล่าวคือ สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมากกว่า หรือเท่ากับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ดังแสดงในรูป 2.10 (ง)

2.3.4 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม (Morphology of polymer blends)

การจัดเรียงตัวหรือสัณฐานวิทยาของแต่ละเฟสในพอลิเมอร์ผสมมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง สัณฐานวิทยาอาจมีลักษณะของดีสเพอร์สเฟสกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง โดยมีลักษณะเป็นทรงกลม แผ่น หรือ เส้นใย



รูปที่ 2.11 ลักษณะต่างๆของดีสเพอร์สเฟสที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม [13]

สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมนั้นขึ้นกับอัตราส่วนการผสม สมบัติการไหลของแต่ละองค์ประกอบ และภาวะในการผสม กล่าวคือ เมื่อผสมดีสเพอร์สเฟสในอัตราส่วนที่น้อย ดีสเพอร์สเฟสจะกระจายอยู่ในเฟสหลัก และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมขึ้นดีสเพอร์สเฟสเพิ่มขึ้น และถ้าเพิ่มต่อไป ดีสเพอร์สเฟสจะเกิดการกลับเฟส (phase inversion) เปลี่ยนเป็นเฟสหลัก โดยก่อนถึงจุดนี้

สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมจะเกิดการกลับเฟสทั้งสองเฟส เรียกการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ว่า co-continuous

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมพอลิเมอร์ผสมจากพอลิแล็กติกแอซิดและโคโตะซาน ได้แก่

Chien Chung Chen และคณะ [14] ได้ทำการเตรียมพลาสติคย่อยสลายโดยการทำเป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่าง Poly-L-lactic acid (PLLA) และ Poly-DL-lactic acid (PDLLA) หรือ Polycaprolactone (PCL) ในสัดส่วนที่ต่างกันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง ethylene oxide และ propylene oxide และใช้ dichloromethane เป็นตัวละลาย จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง TGA, DSC, IR, gel permeation chromatography และ DMA จากเครื่อง DSC พบว่า PLLA/PDLLA blends ที่ไม่ใส่สารลดแรงตึงผิวจะมี ค่า Tg ปรากฏ 2 ตำแหน่ง ส่วน PLLA/PDLLA blend ที่ใส่สารลดแรงตึงผิวจะทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองตัวเข้ากันได้ดีขึ้นซึ่งเห็นได้จากค่า Tg ถ้าใช้ปริมาณ PLLA น้อยลงจะส่งผลให้ค่า Tg ต่ำลงแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมทั้งสองเข้ากันได้ดีมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเติม PDLLA และสารลดแรงตึงผิวลงใน PLLA โดยวิธีการ solution-blending จะทำให้มีประสิทธิภาพเหมาะกับการใช้งานด้านการแพทย์

Jia Xu และคณะ [15] ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างโคโตะซาน กับ PLA โดยใช้ Trifluoroacetic acid (TFA) เป็น co-solvent ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใย micro/nanofibers โดยใช้วิธี electrospinning จากนั้นนำเส้นใยผสมมาวิเคราะห์ชนิดของหมู่โครงสร้าง, พันธะเคมีในโมเลกุลและลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง FTIR และ SEM พบว่าอนุภาคของโคโตะซาน และ PLA ไม่เกิดอันตรกิริยาต่อกัน เนื่องจากการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของ PLA และโคโตะซานไม่มีความแข็งแรง เพราะ PLA ไม่มีหมู่ OH ที่มากพอที่จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ OH และ หมู่ NH₂ ของโคโตะซาน เมื่อเพิ่มปริมาณ PLA ขนาดของเส้นใยผสมระหว่างโคโตะซานกับ PLA จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รวมถึงมีลักษณะสัณฐานวิทยาละเอียดขึ้นด้วย โดยเส้นใยผสมระหว่างโคโตะซานกับ PLA สามารถนำมาใช้งานในทางการแพทย์ได้

Manisara P. และคณะ [16] ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของเฮกซะโนอิลโคโตะซาน (hexanoyl chitosan) กับพอลิแล็กไทด์ โดยได้ทำการแยกเตรียมสารละลายของเฮกซะโนอิลโคโตะซานและพอลิแล็กไทด์ความเข้มข้น 1% w/w เท่ากัน โดยอาศัยคลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย เมื่อ

ละลายสมบูรณนำพอลิเมอร์ทั้งสองมาผสมกันในอัตราส่วน (hexanoyl chitosan:PLA) 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80, และ 0/100 ทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยวิธี solution-casting พบว่าฟิล์มที่ได้มี tensile strength at break และ Young modulus ลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ hexanoyl chitosan และมี percentage of Elongation at break เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ hexanoyl chitosan และมีพฤติกรรมการสลายตัวแบบผสมผสานระหว่างไคโตซานและพอลิแล็กไทด์ โดยวัดจากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย TGA พบว่า PLA มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 327 องศาเซลเซียส ในขณะที่ hexanoyl chitosan มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 254 องศาเซลเซียส และ 312 องศาเซลเซียส และพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีอุณหภูมิการสลายตัวระหว่าง 254 องศาเซลเซียส และ 327 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงพอลิเมอร์ทั้งสองผสมเข้ากันได้ และ degree of crystallinity ของพอลิแล็กติกแอซิดลดลงเมื่อปริมาณของไคโตซานเพิ่มขึ้น โดยวัดจากการวิเคราะห์ด้วย WAXD พบว่าพีคของ PLLA (broad diffraction peak) ที่ 18.7° ลดลงเมื่อปริมาณของไคโตซานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความสามารถในการเกิดผลึกเนื่องจากการจัดเรียงของพอลิเมอร์ถูกขัดขวางและใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มผสมพบว่า อนุภาคของ H-chitosan และ PLA ไม่เกิดอันตรกิริยาต่อกัน ฟิล์มผสมระหว่าง hexanoyl chitosan กับ polylactide เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้บางส่วน

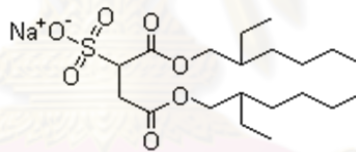
V.M. Correlo. และคณะ [17] ได้ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไคโตซาน และ อะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ (PCL, PBS, PLA, PBTA, PBSA) โดยการเตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเกลียวคู่ สัดส่วนของไคโตซานที่ใช้ในงานวิจัยนี้น้อยกว่าร้อยละ 70 พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่า tensile strength ลดลง แต่มีค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น ในกรณีของ PLA พบว่าการเติมไคโตซานทำให้ค่า Tg ลดลง พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ 50 wt% chitosan จะให้ค่า Tg ต่ำกว่าค่า Tg ของพอลิเอสเทอร์บริสุทธิ์โดยมีค่าที่ 60.1 องศาเซลเซียส ขณะที่ PLA จะมีค่า Tg ที่ 62.0 องศาเซลเซียส และเมื่อศึกษาสมบัติการทนแรงดึงพบว่าเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ PLA มีค่า tensile strength ลดลง แต่มีค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไคโตซาน (Ebase, co. Ltd) อยู่ในรูปเกล็ดหยาบ น้ำหนักโมเลกุล(M_w) ประมาณ 800,000 วัดความหนืด (η) ได้เท่ากับ 138.6 cps ที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer ขนาดบรรจุ 500 กรัม/ถุง
2. พอลิแล็กติกแอซิด (NatureWorks, co. Ltd) เกรด PLA 2002D มีค่า melt flow index (MFI) เท่ากับ 4-8g /10 min
3. เมทานอล (SK chemicals Ulsan, Korea)
4. โทลูอีน (Labscan Asia, co. Ltd)
5. แอซิติก แอซิด (บริษัท Labscan Asia, co. Ltd)
6. โซเดียมไดออกทิลซัลโฟซัลเฟต (Worldtex Commercial, co. Ltd) มีสูตรโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างโซเดียมไดออกทิลซัลโฟซัลเฟต [18]

7. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน Irganox® B 215 (Ciba Inc., Switzerland)
8. ไคคลอโรมีเทน (เกรดการค้า) ตัวทำละลายสำหรับพอลิแล็กติกแอซิด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก้ว
2. เครื่องให้ความร้อนและกวนสารละลาย
3. เครื่องปั่นกวนเชิงกล
4. เครื่องกรองสุญญากาศ
5. กระดาษกรอง
6. ตู้อบสาร
7. เครื่องชั่ง

8. บาร์แม่เหล็ก
9. Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) (METTER TOA/SDTA 851e), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) (Therma scientific, Nicolet 6700 FT-IR), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (PHILIPS, XL 30 CP), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12. เครื่อง X-ray Diffractometer (PHILIPS, X'Pert PW 3710), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. เครื่องอัดรีดพลาสติกแบบหลอมเหลวชนิดเกลียวคู่ (Brabender, Therma prism), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14. เครื่องอัดแบบพลาสติก (LabTech), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact tester) (Gotech), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus, BX60), สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 วิเคราะห์สมบัติของโคโตะซาน

3.3.1.1 การวิเคราะห์ความหนืด [19]

1. ละลายโคโตะซานน้ำหนัก 2.5 กรัม ในสารละลายกรดแอสติค 1% (v/v) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. นำมากรองด้วยถุงผ้าขาวบางเพื่อเอาส่วนที่ไม่ละลายออก จากนั้นนำสารละลาย 200 มิลลิลิตร ใส่ขวดขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการไล่อากาศออกโดยการปั่นหมุนเหวี่ยงที่ 1700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. นำไปแช่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. ทำการวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer model DV-II+ (ที่อุณหภูมิ

25 องศาเซลเซียสด้วยเข็มเบอร์ 6 ใช้ความเร็วรอบที่ 40 RPM)

5. อ่านค่าและบันทึกผล

3.3.1.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (solubility) [19]

1. ชั่งโคโคซานน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1% โดยปริมาตรลงไป 100 มิลลิลิตร และปิดปากขวดด้วยพาราฟิล์ม
2. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ทำการอบกระดาศกรงที่ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักกระดาศกรงหลังทิ้งให้เย็นลงใน desiccator เป็นเวลา 30 นาที
4. เมื่อเขย่าสารละลายโคโคซานครบ 24 ชั่วโมง นำสารละลายดังกล่าวมากรองด้วยกระดาศกรง โดยใช้ suction ช่วยในการกรอง
5. นำกระดาศกรงที่มีโคโคซานเจลและสิ่งเจือปนที่กรองได้ไปอบที่ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. นำมาใส่ไว้ใน desiccators เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนชั่งน้ำหนัก
7. คำนวณหาความสามารถในการละลายจากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ความสามารถในการละลาย (\%)} = \frac{1 - (B - A)}{C} \times 100$$

โดยที่ A = น้ำหนักกระดาศกรง (กรัม)

B = น้ำหนักส่วนที่กรองได้และกระดาศกรงหลังอบที่ 105°C นาน 24 ชั่วโมง (กรัม)

C = น้ำหนักโคโคซานเริ่มต้น (กรัม)

3.3.1.3 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น

นำโคโตซานและไฮโดรฟิสิกโคโตซานที่ได้ น้ำหนัก 10 กรัม และจัดบันทึกน้ำหนักที่ได้ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนักที่ได้หลังการอบ ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการอบ โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น ดังสมการข้างล่าง:

$$\% \text{ การดูดความชื้น} = \frac{\text{นน.หลังการอบ} - \text{นน.ก่อนการอบ}}{\text{นน.ก่อนการอบ}} \times 100$$

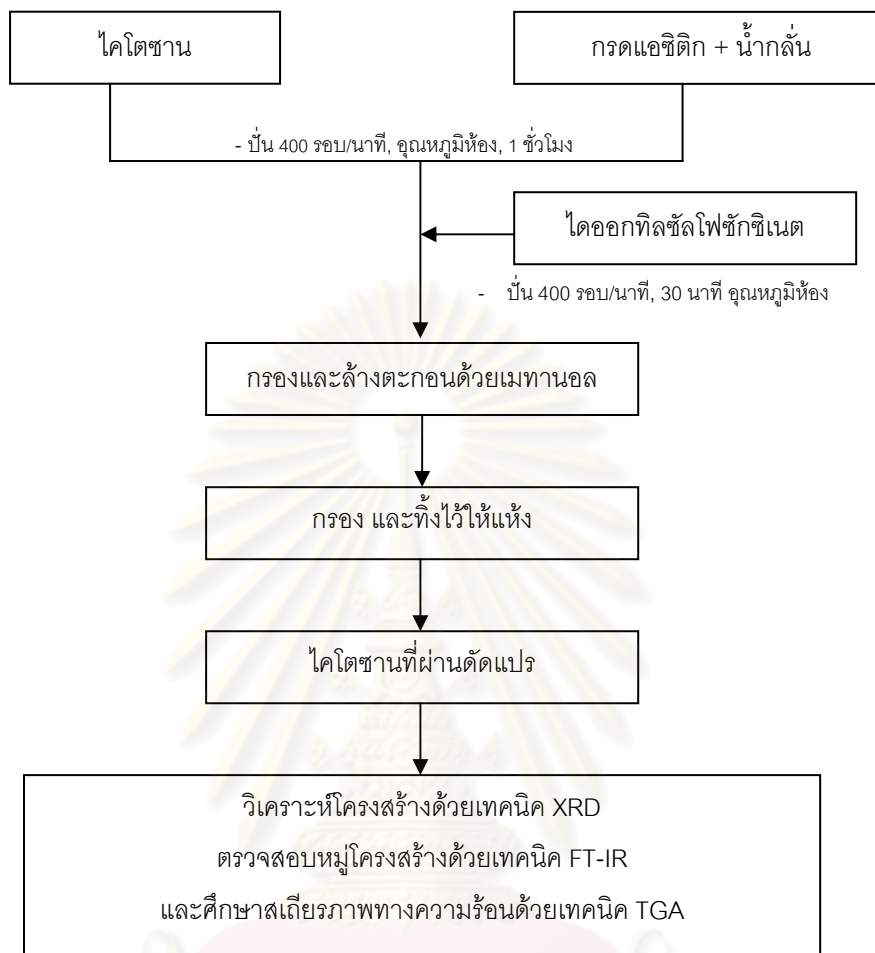
3.3.1.4 การวิเคราะห์การบวมตัวในไดคอลลอโรมีเทน

นำโคโตซานและไฮโดรฟิสิกโคโตซานที่ได้ น้ำหนัก 1 กรัม นำไปแช่ในสารละลายไดคอลลอโรมีเทน เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อตรวจสอบความสามารถในการบวมตัว จากนั้นนำตัวอย่างมาทำการกรองด้วยกระดาษกรองแล้วจึงนำมาชั่งหาน้ำหนักที่ได้ ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการแช่เพื่อตรวจสอบการบวมตัวในไดคอลลอโรมีเทน ดังสมการข้างล่าง: [20]

$$\% \text{ การบวมตัว} = \frac{\text{นน.ตัวอย่างที่ดูดบวมตัว} - \text{นน.แห้งของตัวอย่าง}}{\text{นน.แห้งของตัวอย่าง}} \times 100$$

3.3.2 การดัดแปรโคโตซานด้วยไดออกทิลซัลโฟซักซิเนต (dioctyl sulfosuccinate-chitosan complex)

ทำการละลายโคโตซาน 10 กรัม ด้วยสารละลายกรดแอสติค (1% v/v) 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องปั่นกวนเชิงกล (High speed mixer) ด้วยความเร็วรอบ 400 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องจนละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมไดออกทิลซัลโฟซักซิเนต (30, 50 กรัม) ลงในสารละลายโคโตซาน ผสมโดยใช้เครื่องปั่นกวนเชิงกล ด้วยความเร็วรอบ 400 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องก็จะได้เป็นสารประกอบคอมเพล็กซ์ นำสารประกอบคอมเพล็กซ์ที่ได้มาล้างด้วยเมทานอล ทำการกรอง ทิ้งไว้ให้แห้ง จะได้โคโตซานดัดแปร หรือ ไฮโดรฟิสิกโคโตซาน นำไฮโดรฟิสิกโคโตซานที่ได้มาเก็บไว้ใช้ในขั้นตอนต่อไป ดังขั้นตอนรูปที่ 3.2 จากนั้นหาร้อยละผลผลิตที่ได้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการตัดแปรไคโตซาน (ไฮโดรฟอปิกไคโตซาน)

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมไคโตซานตัดแปร

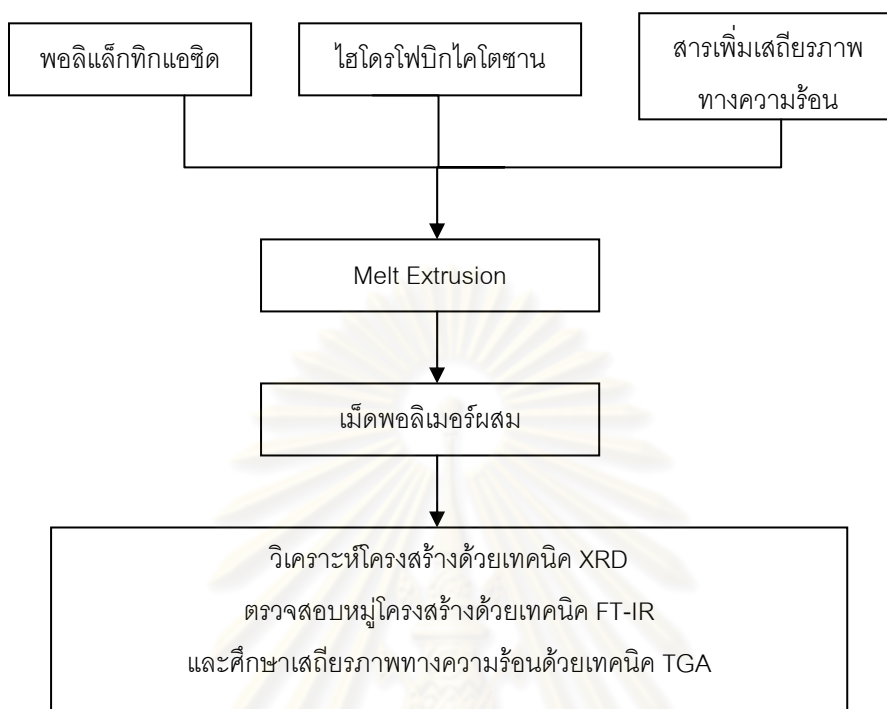
สูตร	อัตราส่วน		ปริมาณสาร (กรัม)	
	ไดออกทิลซิลฟอสเฟต	ไคโตซาน	ไดออกทิลซิลฟอสเฟต	ไคโตซาน
DSS 3 : CTS 1	3.0	1.0	30	10
DSS 5 : CTS 1	5.0	1.0	50	10

3.3.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซาน

3.3.3.1 การเตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว (Melt Mixing)

ในการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซาน โดยได้ทำการผสมพอลิแล็กติกแอซิดและไฮโดรโฟบิกโคโคโตซาน จำนวน 5 อัตราส่วน คือ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 โดยในสูตรผสมประกอบด้วย พอลิแล็กติกแอซิด ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซาน และสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน ดังตารางที่ 3.2 โดยทำการขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์ผสมตั้งชั้นตอนรูปที่ 3.3 โดยผสมด้วยกระบวนการอัดรีดแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ ของบริษัท Brabender ดังรูปที่ 3.4 ใช้อุณหภูมิแต่ละโซน 130-165 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู เท่ากับ 80 รอบ/นาที [17] ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ด้วยเทคนิค TGA, ศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD, ตรวจสอบหมู่โครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR ซึ่งอุณหภูมิในแต่ละโซนของเครื่องอัดรีดสกรูคู่ เป็นดังนี้

TZ 1	130 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 2	150 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 3	155 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 4	160 °C	เป็นอุณหภูมิที่สกรู
TZ 5	165 °C	เป็นอุณหภูมิที่ die zone



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการหลอมเหลว



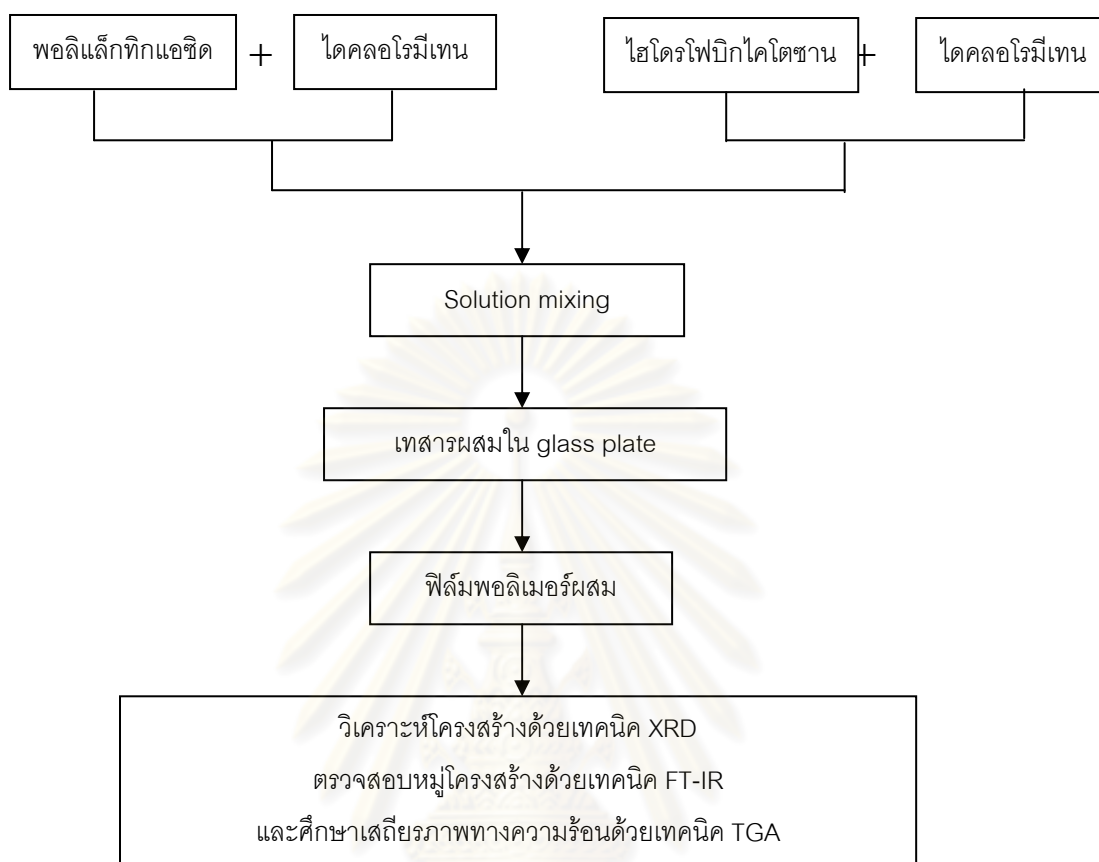
รูปที่ 3.4 เครื่องอัดรีดสกรูคู่

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการหลอมเหลว

สูตรผสม	ปริมาณสารที่ใช้ผสม (กรัม)		
	พอลิแล็กติกแอซิด (PLA)	ไฮโดรฟิสิกโคโตะซาน (DSS-CTS)	สารเพิ่มเสถียรภาพ ทางความร้อน (%)
PLA/DSS-CTS 100/0	300	0	0.2
PLA/DSS-CTS 95/5	285	15	0.2
PLA/DSS-CTS 90/10	270	30	0.2
PLA/DSS-CTS 85/15	255	45	0.2
PLA/DSS-CTS 80/20	240	60	0.2

3.3.3.2 การเตรียมด้วยกระบวนการละลาย (Solution Mixing)

ในการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตะซาน ด้วยกระบวนการละลาย โดยได้ทำการผสมพอลิแล็กติกแอซิดและไฮโดรฟิสิกโคโตะซาน จำนวน 5 อัตราส่วน คือ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 โดยในสูตรผสมประกอบด้วย พอลิแล็กติกแอซิด ไฮโดรฟิสิกโคโตะซาน ดังตารางที่ 3.3 โดยนำไฮโดรฟิสิกโคโตะซานที่เตรียมไว้มาละลายในไดคลอโรมีเทน 100 มิลลิลิตร แล้วละลาย PLA ในไดคลอโรมีเทน 300 มิลลิลิตร จนละลายดี นำสารทั้งสองมาผสมเข้าด้วยกัน เทของผสมที่ได้ลงใน Glass plate ทิ้งให้ตัวทำละลายระเหยแห้งจะได้พอลิเมอร์ผสม เตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมตั้งชั้นตอนรูปที่ 3.5 ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ด้วยเทคนิค TGA, ศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD, ตรวจสอบหมู่โครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการละลาย

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมพอลิแล็กติกแอซิดและไฮโดรฟอบิกโคโตนาน

สูตรผสม	ปริมาณสารที่ใช้ผสม			
	พอลิแล็กติกแอซิด		ไฮโดรฟอบิกโคโตนาน	
	(กรัม)	(%)	(กรัม)	(%)
PLA/DSS-CTS 100/0	10.0	100	0.0	0
PLA/DSS-CTS 95/5	9.5	95	0.5	5
PLA/DSS-CTS 90/10	9.0	90	1.0	10
PLA/DSS-CTS 85/15	8.5	85	1.5	15
PLA/DSS-CTS 80/20	8.0	80	2.0	20

3.3.4 การขึ้นรูปชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซาน

นำเม็ดและฟิล์มพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซานที่ได้จากการเตรียมแบบหลอมเหลวและละลาย ไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานโดยขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแม่แบบ (Compression molding) ดังรูปที่ 3.6 โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมดังตารางที่ 3.4 จากนั้นนำแม่แบบออกจากเครื่องอัด ทำการแกะชิ้นงานออกจากแม่แบบ แล้วนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป



รูปที่ 3.6 เครื่องอัดแบบ

ตารางที่ 3.4 ภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดแบบ (Compression molding)

Temp (°C)	venting time (sec)	Venting before heating time (sec)	Pre-heating time (sec)	Heating Time (sec)	Cooling time (sec)	Pressure (bar)
160	15	15	30	180	300	1000
160	15	15	30	300	300	1000

3.4. การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ

3.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยเทคนิค XRD

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไฮโดรฟิสิกโคโตซาน และพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซานด้วยเทคนิค XRD โดยใช้เครื่องของบริษัท PHILIPS รุ่น X'Pert PW 3710 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยใช้ภาวะของการวิเคราะห์เป็นดังนี้

หลอดรังสีเอกซ์ : Cu

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ : $\text{CuK}\alpha$

โดยเครื่องเริ่มทำการที่มุม 2θ ตั้งแต่ 5 องศา ถึง 40 องศา

คำนวณระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ด้วยสมการของแบรกก์ (Bragg's equation) ดังนี้

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

โดย	d	คือ	ระยะห่างของชั้นระหว่างผลึก
	n	คือ	ตัวเลขจำนวนเต็ม
	λ	คือ	ความยาวคลื่นของแสง ($\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$)
	θ	คือ	มุมที่รังสีเอกซ์ตกกระทบผิวของผลึก



รูปที่ 3.7 X-ray Diffractometer

3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR)

ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของพอลิแล็กติกแอซิด ไคโตซาน ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน และพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานด้วยเทคนิค (FT-IR) โดยใช้เครื่องของบริษัท Thermo scientific รุ่น Nicolet 6700 FT-IR ดังแสดงในรูป 3.8 โดยการนำตัวอย่างมาบดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วไปอัดเป็นชิ้นทดสอบ และทำการทดสอบแบบ ATR (Attenuated total reflection) สามารถแสดงแถบการดูดกลืนที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งสามารถบอกถึงโครงสร้างทางเคมีได้



รูปที่ 3.8 เครื่อง FT-IR spectrometer

3.4.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาไฮโดรโฟบิกไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องของ PHILIPS รุ่น XL 30 CP (รูปที่ 3.9) กำลังขยาย 1000 และ 1500 เท่า ใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์ ในการวิเคราะห์หน้าพอลิเมอร์ผสมที่ได้ มาแช่ในโตรเจนเหลวและทำการหักเพื่อส่องดูลักษณะพื้นผิว และยัดขึ้นตัวอย่างด้วยเทปคาร์บอน หลังจากนั้นฉาบทองเพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าให้แก่ตัวอย่าง และเป็นการป้องกันการเกิดประจุอิเล็กตรอนบนพื้นผิวของตัวอย่าง



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

3.4.4.1 Thermal gravimetric analysis (TGA)

ศึกษาสมบัติเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิแล็กติกแอซิด, โคลโตซาน, ไฮโดรฟิสิกโค-โตนาน และพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตนานด้วยเทคนิค TGA โดยใช้เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ของบริษัท METTER รุ่น TOA/SDTA 851e ดังแสดงในรูป 3.10 โดยนำชิ้นทดสอบซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ใส่ในครุชชีเบลที่เป็นอะลูมินาใช้สภาวะในการทดสอบเริ่มจากอุณหภูมิ 30-600 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที ทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน



รูปที่ 3.10 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

3.4.5 การศึกษาลักษณะภายนอกของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope)

ศึกษาลักษณะภายนอกพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานโดยใช้กล้อง Optical microscope ของบริษัท Olympus รุ่น BX60 ที่กำลังขยายเท่ากับ 100 เท่า และ 200 เท่า และถ่ายภาพด้วย Moticam 2200 ดังแสดงในรูปที่ 3.11

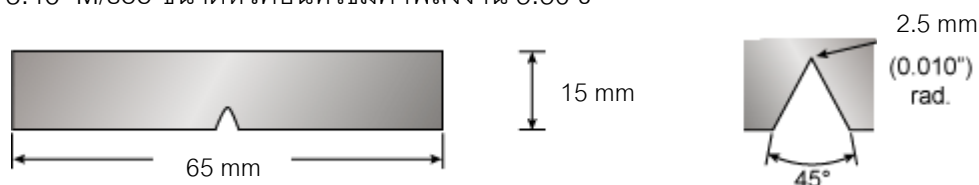


รูปที่ 3.11 กล้อง Optical microscope

3.4.6 การศึกษาสมบัติเชิงกล

3.4.6.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานตามมาตรฐาน ASTM D 256 [21] ด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกของบริษัท Gotech ดังแสดงในรูป 3.13 โดยทำการทดสอบแบบ Izod ขึ้นทดสอบจะถูกจับยึดปลายด้านหนึ่งไว้และขึ้นทดสอบจะมีรอยบากที่สร้างขึ้น การรับแรงตกกระทบจะหันด้านรอยบากเป็นด้านรับแรงกระแทก ใช้ความยาวขึ้นทดสอบ 65 มิลลิเมตร ความกว้างขึ้นทดสอบ 15 มิลลิเมตร ความหนาขึ้นทดสอบ 2.25 มิลลิเมตร ขนาดรอยบากลึก 2.5 มิลลิเมตร อัตราเร็วของการตกกระทบ 3.46 M/sec ขนาดหัวค้อนที่ใช้มีค่าพลังงาน 5.50 J



รูปที่ 3.12 ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 256



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

3.4.7 การทดสอบความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* โดยทำในจานเพาะเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AATCC100 - Antibacterial Finishes on Textile Materials [22] แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$R = C / (C - A) \times 100$$

เมื่อ :

R = % reduction

A = จำนวนแบคทีเรียจากการฉีดเพื่อ treat บนตัวอย่างที่ต้องการทดสอบที่เวลา 24 ชั่วโมง

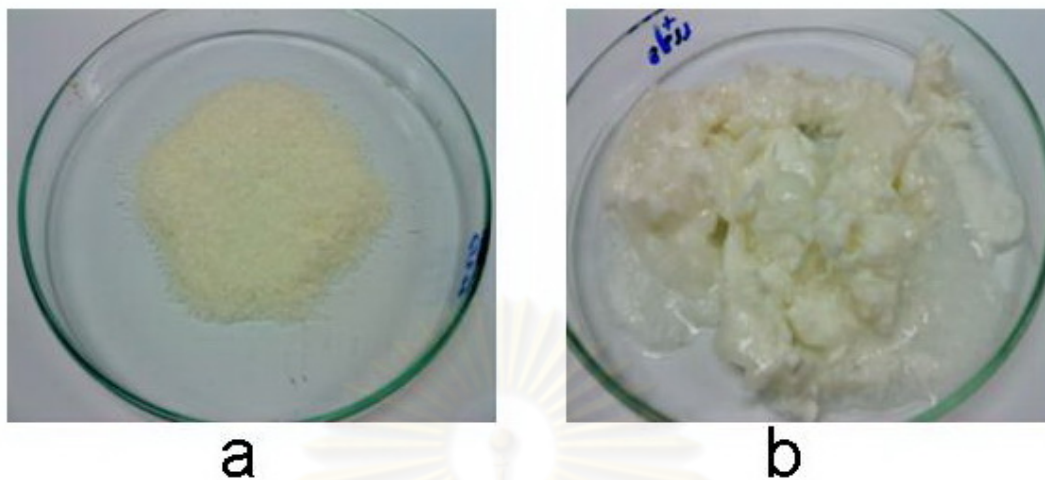
C = จำนวนแบคทีเรียจากการฉีดเพื่อ treat บนตัวอย่างที่ต้องการทดสอบที่เวลา 0 ชั่วโมง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

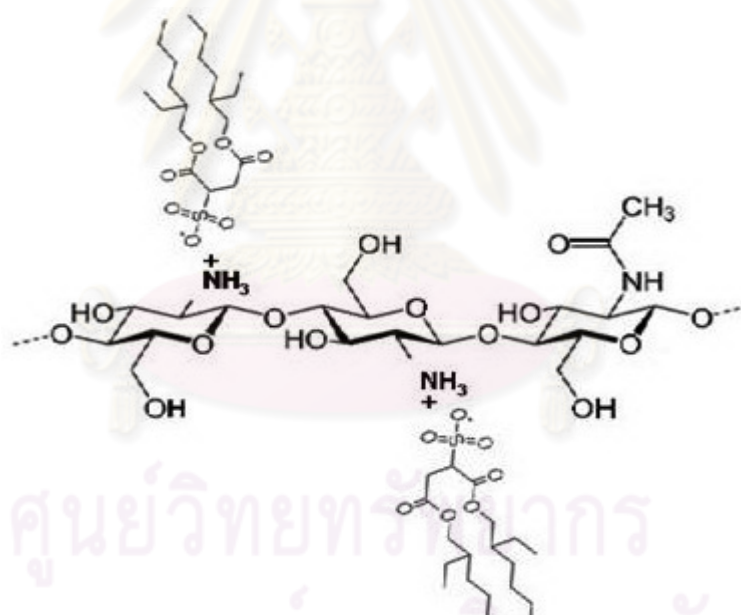
4.1 สมบัติของไฮโดรโฟบิกโคโตซาน

ลักษณะทางกายภาพของโคโตซานที่นำมาใช้เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นได้ว่า มีลักษณะเป็นผงของเส้นใยขนาดเล็ก ได้ทำการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของโคโตซาน เช่น สมบัติการดูดความชื้น สมบัติการละลาย และสมบัติความหนืด พบว่าวัดความหนืดได้เท่ากับ 138 cps ซึ่งแสดงว่าโคโตซานที่นำมาใช้เป็นโคโตซานดิบ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความสามารถในการดูดความชื้นที่ประมาณร้อยละ 9.3 และมีความสามารถในการละลายในสารละลายกรดแอสติกถึงร้อยละ 96.33 ซึ่งเพียงพอในการนำไปใช้ในการเตรียมเป็นไฮโดรโฟบิกโคโตซานโดยวิธีคอมเพล็กซ์ชันด้วยไดออกทิลซัลโฟซักซิเนต ไฮโดรโฟบิกโคโตซาน (DSS-CTS) ที่ได้สังเกตเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายไขมัน ผิวลื่น ไม่เปียกน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.1(b) มีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไปจากโคโตซานเริ่มต้น เช่น มีสมบัติการดูดความชื้นลดลง ซึ่งพบว่าสูตร DSS-CTS 3:1 และ DSS-CTS 5:1 มีสมบัติการดูดความชื้นลดลง โดยลดลงเหลือร้อยละ 3.9 และ 6 ตามลำดับ ความสามารถในการดูดความชื้นลดลงนั้นก็เนื่องมาจากโคโตซานนั้นถูกห่อหุ้มไว้ด้วยส่วนที่เป็นไขมันของไดออกทิลซัลโฟซักซิเนต ทำให้ผิวของไฮโดรโฟบิกโคโตซานมีสมบัติไม่ชอบน้ำจึงทำให้มีความสามารถในการดูดความชื้นลดลง ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่ได้มีสมบัติการบวมตัวในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ซึ่งพบว่าสูตร DSS-CTS 3:1 และ DSS-CTS 5:1 มีความสามารถในการบวมตัวเท่ากับ 62% และ 83% ตามลำดับ จากผลของสมบัติทางกายภาพจึงสรุปได้ว่าไฮโดรโฟบิกโคโตซานมีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ และคาดว่าจะมีความสามารถเข้ากันได้กับพอลิแล็กติกแอซิดกลไกการเกิดคอมเพล็กซ์ระหว่างโคโตซานและไดออกทิลซัลโฟซักซิเนตแสดงไว้ดังรูปที่ 4.2 โดยหมู่เอมีนในโคโตซานในสถานะแสดงประจุบวก (protonated) จะจับกับหมู่ซัลโฟเนตของไดออกทิลซัลโฟซักซิเนตเกิดพันธะไอออนระหว่างหมู่ NH_3^+ ของโคโตซานและ SO_3^- ของไดออกทิลซัลโฟซักซิเนต ในการทดลองนี้ได้ร้อยละผลผลิต(% yield) ของสูตร DSS-CTS 3:1 และ DSS-CTS 5:1 เท่ากับ 73.04 และ 52.55 ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกไฮโดรโฟบิกโคโตซานจากสูตร DSS-CTS 3:1 มาใช้ในการทดลองและวิเคราะห์สมบัติต่างๆที่ได้ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากได้ร้อยละผลผลิตที่ได้มากกว่าสูตร DSS-CTS 5:1 จึงช่วยประหยัดต้นทุนในการวิจัยและดูดความชื้นน้อยกว่าอีกด้วย



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของไคโตซานและไฮโดรฟอบิกไคโตซาน

a.) ไคโตซาน b.) ไฮโดรฟอบิกไคโตซาน

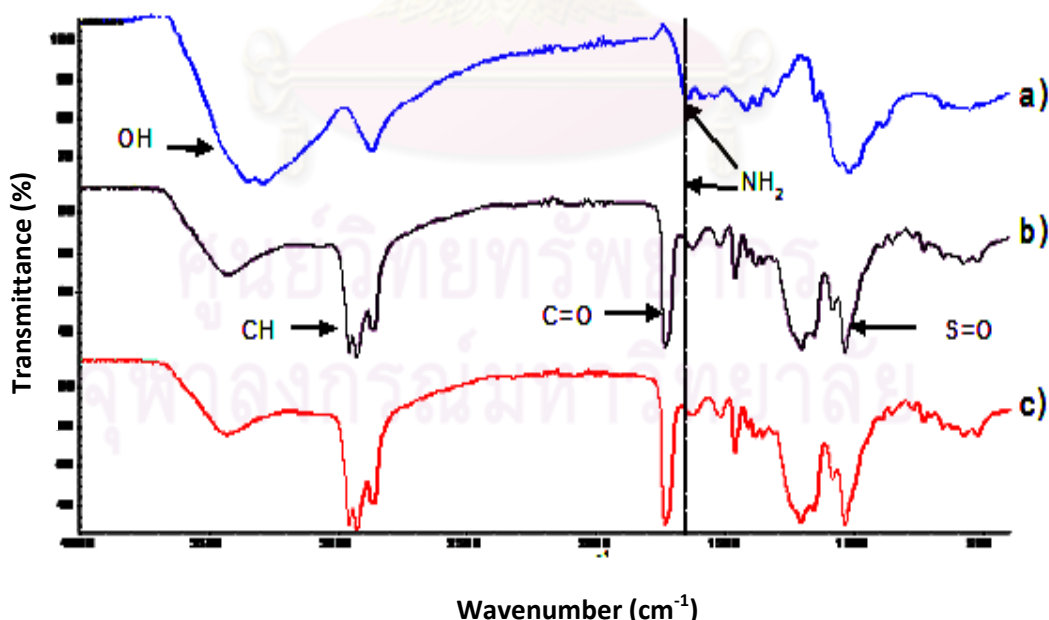


รูปที่ 4.2 การเกิดคอมเพล็กซ์เซชันระหว่างไคโตซานกับไดออกทิลซัลโฟซอกซินเนต

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ไฮโดรฟอบิกไคโตซานด้วยเทคนิค FT-IR

ได้ทำการวิเคราะห์ไคโตซาน และไคโตซานดัดแปร (ไฮโดรฟอบิกไคโตซาน, DSS-CTS) ด้วยเทคนิค FT-IR ผลของอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซาน และ ไฮโดรฟอบิกไคโตซาน ด้วยไดออกทิลซัลโฟซอกซินเนต ได้แสดงในรูปที่ 4.3 จากสเปกตรัมของไคโตซาน จากรูปที่ 4.3 a) ปรากฏพีกการดูดกลืนรังสีที่ตำแหน่ง 1640 cm^{-1} แสดงเอกลักษณ์ของ amine deformation (NH_2) [14] ที่

ตำแหน่งระหว่าง $950-1100\text{ cm}^{-1}$ แสดงเอกลักษณ์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ C-O-C และที่ตำแหน่งระหว่าง $2851-2963\text{ cm}^{-1}$ เป็นตำแหน่งของหมู่ C-H โดยเมื่ออัตราส่วนของไดออกทิลซัลโฟซัลฟอนิเตตต่อไคโตซานเท่ากับ 0:1, 3:1 และ 5:1 ตามลำดับ ผลของอินฟราเรดสเปกตรัม จากรูปที่ 4.3 b) และ 4.3 c) พบว่าไฮโดรฟอบิกไคโตซานยังคงพบพีกของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง $3150-3500\text{ cm}^{-1}$ [14] อยู่ แต่พีกจะมีความเข้มที่ต่ำลง และฐานของสเปกตรัมมีลักษณะกว้างขึ้น เมื่อเทียบกับไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานถูกปกคลุมด้วยไดออกทิลซัลโฟซัลฟอนิเตตและปรากฏพีกคู่ของหมู่ NH_3^+ ที่ตำแหน่ง 1482 cm^{-1} และ 1520 cm^{-1} อย่างชัดเจน เนื่องจากหมู่เอมีนในไคโตซาน อยู่ในสถานะประจุบวก NH_3^+ จากการเกิดพันธะไฮออนระหว่างหมู่ NH_3^+ ของไคโตซานและ หมู่ซัลโฟเนตของไดออกทิลซัลโฟซัลฟอนิเตต จึงทำให้หมู่ NH_2 ของไคโตซานเกิดการย้ายไปยังตำแหน่ง เลขคลื่นที่ต่ำลง จากการเกิด interaction กับ หมู่ซัลโฟเนตของไดออกทิลซัลโฟซัลฟอนิเตต รวมทั้งที่ ตำแหน่ง 1097 cm^{-1} แสดงเอกลักษณ์ของ S=O asymmetric stretching ส่วนที่ตำแหน่ง 1048 cm^{-1} แสดงเอกลักษณ์ของ S=O symmetric stretching และที่ตำแหน่ง $550-800\text{ cm}^{-1}$ แสดงเอกลักษณ์ของ S-O stretching ซึ่งตำแหน่งที่ปรากฏขึ้นทั้งหมดสามารถยืนยันได้ว่าเกิดคอมเพล็กซ์ขึ้นระหว่างไคโตซานและไดออกทิลซัลโฟซัลฟอนิเตต ซึ่งหลักฐานที่ยืนยันผลดังกล่าวคือพีกที่ ตำแหน่ง 1722 cm^{-1} ของหมู่เอสเทอร์ (C=O) [16] ของสารลดแรงตึงผิว

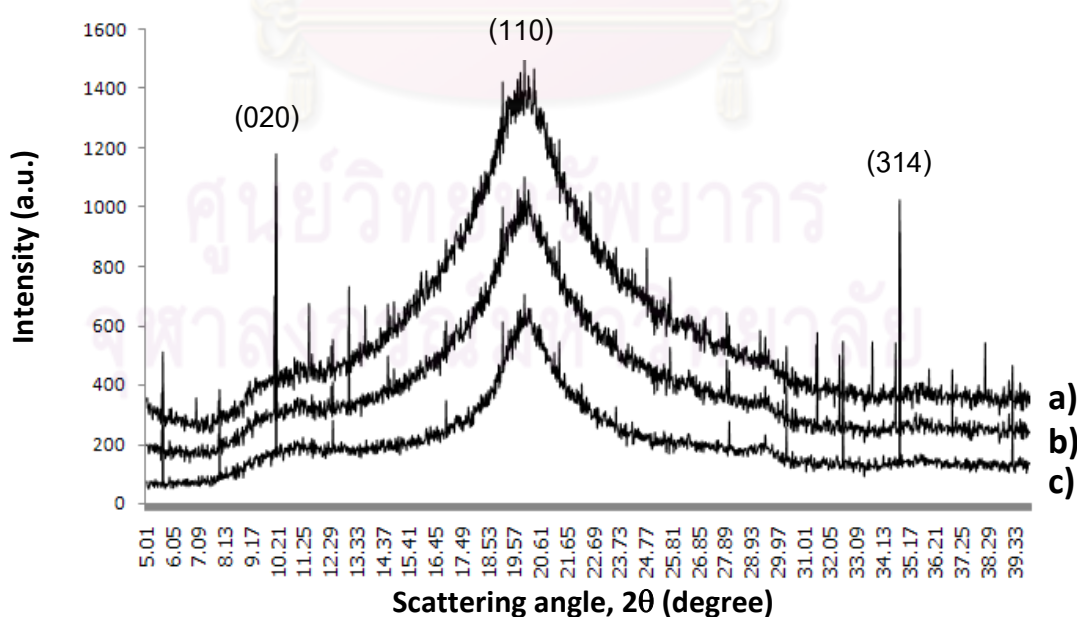


รูปที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของไคโตซานและไฮโดรฟอบิกไคโตซาน

a.) Chitosan b.) DSS-CTS 3:1, c.) DSS-CTS 5:1

4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโคโตซาน-ไฮโดรฟิสิกโคโตซานด้วยเทคนิค XRD

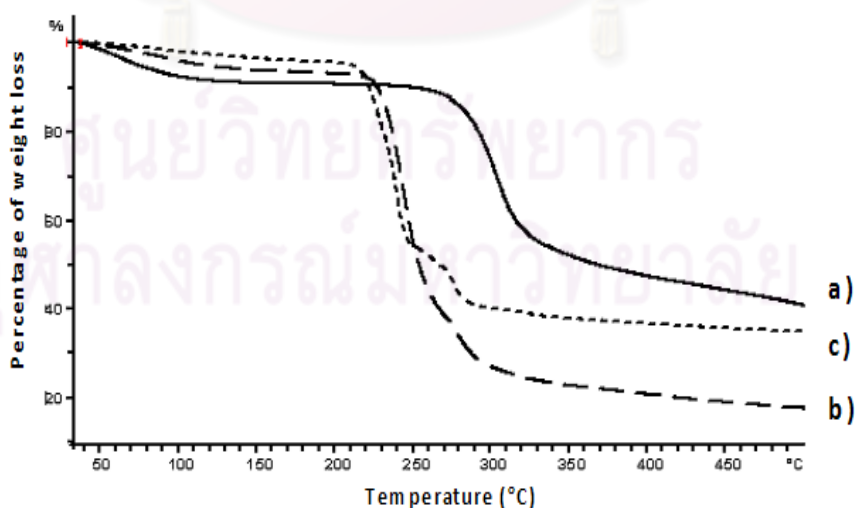
ในการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างไดออกทิลซัลโฟซักซิเนตและโคโตซานตั้งแต่ 0 : 1, 3 : 1 และ 5 : 1 ที่มีต่อการดัดแปรโคโตซานโดยกำหนดให้ Chitosan หมายถึง โคโตซานที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยไดออกทิลซัลโฟซักซิเนตและ DSS-CTS 3:1 และ DSS-CTS 5:1 หมายถึงโคโตซานที่ดัดแปรด้วยไดออกทิลซัลโฟซักซิเนตในอัตราส่วน 3 : 1 และ 5 : 1 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบโครงสร้างของไฮโดรฟิสิกโคโตซานด้วยเทคนิค XRD เปรียบเทียบกับโคโตซานที่ไม่ได้ดัดแปร ดังรูปที่ 4.4 จากผลการศึกษาพบว่าโคโตซานจะปรากฏพีกความเป็นผลึกในระนาบ 020 ที่ $2\theta = 10^\circ$ และปรากฏพีกความเป็นผลึกในระนาบ 110 ที่ $2\theta = 20^\circ$ [14, 23] และปรากฏพีกความเป็นผลึกในระนาบ 314 ที่ $2\theta = 35^\circ$ [24] ขณะที่ไฮโดรฟิสิกโคโตซานจะปรากฏพีกความเป็นผลึกที่ $2\theta = 20^\circ$ เพียงที่เดียวและพีกจะมี Intensity ที่ต่ำลง เนื่องจากความสามารถในการเกิดผลึกของโคโตซานบางส่วนถูกทำลายจากการที่หมู่ไฮดรอกซิลลดน้อยลงและเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของสารละลายโคโตซานมีหมู่ NH_3^+ อยู่ SO_3^- ของไดออกทิลซัลโฟซักซิเนตจึงเข้าล้อมรอบ ทำให้ไดออกทิลซัลโฟซักซิเนตเข้าไปแทรกในโครงสร้างโคโตซาน ไปขัดขวางการเกิด packing ของสายโซ่โมเลกุลโคโตซาน ดังนั้นเมื่อสารประกอบคอมเพล็กซ์แห่งนี้ไฮโดรฟิสิกโคโตซาน จึงทำให้ความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวของโมเลกุลโคโตซานน้อยลง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าโคโตซานหลังจากผ่านการดัดแปรแล้วมีปริมาณผลึกลดลง



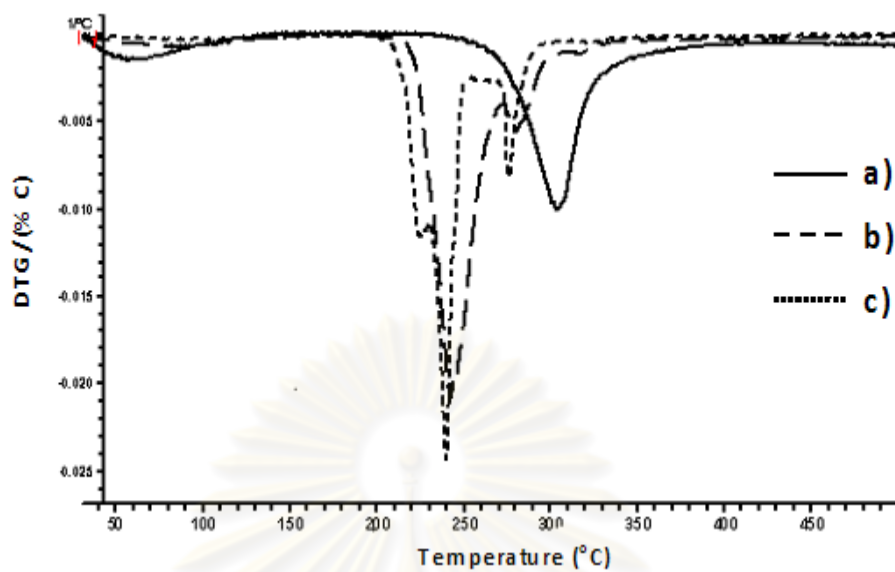
รูปที่ 4.4 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของโคโตซานและไฮโดรฟิสิกโคโตซาน a.) Chitosan, b.) DSS-CTS 3:1, c.) DSS-CTS 5:1

4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของไฮโดรฟิสิกโคโตซานที่ได้ด้วยเทคนิค TGA

จากการเปรียบเทียบ TG และ DTG เทอร์โมแกรมของโคโตซานที่ผ่านการดัดแปรด้วย ไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนต (ไฮโดรฟิสิกโคโตซาน) กับโคโตซานที่ไม่ได้ดัดแปร ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าโคโตซานที่ไม่ได้ดัดแปรมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเกิดขึ้นที่ 303.57°C และยังสังเกตเห็นช่วงการสูญเสียความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 60°C เนื่องจากโคโตซานมีสมบัติชอบน้ำ (ไฮโดรฟิลิก) แต่ในกรณีของโคโตซานที่ดัดแปรด้วยไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนตในอัตราส่วน 3 : 1 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวเป็นสองช่วงอุณหภูมิ คือ 241.40°C และ 283°C ส่วนกรณีที่ดัดแปรในอัตราส่วน 5 : 1 ก็แสดงอุณหภูมิการสลายตัวเป็นสองช่วงอุณหภูมิเช่นเดียวกัน คือ 239.48°C และ 280.10°C เนื่องจากช่วงแรกเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนต และช่วงที่สองเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของโคโตซาน เมื่อพิจารณาช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนต พบว่าจะมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่กว้าง และพบว่าโคโตซานมีการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าไฮโดรฟิสิกโคโตซาน เนื่องจากโคโตซานก่อนดัดแปรมีสายโซ่ที่ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้การสลายตัวช้ากว่าเมื่อเทียบกับไฮโดรฟิสิกโคโตซาน แต่เมื่อทำการดัดแปรโคโตซานแล้ว พบว่าไฮโดรฟิสิกโคโตซานมีอุณหภูมิการสลายตัวลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากผลึกถูกทำลายทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ลดลง เนื่องจากการเกิดพันธะระหว่างหมู่ SO_3^- ของไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนต กับหมู่ NH_3^+ ของโคโตซานเกิดเป็นสารประกอบคอมเพล็กซ์ จากผลการวิเคราะห์ TGA สามารถเป็นหลักฐานหนึ่งในการยืนยันได้ว่า โคโตซานที่ดัดแปรด้วยไดออกทิลซัลไฟซึกซิเนตในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าเสถียรภาพทางความร้อนลดลง



รูปที่ 4.5 TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-500°C ของโคโตซานและโคโตซานดัดแปร a.) CTS b.) DSS-CTS 3:1, c.) DSS-CTS 5:1



รูปที่ 4.6 DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของไคโตซานและไคโตซานดัดแปรที่อัตราส่วนของไดออกซิลซัลไฟซ์กับไคโตซาน: ไคโตซาน ต่างๆ

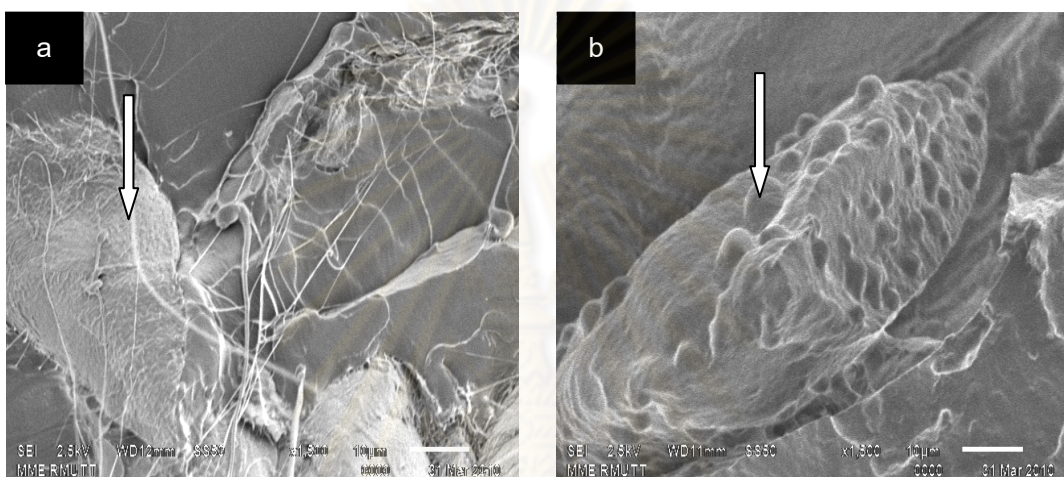
a.) CTS, b.) DSS-CTS 3:1, c.) DSS-CTS 5:1

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของไคโตซานและไฮโดรฟอบิกไคโตซาน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	ช่วงที่ 1(Td)	ช่วงที่ 2 (Td)
CTS	60.00	303.57
DSS-CTS 3:1	241.40	283.00
DSS-CTS 5:1	239.48	280.10

4.1.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของไคโตซานและไฮโดรโฟบิกไคโตซานด้วยเทคนิค SEM

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของไคโตซานและไฮโดรโฟบิกไคโตซานด้วยเทคนิค SEM ดังรูปที่ 4.7 พบว่าในภาพ a) พื้นผิวของไคโตซานมีลักษณะเป็นเส้นใย แต่ในภาพ b) พื้นผิวของไฮโดรโฟบิกไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลง จากรูปมีลักษณะคล้ายปิดเนื่องจากเกิดคอมเพล็กซ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากไคโตซานถูกปกคลุมด้วยสารลดแรงตึงผิว



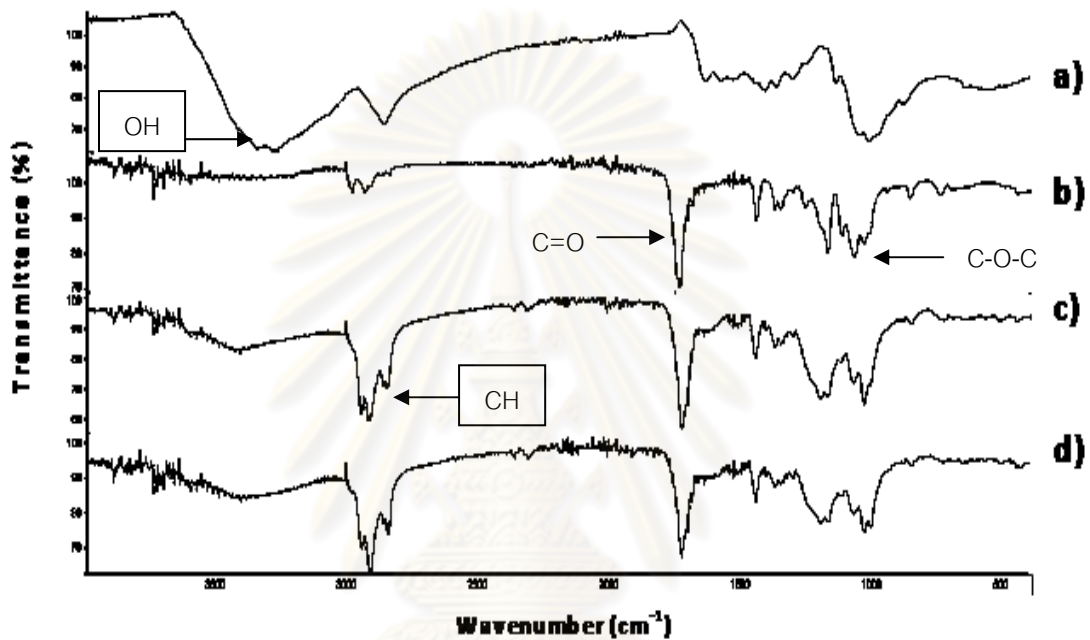
รูปที่ 4.7 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของไคโตซานและไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่กำลังขยาย 1500 เท่า ของ a.) ไคโตซาน, b.) ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน

4.2 การวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน

4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานด้วยเทคนิค FT-IR

จากผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิแล็กติกแอซิด และพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซาน ที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว ดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยรูป 4.8 (b) แสดงสเปกตรัมของพอลิแล็กติกแอซิด ปรากฏพีกการดูดกลืนรังสีที่ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C=O stretching [14] ตำแหน่ง 2922 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C-H stretching ตำแหน่ง 1070 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C-O-C stretching และที่ตำแหน่ง 1070 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ (C=O)-O- stretching เมื่อทำการผสมไคโตซานโดยอัตราส่วนพอลิแล็กติกแอซิดต่อไคโตซานเท่ากับ 90:10 และ 80:20 ตามลำดับ จากผลของอินฟราเรดสเปกตรัมที่ทดสอบได้จากรูป 4.8 (c),(d) พบว่าปรากฏพีกการดูดกลืนรังสีที่ตำแหน่ง $2851\text{-}2969\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ C-H stretching ตำแหน่ง $980\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$

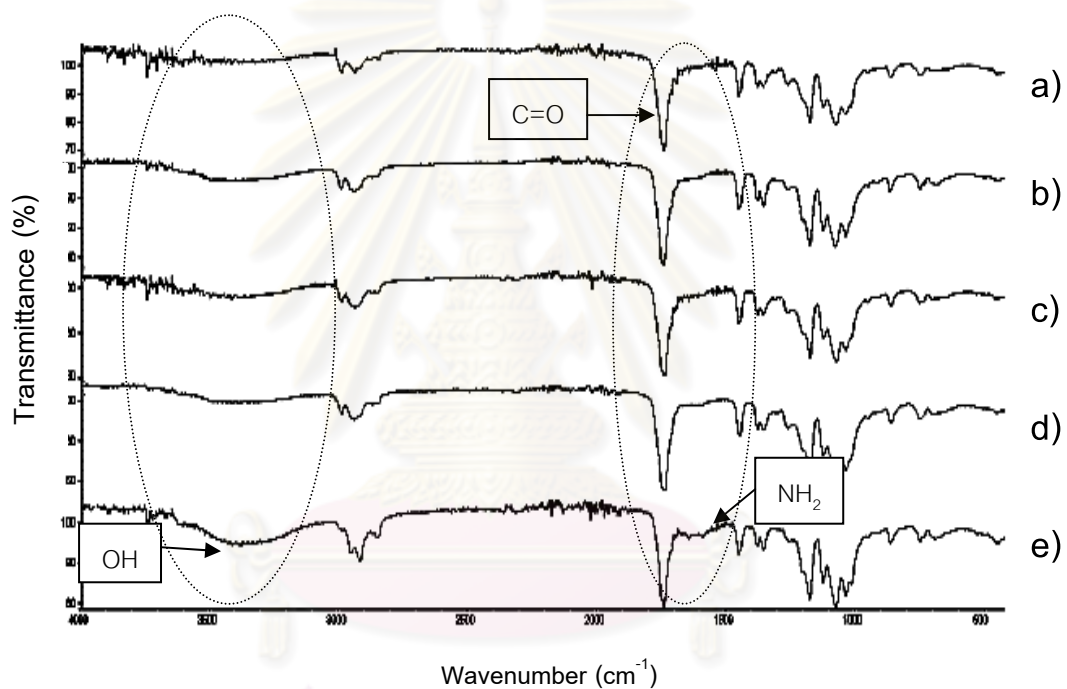
แสดงถึงหมู่ C-O-C membered ring stretching และตำแหน่ง 1735 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C=O stretching เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของไคโตซานดังรูป 4.8 a) พบว่าตำแหน่งที่ปรากฏขึ้นทั้งหมดในรูป 4.8 (c) และ 4.8 (d) สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นสเปกตรัมของพอลิแล็กติกแอซิด สรุปได้ว่าพอลิแล็กติกแอซิดกับไคโตซานไม่มีความสามารถในการผสมเข้ากันได้



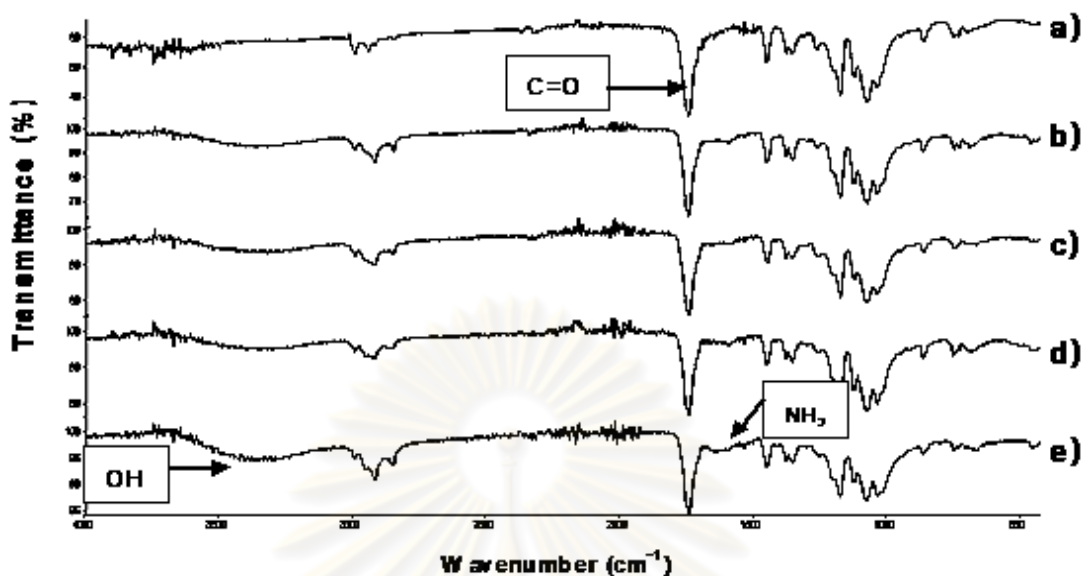
รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการหลอมเหลว แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของ a.) Chitosan b.) PLA/CTS 100/0, c.) PLA/CTS 90/10, d.) PLA/CTS 80/20

เมื่อทำการผสมไฮโดรฟิสิกไคโตซานด้วยกระบวนการหลอมเหลวและกระบวนการละลายโดยอัตราส่วนพอลิแล็กติกแอซิดต่อไฮโดรฟิสิกไคโตซานเท่ากับ 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ จากผลของอินฟราเรดสเปกตรัมที่ทดสอบได้จากรูป 4.9 และ รูป 4.10 พบว่าปรากฏฟีกการดูดกลืนรังสีที่ตำแหน่ง $3150\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ O-H stretching ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ C=O stretching ตำแหน่ง 1640 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ amine deformation (NH_2) โดยเมื่ออัตราส่วนของไฮโดรฟิสิกไคโตซานที่ใช้เพิ่มสูงขึ้นความเข้มของฟีก O-H stretching และ amine deformation (NH_2) ตำแหน่งที่ปรากฏข้างต้นจะเพิ่มสูงขึ้น แต่ความเข้มของฟีก C=O stretching ตำแหน่งที่ปรากฏข้างต้นจะลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟีกของหมู่เอมีนที่ตำแหน่งประมาณ

1640 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งที่น่าสนใจ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับพีคที่ตำแหน่งนี้ของไฮโดรโฟบิกไคโตซานดังกราฟที่ 4.3 (b),(c) มีลักษณะคมชัดอย่างชัดเจน แต่พีคที่ตำแหน่งเดียวกันนี้ของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะที่ broad ไม่คมชัด แสดงว่าหมู่เอมีนของไฮโดรโฟบิกไคโตซานเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่คาร์บอนิลของพอลิแล็กติกแอซิด ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถของไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เกิด Adhesion กับพอลิแล็กติกแอซิดได้ จึงเหนี่ยวนำหมู่เอมีนให้เข้าไปใกล้และสร้างพันธะไฮโดรเจนกับพอลิแล็กติกแอซิดขึ้น จึงสรุปได้ว่าไฮโดรโฟบิกไคโตซานกับพอลิแล็กติกแอซิดนั้นมีความสามารถในการเข้ากันได้



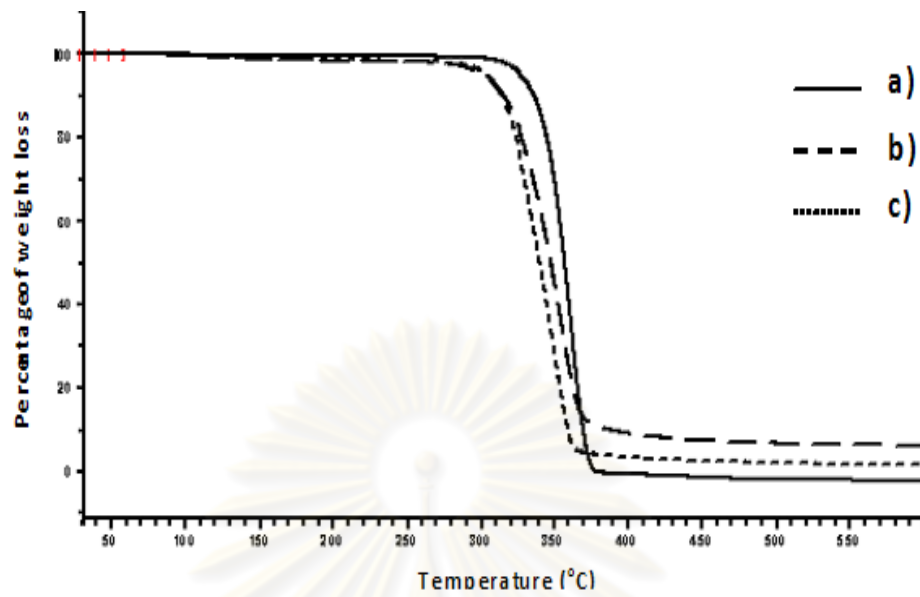
รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของ a.) PLA/DSS-CTS 100/0, b.) PLA/DSS-CTS 95/5, c.) PLA/DSS-CTS 90/10, d.) PLA/DSS-CTS 85/15, e.) PLA/DSS-CTS 80/20



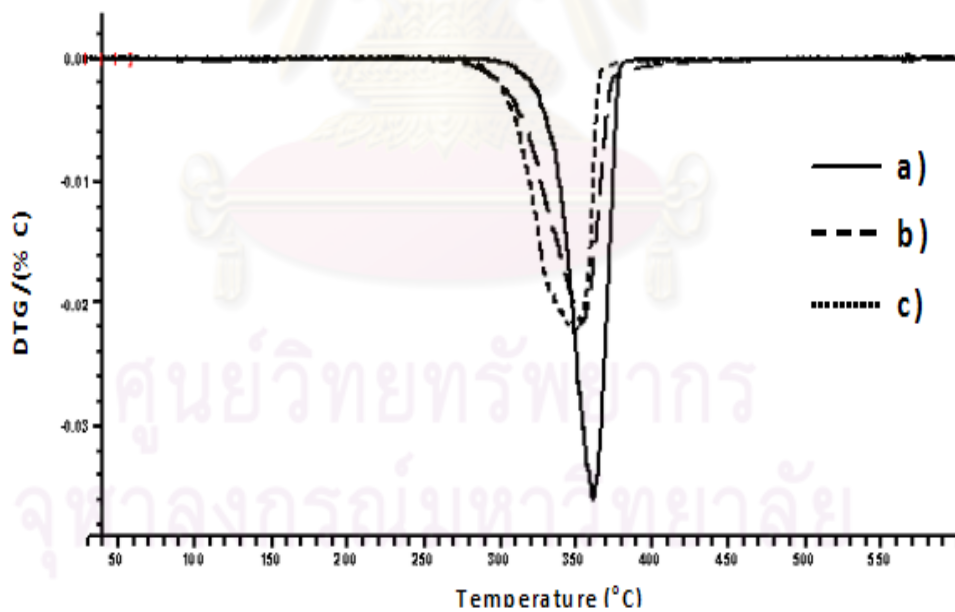
รูปที่ 4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการละลาย แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของ a.) PLA/DSS-CTS 100/0, b.) PLA/DSS-CTS 95/5, c.) PLA/DSS-CTS 90/10, d.) PLA/DSS-CTS 85/15, e.) PLA/DSS-CTS 80/20

4.2.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ด้วยเทคนิค TGA

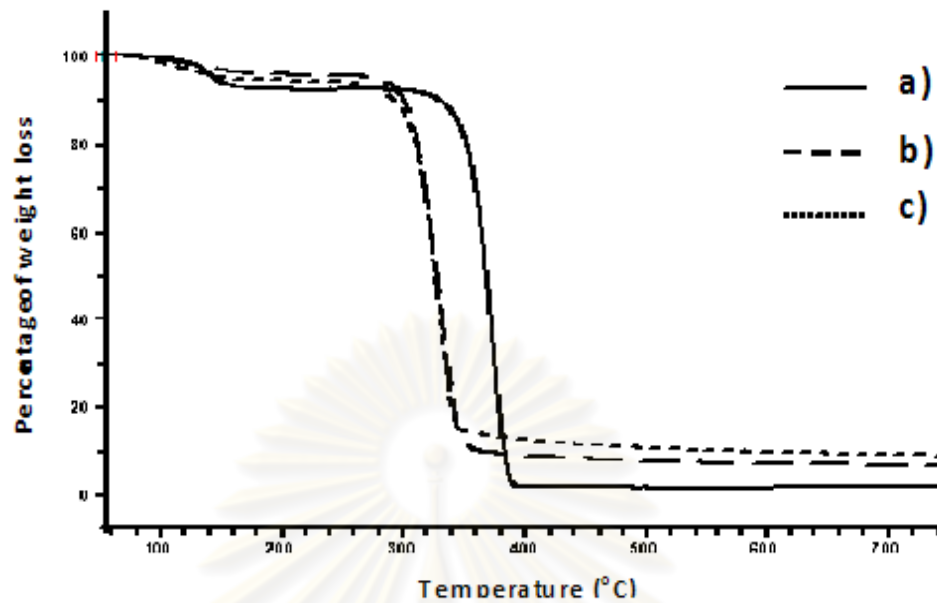
จากการเปรียบเทียบ TG และ DTG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด กับไคโตซานที่ไม่ผ่านการดัดแปร ทั้งจากการเตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว และการละลาย ดังรูปที่ 4.11 – 4.14 พบว่าพอลิแล็กติกแอซิด มีอุณหภูมิการสลายตัวสูงที่สุด คือ 361.29°C และ 372.62°C [25] แต่ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและไคโตซานในอัตราส่วน 90:10 และ 80:20 พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเกิดขึ้นเพียงช่วงเดียว โดยพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากกระบวนการหลอมเหลวจะปรากฏช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเฉพาะของพอลิแล็กติกแอซิด ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากกระบวนการละลายจะปรากฏช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเพียงช่วงเดียวเช่นกัน คือมีอุณหภูมิการสลายตัวลดลงประมาณ 30°C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของพอลิแล็กติกแอซิด คือ 326.70°C และ 327.21°C แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยอุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของไคโตซาน จากผลการวิเคราะห์ TGA สามารถเป็นหลักฐานยืนยันได้ว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด และไคโตซาน ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ เนื่องจากปรากฏช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของสารเพียงตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น



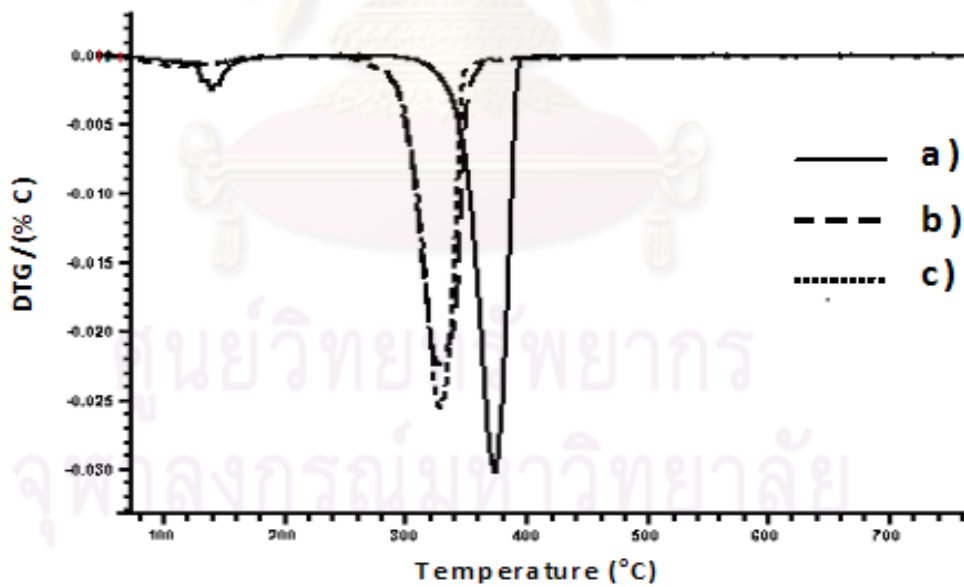
รูปที่ 4.11 TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C ของพอลิ-
เมอริ์ผสมจากกระบวนการหลอมเหลว a.) pure PLA, b.) PLA/CTS 90/10, c.) PLA/CTS 80/20



รูปที่ 4.12 DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอริ์ผสม
จากกระบวนการหลอมเหลว a.) pure PLA, b.) PLA/CTS 90/10, c.) PLA/CTS 80/20



รูปที่ 4.13 TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C ของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการละลาย a.) pure PLA, b.) PLA/CTS 90/10, c.) PLA/CTS 80/20



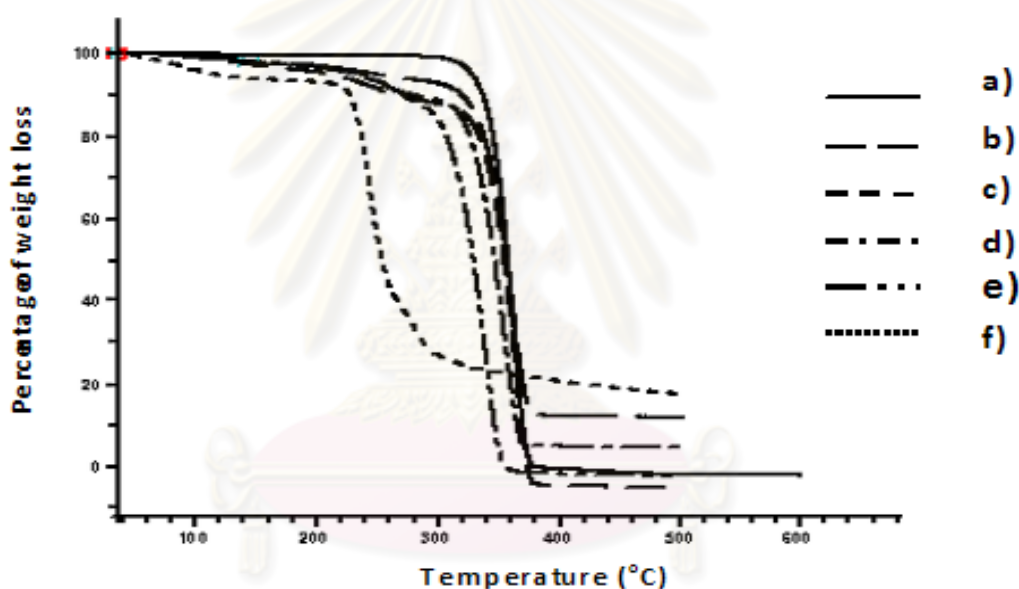
รูปที่ 4.14 DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการละลาย a.) pure PLA, b.) PLA/CTS 90/10, c.) PLA/CTS 80/20

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซาน

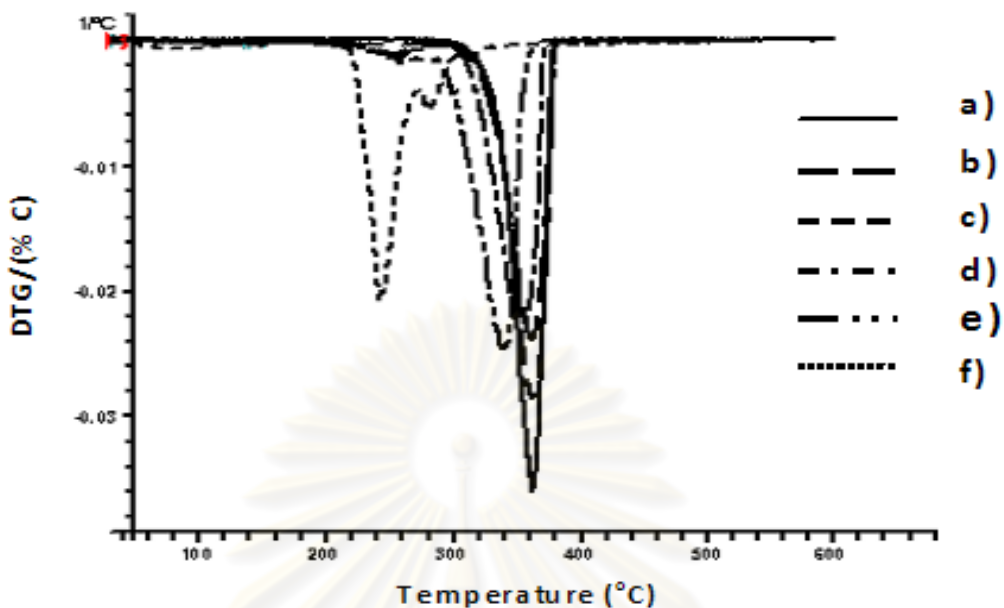
ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	การหลอมเหลว	การละลาย
Pure PLA	361.29	372.62
PLA/CTS 90/10	354.05	326.70
PLA/CTS 80/20	349.32	327.21

จากการเปรียบเทียบ TG และ DTG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด กับไฮโดรฟิสิกไคโตซาน ในอัตราส่วนระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกไคโตซาน 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว และการละลาย ดังรูปที่ 4.15 – 4.18 พบว่าพอลิแล็กติกแอซิดจะแสดงช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเพียงช่วงเดียว คือ ที่อุณหภูมิ 361.29°C (กระบวนการหลอมเหลว) และ 361.29 °C (กระบวนการละลาย) ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากทั้งกระบวนการหลอมเหลวและกระบวนการละลายจะปรากฏช่วงอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วงด้วยกัน โดยในช่วงแรกจะเป็นการสลายตัวของไฮโดรฟิสิกไคโตซาน (อุณหภูมิประมาณ 240.40°C) และช่วงที่ 2 จะเป็นการสลายตัวของพอลิแล็กติกแอซิด ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อทำการผสมไฮโดรฟิสิกไคโตซานเข้าไป พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีอุณหภูมิการสลายตัวลดลงและลดลงตามปริมาณของไฮโดรฟิสิกไคโตซานที่เพิ่มขึ้น (ดังตารางที่ 4.3) โดยพอลิแล็กติกแอซิดมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงที่สุด ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกไคโตซานในอัตราส่วน 80/20 มีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรฟิสิกไคโตซานที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสมมี Profile การสลายตัวที่กว้างกว่าไฮโดรฟิสิกไคโตซานอิสระ แสดงว่าไฮโดรฟิสิกไคโตซานเมื่อนำมาผสมกับพอลิแล็กติกแอซิดแล้วเกิดอันตรกิริยากับพอลิเมอร์เมทริกซ์ จึงต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการสลายไฮโดรฟิสิกไคโตซานที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสม และในทำนองเดียวกันสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิแล็กติกแอซิดมี

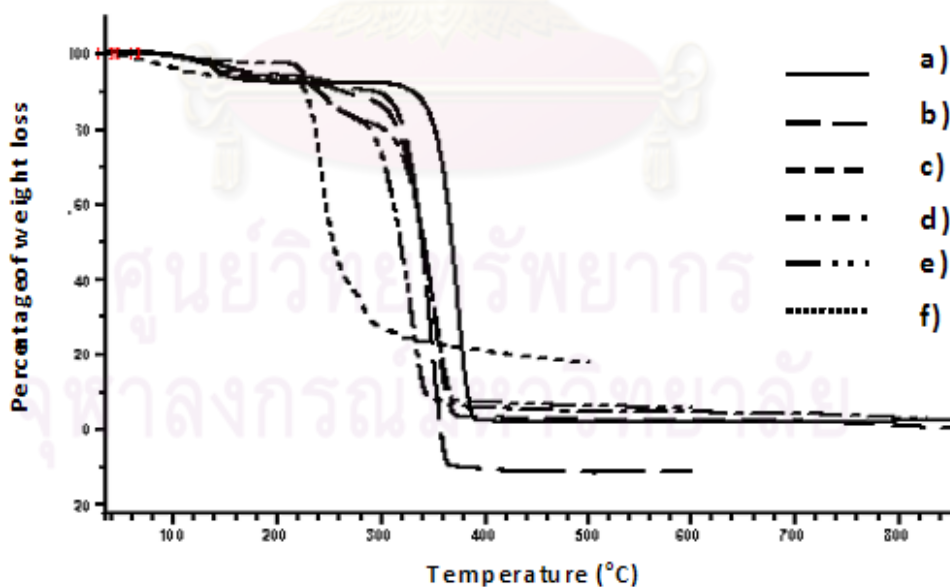
การเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับพอลิแล็กติกแอซิดอิสระ โดยเฉพาะสูตรผสมที่มีอัตราส่วนของไฮโดรโฟบิกโคโคโตนสูงสุด (PLA 80/ DSS-CTS 20) พบว่าพอลิแล็กติกแอซิดมีคุณสมบัติการสลายตัวลดลงอย่างชัดเจน สาเหตุเนื่องจากผลของสัดส่วนของ DSS-CTS ที่ใช้ในสูตรนี้มีค่าสูงสุด ซึ่งอีกนัยยะหนึ่งในสูตรผสมนี้ก็จะมีสัดส่วนของไดออกทิลซัลไฟซ์ซิงเนตสูงสุด ไดออกทิลซัลไฟซ์ซิงเนตมีสมบัติเป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ได้ ดังนั้นจึงทำให้การเพิกกิ้งของพอลิแล็กติกแอซิดมีความเป็นผลึกลดลง จึงเป็นผลทำให้การสลายตัวของพอลิแล็กติกแอซิดในพอลิเมอร์ผสมลดลงตามไปด้วย ผลของ TGA ที่ได้นี้จึงพอสรุปได้ว่าไฮโดรโฟบิกโคโคโตนมีความสามารถเข้ากันได้กับพอลิแล็กติกแอซิดและยังเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกได้



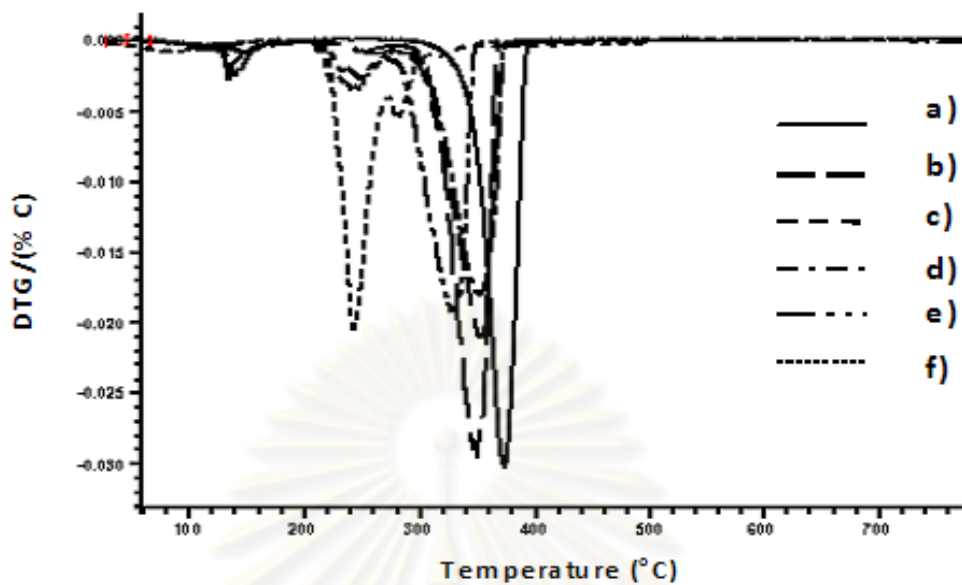
รูปที่ 4.15 TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C ของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการหลอมเหลว a.) pure PLA, b.) PLA/ DSS-CTS 95/5, c.) PLA/ DSS-CTS 90/10, d.) PLA/ DSS-CTS 85/15, e.) PLA/ DSS-CTS 80/20, f.) DSS-CTS 3:1



รูปที่ 4.16 DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม จากกระบวนการหลอมเหลว a.) pure PLA, b.) PLA/ DSS-CTS 95/5, c.) PLA/ DSS-CTS 90/10, d.) PLA/ DSS-CTS 85/15, e.) PLA/ DSS-CTS 80/20, f.) DSS-CTS 3:1



รูปที่ 4.17 TG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-600°C ของพอลิเมอร์ผสมจากกระบวนการละลาย a.) pure PLA, b.) PLA/ DSS-CTS 95/5, c.) PLA/ DSS-CTS 90/10, d.) PLA/ DSS-CTS 85/15, e.) PLA/ DSS-CTS 80/20, f.) DSS-CTS 3:1



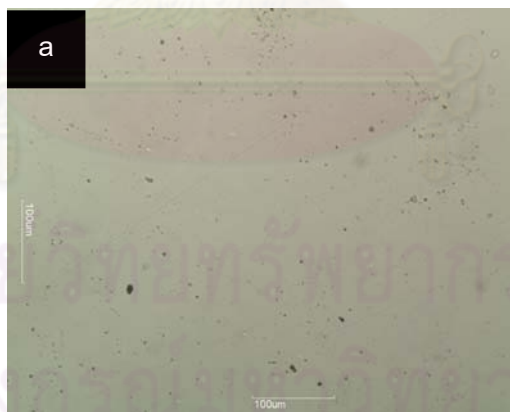
รูปที่ 4.18 DTG เทอร์โมแกรมแสดงเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม จากกระบวนการละลาย a.) pure PLA, b.) PLA/ DSS-CTS 95/5, c.) PLA/ DSS-CTS 90/10, d.) PLA/ DSS-CTS 85/15, e.) PLA/ DSS-CTS 80/20, f.) DSS-CTS 3:1

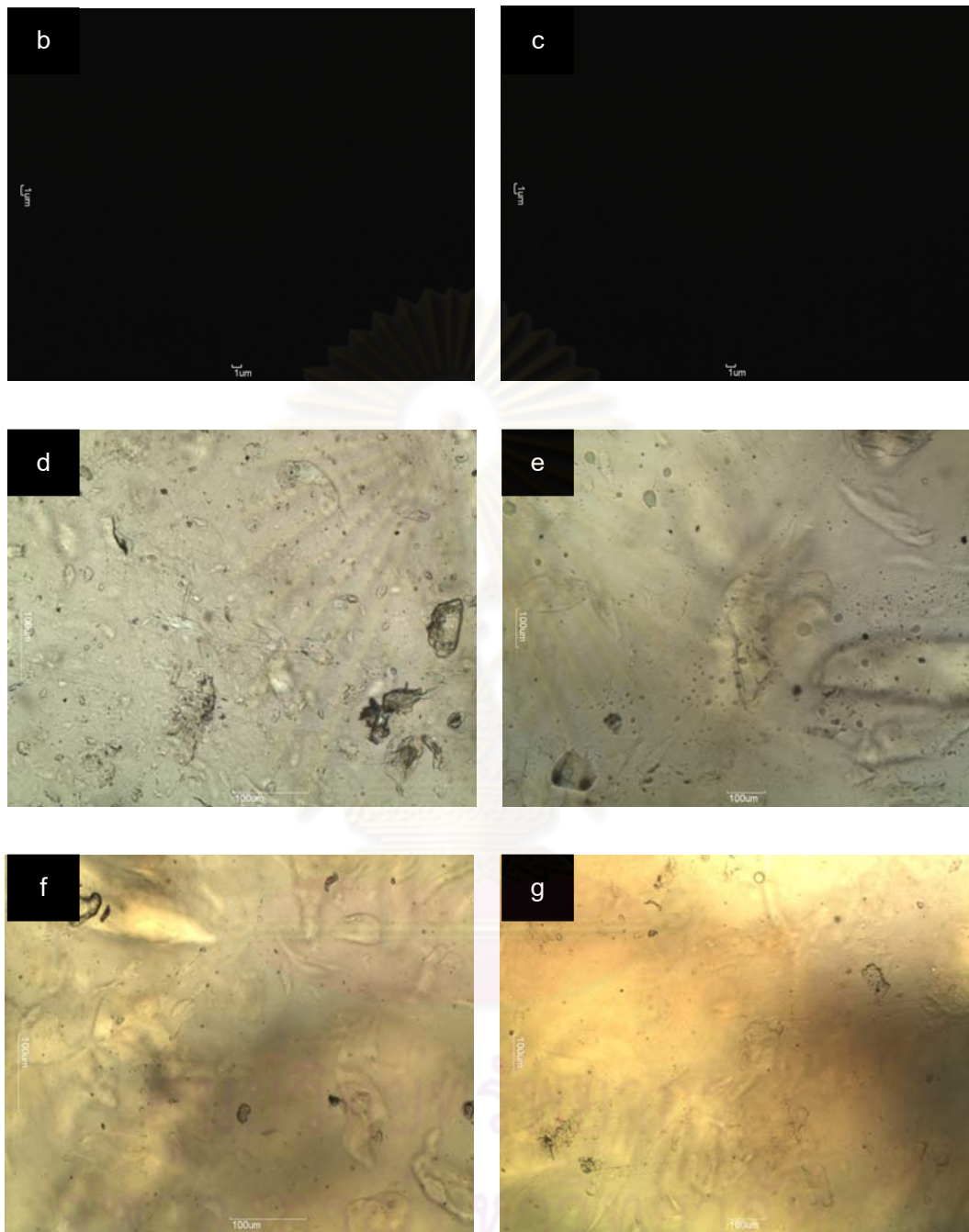
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตนาน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C) (ช่วงที่สอง)	
	การหลอมเหลว	การสลายตัว
pure PLA	361.29	372.62
PLA/ DSS-CTS 95/5	361.18	349.28
PLA/ DSS-CTS 90/10	361.32	352.54
PLA/ DSS-CTS 85/15	353.72	351.40
PLA/ DSS-CTS 80/20	338.59	327.98

4.2.3 การศึกษาภาพถ่ายของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน (กระบวนการหลอมเหลว) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (optical microscope)

ผลของการศึกษาภาพถ่ายแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ได้แสดงไว้ในรูป 4.19 ในรูปแสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่อัตราส่วนของพอลิแล็กติกแอซิด : ไคโตซาน เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 ตามลำดับ และภาพถ่ายไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่อัตราส่วนของพอลิแล็กติกแอซิด : ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน เท่ากับ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ พบว่าพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซาน มีความทึบแสงเมื่อเทียบกับพอลิแล็กติกแอซิด เนื่องจากไคโตซานเกิดการรวมตัวกัน agglomerate จึงไปบดบังแสงและจากการที่ผงไคโตซานมีขนาดใหญ่จึงไปบดบังแสงจากการส่องจากกล้อง ทำให้ปรากฏภาพถ่ายมีดัดงปรากฏ ในทางตรงกันข้ามพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานมีลักษณะโปร่งแสง (transparency) แสดงว่าไฮโดรโฟบิกไคโตซานเข้ากันได้ดีกับพอลิแล็กติกแอซิด ดังนั้นขนาดของไฮโดรโฟบิกไคโตซานจึงมีขนาดเล็ก และสามารถสังเกตเห็นการกระจายตัวของไฮโดรโฟบิกไคโตซานในพอลิแล็กติกแอซิดแมทริกซ์ได้อย่างชัดเจน โดยพบปริมาณของอนุภาคไฮโดรโฟบิกไคโตซานเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของไฮโดรโฟบิกไคโตซาน



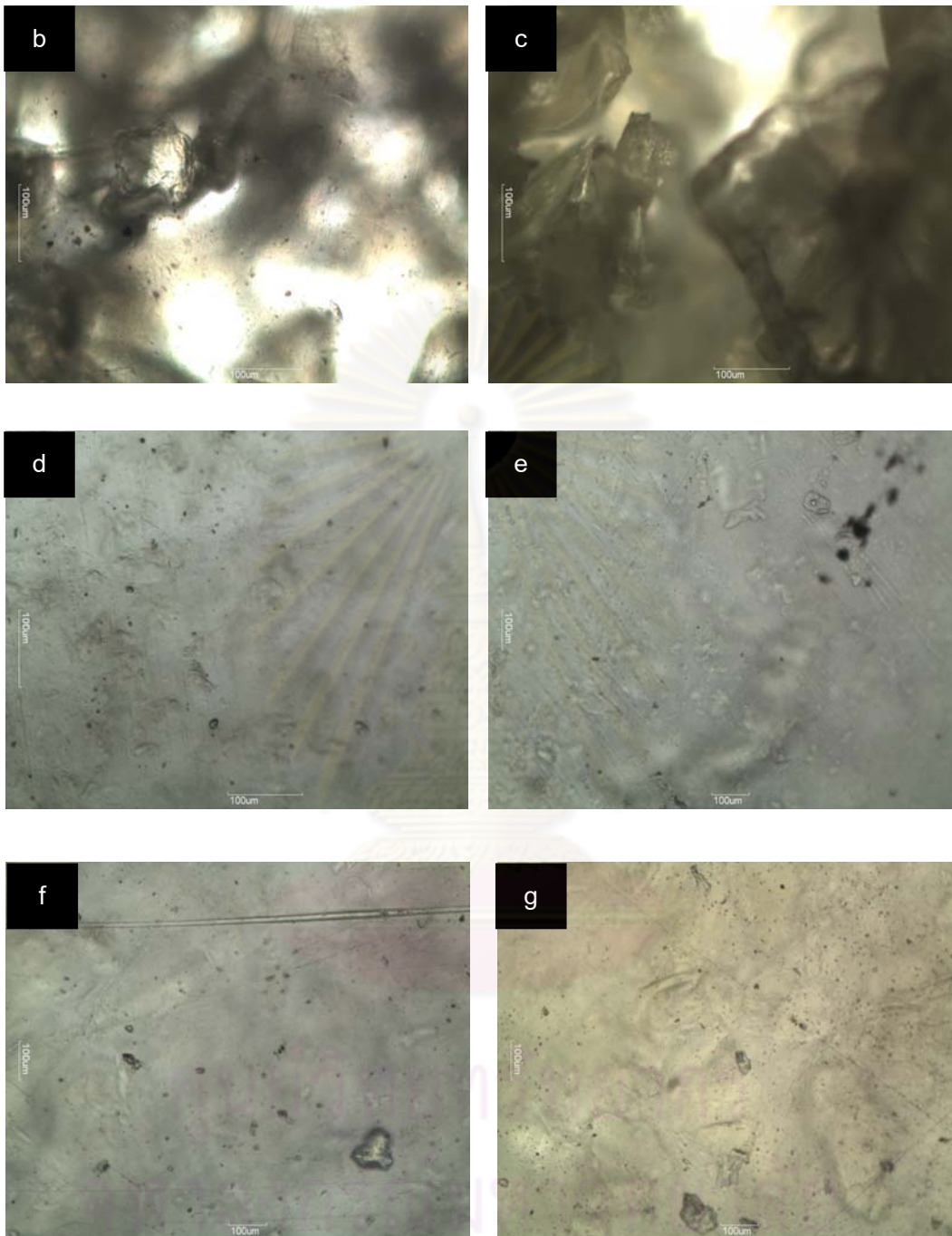


รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายแบบส่องผ่านด้วยกล้อง OM ที่กำลังขยาย 10 เท่า ของ a.) PLA, b.) PLA/CTS 90:10, c.) PLA/CTS 80:20, d.) PLA/DSS-CTS 95/5, e.) PLA/DSS-CTS 90/10, f.) PLA/DSS-CTS 85/15 และ g.) PLA/DSS-CTS 80/20 ที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลว

4.2.4 การศึกษาภาพถ่ายของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน (กระบวนการละลาย) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (optical microscope)

ผลของการศึกษาภาพถ่ายแบบส่องผ่านของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงดังรูป 4.20 ในรูปแสดงภาพถ่ายไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซาน ที่อัตราส่วนของพอลิแล็กติกแอซิด : ไคโตซาน เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20 ตามลำดับ และภาพถ่ายไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่อัตราส่วนของพอลิแล็กติกแอซิด : ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน เท่ากับ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ พบว่าพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซาน จะมีทั้งความทึบแสงและโปร่งแสง เมื่อเทียบกับพอลิแล็กติกแอซิด ซึ่งแสดงว่าไคโตซานไม่เข้ากับพอลิแล็กติกแอซิด โดยการขึ้นรูปด้วยวิธีการละลาย ทำให้ไคโตซานกระจายตัวได้บ้างจึงปิดแสงได้บางส่วน เมื่อแสงจากกล้องส่องทะลุผ่านมา แสงจึงมีทั้งส่วนที่ส่องผ่านและเกิดการเกิดหักเห ทำให้ปรากฏภาพถ่ายมีทั้งส่วนมืดและสว่างดังปรากฏ ในทางตรงกันข้ามพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานมีลักษณะโปร่งแสง (transparency) แสดงให้เห็นว่าไฮโดรโฟบิกไคโตซานเข้ากันได้ดีกับพอลิแล็กติกแอซิด และสามารถสังเกตเห็นการกระจายตัวของไฮโดรโฟบิกไคโตซานในพอลิแล็กติกแอซิด แมทริกซ์ได้อย่างชัดเจน โดยพบปริมาณของอนุภาคไฮโดรโฟบิกไคโตซานเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของไฮโดรโฟบิกไคโตซาน

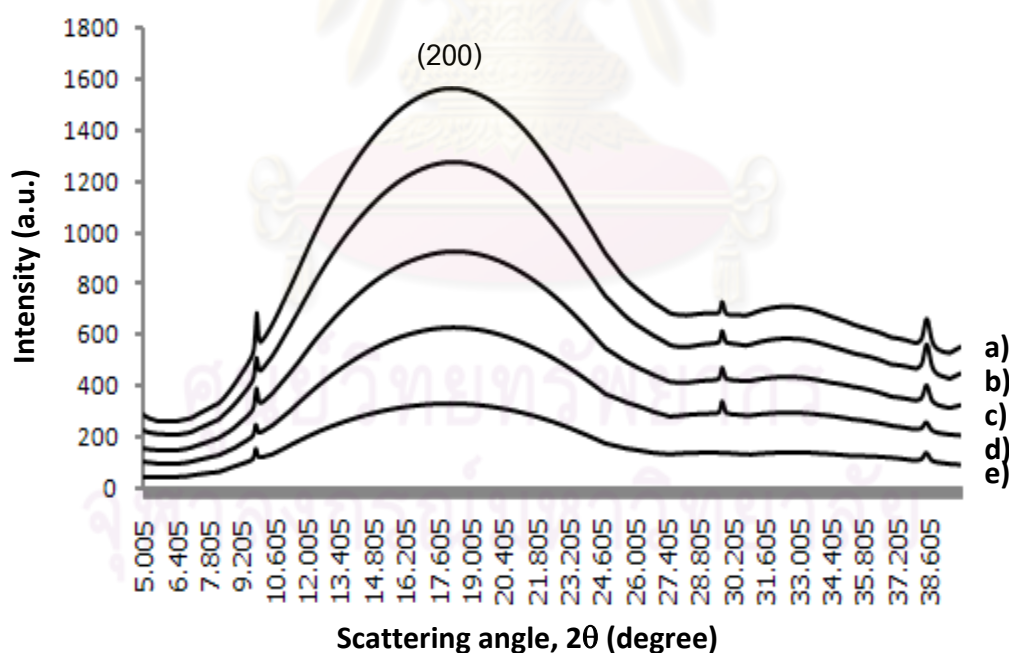




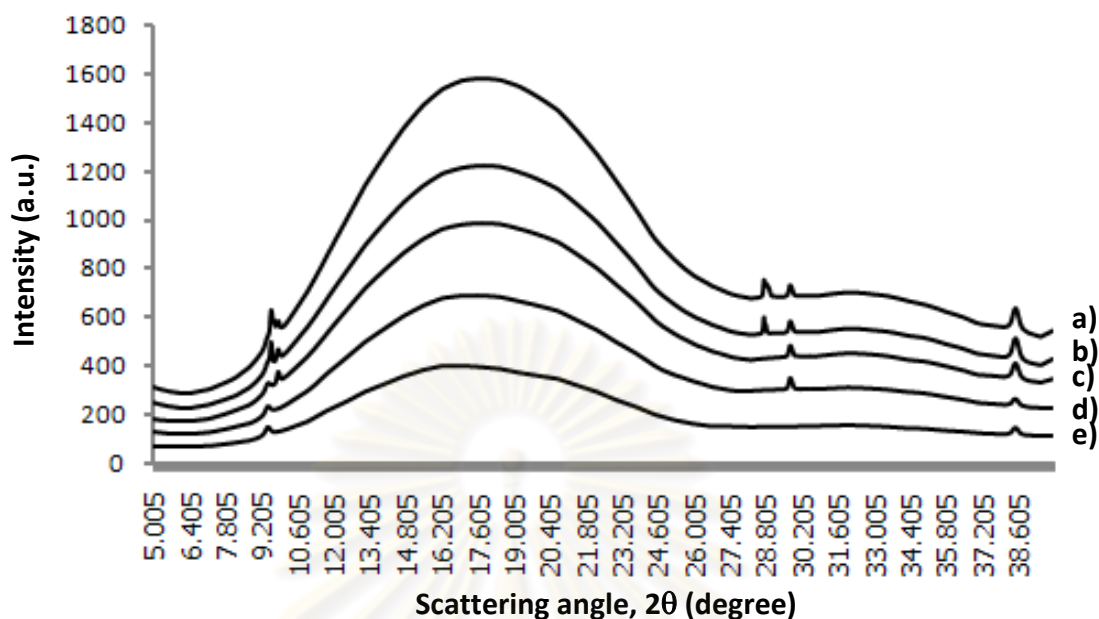
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายแบบส่องผ่านด้วยกล้อง OM ที่กำลังขยาย 10 เท่า ของ a.) PLA, b.) PLA/CTS 90:10, c.) PLA/CTS 80:20, d.) PLA/DSS-CTS 95/5, e.) PLA/DSS-CTS 90/10, f.) PLA/DSS-CTS 85/15 และ g.) PLA/DSS-CTS 80/20 ที่เตรียมด้วยกระบวนการละลาย

4.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานด้วยเทคนิค XRD

ผลของการศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค XRD แสดงไว้ในรูป 4.21 และ 4.22 ในรูปแสดงดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เตรียมจากกระบวนการหลอมเหลว ที่อัตราส่วนของพอลิแล็กติกแอซิด : ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน เท่ากับ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ พบว่าพอลิแล็กติกแอซิดจะปรากฏพีกความเป็นผลึกในระนาบ 200 ที่ $2\theta = 18^\circ$ [23] ของ orthorhombic crystal โดยพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานก็ปรากฏพีกความเป็นผลึกที่ $2\theta = 18^\circ$ เช่นเดียวกันแต่พีกจะมี Intensity ที่ต่ำลง โดยปริมาณผลึกลดลงตามปริมาณของไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เพิ่มสูงขึ้น จากการกระจายตัวของไฮโดรโฟบิกไคโตซานในพอลิแล็กติกแอซิดแมทริกซ์ ทำให้ความสามารถในการเกิดผลึกของพอลิแล็กติกแอซิดลดลงเนื่องจากหมู่คาร์บอนิลของพอลิแล็กติกแอซิดเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เอมีนของไฮโดรโฟบิกไคโตซาน ดังนั้นปริมาณของไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เพิ่มขึ้นจึงขัดขวางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลพอลิแล็กติกแอซิดให้ลดน้อยลง



รูปที่ 4.21 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากกระบวนการหลอมเหลว a.) pure PLA, b.) PLA/ DSS-CTS 95/5, c.) PLA/ DSS-CTS 90/10, d.) PLA/ DSS-CTS 85/15 และ e.) PLA/ DSS-CTS 80/20



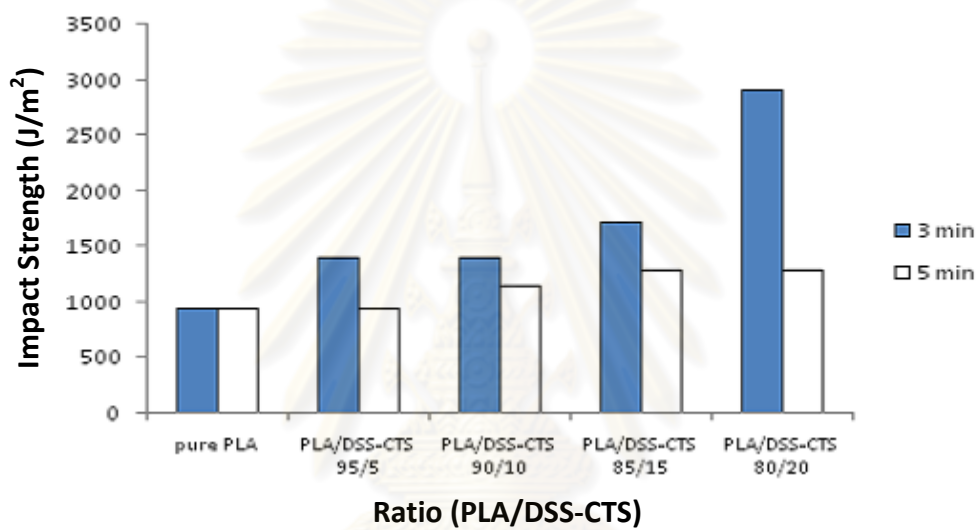
รูปที่ 4.22 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากกระบวนการละลาย a.) pure PLA, b.) PLA/ DSS-CTS 95/5, c.) PLA/ DSS-CTS 90/10, d.) PLA/ DSS-CTS 85/15 และ e.) PLA/ DSS-CTS 80/20

4.2.6 การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน

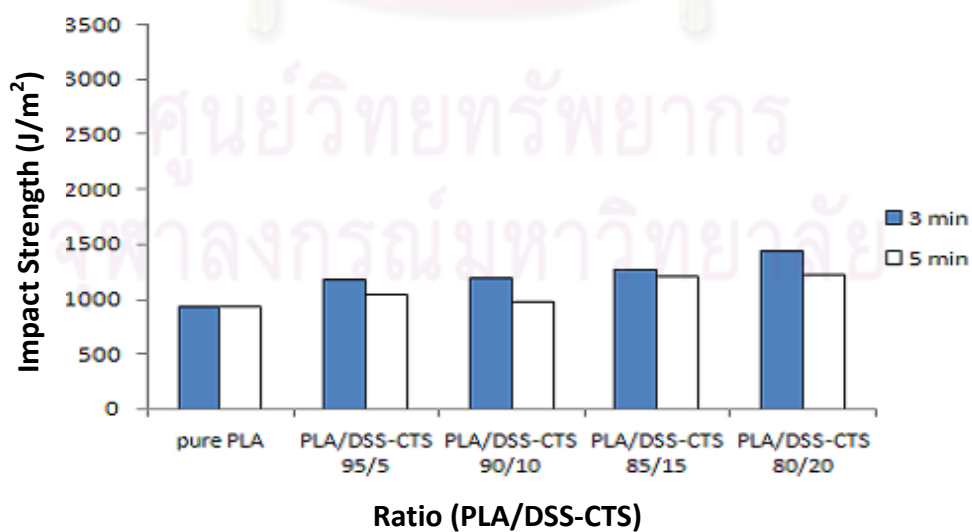
4.2.6.1 การศึกษาความต้านทานต่อแรงกระแทก

จากผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซาน โดยศึกษาผลของไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เตรียมจากอัตราส่วนของไดออกซิลซัลไฟซึกซิเนต : ไคโตซาน อัตราส่วน 3 : 1 และ 5 : 1 โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดแบบเป็นเวลา 3 และ 5 นาที พบว่าเมื่อทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก ผลแสดงดังรูปที่ 4.23 และ 4.24 พบว่า ระยะเวลาในการขึ้นรูปที่ 3 นาที ไฮโดรโฟบิกไคโตซานมีความสามารถต้านทานต่อแรงกระแทกได้มากกว่าที่ 5 นาที เนื่องจากเมื่อระยะเวลาขึ้นรูปนานขึ้น ไฮโดรโฟบิกไคโตซานเกิดการไหม้ จึงไม่สามารถต้านทานต่อแรงกระแทกทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้ต้านทานต่อแรงกระแทกลดลงและเมื่ออัตราส่วนของไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นจาก 0-20% โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนพอลิแล็กติกแอซิด ต่อไฮโดรโฟบิกไคโตซานเท่ากับ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น เช่น PLA/DSS-CTS (3:1) เมื่อขึ้นรูปเป็นเวลา 3 นาที ดังนี้คือ 933.34 J/m^2 , 1398.09 J/m^2 , 1398.09 J/m^2 , 1704.00 J/m^2 และ 2895.60 J/m^2 ตามลำดับ จาก

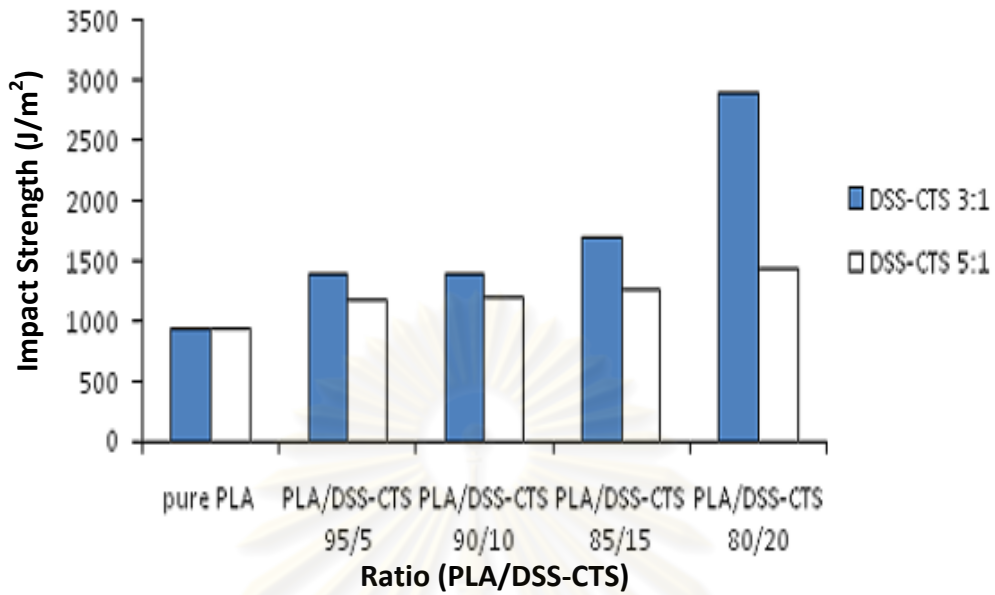
ผลของไดออกทิลซิลไฟฟซักซิเนตในไฮโดรฟิสิกโคโตะซานทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความแข็งแรงลดลง แต่จากรูปที่ 4.24 พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก DSS-CTS ในอัตราส่วน 5 : 1 ความต้านทานต่อแรงกระแทกไม่เพิ่มขึ้นมากนักเนื่องจากมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวในอัตราส่วนที่สูง ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปโดยใช้ระยะเวลาเท่ากัน จะให้พอลิเมอร์ผสมที่สีคล้ำขึ้นเนื่องจากไฮโดรฟิสิกโคโตะซานเกิดการไหม้ ทำให้แม้อัตราส่วนของไฮโดรฟิสิกโคโตะซานที่เดิมจะเพิ่มขึ้นจาก 0-20% โดยน้ำหนักก็ไม่ทำให้ความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นมากนัก



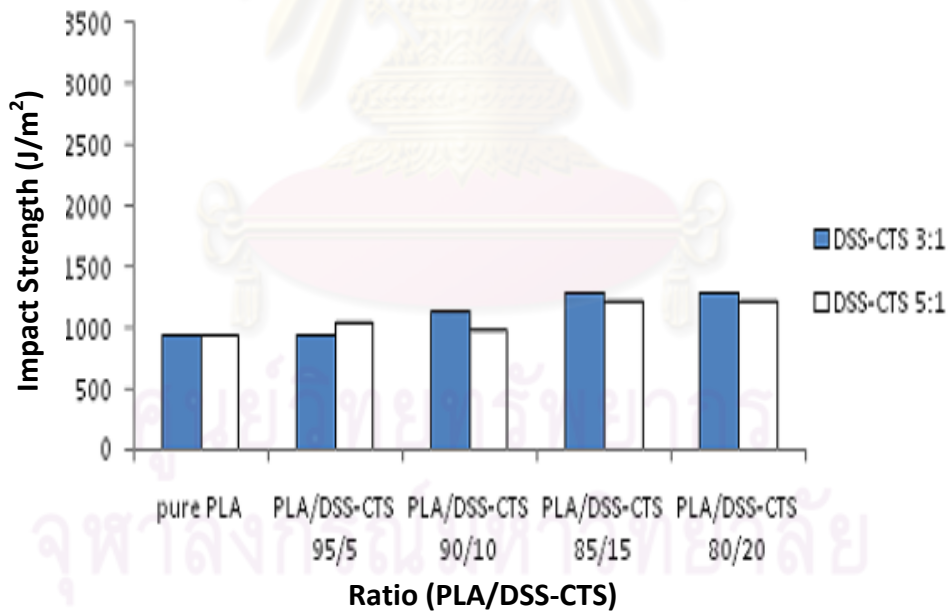
รูปที่ 4.23 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเตรียมจาก DSS-CTS ในอัตราส่วน 3 : 1



รูปที่ 4.24 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเตรียมจาก DSS-CTS ในอัตราส่วน 5 : 1



รูปที่ 4.25 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 3 นาที



รูปที่ 4.26 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 5 นาที

4.2.7 การศึกษาความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย

จากผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโคซานในอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโคซานในอัตราส่วนต่างๆ มีความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยจากตารางที่ 4.4 เมื่อทำการสกัดเชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่างที่เวลา 0 ชั่วโมง มาทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อพบว่าปริมาณของแบคทีเรียที่สกัดได้ลดลง จาก 3.6×10^5 , 2.7×10^5 และ 2.2×10^5 CFU/ml ตามลำดับตามปริมาณอัตราส่วนไฮโดรฟิสิกโคโคซานที่เพิ่มขึ้นจาก 10-20% โดยน้ำหนัก และเมื่อสกัดเชื้อแบคทีเรียจากตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อพบว่าจำนวนแบคทีเรียมีค่าลดลงน้อยกว่า $<1.0 \times 10^2$ CFU/ml และจากรูปที่ 4.28 พบว่าเมื่อนำเชื้อที่สกัดจากตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมงมาเพาะเลี้ยง จะไม่สังเกตเห็นจำนวนของแบคทีเรียหลงเหลืออยู่ จึงสรุปได้ว่าจำนวนของแบคทีเรียลดลงเกือบ 100% เนื่องจากไฮโดรฟิสิกโคโคซานมีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียจากการที่โคโคซานดัดแปรถูกห่อหุ้มด้วยไดออกซิลซิลฟอสฟอเนตทำให้พื้นผิวของโคโคซานมีลักษณะเป็นไขมันห่อหุ้มและหมู่แอมมีนของโคโคซานกลายเป็น NH_3^+ จึงทำให้ไฮโดรฟิสิกโคโคซานมีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย จากผลที่ได้แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและไฮโดรฟิสิกโคโคซานมีความสามารถในการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียเป็นอย่างดี ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28

ตารางที่ 4.4 ความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ ศึกษาโดยใช้แบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus*

Test	Sample	The number of bacteria CFU/ml (0 h.)	The number of bacteria CFU/ml (24 h.)	% Reduction
<i>Staphylococcus aureus</i>	PLA/DSS-CTS 90-10	3.6×10^5	$<1.0 \times 10^2$	99.99
	PLA/DSS-CTS 85-15	2.7×10^5	$<1.0 \times 10^2$	99.99
	PLA/DSS-CTS 80-20	2.2×10^5	$<1.0 \times 10^2$	99.99

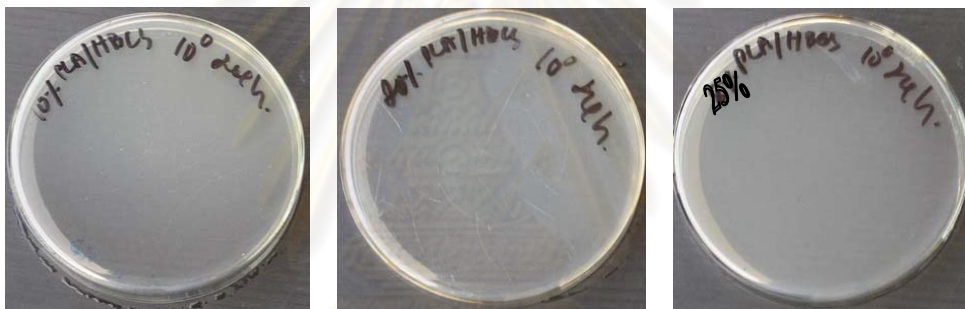


PLA/DSS-CTS 90-10

PLA/DSS-CTS 85-15

PLA/DSS-CTS 80-20

รูปที่ 4.27 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่สกัดจากตัวอย่างที่เวลา 0 ชั่วโมง
ภายใน plates incubated อุณหภูมิ 37°C



PLA/DSS-CTS 90-10

PLA/DSS-CTS 85-15

PLA/DSS-CTS 80-20

รูปที่ 4.28 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่สกัดจากตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมง
ภายใน plates incubated อุณหภูมิ 37°C

ศูนย์เวชศาสตร์พยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและไฮโดรโฟบิกไคโตซาน เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองด้วยวิธีการหลอมเหลวและการละลาย โดยการตัดแปรไคโตซานด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ เพื่อให้ไคโตซานสามารถผสมเข้ากับพอลิแล็กติกแอซิดได้ดียิ่งขึ้น จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ไคโตซานที่ผ่านการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ จะมีสมบัติดูดความชื้นลดลง เนื่องจากถูกห่อหุ้มด้วยส่วนที่เป็นไขมันของไดออกทิลซัลโฟซัทซีเนต ทำให้พื้นผิวมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และไดออกทิลซัลโฟซัทซีเนตต่อพอลิแล็กติกแอซิดในอัตราส่วน 3:1 ให้สมบัติที่ดีกว่าในอัตราส่วน 5:1 จึงเลือกอัตราส่วน 3:1 มาใช้ในการทดลองเนื่องจากได้ร้อยละผลผลิตสูงถึง 73.04 และไคโตซานดูดความชื้นลดลงจาก ร้อยละ 9.3 เหลือ 3.9

5.1.2 ไคโตซานที่ผ่านการตัดแปรด้วยไดออกทิลซัลโฟซัทซีเนตจะมีเสถียรภาพทางความร้อนลดลงประมาณ 20°C จาก 303.57°C เป็น 283°C เนื่องจากผลึกของไคโตซานลดลง และพื้นผิวของไคโตซานมีฐานฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไป จากการที่ไคโตซานถูกปกคลุมด้วยสารลดแรงตึงผิว

5.1.3 ผลจาก FTIR spectra สรุปได้ว่าหมู่เอมีนของไฮโดรโฟบิกไคโตซานเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่คาร์บอนิลของพอลิแล็กติกแอซิด ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1640 cm^{-1} สรุปได้ว่าไฮโดรโฟบิกไคโตซานกับพอลิแล็กติกแอซิดนั้นมีความสามารถในการเข้ากันได้

5.1.4 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกพบว่าไฮโดรโฟบิกไคโตซานช่วยปรับปรุงสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทกให้พอลิแล็กติกแอซิด ทำให้ให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความแข็งแรงลดลง โดย PLA จะต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำสุดและเมื่อปริมาณไฮโดรโฟบิกไคโตซาน

เพิ่มขึ้นเป็น 20% โดยน้ำหนัก จะต้านทานต่อแรงกระแทกสูงสุด โดยเพิ่มจาก 933.34 J/m^2 เป็น 2895.60 J/m^2

5.1.5 ผลจากการทดสอบความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย พบว่าพอลิเมอร์ผสมพอลิ-แล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซาน สามารถต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียได้ดีเป็นอย่างยิ่ง โดยที่เวลา 0 ชั่วโมง ปริมาณแบคทีเรียที่สกัดได้ลดลง จาก 3.6×10^5 , 2.7×10^5 และ 2.2×10^5 CFU/ml ตามปริมาณไฮโดรโฟบิกโคโคโตซานที่เพิ่มขึ้นจาก 10-20% โดยน้ำหนัก และที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่าจำนวนแบคทีเรียมีค่าลดลงน้อยกว่า $<1.0 \times 10^2$ CFU/ml และไม่สังเกตเห็นแบคทีเรียหลงเหลืออยู่

5.1.6 ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่าการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยกระบวนการหลอมเหลว จะได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติดีกว่าการเตรียมด้วยกระบวนการละลาย เนื่องจากมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงกว่า และได้ชิ้นงานพื้นผิวเรียบและไม่มีรูพรุนจากฟองอากาศทำให้สมบัติเชิงกลสูงกว่าการเตรียมด้วยกระบวนการละลาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง แต่เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิ-แล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซานที่เตรียมด้วยวิธีการละลายนั้น พบว่ามีพื้นผิวไม่เรียบและมีความพรุนจากฟองอากาศค่อนข้างมากไม่สามารถนำไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงได้ อาจทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีความแปรปรวนสูง และพอลิเมอร์ผสมพอลิ-แล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคโตซานที่เตรียมด้วยวิธีหลอมเหลวนั้น พบว่าชิ้นงานเมื่อนำไปทำการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง ชิ้นงานจะเกิดการเคลื่อนจากตัวจับชิ้นงานทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีความแปรปรวนสูง จึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้

รายการอ้างอิง

- [1] ธนาวดี ลีจากภัย. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี : สำนักพิมพ์ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2549.
- [2] Wikipedia. Polylactic acid [Online]. Wikipedia Foundation, Inc., 2007. Available from: <http://www.en.wikipedia.org> [2007, September 20]
- [3] วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ. เอกสารประกอบการสอนวิชาพอลิเมอร์ที่ใช้ทางการแพทย์. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [4] ณัฐนัย จินตกานนท์. การใช้พอลิแลกติกแอซิดและพอลิแลกติกแอซิดโคเอทิลีนเทเรฟทาเลตสำหรับการปลดปล่อยปุ๋ยแบบควบคุม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [5] Jimluntllc. Polylactic Acid Technology [Online]. Jimluntllc, 2008. Available from: http://www.jimluntllc.com/pdfs/polylactic_acid_technology.pdf [2005, November 2]
- [6] สุภาภรณ์ เขียบขวย. การเตรียมโคพอลิเมอร์ของพอลิแลกติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและโคโคซานโดยใช้สารเชื่อมขวาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [7] Fibersource. PLA fiber [Online]. Fibersource, 2008. Available from: <http://www.fibersource.com/f-tutor/pla.htm> [2008]
- [8] สุกิจ ปัญญาชัยเสนะ. การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมของโคโคซานและเมทิลเซลลูโลส. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [9] ชมพูนุช อัครัตินิवास. การเตรียมและลักษณะสมบัติของเมมเบรนโคโคซาน/ซีโอไลต์สำหรับการแยกมีเทนในแก๊สชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [10] ปณิตดา กลิ่นบัว. การใช้โคโคซานและเซลลูโลสในการกำจัดหมึกจากกระดาษที่พิมพ์ด้วยโทนเนอร์ด้วยวิธีลอยฟองอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

- [11] ภควดี รัตนเจียเจริญ และ ลัดดาวัลย์ ไหลท่อมทวิกุล. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังดัดแปรกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [12] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ 1. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [13] ชาริณี วิโนทพรรษ์. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมพอลิโพรพิลีน/แป้ง/แป้งดัดแปร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [14] Chen, C., Dong, L., and Cheung, K.M. Preparation and characterization of biodegradable poly(L-lactide)/chitosan blends. European Polymer Journal 41 (2005): 958-966.
- [15] Xu, J., et al. Preparation of chitosan/PLA blend micro/nanofibers by electrospinning. Materials Letters 63 (2009): 658-660.
- [16] Peesan, M., Supaphol, P., and Rujiravanit, R. Preparation and characterization of hexanoyl chitosan/poly lactide blend films. Carbohydrate Polymers 60 (2005): 343-350.
- [17] Correlo, V.M., et al. Properties of melt processed chitosan and aliphatic polyester blends. Materials Science and Engineering A403 (2005): 57-68.
- [18] Yipengchem. Sodium dioctyl sulfosuccinate [Online]. Yipengchem, 2008. Available from: <http://www.yipengchem.com/ko/577-11-7.htm> [2007]
- [19] เอกสารการวิเคราะห์สมบัติของโคโตซาน. ศูนย์วัสดุชีวภาพโคติน-โคโตซาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [20] Luckachan, G., and Pillai, C.K.S. Chitosan/oligo L-lactide graft copolymers: Effect of hydrophobic side chains on the physico-chemical properties and biodegradability. Carbohydrate Polymers 64 (2006): 254-266.
- [21] ASTM D256-02 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.
- [22] AATCC100 - Antibacterial Finishes on Textile Materials.

- [23] Peesan, T., Supaphol, P., and Rujiravanit, R. Effect of Casting Solvent on Characteristics of Hexanoyl Chitosan/Poly(lactide) Blend Films. Journal of Applied Polymer Science 105 (2007): 1844-1852.
- [24] Ezequiel, S., et al. Preparation and characterization of chitosan/poly(vinyl alcohol) chemically crosslinked blends for biomedical applications. Carbohydrate Polymers 76 (2009): 472-481.
- [25] Ming Wu, M., and Yang Wu, C. Biodegradable poly(lactic acid)/chitosan-modified montmorillonite nanocomposites: Preparation and characterization. Polymer Degradation and Stability 91 (2006): 2198-2204.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์สมบัติของไคโตซานและไฮโดรฟิสิกไคโตซาน

ตาราง ก-1 ค่าความหนืดของไคโตซาน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	% Torque	Viscosity (cps)
1	2.49	91	136.5
2	2.50	95.2	142.8
3	2.51	91	136.5
Average	2.5	92.4	138.6
S.D.	0.01	2.42	3.64

ตาราง ก-2 ความสามารถในการละลาย (solubility) ของไคโตซาน

ตัวอย่าง	A (กรัม)	B (กรัม)	C (กรัม)	% solubility
1	0.63	0.67	1.00	96.00
2	0.62	0.65	1.00	97.00
3	0.64	0.68	1.00	96.00
Average	0.63	0.67	1.00	96.33
S.D.	0.01	0.02	0.00	0.58

$$\text{ความสามารถในการละลาย (\%)} = \frac{1 - (B - A)}{C} \times 100$$

A = น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)

B = น้ำหนักส่วนที่กรองได้และกระดาศกรองหลังอบที่ 105°C นาน 24 ชั่วโมง (กรัม)

C = น้ำหนักไคโตซานเริ่มต้น (กรัม)

ตาราง ก-3 ร้อยละผลผลิตที่ได้(% yield) ของ DSS-CTS 1:3

ตัวอย่าง	CTS (กรัม)	DSS (กรัม)	DSS-CTS (กรัม)	% yield
1	10.00	30.00	30.00	75.00
2	10.00	29.98	28.56	71.44
3	10.00	30.04	29.10	72.68
Average	10.00	30.01	29.22	73.04
S.D.	0.00	0.03	0.73	1.81

$$\text{ร้อยละผลผลิตที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของผลผลิตที่ได้}}{\text{น้ำหนักของสารตั้งต้นที่ใช้}} \times 100$$

ตาราง ก-4 ร้อยละผลผลิตที่ได้(% yield) ของ DSS-CTS 1:5

ตัวอย่าง	CTS (กรัม)	DSS (กรัม)	DSS-CTS (กรัม)	% yield
1	10.00	50.00	32.00	53.33
2	10.00	50.03	31.16	51.91
3	10.00	49.97	31.43	52.41
Average	10.00	50.00	31.53	52.55
S.D.	0.00	0.03	0.43	0.72

$$\text{ร้อยละผลผลิตที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของผลผลิตที่ได้}}{\text{น้ำหนักของสารตั้งต้นที่ใช้}} \times 100$$

ตาราง ก-5 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้น

ตัวอย่าง	นน.ก่อนอบ (กรัม)	นน.หลังอบ(กรัม)	% การดูดความชื้น
CTS	10.00	9.07	9.30
DSS-CTS 3:1	10.00	9.61	3.90
DSS-CTS 1:1	10.00	9.40	6.00

$$\% \text{ การดูดความชื้น} = \frac{\text{นน.ก่อนการอบ} - \text{นน.หลังการอบ}}{\text{นน.ก่อนการอบ}} \times 100$$

ตาราง ก-6 ผลการบวมตัวในไดคลอโรมีเทน

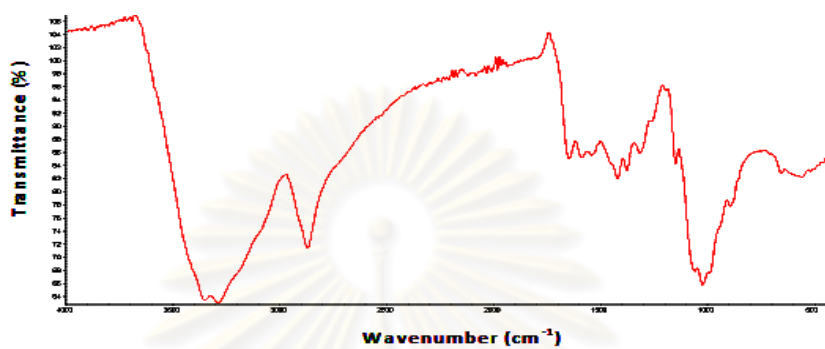
ตัวอย่าง	นน.ที่จุดบวมตัว (กรัม)	นน.แห้งตัวอย่าง (กรัม)	% การบวมตัว
DSS-CTS 3:1	7.20	1.00	62
DSS-CTS 1:1	9.30	1.00	83

$$\% \text{ การบวมตัว} = \frac{\text{นน.ตัวอย่างที่จุดบวมตัว} - \text{นน.แห้งของตัวอย่าง}}{\text{นน.แห้งของตัวอย่าง}} \times 100$$

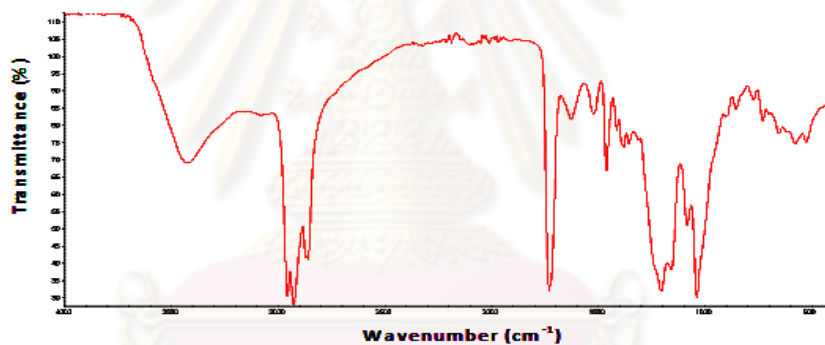
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

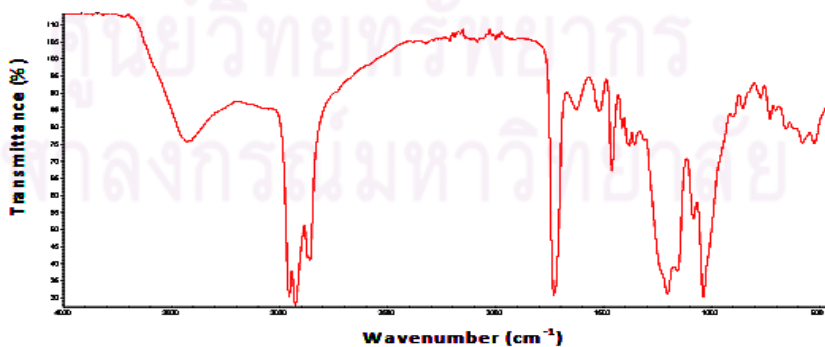
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



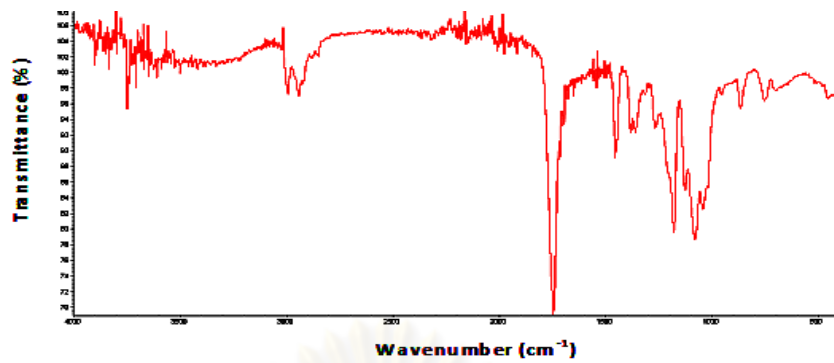
รูปที่ ข-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



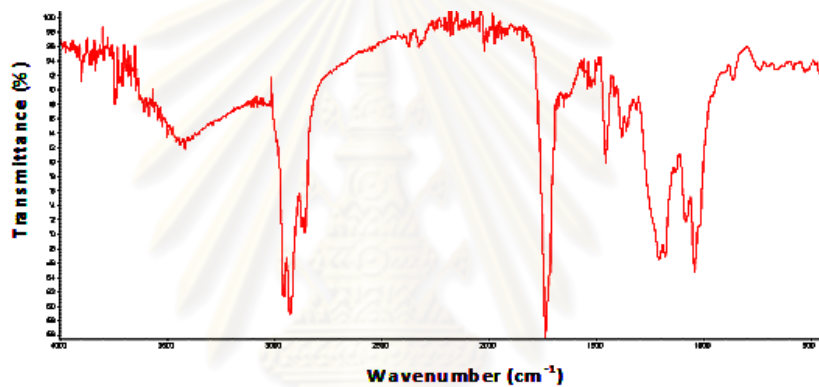
รูปที่ ข-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปร DSS-CTS ที่อัตราส่วน 3 : 1



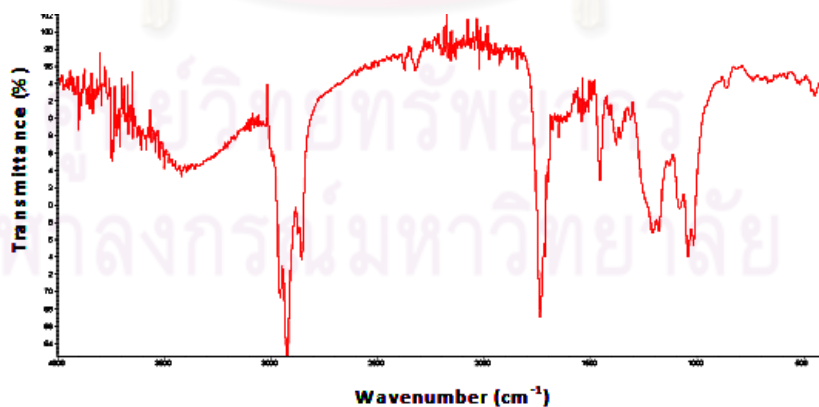
รูปที่ ข-3 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปร DSS-CTS ที่อัตราส่วน 5 : 1



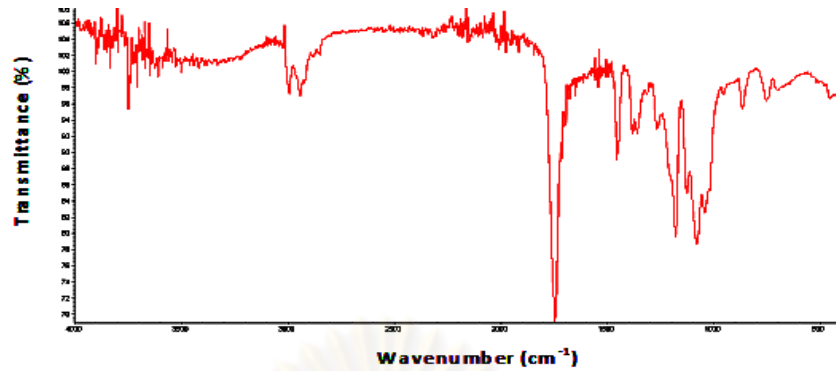
รูปที่ ข-4 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/CTS 100/0



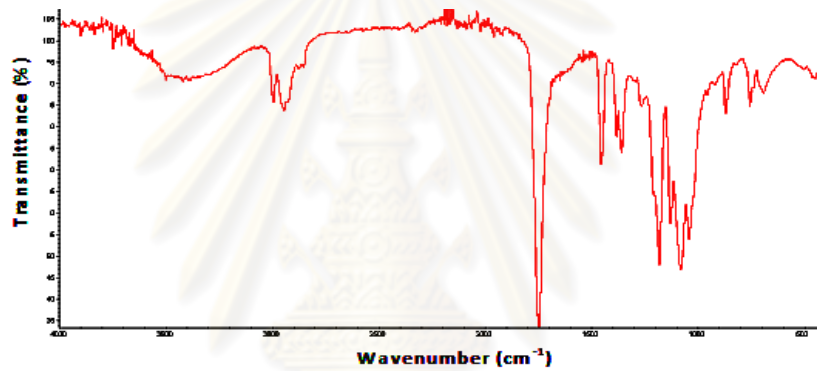
รูปที่ ข-5 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/CTS 90/10



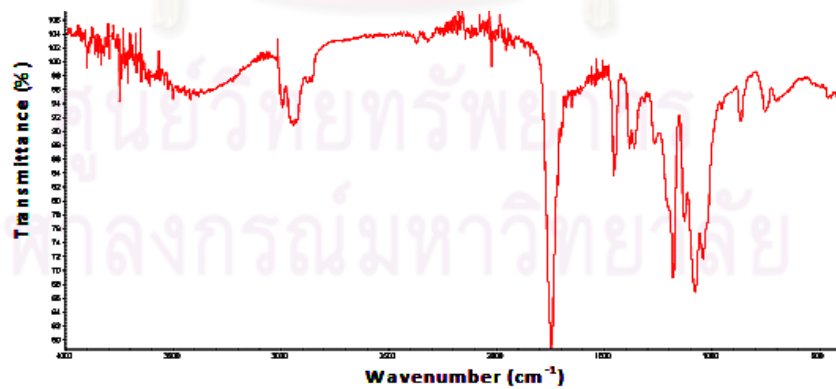
รูปที่ ข-6 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/CTS 80/20



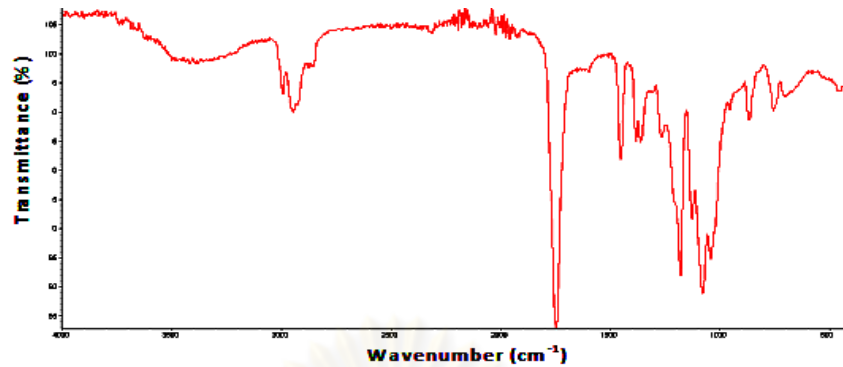
รูปที่ ข-7 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 100/0



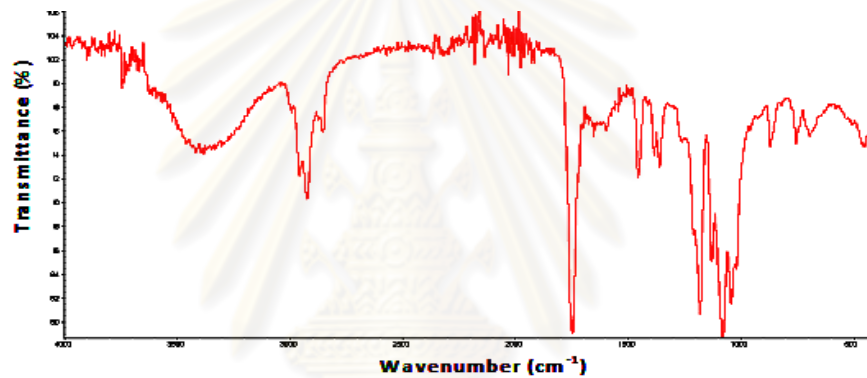
รูปที่ ข-8 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 95/5



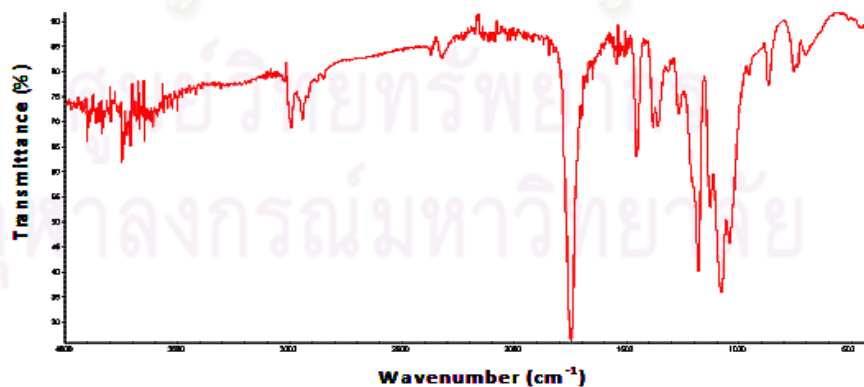
รูปที่ ข-9 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโคซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 90/10



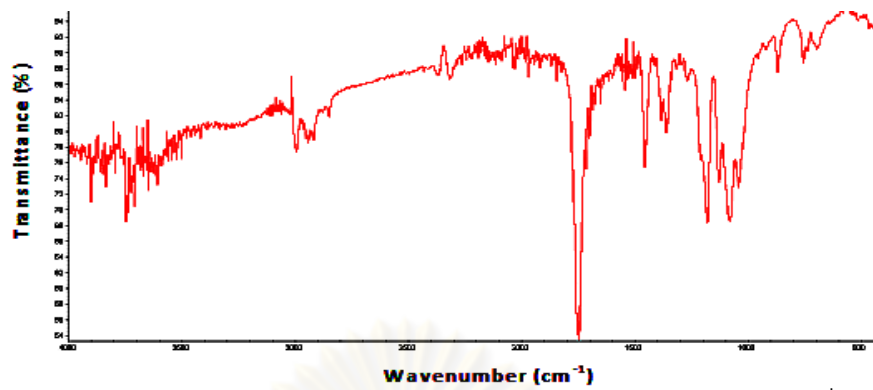
รูปที่ ข-10 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 85/15



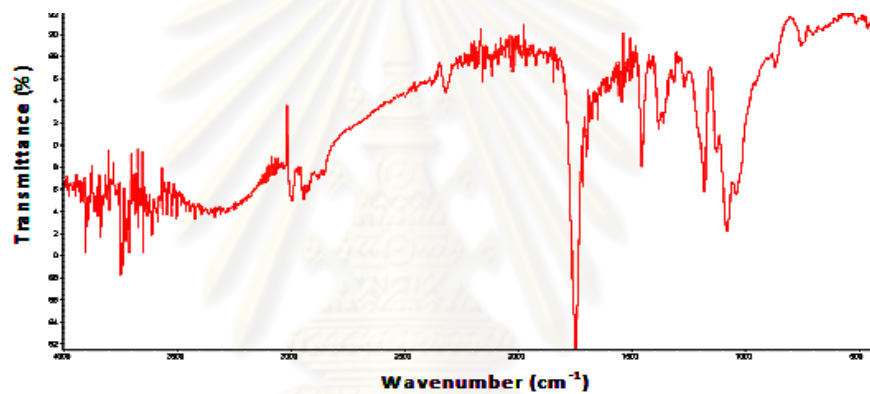
รูปที่ ข-11 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 80/20



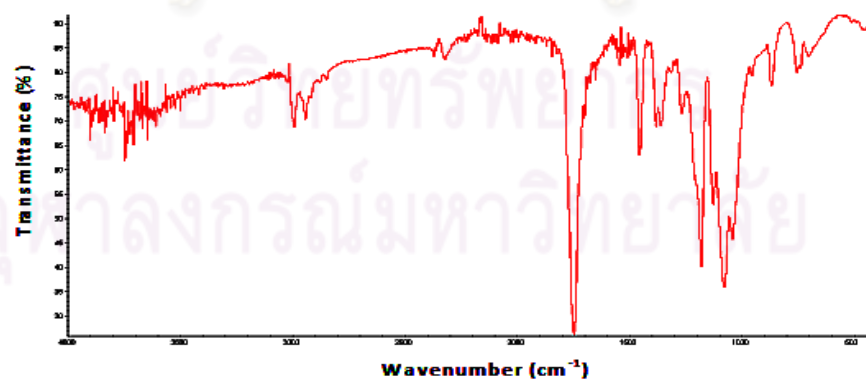
รูปที่ ข-12 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/CTS 100/0



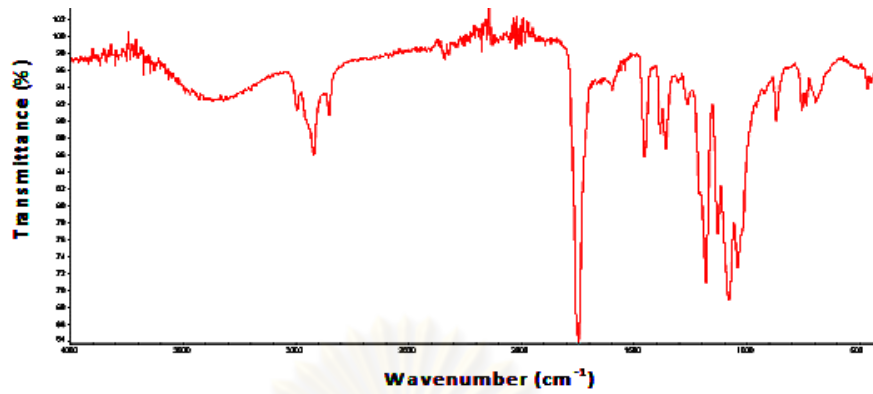
รูปที่ ข-13 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/CTS 90/10



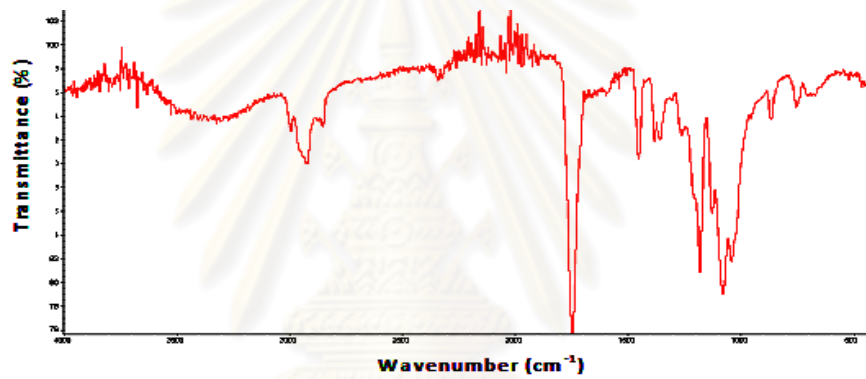
รูปที่ ข-14 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/CTS 80/20



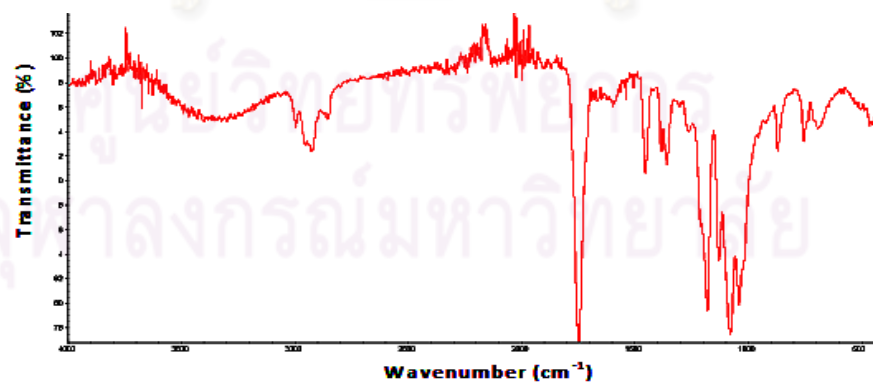
รูปที่ ข-15 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกไคโตซานที่
เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 100/0



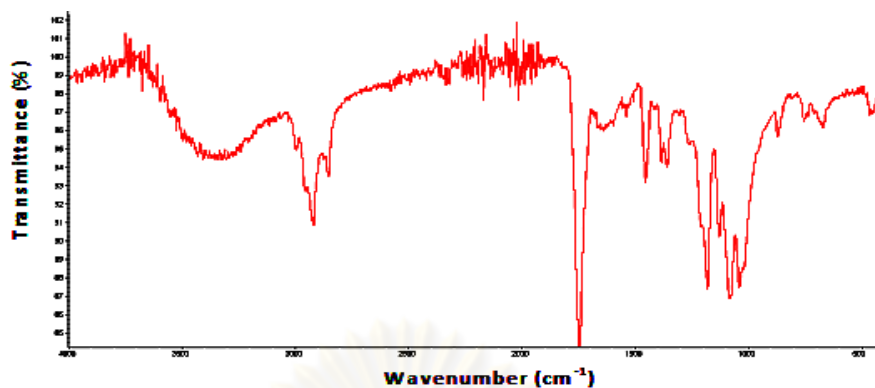
รูปที่ ข-16 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 95/5



รูปที่ ข-17 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 90/10



รูปที่ ข-18 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 85/15

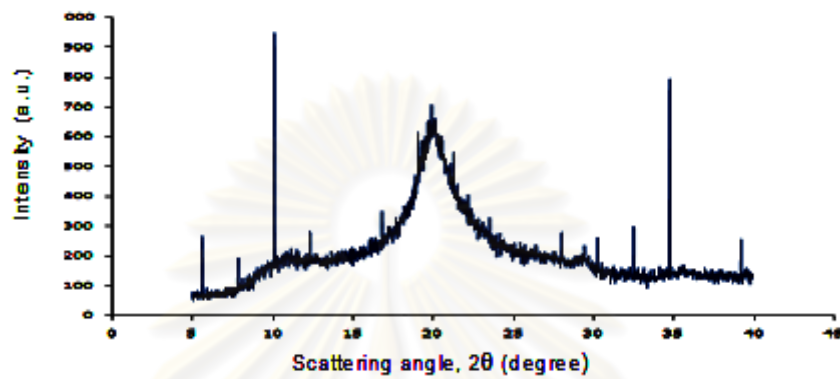


รูปที่ ข-19 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตนานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 80/20

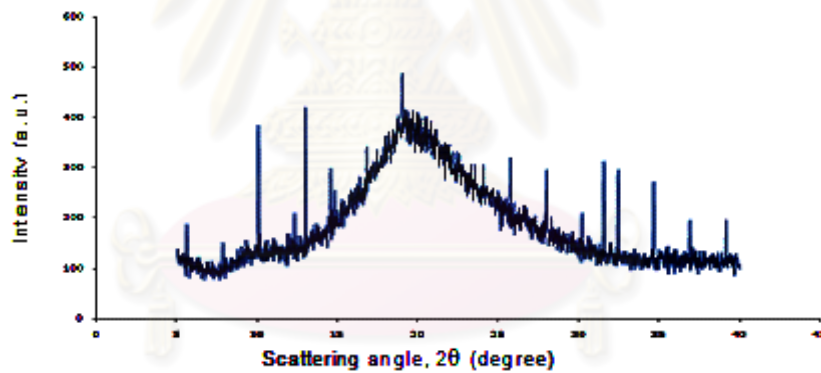
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

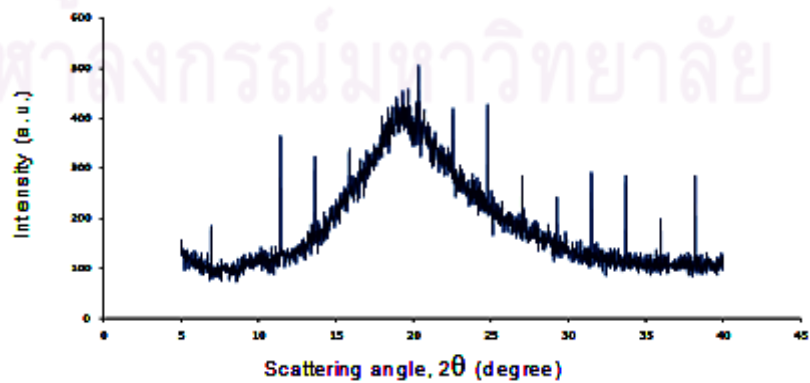
ภาคผนวก ค.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD



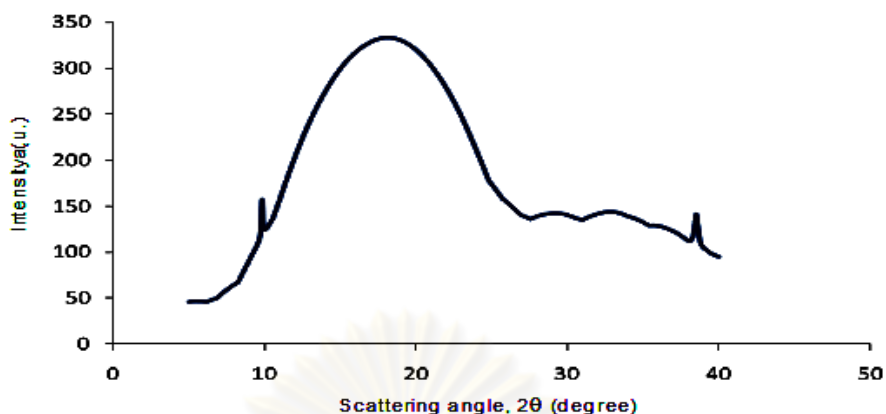
รูปที่ ค-1 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของไคโตซานที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร



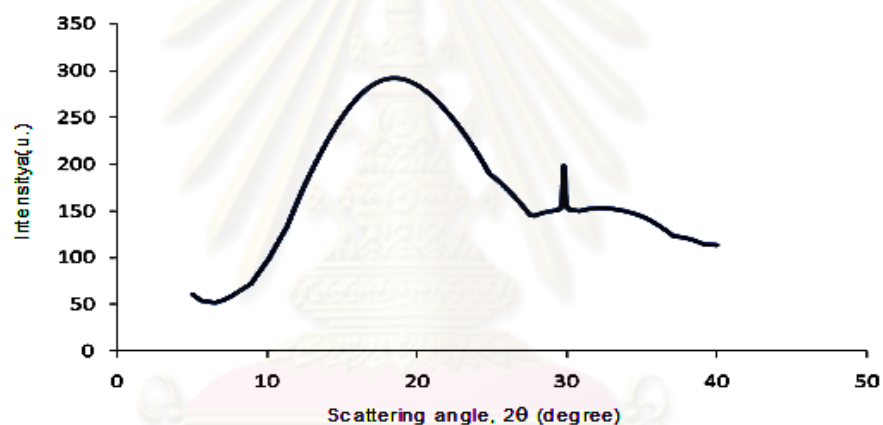
รูปที่ ค-2 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปร DSS-CTS ที่อัตราส่วน 3 : 1



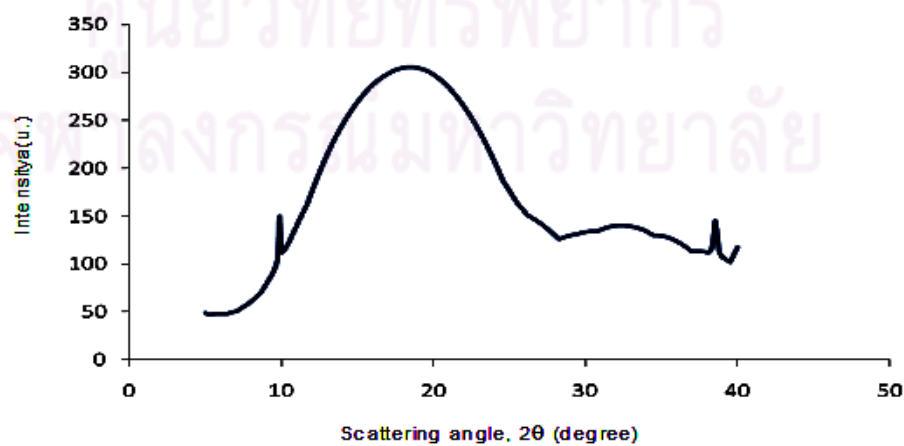
รูปที่ ค-3 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของไคโตซานที่ผ่านการดัดแปร DSS-CTS ที่อัตราส่วน 5 : 1



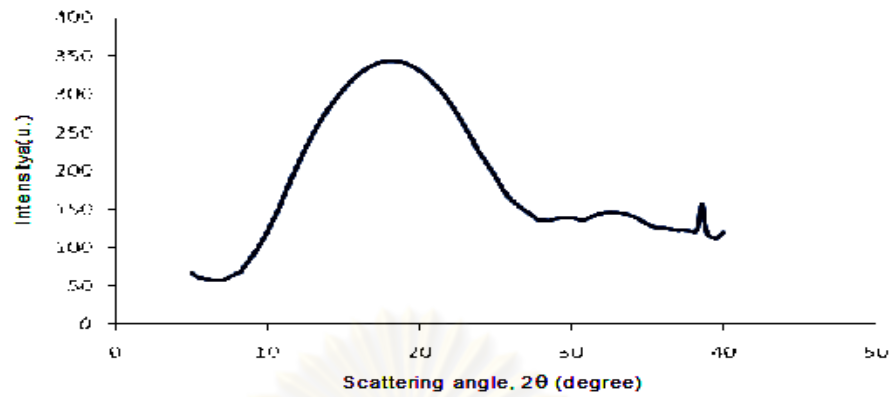
รูปที่ ค-4 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 100/0



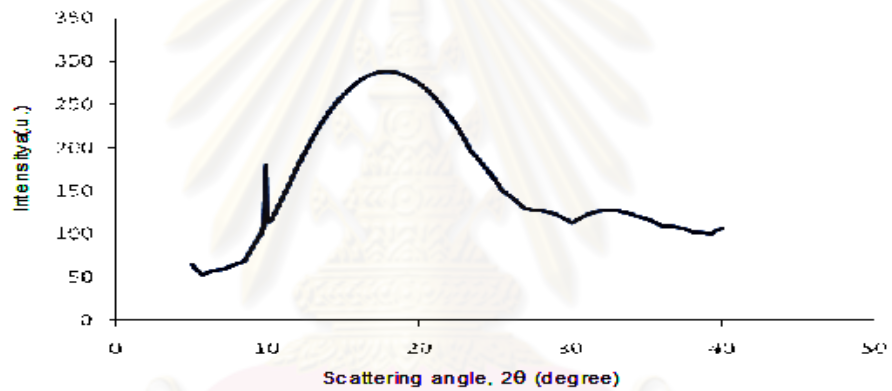
รูปที่ ค-5 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 95/5



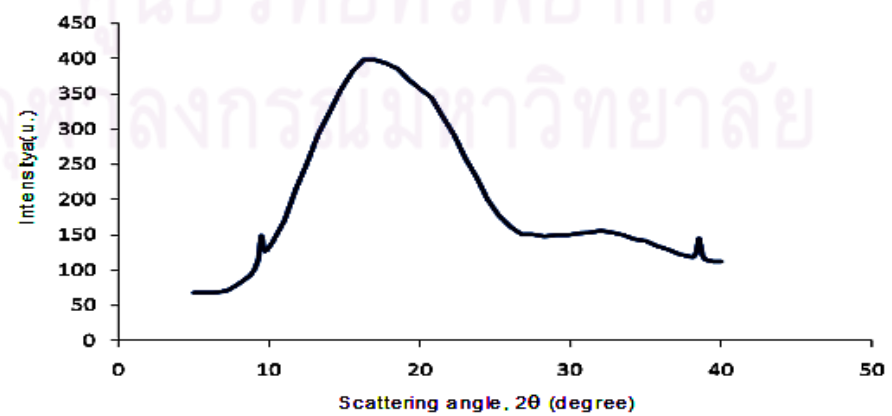
รูปที่ ค-6 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 90/10



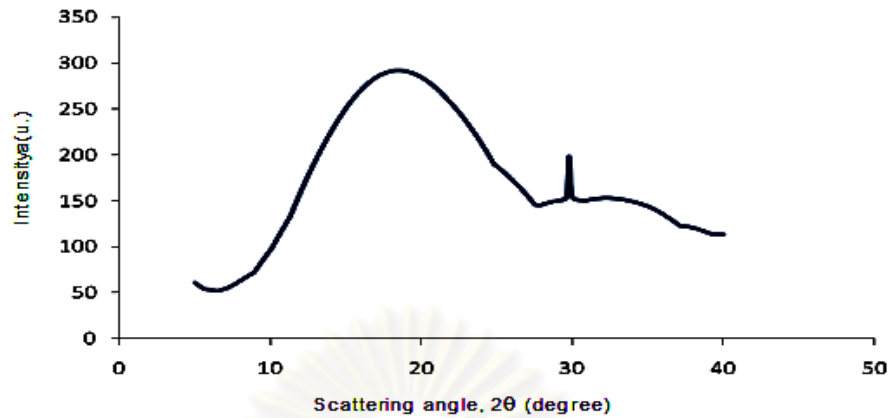
รูปที่ ค-7 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 85/15



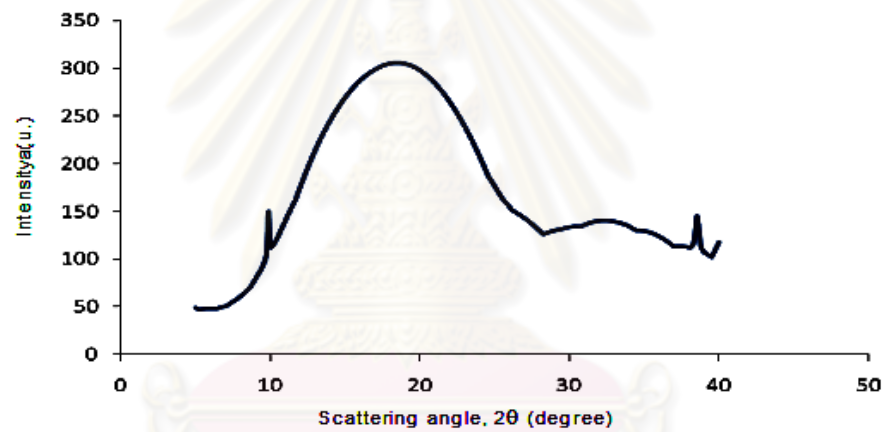
รูปที่ ค-8 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 80/20



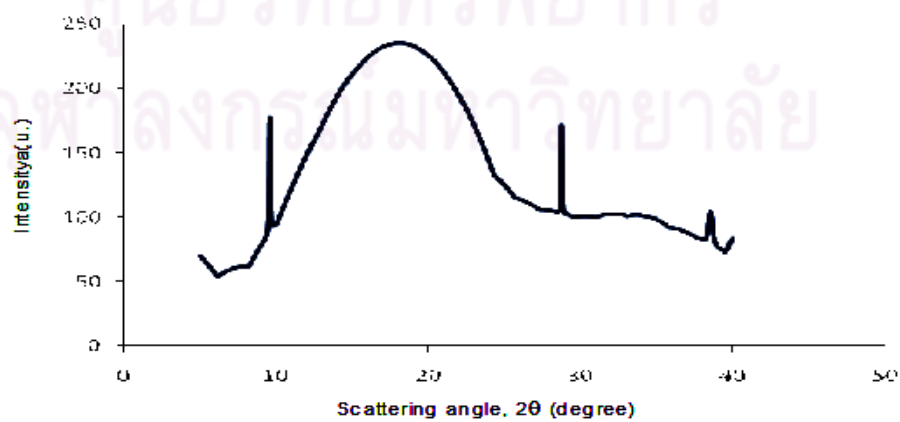
รูปที่ ค-9 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 100/0



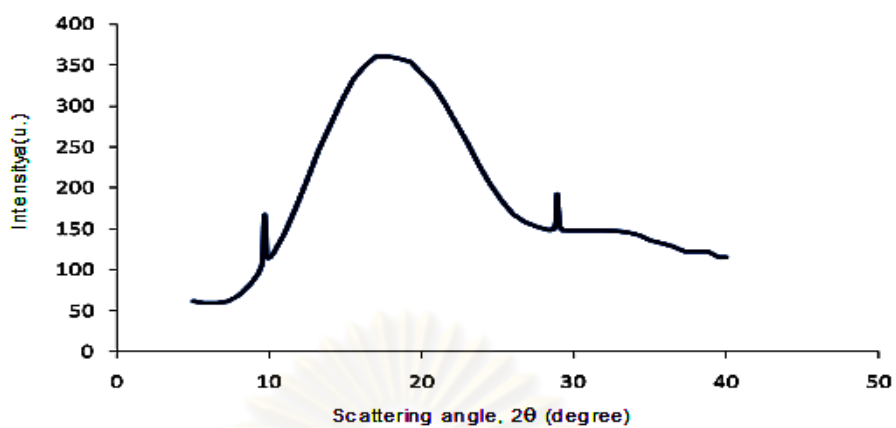
รูปที่ ค-10 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 95/5



รูปที่ ค-11 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 90/10



รูปที่ ค-12 XRD ดิฟแฟร็กโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 85/15

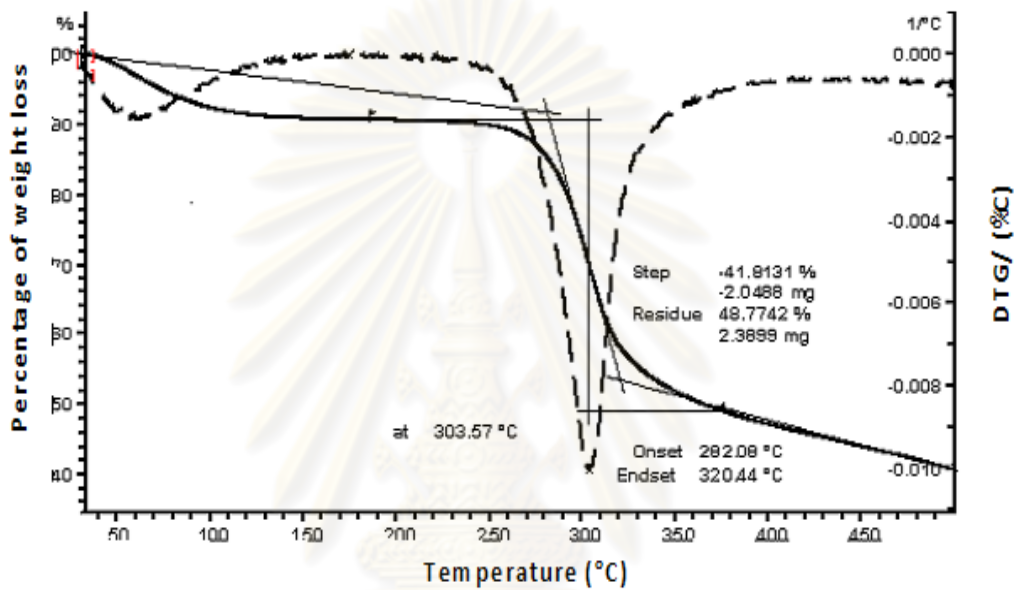


รูปที่ ค-13 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 80/20

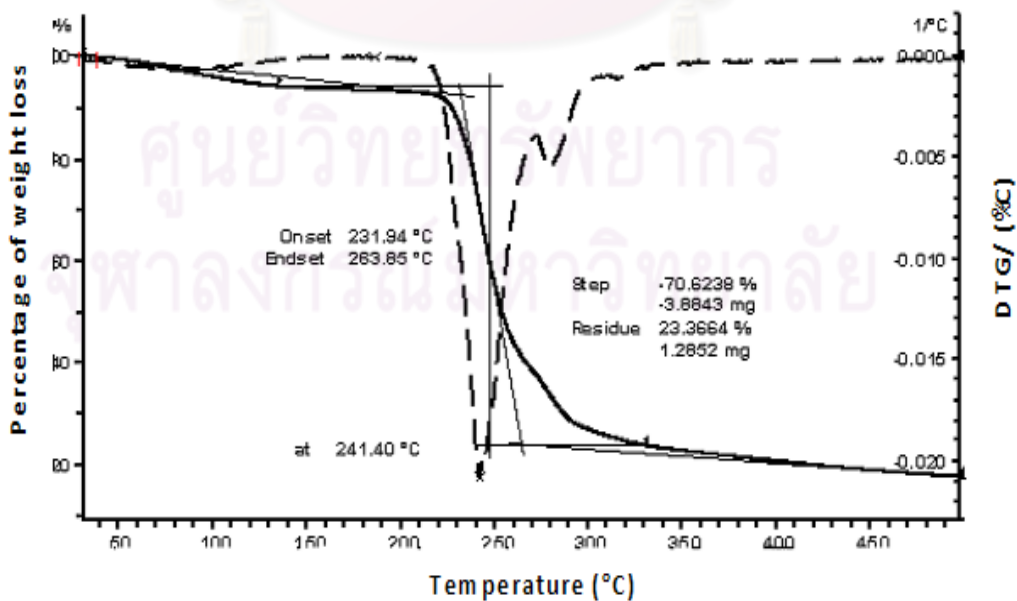
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

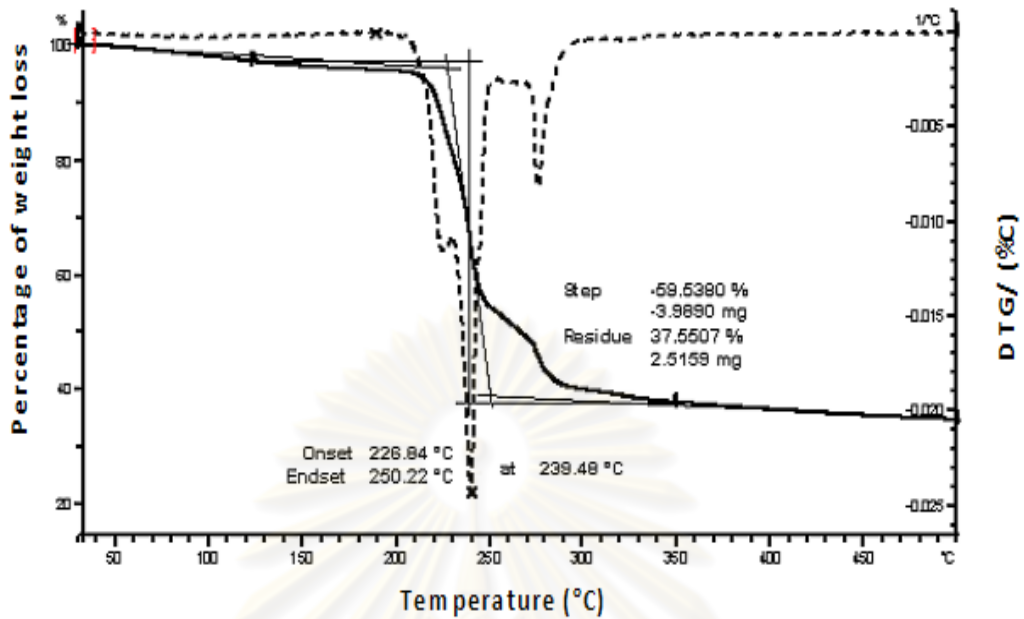
ภาคผนวก ง.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตนด้วยเทคนิค TGA และ DSC



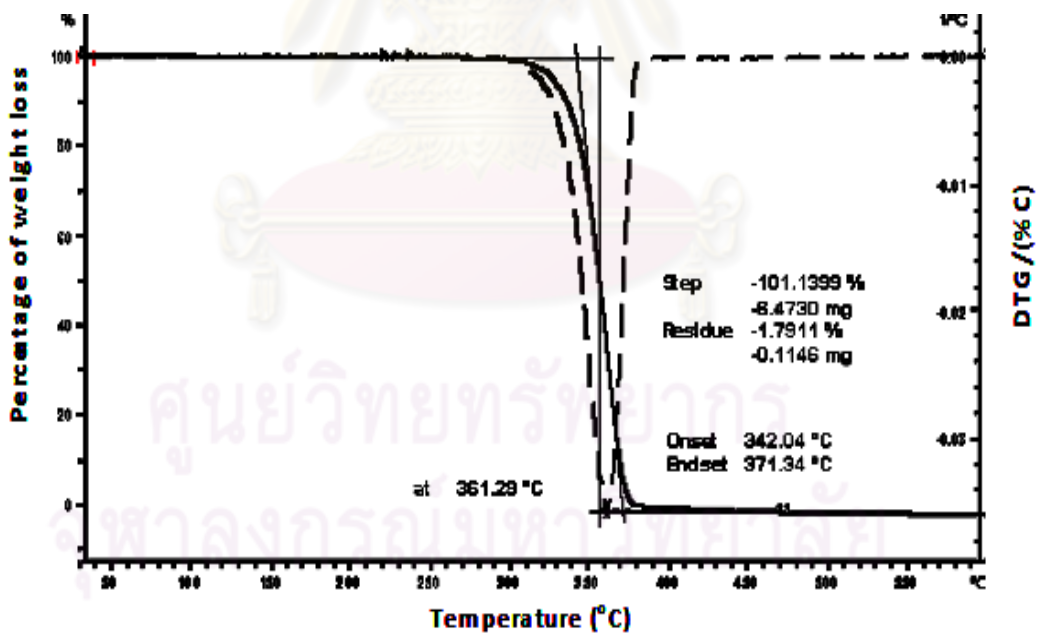
รูปที่ ง-1 TG เทอร์โมแกรมของโคโตน



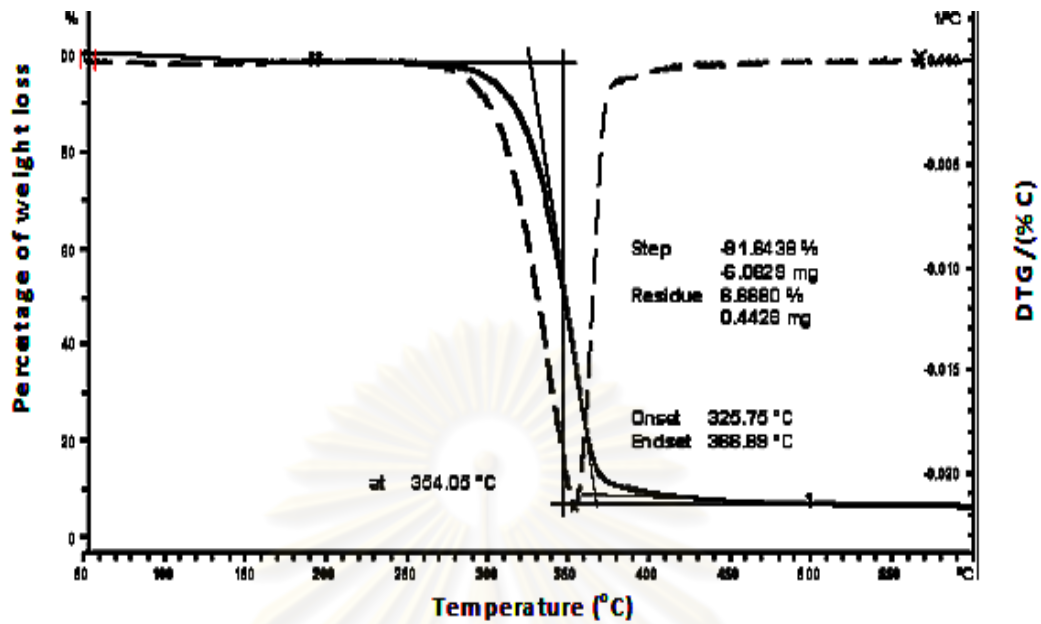
รูปที่ ง-2 TG เทอร์โมแกรมของโคโตนที่ผ่านการดัดแปร DSS-CTS ที่อัตราส่วน 3 : 1



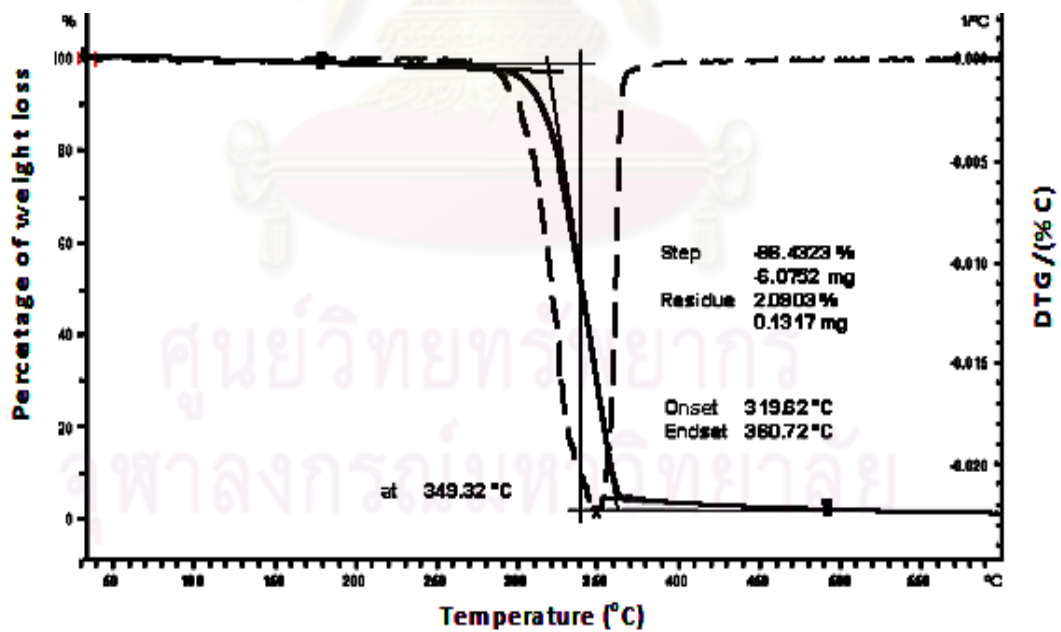
รูปที่ 3-3 TG เทอร์โมแกรมของโคโตซานที่ผ่านการดัดแปร DSS-CTS ที่อัตราส่วน 5 : 1



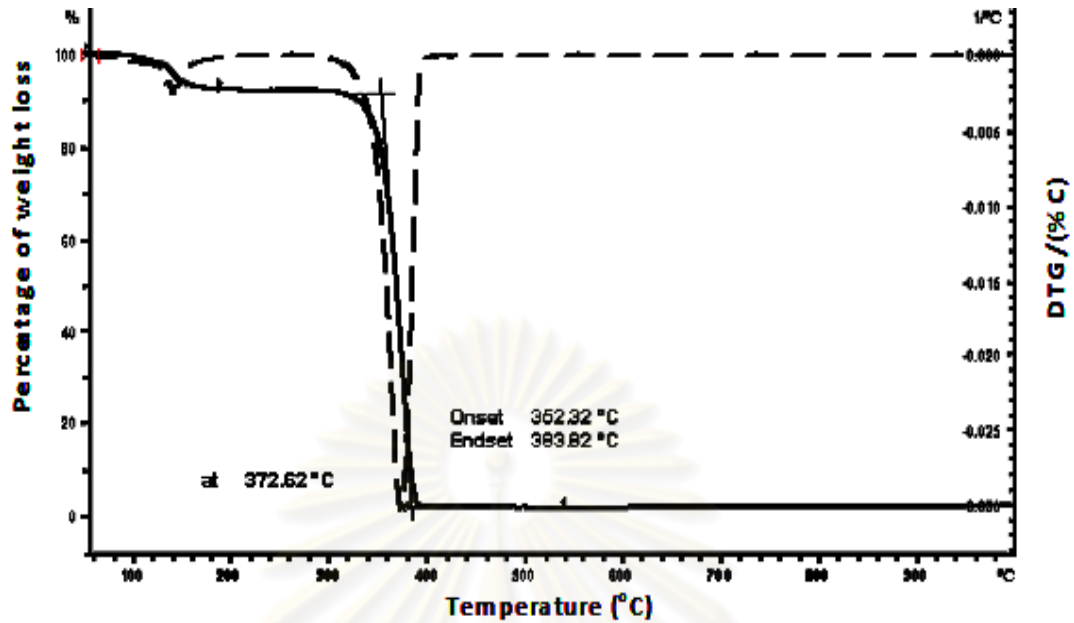
รูปที่ 3-4 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/โคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/CTS 100/0



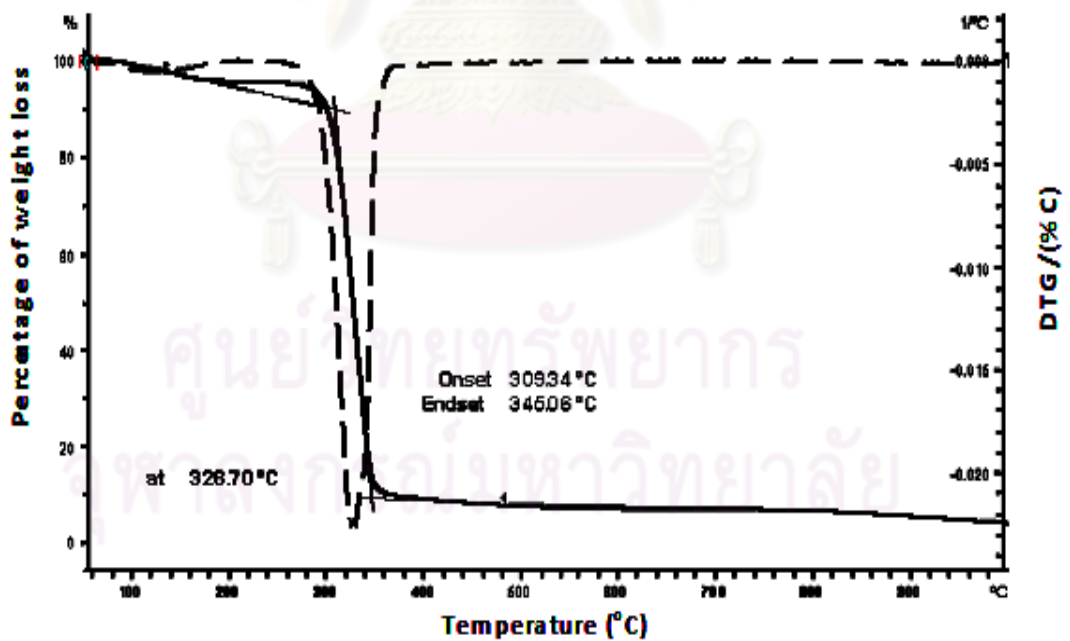
รูปที่ ๕-5 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/CTS 90/10



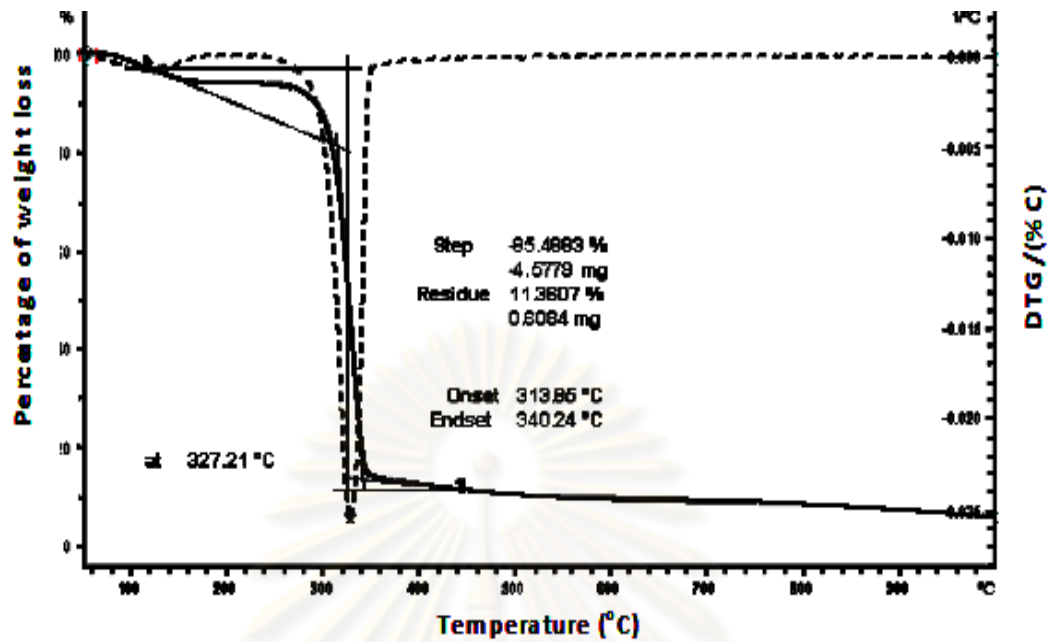
รูปที่ ๕-6 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/CTS 80/20



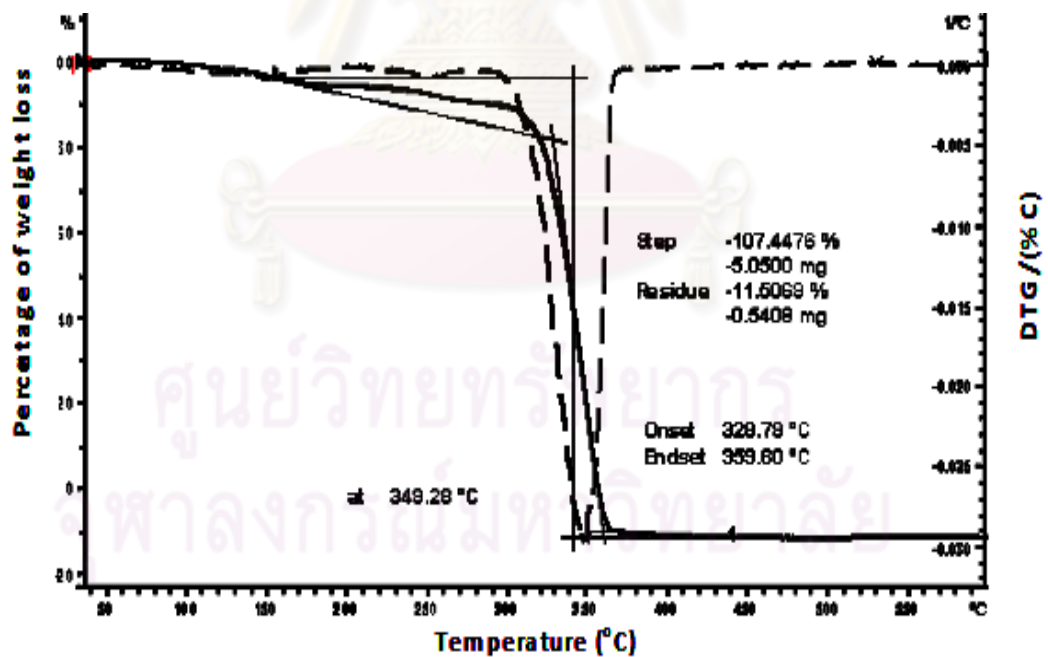
รูปที่ ๗-7 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/CTS 100/0



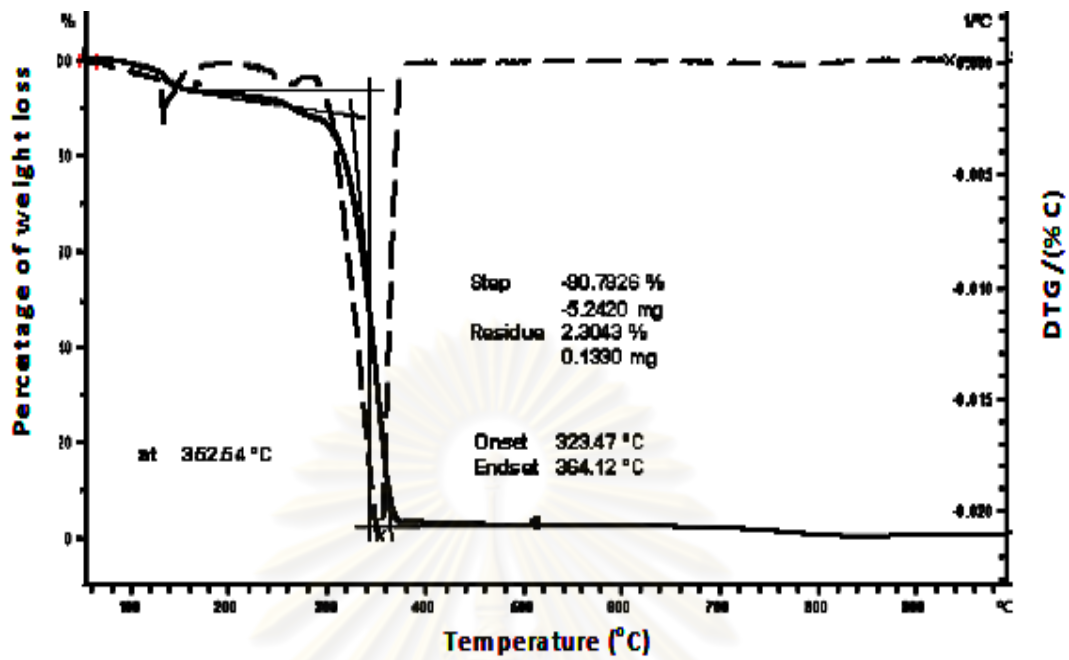
รูปที่ ๗-8 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วย
กระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/CTS 90/10



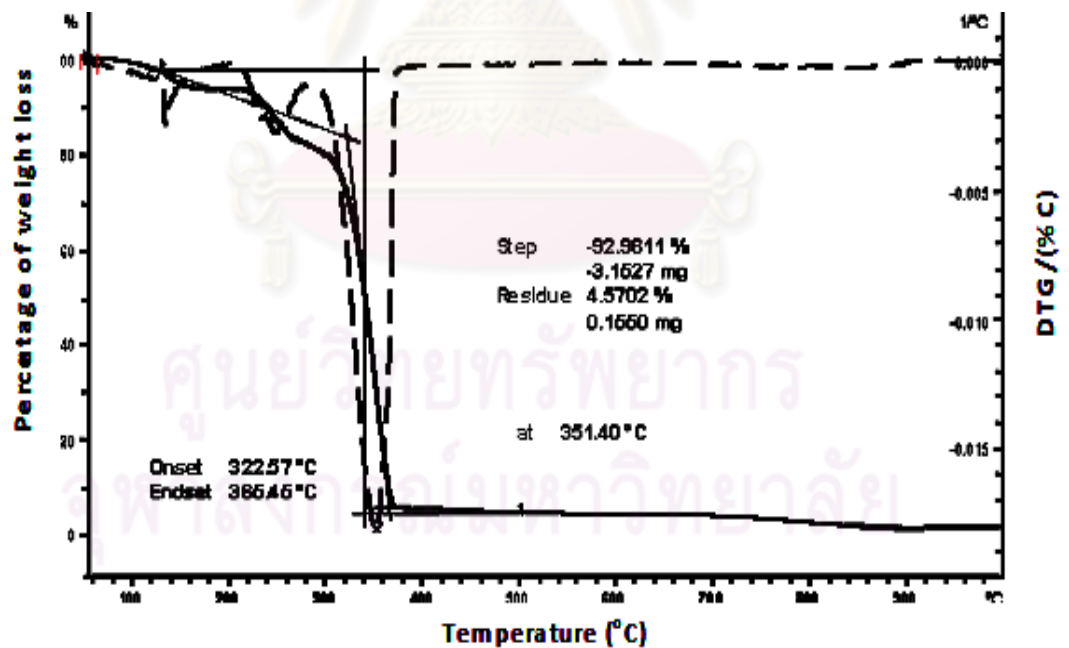
รูปที่ ง-9 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/CTS 80/20



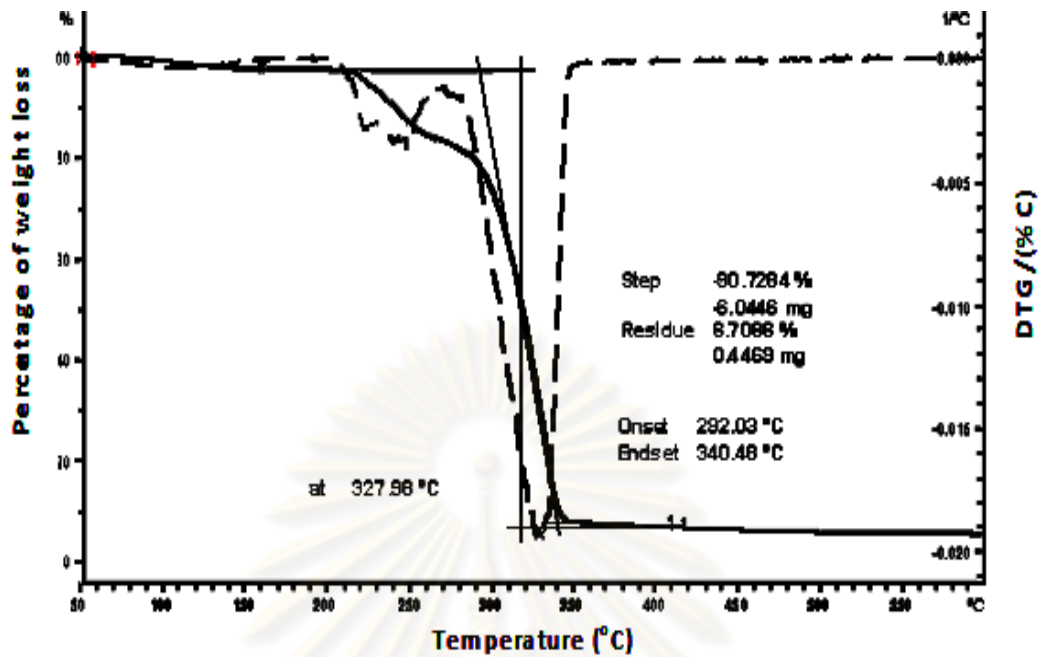
รูปที่ ง-10 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 95/5



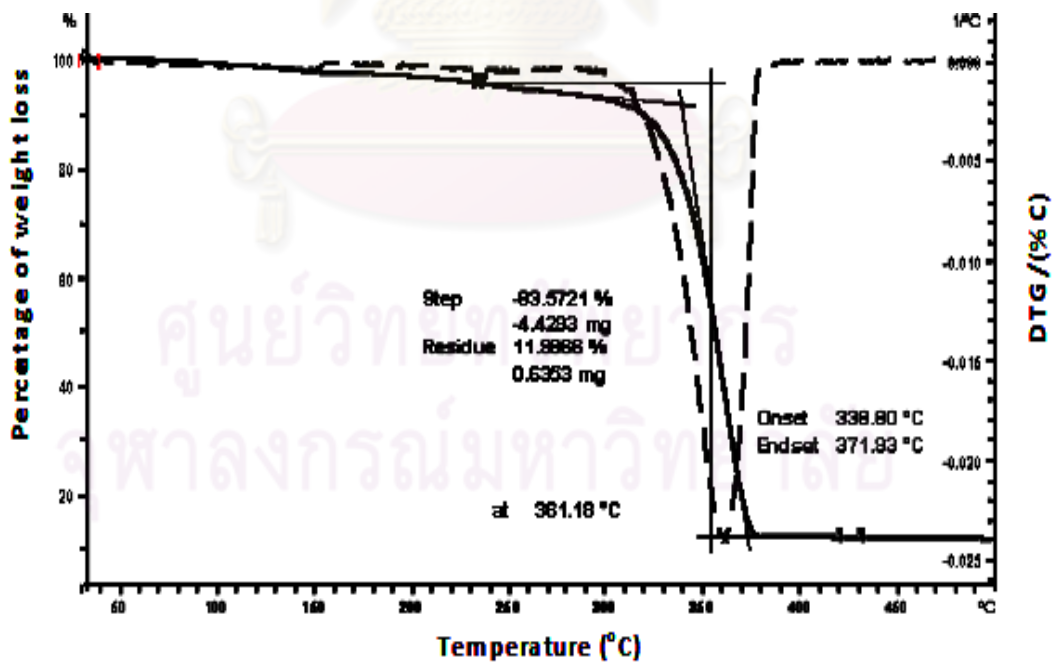
รูปที่ ง-11 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรไฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 90/10



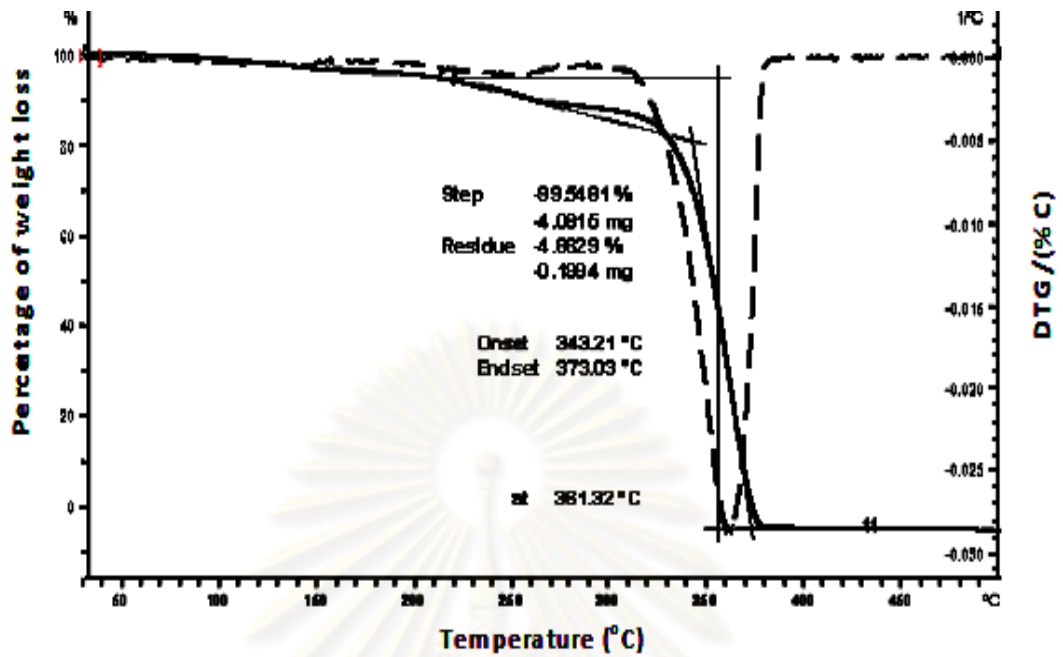
รูปที่ ง-12 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรไฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 85/15



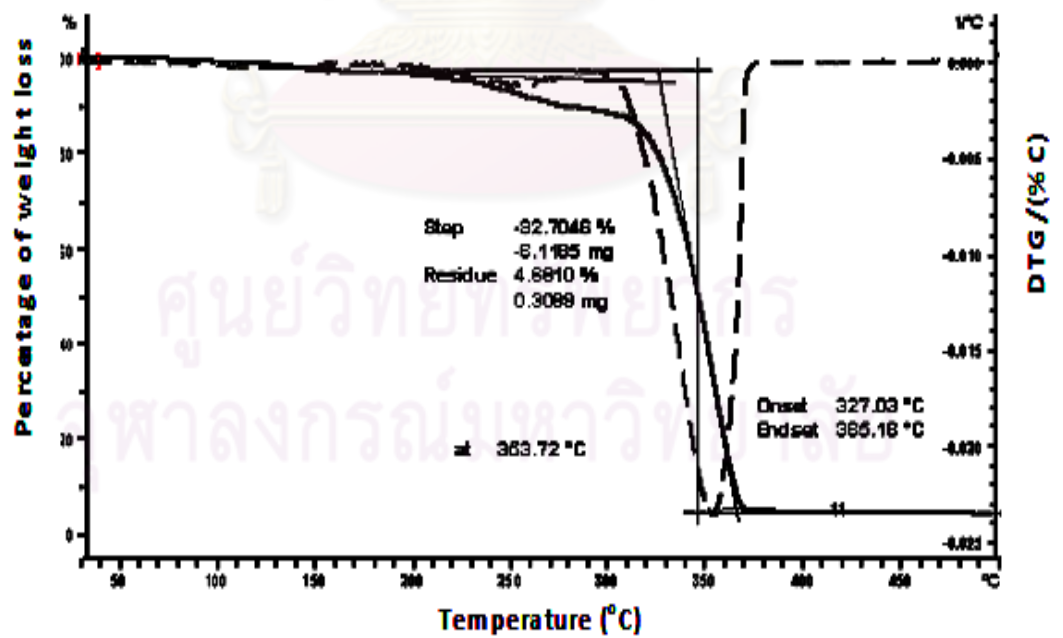
รูปที่ ๑-13 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการละลายที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 80/20



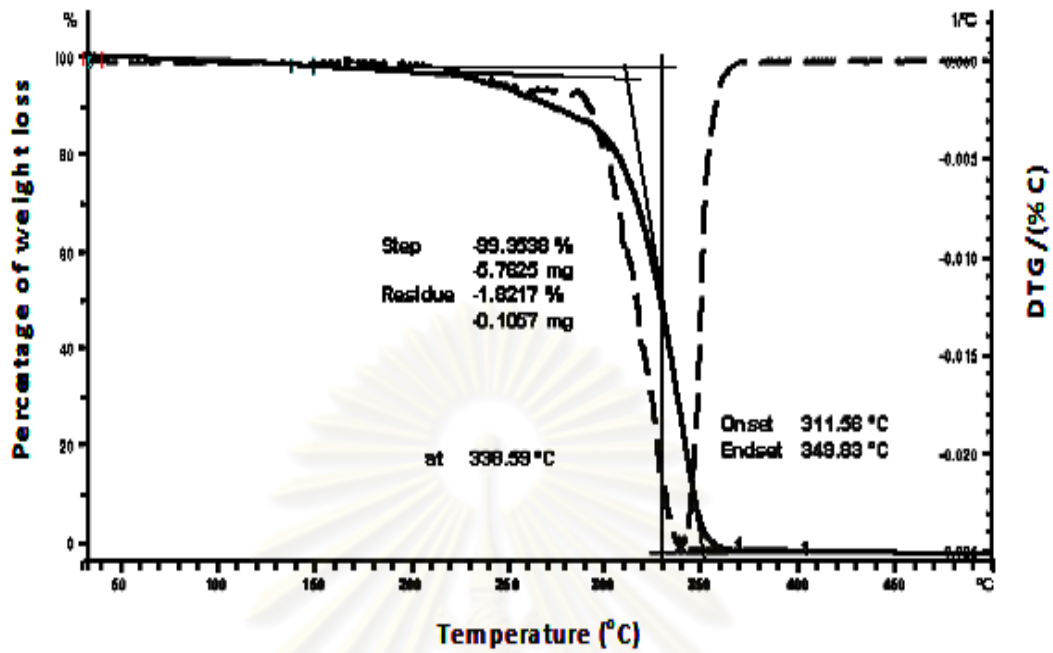
รูปที่ ๑-14 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรฟิสิกโคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 95/5



รูปที่ ง-15 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรไฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 90/10



รูปที่ ง-16 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรไฟบิกไคโตซานที่เตรียมด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 85/15



รูปที่ ง-17 TG เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซานที่เตรียม

ด้วยกระบวนการหลอมเหลวที่อัตราส่วน PLA/DSS-CTS 80/20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ. การศึกษาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด/ไฮโดรโฟบิกโคโตซาน

ภาคผนวก จ.1 สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA/DSS-CTS (3 : 1)
ที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 3 นาที

ตาราง จ-1 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 100/0

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.02	1.96	933.33
2	0.02	1.96	933.33
3	0.02	1.97	933.64
4	0.02	1.96	933.33
5	0.02	1.97	933.09
Average	0.02	1.96	933.34
S.D.	0.00	0.00	0.19

ตาราง จ-2 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 95/5

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.93	1395.23
2	0.03	2.93	1395.23
3	0.03	2.94	1400.00
4	0.03	2.94	1400.00
5	0.03	2.94	1400.00
Average	0.03	2.94	1398.09
S.D.	0.00	0.00	2.61

ตาราง ๑-3 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 90/10

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.93	1395.23
2	0.03	2.94	1400.00
3	0.03	2.94	1400.00
4	0.03	2.94	1400.00
5	0.03	2.93	1395.23
Average	0.03	2.94	1398.09
S.D.	0.00	0.00	2.61

ตาราง ๑-4 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 85/15

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.04	3.48	1641.50
2	0.04	3.82	1728.50
3	0.04	3.84	1706.66
4	0.04	3.91	1801.84
5	0.04	3.48	1641.50
Average	0.04	3.71	1704.00
S.D.	0.00	0.21	67.07

ตาราง ๑-5 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 80/20

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.07	6.81	3266.66
2	0.06	5.88	2800.00
3	0.06	5.92	2805.68
4	0.06	5.92	2805.68
5	0.06	5.88	2800.00
Average	0.06	6.08	2895.60
S.D.	0.00	0.66	207.45

ภาคผนวก จ.2 สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA/DSS-CTS (3 : 1)
ที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 5 นาที

ตาราง จ-6 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 100/0

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.02	1.95	898.61
2	0.02	1.96	933.33
3	0.02	1.97	938.09
4	0.02	1.96	933.33
5	0.02	1.96	933.33
Average	0.02	1.96	927.33
S.D.	0.00	0.00	16.19

ตาราง จ-7 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 95/5

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.02	1.95	928.57
2	0.02	1.96	933.33
3	0.02	1.95	928.57
4	0.02	1.95	928.57
5	0.02	1.96	933.33
Average	0.02	1.95	930.47
S.D.	0.00	0.00	2.61

ตาราง จ-8 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 90/10

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.71	1204.44
2	0.02	1.97	938.09
3	0.03	2.71	1204.44
4	0.03	2.65	1177.77
5	0.03	2.65	1177.77
Average	0.03	2.54	1140.50
S.D.	0.00	0.32	113.93

ตาราง จ-9 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 85/15

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.92	1297.77
2	0.03	2.88	1280.00
3	0.03	2.71	1290.47
4	0.03	2.87	1292.79
5	0.03	2.71	1290.47
Average	0.03	2.82	1290.30
S.D.	0.00	0.10	6.48

ตาราง จ-10 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 80/20

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.92	1297.77
2	0.03	2.71	1290.47
3	0.03	2.71	1220.72
4	0.03	2.88	1297.29
5	0.03	2.71	1290.47
Average	0.03	2.79	1279.34
S.D.	0.00	0.11	32.96

ภาคผนวก จ.3 สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA/DSS-CTS (5 : 1)
ที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 3 นาที

ตาราง จ-11 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 100/0

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.02	1.96	933.33
2	0.02	1.96	933.33
3	0.02	1.97	933.64
4	0.02	1.96	933.33
5	0.02	1.97	933.09
Average	0.02	1.96	933.34
S.D.	0.00	0.00	0.19

ตาราง จ-12 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 95/5

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.71	1193.83
2	0.03	2.66	1171.80
3	0.03	2.66	1171.80
4	0.03	2.66	1171.80
5	0.03	2.65	1177.77
Average	0.03	2.67	1177.40
S.D.	0.00	0.02	9.54

ตาราง ๑-13 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 90/10

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.66	1198.19
2	0.03	2.71	1204.44
3	0.03	2.60	1171.17
4	0.03	2.60	1171.17
5	0.03	2.66	1198.19
Average	0.03	2.65	1188.63
S.D.	0.00	0.05	16.14

ตาราง ๑-14 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 85/15

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.88	1280.00
2	0.03	2.88	1280.00
3	0.03	2.92	1297.77
4	0.03	2.71	1220.72
5	0.03	2.71	1220.72
Average	0.03	2.82	1259.84
S.D.	0.00	0.10	36.44

ตาราง ๑-15 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 80/20

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.93	1388.62
2	0.03	2.97	1414.28
3	0.03	3.26	1545.02
4	0.03	2.94	1393.86
5	0.03	2.97	1414.28
Average	0.03	3.01	1431.21
S.D.	0.00	0.14	64.68

ภาคผนวก จ.4 สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม PLA/DSS-CTS (5 : 1)
ที่ขึ้นรูปเป็นเวลา 5 นาที

ตาราง จ-16 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 100/0

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.02	1.95	898.61
2	0.02	1.96	933.33
3	0.02	1.97	938.09
4	0.02	1.96	933.33
5	0.02	1.96	933.33
Average	0.02	1.96	927.33
S.D.	0.00	0.00	16.19

ตาราง จ-17 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 95/5

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.71	1220.72
2	0.03	2.71	1199.11
3	0.02	1.95	942.02
4	0.02	1.95	928.57
5	0.02	1.94	933.64
Average	0.02	2.52	1044.81
S.D.	0.00	0.42	150.99

ตาราง จ-18 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 90/10

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.02	1.97	933.64
2	0.02	1.97	938.09
3	0.02	1.95	942.02
4	0.02	1.95	898.61
5	0.03	2.60	1171.17
Average	0.02	2.10	976.71
S.D.	0.00	0.29	110.07

ตาราง จ-19 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 85/15

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.87	1292.79
2	0.03	2.70	1200.00
3	0.03	2.71	1199.11
4	0.03	2.60	1171.17
5	0.03	2.66	1171.80
Average	0.03	2.71	1206.97
S.D.	0.00	0.10	49.99

ตาราง จ-20 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมปริมาณ PLA/DSS-CTS 80/20

sample	Impact strength		
	J	J/m	J/m ²
1	0.03	2.66	1254.71
2	0.03	2.71	1290.47
3	0.03	2.70	1200.00
4	0.03	2.60	1171.17
5	0.03	2.60	1171.17
Average	0.03	2.65	1217.50
S.D.	0.00	0.05	53.17

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เพียงรวี นกน้อย เกิดวันที่ 25 สิงหาคม 2528 ที่จังหวัดพัทลุง จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ภาควิชาพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา พ.ศ. 2550 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปีการศึกษา 2553



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย