



ผลกระทบของสารโคโตซานต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อน
ของฟิล์มพลาสติกชีวภาพพีบีเอสเอที่ผ่านการขึ้นรูปซ้ำ

โดย

โสเมธิตา ลิขิตเลิศ

บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์

กุลนิดา เทพทิม

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2561

Effect of Chitosan on Mechanical Properties and Thermal Properties of Reprocessed PBSA Biodegradable Film

By

Somthida Likhitlert

Bawornkit Nekhamanurak

Kulnida Taptim

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2018

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและบุคคลหลาย ๆ ท่าน ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-ราชมงคลรัตนโกสินทร์ ซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่พิจารณาอนุมัติงบประมาณโครงการวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนาที่อำนวยความสะดวกทางด้านเอกสารต่าง ๆ

ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ทุกท่านที่ให้ความช่วยสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย และให้คำปรึกษาต่าง ๆ ทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

โสเมธิตา ลิขิตเลิศ และคณะ

สิงหาคม 2562

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A71/2560

ชื่อโครงการ : ผลกระทบของสารโคโตซานต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพลาสติกชีวภาพพีบีเอสเอที่ผ่านการขึ้นรูปซ้ำ

ชื่อนักวิจัย : นางสาวโสเมธิดา ลิขิตเลิศ, ดร.บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์ และดร.กุลนิตา เทพทิม

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณการเติมโคโตซานในพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (พีบีเอสเอ) และ จำนวนรอบของการรีไซเคิลที่มีผลต่อสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และ ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ Escherichia coli (E.coli) และ Staphylococcus aureus (S.aureus) โคโตซาน/พีบีเอสเอ ถูกผสม และ ขึ้นรูปซ้ำด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ ขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยเครื่องเป่าลมขึ้นรูป จากผลการทดลองพบว่าการเติมโคโตซานที่ 1000 และ 2000 ppm ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีการไหล และ อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ เมื่อทดสอบฟิล์ม โคโตซาน/พีบีเอสเอ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ไม่พบหมู่ฟังก์ชันของโคโตซาน ปริมาณการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการเติมโคโตซาน เช่นเดียวกับในด้านสมบัติเชิงกลพบว่าค่ามอดูลัสของยังและความทนทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มปริมาณโคโตซาน นอกจากนี้การเติมโคโตซานที่ปริมาณ 1000 ppm ทำให้ ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้นและมีค่าลดลง เมื่อเติมโคโตซานที่ปริมาณ 2000 ppm สำหรับจำนวนรอบของการรีไซเคิลมีผลต่อค่าดัชนีการไหลเพียงอย่างเดียว และ ในส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียแบบการทดสอบการเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อ พบว่าโคโตซาน/พีบีเอสเอ ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้

คำสำคัญ : โคโตซาน พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต การขึ้นรูปซ้ำ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

E-mail address : somthida.lik@rmutr.ac.th

Project Duration : ตุลาคม 2560 – กันยายน 2561

Abstract

Code of project : A71/2561

Project name : Effect of Chitosan on Mechanical Properties and Thermal Properties of Reprocessed PBSA Biodegradable Film

Researchers name : Miss Somthida Likhitlert, Bawornkit Nekhamanurak, Ph.D.,
Kulnida Taptim, Ph.D.

This research was to study the effect of chitosan in polybutylene succinate-co-adipate (PBSA) and the number of recycles on the mechanical and thermal properties, as well as antibacterial performance. The antibacterial performance of hybrid materials: chitosan/ PBSA was against both *Escherichia coli* (E.coli) and *Staphylococcus aureus* (S.aureus). Chitosan/ PBSA were mixed and reprocessed by twin screw extruder. The bioplastic compounds were processed into film form by blown film extruder. Adding chitosan 1000 and 2000 ppm did not affect to melt flow index and degradation temperature. Chitosan/PBSA film cannot show significant functional group of chitosan by ATR-FTIR. Degree of crystallinity was slightly reduced when added chitosan in PBSA. Similarly to mechanical properties, Young's modulus and tensile strength of chitosan/PBSA was decreased when increase in chitosan content. Impact resistance of PBSA was increased by the addition of 1000 ppm chitosan while it was decreased when 2000 ppm of chitosan was added. The number of recycles affects to melt flow index only. The antibacterial performance was evaluated. Bacterial inhibitions of chitosan/PBSA were not found in halo test.

Keywords: Chitosan, Polybutylene succinate-co-adipate, Reprocess, Biodegradable film

E-mail address : somthida.lik@rmutr.ac.th

Project Duration : October 2017 – September 2018

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
1.4 นิยามคำศัพท์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเปต (Polybutylene succinate-co-adipate, PBSA)	5
2.2 ไคตินและไคโตซาน (Chitin and Chitosan).	6
2.3 ความรู้พื้นฐานด้านแบคทีเรียและการยับยั้ง/ทำลายจุลินทรีย์	10
2.4 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้	15
2.5 กระบวนการอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extrusion)	16
2.6 กระบวนการอัดรีดแบบเป่าถุง (Blown film extrusion)	17
2.7 สมบัติทางกายภาพ	18
2.8 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	23
2.9 การทดสอบสมบัติทางกล	25
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	31
3.1 วัสดุ/อุปกรณ์/เครื่องมือ...	31
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	32
3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปพอลิเมอร์	33
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสม	35
3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน	37
3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม	39
3.7 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย	42

บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	45
	4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมทางการไหล Melt flow index (MFI)	45
	4.2 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Attenuated total refec fourier transform infrared (ATR - FTIR)	46
	4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	48
	4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกล	51
	4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย	54
บทที่ 5	สรุปผล และข้อเสนอแนะ	56
	5.1 สรุปผลการวิจัย	56
	5.2 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม		58
ประวัติผู้วิจัย		65



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	การผสมพอลิเมอร์ polybutylene succinate-co-adipate (PBSA) กับ chitosan และนำไปรีไซเคิลของทุกสูตรการผสม	32
4-1	ค่า T_{m2} และค่า % crystal ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสม ไคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซาน ที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)	50
4-2	ค่าความเสถียรภาพทางความร้อน ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสม ไคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่ อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 3 (ex3)	51

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1-1	กรอบแนวคิดและแผนผังการทำงานวิจัย)	3
2-1	สูตรโครงสร้างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเฟต	5
2-2	การย่อยสลายผ่านกระบวนการ Hydrolytic degradation ของ PBS และ PBSA	5
2-3	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และ ไคโตซาน	6
2-4	ตัวอย่างรูปร่างโดยทั่วไปของแบคทีเรีย (ก) แบคทีเรียทรงกลม (ข) แบคทีเรียทรงกระบอก (ค) แบคทีเรียทรงเกลียว	11
2-5	โครงสร้างโดยทั่วไปของแบคทีเรีย	12
2-6	โครงสร้างองค์ประกอบของเซลล์โพรคาริโอตและเซลล์ยูคาริโอต	13
2-7	รายละเอียดโครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ	13
2-8	เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)	17
2-9	กระบวนการอัดรีดแบบเป่าถุง (Blown film extrusion)	18
2-10	การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI)	19
2-11	ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR spectrometer	20
2-12	เครื่อง Fourier transform infrared, FTIR	21
2-13	การทดสอบการเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อ (Halo test)	22
2-14	เครื่อง Differential scanning calorimeters (DSC)	24
2-15	เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)	25
2-16	เครื่อง Universal testing machine	26
2-17	เครื่อง Dart drop impact	27
3-1	แผนผังแสดงขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-2	ตัวอย่างงาน ทั้ง 9 สูตร	34
3-3	แผนผังแสดงขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blown film extrusion)	35
3-4	เครื่องทดสอบดัชนีการไหล	35
3-5	เครื่องตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Attenuated total reflection fourier transform infrared (ATR - FTIR)	36
3-6	เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC)	37
3-7	เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)	38
3-8	เครื่องทดสอบการทนทานต่อแรงดึง	39
3-9	ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนทานต่อแรงดึง	40
3-10	เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก	41
3-11	ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก	41
4-1	ค่าดัชนีการไหลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ที่ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ที่ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)	45
4-2	ภาพจากการทดสอบ Attenuated total reflection fourier transform infrared (ATR - FTIR) (ก) ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA), (ข) ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของไคโตซาน, (ค) ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)	47

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-3	(ก) ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC แสดงพีคของการสลายตัวของโครงสร้างผลึกซึ่งเกิดจากการให้แรงดึงขณะขึ้นรูป (ข) ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) (ค) ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)	49
4-4	ค่ามอดูลัสของยังของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)	52
4-5	ค่าทนทานต่อแรงดึงของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)	52
4-6	ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)	53
4-7	การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยเทคนิค Halo test โดยใช้แบคทีเรียชนิด E.coli ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) (ก) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1) (ข) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 2 (ex2) (ค) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 3 (ex3)	54

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4-8 การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยเทคนิค Halo test โดยใช้แบคทีเรียชนิด S.aureus ของ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเพต (PBSA) ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) (ก) การผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และ ครั้งที่ 2 (ex2) (ข) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 3 (ex3)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมีการผลิตถุงพลาสติกจำนวนมากและมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี เนื่องจากมีการใช้งานที่มากขึ้นของประชากรทั้งในประเทศและต่างประเทศ จึงทำให้เกิดการแข่งขันในงานอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยจะมุ่งเน้นไปทางด้านประสิทธิภาพของถุงพลาสติก ในทางกลับกันพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ พลาสติกที่ใช้แล้วมักถูกทิ้งเป็นขยะ ซึ่งส่วนหนึ่งถูกนำกลับมาใช้ใหม่ในลักษณะต่าง ๆ และอีกส่วนหนึ่งถูกนำไปกำจัดทิ้งโดยการฝังกลบและการเผาทำลาย จึงก่อให้เกิดมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศและมลพิษทางบก นักวิทยาศาสตร์จึงคิดค้นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและสามารถรีไซเคิลได้เพื่อลดปัญหาขยะพลาสติก ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั้งในด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการกำจัด [1]

ผลิตภัณฑ์พลาสติกรูปแบบใหม่ ๆ ที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากพลาสติกสังเคราะห์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามที่กล่าวมาข้างต้นโดยพลาสติกรูปแบบใหม่ ๆ นั้นมีชื่อเรียกว่า พลาสติกชีวภาพหรือพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งได้เข้ามามีบทบาทในงานอุตสาหกรรมพลาสติกทั้งทางด้านกระบวนการผลิต กระบวนการขึ้นรูป และการตลาด เนื่องจากปัจจัยสำคัญ คือ ความสนใจในการแก้ไขปัญหาเรื่องภาวะโลกร้อนและการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเน้นกระบวนการผลิตที่ลดการปลดปล่อยแก๊ส ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปัญหาแก๊สเรือนกระจก [2] ซึ่งพลาสติกชีวภาพเป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้ ปัจจุบันมีการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้านด้วยกัน เช่น ด้านการแพทย์ ด้านบรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค ด้านการเกษตร เป็นต้น ด้วยปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของความสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟิล์มบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ที่ในปัจจุบันได้มีการสังเคราะห์และพัฒนาวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น พอลิคาร์โพรแลคโตน (PCL) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเพต (PBSA) พอลิแลกติกแอซิด (PLA) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) เป็นต้น ซึ่งพลาสติกชีวภาพเหล่านี้มีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ ที่รวดเร็วกว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ในกลุ่มพอลิโอเลฟิน (Olefins) ที่ใช้งานกันทั่วไป [3] โดยเฉพาะ PLA ส่วนใหญ่ได้รับความสนใจอย่างมากแต่เมื่อเทียบ PBSA กับ PLA แล้ว PBSA สามารถย่อยสลายได้ถึง 90% ภายใน 25 วันภายใต้สภาวะการทำงานของเอนไซม์แอสเพอจิลลัส (*Aspergillus Versicolor*) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PBSA จะย่อยสลายได้เร็วกว่า PLA [4] PBSA มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 95 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.23

กรัม/ตารางเซนติเมตร และ อัตราการไหลของของเหลว 1.5 กรัม/10 นาที (2.16 กิโลกรัม, 150 องศาเซลเซียส) [5]

การนำพลาสติกที่ย่อยสลายได้มาใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อทดแทนพลาสติกที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่ก็ยังมีการคิดค้นสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติ หรือ ขยะที่เราคิดว่าไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น การผลิตสารโคตินซึ่งได้มาจากการสกัดทางเคมี แยกโปรตีน และแร่ธาตุออกจากเปลือกกุ้ง ปู และ ปลาหมึก จากนั้นสกัดออกมาเป็นโคโตซาน โดยสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดส่วนใหญ่นำไปใช้ในด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ด้านอุตสาหกรรมพลาสติกเช่นการนำมาทำแผ่นฟิล์มเพื่อใช้ในด้านการบรรจุภัณฑ์อาหาร และสำหรับโคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จากธรรมชาติที่ตัวของโคโตซานเองก็มีสมบัติทางกลที่ดี จึงนำโคโตซานเข้ามาเป็นสารเติมแต่งให้กับพอลิเมอร์ชีวภาพเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้งานมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้โคโตซานยังมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ [6]

ผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปอาจจะมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บหลังจากขั้นตอน การแปรรูป ซึ่งมักส่งผลกระทบต่อคุณภาพอาหาร ดังนั้น การปรับปรุงสมบัติในการต่อต้านแบคทีเรียในบรรจุ ภัณฑ์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ การเติมโคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ที่มีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโต ของแบคทีเรียลงในฟิล์มที่ย่อยสลายได้ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ PBSA จึงมีความน่าสนใจอย่างมาก โดยปกติ การผสมและขึ้นรูปที่เหมาะสมคือการผสมในสารละลายและระเหยสารละลายออก หรือ เรียกว่าวิธี หล่อขึ้นรูป (Cast film) [7] อย่างไรก็ตามกระบวนการอัดรีด (Extrusion) ยังเป็นกระบวนการประหยัดและ สะดวกที่สุด

การลดต้นทุนด้วยการนำเอาพลาสติกของเสียที่ผ่านการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่หรือพลาสติกที่ เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม นำกลับมาแปรรูป เรียกว่า การรีไซเคิล ได้แก่ กระดาษ แก้ว กระจก อะลูมิเนียม และ พลาสติก "การรีไซเคิล" เป็นหนึ่งในวิธีการลดขยะ ลดมลพิษให้กับสภาพแวดล้อม ลด การใช้พลังงานและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติของโลกไม่ให้ถูกนำมาใช้สิ้นเปลืองมากเกินไป [8] แต่ การหลอมขึ้นรูปใหม่หรือรีไซเคิล จะทำให้พลาสติกมีสมบัติเปลี่ยนไปโดยอาจจะทำให้คุณภาพของ ฟิล์มลดลง

การศึกษางานวิจัยนี้สนใจที่จะใช้วัสดุชีวภาพระหว่าง PBSA กับ โคโตซานมาผสมกันโดยใช้ เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin screw extruder) และ ขึ้นรูปด้วยเครื่องเป่าขึ้นรูป (Blown film extruder) เป็นถุงพลาสติก จึงทำการศึกษาปริมาณของโคโตซานและจำนวนรอบของการขึ้นรูปซ้ำ ของ PBSA ที่มีผลต่อสมบัติทางกล ทางความร้อน และ ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย

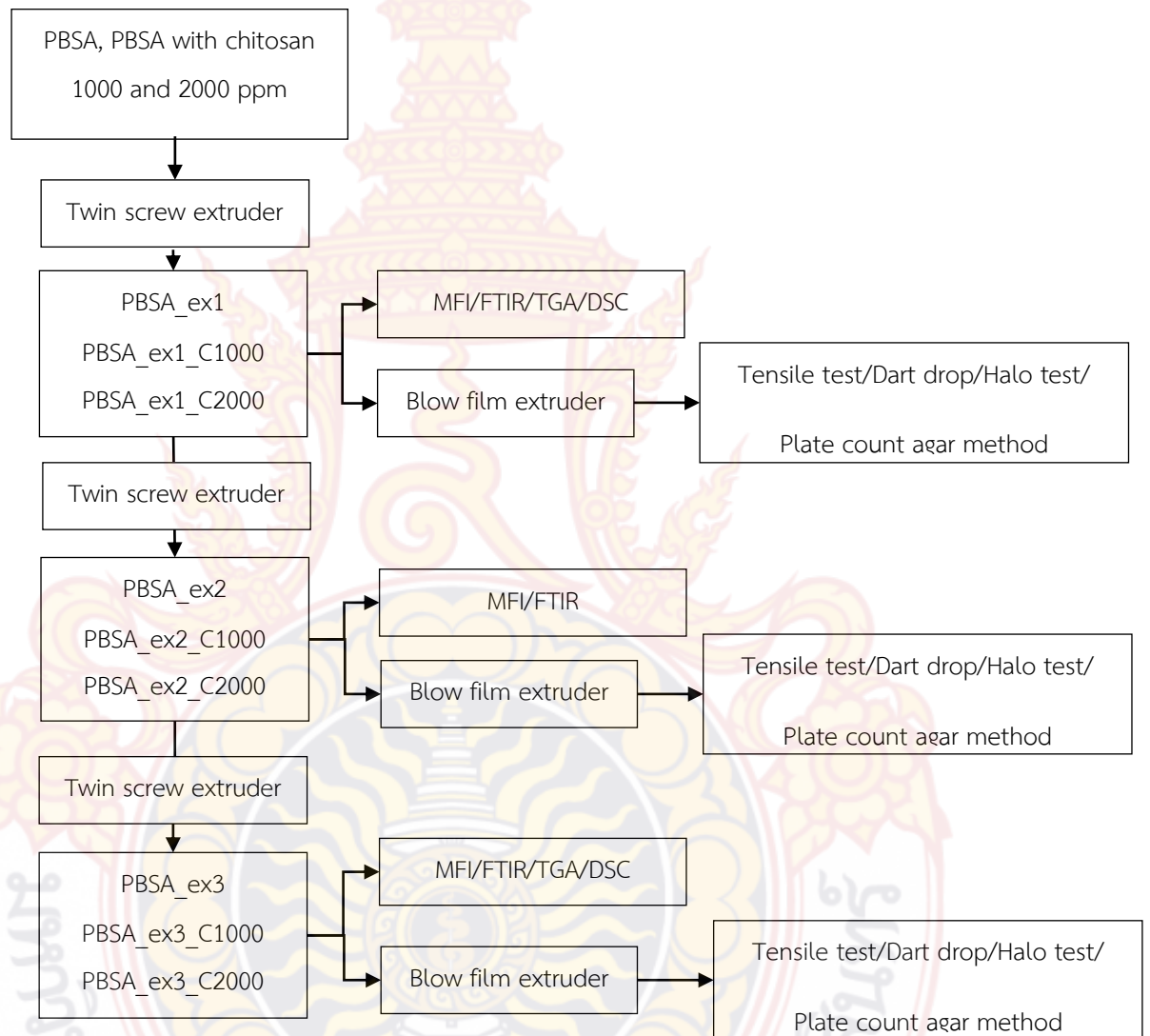
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมโคโตซานที่มีผลต่อความเหนียวและสมบัติทางกลของฟิล์ม พลาสติกชีวภาพพีบีเอสเอที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนมากกว่า 1 ครั้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมโคโตซานที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพลาสติก ชีวภาพพีบีเอสเอที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนมากกว่า 1 ครั้ง

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมไคโตซานต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อของฟิล์มพลาสติกชีวภาพพีบีเอสเอที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนมากกว่า 1 ครั้ง

1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดและแผนผังการทำงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีแนวคิดในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารทะเลแช่แข็ง แช่เย็นจากพลาสติกชีวภาพ PBSA โดยการผสมสารไคโตซาน ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวทวนคู่ (Twin screws extruder) และขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าถุงพลาสติก (Blown film extruder) จากงานวิจัยที่ผ่านมา สารไคโตซานที่เติมลงไปส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติเชิงกล จึงเป็นไปได้ว่าการเติมไคโตซานน่าจะรักษาสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผ่านการขึ้นรูปซ้ำให้ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ที่ผ่านการขึ้นรูปเพียงครั้งเดียวได้ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบความหนืด สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของ PBSA ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนในจำนวนครั้งของ

การขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ในการวิจัยจะดำเนินการหาปริมาณการเติมโคซานที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติของวัสดุที่ผ่านการขึ้นรูปซ้ำที่ดีที่สุดหรือมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ที่ไม่ผ่านการขึ้นรูปซ้ำ กรอบแนวคิดของโครงการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1

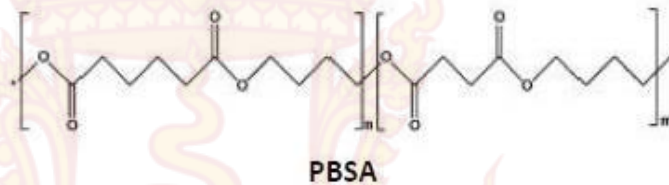
1.4 นิยามคำศัพท์

PBSA	พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเฟต
ex1	ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอัดรีดแบบสกรูคู่ครั้งที่ 1
ex2	ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอัดรีดแบบสกรูคู่ครั้งที่ 2
ex3	ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอัดรีดแบบสกรูคู่ครั้งที่ 3
%DD	Percentage of Degree of Deacetylation
C	โคโตซาน
E.coli	Escherichia coli
S.aureus	Staphylococcus aureus
T _c	อุณหภูมิเกิดผลึก (Crystallization temperature)
T _g	อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition temperature)
T _{cc}	อุณหภูมิการเกิดผลึกเมื่อให้ความร้อน (Cold crystallization temperature)
T _m	อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature)

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

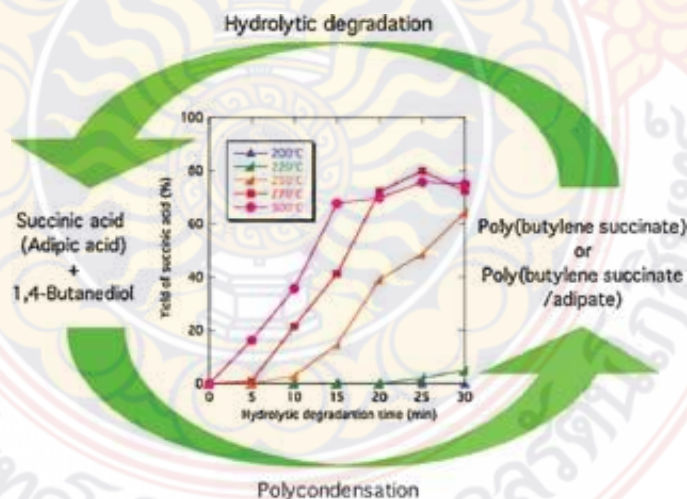
2.1 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (Polybutylene succinate-co-adipate, PBSA)

พลาสติกชีวภาพ PBSA เป็นพอลิเมอร์ประเภทพอลิเอสเตอร์มีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถขึ้นรูปได้ดี มีความทนทานต่อความร้อนและสารเคมี ทั้งนี้จึงได้นำ PBSA มาใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น การใช้งานในชีวิตประจำวัน การใช้งานในด้านการแพทย์ การใช้งานเพื่อการจัดการขยะย่อยสลายได้ การใช้งานทางด้านการเกษตร และ การใช้งานในด้านอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น [9-11] โดย PBSA มีสูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 สูตรโครงสร้างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต

Polybutylene succinate-co-adipate (PBSA) สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการ Hydrolytic degradation ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ ส่งผลให้ PBSA เป็น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ บิวเทนไดออล และ กรดอ่อน ได้แก่ Succinic acid และ Adipic acid โดยกระบวนการย่อยสลายในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจะยิ่งเร่งการย่อยสลายได้เร็วขึ้นแสดงดังภาพที่ 2-2



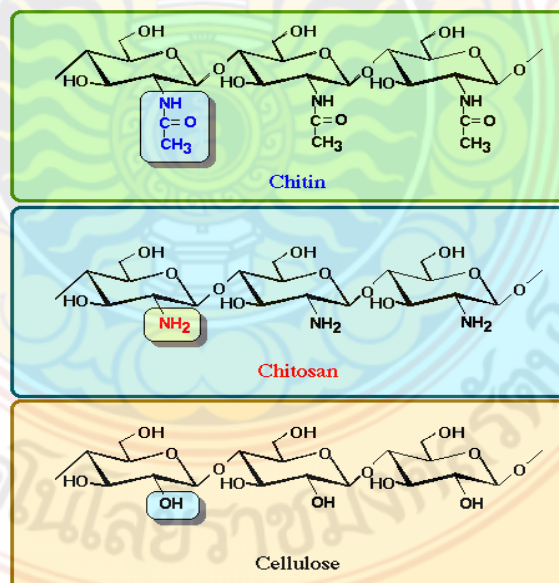
ภาพที่ 2-2 การย่อยสลายผ่านกระบวนการ Hydrolytic degradation ของ PBS และ PBSA [13]

2.2 ไคตินและไคโตซาน (Chitin and Chitosan) [14,15]

ไคตินเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตหลากหลายรูปแบบไคตินได้รับการค้นพบครั้งแรกโดย Braconnot ในปี ค.ศ.1811 และประมาณปี ค.ศ.1823 พอลิเมอร์ชนิดนี้ถูกเรียกว่า ไคติน โดย Odier สำหรับคำว่า ไคติน (Chitin) นั้น มาจากคำว่า Chiton ในภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่า เกราะหุ้ม ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส พอลิเมอร์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ไคตินจะพบได้ในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์ที่มีข้อปล้องจำพวกกุ้ง ปู และแกนปลาหมึก นอกจากนี้ยังพบไคตินในผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส แตกต่างกันที่หน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ (Monomer) ของเซลลูโลสคือ D-glucose ส่วนหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ของไคตินคือ N-acetyl-d-glucosamine (2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) ซึ่งเป็นอนุพันธ์หนึ่งของกลูโคสโดยไคตินมีชื่อทางเคมีคือ Poly β -(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์หนึ่งของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติล (Deacetylation) ของ ไคติน โดยไคโตซานนั้นเป็นไคตินในรูปแบบที่มีปริมาณหมู่อะซิติลต่ำ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติลของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไป โดยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหมู่ อะซิติลไมโด (-NHCOCH₃) เป็นหมู่อะมิโนหรือหมู่อะมีน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ ไคโตซาน คือพอลิเมอร์ของหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ D-glucosamine (2-amino-2-deoxy-D-glucose) สามารถแสดงโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และ ไคโตซานแสดงดังภาพที่ 2.2-1



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และ ไคโตซาน [16]

ไคโตซานอยู่ในรูปของผงไคโตซาน ที่ได้จะมีส่วนผสมของน้ำตาล N-Acetyl-D-Glucosamine และ Glucosamine อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกันซึ่งระดับการกำจัดหมู่ Acetyl หรือ เปอร์เซนต์ การเกิด Deacetylation นี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้หน้าหมักโมเลกุลของไคโตซานบอกถึง ความยาวของสายไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีหน้าหมักโมเลกุลสูง จะมีสายยาว และ สารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีหน้าหมักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้น การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซนต์การเกิด Deacetylation และ หน้าหมักโมเลกุลไคโตซานสามารถละลายในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์ เจือจาง เช่น กรดอะซิติก กรดโพธิ์ฟอนิก กรดแลคติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาทราก และ กรดซิทริก นอกจากนี้ยังสามารถละลายในสารละลายกรดไนตริก กรดไฮโปคลอริก กรดไฮโดรคลอริก เจือจาง (ความเข้มข้นร้อยละ 1 หรือน้อยกว่า)และ ละลายได้เล็กน้อย ในกรดฟอสฟอริก (ความเข้มข้นร้อยละ 0.5) แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ไคโตซานไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในรูปของเกลือของกรดหลายชนิดยกเว้นเกลือซัลเฟตและเกลือ ซัลไฟต์ ไคโตซานไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่ว ๆ ไป แต่จะละลายในสารละลายพอลิแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกรด เช่น ในสารผสมของ กลีเซอรอล และ น้ำ (3:1) ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น ร้อยละ 1 สารละลายที่ได้จะใส และสามารถละลายได้ในเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) โดยพบว่าการละลายในสารละลายอินทรีย์พวก พอลิแอลกอฮอล์จะมีผลต่อความหนืดของไคโตซานเล็กน้อย ถ้ามีกลีเซอรอลอยู่ในสารละลายไคโตซานจะมีลักษณะเป็นเจล ขณะที่มีซอร์บิทอลอยู่จะมีลักษณะเจลกึ่งแข็งนอกจากไคติน และ ไคโตซานยังมีคุณสมบัติการชอบน้ำ และ มีความสามารถการอุ้มน้ำแตกต่างกันไปตามชนิดของไคตินโดยพบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของไคตินและไคโตซานเท่ากับร้อยละ 230 - 440 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยพบว่าไคโตซานมีค่าการอุ้มน้ำที่สูงกว่าไคติน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของผลึกไคติน ปริมาณ โปรตีนรวมทั้งหมู่ที่สามารถเกิดเกลือกับตัวทำละลาย

การผลิตไคติน-ไคโตซาน การผลิตไคโตซานโดยมีหลักการที่สำคัญดังนี้

1. กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteination) โดยการทำให้ปฏิกิริยากับด่างซึ่งส่วนใหญ่ใช้ โซดาไฟ (NaOH) ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกไปจากวัตถุดิบพร้อมกัน บางส่วนของไขมันบางชนิดมีโอกาสถูกขจัดออกไปด้วย การพิจารณาใช้กระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของ วัตถุดิบที่จะนำมาใช้

2. กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (Deminerlization) โดยการนำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้วมาทำปฏิกิริยากับกรดซึ่งส่วนมากใช้กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ได้แก่ หินปูน (Calcium carbonate, CaCO₃) ถูกกำจัดออกไปโดยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซ (Chitin)

3. กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซิติก (Deacetylation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะซิติก (CH₃CO) ที่มีอยู่บนโมเลกุลของไคตินเพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน (Chitosan) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่เอมิโน (-NH₂) บนโมเลกุลของไคตินและหมู่เอมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลาย ซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น เพราะมีสมบัติเป็นประจุบวก (Cation) เมื่อปริมาณของหมู่อะซิติกถูกกำจัดไปมากกว่า 60% ขึ้นไป สารไคโตซานที่ได้สามารถ

ละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด การลดหมู่อะซีติลกระทำได้โดยใช้ค่าที่เข้มข้นสูงตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารโคโตซานก็คือค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of deacetylation, %DD) โคโตซานได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation) ของโคตินซึ่งคือพอลิเมอร์ของ (1-4)-2 amino-2- Deoxy-b-D-Glucan หรือเรียกง่าย ๆ ว่าพอลิเมอร์ของ Glucosamine การเกิดโคโตซานนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation) ซึ่งวัดจากค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (Degree of deacetylation) การทำปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล คิดเป็นหน่วยร้อยละ (Percentage of degree of deacetylation, %DD) กล่าวคือถ้า %DD เกินกว่า 50% ขึ้นไปสามารถใช้ได้กับพอลิเมอร์ได้

2.2.1 สมบัติของโคตินและโคโตซาน

โคตินไม่ละลายในน้ำ รวมทั้งกรดเจือจาง ต่างเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่โคตินสามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟูริกเข้มข้น กรดฟอสฟอริก (78-97 เปอร์เซ็นต์) กรดฟอร์มิก (Anhydrous formic acid) และ DMAc-LiCl (N,N-Dimethylacetamide-Lithium chloride) การละลายได้ยากของโคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลจากสายโซ่โมเลกุลของโคตินที่อยู่กันอย่างหนาแน่น มีพันธะทางเคมีเกิดขึ้นทั้งพันธะภายในโมเลกุล และ พันธะระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันในสายโซ่โมเลกุล มีทั้งหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อะซีตามิโด โคตินที่พบได้ในธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 100,000-1,200,000 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิตโคติน

โคโตซานไม่ละลายในน้ำรวมต่างและตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) เช่นเดียวกับโคติน แต่โคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 ซึ่งกรดที่นิยมใช้ในการละลายโคโตซาน ได้แก่ กรดอะซีติก และกรดฟอร์มิก ส่วนกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริกก็สามารถละลายโคโตซานได้เช่นกัน แต่ละลายได้ภายใต้การคนโดยให้ความร้อน

สารละลายโคโตซานเป็นสารหนืดที่มีความเหนียวใส มีพฤติกรรมเป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtonian fluid) ในสารละลายโคโตซานนั้นหมู่เอมีนหรือหมู่เอมีนของโคโตซานสามารถแตกตัวได้ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์ โดยค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัวของโคโตซานอยู่ในช่วง 6.2-6.8 ความหนืดของสารละลายโคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการกำจัดหมู่อะซีติล น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซาน ความเข้มข้นของสารละลายโคโตซาน ความแรงของไอออน ความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ สำหรับโคโตซานนั้นชนิดของกรดที่ใช้ในการละลาย และ การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะส่งผลให้ความหนืดของโคโตซานแตกต่างกัน เช่น ความหนืดของโคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติก (Deacetylation) เป็นสมบัติสำคัญอีกอย่างหนึ่งของไคตินและไคโตซาน เนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินหรือไคโตซาน ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ระหว่างสองมอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์ N-acetyl-D-glucosamine มากกว่าคือ มีระดับของการกำจัดหมู่อะซิติกต่ำพอลิเมอร์นั้นจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน ในขณะที่หากพอลิเมอร์นั้นมีสัดส่วนของมอนอเมอร์ D-glucosamine มากกว่า คือ มีระดับของการกำจัดหมู่อะซิติกสูง พอลิเมอร์นั้นจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

2.2.2 การใช้ประโยชน์จากไคโตซานและไคติน

ด้านการเกษตร การใช้ประโยชน์จากไคติน-ไคโตซานทางการเกษตร สามารถนำไปใช้ได้เกือบทุก ขั้นตอนหรือเกือบครบวงจร เช่น ใช้เป็นสารปรับสภาพดินสำหรับเพาะปลูก การใช้ไคโตซานผสมใน ปุ๋ยมูลสัตว์หรือปุ๋ยเคมีอื่น ๆ สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวดินได้ดี ทนต่อการถูกชะล้าง ลดการระเหยของน้ำอีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารอาหารให้แก่พืชช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโตมีผลทำให้ผลไม้สดสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น เป็นส่วนประกอบในการผลิตแผ่นคลุมดิน เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช เพิ่มอุณหภูมิของดินและช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระดาษหรือถุงเพาะต้นกล้าได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ปัจจุบันไคโตซานมีการผลิตออกจำหน่ายอย่างแพร่หลายในรูปของอาหารเสริมเพื่อลดคอเลสเตอรอลและควบคุมน้ำหนักจากสมบัติของไคโตซานในด้านการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา นับเป็นจุดเด่นที่สำคัญต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการถนอมอาหาร เช่น ในการเก็บรักษาเนื้อปลา การนำไปใช้ในเครื่องปรุงรสอาหารในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิดใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มเพื่อถนอมอาหาร

การใช้เป็นสารตกตะกอนได้มีการนำไคโตซานมาใช้ด้านการบำบัดน้ำจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ไคโตซานมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ (Biofloculant) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร สามารถลดความขุ่น ปริมาณตะกอนแขวนลอย ตลอดจนค่า BOD และ COD ลงได้ ทำให้มีคุณภาพดีขึ้นการใช้ไคติน-ไคโตซานเป็นตัวจับไอออนโลหะในน้ำทิ้ง เช่น ไอออนของปรอท ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น

ด้านเครื่องสำอางไคโตซานเป็นสารประเภท Non-toxic polyelectrolyte ที่มีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ทั้งนี้เพราะประจุบวกของหมู่แอมโมเนียม (NH_3^+) ที่เรียงรายอยู่บนโครงสร้างของไคโตซานจะมีความว่องไวต่อการจับกับผิวหนังและเส้นผมที่ประกอบด้วยสาร Mucopolysaccharides โปรตีนและไขมันที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานที่เคลือบอยู่นี้จะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ พร้อมกับดูดซับความชื้นและไขมันเอาไว้ จึงช่วยรักษาความชุ่มชื้น และ ความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังและเส้นผม และ นอกเหนือจากสมบัติในการช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และ ลดอาการระคายเคืองหรือคันศีรษะแล้ว อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Polysaccharides และ โปรตีนของเส้นผมยังมีส่วนในการเพิ่มความเงางามให้แก่เส้นผม ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของสาร

ไคติน และ ไคโตซาน ได้แก่ ครีม และ โลชันบำรุงผิว แชมพู โลชันบำรุงผม แป้งแต่งหน้า ยาทาเล็บ ยาสีฟัน และมอยสเจอไรเซอร์

ด้านเส้นใยและสิ่งทอ การประยุกต์ใช้ไคติน-ไคโตซานทางด้านเส้นใยและสิ่งทอ พบว่าสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้ใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้ายเส้นใยไคตินและไคโตซานสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผ่านอโนวูฟเวน (Nonwoven) ผ้าปิดแผลไหมละลาย เป็นต้น ในขั้นตอนของกระบวนการขึ้นรูปใช้วิธีละลายด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วจึงปั่น (Spin) เส้นใยผ่านหัวรีดที่มีรูเล็กๆ ที่เรียกว่า Spinneret ลงในอ่างสารเคมีที่ทำให้เกิดการแข็งตัว (Coagulation bath) ซึ่งกระบวนการนี้ เรียกว่า การปั่นเส้นใยแบบเปียก (Wet spinning) การผลิตเป็นเส้นใยมีหลายลักษณะด้วยกัน เช่น ผลิตเส้นใยจาก ไคติน-ไคโตซาน โดยตรง การผลิตโดยปั่นเป็นเส้นใยร่วมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น

ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ไคติน-ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกาย สามารถรับประทานได้และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงได้มีการนำไคติน-ไคโตซานมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น ใช้ในวัสดุทดแทนกระดูกใช้เป็น Filling ในกระดูกและฟันใช้เป็นวัสดุปิดบาดแผล กระตุ้นการสร้างเซลล์ใหม่ และ ป้องกันการติดเชื้อจึงช่วย ทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้นเป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของเลือด (Blood anticoagulant) และ สารห้ามเลือด (Hemostatic)

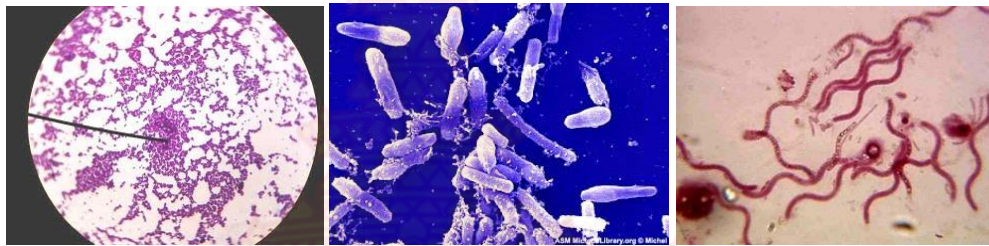
ด้านการดูดซับน้ำมันของไคโตซาน มีรายงานการนำไคโตซานมาใช้ประโยชน์ในการดูดซับน้ำมันตกค้าง (Residue oil) ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม ในรายงานได้กล่าวถึง ไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีประจุบวก (Cationic biopolymer) โมเลกุลของไคโตซานประกอบด้วย หมู่อะมิโนที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับน้ำมัน และ เนื่องจากโมเลกุลของไคโตซานมีประจุบวก จึงสามารถจับกับสารที่มีประจุลบได้ดีนั่นคือ ไคโตซานสามารถดูดซับ Residue oil ได้ และ ทำให้ประจุลบของ Residue oil สูญเสียเสถียรภาพโดยอาศัยกลไกการสะเทิน (Neutralize) ประจุการนำไคโตซานมาใช้ในการกำจัดน้ำมันเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปในปัจจุบันซึ่งจากรายงานการทดลองพบว่า ไคโตซานในรูปแบบผง (Powder) มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันมากกว่าเกล็ดไคโตซาน (Chitosan flakes)

2.3 ความรู้พื้นฐานด้านแบคทีเรียและการยับยั้ง/ทำลายจุลินทรีย์

2.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบคทีเรีย [21]

แบคทีเรียคือจุลินทรีย์เซลล์เดี่ยว (Unicellular) พบได้ทั่วไปทุกแห่งในโลกดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมทั่วไป ทั้งในดิน น้ำ อากาศ พืช สัตว์ และในมนุษย์ แบคทีเรียค้นพบครั้งแรกโดย Antony Van Leeuwenhoek นักวิทยาศาสตร์ชาวเนเธอร์แลนด์ เมื่อปี ค.ศ. 1676 แบคทีเรียมีขนาดเล็ก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3-2 ไมโครเมตร ทำให้มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าจึงจะเห็นได้ชัด รูปร่างของแบคทีเรียโดยทั่วไปมี 3 รูปแบบ ได้แก่ แบคทีเรียทรงกลม (Sphere) เรียกว่า ค็อกคัส (Coccus) หรือ ค็อกโค (Cocci) แบคทีเรียทรงกระบอกหรือรูปแท่ง (Rod) เรียกว่า บาซิลลัส (Bacillus) หรือบาซิลโล (Bacilli) และ

แบคทีเรียรูปเกลียว (Spiral) ที่เรียกว่าสไปริลลัม (Spirillum) หรือ สไปริลโล (Spirilli) ซึ่งเซลล์เหล่านี้ จะมีการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกัน แบคทีเรียทรงกระบอกไม่ค่อยมีแบบแผนในการจัดเรียงตัวที่เด่นชัด เท่ากับแบคทีเรียทรงกลม ส่วนแบคทีเรียรูปเกลียวมักอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว การที่แบคทีเรียมีรูปร่าง แตกต่างกันนั้นเป็นการปรับตัวให้อยู่ในสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น



(ก)

(ข)

(ค)

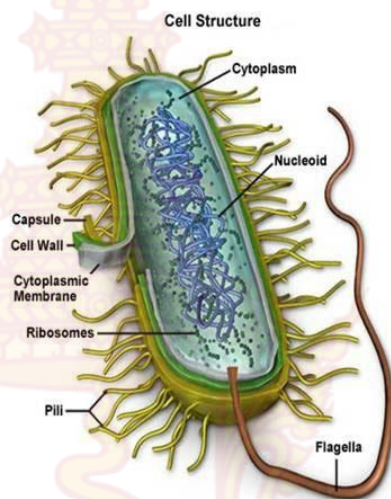
ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างรูปร่างโดยทั่วไปของแบคทีเรีย (ก) แบคทีเรียทรงกลม (ข) แบคทีเรีย ทรงกระบอก (ค) แบคทีเรียทรงเกลียว [17]

ในสภาวะที่เหมาะสมแบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส โดยแบคทีเรียขยายพันธุ์โดยการแบ่งตัวแบบทวิภาค (Binary fission) คือแบ่งจากหนึ่งเป็นสองเซลล์เท่า ๆ กัน ระยะเวลาแบ่งเซลล์เรียกว่า Generation time ซึ่งแบคทีเรียแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาพแวดล้อม เช่น *Escherichia coli* ใช้เวลาประมาณ 20 นาที ในการแบ่งเซลล์ ส่วน *Mycobacterium tuberculosis* ที่ทำให้เกิดโรควัณโรคต้องใช้เวลามากกว่า 12 ชั่วโมง ในการแบ่งเซลล์ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในบรรยากาศที่มีออกซิเจน เรียกแบคทีเรีย จำพวกนี้ว่าแอโรบ (Aerobe) ส่วนแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตเรียกว่าแอนแอโรบ (Anaerobe)

ในทางการแพทย์แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคเรียกว่า Pathogenic bacteria ซึ่งจัดได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้เกิดโรคติดเชื้อ (Infectious disease) ในมนุษย์ ซึ่งพบเชื้อหลายชนิด ที่ทำให้เกิดโรคติดเชื้อต่าง ๆ เช่น วัณโรค โรคอหิวาตกโรค โรคท้องร่วง รวมทั้ง โรคหนองใน โรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ โรคคออักเสบ โรคปอดบวม และ โรคอื่น ๆ อีกมากมาย

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีโครงสร้างเซลล์แบบโพรคาริโอต จึงไม่มีโครงสร้างของเซลล์หลายชนิด เช่น เยื่อหุ้มนิวเคลียส กอลจิคอมเพล็กซ์ (Golgi complex) ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) เป็นต้น โครงสร้างของแบคทีเรียมีอยู่ทั้งภายนอกและภายในผนังเซลล์โดยโครงสร้างของแบคทีเรีย ประกอบไปด้วย ผนังเซลล์ชั้นนอก (Cell wall) ผนังเซลล์ชั้นในหรือเยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic membrane, Cell membrane) ซึ่งจะห่อหุ้มไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ในไซโทพลาซึมจะมีอแกเนล (Organelle) หลายชนิดที่สำคัญคือไรโบโซม (Ribosome) มีหน้าที่ในการสร้างโปรตีนเพื่อส่งออกนอกเซลล์ มีนิวคลีโออยด์ (Nucleoid) ซึ่งเป็นหน่วยพันธุกรรมหรือ DNA ที่ไม่มีเยื่อหุ้มซึ่งแตกต่างจากสัตว์ชั้นสูงและพวุกยูคาริโอต (Eucaryote) เซลล์แบคทีเรียจะมีริยาค์ (Appendages) หรือแฟลกเจลลา (Flagella) มีลักษณะคล้ายขนยื่นออกมาจากผนังเซลล์ มีหน้าที่ช่วยในการเคลื่อนที่

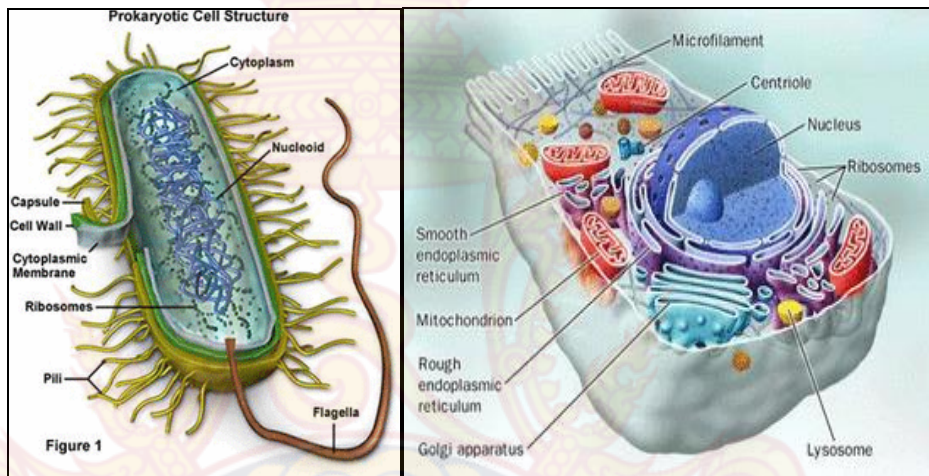
และมีพิมเบรีย (Fimbria) หรือ พิล (Pili) ใช้ในการเกาะติดกับพื้นผิวของวัสดุ หรือ พื้นผิวเนื้อเยื่อที่แบคทีเรียจะเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดยังสามารถสร้างแคปซูลและสร้างสปอร์เพื่อทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้อีกด้วย



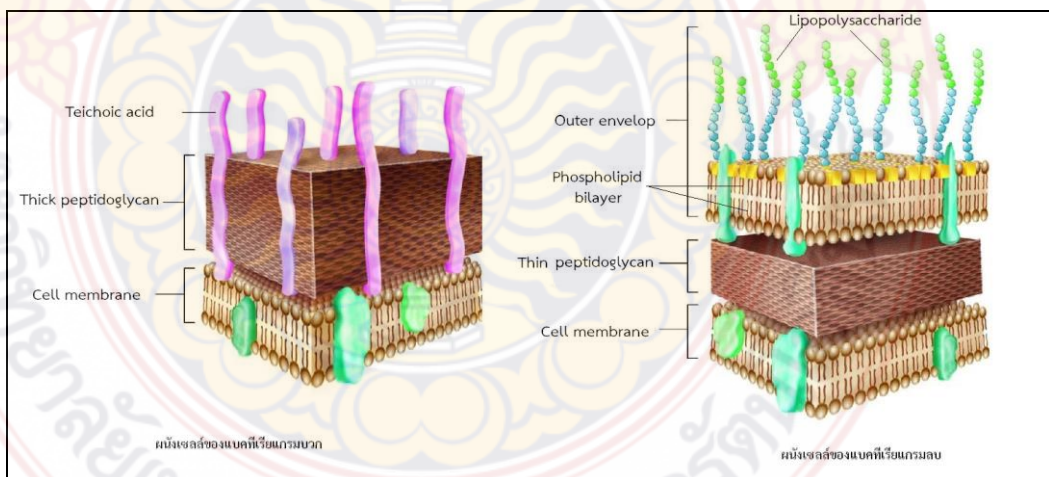
ภาพที่ 2-5 โครงสร้างโดยทั่วไปของแบคทีเรีย [18]

นอกจากนั้นถ้าใช้เทคนิคการย้อมสีแกรม (Gram's staining) ในการจำแนกประเภทของแบคทีเรีย จะพบว่าสามารถจำแนกแบคทีเรียได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ แบคทีเรียแกรมบวก (ย้อมติดสีม่วง) และ แบคทีเรียแกรมลบ (ย้อมติดสีแดง) ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบภายในของแบคทีเรียทั้งสองชนิด พบว่าองค์ประกอบในผนังเซลล์ของแบคทีเรียมีรายละเอียดที่แตกต่างกันคือผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกมีองค์ประกอบของเพปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) ที่หนากว่าแบคทีเรียแกรมลบ โดยมีชั้นเพปติโดไกลแคนถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และ มีการเชื่อมต่อของเพปไทด์บริดจ์ (Peptide bridge) อย่างสมบูรณ์ และ ยังพบ กรด ไทโคอิก (Teichoic acid) อีกด้วย อีกทั้งมีกรดอะมิโนน้อยชนิดกว่าแบคทีเรียแกรมลบ ในด้านความหนาของผนังเซลล์ แคทีเรียแกรมบวกมีผนังเซลล์หนากว่าโดยประมาณ 25-30 นาโนเมตร ส่วนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย แกรมลบนั้นมีความซับซ้อนมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก โดยผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบบางกว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก และ ประกอบด้วยเพปติโดไกลแคนเพียงประมาณ 5-20 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น นอกจากนี้ประกอบด้วยไลโปโปรตีน (Lipoprotein) ไลโปพอลิแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) และ ยังมีกรดอะมิโนพิลิมิก (Diaminopilomic acid) แทนที่กรดอะมิโนไลซีน (Lysine) แต่มีจำนวนเพปไทด์บริดจ์น้อยกว่าแบคทีเรียแกรมบวก นอกจากนี้แบคทีเรียแกรมลบบังมีเมมเบรนชั้นนอก (Outer membrane) ล้อมรอบเพปติโดไกลแคนไว้อีกชั้นหนึ่ง โดยเมมเบรนชั้นนอกนี้มีไขมันมากถึง 11-12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำ ผนังแห่งของผนังเซลล์ และ พบโปรตีนอีกหลายชนิด ที่สำคัญคือพอริน (Porin) ที่มี

บทบาทในการควบคุมการผ่านเข้า และ ออกของสารต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย ทำหน้าที่เป็นเครื่องกั้นเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการเจริญของผนังเซลล์ไม่ให้ออกจากช่องว่างเพอริพลาสมิก (Periplasmic space) และ ยังกั้นสารเคมีและเอนไซม์จากภายนอกไม่ให้เข้าไปทำลายเซลล์ ดังนั้น ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกจึงถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลโซไซม์ (Lysozyme) ได้ง่ายกว่าของแบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียแกรมบวก และ แบคทีเรียแกรมลบสามารถแยกความแตกต่างได้จากการย้อมสีที่ เรียกว่า Gram's Stain ซึ่งใช้สมบัติความแตกต่างกันของเมมเบรนในการย้อม



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างองค์ประกอบของเซลล์โพรคาริโอตและเซลล์ยูคาริโอต [19]



ภาพที่ 2-7 รายละเอียดโครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ [20]

2.3.2 กลไกการออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ การยับยั้งและทำลายแบคทีเรีย [14,21]

การทำลายที่ผนังเซลล์หรือการยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ซึ่งพบว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก บางชนิดจะถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลโซไซม์ที่พบในน้ำตาเม็ดเลือดขาวและเมือก เป็นต้น เอนไซม์นี้จะไปย่อยสลายโครงสร้างของผนังเซลล์ทำให้เซลล์แตกได้ นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดอาจไปยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่กำลังเจริญเติบโตมีผลทำให้เกิดเป็นโพรโทพลาสต์ (Protoplast) ซึ่งหากอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดความเสียหายกับเซลล์ได้

การเปลี่ยนแปลงสมบัติความสามารถในการยอมให้สารผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ หากเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายจนเกิดความเสียหายจะทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์หยุดชะงัก ทำให้องค์ประกอบต่างๆภายในเซลล์รั่วไหลออกมา และส่งผลให้เซลล์ตาย

การเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก เซลล์ที่มีชีวิตจะมีโปรตีนและกรดนิวคลีอิกอยู่ในเซลล์ที่เป็นสภาพปกติ แต่หากมีสารเคมีหรือสภาพใดใดที่ทำให้โปรตีนและกรดนิวคลีอิกเปลี่ยนไปจากสภาพธรรมชาติจะทำให้เซลล์สภาพความเสียหายได้ เช่น ในสภาวะอุณหภูมิสูงหรือสารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้โปรตีนและกรดนิวคลีอิกตกตะกอนจับตัวเป็นก้อนแข็งไม่สามารถกลับเป็นอย่างเดิมได้ เป็นต้น

การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ในเซลล์ จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ต่างๆหากมีการใช้ตัวยับยั้งเอนไซม์ (Enzyme inhibitor) จะส่งผลต่อปฏิกิริยาของกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) และ ระบบไซโตโครม (Cytochrome system) สารที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ ได้แก่ ไซยาไนด์ (Cyanide) สามารถยับยั้งไซโตโครมออกซิเดส (Cytochrome oxidase) และ ฟลูออไรด์ (Fluoride) สามารถยับยั้งไกลโคไลซิส เป็นต้น

ป้องกันการสร้างเมตาบอไลต์ (Antimetabolites) เมตาบอไลต์เป็นสารจำเป็นสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ เช่น ในการสังเคราะห์กรดโพลีกลูตามิกจำเป็นต้องใช้กรดพาราอะมิโนเบนโซอิก (p-aminobenzoic acid) ซึ่งสารนี้มีโครงสร้างคล้ายกับซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide) ดังนั้นการใช้ซัลฟานิลาไมด์เข้าแย่งทำปฏิกิริยาแทนที่กรดพาราอะมิโนเบนโซอิก ทำให้การสังเคราะห์กรดโพลีกลูตามิกหยุดชะงัก ดังนั้นการใช้สารเคมีที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกันกับสารเมตาบอไลต์เพื่อไปยับยั้งกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ที่จะช่วยทำลายจุลินทรีย์ได้

การยับยั้งการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก สารเคมีบางอย่างสามารถยับยั้งการสังเคราะห์ DNA และ RNA ได้ โดยจะเข้าไปขัดขวางการสร้างหน่วยพื้นฐานของกรดนิวคลีอิก คือ พิวรีน (Purine) และ ไพริมิดีน (Pyrimidine) และ ขัดขวางการรวมตัวของนิวคลีโอไทด์เข้าเป็นกรดนิวคลีอิก ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมผิดปกติและทำให้เซลล์ถูกทำลายในที่สุด

2.3.3 กลไกการยับยั้งและทำลายแบคทีเรียของโคโตซาน

สำหรับโคโตซานอาจจะยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยอนุภาคประจุบวกบนโมเลกุลของโคโตซานสามารถจับกับอนุภาคประจุลบบนผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้ผนังเซลล์เกิดความเสียหายขึ้นจนไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร จึงเกิดการรั่วไหลของสารต่างๆภายในเซลล์และทำให้เซลล์ตายในที่สุดนอกจากนี้พบว่า ฤทธิ์ในการต้านทานจุลินทรีย์อาจเป็นผลมาจากการขัดขวางสารอาหารที่

เข้าสู่ภายในเซลล์ ไคโตซานบางชนิดโดยเฉพาะชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ของ จุลินทรีย์จะทำการไปจับกับ DNA และ ทำการยับยั้งการสังเคราะห์ของ RNA และ โปรตีน หรืออาจ จับกับไอออนของโลหะ (Chelation) และ สารอาหารที่จำเป็นนอกจากนี้ประสิทธิภาพในการยับยั้ง การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับขนาดน้ำหนักโมเลกุล ค่าระดับการกำจัดหมู่แอซิติล ชนิด ของจุลินทรีย์ ชนิดของสารละลายกรดที่ใช้ชนิดของอาหารและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา องค์ประกอบของอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กลีโกล แร่ กลีโกล อาจทำปฏิกิริยากับ ไคโตซาน และส่งผลให้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ งานวิจัย ดร. บุญศรี จงเสรีจิตต์ และ คณะ พบว่าไคโตซานที่มีความเข้มข้น 100-3,000 ส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) สามารถยับยั้งแบคทีเรีย S.aureus, E.coli, S.typhimurium ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดของไคโตซาน ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย เท่ากับ 100, 500 และ 1,000 ppm ตามลำดับ

2.4 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ [22]

ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของ พลาสติกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจาก การเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่าย ภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ใน โครงสร้าง เมื่อสาร หรือ หมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะ เกิดการแตกของพันธะกลายเป็น อนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมี บนตำแหน่ง คาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อ ฝังกลบขยะกองคอมโพสท์ หรือ สภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือ แม้กระทั่งขึ้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึก ที่หนาตากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้น พลาสติกทำให้ชิ้นส่วน พลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติก แตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) ปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้น ได้เองในธรรมชาติอย่างช้า ๆ โดยมีออกซิเจน และ ความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสง และ ความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็น อนุมูลอิสระ RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่ พันธะเคมีบน ตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหัก และ สูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่

ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่คะตะลิสต์เร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหัก และ สูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอสไตรด์ พอลิคาร์บอเนต และ พอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิด การแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และ ไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และ คะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไล (Alkaline metal) เบส (Base) และ กรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือ เอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

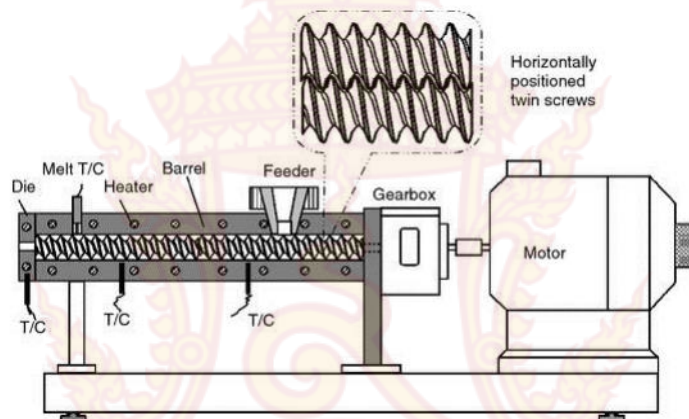
5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endoenzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และ แบบ Exoenzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และ เกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และ สารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และ มวลชีวภาพ (Biomass)

2.5 กระบวนการอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extrusion) [23]

โดยทั่วไปการคอมปาวด์แบบต่อเนื่องมักใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) หรือเครื่องนวดผสม ซึ่งประกอบด้วยสกรูหรือฟันนวดที่หมุนอยู่ภายในกระบอกอัดรีด การหมุนของสกรูทำให้เกิดแรงเฉือน

และการเคลื่อนตัวไปทุกทิศทางของส่วนผสมซึ่งทำให้การผสมเกิดขึ้นในระดับที่ละเอียดกว่าการคอมปาวด์แบบกะเครื่องอัดรีดที่ใช้ในการคอมปาวด์พลาสติกมักจะใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่เป็นหลัก

เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มีประสิทธิภาพการผสมสูงกว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ทั้งนี้ เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสกรูคู่สูงกว่า โดยลักษณะการหมุนของสกรูคู่มีสองแบบ ได้แก่ การหมุนในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating screw) และ การหมุนสวนทางกัน (Counterrotating screw) โดยในการทำคอมปาวด์พลาสติกมักใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่มีลักษณะการหมุนของสกรูคู่แบบหมุนในทิศทางเดียวกัน



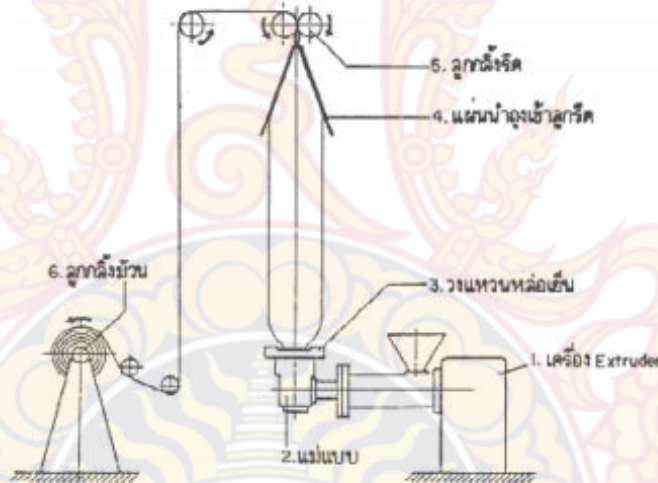
ภาพที่ 2-8 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)

2.6 กระบวนการอัดรีดแบบเป่าถุง (Blown film extrusion) [24]

เป็นกระบวนการสำหรับการผลิตถุงพลาสติก โดยการเป่าพลาสติกเหลวหนืดให้พองตัวในอากาศและรีดให้ ออกมาเป็นถุงพลาสติก หรือเป็นแผ่นพลาสติกบาง (ฟิล์ม) โดยการตัดขอบทั้งสองข้างของถุงพลาสติกออก ซึ่งเครื่อง Blown film extruder มีส่วนประกอบและหลักการ ดังต่อไปนี้

1. เครื่อง Extruder ทำหน้าที่ป้อนและหลอมเม็ดพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เกลียวหนอนหมุนอัด พลาสติกให้เคลื่อนที่ไปตามเรือนเกลียวหนอน
2. แม่แบบ Die ทำหน้าที่ทำให้เกิดรูปร่างของท่อพลาสติกบาง ในการเป่าถุงพลาสติก และพลาสติกแผ่นบาง (ฟิล์ม) โดยปกติพลาสติกจากแม่แบบเป่าถุงจะถูกหักมุม 90 องศา เนื่องจากเหตุผลทางเทคนิคและการไหล ออกทางด้านล่าง หรือด้านบนในรูปของท่อพลาสติกบาง โดยท่อพลาสติกบางนี้จะถูกเป่าให้ขยายออกและบาง ลงเป็นท่อบางๆที่ยาวตลอดที่จะนำมาทำเป็นถุงพลาสติกหรือฟิล์มต่อไป
3. วงแหวนหล่อเย็น ทำหน้าที่หล่อเย็นท่อพลาสติกบางให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว พลาสติกเหลวที่ออกมาจากหัว เป่าจะต้องทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความคงรูปของตัวพลาสติกเองมีน้อยในการหล่อเย็นนี้อาศัยลม หรือน้ำ

4. แผ่นนำถุงเข้าลูกกลิ้ง ทำหน้าที่ประคองถุงที่เป่าให้ค่อยๆรีดตัวเข้าสู่ลูกกลิ้งรีดทำจากโลหะ หรือไม้
5. ลูกกลิ้งรีด มีหน้าที่รีดท่อพลาสติกบางให้แบน โดยท่อพลาสติกบางที่พองตัวในอากาศ จะถูกบีบให้ลู่เข้าหากันด้วยแผ่นนำถุงเข้าลูกกลิ้ง และถูกรีดให้แบนอีกครั้งเพื่อส่งแผ่นพลาสติกเข้าลูกกลิ้งม้วน
6. ลูกกลิ้งม้วน ทำหน้าที่ม้วนและดึงท่อพลาสติกบางเข้าเก็บด้วยความเร็วคงที่ หลังจากพลาสติกบางถูกบีบให้แบน แล้วนำพลาสติกบางจะผ่านลูกกลิ้งนำย้อนลงมาเพื่อม้วนแผ่นพลาสติกในลักษณะที่เป็นท่อบางยาวตลอด หรือตัดของทั้งสองให้เป็นแผ่นพลาสติกบางในการตัดแบ่งถุงพลาสติก โดยการตัดที่รอบพับหรือขอบของถุงนั้นจำเป็นต้องมีตำแหน่งในการม้วนอยู่สองตำแหน่ง



ภาพที่ 2-9 กระบวนการอัดรีดแบบเป่าถุง (Blown film extrusion)

2.7 สมบัติทางกายภาพ

2.7.1 การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238 [25]

หลักการทำงานของการทดสอบคุณสมบัติการไหลตัวของพลาสติกเหลวจำพวกเทอร์โมพลาสติกตามมาตรฐาน DIN 53735 ASTM D1238 และ ISO 113 การทดสอบนี้จะคล้ายกับการ Extrusion คือเป็นการหลอมเหลวพลาสติกในกระบอกทดสอบ (Cylinder) ด้วยอุณหภูมิที่กำหนด แล้วใช้น้ำหนักกดตามค่าที่กำหนด แล้วกดลงบนแท่งกด (Piston) โดยให้แท่งกดกระทำกับพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกทดสอบ พลาสติกเหลวจะไหลผ่านหัวดาวยออกมา หลังจากนั้นก็นำพลาสติกที่

ไหลออกมาไปซึ่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที ก็จะได้ค่าของ MFI ของพลาสติกซึ่งมีหน่วยเป็น g/10 min

เครื่องทดสอบหาอัตราการไหลนอกจากใช้หาค่าอัตราการไหลของพลาสติกแล้วยังใช้เป็นกระบวนการทางอ้อมในการบอกค่าน้ำหนักของโมเลกุลของเม็ดพลาสติก (Molecular weight) ได้ถ้าเม็ดพลาสติกที่ทดสอบหา Melt flow rate มีค่าสูง ก็แสดงว่าเม็ดพลาสติกนั้นมีค่า Molecular weight ต่ำ และ ขณะเดียวกัน Melt flow rate ยังบอกถึงความสามารถในการหลอมไหลของวัสดุภายใต้แรงดันและยังใช้วิเคราะห์หาค่าความหนืดของวัสดุภายใต้สภาวะการรับแรงต่าง ๆ อัตราส่วนระหว่างค่าการทดสอบหาค่าดัชนีการไหลสองครั้ง ที่ค่าน้ำหนักต่างกันก็จะนำไปหาค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกคำนวณค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ได้จากสมการที่ (2-1)

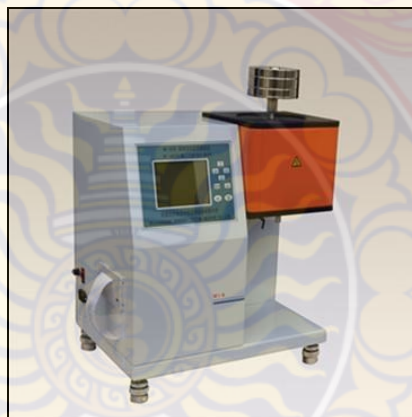
$$MFI = 10 w/t \quad (2-1)$$

เมื่อ

MFI = ค่าดัชนีการหลอมไหล (g/10min)

W = ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของพลาสติกหลอมไหล (g)

t = ช่วงเวลาที่ตัดของพลาสติกหลอมไหล (min)

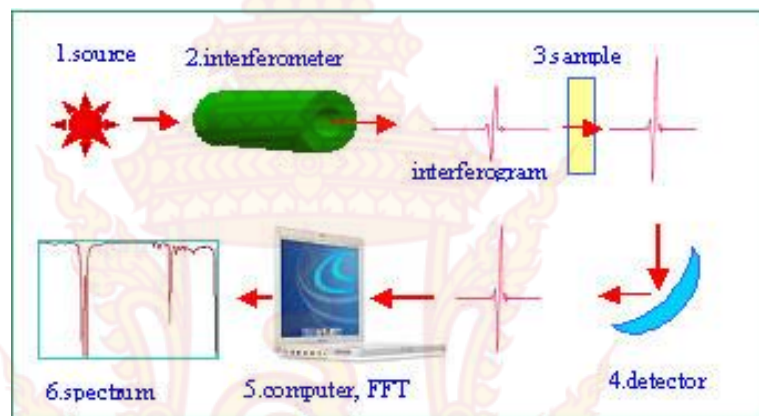


ภาพที่ 2-10 การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI)

2.7.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Attenuated total reflection fourier transform infrared (ATR - FTIR) [26]

หลักการ Fourier transform infrared เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกประเภทสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุลรวมถึงสามารถบอกปริมาณองค์ประกอบที่อยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่ความถี่

ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพันธะ การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา เมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล และ ทำการดูดกลืนรังสีจำนวนของแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่จะได้รับจะมีค่าไม่เท่ากับการสั่นมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลงเพราะมีบางแถบของพลังงานที่ไม่ตอบสนองต่อพลังงานของรังสีอินฟราเรด



ภาพที่ 2-11 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR spectrometer [27]

ระบบ FTIR จะมีอยู่สามส่วนหลักดังนี้

1. แหล่งกำเนิดรังสีของ Infrared spectrometer เป็นสารเฉื่อยที่ถูกทำให้ร้อนจนมีอุณหภูมิระหว่าง 1,000 – 1,800 องศาเซลเซียส
2. ตัวแยกรังสีแบบ Interferometer มีหน้าที่แยกรังสีออกทำให้เกิด Path difference ระหว่างลำแสงและทำการรวบรวมสัญญาณการแทรกสอดซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันกับ Path difference โดยเครื่องตรวจวัด
3. เครื่องวัดทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณการแทรกสอดที่ส่งมายังตัวแยกรังสี รังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดจะถูกฉายไปยัง Interferometer ซึ่งเครื่อง GasmetDX4015 FT-IR คือ Michelson Interferometer ประกอบด้วยกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้และกระจกที่ตรึงอยู่กับที่ โดยทั้งสองด้านตั้งฉากซึ่งกันและกัน และการแยกสารเป็นอุปกรณ์กึ่งสะท้อนแสงลำรังสีครึ่งหนึ่งจะทะลุผ่านไปยังกระจกกับมารวมกันที่ตัวแยกแสง ทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นหลังจากนั้นลำรังสีจะผ่านไปยังตัวอย่าง และ ในที่สุดก็จะตกลงบนเครื่องตรวจสอบ

Path difference ระหว่างลำรังสีที่ถูกแยกออกจากกันเกิดขึ้นจากระยะทางสัมพันธ์กับกระจกทั้งสองถ้าแขนยึดกระจกทั้งสองข้างยาวเท่ากันลำรังสีทั้งสองจะเดินทางด้วยระยะทางเท่ากันมีเฟสตรงกันทำให้สัญญาณนั้นไปถึงตัวเครื่องตรวจวัดมีค่ามากที่สุด เมื่อกระจกเคลื่อนที่เป็นระยะทาง

$\pi/4$ ระยะทางของรังสีจะเปลี่ยนไปเป็น $\pi/2$ รังสีทั้งสองจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา การแทรกสอดจะอยู่ในตำแหน่งหักล้างเมื่อเคลื่อนกระจกเป็นระยะทางอีก $\pi/4$ ระยะทางเดินของรังสีจะเปลี่ยนไปเป็น π รังสีทั้งสองลำจะกลับมามีเฟสตรงกัน

เมื่อกระจกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ความเข้มของสัญญาณที่เครื่องตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นลูกคลื่นโดยกราฟจะพล็อตระหว่างการตอบสนองที่เครื่องวัดบันทึกได้และเวลากระจกมีการเคลื่อนที่ถ้าตัวอย่างมีการดูดกลืนรังสีที่มีค่าความถี่ ขนาดของแอมพลิจูดจะลดลงโดยสัมพันธ์กับปริมาณของตัวอย่างหลังจากนั้นใช้ Fourier Transform ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในการแปลงผลที่ได้ไปเป็นค่าความเข้มกับความถี่



ภาพที่ 2-12 เครื่อง Fourier transform infrared, FTIR [28]

2.7.3 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญแบคทีเรีย [29]

การทดสอบการเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อ (Halo test) คือ การสังเกตบริเวณที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้รอบชิ้นงานทดสอบ หรือเรียกว่าการเกิด บริเวณใส (Clear zone) โดยทั่วไปการทดสอบนี้ขึ้นกับความสามารถในการแพร่ของสารยับยั้งเชื้อบนวุ้นอาหารหรือภายในวัสดุที่ผสมสารยับยั้งเชื้ออยู่ ซึ่งถือเป็นวิธีการทดสอบเชิงคุณภาพ ขนาดของบริเวณใสสามารถถูกนำมาใช้เพื่อรายงานผลในเชิงปริมาณได้โดยอาศัยสมการที่ 2-2 สำหรับขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากการนำเชื้อแบคทีเรียทดสอบเข้มข้น 106 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 100 ไมโครลิตร เกลี่ยให้สม่ำเสมอบนวุ้นอาหารในจาน Petri dish จากนั้นวางชิ้นงานทดสอบในตำแหน่งที่กำหนดไว้แล้วนำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการสังเกตและบันทึกรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยใช้จำนวนตัวอย่างในการทดสอบอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง (Duplication) คำนวณรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแสดงดังสมการต่อไปนี้

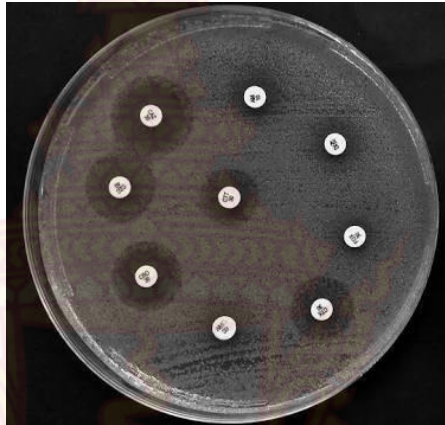
$$D_c = \frac{D_B - D_A}{2} \quad (2-2)$$

เมื่อ

D_C = ความกว้างของ Clear Zone (mm)

D_B = ผลรวมเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ และ Clear Zone (mm)

D_A = เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ (mm)



ภาพที่ 2-13 การทดสอบการเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อ (Halo test)

การวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (Percentage reduction of bacteria) ทำได้โดยอาศัยเทคนิคการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อบนวุ้นอาหาร (Plate count agar method, PCA) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบมาตรฐาน ASTM E2149-01 ซึ่งมีขั้นตอนเริ่มจากการเตรียมสารแขวนลอยเชื้อทดสอบโดยเจือจางให้ได้จำนวนเชื้อทดสอบตั้งต้นที่ 10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายเปปโตนเป็นตัวกลางทดสอบ (Peptone, เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ค่า pH 6.8 – 7.2) และมีชิ้นงานทดสอบอยู่ จากนั้นเริ่มทำการทดสอบโดยการเขย่าขวดรูปชมพู่ ดังกล่าวด้วยความถี่ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการดูสารแขวนลอยแบคทีเรีย ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ถ่ายลงสู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อใน Petri dish แล้วเกลี่ยให้ทั่ววุ้นอาหาร เพื่อทำการนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่เหลือรอดชีวิตอยู่หลังการทดสอบ โดยบ่มจานเพาะเชื้อไว้ในตู้บ่มเพาะเป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณการนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่รอดอยู่แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$(\text{CFU/ml}) = \frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้โดยเฉลี่ย}}{10^{-n} \times \text{ปริมาตรเชื้อแบคทีเรียที่หยดบนอาหารเลี้ยงเชื้อ}} \quad (2-3)$$

เมื่อ

n = ลำดับของหลอดเจือจางเชื้อ

CFU/ml = จำนวนโคโลนีต่อมิลลิเมตร

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

$$\text{Reduction of bacteria (\%)} = \frac{A-B}{A} (\times 100) \quad (2-4)$$

เมื่อ

A = จำนวนเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml) สำหรับขวดรูปชมพู่ที่ขึ้นงานไม่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

B = จำนวนเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml) สำหรับขวดรูปชมพู่ที่ขึ้นงานผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

2.8 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

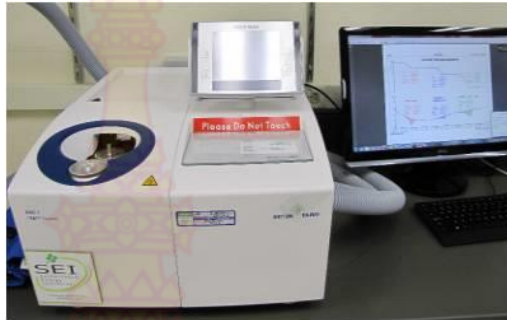
2.8.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) [30]

เครื่อง Differential scanning calorimeters (DSC) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของ Heat Flow ของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน เทียบกับตัวอย่างอ้างอิง โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และ ทางเคมีของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดหรือคายความร้อน (Endothermic or exothermic processes) หรือ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน (Heat capacity changes) จึงนำเอาเทคนิคนี้มาใช้ในการศึกษาสมบัติของตัวอย่าง เช่น พอลิเมอร์ ยา อาหาร หรือตัวอย่างในกลุ่มสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์อื่นๆ ในการศึกษาสมบัติของวัสดุด้วยเครื่อง DSC จะใช้ในการศึกษา กลาสทรานซิชัน (Glass transition, T_g) การหลอมเหลว (Melting) กระบวนการตกผลึก (Crystallization process) และ ความจุความร้อน (Heat capacity) เป็นต้น

เทคนิค DSC จะเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของ Heat flow ที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างทดสอบ เมื่อให้ความร้อนเข้าไปในระบบ เทียบกับตัวอย่างอ้างอิง ซึ่งในการทดสอบจะใช้ Pan หรือ Crucible เปล่าๆ ที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างในการอ้างอิง โดยเมื่อทำการทดสอบ เครื่อง DSC ก็จะทำการวัดค่าความแตกต่างของ Heat flow ออกมาให้

เทคนิค DSC สามารถใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหา Thermal transitions (melting, crystallisation, T_g), Specific heat, Kinetics (e.g. curing), Purity of materials, Thermal stability (oxidation, degradation), Phase transitions (glass, solid-solid, liquid-liquid), Crystallinity, Polymorphism

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบด้วย DSC นั้น สามารถทดสอบได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นผง, ของแข็ง เป็นก้อน หรือ เป็นของเหลว ก็ได้ กรณีตัวอย่างเป็นก้อน ไร้รูปทรง ถ้าทำได้ควรบดให้ละเอียดเพื่อผลการทดสอบที่ดีกว่า กรณีตัวอย่างเป็นแผ่น เช่น แผ่น พอลิเมอร์ แผ่นยาง ถ้าทำได้ให้ตัดแบ่งตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 3-4 mm เพื่อความสะดวกในการทดสอบ ปริมาณตัวอย่าง ต่อการทดสอบ 1 ตัวอย่าง จะใช้ประมาณ 2-3 mg กรณีตัวอย่างเป็นแผ่น ก็ใช้ 1-2 แผ่นโดยการตัดชิ้นตัวอย่าง ให้ใช้กรรไกร หรือ คัทเตอร์ที่สะอาด ไร้คราบเหนื่อ หรือ น้ำมัน



ภาพที่ 2-14 เครื่อง Differential scanning calorimeters (DSC) [31]

2.8.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) [32]

TGA เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน โดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องซึ่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำ การตกผลึก (Crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (Decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ รีดักชัน หรือ ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องซึ่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือ แก๊สที่มีความว่องไว เช่น ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

ข้อมูลจำเพาะ (Specifications)

- ช่วงอุณหภูมิ อุณหภูมิห้อง – 1,600 °C
- อัตราการให้ความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิห้อง – 1,100 °C / 10 นาที
- อัตราการทำความเย็นตั้งแต่ 1,000 – 100 °C / 25 นาที
- ความถูกต้องของอุณหภูมิ +0.5 °C
- ความแม่นยำของอุณหภูมิ +0.3 °C

ความสามารถในการให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ

- องค์ประกอบของสาร (Composition)
- เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability/decomposition)
- ปริมาณสารสัมพันธ์ที่เกิดปฏิกิริยา (Stoichiometry of reaction)
- จลพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยา (Kinetics of reactions)
- กระบวนการดูด/คายพลังงาน (Desorption/adsorption processes)
- การระเหย (Evaporation)

การประยุกต์ใช้งาน

- ตัวอย่างพอลิเมอร์
- ยา และเครื่องสำอาง
- ตัวอย่างทางเคมี
- สี และ พิกเมนต์
- ตัวอย่างทางปิโตรเคมี และสารอินทรีย์ต่างๆ
- ส่วนประกอบในอาหาร



ภาพที่ 2-15 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) [33]

2.9 การทดสอบสมบัติทางกล

2.9.1 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 882 [34]

การทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติของวัสดุ การทดสอบนี้ช่วยให้ได้ค่าสมบัติด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรงคราก (Yield strength) หรือ จุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดโดยไม่เสียรูป ความแข็งแรงแรงดึง (Tensile strength หรือ Ultimate strength) หรือจุดที่วัสดุรับแรงสูงสุด และ อัตราส่วนการหดตัวสัมพัทธ์ของหน้าตัด (Poisson ratio) ซึ่งเหล่านี้เป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของวัสดุ นอกจากนั้นยังสามารถที่จะหาการยืดตัวเมื่อแตกหักของวัสดุได้อีกด้วยการทดสอบด้วยการดึง โดยทั่วไป เป็นการให้แรงในแนวแกนเดียว (Uniaxial tensile test) แก่ชิ้นทดสอบโดยแรงดึงนี้จะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ หากนำขนาดของแรงดึง กล่าวหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงก็จะได้ค่าที่เรียกว่า ความเค้น (Stress: σ) ซึ่งมีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa ในขณะที่รับแรงดึงวัสดุจะเกิดการเสียรูปโดยยืดตัวออกสัดส่วนระหว่างระยะยืดตัวต่อความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบ เรียกว่า ความเครียด (Strain: ϵ) ซึ่งมีหน่วยเป็น m/m หรือ ไม่มีหน่วย การวัดแรงที่มากระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเรียกว่าความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate tensile stress) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) แสดงดังสมการการคำนวณที่ 2-5

$$E = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon \quad (2-5)$$

เมื่อ

E = มอดูลัส

$\Delta\sigma$ = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

$\Delta\varepsilon$ = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง



ภาพที่ 2-16 เครื่อง Universal testing machine [35]

2.9.2 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Dart drop impact) ตามมาตรฐาน ASTM D 1709 [36]

เป็นการทดสอบโดยพลังงานที่จะทำให้แผ่นฟิล์มพลาสติกแตกทะลุเนื่องจากการตกกระทบของลูกตุ้มมาตรฐานภายใต้สภาวะที่กำหนดโดยพลังงานดังกล่าวจะอยู่ในรูปของมวลของลูกตุ้มที่ปล่อยลงมาจากความสูงแล้วส่งผลทำให้ 50% ของแผ่นฟิล์มพลาสติกแตกทะลุในการเลือกใช้ลูกตุ้มมาตรฐาน และความสูงที่ปล่อยลูกตุ้มมาตรฐานลงมากกระทบกับแผ่นฟิล์มพลาสติกทำให้แผ่นฟิล์มพลาสติกแตกทะลุจะต้องสัมพันธ์กันคือ ถ้าลูกตุ้มมีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร จะถูกปล่อยลงมาจากความสูง 0.66 เมตร และถ้าลูกตุ้มมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มิลลิเมตร จะต้องปล่อยจากความสูงที่ 1.52 เมตร ซึ่งการเลือกใช้ลูกตุ้มมาตรฐานและความสูงต้องคำนึงถึงมวลของแผ่นพลาสติก สามารถคำนวณหาค่าการทนต่อแรงกระแทกได้จากสมการที่ (2-6)

$$WF = WO + [\Delta W(A/N - 1/2)] \quad (2-6)$$

เมื่อ

WF = ค่ามวลที่ทำให้แตกทะลุในหน่วยกรัม

WO = ค่ามวลต่ำสุดในหน่วยที่ทำให้แผ่นฟิล์มพลาสติกแตกทะลุ 100 %

ΔW = ค่ามวลคงที่ที่เพิ่มหรือลดในแต่ละครั้งในหน่วยกรัม

A = ผลรวมของ จำนวนแตกทะลุ x ลำดับการแตกทะลุ

N = ผลรวมของจำนวนแผ่นฟิล์มที่มีการแตกทะลุ 100 %



ภาพที่ 2-17 เครื่อง Dart drop impact [37]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Correlo V. และคณะ ได้ทำการศึกษาสมบัติสำหรับกระบวนการผสมโคโตนานพอลิเอสเทอร์แบบอะลิฟาติก ได้แก่ พอลิคาโพรแลคโตน (PCL), พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS), พอลิแลคติกแอซิด (PLA), พอลิบิวทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรพทาเลท (PBAT) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพท (PBSA) ในอัตราส่วนต่างๆ สำหรับการผสมระหว่างโคโตนานกับ PBS จะใส่ปริมาณโคโตนานที่ 25% ถึง 75% โดยน้ำหนัก ส่วนพอลิเอสเทอร์ที่เหลือจะใส่โคโตนานน้ำหนัก 50% การเติมโคโตนานลดการเกิดอุณหภูมิหลอมเหลว ปริมาณผลึกของพอลิเอสเทอร์ (PCL, PBS, PBSA) ที่มีโคโตนาน 50% มีค่าลดลง การเติมโคโตนานทำให้ Tensile strength ลดลงแต่เพิ่มค่า modulus โคโตนานแสดงการยึดติดระหว่างเมทริกซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าชั้นผิวของพอลิเอสเทอร์มีความสมบูรณ์ขณะที่โคโตนานผสมกับพอลิเอสเทอร์มีผิวที่แตกหักของโคโตนานกับพอลิเมอร์ที่มี T_g สูง เช่น PLA แสดงการแตกหักแบบเปราะ ส่วนการผสมกับ PCL, PBAT หรือ PBSA มีลักษณะเป็นเส้นๆบริเวณผิวที่แตกหักเนื่องจากการดึงยึด [38]

Martinez A. และ คณะ ได้ทำการศึกษาการผสมโคโตนานกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ อะคริลิกขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ที่ใช้หัวไคแบบหัวไคชั้นฟิล์มบาง โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นพอลิเมอร์หลักและอะคริลิกโคพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเป็นกาว ช่วยในการยึดเกาะระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ที่เข้ากันไม่ได้ พบว่าการทดสอบด้วยเครื่อง FTIR แสดงสเปกตรัมให้เห็นอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ สำหรับการยับยั้งแบคทีเรีย และเชื้อรา *Aspergillus niger* เนื่องจากมีสมบัติของการกั้นและการซึมผ่านของออกซิเจนที่จำกัดประสิทธิภาพ ส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การยึดติดของสปอร์เชื้อรากับผิวสัมผัสลดลง ส่วนการผสมโคโตนานมีสมบัติทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำ [39]

Aider M. ได้ทำการศึกษาการใช้โคโตนานสำหรับผลิตฟิล์มชีวภาพที่ใช้งานได้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการต้านทานแบคทีเรียสำหรับฟิล์มโคโตนานขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน และภายนอก เช่น ค่าความเป็นกรด เป็นด่าง (pH) น้ำหนักโมเลกุล (Mw) และ ระดับการกำจัดหมู่แอซิติล (Degree of deacetylation, DD) เป็นต้น ซึ่งโคโตนานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเฉลี่ยน้อยกว่า 1000 Da มีการต้านจุลชีพได้ดีกว่าโคโตนานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่วนสมบัติการดูด

ซัพและการกำจัดแบคทีเรียขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิในการเตรียมฟิล์ม สำหรับความชื้นของฟิล์มไคโตซานมีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยเมื่อความชื้นลดจาก 22 %wt เป็น 12 %wt ทำให้ช่วยลดแบคทีเรียได้ 2.5 เท่า นอกจากนี้ก็มีระดับการกำจัดหมู่แอสิดิลออกจะมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมาก [40]

Broek V. และคณะได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มไคโตซานและวัสดุผสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์บรรจุหีบห่อ ซึ่งใช้ในชีวิตประจำวันด้านอาหารตลอดจนด้านการแพทย์ได้ให้ความสนใจฟิล์มที่ป้องกันการเจริญเติบโตและการสะสมของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดอันตรายสำหรับบรรจุภัณฑ์ด้านอาหาร การเพิ่มสมบัติด้านการต้านจุลชีพนั้นทำให้เพิ่มอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไคโตซานเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพแบบธรรมชาติที่สามารถต้านจุลินทรีย์ [41]

นายศุภชัย สง่า และคณะได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS ที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ต้านแบคทีเรียโดยผสม PLA และ PBS ในอัตราส่วน 90/10 เฟอร์เซ็นโดยน้ำหนัก และไม่มีการเติมสารเติมแต่งในการทำให้เข้ากันมีการใช้ โครนาในการปรับสภาพผิวฟิล์ม และมีการใช้จุลินทรีย์ในการศึกษาฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ Staphylococcus aureus (s.aureus) และ Escherichia coli (e.coli) ที่อัตราส่วนของการผสม 90/10 มีการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานที่เข้มข้น 0.25, 0.5, 1 และ 2 เฟอร์เซ็นโดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผลของการปรับสภาพผิวด้วยไคโตซานที่กระแสไฟฟ้า 4A ส่งผลให้เกิดหมู่ฟังก์ชันมีซิว ทำให้ผิวของฟิล์มมีความสามารถในการเปียกน้ำที่ดีขึ้น แต่ถ้า 5 และ 6A จะทำให้ความในการเปียกน้ำของฟิล์มลดลง สมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน จะทำให้ความแข็งแรงต่อการดึงยึดของฟิล์มมีค่ามากขึ้นในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลง ซึ่งเป็นผลมาจากความแข็งแรงและความเปราะของไคโตซานที่เคลือบผิว ส่วนการศึกษาในการต้านทานแบคทีเรียพบว่า ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานมีฤทธิ์ในการต่อต้านแบคทีเรียทั้งชนิด S.aureus และ E.coli ได้เป็นอย่างดีแต่จะต่อต้านแบคทีเรียชนิด E.coli ได้ดีกว่า เนื่องจากไคโตซานจะมีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรียชนิดแกรมลบได้ดีกว่าแกรมบวก [21]

Javier F. และคณะได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเอทิลีนและไคโตซานร่วมกับ Polypropylene-graft-maleic anhydride การเตรียมคอมโพสิตของพอลิเมอร์สังเคราะห์โดยธรรมชาติ ฟิล์ม PE/ไคโตซานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดเป็นฟิล์มด้วยอัตราส่วนต่างๆของสารประกอบและใช้ Polypropylene-graft-maleic anhydride (PP-g-MA) เป็นตัวช่วยผสม การศึกษาสมบัติด้วยเครื่อง FTIR, SEM, DSC, ความต้านทานแรงดึงและการสัมผัสสัมผัส โดยการเพิ่มของตัวประสานทำให้ลดขนาดอนุภาคของไคโตซานที่สังเกตได้จากทางกายภาพและสัญญาณวิทยาของฟิล์ม [42]

Park S. และคณะได้ทำการศึกษาการใช้ฟิล์มด้วยไคโตซานเพื่อยืดอายุและรักษาเนื้อสดโดยนำไคโตซานเติมลงในพอลิเมอร์ คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) ที่มีความเข้มข้น

ต่างกัน มีการทดสอบกับแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค 3 ชนิด คือ *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* และ *Salmonella enteritidis* โดยนำฟิล์มที่มีโคโตซานตรวจสอบประสิทธิภาพของการยึดอายุของเนื้อแดง และ ยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ โคโตซานสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียทั้งสามชนิดในสารละลายเปปโตน 0.1% พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโคโตซานในฟิล์มทำให้ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียดีขึ้น นอกจากนี้การผสมโคโตซานไม่ส่งผลต่อความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจนขณะที่ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น และการยึดตัวของฟิล์มลดลง เมื่อนำฟิล์มที่มีสารโคโตซานวางบนเนื้อแดงพบว่าเนื้อไม่ถูกยับยั้งจุลินทรีย์ สังเกตว่ามีการเก็บรักษาสีแดงของเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บในตู้เย็น [43]

Maliger R. และคณะมีการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิবিวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพท (PBSA) กับ TPS ที่อัตราส่วน 60/40 โดยน้ำหนัก ซึ่ง PBSA จะถูกดัดแปลงโดยการใช้ MA และ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ชนิดไดควิมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) เพื่อทำให้เกิดโครงสร้าง PBSA-g-MA ซึ่ง PBSA-g-MA สามารถทำให้โมเลกุลแข็ง และ PBSA เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นโดยพิจารณาจากภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope, OM) นอกจากนี้การเติม PBSA-g-MA ยังทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าการดึงยึดที่จุดขาดเพิ่มขึ้นด้วย [44]

Zhang X. และคณะได้ทำการศึกษาการเติมสารตัวเติมระดับนาโน คือ cellulose nanocrystal (CNC) ซึ่งมีสมบัติเชิงกลที่ดีใส่ลงในพอลิবিวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพท (PBSA) โดยใช้ phthalic anhydride เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่า phthalic anhydride เป็นตัวประสานระหว่าง 2 ชนิด สามารถเพิ่มสมบัติเชิงกล มีเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุผสม และการกระจายตัวของ CNC ได้ดีขึ้นการเติม phthalic anhydride อาจเร่งการตกผลึกของ PBSA และสามารถปรับปรุงความไม่มีขั้วของวัสดุผสม สมบัติเชิงกลที่ดี การตกผลึกอย่างรวดเร็ว และการปรับปรุงความไม่มีขั้วที่ดีขึ้นของวัสดุผสม PBSA/CNC ด้วย phthalic anhydride มีประโยชน์ต่อการใช้งานในเชิงพาณิชย์ [45]

Wang H. และคณะได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลสำหรับการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติก LLDPE/chitosan ซึ่งการผสม LLDPE กับ โคโตซานถูกเตรียมโดยการใช้วิธีการผสมแบบหลอมเหลว 2 ขั้นตอน จากนั้นนำไปเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์โดยใช้ LLDPE-g-MAH เป็นตัวประสานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายตัวของโคโตซานในพอลิเมอร์หลัก โดยยืนยันจากเครื่อง FTIR และ SEM ว่ามีการสร้างพันธะเอมิลใหม่ระหว่างโคโตซานและ LLDPE-g-MAH และ ทดสอบสมบัติเชิงกลและต้านทานการซึมผ่านของฟิล์ม LLDPE/chitosan พบว่า ความต้านทานการดึงยึดและระยะยึดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโคโตซาน นอกจากนี้ยังสามารถลดการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มผสมได้ถึง 200% เมื่อเพิ่มปริมาณโคโตซานและความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจนลดลงปริมาณ 20%

เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีโคโตซาน นอกจากนี้พบว่า LLDPE-g-MAH มีผลต่อสมบัติเชิงกล และความสามารถในการซึมผ่านออกซิเจนได้เป็นอย่างดีนอกเหนือจากความต้านทานไอน้ำ [46]

Liu N. และคณะได้ทำการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของโคโตซานที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* พบว่าที่ความเข้มข้นสูงกว่า 200 ppm ทุกตัวอย่างของโคโตซานมีค่าน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 5.5×10^4 ถึง 15.5×10^4 Da มีฤทธิ์ที่ต้านทานเชื้อแบคทีเรียสำหรับความเข้มข้นต่ำกว่า 200 ppm ฤทธิ์ต้านทานเชื้อของโคโตซานมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลในช่วงความเข้มข้นขึ้นตั้งแต่ 50 ถึง 100 ppm โคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สูงกว่าโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง [47]



บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ / อุปกรณ์ / เครื่องมือ

3.1.1 สารเคมี

1. เม็ดพลาสติก Polybutylene succinate-co-adipate (PBSA) เป็นเกรด 3001 MD ผลิตจากบริษัท Bionolle
2. โคโตซานชนิดผง Food grade ขนาด 200 mesh และมี Degree of deacetylation 91.4 % ผลิตจากบริษัท S.A.P CHITOSAN
3. เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบชนิดแกรมลบ Escherichia coli (E.coli) สายพันธุ์ ATCC 25922 และ ชนิด แกรมบวก Staphylococcus aureus (S.aureus) สายพันธุ์ ATCC 25923
4. อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการเลี้ยงแบคทีเรีย
 - อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้น (Plate count agar)
 - อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient broth)
 - Peptone

3.1.2 อุปกรณ์ในการวิจัย

1. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล
2. ถุงมือผ้า
3. เกียง
4. มีดตัดเตอร์
5. กรรไกร
6. ถังไซปขนาดใหญ่ และ ขนาดเล็ก
7. ปากกาเคมี
8. ซ้อนตักสาร
9. กระจกชั่งสาร
10. ถาดอลูมิเนียม
11. อุปกรณ์วัดความหนา-บางฟิล์ม (ไมโครมิเตอร์)
12. กล่องพลาสติกเก็บชิ้นงาน
13. ไม้บรรทัดเหล็ก
14. แผ่นรองตัด
15. เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบแบคทีเรีย
 - จานเลี้ยงเชื้อ Plate
 - กระจกกรอง
 - Auto pipette
 - หลอดทดลอง (Test tube)

- Centrifuge tube
- Eppendorf
- ตู้อบ
- Vortex
- ตะเกียงแอลกอฮอล์
- loop
- Erlenmeyer flask
- Beaker
- Water bath
- Laboratory bottle

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin screw extruder)
2. เครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม (Blown film extruder)
3. เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Universal testing machine, UTM)
4. เครื่องทดสอบสมบัติแรงกระแทก (Dart drop impact)
5. เครื่องทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI)
6. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)
7. เครื่องทดสอบความเสถียรทางความร้อน Thermogravimetric analysis (TGA)
8. เครื่องตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier transform infrared (FTIR)
9. เครื่อง UV-Vis spectrophotometer รุ่น G10S UV-Vis

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

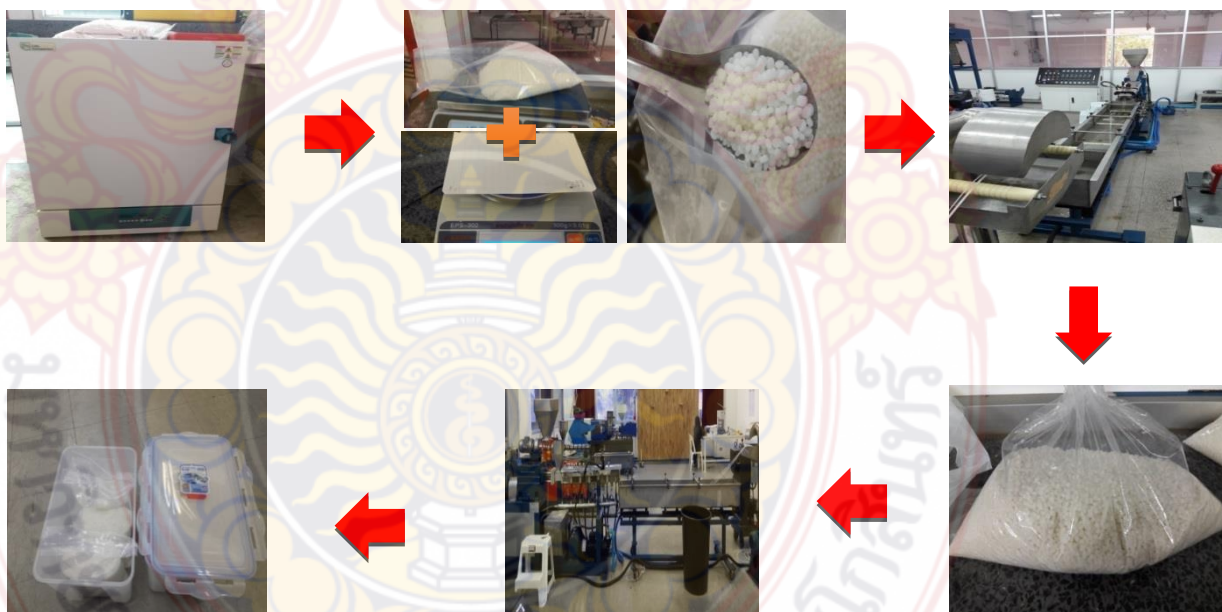
ตารางที่ 3-1 การผสมพอลิเมอร์ polybutylene succinate-co-adipate (PBSA) กับ chitosan และนำไปรีไซเคิลของทุกสูตรการผสม

สูตรการผสม	ส่วนประกอบการผสม		
	Polybutylene succinate-co-adipate (PBSA)	Chitosan (C) (ppm)	การรีไซเคิลด้วยการ Extrusion (ex) (ครั้ง)
1.PBSA_ex3	100	-	1
2.PBSA_ex2	100	-	2

3.PBSA_ex3	100	1000	3
4.PBSA_ex1_C1000	100	1000	1
5.PBSA_ex2_C1000	100	1000	2
6.PBSA_ex3_C1000	100	1000	3
7.PBSA_ex1_C2000	100	2000	1
8.PBSA_ex2_C2000	100	2000	2
9.PBSA_ex3_C2000	100	2000	3

3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปพอลิเมอร์

3.3.1 ขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)



ภาพที่ 3-1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)

1. อบเม็ด PBSA และ ไคโตซานที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง
2. ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ 95, 95, 100, 110, 120, 130, 135 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบที่ใช้ในการผสม 200 – 250 rpm
3. เปิดเครื่องระบายความเย็น และ เปิดระบบการไหลเวียนของน้ำการหล่อเย็น

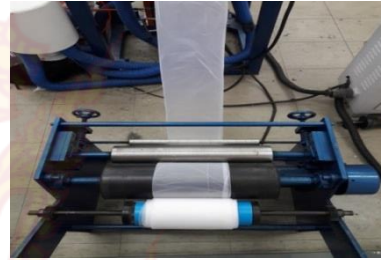
4. ทำการซั่ง PBSA และ ไคโตซาน ด้วยเครื่องซั่งน้ำหนักดิจิตอล จากนั้นทำการเขย่าผสมให้เข้ากัน
5. ทำการผสม PBSA กับไคโตซาน โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ที่อัตราส่วนการผสมของไคโตซาน 0, 1000 และ 2000 ppm ตามลำดับ และตัดเป็นเม็ดคอมพาวนด์ จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
6. นำเม็ดคอมพาวนด์ที่ได้จากข้อ 4 มาผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่เพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนรอบในการรีไซเคิลเป็นครั้งที่สอง และสามตามลำดับ จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
7. บรรจุลงในกล่องพลาสติกเก็บชิ้นงาน



ภาพที่ 3-2 ตัวอย่างงาน ทั้ง 9 สูตร

3.3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blown film extrusion)

1. ตั้งอุณหภูมิเครื่องเป่าขึ้นรูป 95, 100, 110, 120, 130 องศาเซลเซียส
2. เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการขึ้นรูปฟิล์ม
3. นำเม็ดคอมพาวนด์ใส่ลงใน Hopper เพื่อทำการเป่าฟิล์ม
4. เปิดความเร็วของสกรู 18-20 rpm แล้วนำพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ออกจากหัวตายตั้งขึ้นผ่านลูกกลิ้งด้านบน
5. เปิดลมเพื่อทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวพองตัวใหญ่ขึ้นเป็นฟิล์ม
6. นำฟิล์มม้วนเก็บด้วยเครื่องมือม้วนเก็บฟิล์ม
7. วัดความหนาบางของฟิล์ม
8. นำม้วนฟิล์มออกจากเครื่องมือม้วนเก็บฟิล์ม
9. นำม้วนฟิล์มมาเก็บลงในกล่องพลาสติกเพื่อรอการนำไปทดสอบ สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และ สมบัติทางกายภาพ ต่อไป



ภาพที่ 3-3 แผนผังแสดงขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blown film extrusion)

3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสม

3.4.1 การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D 1238



ภาพที่ 3-4 เครื่องทดสอบดัชนีการไหล

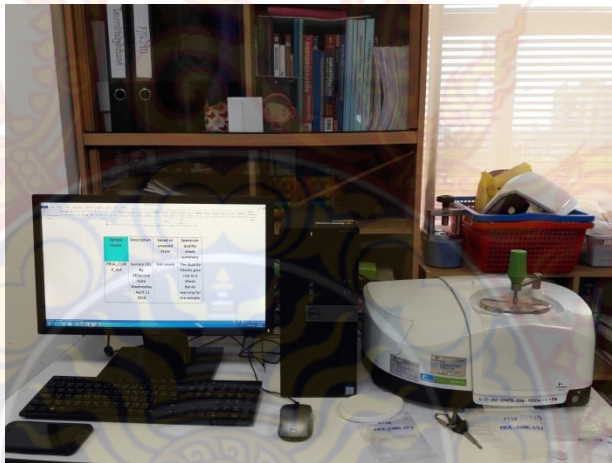
3.4.1.1 สภาวะการทดสอบ

สภาวะการทดสอบ ทำการทดสอบดัชนีการไหลที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส และ น้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ในการทดสอบ 2.16 กิโลกรัม

3.4.1.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. ก่อนทำการทดสอบควรทำความสะอาดกระบอกลูกสูบ และ ลูกสูบด้วยตัวทำละลายร้อนแล้วเช็ดสิ่งสกปรกทั้งหมดออก
2. ตั้งอุณหภูมิเครื่องทดสอบที่ 190 องศาเซลเซียส รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
3. บรรจุสารตัวอย่าง โดยมีน้ำหนักประมาณ 10 กรัม ลงในกระบอกลูกสูบ รอเวลา Preheat 1 นาที
4. นำน้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม มาวางลงบนก้านกดน้ำหนัก จากนั้นเริ่มจับเวลาเมื่อเข็มบอกระยะลงมาถึงช่วง 30 มิลลิเมตร และ กดหยุดเวลาเมื่อเข็มบอกระยะพ้นช่วง 30 มิลลิเมตร พร้อมทั้งตัดพอลิเมอร์ที่ไหลออกมาจากหัวตาย
5. เก็บตัวอย่างจากหัวตายอย่างน้อย 3-5 ตัวอย่าง
6. ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าดัชนีการไหล

3.4.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Attenuated total reflection fourier transform infrared (ATR - FTIR)



ภาพที่ 3-5 เครื่องตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Attenuated total reflection fourier transform infrared (ATR - FTIR)

3.4.2.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

- นำฟิล์มมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยกำหนดให้ชิ้นงานมีความยาว 60 มิลลิเมตร กว้าง 23 มิลลิเมตร
- นำโคโตนผงมาอัดเป็นแผ่น

3.4.2.2 สภาวะการทดสอบกำหนด

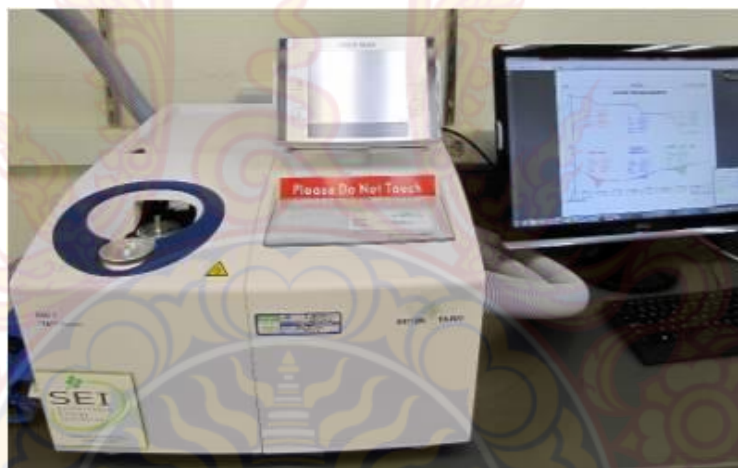
Wavenumber $4000-550\text{ cm}^{-1}$ ในการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันพอลิเมอร์

3.4.2.3 วิธีการทดสอบ

1. เปิดเครื่อง Fourier transform infrared (FTIR) และ คอมพิวเตอร์
2. เข้าโปรแกรม Spectrum และ เช็คพลังงานจากแหล่งกำเนิดแสง
3. ตั้งค่าพารามิเตอร์ในการรันตัวอย่างที่ Wavenumber $4000-550\text{ cm}^{-1}$ นำฟิล์มมาใส่ในที่ใส่ตัวอย่างทดสอบของเครื่อง FTIR
4. กดปุ่ม Background
5. นำตัวอย่างใส่ในช่องใส่ตัวอย่าง แล้วปิดฝา กดปุ่ม Scan
6. บันทึกผล และวิเคราะห์ผล

3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

3.5.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC)



ภาพที่ 3-6 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC)

3.5.1.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นส่วนของสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) ทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้แล้วทำการทดสอบ

3.5.1.2 สภาวะการทดสอบ

1. เป็นการให้ความร้อนกับชิ้นตัวอย่างจากอุณหภูมิ 25 จนถึง 110 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อน 5 องศาเซลเซียส/นาที ภายใต้สภาวะไนโตรเจน เพื่อกำจัด Thermal history ของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

2. ลดอุณหภูมิของสารตัวอย่าง จากอุณหภูมิ 110 ลงมาจนถึง 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการลดความร้อน 5 องศาเซลเซียส/นาที เพื่อให้ตัวอย่างทุกตัวลดอุณหภูมิลงมาด้วยความเร็วเท่ากัน

เนื่องจากอัตราเร็วในการลดลงอุณหภูมิจะส่งผลต่อความเป็นผลึก และ ขนาดของผลึกของตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้โดยผลการทดสอบจะพบค่าอุณหภูมิการเกิดผลึก Crystallization temperature (T_c) ในขั้นตอนนี้

3. เป็นการให้ความร้อนกับตัวอย่างทุกตัวอีกครั้งจากอุณหภูมิ 25 ถึง 110 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาที ซึ่งการทดสอบขั้นตอนนี้ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิการหลอมผลึก Melting temperature (T_m) มาวิเคราะห์ผล ทดลองต่อไป โดยค่าอุณหภูมิ T_c และ T_m ของชิ้นงานทดสอบ

3.5.1.3 วิธีการทดสอบ

1. เปิดชุดทดสอบ DSC ซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับพล็อตกราฟ และ บันทึกข้อมูล ด้วยระบบควบคุม DSC (DSC controller)

2. บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารแล้วทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้นำไปใส่ในเตา (Furnace) ของเครื่อง DSC ซึ่งมี 2 กระชก (pans) โดยกระชกที่ 1 สำหรับใส่ภาชนะเปล่าเพื่อเป็นตัวอ้างอิง และ กระชกที่ 2 ใช้สำหรับใส่ภาชนะที่บรรจุสารตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ

3. ปิดฝาครอบเครื่อง DSC

4. กำหนดตัวแปร (Parameter) และ เงื่อนไข (Condition) ที่ต้องการในเครื่อง

5. เริ่มทำการเดินเครื่อง DSC และ เปิดก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์จะทำการวิเคราะห์อุณหภูมิตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้เมื่อถึงเวลาสุดท้ายจะมีเสียงสัญญาณเตือนคอมพิวเตอร์จะหยุดการวิเคราะห์ผล

6. ปิดวาล์วถึงก๊าซไนโตรเจนและนำภาชนะบรรจุสารตัวอย่างออกจากเครื่อง DSC และ บันทึกข้อมูล

3.5.2 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)



ภาพที่ 3-7 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) [33]

3.5.2.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นส่วนของสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) แล้วทำการทดสอบ

3.5.2.2 สภาวะการทดสอบ

ทำการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 50–600 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียส/นาที ภายใต้ไนโตรเจน

3.5.2.3 วิธีการทดสอบ

1. เตรียมสารตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม
2. ปรับสภาวะของเครื่องมือ (Thermo balance) โดยให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 50-600 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน
3. ชั่งน้ำหนักของภาชนะสำหรับใส่สารตัวอย่าง (Crucible) และ ปรับตั้ง (Tare) ให้เป็นศูนย์
4. ใส่สารตัวอย่างในภาชนะที่เตรียมไว้
5. น้ำหนักที่แน่นอนของสารตัวอย่างจะถูกชั่งโดยตาชั่งใน Thermo balance และ เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์
6. ปิดเตาเผา (Furnace) ที่ใส่สารตัวอย่างไว้ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน 10-15 นาที ก่อนเริ่มการทดลอง

3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

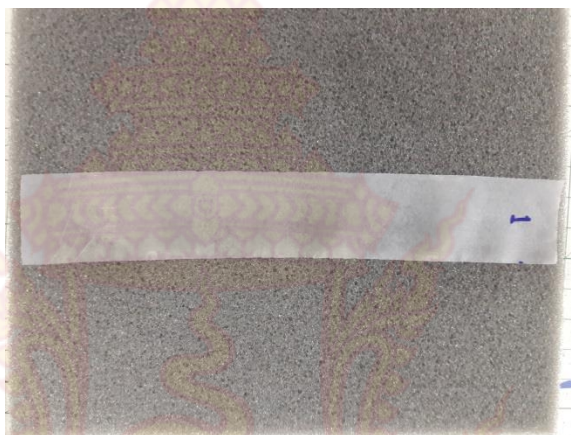
3.6.1 การทดสอบการทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 882



ภาพที่ 3-8 เครื่องทดสอบการทนทานต่อแรงดึง

3.6.1.1 เตรียมตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง เตรียมได้จากการนำชิ้นงาน พอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมเป็นฟิล์มในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์ม มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกำหนดให้ชิ้นงานมีความยาว 150 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร ในทิศทางตามแนวเครื่องจักร Machine direction (MD) สูตรละ 10 ชิ้น (แสดงดังภาพที่ 3-9)



ภาพที่ 3-9 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนทานต่อแรงดึง

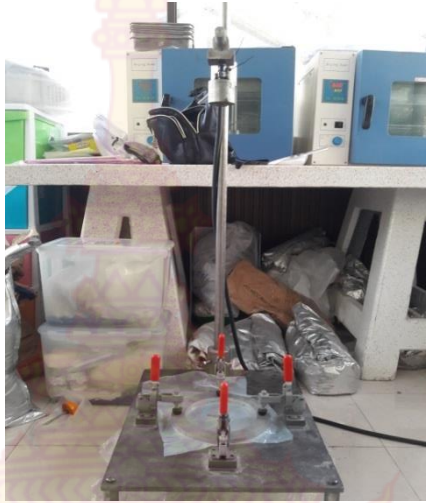
3.6.1.2 วิธีการทดสอบ

- นำฟิล์มมาทำเลขหมายการทดสอบ
- เปิด Computer ในการทดสอบแรงดึง
- กำหนดค่าการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 882
- นำฟิล์มไปหนีบเข้ากับตัวหนีบ (Grip) ทั้งด้านบน และ ด้านล่าง
- เริ่มการทดสอบ
- นำค่าจากการทดสอบมาพล็อตเป็นกราฟ
- วิเคราะห์ผล

3.6.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก Dart drop impact ตามมาตรฐาน ASTM D1709 (Method A)

3.6.2.1 เตรียมตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกเตรียมได้จากการนำชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมเป็นฟิล์มในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยกำหนดให้ ชิ้นงานมีความยาว 125 มิลลิเมตร กว้าง 125 มิลลิเมตร สูตรละ 20 ชิ้น (แสดงดังภาพที่ 3-11) ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก แสดงดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก



ภาพที่ 3-11 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

3.6.2.2 วิธีการทดสอบ

- นำฟิล์มมาทำเลขหมายการทดสอบ
- กำหนดค่าการทดสอบแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 1709
- นำฟิล์มวางบน Gasket แล้วทำให้ฟิล์มตึง และ นำ Gasket อีกส่วนมาวางประกบ เพื่อให้ฟิล์มตึงตลอดเวลาในการทดสอบ
- เริ่มการทดสอบ
- บันทึกค่าการทดสอบ
- นำค่ามาคำนวณ และ วิเคราะห์ผล

3.7 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย

3.7.1 วิธีทดสอบรัศมีในการยับยั้งแบคทีเรีย (Halo test)

3.7.1.1 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อแบคทีเรียสำหรับทดสอบ (Cultivation)

3.7.1.1.1 กระบวนการเตรียมอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

- เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้น (Plate count agar) โดยนำอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้นปริมาณ 2.35 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร สำหรับบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ
- เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient broth) โดยนำอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวปริมาณ 1.3 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร สำหรับบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ
- กำจัดเชื้อปนเปื้อนในสารละลายที่เตรียมขึ้นทั้งสองชนิดพร้อมกับจานเลี้ยงเชื้อด้วยเครื่องอบฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที นอกจากนี้หาขวดแก้วชนิดทนความร้อนเป็นฝาแบบเกลียว ต้องทำการคลายฝาให้หลวมเล็กน้อยแล้วหุ้มถุงพลาสติกชนิดดูร้อนให้มิดชิดก่อนใส่ลงในเครื่องฆ่าเชื้อ
- หลังจากการอบฆ่าเชื้อเสร็จสิ้นแล้วนำขวดที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้นและชนิดเหลวออกมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิลดลงเหลือปริมาณ 60 องศาเซลเซียส พร้อมก็นำจานเลี้ยงเชื้อไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- นำอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งสองชนิดเทรวมกันและทำการกวนให้เข้ากัน
- นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมเข้ากันแล้วมาเทลงบนจานเพาะเชื้อ (Petri dish) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วให้ทั่วพื้นผิวของจานโดยตลอด ปริมาณในการเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อประมาณ 15 มิลลิลิตร จากนั้นรอจนกระทั่งสารละลายอาหารเลี้ยงเชื้อมีสภาพแข็งตัวเป็นวุ้น ซึ่งใช้เวลาประมาณ 15 – 20 นาที
- นำเชื้อแบคทีเรียชนิด E.coli และ S.aureus ออกจากตู้ทำความเย็นเพื่อทำการเกลี่ยลงบนจานที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็นวุ้นจากนั้นใช้ Loop เเผาไฟให้แดงและรอให้ Loop อุณหภูมิลดลงค่อยทำการการเชี่ยเชื้อแบคทีเรียออกมาจากหลอดทดลองแล้วเกลี่ยลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ซึ่งก่อนทำการเปิดจานเลี้ยงเชื้อจะต้องทำการเผาไฟทางด้านที่ปิด เพื่อป้องกันสารปนเปื้อนชนิดอื่น และการเกลี่ยจะต้องเกลี่ยให้ทั่วทั้งพื้นผิวจานเลี้ยงเชื้อ
- จากนั้น คั่วจานเลี้ยงเชื้อเพื่อป้องกันไอน้ำที่กลั่นตัวหยดลงบนวุ้นเลี้ยงเชื้อ ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อชนิดอื่นในอากาศได้ แล้วนำไปใส่ไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อแบคทีเรียเจริญเติบโตในลักษณะ Single colony

3.7.1.1.2 การเตรียมเชื้อแบคทีเรียเพื่อทดสอบ (Fresh up)

- นำจานเลี้ยงเชื้อที่ได้จาก 3.7.1.1.1 ออกมาจากตู้อบและสังเกตการณ์เกิดเชื้อแบคทีเรียในรูปแบบ Single colony ว่ามีลักษณะแบบใดและเป็นแบคทีเรียชนิดที่ต้องการหรือไม่
- ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้น (Plate count agar) 8.46 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 360 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในขวดแก้วขนาด 500 มิลลิลิตร
- ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient broth) 2.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 200 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในขวดแก้วขนาด 200 มิลลิลิตร
- จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้นและชนิดเหลวไปใส่ลงในเครื่องอบฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที พร้อมกับอุปกรณ์เครื่องแก้วที่จะใช้ เช่น plate, tip และ test tube
- จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้นออกมาตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเพื่อนำมาเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อขนาดใหญ่ 8 คู่ และ ขนาดเล็ก 8 คู่ ที่อบให้แห้งแล้วที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และตั้งทิ้งไว้ให้มีสภาพแข็งตัวเป็นวุ้น จากนั้นคว่ำทิ้งไว้เพื่อป้องกันสารปนเปื้อนจากไอน้ำที่อยู่บนฝาครอบจานเลี้ยงเชื้อ
- ใช้ออโตไมโครปิเปต (Auto-micro pipette) ดูดอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวปริมาณ 5 ml แล้วใส่ลงในหลอดทดลองจากนั้นใช้ Loop เผลาไฟให้แดงก่อน เชี่ยวเชื้อแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็น Single Colony จากจานเลี้ยงเชื้อที่ได้จาก 3.7.1.1.1 ใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว โดยการเชียวจะต้องเชียวแบบลักษณะ 1 full loop และนำหลอดทดลองดังกล่าวไปเข้าตู้บ่มเชื้อเป็นเวลา 12 – 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

3.7.1.2 การเพาะเชื้อแบคทีเรียบนวัสดุที่มีสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียผสมอยู่ (Inoculation) แบบเชิงคุณภาพ

- นำขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ขวดและ tip ขนาดใหญ่ 1 กล่อง ไปอบฆ่าเชื้อในเครื่องเครื่องอบฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที จากนั้นเอาไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- นำหลอดทดลองที่มีแบคทีเรียออกมาจากตู้เย็น สังเกตการณ์การลักษณะภายนอกของแบคทีเรียที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวจะมีลักษณะแบบขุ่นมาเทลงในขวดแก้วที่เตรียมไว้ ขวดละชนิด จากนั้นนำไปวัดค่าความเข้มข้น (Optical density) ของสารแบคทีเรียโดยใช้เครื่อง UV-vis spectroscopy ใช้ความยาวคลื่นที่ 600 nm ก่อนใช้ออโตไมโครปิเปตดูดสารทุกครั้งควรเขย่าก่อนเพราะป้องกันการนอนกันของสาร
- ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้น (Plate count agar) 3.52 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 150 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร

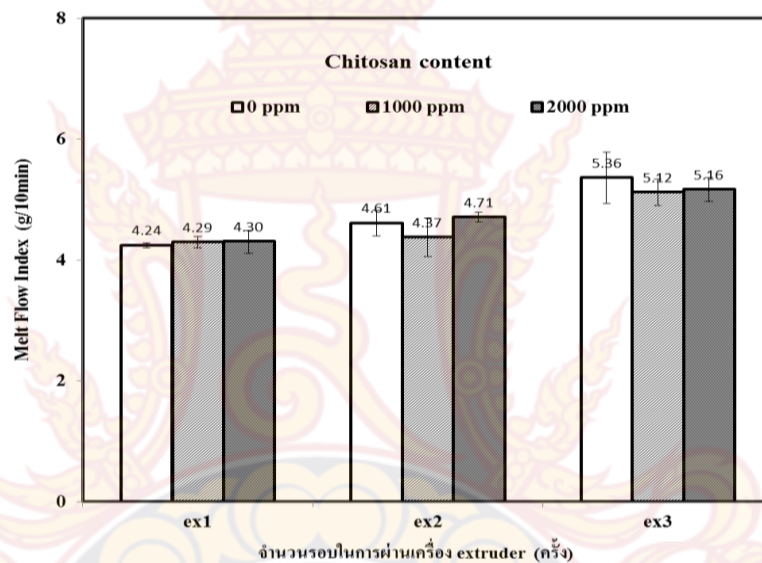
- ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient broth) 1.95 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 150 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร
- จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้น และ ชนิดเหลว ไปใส่ในเครื่องเครื่องอบฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที พร้อมกับหลอดเซนติฟิว (Centifuge tube) และ tip ใหญ่ 1 กล่อง จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งสองชนิดมาตั้งทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิลดลงพร้อมกับนำหลอดเซนติฟิว (Centifuge tube) และ tip ใหญ่ 1 กล่อง ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- เทอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้นและชนิดเหลวอย่างละ 15 มิลลิลิตร รวมกันในหลอดเซนติฟิว จากนั้นใช้ออโตโมโครปิเปตดูดแบคทีเรียชนิด E.coli 550 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดเซนติฟิวที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้นและชนิดเหลวรวมกัน 30 มิลลิลิตร พร้อมกับทำการกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยสังเกตการเกิดฟองอากาศในน้อยที่สุด ต่อมานำไปเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อขนาดใหญ่ และ ขนาดเล็กที่ได้จาก 3.7.1.1.2 ซึ่งเทลงในจานเลี้ยงเชื้อขนาดเล็กแค่ 15 มิลลิลิตร
- จากนั้นทำขั้นตอนเหมือนเดิม โดยเปลี่ยนแบคทีเรียเป็นชนิด S.aureus 520 ไมโครลิตร และเทลงบนจานเลี้ยงเชื้อขนาดใหญ่และขนาดเล็กเช่นเดียวกัน
- นำจานเลี้ยงเชื้อที่ได้มาตั้งทิ้งไว้เพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อด้านบนมีสภาพแข็งตัวเป็นวุ้น จากนั้นใช้ปากคีบที่เผาฆ่าเชื้อแล้วมาคีบชิ้นงานทดสอบที่มีลักษณะเป็นวงกลมที่ได้จากการเตรียมชิ้นงาน ทดสอบมาวางบนจานที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ พร้อมทั้งวางแผ่นควบคุม ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อเป็นตัวอ้างอิง หรือเรียกว่า เป็นแผ่นควบคุมแบบบวก (Positive control) โดยจุ่มด้วยโซเดียมคาร์บอเนต และแผ่นควบคุมแบบลบ (Negative control) โดยจุ่มด้วยน้ำกลั่น
- นำจานเลี้ยงที่วางชิ้นงานทดสอบแล้วไปบ่มเชื้อให้เจริญเติบโตในตู้บ่มเพาะ เป็นเวลา 12 – 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นสังเกตบริเวณที่ไม่มีเชื้อแบคทีเรียเจริญเติบโตอยู่ โดยเฉพาะบริเวณรอบๆ ชิ้นงาน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมทางการไหล Melt flow index (MFI)

จากการทดสอบค่าดัชนีการไหล ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม ทดสอบที่อุณหภูมิห้องของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานของทุกสูตรการผสม แสดงดังภาพที่ 4-1

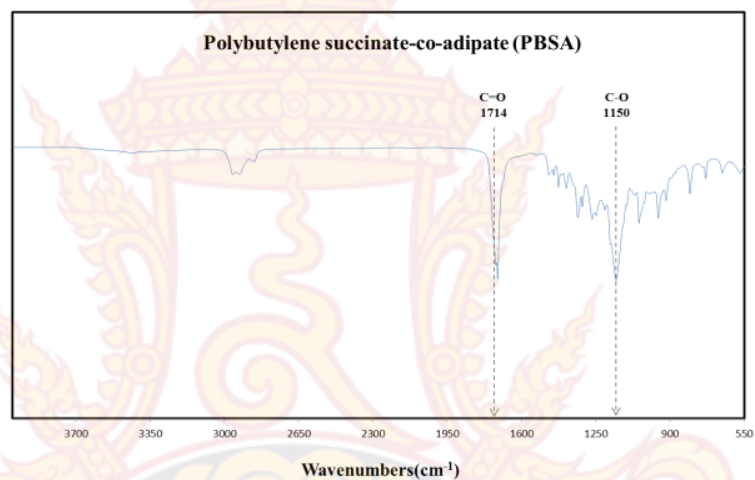


ภาพที่ 4-1 ค่าดัชนีการไหลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ที่ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ที่ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)

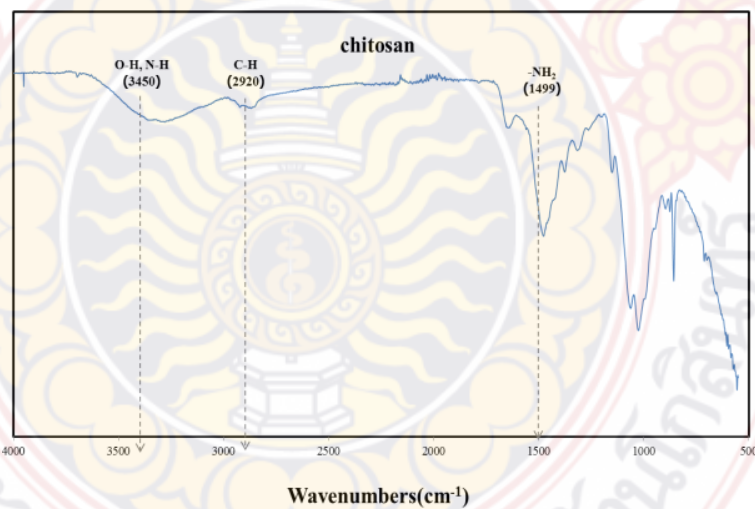
จากภาพที่ 4-1 แสดงค่าดัชนีการไหลของ PBSA ที่ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ PBSA ที่ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 3 (ex3) แสดงให้เห็นว่าการเติมไคโตซานใน PBSA ที่ 1000 ppm และ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ไม่มีผลต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ เนื่องจากปริมาณการเติมไคโตซานลงไปในการผสมมีเพียงเล็กน้อย ส่วนการผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำของ PBSA ที่ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ PBSA ที่ผสมไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ค่าดัชนีการไหลมีแนวโน้มที่เพิ่มตามลำดับมากขึ้น เนื่องจากความร้อนส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สั้นลงและเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายมากขึ้นในขณะหลอมเหลว

4.2 ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Attenuated total reflection fourier transform infrared (ATR - FTIR)

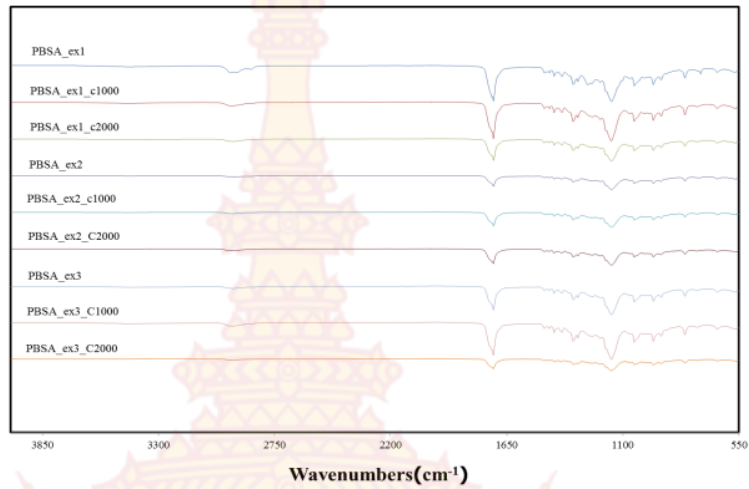
ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 4-2



(ก)



(ข)



(ค)

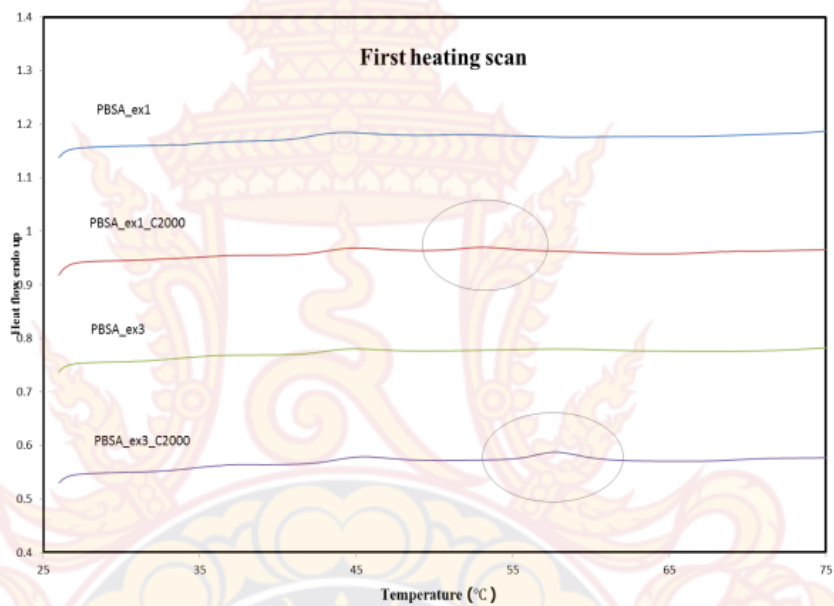
ภาพที่ 4-2 ภาพจากการทดสอบ Attenuated total reflection fourier transform infrared (ATR - FTIR) (ก) ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA), (ข) ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของไคโตซาน, (ค) ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)

จากภาพที่ 4-2 (ก) ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ของ PBSA แสดงให้เห็นพีคของหมู่โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญ คือ การดุดกลืนของ C=O stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1714 cm^{-1} และการดุดกลืนของ C-O stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1150 cm^{-1} และผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของ ไคโตซานจากภาพที่ 4-2 (ข) แสดงให้เห็นหมู่โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญ คือ การดุดกลืนของ NH_2 stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1500 cm^{-1} และจากภาพที่ 4-2 (ค) แสดงหมู่โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญของ PBSA ที่ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ PBSA ที่ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ซึ่งสูตรที่มีการเติมไคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ไม่มีการปรากฏของพีคการดุดกลืนแสงของหมู่อะมิโน (NH_2) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1500 cm^{-1} เนื่องจากปริมาณการเติมไคโตซานในเมทริกซ์น้อยมาก จึงทำให้พีคของการดุดกลืนของหมู่อะมิโนในไคโตซานไม่ปรากฏชัดเจน

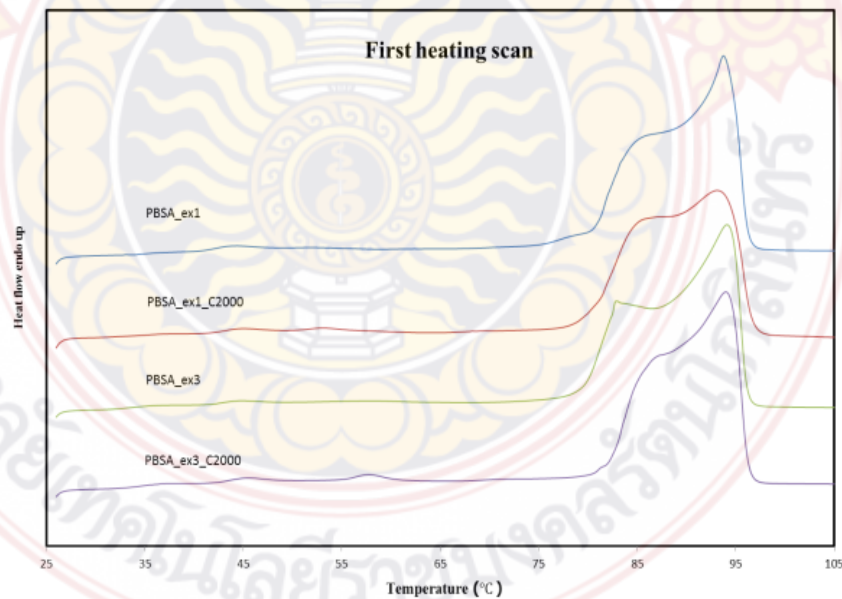
4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

4.3.1 Differential scanning calorimetry (DSC)

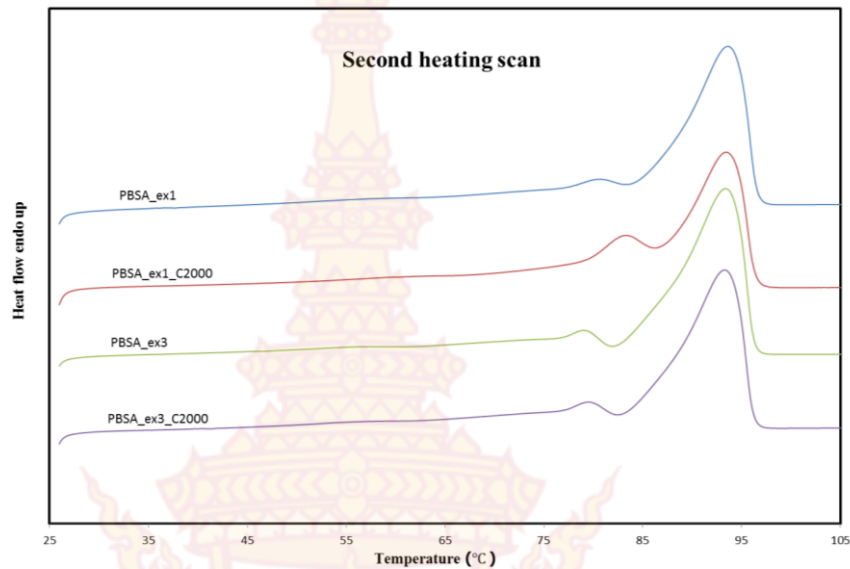
ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเฟต (PBSA) ผสมกับไคโตซานของทุกสูตรการผสม เพื่อศึกษาอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) และปริมาณผลึก (Degree of crystallinity, %crystal) แสดงดังภาพที่ 4-3



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-3 (ก) ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC แสดงพีคของการสลายตัวของโครงสร้างผลึกซึ่งเกิดจากการให้แรงดึงขณะขึ้นรูป (ข) ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) (ค) ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย DSC ของ PBSA ที่ไม่ผสมโคโตะซาน (0 ppm) และ PBSA ผสมกับโคโตะซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 3 (ex3) แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบสูตรที่ไม่มีการเติมโคโตะซานและมีการเติมโคโตะซานที่ 2000 ppm พบว่าการเติมโคโตะซานที่ 2000 ppm มีพีคที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิช่วง 50-65 องศาเซลเซียส อาจเป็นการสลายตัวของโครงสร้างผลึกซึ่งเกิดจากการให้แรงดึงขณะขึ้นรูป อนุภาคโคโตะซานที่กระจายตัวอยู่ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกขณะที่มีการให้แรงดึงระหว่างการขึ้นรูปเป็นเม็ดในกระบวนการอัดรีดแบบสกรูคู่ ดังภาพที่ 4-3 (ก) และจากภาพที่ 4-3 (ข) และ (ค) พบว่าทุกสูตรมีการเกิดอุณหภูมิหลอมเหลว 2 พีค ซึ่งเกิดจาก PBSA ประกอบด้วยผลึกอย่างน้อย 2 แบบ โดยพีคแรกเป็นการเกิดผลึกแบบสมบูรณ์น้อย (Less crystals) ส่วนพีคที่สองเป็นผลึกแบบสมบูรณ์ (Complete crystallization) [45]

ตารางที่ 4-1 ค่า T_{m2} และค่า % crystal ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)

สูตร	First heating scan		Second heating scan	
	T_{m2}	% crystal	T_{m2}	% crystal
PBSA_ex1	93.75	42.85	93.58	30.58
PBSA_ex3	94.08	42.19	93.42	31.46
PBSA_ex1_C2000	93.17	39.97	93.42	28.75
PBSA_ex3_C2000	94.00	40.83	93.25	30.10

จากตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC ของ PBSA ที่ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และ PBSA ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 3 (ex3) พบว่าทั้งการผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำและการเติมโคโตซานไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของผลึกแบบสมบูรณ์ (T_{m2}) สำหรับปริมาณผลึก (% crystal) ของทุกสูตรของการให้ความร้อนครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าปริมาณผลึกของทุกสูตรของการให้ความร้อนครั้งที่ 2 เพราะการให้ความร้อนครั้งที่ 1 เป็นการให้ความร้อนจากกระบวนการขึ้นรูปโดยมีการให้แรงดึงช่วยในการขึ้นรูปจึงทำให้ปริมาณผลึกมีค่ามากขึ้น ส่วนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 เป็นการให้ความร้อนจากเครื่องทดสอบ DSC ซึ่งปริมาณผลึกที่ได้จะเป็นปริมาณผลึกของพอลิเมอร์โดยตรง เนื่องจากการให้ความร้อนจากเครื่องทดสอบเป็นการให้ความร้อนแบบเพิ่มและลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จึงทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวตามสมบัติของตัวพอลิเมอร์นั้นๆ และ สังเกตได้ว่าปริมาณผลึกสูตรที่มีการเติมโคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ของการให้ความร้อนครั้งที่ 2 มีค่าน้อยกว่าสูตรที่ไม่ได้เติมโคโตซานเล็กน้อย เนื่องจากสภาวะการเกิดผลึกจากการเย็นตัวของพอลิเมอร์โดยไม่มีการกระทำจากภายนอกโคโตซานมีสมบัติเป็นของแข็งทำให้ไปขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ สำหรับการเติมโคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm นำไปขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 3 (ex3) ปริมาณผลึกมีค่าสูงกว่าการขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 1 (ex1) เนื่องจากการที่พอลิเมอร์ได้รับความร้อนหลายครั้งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สั้นลง และ มีการจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้ง่ายมากขึ้น

4.3.2 Thermogravimetric analysis (TGA)

ผลการทดสอบค่าความเสถียรภาพด้วยเทคนิค TGA ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เกิดของการสลายตัว T_d ของพอลิเมอร์ทั้ง 4 สูตร และเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าความเสถียรภาพทางความร้อน ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสม ไคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำครั้งที่ 3 (ex3)

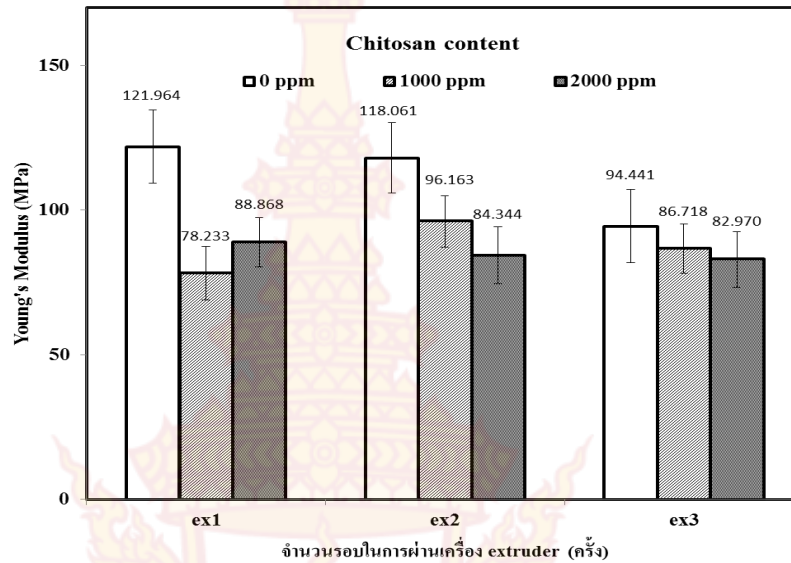
สูตรพอลิเมอร์	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)
PBSA_ex1	395
PBSA_ex3	396
PBSA_ex1_C2000	398
PBSA_ex3_C2000	397

จากตารางที่ 4-2 แสดงค่าความเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) พบว่าการเติมไคโตซาน และ การผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำไม่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ (T_d)

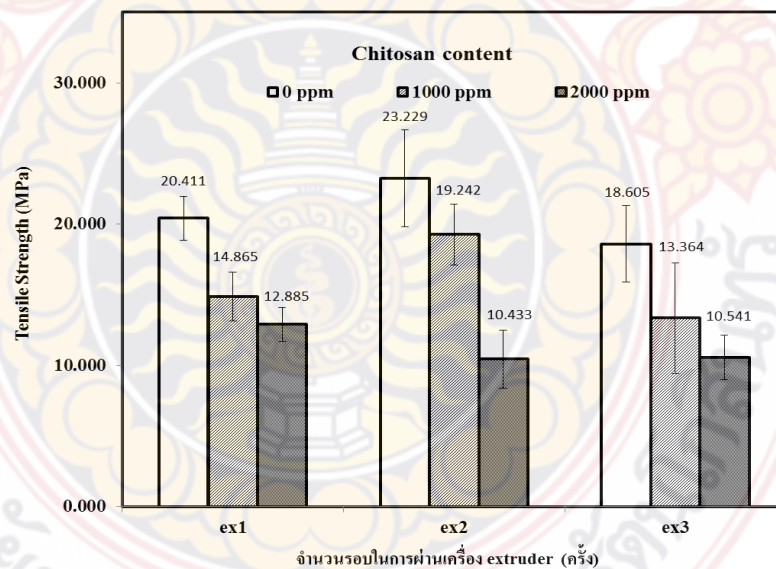
4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

4.4.1 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของฟิล์มด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) มาตรฐาน ASTM D882 (Method A)

ผลทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซาน ของทุกสูตรการผสม แสดงดังภาพที่ 4-4 และ 4-5



ภาพที่ 4-4 ค่ามอดูลัสของยังของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเฟต (PBSA) ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเฟต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)

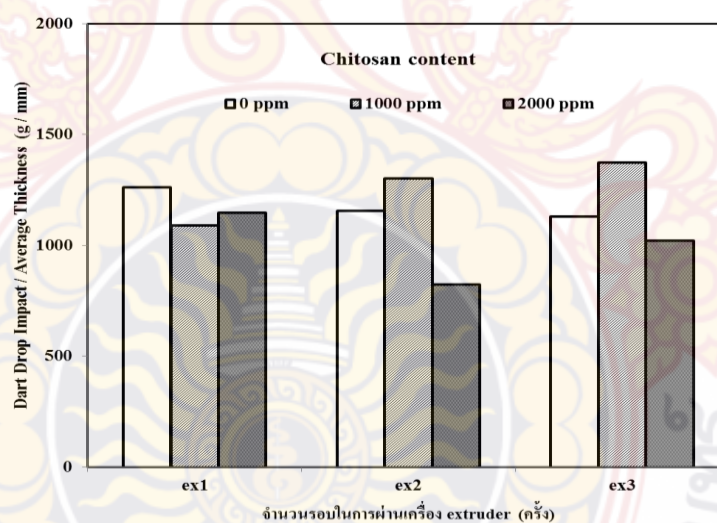


ภาพที่ 4-5 ค่าทนทานต่อแรงดึงของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเฟต (PBSA) ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเฟต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)

จากภาพที่ 4-4, 4-5 แสดงค่ามอดูลัสของยังและค่าทนทานต่อแรงดึงของ PBSA ที่ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ PBSA ผสมไคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 2 (ex2) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 3 (ex3) แสดงให้เห็นว่า PBSA ที่มีการเติมไคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปทั้ง ครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีค่ามอดูลัสและค่าทนทานต่อแรงดึงแนวโน้มที่ลดลงตามลำดับ เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติเป็นของแข็ง และ กระจายตัวอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยที่ไคโตซานกับ PBSA มีเฟสที่ไม่ต่อเนื่องกันเมื่อมีการให้แรงจึงทำให้การส่งผ่านของแรงได้ไม่ดี ส่วนการผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำมีผลต่อค่ามอดูลัสของยังที่แสดงให้เห็นแนวโน้มที่ลดลงตามลำดับ เนื่องจากการผ่านกระบวนการขึ้นรูปหลายครั้งทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์สั้นลง

4.4.2 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของฟิล์มด้วยเครื่อง Dart drop impact มาตรฐาน ASTM D1709 (Method A)

ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของพลาสติกพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซาน ของทุกสูตรการผสม แสดงดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมไคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3)

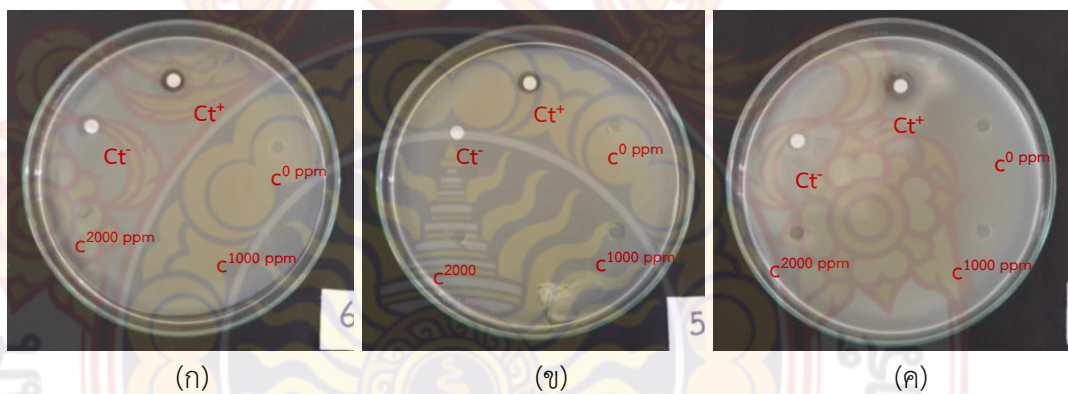
จากภาพที่ 4-6 แสดงผลการทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของ PBSA และ PBSA ที่ผสมไคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1), ครั้งที่ 2 (ex2) และครั้งที่ 3 (ex3) แสดงให้เห็นว่าการเติมไคโตซานที่ 1000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ

เพราะว่าปริมาณที่เติมไปน้อยมากทำให้โคโตซานกระจายตัวได้ดี และมีผิวสัมผัสระหว่างโคโตซานกับพอลิเมอร์มากส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้ดีก่อนแตกหัก ส่วนสูตรที่มีการเติมโคโตซานที่ 2000 ppm มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง เนื่องจากปริมาณโคโตซานที่มากขึ้นเมื่อได้รับแรงเฉือนจากการขึ้นรูปอาจทำให้เกิดจากการกระจายตัวบางส่วนในพอลิเมอร์หลอมเหลว เกิดจากการรวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ทำให้ผิวสัมผัสระหว่างโคโตซานกับพอลิเมอร์ เมื่อมีการให้แรงจึงทำให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกน้อยกว่าการเติมโคโตซานที่ 1000 ppm

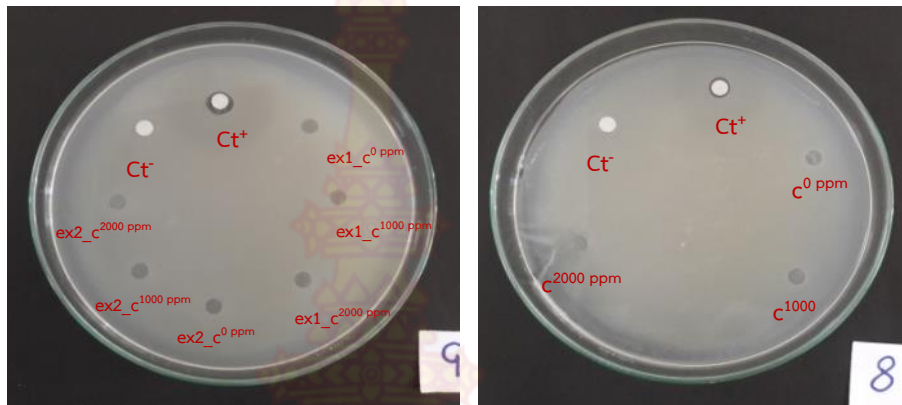
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย

การทดสอบเชิงคุณภาพด้วยวิธีการวัดรัศมีการยับยั้งเชื้อตามมาตรฐาน American association of chemists and colorist (AATCC) test method 90 (Halo test)

ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยเชิงคุณภาพด้วยเทคนิค Halo test ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) ดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยเทคนิค Halo test โดยใช้แบคทีเรียชนิด E.coli ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเพต (PBSA) ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) (ก) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1) (ข) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 2 (ex2) (ค) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 3 (ex3)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4-8 การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยเทคนิค Halo test โดยใช้แบคทีเรียชนิด *S.aureus* ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเฟต (PBSA) ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเฟต (PBSA) ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) (ก) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1) และ ครั้งที่ 2 (ex2) (ข) การผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 3 (ex3)

จากภาพที่ 4-7 และ 4-8 เป็นการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยเทคนิค Halo test ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเฟต (PBSA) ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะดิเฟต (PBSA) ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 (ex1), ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 2 (ex2) และ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ครั้งที่ 3 (ex3) โดยใช้แบคทีเรีย 2 ชนิด คือ แกรมบวกเป็นแบคทีเรียชนิด *E.coli* และแกรมลบเป็นแบคทีเรียชนิด *S.aureus* การเติมโคโตซานลงใน PBSA ที่ผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin screw extruder) ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยกระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blown film extrusion) จากการทดสอบโดยเชิงคุณภาพด้วยวิธีการวัดรัศมี โดยใช้แผ่นฟิล์มที่ใช้ทดสอบเป็นทรงกลมขนาด 6 mm แต่ผลสุตรนั้นไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ชนิด *E.coli* และ ชนิด *S.aureus* ได้เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นทดสอบแบบนำตัวอย่างชิ้นงานมาวางหรือสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียโดยไม่มีตัวกลางทำให้เคลื่อนที่ และ เก็บผลโดยการวัดรัศมีของการฆ่าเชื้อ โคโตซานไม่สามารถเคลื่อนที่ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

บทที่ 5 สรุปผล ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาผลกระทบของโคโตซานต่อสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ PBSA และ PBSA ผสมโคโตซานที่ผ่านการขึ้นรูปซ้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเติมโคโตซานใน PBSA ที่ 1000 ppm และ 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ไม่มีผลต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ ส่วนการผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำของ PBSA ที่ไม่ผสมโคโตซาน (0 ppm) และ PBSA ที่ผสมโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm มีแนวโน้มเพิ่มตามลำดับมากขึ้น

2. ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR พบว่า PBSA มีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ได้แก่ C=O C-O และ โคโตซานมีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ คือ NH₂ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ PBSA ที่ผสมกับโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ซึ่งสูตรที่มีการเติมโคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ไม่มีการปรากฏของพีคของหมู่อะมิโน (NH₂)

3. ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย DSC พบว่าสูตรที่มีการเติมโคโตซานที่ 2000 ppm มีพีคที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิช่วง 50-65 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของโครงสร้างผลึกซึ่งเกิดจากการให้แรงดึงขณะขึ้นรูปของ PBSA และ พบว่า PBSA มีการเกิดอุณหภูมิหลอมเหลว 2 พีค ประกอบด้วยผลึกอย่างน้อย 2 แบบ พีคแรกเป็นการเกิดผลึกแบบสมบูรณน้อย ส่วนพีคที่สองเป็นผลึกแบบสมบูรณ์ ส่วน PBSA ที่ไม่มีการเติมโคโตซาน และเติมโคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 3 พบว่าการขึ้นรูปซ้ำและการเติมโคโตซานไม่ส่งผลต่อค่า T_{m2} สำหรับปริมาณผลึกของทุกสูตรของการให้ความร้อนครั้งที่ 1 มีค่ามากกว่าปริมาณผลึกของทุกสูตรของการให้ความร้อนครั้งที่ 2 และ ปริมาณผลึกสูตรที่มีการเติมโคโตซาน 2000 ppm ที่มีการขึ้นรูปครั้งที่ 1 ทั้งการให้ความร้อนครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีค่าน้อยกว่าสูตรอื่น

4. ผลการทดสอบความเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของ PBSA ที่ไม่เติมโคโตซาน และ PBSA ที่เติมโคโตซานที่อัตราส่วน 2000 ppm ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 3 พบว่าการเติมโคโตซานและการผ่านกระบวนการขึ้นรูปซ้ำไม่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิสลายตัวของพอลิเมอร์ (Degradation temperature, T_d)

5. ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของยังและค่าทนทานต่อแรงดึงของ PBSA ที่ไม่ผสมโคโตซาน และ PBSA ที่ผสมโคโตซานที่อัตราส่วน 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 พบว่า PBSA ที่มีการเติมโคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปทั้ง ครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีแนวโน้มที่จะลดลงตามลำดับ และกระบวนการขึ้นรูปซ้ำมีผลต่อค่ามอดูลัสของยังที่ลดลงตามลำดับ

6. ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของ PBSA และ PBSA ที่ผสมไคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 พบว่าการเติมไคโตซานที่ 1000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีค่าความต้านทานแรงกระแทกแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่การเติมไคโตซานที่ 2000 ppm มีค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง

7. ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของ PBSA และ PBSA ที่ผสมไคโตซานที่ 1000 ppm กับ 2000 ppm ที่มีการผ่านกระบวนการขึ้นรูปครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 พบว่าไคโตซานไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E.coli และ S.aureus

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณการเติมไคโตซานในพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโคอะติเพต (PBSA) มากขึ้น
2. ควรศึกษากระบวนการขึ้นรูปอื่นด้วย เนื่องจากการผสมไคโตซานกับพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการหล่อขึ้นรูป (Cast film)
3. การขึ้นรูปฟิล์มควรควบคุมความหนาให้เหมาะสม เพราะจะมีผลต่อสมบัติเชิงกล
4. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย อาจศึกษาด้วยวิธีดังต่อไปนี้
 - ผสมไคโตซานร่วมกับพอลิเมอร์ จากนั้นทำการระเบิดผิว และ นำไปทดสอบสมบัติทางกล และ ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย
 - ผสมไคโตซานร่วมกับพอลิเมอร์ แล้วนำไปเคลือบผิว (Coat) ด้วยสารละลายไคโตซาน (ไคโตซานที่ละลายในกรดอ่อน) จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกล และ ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย
 - ผสมไคโตซานร่วมกับพอลิเมอร์ จากนั้นทำการระเบิดผิว แล้วนำไปเคลือบผิว (Coat) ด้วยสารละลายไคโตซาน (ไคโตซานที่ละลายในกรด) จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกล และ ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย

บรรณานุกรม

- 1 ขยะล้นโลก. [Online]. Accessed 13 Feb 2018 Accessed from <https://charunrakyeeepoo.wordpress.com>
- 2 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [Online]. Accessed 13 Feb 2018. Accessed from <https://th.wikipedia.org>
- 3 พลาสติกชีวภาพ. [Online]. Accessed 13 Feb 2018. Accessed from <http://biology.ipst.ac.th/?p=927>
- 4 พอลิเมอร์ [Online]. Accessed 13 Feb 2018. Accessed from file:///C:/Users/Administrator/Downloads/Fulltext%232_241736.pdf
- 5 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) [Online]. Accessed 13 Feb 2018. Accessed from <http://asp.plastics.or.th>
- 6 Correlo V. Boesel L. Bhattacharya M. Mano J. Neves N. Reis R., Properties of melt processed chitosan and aliphatic polyester blends. Materials Science and Engineering A 403, 2005, 57–68
- 7 Carrasco-Guigón F. Rodríguez-Félix D. Castillo-Ortega M. Preparation and Characterization of Extruded Composites Based on Polypropylene and Chitosan Compatibilized with Polypropylene-Graft-Maleic Anhydride. Materials (Basel). 2017 Feb, 10(2): 105
- 8 การรีไซเคิล [Online]. Accessed 22 Feb 2018. Accessed from <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi4/recycle/re.htm>
- 9 Wu C., Characterization and biodegradability of polyester bioplastic-based green renewable composites from agricultural residues. Polymer Degradation and Stability. 2012, 97:64–71.
- 10 Kale G., et al. Compostability of bioplastic packaging materials: an overview. Macromolecule Bioscience. 2007; 7: 255–277.
- 11 Shah A., et al. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. Biotechnology Advances. 2008; 26: 246–265

- 12 Aliphatic Poly (alkylenedicarboxylate) Polyesters: Organic or Not Organic [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <https://polymerinnovationblog.com/aliphatic-polyalkylenedicarboxylate-polyesters-organic-or-not-organic/>
- 13 Hydrolytic Degradation and Monomer Recovery of Poly(butylene succinate) and Poly(butylene succinate/adipate) in the Melt [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mren.200800027/abstract>
- 14 นายกันต์วัฒน์ หมาดสุเรน. การเตรียมและทดสอบฟิล์มนาโนคอมโพสิตชีวภาพจากโคโตซานและไฮโดรอกซีอะพาไทต์ [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snmcn/Kantawat_Mardsuren/fulltext.pdf
- 15 โคติน-โคโตซาน [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from file:///C:/Users/Administrator Downloads/1965-6419-1-PB.pdf
- 16 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส โคติน และโคโตซาน [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from <https://guru.sanook.com/2511/>
- 17 ตัวอย่างรูปร่างโดยทั่วไปของแบคทีเรีย [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from. <https://sites.google.com/site/ruethairat2537/home/content2/spirilla.jpg?attredirects=0>
- 18 โครงสร้างของแบคทีเรีย [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from https://sites.google.com/site/miiwbio/_/rsrc/1384760702925/baekhthireiy/khorngsrang-khxng-baekhthireiy/bacteria_cell.jpg
- 19 โครงสร้างองค์ประกอบของเซลล์โพรคาริโอต [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from <https://cellandorganells.weebly.com/359436093636360435863629359136483595362136213660.html>
- 20 โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ [Online]. Accessed 6 Mar 2018. Accessed from <http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/-199.JPG>
- 21 นายศุภชัย สง่า. การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซินเนตที่เคลือบผิวด้วยโคโตซานสำหรับประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ต่อต้านแบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2557. Accessed 10 Mar 2018.

- 22 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from http://packaging.oie.go.th/new/admin_control/file_technology/5430267189.pdf
- 23 กระบวนการการอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extrusion) [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <http://www.inc.science.cmu.ac.th/thai/upload/article/file/13-07-07-72b32.pdf>
- 24 กระบวนการอัดรีดแบบเป่าถุง (Blow Film Extrusion) [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <http://packaging.oie.go.th/new/admin/control/file/technology/5379124860.pdf>
- 25 การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238 [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <http://www.instron.co.th/th-th/testing-solutions/by-material/plastics/rheology/astm-d1238>
- 26 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค (Fourier Transform Infrared, FTIR) [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from http://digi.library.tu.ac.th/thesis/ra/0126/19APPENDIX_E.pdf
- 27 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR spectrometer [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <http://www.nuance.northwestern.edu/KeckII/Instruments/FT-IR/index.html>
- 28 เครื่อง Fourier Transform Infrared, FTIR [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <http://www.barascientific.com/products/shimadzu/analytical/spectro/thumbs/1RPrestige.jpg>
- 29 **อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์ และคณะ สมบัติของวัสดุและความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผสมไตรโคลซาน. วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมไทย ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2553.** Accessed 20 Mar 2018.
- 30 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeters DSC [Online]. Accessed 3 Mar 2018 Accessed from <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/thermal-analysis-instrument-menu/item/112-differential-scanning-calorimeters-dsc.html>
- 31 เครื่อง Differential Scanning Calorimeters DSC [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <http://www.mic.eng.ku.ac.th/uploadFile/content/150709dsc-1.jpg>

- 32 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค (Thermogravimetric Analysis, TGA) [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from https://www2.nanotec.or.th/th/?page_id=569
- 33 เครื่อง Thermogravimetric Analysis TGA [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/thermal-analysis-instrument-menu/item/111-thermogravimetric-analysis-tga.html>
- 34 การทดสอบความทนต่อแรงดึง Tensile Strength [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from http://eng.sut.ac.th/me/2014/laboratory/document/Tensile_Test.pdf
- 35 เครื่อง Universal Testing Machine [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from http://www.itokin2000.com/images/introc_1223003183/tensile1%20IT-800A.jpg
- 36 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก Dart Drop Impact [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from C:\Users\user\Downloads\Documents\Fulltex#1_308327_3.pdf
- 37 เครื่อง Dart Drop Impact [Online]. Accessed 3 Mar 2018. Accessed from http://www.calservethailand.com/images/idm_falldart.jpg
- 38 Correlo V. Boesel L. Bhattacharya M., Properties of melt processed chitosan and aliphatic polyester blends. Materials Science and Engineering A 403, 2005, 57–68
- 39 Martinez-Camacho A. Cortez-Rocha M. Graciano-Verdugo A., Extruded films of blended chitosan, low density polyethylene and ethylene acrylic acid. Carbohydrate Polymers 91, 2013, 666– 674
- 40 Aider M., Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. LWT - Food Science and Technology 43, 2010, 837–842
- 41 Lambertus A.M. Broek V. Rutger J., 2014, Chitosan films and blends for packaging material. Carbohydrate Polymers 116, 2015, 237–242
- 42 Javier F. Evelia D. Monica M., 2017, Preparation and Characterization of Extruded Composites Based on Polypropylene and Chitosan Compatibilized with Polypropylene-Graft-Maleic Anhydride. Materials 2017, 10, 105

- 43 Park S. Kenneth S. Dawson P., 2010, Application of chitosan-incorporated LDPE film to sliced fresh red meats for shelf life extension. Meat Science 85, 2010, 493–499
- 44 Maliger R. McGlashan S. A. and Halley P. Matthew L., 2006, “Compatibilization of starch–polyester blends using reactive extrusion”. Polymer Engineering & Science, Vol.46, pp. 248–263
- 45 Zhang X. Zhang Y., Poly (butylene succinate-co-butylene adipate)/cellulose nanocrystal lcomposites modified with phthalic anhydride. Carbohydrate olymers 134, 2015, 52–59
- 46 Wang H. Chen D. Chuai C., CONFERENCE Mechanical and Barrier Properties of LLDPE/Chitosan Blown Films for Packaging, Packag. Technol. Sci. 2015; 28: 915–923
- 47 Liu N. Chen X. Park H., Effect of MW and concentration of chitosan on antibacterial activity of Escherichia coli. Carbohydrate Polymers 64 2006 60–65
- 48 Banat R. Fares M., Olive Oil Waste Filled High Density Polyethylene Bio-Composite: Mechanical, Morphological and Water Absorption Properties. International Journal of Composite Materials 2015, 5(5): 133-141
- 49 Rahman W.A.W.A. Isa N.M. Rice Husk/High Density Polyethylene Bio-Composite: Effect of Rice Husk Filler Size and Composition On Injection Molding Processability With Respect to Impact Property. Advanced Materials Research Vols. 83-86 (2010) pp 367-374

ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวโสมธิดา ลิขิตเลิศ
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
-
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถนนพหลโยธิน
สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม.73170 โทรศัพท์ 0-2889-4585-7 ต่อ 2696
โทรสาร 0-2 889-4585-7 ต่อ 2621 E-mail address somthida.lik@rmutr.ac.th,
mook_246@hotmail.com, somthida.l@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2554	M.Eng.	Material Technology	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2552	B.Eng.	Petrochemical and Polymeric Material	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย

- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Polymer Processing, Rheology, Polymer Composites
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
 - Sooksaen, P., Boonmee, J., Witpathomwong, C. and Likhitlert, S., 2010, "Effect of K_2O/SiO_2 Ratio on the Crystallization of Leucite in Silica-Based Glasses." Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.20, No.1, pp.11-19.
 - Likhitlert, S., Wongchaleo, C., Kositchaiyong, A., Wimolmala, E., Mitprasertporn, S. and Sombatsompop, N., 2012, "Thermal Characteristics and Temperature Profiles Changes in Structurally Different Polyethylenes with Peroxide Modifications." Journal of Vinyl & Additive Technology (accepted).

Proceedings

- โสมธิดา ลิขิตเลิศ, อภิสิทธิ์ ไข่มิตรชัยยงค์, ชัชชัย วงศ์เฉลียว และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (2554) ผลของโครงสร้างเชิงโมเลกุลของ พอลิเอทิลีนที่ผสมสารกระตุ้นเปอร์ออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกล เชิงกายภาพ และพฤติกรรมการเย็นตัว -การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 9 "วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ", 30 มิถุนายน -1 กรกฎาคม

2554, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, กรุงเทพฯ, หน้า 149-156.

2. Gitchaiwat, A., Likhitlert, S., Kositchaiyong, A., Sombatsompop, K., Prapasdee, B., Israngkura, N.A. K., Sombatsompop, N., 2013, "Anti-algal Performances for Biocide-Enhanced Low-Density Polyethylene Film" **The 4th International Conference on Multi-Functional Materials and Structures (MFMS 2013)**, 14-17 July 2013, Bangkok Thailand, Advanced Materials Research, Vol. 747, pp. 481-484.



ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายบวรกิตต์ เนคมานุรักษ์
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 96 หมู่ 3 ถพุทธรณทล.
สาย5 ต ศาลายา อ.พุทธรณทล จ.นครปฐม.73170 โทรศัพท์ 0-2889-4585-7 ต่อ 2696
โทรสาร 0-2 889-4585-7 ต่อ 2621 E-mail address bawornkit.nek@rmutr.ac.th,
bawornkit@gmail.com bawornkit@windowslive.com

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2555	Ph.D.	Polymer Science and Engineering	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย
2550	M.Eng.	Polymer Science and Engineering	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย
2548	B.Eng.	Petrochemical and Polymeric Material	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Polymer Processing, Polymer Recycling, Rheology, Biopolymer, Nanocomposite

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

1. Bawornkit Nekhamanurak, Pajaera Patanathabutr and Nattakarn Hongsriphan “Surface modified CaCO₃ nanoparticles with silica via sol-gel process using in poly(lactic acid) nanocomposite.” Advanced Materials Research Journal, Vols. 488-489, March 2012, pp. 520-524.
2. B. Nekhamanurak, P. Patanathabutr, and N. Hongsriphan “Mechanical Properties of Hydrophilicity Modified CaCO₃-Poly(Lactic Acid) Nanocomposite.” International Journal of Applied Physics and Mathematics, Vol. 2, No. 2, March 2012, pp. 98-103.
3. B. Nekhamanurak, P. Patanathabutr and N. Hongsriphan “Thermal-mechanical property and fracture behavior of plasticized PLA-CaCO₃ nanocomposite.” Plastics, Rubber and Composites, Vol. 41, Numbers 4-5, June 2012, pp. 175-179.

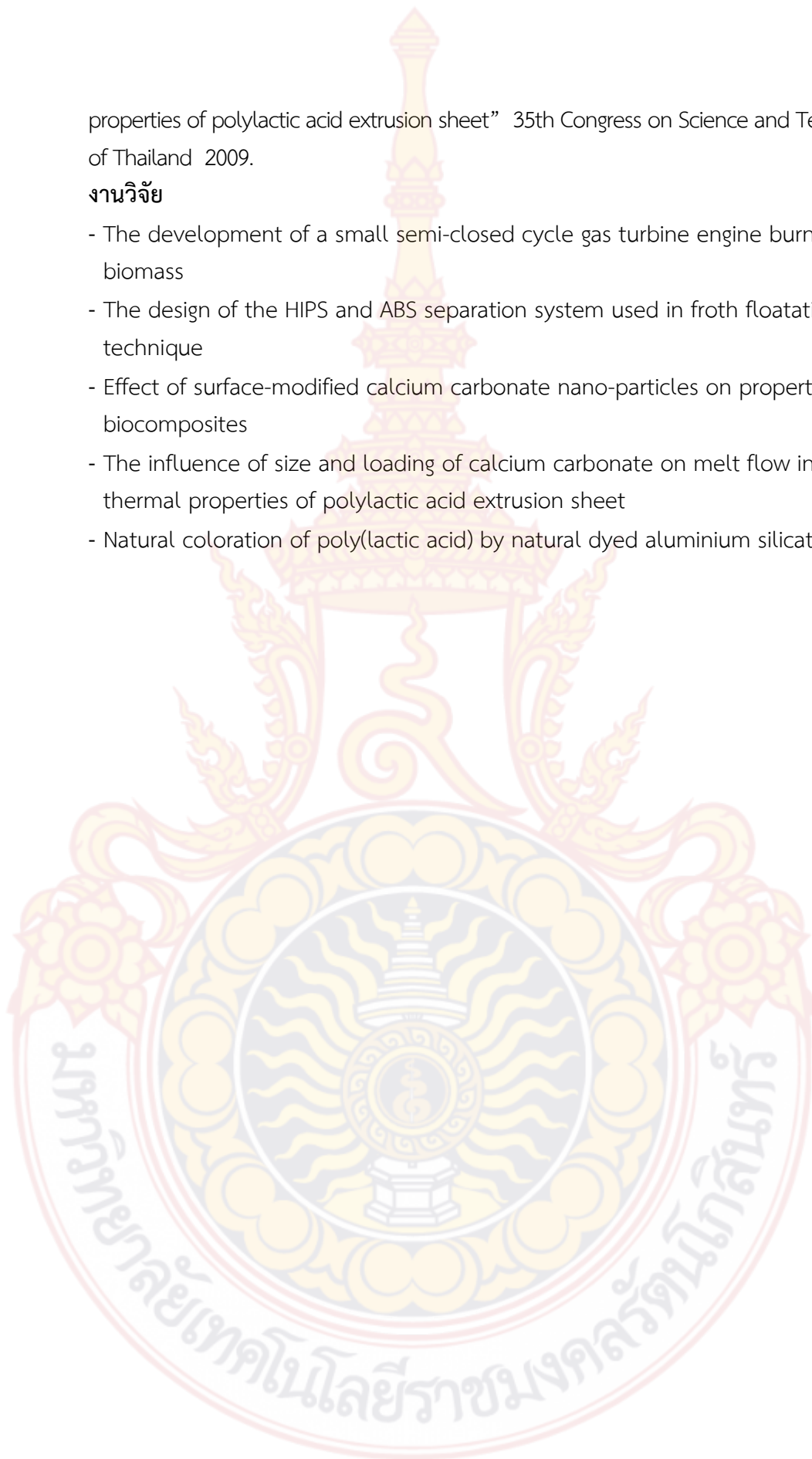
Proceedings

Bawornkit Nekhamanurak, Pajaera Patanathabutr and Nattakarn Hongsriphan “The influence of size and loading of calcium carbonate on melt flow index and thermal

properties of polylactic acid extrusion sheet” 35th Congress on Science and Technology of Thailand 2009.

งานวิจัย

- The development of a small semi-closed cycle gas turbine engine burning biomass
- The design of the HIPS and ABS separation system used in froth floatation technique
- Effect of surface-modified calcium carbonate nano-particles on properties of biocomposites
- The influence of size and loading of calcium carbonate on melt flow index and thermal properties of polylactic acid extrusion sheet
- Natural coloration of poly(lactic acid) by natural dyed aluminium silicate powder



ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวกุลนิดา เทพทิม
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 96 หมู่ 3 ถนนทลพุท.
สาย5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม.73170 โทรศัพท์ 0-2889-4585-7 ต่อ 2696
โทรสาร 0-2889-4585-7 ต่อ 2621 E-mail address pimolpun.k@gmail.com
4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2555	Ph.D.	Material Technology	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2550	M.Eng.	Material Technology	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2546	B.Eng.	Petrochemical and Polymeric Material	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Wood Polymer Composites, Synthesis Rubber, Antibacterial Polymers
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
 1. Taptim K, Ansarifar A and Sombatsompop N - Effect of Organoclay and Silver Substituted Zeolite on the Mechanical and Anti-bacterial Properties of a Silicone Rubber Filled with 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic Acid Methacrylate - **Polymer Engineering and Science**, (accepted) (JIF = 1.243).
 2. Taptim K & Sombatsompop N (2014) Effect of UV weathering on mechanical and anti-bacterial performances for peroxide-cured silicone rubber with HPQM - **Journal of Vinyl & Additive Technology**, (accepted) (JIF = 1.107).
 3. Taptim K & Sombatsompop N (2013) Anti-microbial Performance and Cure & Mechanical Properties for Peroxide-Cured Silicone Rubber Compounds - **Journal of Vinyl & Additive Technology**, 19 (2): 113-122. (JIF = 1.107).

4. Sombatsompop N, Taptim K, Chaochanchaikul K, Thongpin C & Rosarpitak V (2008) Improvement of Structural and Thermal Stabilities of PVC and Wood/PVC Composites by Pb and Zn Stearates, and Zeolite - **Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry** , 45 (7): 534-541. (JIF = 0.807)

