

การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง
ความทนทานต้านตะเคียวโศภณาลูกศรที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว
โดยใช้แอมวีนและไคโตซาน

Modification of biodegradable polymer blend between polyethylene and
thermoplastic arrowroot starch by agar and chitosan



โครงการพิเศษเป็นความร่วมมือของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรียรัมย์

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บึงขัง กรุงเทพฯ 2554

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิด
ความหนาแน่นต่ำและเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อม

โดยใช้ผงวุ้นและไคโตซาน

Modification of biodegradable polymer blend between polyethylene and
thermoplastic arrowroot starch by agar and chitosan



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MODIFICATION OF BIODEGRADABLE POLYMER BLEND
BETWEEN POLYETHYLENE AND THERMOPLASTIC
ARROWROOT AND CHITOSAN**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2011**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อมโดยใช้ผงวุ้นและไคโตซาน

Modification of biodegradable polymer blend between polyethylene and thermoplastic arrowroot starch by agar and chitosan

ชื่อนักศึกษา นางสาวจันทกานต์ พงษ์พิธิ
นางสาวชนิกานต์ ประพันธ์
นางสาวนิศารัตน์ เจริญสุข

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี-อุตสาหกรรม. ประจำปีการศึกษา 2554

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ดวงกมล กติสัน	ดวงกมล
ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง	พัชนี
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ	จ.ม.ร.

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อม โดยใช้ผงวุ้นและไคโตซาน

(Modification of biodegradable polymer blend between polyethylene and thermoplastic arrowroot starch by agar and chitosan)

นักศึกษา นางสาวจันทกานต์ พงษ์พิธิ รหัส 51050098
นางสาวธนิกานต์ ประพันธ์ รหัส 51050133
นางสาวนิศารัตน์ เจริญสุข รหัส 51050144

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2554

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้จากเทอร์โมพลาสติกจากแป้งท้าวยายม่อม (Thermoplastic arrowroot starch, TPAS) ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene, LDPE) และสารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) นำชิ้นงานที่เตรียมได้จากการผสมโดยเครื่องผสมระบบปิดและขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาปรับปรุงสมบัติโดยผสมกับผงวุ้น (Agar) ในปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% และไคโตซาน (Chitosan) ในปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10% จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สัมพันธวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และการย่อยสลาย พบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS/LDPE ที่เติมผงวุ้นและไคโตซานมีค่าความสว่างลดลงและมีสีแดงมากขึ้น สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เติมผงวุ้น 8% หรือไคโตซาน 10% มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เนื่องจากมีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงที่สุด จากการศึกษาสัมพันธวิทยา พบว่า TPAS และ LDPE ไม่เข้ากัน แต่ TPAS และผงวุ้นเข้ากันได้ดี สำหรับสมบัติทางความร้อน พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยผงวุ้น 10% และพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10% มีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำที่สุด จากการศึกษาการย่อยสลายพบว่าเมื่อผ่านไป 77 วัน TPAS ที่

ปรับปรุงด้วยผงวุ้นและไคโตซาน ยังคงมีการดูดซึมน้ำเพื่อใช้ในการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง สำหรับผลการดูดซึมน้ำ พบว่า การเติมผงวุ้นหรือไคโตซานลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง TPAS และ LDPE ทำให้การดูดซึมน้ำลดลงอย่างมาก

คำสำคัญ : เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งทำว้ายม่อม, ผงวุ้น, ไคโตซาน, พอลิเมอร์ย่อยสลายได้



Special Project Modification of biodegradable polymer blend between polyethylene and thermoplastic arrowroot starch by agar and chitosan

Students Miss Juntakan Pongpatee ID 51050098

Miss Tanikan Prapun ID 51050133

Miss Nisarath Charoensuk ID 51050144

Degree Bachelor of Science

Major Program Industrial chemistry

Academic Year 2011

Advisor Assoc.Prof.Dr.Jutarat Prachyawarakorn

Abstract

This research focused on preparation and properties biodegradable polymer from thermoplastic arrowroot starch (TPAS) blended with Low-density Polyethylene (LDPE), compatibilized by Maleic Anhydride Grafted Polyethylene (MAPE). The TPAS/LDPE blend compounded by internal mixer and molded by injection moulding. Then, the TPAS/LDPE blend was modified by Agar and Chitosan. Different amounts of agar and chitosan were varied from 0, 2, 4, 6, 8 and 10% w/w. Physical, morphological, mechanical, thermal and degradable properties of different TPAS/LDPE blends were then tested. The results showed that the TPAS/LDPE blend modified by agar and chitosan caused the decrease in brightness but the increase in redness. Mechanical properties of the TPAS/LDPE blend modified by 8% agar or 10% chitosan presented the highest maximum load, stress at max load and Young's modulus. Morphology from Scanning Electron Microscopy (SEM) revealed that TPAS and LDPE were incompatible but the TPAS and agar were compatible. For thermal properties, it was found that TPAS/LDPE modified by 10% agar and the TPAS/LDPE modified by 10% chitosan showed that the lowest thermal stability. For biodegradability tested for 77 day, the results showed the continuous degradation for both TPAS/LDPE

blends with agar and chitosan. For water absorption, results showed that the addition of either agar or chitosan caused the significant decrease of water absorption of the TPAS/LDPE blend.

Keywords : thermoplastic arrowroot starch, agar, chitosan, biodegradable polymer



กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย และเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พชณี เจริญยิ่ง และ ผศ.ดร.ดวงกมล กสิสัน คณะกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษ ที่ทำการสอบและตรวจทาน พร้อมทั้งขอเสนอแนะ ให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้

ขอขอบพระคุณ คุณสุจิต สอนสะอาด และคุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานพอลิเมอร์ ที่เอื้อเพื่อความสะดวกในเรื่องการยืม-คืนอุปกรณ์ ตลอดจนการให้เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชามาตลอดทั้ง 4 ปี เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้ทำโครงการพิเศษ ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้คำปรึกษา ส่งเสริมสนับสนุน กระตุ้นเตือน และเป็นกำลังใจตลอดมา

นางสาวจันทกานต์	พงษ์พิธิ
นางสาวธนิกานต์	ประพันธ์
นางสาวนิศารัตน์	เจริญสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XIII
คำย่อและสัญลักษณ์	XV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลาสติก	4
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้	5
2.2.1 การย่อยสลายของพลาสติก	5
2.3 พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable plastic)	6
2.3.1 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง	6
2.3.1.1 การใช้สารพอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก	6
2.3.1.2 แป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้	7
2.3.2 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย	9
2.3.2.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน	9
2.3.2.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป	9
2.3.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์	9
2.3.3.4 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน	10
2.3.3.5 การทดสอบโดยการฝังดิน	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย	10
2.4 แป้ง	11
2.4.1 การสังเคราะห์แป้ง	12
2.4.2 องค์ประกอบภายในแป้ง	12
2.4.3 สมบัติในการดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลายของแป้ง	16
2.4.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch)	16
2.4.5 แป้งทำว้ายม่อม (Arrowroot Starch)	17
2.5 พงู้น (Agar)	18
2.6 ไคตินและไคโตซาน	20
2.6.1 แหล่งที่พบ	20
2.6.2 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน	20
2.6.3 กระบวนการผลิตไคตินและไคโตซาน	21
2.6.4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	23
2.7 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO ₂)	24
2.8 มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride grafted Polyethylene; MAPE)	24
2.8.1 ประโยชน์	25
2.9 การฉีดพลาสติกเข้าเบ้า (Injection Molding)	25
2.9.1 เครื่องฉีดพลาสติก	26
2.9.2 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก	26
2.9.3 กระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process)	26
2.9.4 ปัจจัยที่สำคัญในการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	34
3.1 สารเคมี	34
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	35
3.3 การทดลอง	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งทำยายม่อมผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซาน	58
4.5 คัชนีการไหล	61
4.6 สมบัติทางความร้อน	61
4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัย	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก ก	75
ภาคผนวก ข	77
ภาคผนวก ค	80
ภาคผนวก ง	85
ภาคผนวก จ	91
ภาคผนวก ฉ	103
ภาคผนวก ช	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน	13
ตารางที่ 2.2 สมบัติของแป้ง Arrowroot	17
ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรดจีดี (DNDV-0405 R) จากบริษัท ดาวเคมีคอลจำกัด	34
ตารางที่ 3.2 สมบัติของไคโตซาน	34
ตารางที่ 3.3 สมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน เกรดการค้า MB 100D จากบริษัท Dupont Packaging & Industrial Polymer	35
ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งทำว้ายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยผงวุ้น	38
ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งทำว้ายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซาน	39
ตารางที่ 3.6 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)	40
ตารางที่ 3.7 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้	43
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งทำว้ายม่อมผสมพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยผงวุ้นและไคโตซานในปริมาณต่างๆ	45
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar	64
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan	64
ตารางที่ ก.1 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป	75
ตารางที่ ค.1 การวัดสีของ TPAS/LDPE	80
ตารางที่ ค.2 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4%	81
ตารางที่ ค.3 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%	82
ตารางที่ ค.4 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%	83
ตารางที่ ค.5 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ ง.1 เปอร์เซนต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบด้วยการดูดซึมน้ำ	85
ตารางที่ ง.2 ดูดซึมน้ำ TPAS/LDPE	86
ตารางที่ ง.3 ดูดซึมน้ำพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4 %	87
ตารางที่ ง.4 ดูดซึมน้ำ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%	88
ตารางที่ ง.5 ดูดซึมน้ำ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%	89
ตารางที่ ง.6 ดูดซึมน้ำ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%	90
ตารางที่ จ.1 สมบัติเชิงกลของ TPAS/LDPE	91
ตารางที่ จ.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 2%	92
ตารางที่ จ.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 4%	93
ตารางที่ จ.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 6%	94
ตารางที่ จ.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 8%	95
ตารางที่ จ.6 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 10%	96
ตารางที่ จ.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 2%	97
ตารางที่ จ.8 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 4%	98
ตารางที่ จ.9 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 6%	99
ตารางที่ จ.10 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 8%	100
ตารางที่ จ.11 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 10%	101
ตารางที่ จ.12 ความแข็งกด	102
ตารางที่ ฉ.1 ดัชนีการไหล (Melt Flow Index)	103
ตารางที่ ช.1 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบโดยการฝังดิน	104

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	7
รูปที่ 2.2	8
รูปที่ 2.3	8
รูปที่ 2.4	13
รูปที่ 2.5	18
รูปที่ 2.6	18
รูปที่ 2.7	20
รูปที่ 2.8	25
รูปที่ 2.9	27
รูปที่ 3.1	36
รูปที่ 3.1 (ต่อ)	37
รูปที่ 4.1	47
รูปที่ 4.2	47
รูปที่ 4.3	49
รูปที่ 4.4	51
รูปที่ 4.5	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.6 ภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ได้ออกจากแป้งทำยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยผงวุ้นและไคโตซานในปริมาณต่างๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า	54
รูปที่ 4.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยผงวุ้น (ก) แรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส (ข) การดึงยืดเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	57
รูปที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งทำยายม่อมผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและผสมไคโตซาน (ก) แรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส (ข) การดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และ (ค) ความแข็งกด	59
รูปที่ 4.9 ดัชนีการไหล (Melt Flow Index) ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar และ Chitosan	61
รูปที่ 4.9 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar	62
รูปที่ 4.10 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan	63
รูปที่ 4.11 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของ TPAS/LDPE	65
รูปที่ 4.12 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 4 %	66
รูปที่ 4.13 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 10%	67
รูปที่ 4.14 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 4%	68
รูปที่ 4.15 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 10%	69

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ข.1 พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE	77
รูปที่ ข.2 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4%	77
รูปที่ ข.3 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%	78
รูปที่ ข.4 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%	78
รูปที่ ข.5 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%	79



คำย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่
ASTM	วิธีการทดสอบมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials)
°C	องศาเซลเซียส
cm ³	ลูกบาศก์เซนติเมตร
DSC	Differential Scanning Calorimeter
DTA	Differential Thermal Analysis
F	แรง
g	กรัม
kg	กิโลกรัม
kN	กิโลนิวตัน
LDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
MAPE	มาลิกอนไฮโดรคาร์บอเนตพอลิเอทิลีน
MFI	Melt flow index
Min	นาที
ml	มิลลิลิตร
mm	มิลลิเมตร
MPa	เมกะปาสกาล
N	นิวตัน
N ₂	ไนโตรเจน
PE	พอลิเอทิลีน
PET	พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลท
PP	พอลิพรอพิลีน
PS	พอลิสไตรีน
Sec.	วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
TGA	Thermogravimetric Analysis
TPAS	เทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์จากแป้งท้าวยาย่ม่อม
TPS	เทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์
TiO ₂	ไทเทเนียมไดออกไซด์



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาของโครงการ

พลาสติกกลายเป็นสิ่งสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ยกย่องนักที่จะมองหาวัสดุอื่นๆ มาแทนที่พลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติก คือ มีน้ำหนักเบา ทำให้สะดวกต่อการถือหิ้ว และการขนส่ง ตลอดจนมีความทนทาน อยู่ได้เป็นเวลานาน และเนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ได้มาก พลาสติกจึงเข้ามาแทนที่วัสดุอื่นๆ เช่น โลหะต่างๆ และไม้ เป็นต้น

ปัจจุบันปัญหาของพลาสติกที่ใช้แล้วหรือพลาสติกที่มีการปนเปื้อนมักเป็นปัญหาที่สำคัญและโยงใยไปถึงมลภาวะของโลก อันเนื่องมาจากอัตราการใช้พลาสติกมีสูงขึ้นตลอดมา แต่ตัวพลาสติกเองมีการสลายตัวได้ช้ามาก บางส่วนถูกนำกลับมาใช้ใหม่ ในขณะที่บางส่วนถูกปล่อยทิ้งไว้ตามพื้นดินหรือแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาในการกำจัดและทำลาย การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยการควบคุมการใช้ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพลาสติกไม่ให้มีมากเกินไปจนความจำเป็น และถ้ามุ่งที่ปลายทาง คือ หาวิธีกำจัดพลาสติกใช้แล้วเหล่านั้นเสียหรือหาวิธีผลิตพลาสติกที่สลายตัวได้เอง

วิธีการหนึ่งในการผลิตพลาสติกที่สามารถสลายตัวเองได้ คือ การเติมสารที่สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้ เช่น แป้ง เนื่องจากแป้งมีส่วนสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งเป็นกลไกการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เมื่อนำมาผสมลงในพลาสติก ในปริมาณที่เหมาะสมจะยังคงทำให้พลาสติกมีความเหนียวและความแข็งแรงต่อการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นแล้วถ้าผ่านกระบวนการออกซิเดชัน โดยใช้แสงตามด้วยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จะทำให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำพลาสติกฝังลงดิน จะทำให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากในดินมีทั้งความชื้น แร่ธาตุ และจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิด [1]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) [2] เป็นวัสดุที่เตรียมจากแป้งผสมพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งสามารถไหลและขึ้นรูปได้เมื่อผ่านความร้อน ความดัน และแรงเฉือนที่สูง เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจัดเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชอย่างกว้างขวาง เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการศึกษากันได้มาจากแป้งชนิดต่างๆ เช่น แป้งข้าวโพด (Corn starch) แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) แป้งสาลี (Wheat starch) แป้งข้าวเจ้า (Rich starch) เป็นต้น

ต้นท้าวยายม่อม [3] ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tacca leontopetaloides* Ktze มีชื่อเรียกตามภาคต่างๆ อาทิ เช่น พญารากเดียว ไม้เท้าฤๅษี กาสะลอง จรดพระธรณี เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กยอมมีลำต้นตั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรง ลำต้นสูงประมาณ 1-2 เมตร หัวของต้นทำวายเป็นม้วนขูดเอามาฝนทำแป้งทำวายเป็นม้วนได้ ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ สีขาวเป็นเงา เวลาใช้ต้องบดให้ละเอียดเป็นผง

ผงวุ้น (Agar) [2] เป็นสารประกอบ Hydrocolloids หน่วยย่อยพื้นฐานของผงวุ้นเป็นสารประกอบ Polysaccharide กลุ่ม Galactose ได้แก่ อะกาโรส (Agarose) และอะกาโรเพคติน (Agaropectin) ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายทะเลให้วุ้น (Agarophytes) เป็นสาหร่ายสีเขียวในดิวิชันโรโดไฟตา (Division Rhodophyta) มีสมบัติในการอุ้มน้ำ ให้สารคงรูปที่มีลักษณะแข็ง ยืดหยุ่น ที่เรียกว่า Gel เมื่อ Gel ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 85 องศาเซลเซียส จะหลอมละลายอยู่ในรูปของเหลว แต่สามารถย้อนกลับมาอยู่ในรูป Gel อีกครั้ง เมื่ออุณหภูมิลงมาที่ 35-40 องศาเซลเซียส ซึ่งสมบัตินี้ดังกล่าวทำให้ Agar เข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ เป็นต้น

ไคโตซาน (Chitosan) [4] เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยา Deacetylation ของไคติน พบโดยบังเอิญในปี ค.ศ.1859 โดย ศาสตราจารย์ C.Rouget โดยการต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ซึ่งเป็นกระบวนการในลักษณะเดียวกับการผลิตสบู่ แห่ที่พบ ได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกและกระดองปู แกนปลาหมึก หอยมุก ผงเซลล์ของรา ยีสต์และจุลินทรีย์หลายชนิด เปลือกหุ้มของแมลง (Chitin+Protein+Complex) สารยางสายพันธุ์ เป็นต้น เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะเติมลงไปในการผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการใช้งาน

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น รายงานที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งทำวายเป็นม้วน (Arrowroot Starch) ยังมีน้อยและลักษณะทางกายภาพของแป้งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ สีขาวเป็นเงา เวลาใช้ต้องบดให้ละเอียดเป็นผง เมื่อทำให้สุกจะขึ้นเหนียวเหนียวและใส เมื่อทำให้เย็นจะเหนียวตัว ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ทำบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาarch (Thermoplastic starch, TPS) ที่เตรียมได้จากแป้งทำวายเป็นม้วน (Arrowroot starch) โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene, LDPE) โดยใช้สารช่วยผสมชนิดมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) จากนั้นนำมาผสมกับผงวุ้น (Agar) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง อีกทั้งไปผสมกับไคโตซานในปริมาณต่างๆ เพื่อยืดอายุการใช้งาน

ของผลิตภัณฑ์ โดยนำชิ้นงานไปขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) และทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สัมฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซึมน้ำ และการย่อยสลาย

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อม (Thermoplastic arrowroot starch) โดยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป
- 2.2 เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงโดยใช้ผงวุ้นและไคโตซาน

3. ขอบเขตของงานวิจัย

- 3.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อม
- 3.2 ศึกษาหาปริมาณของผงวุ้นและไคโตซานที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมโดยรวมดีที่สุด
- 3.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัมฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การดูดซึมน้ำ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และสมบัติการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ที่เตรียมได้

4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 สามารถเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อมผสมผงวุ้นและไคโตซาน ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ที่ใช้งานกันทั่วไปได้
- 4.2 ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบันและอนาคตที่เกิดจากการย่อยสลายได้ยากของพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานในปัจจุบันได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติก (Plastic) [5]

พลาสติกเป็นวัสดุที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น จัดเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นๆ เป็นส่วนประกอบย่อย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟลูออรีน คลอรีน และกำมะถัน เป็นต้น

พลาสติก แบ่งตามสมบัติทางความร้อน เป็น 2 ประเภท คือ [6]

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic หรือ TS) หรือเรซิน เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด ได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สามารถเปลี่ยนรูปได้ พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลว หรือเมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม

2. เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic หรือ TP) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้

การใช้ประโยชน์จากพลาสติกยังมีข้อจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการกำจัดภายหลังการใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกทั่วไปซึ่งเป็นวัสดุที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ที่มีแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลท (Poly(ethylene terephthalate), PET) และพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) เป็นต้น ไม่สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ ส่งผลให้ปริมาณการตกค้างของขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถึงแม้ว่าการกำจัดขยะพลาสติกดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการรีไซเคิลหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ การฝังกลบหรือการเผา แต่กระบวนการดังกล่าวล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น การรีไซเคิลพลาสติกเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน ประกอบด้วยหลายขั้นตอน และจำเป็นต้องใช้พลังงาน อีกทั้งพลาสติกรีไซเคิลที่ได้มีสมบัติด้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติเชิงกล และมีความบริสุทธิ์ต่ำ จึงไม่เหมาะสำหรับการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหาร เครื่องดื่ม ยา และเวชภัณฑ์ การฝังกลบพลาสติกไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพของพื้นที่และบริเวณใกล้เคียง แต่ยังทำให้พื้นที่ใช้ประโยชน์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศลดลง และอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย สำหรับ การกำจัดพลาสติกโดยการเผาก่อให้เกิดภาวะมลพิษทางอากาศและภาวะโลกร้อน

ปัจจุบันผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการเกิดภาวะโลกร้อน รวมทั้งความปลอดภัยต่อ ผู้บริโภคเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเลือกใช้พลาสติกหรือความต้องการพลาสติกสำหรับ อุตสาหกรรมการบรรจุ มนุษย์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการบริโภค และการใช้ชีวิตประจำวัน มากขึ้น โดยเน้นความง่าย ความริบเร่ง ความสะดวกสบาย และความปลอดภัย วัสดุย่อยสลายได้ ทางชีวภาพ (Biodegradable materials) รวมทั้งวัสดุชีวฐาน (Bio-based materials) จึงมีบทบาทมาก ขึ้นในสังคมยุคปัจจุบัน ดังจะเห็นได้จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผลิตและการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ รวมทั้งการรณรงค์จากรัฐบาลในการตระหนักถึงผลกระทบที่ ตามมาของการตกค้างของขยะพลาสติกที่นับวันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในหลายประเทศ โดยเฉพาะ อย่างยิ่งในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น อเมริกา เยอรมัน และญี่ปุ่น เป็นต้น วัสดุชีวฐานเป็นวัสดุที่มา จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นต้น และสามารถนำไปใช้ ประโยชน์ได้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น ยาและเภสัชกรรม การแพทย์ อาหาร เครื่องดื่ม รวมทั้ง อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลาสติก เช่น ภาชนะบรรจุ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น [7]

2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ [8]

พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมี เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเนื่องจากมีสมบัติที่เปลี่ยนไป

2.2.1 การย่อยสลายของพลาสติก

American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้ให้ความหมายของพลาสติกที่ ย่อยสลายได้ ว่าหมายถึง พลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อม ที่เหมาะสมเนื่องจากการสูญเสียคุณสมบัติ แบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

1. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable plastic)
2. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation degradable plastic)
3. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastic)
4. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable plastic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) [8]

พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) หมายถึง พลาสติกที่สามารถย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้โดยเอนไซม์จากสิ่งมีชีวิต ทั้งในสภาพที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศ สารประกอบคาร์บอนที่ได้จะกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม การย่อยสลายเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน ขั้นแรกจะเป็นการย่อยสลายทำให้สายโมเลกุลแตกออก เรียกว่า ขั้น Depolymerization จะเกิดภายนอกสิ่งมีชีวิต (ปกติจะเป็นแบคทีเรียหรือรา) เนื่องจากขนาดและสมบัติที่ไม่ละลายของพอลิเมอร์ จุลินทรีย์จะจับเอนไซม์ออกมาซึ่งจะตัดพอลิเมอร์ทั้งแบบ Endo และแบบ Exo จนได้สารประกอบที่เล็กลง

2.3.1 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง [8]

การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้มีการพัฒนาเป็นเวลานานแล้ว เริ่มตั้งแต่ G.J.L. Griffin ที่เริ่มใช้ พอลิเมอร์ธรรมชาติราคาถูก คือ แป้งผสมในการฉีดพลาสติก และได้รับการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์โดยทั่วไป ขณะนี้สามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตย่อยสลายได้ออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

2.3.1.1 การใช้สารพอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก

กลุ่มนี้จะใช้แป้งทั้งหมดหรือมากกว่า 90% ผลิตภัณฑ์ที่รู้จักจะอยู่ในรูปที่เรียกว่า Gelatinized starch puff หรือ Plate expanded by extrusion หรือ Baking with water หมายความว่า การให้แป้งเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำในตัวแป้งเมื่อถูกความร้อนสูงกลายเป็นไอ ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นการทดแทนโฟมที่ทำจาก Polystyrene เรียกว่า โฟมแป้ง ใช้ในการรองรับภาชนะกันกระแทกในกล่อง

1.1 โฟมพลาสติกจากแป้ง

การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบอัดด้วยความดันสูงในเครื่อง Extruder แป้งจะพองออกจากหัวฉีด เนื่องจากสูญเสียความชื้นและลดแรงดัน เมื่อเย็นตัวลงจะมีโครงสร้างแข็ง มีรูพรุนคล้ายโฟมสำหรับอุ้มอากาศ คุณสมบัติของโฟมแป้งนี้ เกิดจากคุณสมบัติของแป้ง ปริมาณน้ำ ชนิตและปริมาณของสารเติมแต่ง (Additive)

1.2 โฟมจากแป้ง

เป็นการใช้ลักษณะการขยาย (Expansion) ของส่วนผสมจากแป้งและเส้นใย เช่น เยื่อ เพื่อสร้างความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เมื่อขึ้นรูปในแม่พิมพ์

2.3.1.2 แป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้

พลาสติกที่ผลิตได้จากกลุ่มนี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนที่ต่างกัน คือ ส่วนที่เป็นแป้งสามารถย่อยสลายได้ และส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี แป้งที่ใช้ในกระบวนการนี้สามารถใช้ได้ 2 รูป คือ ในรูปเม็ดแป้งหรือแป้งที่ผ่านการเจลาทีไนซ์ อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ได้จากวิธีนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้ 100 % โดยจุลินทรีย์จะย่อยแป้งที่กระจายอยู่ทั่วพลาสติก เกิดรูพรุนส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมีจะถูกทำลายต่อไปด้วยแรงกลหรือปฏิกิริยาเคมี

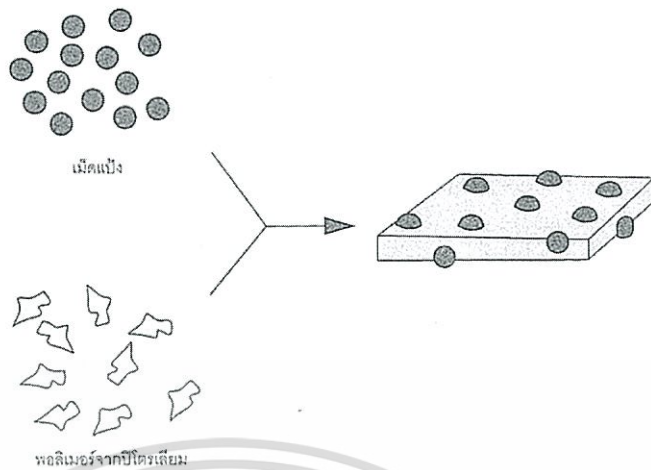
(1) ในรูปเม็ดแป้ง

แป้งจะผสมกับพอลิเมอร์อนุพันธ์ของปิโตรเคมี นำไปขึ้นรูปเลยโดยไม่ต้องทำให้เม็ดแป้งแตกออก แผนภาพการผลิตแสดงได้ดังภาพ ปริมาณแป้งที่ใช้ในวิธีนี้ถูกจำกัดไม่ให้เกิน 10% และต้องมีความชื้น น้อยกว่า 1% เพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำระหว่างกระบวนการอัดรีด (Extrusion) อาจมีการใส่สารเติมแต่งอื่นๆ ได้ (รูปที่ 2.1 - 2.2)



รูปที่ 2.1 แผนภาพการย่อยสลายแป้งผสมพลาสติกย่อยสลายได้ [8]

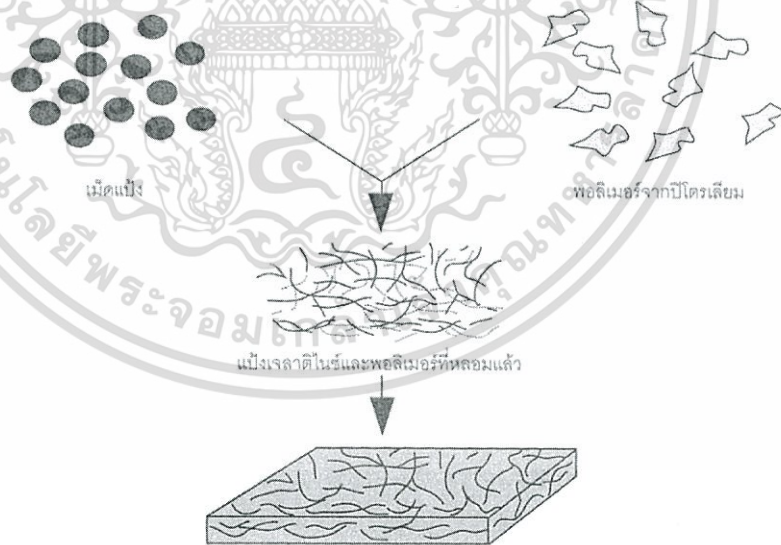
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแบบเม็ดแป้ง [8]

(2) ในรูปแป้งเจลาตินไนซ์

วิธีนี้เม็ดแป้งจะแตกตัวทั้งหมดผสมรวมกับอนุพันธ์ปิโตรเคมีที่หลอมละลาย กระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแบบเจลาตินไนซ์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย [8]

2.3.2.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสภาวะก๊าซ ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสภาวะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ Spectrophotometer หรือ ใช้การคำนวณหาหน้าหนักแห้ง

2.3.2.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวลหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักพอลิเมอร์ที่หายไป จะทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งในปริมาณสูง จะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้งปริมาณต่ำ นอกจากนี้วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ แต่พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน

2.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

- การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังดินไว้เป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้าง นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบเส้นใยของเชื้อราอยู่บนพอลิเมอร์ และเมื่อนำมาล้างและสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบรูเล็กๆ ในพอลิเมอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

- การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก โดยจะได้ภาพในลักษณะสามมิติ ซึ่งจะพบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังไว้ในดินมีสีที่เปลี่ยนแปลงไป และมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าชิ้นงานพอลิเมอร์มีจุดสีดำและเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลาย เหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน นอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูงยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโลนีของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ฝังดินไว้ 6 เดือนมาตรวจปริมาณไนโตรเจน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 0.06% เป็น 0.16% มาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและสร้างโคโลนิบนพอลิเมอร์และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์ โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย

2.3.3.4 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

วิธีการวิเคราะห์ความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสีย โดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA)

- การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐาน (Amorphosity) ของพอลิเมอร์จะลดลง โดยที่ส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนผลึก

- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้ศึกษาการย่อยสลายแป้งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.3.3.5 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20×50 มิลลิเมตร หลาย ๆ ตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมา ทดลองใช้เวลานานประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่างๆ

2.3.3 มาตรฐานในการตรวจสอบการย่อยสลาย [8]

ASTM ได้กำหนดคณะกรรมการย่อยภายใต้คณะกรรมการที่ออกมาตราฐานเกี่ยวกับพลาสติก จุดประสงค์ของคณะกรรมการย่อยชุดนี้เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้และทำการพัฒนา มาตรฐานสำหรับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายในสิ่งแวดล้อมได้ รายละเอียดคร่าวๆ มีดังต่อไปนี้

วิธีการวิเคราะห์โดยการวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนคาร์บอนในพลาสติกที่ต้องการทดสอบไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะที่มีออกซิเจน และก๊าซมีเทน ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยพลาสติกที่ต้องการทดสอบจะต้องเป็นแหล่งคาร์บอนแหล่งเดียวสำหรับจุลินทรีย์ การวิเคราะห์ลักษณะนี้มีทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่

- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสภาวะที่มีออกซิเจนในขณะที่มี Municipal sewer sludge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสถานะที่ไม่มีออกซิเจนในขณะที่มี Municipal sewer sludge

มีอีก 3 วิธีในการวิเคราะห์ที่ ASTM ได้กำหนดเพิ่มให้เป็นมาตรฐาน นั่นคือ

- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสถานะที่มีออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสถานะที่มีออกซิเจนในระบบที่มีการควบคุมสภาวะการหมัก
- วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในสถานะที่มีออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ที่ได้คัดเลือกมา

สองวิธีแรกจะจำลองสภาพแวดล้อมของระบบบำบัดของเสีย นั่นคือสภาวะการหมักและระบบบำบัดน้ำเสีย จะทำให้สามารถทราบว่าพลาสติกที่ต้องการย่อยสลายควรจะใช้ระบบแบบใด ในขณะที่ตรวจสอบในสถานะจำลองควรจะมีการทดสอบในระบบนิเวศวิทยาจริงและกำลังรอผลที่ได้ ส่วนวิธีสุดท้ายไม่ได้ทดลองกับระบบจริงแต่จะเป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบค่าความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่ทราบชนิดที่แน่นอนที่พบอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ทาง ASTM ยังได้ดำเนินการพัฒนาวิธีในการวิเคราะห์ในสภาพต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับระบบของจริง เช่น ในน้ำทะเล น้ำจืด ในดิน ในเครื่องย่อยที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน เป็นต้น

2.4 แป้ง (Starch) [8]

แป้งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) มีอยู่ในพืชแทบทุกชนิด มีโครงสร้างเป็นทั้งแบบสายยาวและกิ่งก้านสาขา แป้งมีมากในพืชประเภทเมล็ดและหัว ข้าวโพดมีแป้ง 50% ข้าวเจ้ามีแป้ง 75% และมันฝรั่งมีแป้ง 20% ฯลฯ เมื่อแป้งถูกความร้อนจะกลายเป็นเด็คซ์-ทริน ซึ่งเป็นสารที่มีรสหวานเล็กน้อยและมีสมบัติเหนียวแบบกาว แป้งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยกลูโคส จัดเป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (Hydrocolloid) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น ซึ่งแป้งสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Starch ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และพืชชนิดต่าง ๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง เป็นต้น สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องใช้แบบเปียก (Wet grinding) ซึ่งจะทำให้แยก Starch ออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Flour ผลิตได้จากการโม่แบบแป้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงทำให้มีสมบัติต่างไปจาก Starch

2.4.1 การสังเคราะห์แป้ง [8]

การสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นในส่วนของพืชที่มีสีเขียว ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ในการจับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและน้ำในการสร้างกลูโคสและออกซิเจน กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) สามารถแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสง ในเวลากลางวันแป้งจะถูกเก็บไว้ที่ใบในรูปของเม็ดแป้ง ขนาด 1 ไมครอน ในช่วงเวลากลางคืนแป้งจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้เป็นน้ำตาลซูโครส และถูกส่งไปเก็บสะสมในรูปของแป้งที่ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เก็บไว้ในเมล็ด (ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง) เก็บไว้ในราก (มันสำปะหลัง) เก็บไว้ในส่วนหัว (มันฝรั่ง มันเทศ ท้าวยายม่อม) เก็บไว้ในลำต้น (สาकु สับปะรด) เป็นต้น

2.4.2 องค์ประกอบภายในแป้ง [8]

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่า ปลายรีดิวซิง (Reducing end group) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโล-เพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

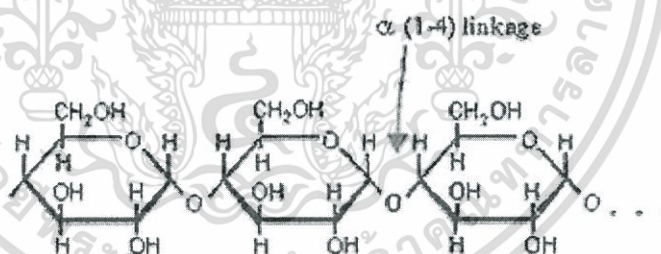
1. อะมิโลส (Amylase)
2. อะมิโลเพกทิน (Amylopectin)
3. สารตัวกลาง (Intermediate material)

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน [8]

สมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	เกาะเป็นเส้นตรง	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	α -1,4	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	200-2,000 หน่วยกลูโคส	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	สีแดงม่วง
การจับตัว	สีน้ำเงิน เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

1. อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glycosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 (α -1,4) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลส [8]

แบ่งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของ อะมิโลสแตกต่างกัน แบ่งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก

อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายน้ำ โดยอะมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้อะมิโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส

ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเมล็ดขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มอะมิโลเพกทิน บางส่วนกระจายตัวอยู่ในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline) ในแป้งสาลีพบอะมิโลสอยู่ในส่วนอสัณฐาน ในแป้งมันฝรั่งพบอะมิโลสอยู่ร่วมกับอะมิโลเพกทิน

2. อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด $\alpha - 1,4$ และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด $\alpha - 1,6$

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด $\alpha - 1,6$ มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 ของอะมิโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ (Chain) 3 ชนิด คือ

- 1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียวกัน ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)
- 2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสาย A และ สาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1
- 3) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนที่ประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสายคาร์บอน 1 สายเท่านั้น

3. สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนเล็กน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทินแต่ใหญ่กว่าอะมิโลส สารตัวกลางมีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่งเช่นเดียวกับอะมิโลเพกทิน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณและโครงสร้างของสารตัวกลางขึ้นอยู่กับชนิดและการเก็บเกี่ยวของพืช

4. องค์ประกอบอื่นๆ ภายในเมล็ดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แล้วแป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่า 1% ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้ง ดังนั้นการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้ง โดยสกัดด้วยตัวทำละลายหรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย

ไขมันที่รวมอยู่ในเมล็ดแป้งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียกหรือเพสต์(Paste) ไขมันจะรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย (Inert complex) ทำให้ฟิล์มและ แป้งเปียกมีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่บริเวณพื้นผิวเมล็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันได้

2) ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1% โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเมล็ดแป้ง ทำให้ผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเมล็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายตัวของเมล็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาทีไนซ์เปลี่ยนแปลงไป เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป

3) ฟอสฟอรัส

แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่า 0.1% โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปฟอสโฟลิพิด (Phospholipid) ประมาณ 0.02 ถึง 0.06% และสำหรับพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่ง มีองค์ประกอบฟอสฟอรัสประมาณ 0.3 ถึง 0.4% ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 6 (C_3 และ C_6) ของหน่วยกลูโคส แป้งมันฝรั่งมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสจึงทำให้มีประจุพื้นผิวเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบจะทำให้แป้งมันฝรั่งมีคุณสมบัติพองตัวง่ายและมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่น

4) เถ้าและสารอนินทรีย์อื่น ๆ

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเถ้าในแป้งจากธัญพืชจะ

เอกสารสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิพิด ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 สมบัติในการดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลายของแป้ง [8]

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17 %

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก (Crystal water) น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bond water) และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 10 % สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้งจะได้สูตรซิมโนไฮเดรต $[n(C_6H_{10}O_5) \cdot H_2O]$

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเจลลิตีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มมากขึ้น สมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

2.4.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch) [8]

ในธรรมชาติโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินมีการจัดเรียงตัวกัน โดยมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่ค่อนข้างแข็งแรงอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีอุณหภูมิการหลอมตัวที่สูงมาก โดยปกติอุณหภูมิการหลอมตัวของเม็ดแป้งสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัวทำให้แป้งไม่สามารถหลอมตัวได้ นั่นคือ ถ้าได้รับความร้อนสูง (มากกว่า 265 องศาเซลเซียส) แป้งจะเกิดการเผาไหม้ก่อนการหลอมตัว

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch) หมายถึง วัสดุที่สามารถหลอมตัวและ

นำไปขึ้นรูปเป็นแบบต่าง ๆ ได้ โดยการใช้ความร้อนและความดัน จากสมบัติของแป้งที่กล่าวมา
 เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเอกสารอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้างต้นจะเห็นว่าโดยธรรมชาติแล้ว แป้งไม่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกเลย ซึ่งเราสามารถทำให้แป้งมีสมบัติเป็นเทอร์โม-พลาสติกได้โดยการใช้สารเติมแต่ง (Additive) คือ พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินเป็นอิสระ มากขึ้น ดังนั้นเราจึงนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นแผ่นหรือขึ้นรูปเป็นรูปแบบต่างได้ พลาสติกที่ผลิตได้โดยวิธีนี้จึงเรียกว่า *เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch , TPS)*

2.4.5 แป้งท้าวยายม่อม (Arrowroot Starch) [8]

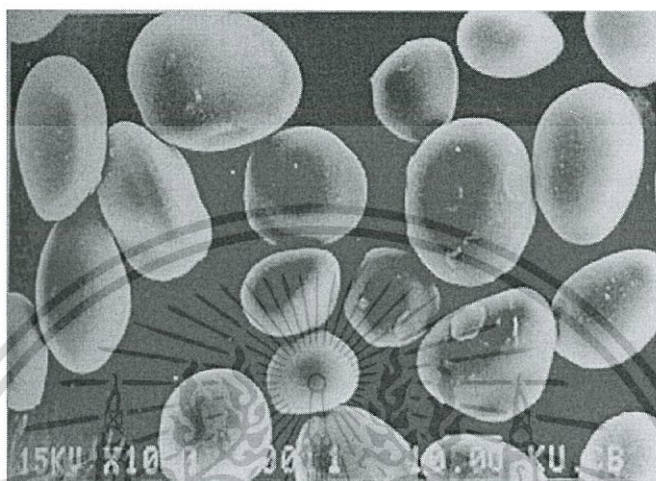
ส่วนของ Arrowroot ที่เก็บแป้งเป็นส่วนราก (Rhizome) เป็นส่วนที่ขยายพันธุ์ได้ Arrowroot เป็นพืชล้มลุก อายุ 1 ปี ในฤดูร้อน ใบจะแห้ง หยุดการเจริญ สามารถเก็บเกี่ยวได้ เมื่อฝนตกต้นใหม่ก็จะงอกเจริญเติบโตต่อไป ในกระบวนการผลิตแป้งเหมือนกับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่ต้องผ่านขั้นตอนการล้างมากกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงรสขมจากเปลือกนอกของหัว เม็ดแป้งมีขนาด 15 – 70 ไมครอน สามารถสกัดแป้งได้ 25 – 30 % แป้ง Arrowroot จะให้แป้งที่ใสและสามารถใช้แทนแป้งมันสำปะหลังได้ โดยพบว่าสามารถให้แป้งเปียกที่มีความหนืดมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง

ในประเทศไทยมีการปลูกกันโดยทั่วไป แต่ยังไม่ใช่พืชหลักและยังไม่มีการผลิตแป้งในระดับอุตสาหกรรม ในท้องถิ่นมักเรียกกันว่า ต้นรากสาธุ ลักษณะพิเศษของแป้ง Arrowroot คือ เม็ดแป้งขนาดใหญ่และมีความแข็งแรงของเม็ดสูง ทำให้มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะ (Pasting temperature) สูง สมบัติของแป้ง Arrowroot แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของแป้ง Arrowroot [8]

สมบัติ	แป้ง Arrowroot
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	18 – 50
ปริมาณอะมิโลส (%)	18
ขนาดอะมิโลส (Degree of polymerization)	3,430
อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, °C)	76.20
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU)	420
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU)	271

ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU)	188
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลที่ไนซ์ (Onset temperature, T_0 , °C)	61 – 65
อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดเจลที่ไนซ์ (Peak temperature, T_p , °C)	65 – 74
เอนทาลปี (Enthalpy, ΔH , J/g)	18 – 20



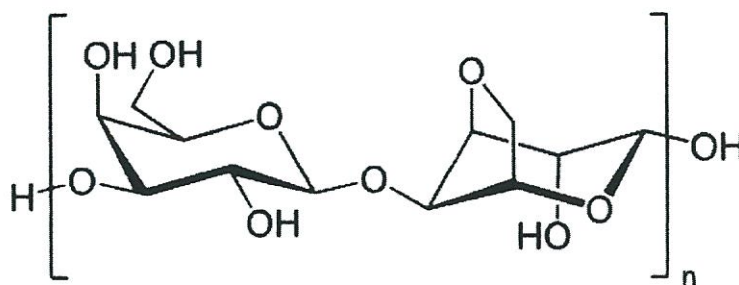
รูปที่ 2.5 แป้งทำว้ายม่อม (Arrowroot starch) [8]

2.5 พงวุ้น (Agar) [2]

พงวุ้นหรืออะการ์เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ที่นิยมใช้กันมาก คือ *Gelidium cartilagineum*, *Gracilaria confervoides* และ *Pteroclaia* ซึ่งสองชนิดแรกใช้ผลิตพงวุ้นทางการค้า ประเทศที่ผลิต ได้แก่ ญี่ปุ่น สเปน ชิลี และเกาหลี

พงวุ้นประกอบด้วย Agarose และ Agaropectin ซึ่ง Agarose เป็นพอลิแซคคาไรด์ ประกอบด้วย 1,4-linked 3,6-anhydro-L-galactose และ 1,3 linked b-D-galactose เรียงสลับกันไป ดังรูปที่ 2.6 ส่วน Agaropectin เป็นพอลิแซคคาไรด์ซัลเฟตที่มีโครงสร้างเหมือน Agarose แต่ 3,6-anhydro-L-galactose บางโมเลกุลถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตประมาณ 5-8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Agarose [2]

ผงวุ้นไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายได้อย่างช้าๆ ในน้ำร้อน ละลายได้ดีที่ความเข้มข้นไม่เกิน 4% ในน้ำเดือดถ้าใช้ที่ความเข้มข้นสูงให้ Autoclave ที่ 120°C เพื่อช่วยในการละลาย ผงวุ้นมีความสามารถคูดน้ำ ได้ดี ทำให้เกิดเจลได้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.04% เกิดเจลได้โดยไม่ต้องอาศัยสารอื่นๆ ช่วยในการเกิดเจลซึ่งการเกิดเจลแบบนี้เรียกว่า Physical gels โดยเมื่อโมเลกุลของ Agarose ละลายอยู่ในน้ำจะมีลักษณะเป็น Random coil และเมื่ออุณหภูมิลดลงใกล้อุณหภูมิเกิดเจล จะเกิดการจับกันของสายพอลิเมอร์ เจลที่ได้มีลักษณะเนื้อแข็งขุ่น สีเหลืองอ่อน เปราะแตกได้ง่าย (Brittle) เนื้อสัมผัสเป็นแบบ Juiciness และ Crunchy และเกิด Syneresis การเติมน้ำตาลหรือเดกซ์ตรินหรือผสมกับ Locust bean gum จะทำให้เจลที่เกิดขึ้นมี Gel strength และความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดการเกิด Syneresis แต่ถ้าเติมแป้งหรือโซเดียมอัลจิเนตจะให้ผลตรงกันข้าม คือทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง เจลที่เกิดจากอะการ์ทนความร้อนเพราะอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลและจุดหลอมเหลวของเจลมีช่วงห่างกันมาก

การใช้ผงวุ้นในอุตสาหกรรมต่างๆ มีดังนี้

- Bakery Industry ใช้ผงวุ้นเพื่อแก้ปัญหาการหลอมตัวของน้ำตาลที่เคลือบ (Icing) การเกาะติดของ Icing กับวัสดุหุ้ม ลดการแตกหักและหลุดร่วงของ Icing
- Confectioneries เช่น ใช้ใน Jelly candies, Maringues และ Pudding
- Meat and fish product เช่น Canned tuna in jelly หรือ ผสมใน Fish extract ผง เพื่อใช้เตรียม Flavor และผลิต Soup
- Vegetarian and health products ใช้เป็น Bulking agent แทนแป้ง
- ใช้ทางเภสัชศาสตร์จะใช้เป็น Slow release ingredient เพราะผงวุ้นไม่สามารถย่อยในร่างกายมนุษย์ได้เนื่องจากไม่มีเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ไคตินและไคโตซาน [4]

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่พบเป็นอันดับที่สองรองจากเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่ไคตินจะอยู่ร่วมกันกับสารจำพวก โปรตีนและแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยา Deacetylation ของไคติน พบโดยบังเอิญในปี 1859 โดย ศาสตราจารย์ C.Rouget โดยการต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ซึ่งเป็นกระบวนการในลักษณะเดียวกับการผลิตสนู

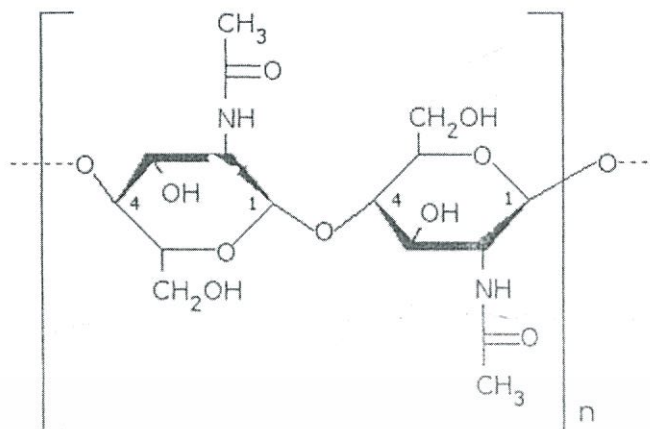
2.6.1 แหล่งที่พบ :

- เปลือกกุ้ง เปลือกและกระดองปู แกนปลาหมึก หอยมุก
- ผนังเซลล์ของรา ยีสต์และจุลินทรีย์หลายชนิด
- เปลือกหุ้มของแมลง (Chitin+Protein+Complex)
- สาร่ายบางสายพันธุ์

2.6.2 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

ไคติน ($C_8H_{13}O_5N$)_n เป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงเส้นตรง มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับเซลลูโลสโดยมีการเชื่อมโยงแบบ $\beta(1 \rightarrow 4)$ แต่ต่างกันตรงที่หมู่ไฮดรอกซีที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ถูกแทนที่ด้วยหมู่ Acetylated amino โครงสร้างของไคตินประกอบด้วยหมู่ที่ซ้ำกันของ N-acetylglucosamine หรือ 2-Acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือ N-acetyl-D-glucose ชื่อทางเคมีของไคติน คือ Poly $\beta(1 \rightarrow 4)$ -2-Acetamido-2-deoxy-D-glucose ในธรรมชาติไคตินจะประกอบด้วยหน่วยที่มีหมู่ Acetylated amino ประมาณ 84% ส่วนที่เหลืออีก 16% เป็นหน่วยที่กำจัดหมู่ Acetyl ออกไป

สำหรับไคโตซานเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของไคตินโดยการกำจัดหมู่อะเซทิล (Acetyl) ออกไป โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยหมู่ที่ซ้ำกันของ $(1 \rightarrow 4)$ -2-acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือ D-glucosamine โดยปกติไคโตซานจะประกอบด้วยหน่วยที่กำจัดหมู่ Acetyl ออกแล้ว (Degree of Deacetylation, %DD) ประมาณ 60 – 100% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของไคตินและขั้นตอนการสังเคราะห์ไคโตซาน โดยสามารถตรวจวัด %DD ได้ด้วยเครื่องมือนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [4]

2.6.3 กระบวนการผลิตไคตินและไคโตซาน

1. กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteination) โดยการทำให้ปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ(NaOH) ในกระบวนการนี้ โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปจากวัตถุดิบพร้อมกันนี้ บางส่วนของไขมันและรงควัตถุบางชนิดมีโอกาสถูกกำจัดออกไปด้วย

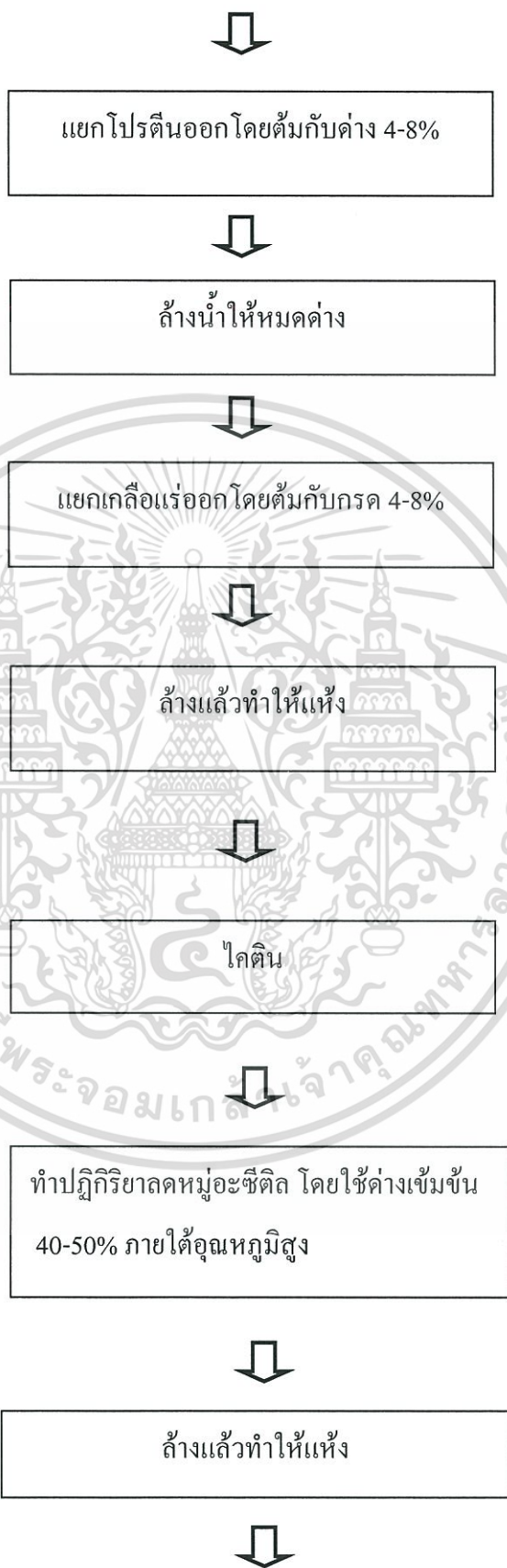
2. กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (Deminerlization) โดยการนำวัตถุดิบที่ผ่านการกำจัดโปรตีนแล้ว มาทำปฏิกิริยากับกรด ซึ่งส่วนมากใช้กรดเกลือ (HCl) ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (Calcium carbonate, CaCO_3) จะถูกกำจัดออกไปหลังขั้นตอนนี้จะได้ไคติน

3. กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล ($\text{CH}_3\text{CO}-$) ที่มีอยู่บน โมเลกุลของไคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$ -) บนโมเลกุลของไคตินและหมู่อะมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลายเปลี่ยนเป็นประจุบวกซึ่งทำให้การละลายดีขึ้น เมื่อปริมาณของหมู่อะซีทิลถูกกำจัดไปมากกว่า 60% สารไคโตซานที่ได้จะสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด การลดหมู่อะซีทิลกระทำได้โดยใช้ด่างที่เข้มข้นสูงตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารไคโตซานก็คือ ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (Degree of deacetylation, %DD)

ของเหลือจากกุ้ง ปู ปลาหมึก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ **บดคัดขนาด** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโคซาน

2.6.4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

1. การละลาย

- ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ค้าง และตัวทำละลายอินทรีย์

- ไคโตซาน ละลายได้ใน กรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก สำหรับกรดอินทรีย์ เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้ แต่ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงปานกลางและมีการปั่น กวน

2. น้ำหนักโมเลกุล

ไคโตซาน $1 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$ ขึ้นกับขั้นตอนในการผลิต

3. Degree of deacetylation (%DD)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน ถ้าค่า Degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน ในทางตรงข้ามถ้าค่า Degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

4. ความหนืด

ขึ้นกับค่า Degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ โดยทั่วไปความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดต่างกัน

5. Coagulation ability

ไคโตซานเป็นตัวเหนียวน้ำในการสร้างตะกอนที่ดี (Flocculating and coagulating agents) เนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่นๆ หรือจับกับโลหะหนักโดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนสร้างพันธะเชิงซ้อนขึ้น หมู่อะมิโนไคโตซานจะมีประสิทธิภาพในการจับไอออนของโลหะ ได้ดีกว่าหมู่ Acetyl ในไคติน ดังนั้นไคโตซานที่มี Degree of deacetylation สูงจะมีความสามารถในการจับโลหะได้สูงด้วย

6. เกิด Acid hydrolysis ได้โดยเกิดแบบสุ่ม (Random) ได้ Oligomer

7. Alkaline degradation โดนเริ่มต้นจากปลายสายโซ่ของโมเลกุล เรียกว่า Peeling reaction

8. การย่อยสลายโดยการสั่นโดยใช้คลื่นเสียง (Degradation by sonication) จะได้ Oligomer ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสาร Enzymic degradation เช่น เอนไซม์ Chitinase และเอนไซม์ Lysozyme ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Thermal degradation

11. ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไก คือ ไคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคตินและไคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้นหนืด ใช้เป็นสาร เคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปแบบฟิล์มที่รับประทานได้ (Edible film) สำหรับบรรจุอาหาร [9]

2.7 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2) [10]

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียม มีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ TiO_2 ในธรรมชาติไทเทเนียมไดออกไซด์จะอยู่ในรูปแร่ิลเมนไนต์ (Ilmenite) หรือแร่ลูโคซีน (Leucocene) ซึ่งเป็นแร่สีดำนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบหลักเป็นไอรอนไทเทเนต ($FeTiO_3$) ไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างหลักอยู่ 3 รูป คือ อะนาทาส (Anatase) รูไทล์ (Rutile) และบรูคไคท์ (Brookite)

ไทเทเนียมไดออกไซด์จัดเป็นสารให้สีประเภทรงควัตถุนินทรีย์ ซึ่งรงควัตถุนินทรีย์จัดเป็นสารประกอบโลหะที่มีขนาดใหญ่ มีพื้นผิวเล็ก ความหนาแน่นสูงเมื่อเทียบกับรงควัตถุอินทรีย์ สามารถทำให้เกิดการกระจายของแสงได้ ด้วยเหตุนี้จึงทึบแสง ความแรงในการผสมสีขาวจึงต่ำ ส่งผลให้เป็นสีทึบไม่สดใส แต่มีเสถียรภาพทางความร้อน และความต้านทานต่อการจางหายไป แม้ว่าความต้านทานต่อสารเคมีจะแปรเปลี่ยนไปก็ตาม ไทเทเนียมไดออกไซด์ จัดเป็นรงควัตถุสีขาวที่สำคัญมากที่สุด ให้ความสว่าง และความทึบมาก มีเสถียรภาพต่อความร้อน และเพิ่มพื้นที่ผิว ดังนั้นไทเทเนียมไดออกไซด์จึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก

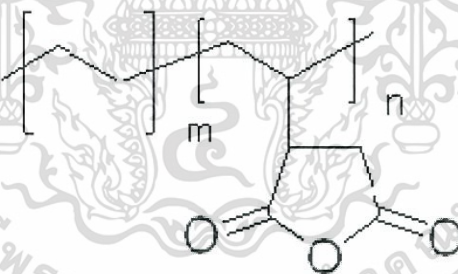
2.8 มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride grafted Polyethylene; MAPE) [11]

มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีนเป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ซึ่งจะทำให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical chemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทิลีน โดยทำให้ความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้น และความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าแอนไฮดรายด์ เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนและเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารตัวเติม (Additive) ได้เป็นอย่างดี

2.8.1 ประโยชน์ [12]

1. เป็นสารหน่วงไฟ
2. เป็นสารเติมแต่ง
3. ใช้ปรับปรุงเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และความทนทานแก่วัสดุ
4. สามารถป้องกันจากการสัมผัสเปลวไฟของไฟเบอร์กลาส และเสริมแรงใน PE
5. เพิ่มความแข็งแรงและการดูดซับน้ำ
6. ปรับปรุงการมีขั้วของ PE และปรับปรุงการทำงานร่วมกับวัสดุที่มีขั้ว
7. ปรับปรุงลักษณะที่ปรากฏและประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต
8. เป็น Compatibility agent for alloy plastics



รูปที่ 2.8 โครงสร้าง MAPE [13]

2.9 การฉีดพลาสติกเข้าเบ้า (Injection Molding) [14]

การฉีดพลาสติกเข้าเบ้า เป็นกระบวนการหลักในการผลิตชิ้นงานพลาสติกสำเร็จรูป เป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกที่สำคัญที่สุด ถ้านับเอาจำนวนเครื่องแปรรูปพลาสติกที่ใช้กันทั้งหมด มูลค่าของชิ้นงานพลาสติกที่ผลิต และจำนวนชิ้นงานพลาสติกทั้งหมดที่ผลิตจากเทคนิคนี้ กล่าวคือ ในบรรดาเครื่องแปรรูปพลาสติกทั้งหมด ประมาณ 60% เป็นเครื่องฉีดเข้าเบ้า โดยทั่วไปการแปรรูปพลาสติกโดยการฉีด ผลิตชิ้นงานที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 5 กรัม ถึง 90 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 เครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ ซึ่งมีการออกแบบให้เหมาะกับการผลิตชิ้นงานพลาสติกแต่ละชนิด โดยทั่วไปขนาดของเครื่องฉีดขึ้นกับขนาดของชิ้นงาน ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องฉีดพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1. เครื่องฉีดที่มีชุดฉีดวางตัวในแนวนอน (Horizontal Injection Molding Machine)

โดยทั่วไปเป็นเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากการวางตัวในแนวนอน ทำให้รอยประกบ (Parting line) ระหว่างเบ้าทั้งสองซีกตั้งฉากกับแนวราบ ทำให้สามารถกระทุ้งชิ้นงานที่ได้จากการฉีดให้ตกลงในภาชนะรองรับ ซึ่งอยู่ด้านล่างเครื่องฉีดได้สะดวก นอกจากนี้การถอดและการเปลี่ยนเบ้าก็สามารถทำได้ง่าย

2. เครื่องฉีดที่มีชุดฉีดวางตัวในแนวตั้ง (Vertical Injection Molding Machine)

เครื่องฉีดพลาสติกชนิดนี้ รอยประกบเบ้าวางตัวอยู่ในแนวราบ ตั้งฉากกับแนวของชุดฉีด ลักษณะของเครื่องแบบนี้เหมาะสำหรับการฉีดหุ้ม เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ค้ำมิค ไชควง ค้ำมิมิด ค้ำมึประแจ และการฉีดหุ้มปลั๊กไฟฟ้าชนิดต่างๆ

3. เครื่องฉีดแบบหมุน (Rotary Table Machine)

เครื่องฉีดแบบนี้มีชุดฉีดและหน่วยที่ทำให้พลาสติกหลอมเพียงชุดเดียว แต่มีเบ้าหลายชุด เหมาะสำหรับการผลิตพลาสติกที่ต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนและการหล่อเย็นนาน

2.9.2 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

โดยทั่วไปเครื่องฉีดพลาสติก ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ

1. ชุดหลอมและฉีดพลาสติก (Plasticating and Injection Unit)
2. ชุดปิดและเปิดเบ้า (Clamping)
3. ระบบไฮดรอลิก ระบบควบคุม และระบบไฟฟ้า (Hydraulics, Controls and Electrical System)

2.9.3 กระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Molding Process)

การฉีดพลาสติกเข้าเบ้า เริ่มต้นจากการเตรียมความพร้อมของเครื่องฉีดและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. การเตรียมความพร้อมของเบ้าและชุดปิดและเปิดเบ้า

- เปิดเบ้าออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่มีเศษชิ้นงานจากการฉีดครั้งก่อนหลงเหลือในเบ้า
- ตัวกระทู้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งหดตัว
- ตั้งอุณหภูมิเบ้าให้เหมาะสมกับชนิดพลาสติกที่ต้องการแปรรูป กล่าวคือ กรณีเทอร์โมพลาสติก อุณหภูมิของเบ้าถูกควบคุมโดยน้ำหล่อเย็น แต่กรณีการฉีดเทอร์โมเซต ต้องตั้งความร้อนของเบ้าตามอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ที่ทำการฉีด

2. การเตรียมความพร้อมในส่วนของคุณหล่ออมเหลวพลาสติกก่อนเริ่มการฉีด

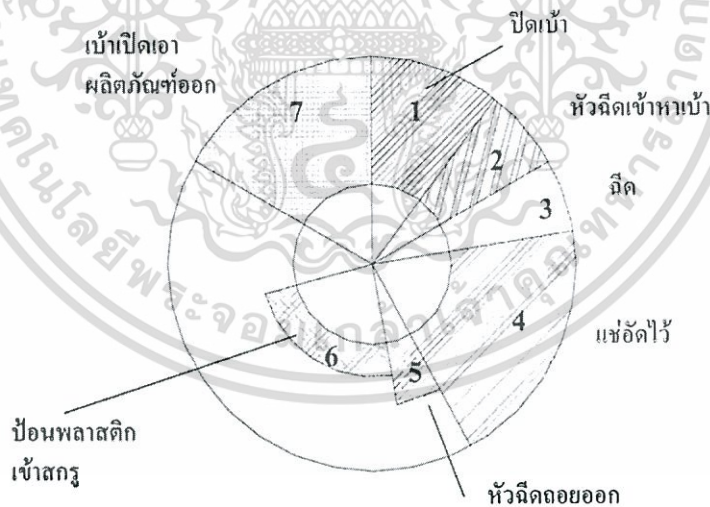
- ให้ความร้อนแก่กระบอกฉีดและหัวฉีด โดยตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสมกับพลาสติกแต่ละชนิด

- ให้สกรูอยู่ในตำแหน่งถอยสุดตัว

- ปิดหัวฉีดเพื่อป้องกันพลาสติกหลอมรั่วออกมาข้างนอก โดยเฉพาะการฉีดพลาสติกที่มีค่า (MFI) สูง

มีค่า (MFI) สูง

ลำดับของกระบวนการฉีด แสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งสรุปลำดับของกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า เป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 ลำดับกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า [10]

ขั้นตอนที่ 1 ปิดเบ้า ทำการเลื่อนเบ้าทั้งสองซีกเข้าหากันเพื่อปิดล็อกเบ้าให้แน่น และมีแรงปิดมากกว่าแรงที่เกิดจากการฉีดพลาสติก

ขั้นตอนที่ 2 เลื่อนหัวฉีดเข้าหาเบ้า เลื่อนหัวฉีดจนกระทั่งชนกับเบ้า แล้วค้างไว้ด้วยแรงกดที่เหมาะสม เพื่อป้องกันหัวฉีดถอยหลังกลับในช่วงทำการฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 ฉีดพลาสติกหลอมเข้าเบ้า ทำการฉีดพลาสติกหลอมเข้าเบ้า โดยการเคลื่อนตัวของสกรูในแนวนอน

ขั้นตอนที่ 4 ระยะแช่อัดความดัน (Holding pressure phase) เพื่อลดการเกิดการหดตัวของชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 5 หัวฉีดถอยหลังกลับ เพื่อป้องกันไม่ให้หัวฉีดมีอุณหภูมิต่ำเกินไป

ขั้นตอนที่ 6 ป้อนพลาสติกหลอมเข้าในช่องว่างหน้าสกรู โดยสกรูจะหมุนรอบตัวเองดึงให้พลาสติกจากกรวยเติมเข้ามาในกระบอกฉีด แล้วเคลื่อนตัวไปข้างหน้า พร้อมกับเกิดการหลอม แล้วสะสมในช่องว่างด้านหน้าของสกรู โดยที่รูของหัวฉีดถูกปิด ทำให้เกิดแรงดันให้สกรูเกิดการถอยหลังกลับโดยอัตโนมัติ เมื่อได้ปริมาณพลาสติกหลอมที่เหมาะสมแล้ว สกรูจะหยุดหมุน

ขั้นตอนพิเศษ การหล่อเย็น เกิดขึ้นพร้อมๆกับการเริ่มต้นที่ 5 ต่อไปจนถึงสิ้นสุดขั้นตอนที่ 6 แล้วหล่อเย็นต่อเวลาอีกระยะหนึ่ง การหล่อเย็นเป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุด

ขั้นตอนที่ 7 ระยะถอดผลิตภัณฑ์พลาสติกออกจากเบ้า โดยการกระทุ้ง

2.9.4 ปัจจัยที่สำคัญในการฉีดพลาสติกเข้าเบ้า

1. อุณหภูมิของพลาสติกหลอม

อุณหภูมิของพลาสติกหลอมกำหนดโดยการตั้งอุณหภูมิของกระบอกและหัวฉีด ซึ่งโดยทั่วไปมีแผนให้ความร้อนจำนวน 5 จุด คือ ส่วนหัวฉีด ส่วนหน้ากระบอก ส่วนกลาง (จำนวน 2 จุด) และส่วนท้ายของกระบอก อุณหภูมิที่ตั้งไม่ใช่ของอุณหภูมิของพลาสติกหลอม แต่เป็นอุณหภูมิของกระบอกซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของพอลิเมอร์เล็กน้อย ดังนั้นในการผลิตที่ต้องการชิ้นงานที่มีคุณภาพสูง มักจะมีเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) วัดอุณหภูมิของพลาสติกหลอมโดยตรง

2. อุณหภูมิของเบ้า

ในกรณีการฉีดเทอร์โมพลาสติก มักจะใช้น้ำหรือน้ำมันไหลหมุนเวียนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเบ้า การฉีดเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มที่ไม่มีผลึก (Amorphous thermoplastic) จะตั้งอุณหภูมิเบ้าค่อนข้างต่ำ ส่วนเทอร์โมพลาสติกชนิดกึ่งผลึก (Semi-crystalline thermoplastics) ใช้อุณหภูมิสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากต้องการให้มีเวลามากพอที่โมเลกุลของพลาสติกเกิดการจัดเรียงตัวใหม่เพื่อให้เกิดผลึก

3. ความดันในการฉีด (Injection Pressure)

ความดันฉีดเกิดจากการเคลื่อนที่ในแนวแกนของสกรู เป็นความดันที่ทำให้พลาสติกหลอมไหลเข้าช่องว่างของเบ้า ค่าความดันฉีดสามารถปรับได้โดยตรงจากแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันในการอัดฉีดมีความสัมพันธ์กับรูปร่างลักษณะของชิ้นงาน เช่น ความหนาบางและส่วนโค้งเว้า

4. ความดันฉีดแช่อด (Holding Pressure)

ความดันที่ใช้ในการฉีดแช่อด ได้มาจากความดันที่เกิดขึ้นกับพลาสติกหลอมในช่วงด้านหน้าสกรูเช่นเดียวกับความดันที่ใช้ในการฉีด แต่ขนาดของความดันฉีดแช่อดจะน้อยกว่า กล่าวคือ ประมาณ 30 ถึง 70 % ของความดันฉีด ซึ่งระดับความดันชนิดนี้ขึ้นกับความหนืดของพลาสติกที่ฉีด ถ้าฉีดพลาสติกที่มีความหนืดสูง จำเป็นต้องใช้ความดันแช่อดสูง เพื่ออัดป้อนพลาสติกหลอมชุดใหม่เข้าไปในช่องว่างของเบ้าเพื่อชดเชยการหดตัว

5. ขนาดของเครื่องฉีดพลาสติก

การผลิตชิ้นงานพลาสติกต้องเลือกขนาดของเครื่องฉีดให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ทำการผลิต การกำหนดชนิดของเครื่องฉีดพลาสติก

2.9.5 พลาสติกที่ใช้ในการฉีด

การเลือกชนิดและเกรดของพลาสติกที่ใช้ในการฉีดมีความสำคัญมาก เนื่องจากผู้ผลิตพลาสติกส่วนใหญ่ไม่ได้ให้ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการแปรรูป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบสมบัติของพลาสติกเพิ่มเติม ก่อนที่จะตัดสินใจใช้พลาสติกในการฉีด

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรรถัย ตั้งสิรินฤนาท และคณะ [15] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผสมพลาสติกพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงกับแป้งข้าวเหนียวและกลีเซอรอล เพื่อใช้เป็นพลาสติกย่อยสลายได้แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในงานสิ่งทอ โดยมีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว 10% , 20% , 30% , 40% โดยน้ำหนักและปริมาณกลีเซอรอลที่ 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนักผสมลงในเครื่องอัดรีดเกลียว หอนอนเดี่ยว โดยการศึกษามุ่งเน้นไปที่ส่วนผสม กระบวนการขึ้นรูป สมบัติเชิงกล โครงสร้าง และสมบัติการย่อยสลายทางธรรมชาติ พบว่าปริมาณของแป้งข้าวเหนียวมีผลทำให้ ความต้านทานแรงดึง และการยึดตัวที่จุดขาด การบวมตัวของพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของแป้งข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแป้งทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างส่วนของแป้งกับ PE ลดลงอย่างมาก เมื่อพอลิเมอร์ผสมได้รับแรงจึงยึดตัวได้น้อยและค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแป้งข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแป้งเป็นสารที่มีความเป็นผลึกสูงการเพิ่มปริมาณแป้งทำให้ค่ามอดูลัสของวัสดุผสมมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณกลีเซอรอลพบว่า ความต้านทานแรงดึง และมอดูลัสของพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของกลีเซอรอลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นเนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารลดความเป็นผลึก (Plasticized) ทำให้เป็งมีความเป็นผลึกลดลง ส่งผลให้มีค่ามอดูลัสต่ำลงและค่าการยืดตัวที่จุดขาด และค่าการบวมตัวของพอลิเมอร์มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาการย่อยสลายทางธรรมชาติ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีส่วนผสมของเป็งข้าวเหนียวมากมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักการย่อยสลายที่สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีเป็งข้าวเหนียวผสมอยู่น้อย เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นเส้นใย พบว่ายังไม่แข็งแรงเท่าที่ควร จำเป็นต้องมีการเติมสารช่วยผสม เพื่อทำให้เป็งกับพอลิเอทิลีน เข้ากัน ได้ดียิ่งขึ้น

นิสานาด หลิมศิริวงษ์ และคณะ [2] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียว โดยใช้เป็งข้าวเหนียวมาเป็นส่วนผสมหลัก ทำการผสมกับผงวุ้นในปริมาณ 10%, 20% และ 30% และผสมกับเส้นใยฝ้ายในปริมาณ 5%, 10% และ 15% และใช้ผงวุ้นผสมกับเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณ 10% ในอัตราส่วน 10:0 8:2 6:4 4:6 2:8 0:10 เพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียว โดยเทอร์โมพลาสติกสตาโรซเตรียมได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สันฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำ และการย่อยสลาย จากการวัดสีพบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวผสมเส้นใยฝ้าย 15% มีความสว่างมากที่สุด และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวผสมผงวุ้น 30% มีสีออกแดงมากที่สุดและมีความสว่างน้อยที่สุด สมบัติเชิงกลโดยรวม ที่สูงที่สุด พบได้ในเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวผสมผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 4:6 ส่วนการทดสอบการดูดซับน้ำผลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด คือ เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวผสมผงวุ้น 10% และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวผสมเส้นใยฝ้าย 10% ตามลำดับ จากเทอร์โมแกรมพบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวที่ปรับปรุงด้วยผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วนต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการฝังดิน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวผสมผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 10:0 มีการย่อยสลายเร็วที่สุด และจากการศึกษานี้เทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด คือ เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากเป็งข้าวเหนียวผสมผงวุ้นและเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 4:6

H.A.Pushpadass และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณ LDPE, กลีเซอรอล และสมบัติของคอมโพสิตฟิล์มเป็ง โดยใช้เป็งข้าวโพดผสมกับ LDPE ที่อัตราส่วน 95:5, 90:10 และ 85:15 ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบาง สรุปได้ว่าการ Compound และปริมาณกลีเซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรอด เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์ม จาก SEM พบว่า พอลิเมอร์ 2 ชนิด ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ โดยการ Compound เป็นการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มเนื่องจาก การกระจายตัวที่ดีของ LDPE บนวิภาคของแป้ง ตลอดจนการกระจายบนผิวหน้าระหว่างพอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันได้ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสสูงสุดได้จากอัตราส่วนของแป้งต่อ LDPE ที่ 90:10 การเพิ่มปริมาณ LDPE มากกว่า 10 % ทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง

S.Park และคณะ [17] จากงานวิจัยเป็นการศึกษาการเติมไคโตซาน แลคเตส (Chitosan lactate) ลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยใช้ความเข้มข้นของไคโตซานที่เติมลงไป เท่ากับ 0% 0.3% 0.7% 1.4% และ 2.1% จากนั้นนำมาทดสอบการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ 3 ตัว ได้แก่ *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* และ *Salmonella enteritidis* นำแผ่นฟิล์มที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการรักษาประสิทธิภาพของเนื้อแดง ให้มีสีแดงที่ยาวนาน และขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าไคโตซานที่ถูกปล่อยออกมาจาก LDPE สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ทั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้ โดยการยับยั้งการเจริญของฟิล์มเกิดขึ้นเมื่อรวมตัวกันของไคโตซานสูงกว่า 1.4% ผลของการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen permeability) พบว่าไม่ส่งกระทบต่อการรวมตัวของไคโตซานกับ LDPE แต่ การซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้น สมบัติการยึดตัวของฟิล์มได้รับผลกระทบมากขึ้น โดยการเพิ่มของไคโตซานมากกว่าความต้านทานแรงดึง

เมื่อนำไคโตซานไปประยุกต์เป็นบรรจุภัณฑ์ของเนื้อแดงสไลด์เพื่อรักษาสีแดงของเนื้อไว้ พบว่าความเข้มข้นของไคโตซานไม่มีผลต่อการรักษาความแดง เนื่องจากองค์ประกอบในเนื้อสามารถต่อต้านไคโตซานทำให้ปลดความเข้มข้นของไคโตซาน หรือเพราะความจุจำเพาะของแบคทีเรียมีมากเกินไปเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไคโตซาน แผ่นฟิล์มที่มีไคโตซาน 8% สามารถเก็บรักษาความแดงของเนื้อได้ถึง 5 วัน

*** D.P. The และคณะ [18]** งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอันตรกิริยาของพอลิเมอร์ชีวภาพที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของฟิล์มบริโกลได้จากการผสมผงวุ้น แป้งมันสำปะหลัง และ Arabinoxylan ฟิล์มบริโกลได้ที่ได้จากการรวมกันของผงวุ้น (AG) แป้งมันสำปะหลัง (CAS) และ Arabinoxylan (AX) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) การต้านการซึมผ่านความชื้น และสมบัติเชิงกล จากการทดลองพบว่า ฟิล์มปรากฏเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นถึงการแยกวิภาคและการกระจายตัว ในโครงสร้างของฟิล์มผสม AG-CAS และ AG-AX ในขณะที่โครงสร้างของฟิล์มผสม CAS-AX ปรากฏเป็นเนื้อ

เดียวกัน ในกรณีที่ความชื้นสูง (84% และ 99% RH) การรวมตัวกันของทั้ง AG และ CAS หรือการเติม AX ลงใน CAS สามารถปรับปรุงสมบัติการต้านการซึมผ่านความชื้นของฟิล์ม ได้ยกเว้นที่ RH ต่ำ (57%) ในทางตรงกันข้ามการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP) ของฟิล์ม AG ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อ AX ถูกใช้เป็นสารตัวเติม (Additive) ในทางกลับกัน การผสม AG กับ CAS เพิ่มความสามารถทำให้เปื่อยขึ้นของพื้นผิวของฟิล์ม AG ได้ แต่ไม่เกิดขึ้นในฟิล์ม CAS การเติม AG ลงไปใน CAS ทำให้การดึงยืด (Elongation) และความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ของฟิล์มที่มี CAS ดีขึ้น สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่มี AG เกิดการสลายตัวเมื่อเติม CAS หรือ AX ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่า AG สามารถให้เมทริกซ์ที่ยึดติดดีมาก ซึ่งมีส่วนช่วยในการเพิ่มสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่มีพอลิแซคคาไรด์อื่นๆ

S. Garg และ A.K. Jana [19] งานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาผลของการปรับปรุงแป้งข้าวโพดที่เชื่อมโยงโดยโซอีพิคโลโรไฮดริน และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ แล้วมาผสมกับ LDPE จากผลของ X-ray diffraction ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของความเป็นผลึกของแป้งดิบ (Native starch) และแป้งที่เชื่อมโยง พบว่าแป้งทั้งสองให้ผลที่เหมือนกัน คือ มีลักษณะเป็นกิ่งผลึก วิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มทำโดยผสมแป้งข้าวโพด แป้งเชื่อมโยงหรือแป้งที่ปรับปรุงโดยใช้กลีเซอรอลใน LDPE นำไปขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการเป่าขึ้นรูป (Blown-Film Extrusion) จากนั้นนำมาศึกษาสมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น ความแข็งแรงดึง การดึงยืด Melt flow index และ Burst strength พบว่าพอลิเมอร์ที่ผสมกับแป้งดิบในปริมาณ 7.5% มีค่าความแข็งแรงดึง การดึงยืด Melt flow index ที่ลดลง แต่ค่า Burst strength เพิ่มขึ้น ส่วนแป้งที่มีการเชื่อมโยงมีค่าความแข็งแรงดึง การดึงยืด Melt flow index ที่สูงกว่าแป้งดิบ เนื่องจากแป้งที่เชื่อมโยงโดยโซอีพิคโลโรไฮดรินไปลดความสามารถในการละลายน้ำ ความชอบน้ำ และความหนืดของแป้ง แต่ค่า Burst strength มีค่าต่ำกว่า จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าแผ่นฟิล์มที่มีแป้งเชื่อมโยงเป็นองค์ประกอบเรียกว่าแผ่นฟิล์มที่มีแป้งดิบ เนื่องจากในแป้งเชื่อมโยงมีกลีเซอรอลอยู่ซึ่งกลีเซอรอลช่วยให้การผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้นและเกิดความสม่ำเสมอของแผ่นฟิล์ม

Y. Wu และคณะ [20] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของผงวุ้นต่อโครงสร้างจุลภาคและสมรรถภาพของฟิล์มแป้งมันฝรั่ง ผงวุ้นสามารถเกิดเป็นเจลดายสามมิติในการรวมตัวกัน ซึ่งสามารถทำให้ฟิล์มหนาแน่นเมื่อความชื้นกลายเป็นไอ ดังนั้นผงวุ้นจึงถูกเลือกเพื่อเติมลงในฟิล์มแป้งมันฝรั่ง ฟิล์มที่ทำจากผงวุ้นและแป้งมันฝรั่งถูกเตรียมขึ้นและนำมาทดสอบความเป็นไปได้ที่จะ

วุ้นเข้ากันได้ และยังคงมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งและผงวุ้นอยู่ Scanning electron microscopy (SEM) ของฟิล์มคอมโพสิตที่มีปริมาณผงวุ้น 15% แสดงโครงสร้างที่รวมกันแน่นและเป็นเนื้อเดียวกัน X-ray diffraction (XRD) ได้แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มคอมโพสิตเป็นอสัณฐานที่ Relative humidity (RH) 50% การเพิ่มผงวุ้นสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึง จาก 5.33 เป็น 11.76 MPa ที่ความชื้นสถานะแวดล้อมสูงๆ (75% RH) การเติมผงวุ้นสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงด้วย จาก 0.84 เป็น 3.36 MPa และการเติมผงวุ้น 5% เพิ่มการดึงยืดจาก 32.5% เป็น 58.33% ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability, WVP) ลดลงจาก 6.29 เป็น 4.60×10^{-10} gPa⁻¹s⁻¹m⁻¹ ในการสรุปการเพิ่มผงวุ้นทำให้โครงสร้างระดับจุลภาคของฟิล์มแป้งดีขึ้น สมบัติเชิงกล และ WVP ที่ความชื้นสถานะแวดล้อมสูงๆ ดีขึ้น การนำไปใช้ของฟิล์มแป้งมันฝรั่งได้ขยายกว้างในการทำฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แป้งท้าวยายม่อม (Arrowroot starch) บริษัท ชัยเจริญ
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรดฉีด (DNDV-0405 R) จากบริษัท
ดาวเคมีคอลจำกัด

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ผลจาก 2A15120126	ค่าที่ได้		วิธีการทดสอบ
			ต่ำสุด	สูงสุด	
ความหนาแน่น (Density)	g / cm ³	0.914	0.913	0.916	JIS K 7112
อัตราการไหล (Melt mass flow rate)	dg / min	32	27	37	JIS K 7210

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3. ผงวุ้น (อย่างแข็ง A 2 สี) ตรานางเงือก
4. ไคโตซานจากบริษัทโบนาฟิเคสมาร์เก็ตติ้ง

ตารางที่ 3.2 สมบัติของไคโตซาน

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้
ความหนืด (Viscosity)	cPs	500-1000
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)	-	500,000-1,000,000
Deacetylation	Min	95%

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

5. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) จากบริษัท เอส.เอ็ม.เคมีคอลซัพพลาย จำกัด
6. มาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE)
สมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน แสดงในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สมบัติของมาเลอิกแอนไฮดรไรด์-กราฟท์-พอลิเอทิลีน เกรด การค้า MB 100D จาก บริษัท Dupont Packaging & Industrial Polymer

สมบัติทั่วไป	หน่วย	ค่าที่ได้	วิธีการทดสอบ
อัตราการไหล (Melt flow rate)	g / 10 min	2	ASTM D1238 - ISO1133
ความหนาแน่น (Density)	g / cm ³	0.96	ASTM D 1505
จุดหลอมเหลว (Melting point)	°C	134	ASTM D3418 - ISO3146

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

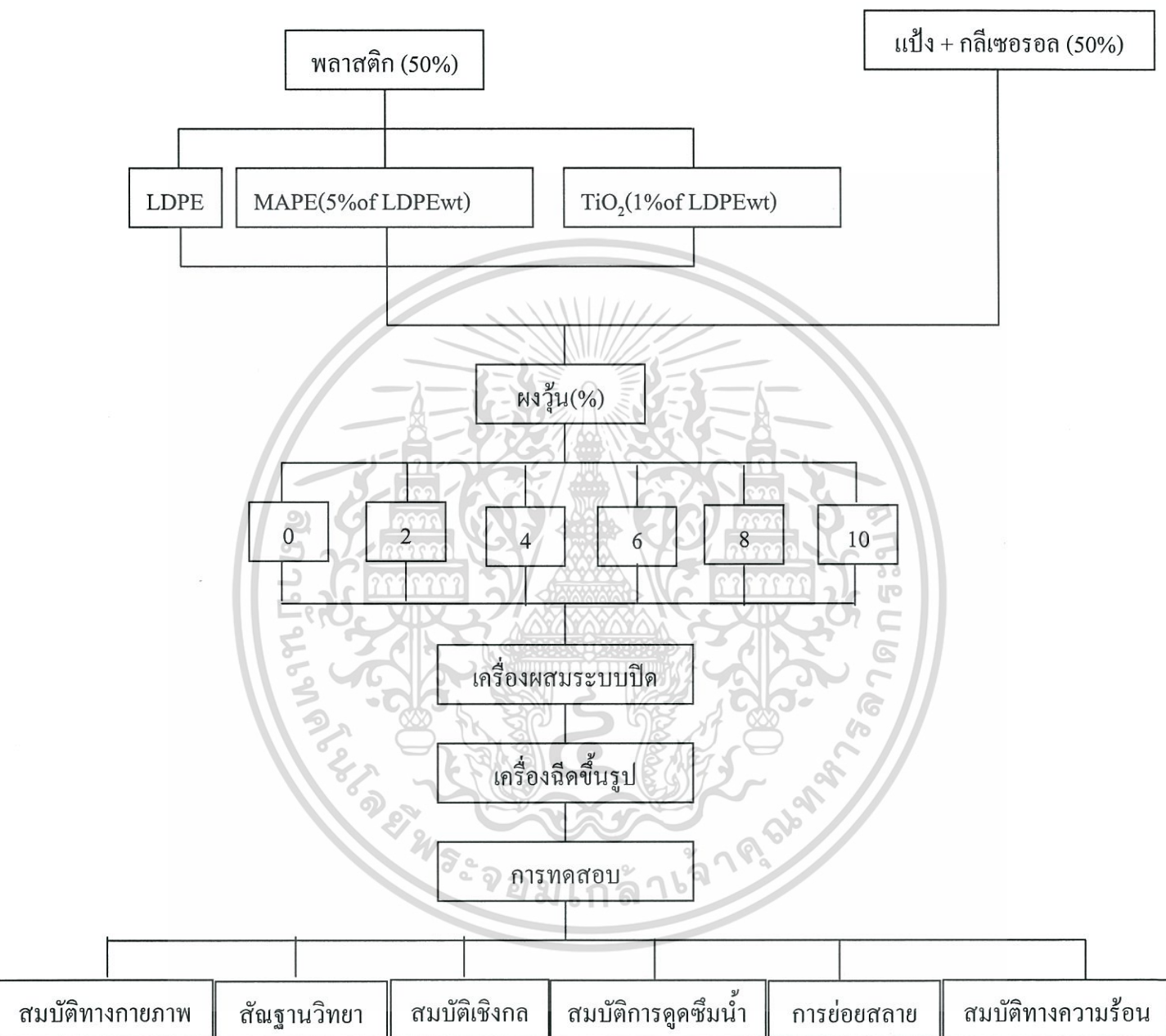
7. กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer ,OHG duis Buge รุ่น D-47055 Duisburg)
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding, comos รุ่น TTI-220/80 HITCH)
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM,LEO รุ่น 1450 VP)
4. เครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer , Perkin รุ่น Pyris 1 TGA)
5. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine,UTM ; Lab Tech Engineering รุ่น LRM 110)
6. อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Infrared spectrometer, Perkin elmer;รุ่น Spectrum GX)
7. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer Hardness แบบ Shore D ; Yasuda รุ่น 7689)
8. Melt Flow Index (MFI, cest รุ่น Torino-Italy)
9. เครื่องชั่งแบบละเอียด (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง)
10. ถูมือกันความร้อน
11. เกรียง

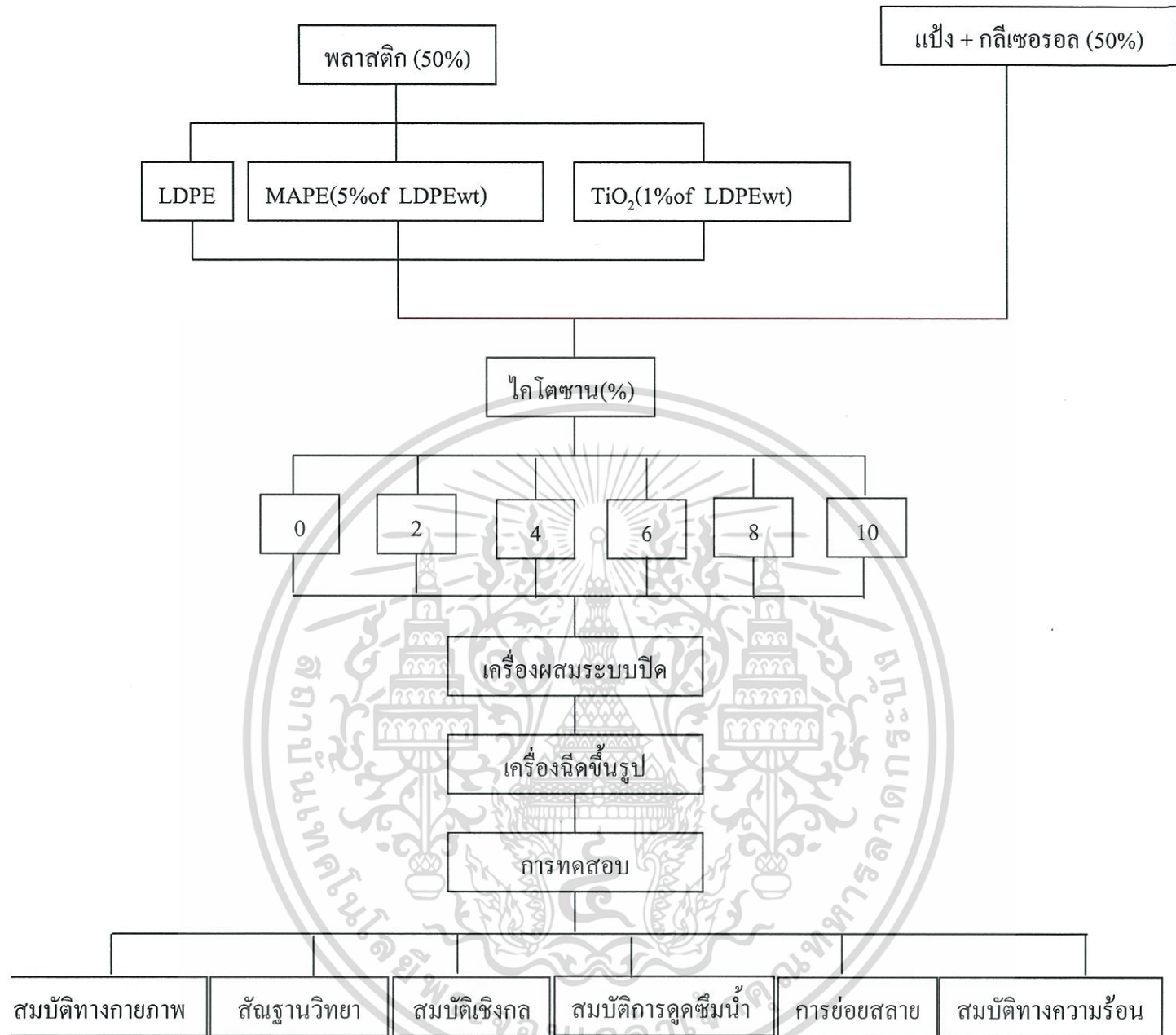
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัยในโครงการพิเศษนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 (ต่อ) แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมพลาสติก

3.3.1.1 ชั่งพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) 50 กรัม ไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 กรัม และ MAPE 2.5 กรัม ให้ได้ปริมาณรวมทั้งหมดประมาณ 300-400 กรัม

3.3.1.2 นำส่วนผสมที่ชั่งมาทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) โดยตั้งอุณหภูมิในการผสมไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3.1.3 นำไปเข้าเครื่องบด

3.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเทอร์โมพลาสติก

สตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้ผงวุ้นและไคโตซาน

3.3.2.1 นำแป้งมาหมักกับกลีเซอรอลเพื่อให้กลีเซอรอลซึมลงไปในเม็ดแป้ง เป็นเวลา 1 คืน โดยใช้ปริมาณแป้ง 70 และ กลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.2 ชั่งสารตามตารางที่ 3.4 ให้ได้ปริมาณรวมทั้งหมดประมาณ 300-400 กรัม

3.3.2.3 นำส่วนผสมที่ชั่งมาทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) โดยตั้งอุณหภูมิในการผสมไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3.2.4 นำไปเข้าเครื่องบด

3.3.2.5 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.2 แต่เปลี่ยนจากผงวุ้นเป็นไคโตซานในปริมาณ 0,2,4,6,8, และ 10 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเทอร์โม-พลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยผงวุ้น

สูตร	พลาสติก (กรัม)	แป้ง (กรัม)	ผงวุ้น (กรัม)	ผงวุ้น (%)
1	50	50	-	0
2	50	48	2	2
3	50	46	4	4
4	50	44	6	6
5	50	42	8	8
6	50	40	10	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเทอร์โม-พลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซาน

สูตร	พลาสติก (กรัม)	แป้ง (กรัม)	ไคโตซาน (กรัม)	ไคโตซาน (%)
1	50	50	-	0
2	50	48	2	2
3	50	46	4	4
4	50	44	6	6
5	50	42	8	8
6	50	40	10	10

3.3.3 การขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตา์ช โดยการฉีดขึ้นรูป

- 3.3.3.1 ตั้งอุณหภูมิฉีดขึ้นรูปโดยใช้อุณหภูมิที่บาร์เรล (Barrel) 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle) 170 องศาเซลเซียส
- 3.3.3.2 เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วเทพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ลงในส่วนป้อนสาร (Hopper) ของเครื่อง
- 3.3.3.3 ความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป คือ 30 หน่วย และใช้เวลาในการหล่อเย็น 200 หน่วยสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 3.6
- 3.3.3.4 จะได้ชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลและรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามแม่พิมพ์ นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นๆต่อไป

ตารางที่ 3.6 สถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

Description	Unit	Value
PRESSURE		
1 st stage pressure	Bar.	30
2 nd stage pressure	Bar.	30
3 rd stage pressure	Bar.	30
FLOW SPEED		
1 st stage injection speed	Rpm	40
2 nd stage injection speed	Rpm	40
3 rd stage injection speed	Rpm	40
TIME		
1 st stage injection time	Sec.	30
2 nd stage injection time	Sec.	30
3 rd stage injection time	Sec.	30
Melting time	Sec.	500
Cooling time	Sec.	200
TEMPERATURE		
Zone 1	°C	150
Zone 2	°C	160
Zone 3	°C	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างไปให้ความร้อนจนอ่อนตัวจนกระทั่งเป็นฟิล์มแผ่นบาง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10^4 kg/cm^2 นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปวิเคราะห์จะได้กราฟสเปกตรัมของสารตัวอย่าง

3.4.2 การวัดสี

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan – XE plus ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์สีใน Hunter และสเกล CIE ความแตกต่างของสี ใช้สำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างของชิ้นงาน สีที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากส่วนประกอบที่แตกต่างกันลักษณะ คือ ความสว่างที่แตกต่างกัน (ΔL) ความแตกต่างของสีแดง-เขียว (Δa) และความแตกต่างของสีเหลือง-น้ำเงิน (Δb)

ในการทดสอบนี้นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ โดยวัดค่าที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 10 จุดในแต่ละตัวอย่างผลที่ได้ถูกรายงานเป็นค่าเฉลี่ยทั้งหมดของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้แต่ละชนิด

โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

L^* = The lightness factor (Value)

ค่า L^* แสดงความสว่าง

- วัตถุสีขาวเมื่อมีค่าเท่ากับ 100

- วัตถุสีดำเมื่อมีค่าเท่ากับ 0

a^*, b^* = The Chromaticity coordinates (Hue, Chroma)

ค่า a^* - มีค่าบวก หมายถึง วัตถุสีแดง

- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุสีเขียว

ค่า b^* - มีค่าบวก หมายถึง วัตถุสีเหลือง

- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุสีน้ำเงิน

ทั้ง a^* และ b^* หากมีค่าเป็นศูนย์ หมายถึง วัตถุสีขาว

ค่า Chroma - มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุสีซีดจาง(เทา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

คำนวณหาค่า Chroma และ Hue angle จากสมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Chroma} &= (a^*^2 + b^*^2)^{1/2} \\ \text{Hue angle} &= \arctangent(b^*/a^*) \quad \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* \geq 0 \\ &= \arctangent(b^*/a^*) + 180^\circ \quad \text{เมื่อ } a^* < 0 \\ &= \arctangent(b^*/a^*) + 360^\circ \quad \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* < 0 \end{aligned}$$

ค่า Hue angle แสดงช่วงสีของวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา คือ

0-45 องศา	แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง	180-225 องศา	แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน
45-90 องศา	แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง	225-270 องศา	แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน
90-135 องศา	แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว	270-315 องศา	แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง
135-180 องศา	แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว	315-360 องศา	แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

3.4.3 การทดสอบหาปริมาณดูดซึมน้ำ

ทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D 570 โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน โดยนำชิ้นงานขึ้นมาบันทึกน้ำหนักทุกๆ 2 วัน แล้วคำนวณหาปริมาณการดูดซึมน้ำได้ดังนี้

$$M_t (\%) = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซ็นการดูดซึมน้ำ

W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่

W_w คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังแช่

3.4.4 การทดสอบสัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาหักหลังจากแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างเคลือบด้วยทอง และนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยทำการศึกษาถึงพื้นผิวและภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ เพื่อดูการกระจายตัวของผงวุ้นและโคโคซานในพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
แรงดึง (Load)	ASTM D 638	N
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young's modulus, E)	ASTM D 638	MPa
การดึงยืด (Elongation)	ASTM D 638	mm
ความเครียด (%Strain at break)	ASTM D 638	%

3.4.5.1 แรงดึง ความแข็งแรงดึง มอดุลัส การดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP ซินงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 5 ชิ้นงานต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสถานะของชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60% ทดสอบตามสถานะดังนี้

Test speed : 100 mm/min

Gauge length : 40 mm

Load cell : 5 kN

ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) = F/A

มอดุลัส (Young's modulus, E) = $(F/A)/[(L-L_0)/L_0]$

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%Strain at max load) = $[(L-L_0)/L_0] * 100$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดัดขึ้นงานตัวอย่าง (mm)

Lo คือ ระยะที่ขึ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

3.4.5.2 ความแข็งกด (Hardness)

วัดความแข็งของขึ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D 2440 ด้วย Durometer Hardness ชนิด Shore D โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความหนาอย่างน้อย $\frac{1}{4}$ นิ้ว หรือ 0.25 นิ้ว ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงกดตัวอย่างละ 10 จุด สเกลสำหรับอ่านค่าความแข็งกด อยู่ในช่วง 0-100 โดยค่าความแข็งกด 0 คือ ความแข็งกดของของเหลว และค่าความแข็งกด 100 คือ ความแข็งของวัสดุที่แข็งมากไม่ยุบตัว เช่น กระจก

3.4.6 การทดสอบดัชนีการไหล

ดัชนีการไหล (Melt flow index ; MFI) ดำเนินการทดลองตามการทดสอบของมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1238-98 อุณหภูมิที่กำหนดเป็น 190 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่ใช้กด คือ 2.16 กิโลกรัม และเวลาที่ใช้เป็นมาตรฐาน 10 นาที โดยใช้เครื่อง Melt flow rate tester

3.4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Onset degradation temperature) ของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Therogravimetric analyzer, TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 10-12 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) ที่ภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิในช่วง 50 - 600 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อได้ TGA เทอร์โมแกรมแล้วจึงนำมาทำอนุพันธ์ของเทอร์โมแกรม (Derivative Thermogram) ได้เป็น DTG

3.4.8 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดขึ้นงานพอลิเมอร์ผสมเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20×50 มิลลิเมตร ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 30-40 % การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่ลดลงในแต่ละวันเป็นระยะเวลา 77 วัน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งท้าวยายม่อม (TPAS) และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ทำการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชโดยใช้ผงวุ้น (Agar) และไคโตซาน (Chitosan) ในปริมาณที่แตกต่างกัน จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ การศึกษาหมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา สมบัติการดูดซึมน้ำ และการย่อยสลาย

จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่เตรียมได้ ให้ผลดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพ

4.1.1 การวัดสี

การวัดสีทำได้โดยการใช้เครื่อง Spectrophotometer ใช้ชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยผงวุ้นและไคโตซาน ในปริมาณต่างๆ ที่เตรียมได้ และวัดค่า L^* , a^* , b^* , C^* และ H° ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

พอลิเมอร์ผสม	L^*	a^*	b^*	C^*	H°
TPAS/LDPE	81.3	1.2	4.3	4.4	74.8
TPAS/LDPE + Agar 4%	71.5	2.8	11.9	12.2	76.9
TPAS/LDPE + Agar 10%	73.0	3.3	14.3	14.6	76.9
TPAS/LDPE + Chitosan 4%	75.9	3.6	9.9	10.6	70.3
TPAS/LDPE + Chitosan 10%	72.2	4.3	12.3	13.0	70.6

• ค่าความสว่าง (L^*)

พอลิเมอร์ผสมของ TPAS/LDPE มีความสว่างมากที่สุด รองลงมา คือ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%, Agar 10%, Chitosan 10% และ Agar 4% ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่มีการเติมผงวุ้นและไคโตซาน มีค่าความสว่างลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ค่า a***

พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% มีสีออกแดงมากที่สุด รองลงมา คือ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%, Agar 10%, Agar 4% และ TPAS/LDPE ซึ่งมีสีอ่อนลงไปที่ทางสีเขียว

- **ค่า b***

พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10% มีสีเหลืองมากที่สุด รองลงมา คือ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%, Agar 4% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน Chitosan 4% และพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ตามลำดับซึ่งพอลิเมอร์ผสม LDPE/TPAS มีสีเหลืองน้อยที่สุด

- **ค่า C***

พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10% มีสีเข้มมากที่สุด รองลงมา คือ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%, Agar 4%, Chitosan 10% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE มีสีซีดจางมากที่สุด

- **ค่า H°**

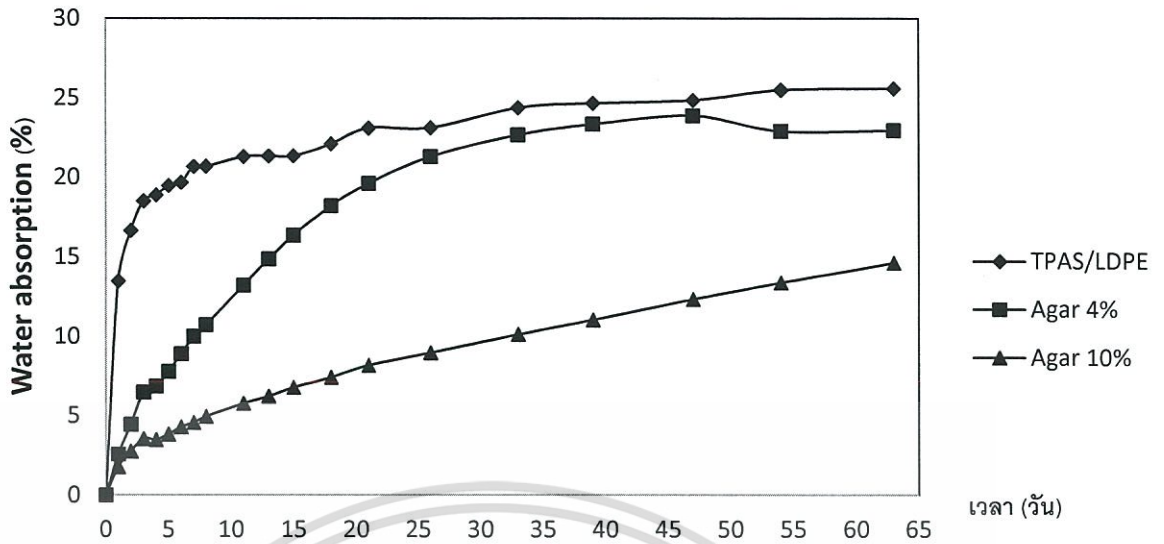
พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4%, Agar 10% และ Chitosan 4%, Chitosan 10% มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE มีค่าน้อยที่สุด แต่ทุกสูตรมีตำแหน่งของสีใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่า Hue angle ที่แสดงถึงสีส้มแดงถึงสีเหลือง

จากผลการวัดสีสามารถสรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่มีการเติมผงวุ้นและไคโตซาน ทำให้มีค่าความสว่างลดลงและมีสีออกแดงมากขึ้น แต่ยังคงออกสีเหลืองและมีสีเข้มหรือความสดใสใกล้เคียงกันกับพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ส่วนค่า Hue angle เมื่อเติมไคโตซาน มีค่าลดลงซึ่งแสดงถึงสีส้มแดงมากขึ้น เมื่อเติมผงวุ้นมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงความเป็นสีเหลืองมากขึ้น แต่ยังคงมีตำแหน่งของสีใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ซึ่งมีค่า Hue angle ที่แสดงถึงสีส้มแดงถึงสีเหลือง

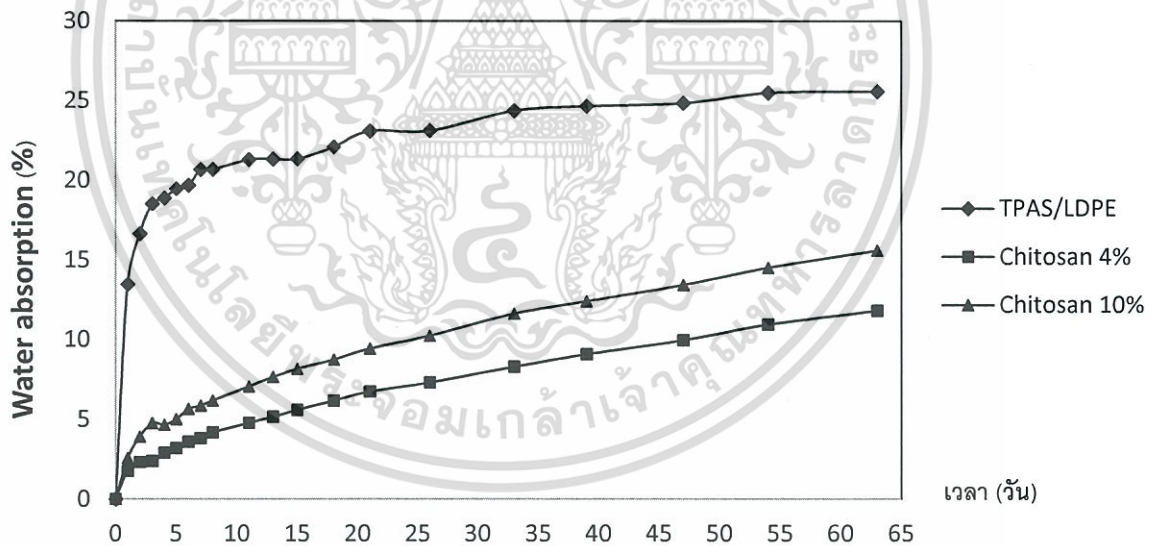
4.1.2 การดูดซึมน้ำ

การศึกษาการดูดซึมน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้จากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยผงวุ้นและไคโตซานในปริมาณต่างๆ โดยการแช่น้ำ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยผงวุ้นในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยไคโตซานในปริมาณ 4% และ 10%

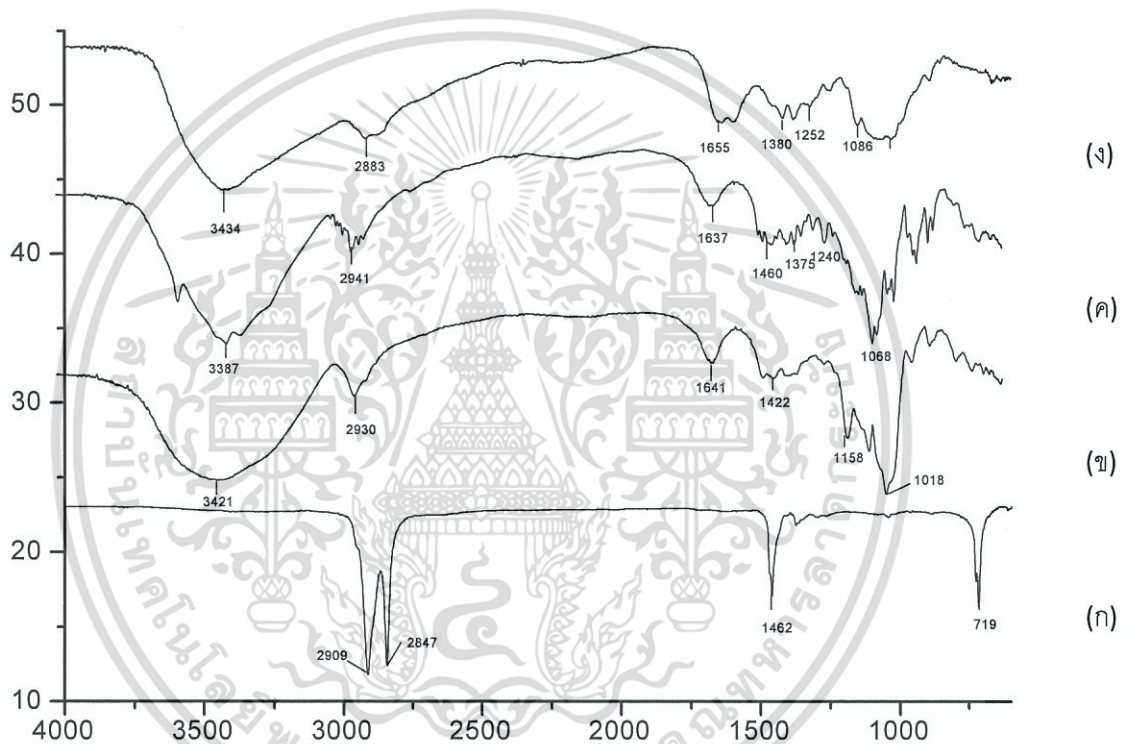
จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ (รูปที่ 4.1) พบว่า ในช่วง 7 วันแรก พอลิเมอร์ผสมของ TPAS/LDPE สามารถดูดซึมน้ำได้รวดเร็วที่สุด เนื่องจากมีปริมาณแป้งถึง 50% มีหมู่ไฮดรอกซิล-เอกซารีนเป็นเอกซารีนที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิดจำนวนมาก จึงดูดซึมน้ำได้มาก หลังจากนั้นชิ้นงานมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ช้าลง สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4% และ Agar 10% พบว่า สามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE

จากงานวิจัยพบว่า Agar มีความสามารถในการดูดซึมน้ำและเมื่อเพิ่มปริมาณ Agar ทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น [20] แต่จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4% กับ Agar 10% พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4% มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากกว่าเนื่องจาก ผลของปริมาณรูพรุนมากกว่า (รูปที่ 4.6 (ง) และ (ฉ)) แต่ในช่วงหลังจาก 45 วัน พบว่า การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มคงที่ แต่พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10% พบว่า ยังคงดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% และ 10% พบว่า ดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าพอลิเมอร์ผสมของ TPAS/LDPE เนื่องจาก Chitosan มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าแป้ง โดยแป้งมีอัตราการดูดน้ำที่ 5 g/100 ml ที่อุณหภูมิ 20 °C [29] เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% กับ Chitosan 10% พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% มีความสามารถในการดูดซึมน้ำ มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณ Chitosan ทำให้มีหมู่ NH_3^+ มากขึ้น ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ (Hydrophilicity) จึงสามารถดูดซึมน้ำเข้ามาในโครงสร้างได้มาก [28]

4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทำได้โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยใช้แป้งท้าวยายม่อม ผงวุ้น ไคโตซาน เทอร์โมพลาสติกสตาร์จากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับผงวุ้น และเทอร์โมพลาสติกสตาร์จากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับไคโตซาน



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) LDPE (ข) แป้งท้าวยายม่อม (ค) ผงวุ้น และ(ง) ไคโตซาน

จากรูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของสารตัวอย่างชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม พบว่า สเปกตรัมของ LDPE (รูปที่ 4.2 (ก)) พบพีคที่ตำแหน่ง 2909 และ 2847 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 พบพีคที่ตำแหน่ง 1462 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ CH_3 bending พบพีคที่ตำแหน่ง 719 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของ CH_2 [16]

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของแป้งท้าวยายม่อม (รูปที่ 4.3 (ข)) พบพีคที่ตำแหน่ง 3421 cm^{-1} เป็นการลักษณะการสั่นของ O-H stretching แถบพีคที่ตำแหน่ง 2930 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ

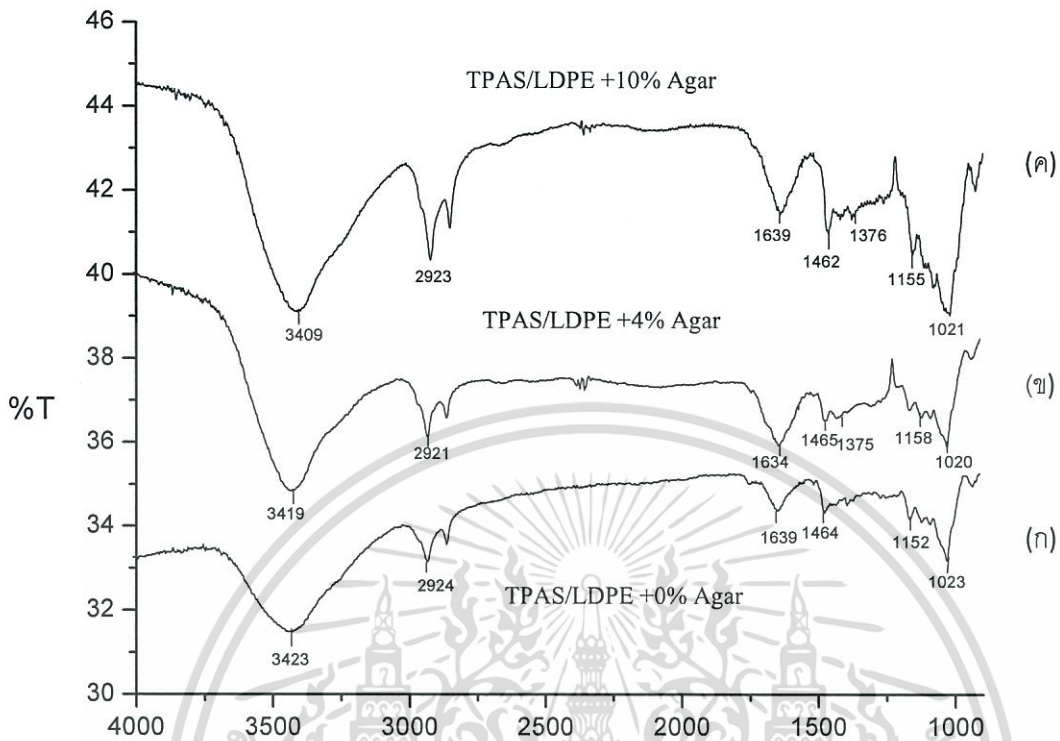
เอกสาร C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของแป้ง แถบพีคที่ 1641 cm^{-1} เป็นลักษณะ OH ของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลน้ำที่อยู่ในแป้งแถบพิกที่ 1422 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของแป้ง แถบพิกที่ 1158 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O bending ของแป้ง [16]

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของผงวุ้น (รูปที่ 4.3 (ค)) พบพิกที่ตำแหน่ง 3387 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นของ O-H stretching แถบพิกที่ตำแหน่ง 2941 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของแป้งแถบพิกที่ 1637 cm^{-1} เป็นลักษณะ OH ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในผงวุ้น แถบพิกที่ 1460 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending พบพิกในช่วง $1240\text{-}1375\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นของ C-O stretching ของ 3, 6-anhydro-galactose แถบพิกที่ 1068 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O bending [20]

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของโคโคซาน (รูปที่ 4.3 (ง)) พบพิกที่ตำแหน่ง 3434 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นของ O-H stretching แถบพิกที่ตำแหน่ง 2883 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 แถบพิกที่ 1655 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ N-H bending พบพิกในช่วง 1380 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นของ C-O stretching แถบพิกที่ 1086 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O bending แถบพิกที่ 1252 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-N stretching [21]

สำหรับความแตกต่างระหว่างแป้งท้าวยายม่อมและผงวุ้น พบว่า พิกที่ตำแหน่ง C-O stretching ของ 3, 6-anhydro-galactose (1375 cm^{-1}) ปรากฏขึ้นมาซึ่งไม่พบพิกนี้ที่ตำแหน่งนี้ในแป้งท้าวยายม่อม และที่ตำแหน่งการสั่นของ O-H stretching ของแป้งท้าวยายม่อมมีลักษณะกว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผงวุ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งท้าวยายม่อมกับโคโคซาน พบว่า พิกที่ตำแหน่ง C-N stretching (1252 cm^{-1}) ปรากฏขึ้นมาซึ่งไม่พบพิกที่ตำแหน่งนี้ในแป้งท้าวยายม่อม



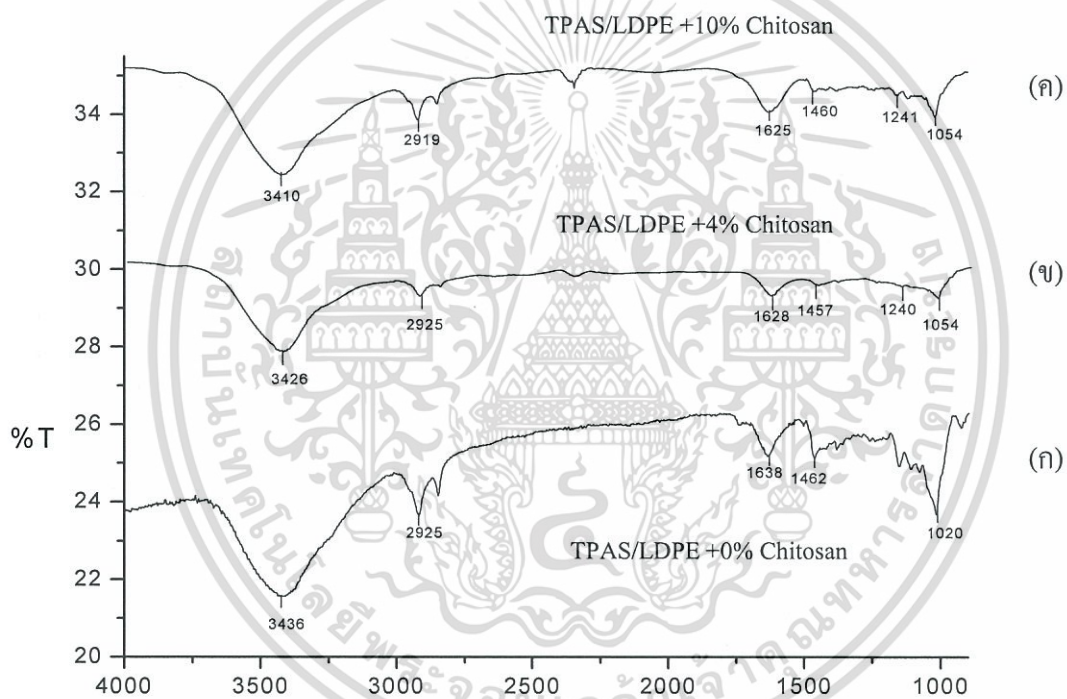
รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย agar ในปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 4% และ (ค) 10%

จากรูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของรอยละการส่งผ่านของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar ในปริมาณต่างๆ เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของ TPAS/LDPE (รูปที่ 4.4 (ก)) สเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย 4% Agar (รูปที่ 4.4 (ข)) และสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย 10% Agar (รูปที่ 4.4 (ค)) พบพีกในช่วง $3409 - 3423 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นของ O-H stretching แถบพีกในช่วง $2921 - 2924 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของ LDPE แถบพีกในช่วง $1634 - 1639 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะ OH ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในแป้ง แถบพีกในช่วง $1462 - 1465 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของแป้ง แถบพีกในช่วง $1020 - 1023 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นของ C-O bending ของแป้ง แถบพีกในช่วง $1155 - 1158 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O stretching ของ 3, 6-anhydro-galactose ซึ่งพบในสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar สำหรับความแตกต่างนั้น พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ TPAS/LDPE กับสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย 4% Agar และ Agar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10% พบว่า สเปกตรัมช่วงตำแหน่งการสั่นของ O-H stretching มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปในตำแหน่งที่ลดลง แสดงว่า เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่

จากสเปกตรัมที่ได้พบว่า สเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย 4% Agar (รูปที่ 4.4 (ข)) พบพีคที่ตำแหน่ง 1375 cm^{-1} และสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย 10% Agar (รูปที่ 4.4 (ค)) พบพีคที่ตำแหน่ง 1376 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O stretching ของ 3, 6-anhydrogalactose โดยพีคในตำแหน่งนี้ไม่พบในสารตัวอย่างชนิดอื่น จากผลการวิเคราะห์ที่ยืนยันได้ว่า สเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย 4% Agar (รูปที่ 4.4 (ข)) และสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย 10% Agar (รูปที่ 4.4 (ค)) มีฟังก์ชันเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้าง



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan ในปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 4% และ (ค) 10%

จากรูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมของรอยละการส่งผ่านของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan ในปริมาณต่างๆ เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของ TPAS/LDPE (รูปที่ 4.5 (ก)) สเปกตรัมของ พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% (รูปที่ 4.5 (ข)) และสเปกตรัม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% (รูปที่ 4.5 (ค)) พบพีคในช่วง $3410 - 3436\text{ cm}^{-1}$ เป็น

เอกลักษณ์การสั่นของ O-H stretching แถบพีคในช่วง $2919 - 2925\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของ LDPE แถบพีกในช่วง $1625 - 1638 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะ OH ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในแป้ง แถบพีกในช่วง $1457 - 1462 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของแป้ง แถบพีกในช่วง $1013 - 1058 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นของ C-O bending แถบพีกในช่วง $1240 - 1241 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-N stretching ซึ่งจะพบในสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% และสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%

สำหรับความแตกต่างนั้น พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% และ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% พบว่าสเปกตรัมในช่วงตำแหน่งการสั่นของ OH-stretching มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปในตำแหน่งที่ลดลง แสดงว่ามีการเกิดพันธะไฮโดรเจนใหม่

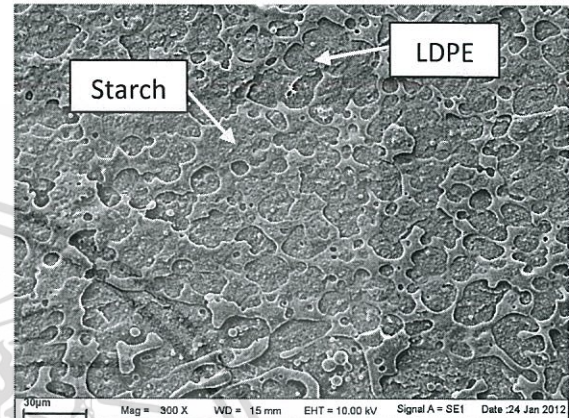
จากสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% (รูปที่ 4.5 (ค)) พบพีกที่ตำแหน่ง 1241 cm^{-1} และ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% (รูปที่ 4.5 (ข)) พบพีกที่ตำแหน่ง 1240 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ C-N stretching โดยพีกในตำแหน่งนี้ไม่พบในสารตัวอย่างชนิดอื่น จากผลการวิเคราะห์สามารถยืนยันได้ว่า สเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% (รูปที่ 4.5 (ข)) และสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% (รูปที่ 4.5 (ค)) มีไคโตซานเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้าง

4.3 การทดสอบพื้นฐานวิทยา

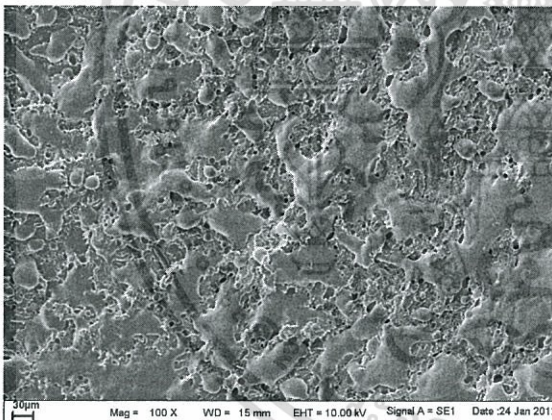
การศึกษาลักษณะวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซชนิดต่างๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อทำการศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



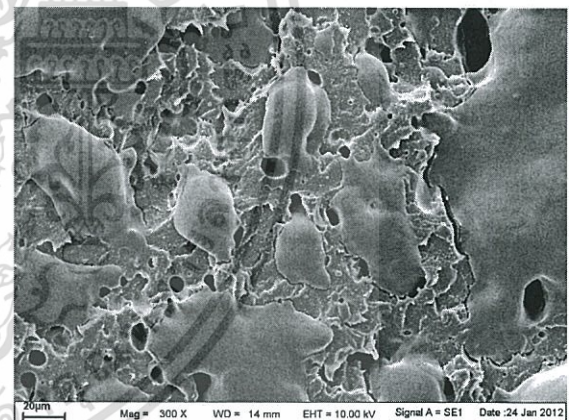
(ก) TPAS/LDPE, 100X



(ข) TPAS/LDPE, 300X

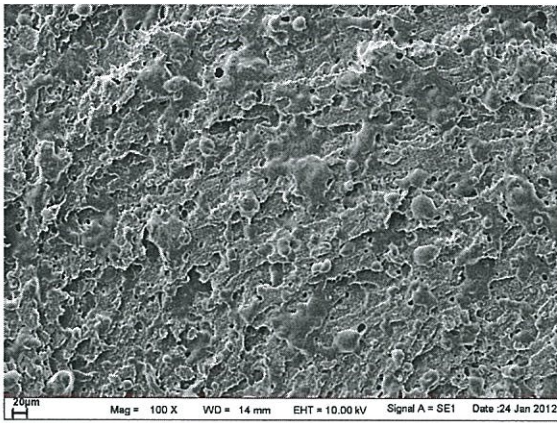


(ค) TPAS/LDPE+Agar 4%, 100X

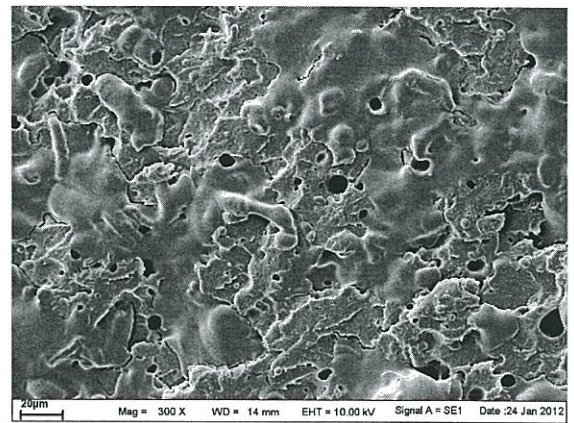


(ง) TPAS/LDPE+Agar 4%, 300X

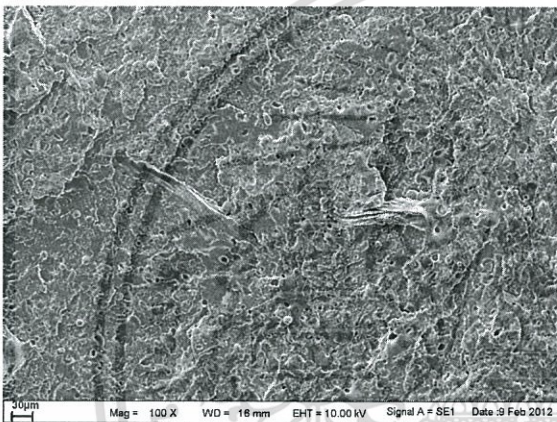
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



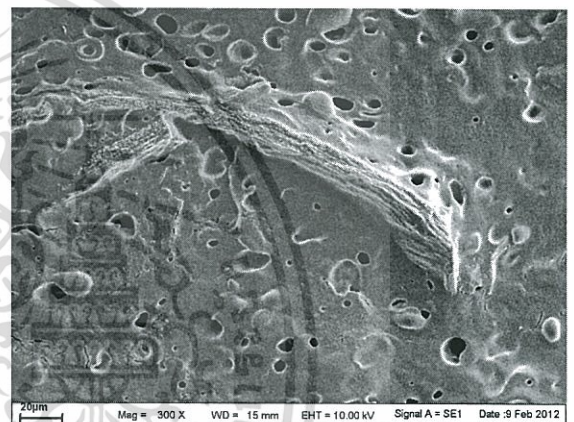
(จ) TPAS/LDPE+Agar 10%, 100X



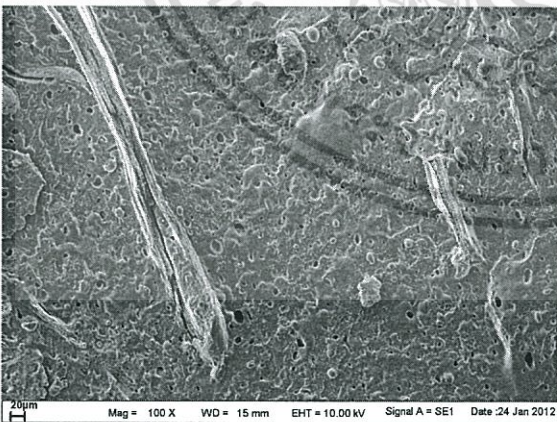
(ฉ) TPAS/LDPE+Agar 10%, 300X



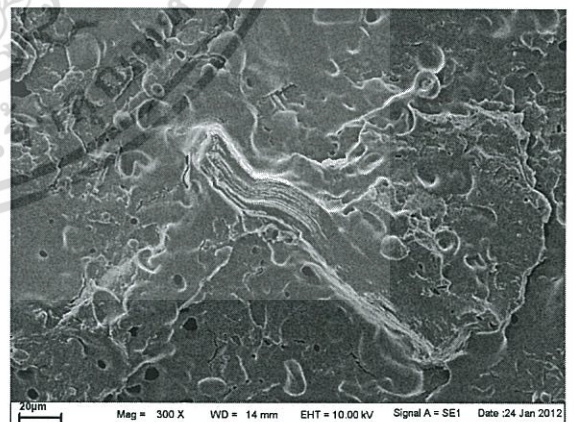
(ค) TPAS/LDPE+Chitosan 4%, 100X



(ช) TPAS/LDPE+Chitosan 4%, 300X



(ฅ) TPAS/LDPE+Chitosan 10%, 100X



(ฉ) TPAS/LDPE+Chitosan 10%, 300X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ได้จากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดยผงวุ้นและไคโตซานในปริมาณต่างๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 300 เท่า

จากรูปที่ 4.6 (ก)-(ง) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงสมบัติโดย Agar และ Chitosan ในปริมาณต่างๆ กัน ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า พบว่า พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อใช้กำลังขยายภาพ 300 เท่า สามารถมองเห็นการแยกวัฏภาคระหว่าง LDPE กับแป้ง โดยแป้งกระจายตัวอยู่บน LDPE (รูปที่ 4.6 (ก) และ (ข)) ในรูปที่ 4.6 (ค)-(ง) พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4% พบว่าพื้นผิวมีลักษณะจับกันเป็นแผ่นใหญ่มากขึ้นเมื่อเติมผงวุ้นลงไป ผงวุ้นสามารถเข้ากันได้ดีกับอนุภาคของเม็ดแป้ง แสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกับผงวุ้น เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกันระหว่างแป้งและผงวุ้น ส่วนรูปที่ 4.5 (จ)-(ฉ) พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10% พบว่าเมื่อใส่ผงวุ้นในปริมาณมากขึ้น พื้นผิวมีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่ซ้อนทับกันและเรียบขึ้น รูปที่ 4.6 (ซ)-(ฅ) พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4% เมื่อใส่ไคโตซานเข้าไป แล้วส่องดูภาคตัดขวาง พบลักษณะของไคโตซานที่เป็นเกล็ด ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับส่วนอื่นๆ ของชิ้นงาน รูปที่ 4.6 (ณ)-(ญ) แสดงถึงพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% เมื่อเพิ่มปริมาณของไคโตซาน พบว่า มีปริมาณเกล็ดของไคโตซานมากขึ้นและพบว่ามีลักษณะของแป้งเกาะอยู่บนพื้นผิวไคโตซานด้วย แสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกับไคโตซาน (Surface wetting) จากการเติมผงวุ้นในปริมาณต่างๆ แสดงให้เห็นถึงการเข้ากันได้ระหว่างแป้งและผงวุ้น แต่แยกกับวัฏภาคของ LDPE ส่วนไคโตซานมีลักษณะเป็นเกล็ดและกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของแป้งและ LDPE

4.4 สมบัติเชิงกล

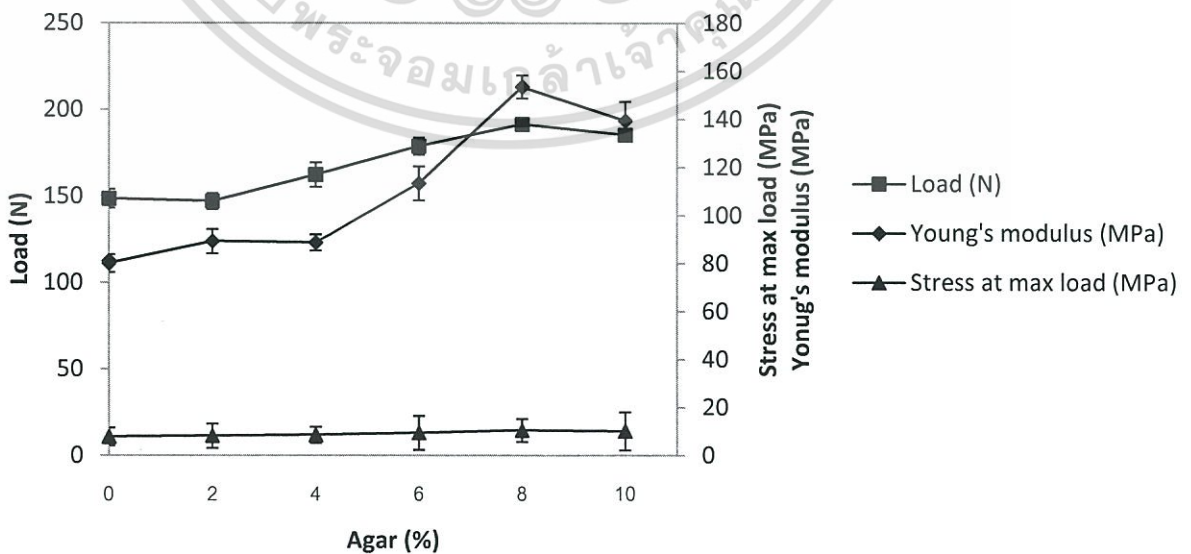
สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ แรงดึง ความแข็งแรงดึง การดึงยืด เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด โมดูลัส และความแข็งกด ซึ่งให้ผลการทดสอบดังนี้

4.4.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติด้วยผงวุ้น

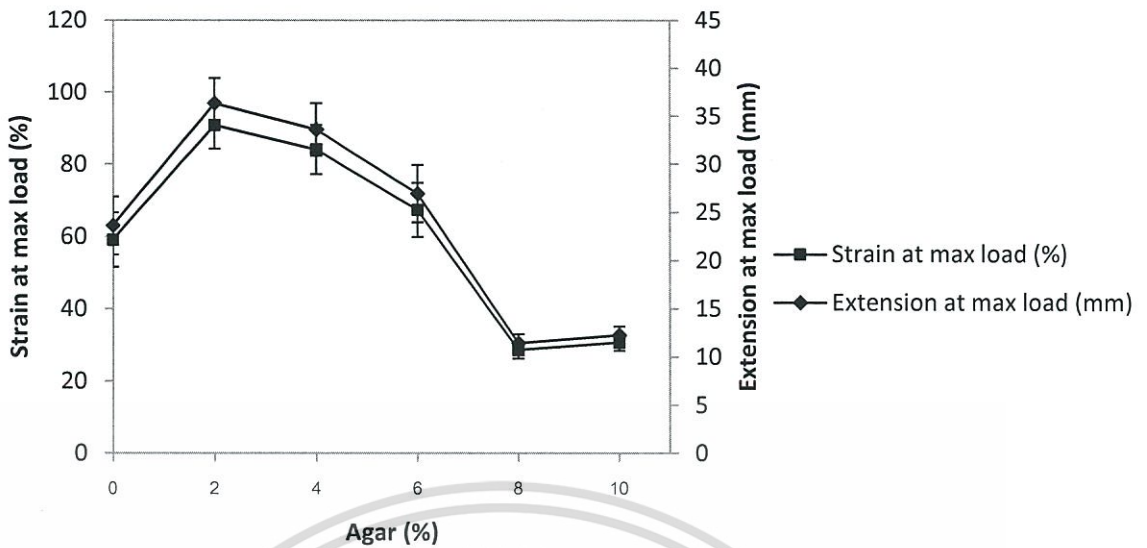
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยผงวุ้นในปริมาณต่างๆ โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

จากรูปที่ 4.7 (ก)-(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง ความแข็งแรงดึง การดึงยืดเปอร์เซ็นต์การดึงยืด และมอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar ที่ปริมาณต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 8% มีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมากที่สุด เนื่องจาก Agar สามารถเกิดลักษณะที่เป็นเจลได้ [8] ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะแข็ง โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ Agar ทำให้ชิ้นงานมีโครงสร้างแผ่ค้ำตัวกันแน่นขึ้น เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งกับ Agar มากขึ้น พิจารณาได้จาก FT-IR (รูปที่ 4.4) และจากหลักฐานวิทยา พบว่า แป้งและ Agar มีความเข้ากันได้ (รูปที่ 4.6 (ค-ฉ)) ดังนั้นจึงส่งผลให้การรับแรง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Agar เป็น 10 % ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีแนวโน้มลดต่ำลง เนื่องจากมีปริมาณ Agar มากทำให้ชิ้นงานมีลักษณะแข็งเปราะดึงยืดและยืดหยุ่นได้น้อย ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar ที่ปริมาณ 6% , 4% และ 2% มีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส ลดลงตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณ Agar น้อยลง ความแข็งของชิ้นงานจึงลดลง ส่วนค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 2% มีค่ามากที่สุด

จากสมบัติเชิงกลสรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar 8% มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงที่สุด



(ก)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยผงวุ้น (ก) แรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส (ข) การดึงยืดเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

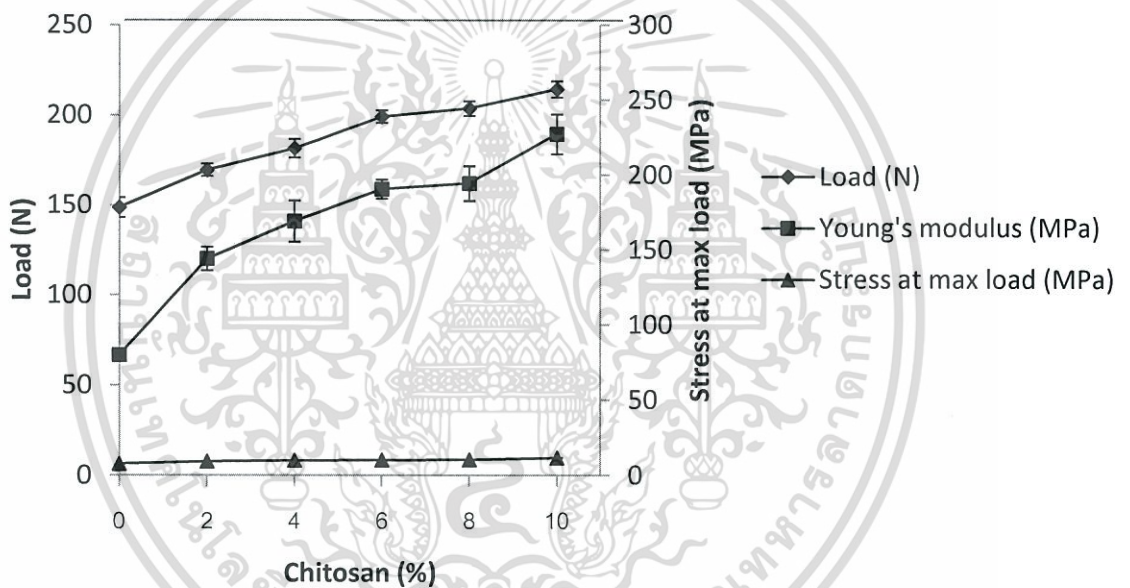
4.4.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งท้าวยายม่อม ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไคโตซาน

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ในปริมาณต่างๆ โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

จากรูปที่ 4.7 (ก)-(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง ความแข็งแรงดึง การดึงยืด เปอร์เซ็นต์การดึงยืด และมอดุลัส ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan ที่ ปริมาณต่างๆ พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% มีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมากที่สุด เนื่องจาก Chitosan มีลักษณะเป็นของแข็ง จึงช่วยในการรับแรงได้ดี ดังนั้นเมื่อใส่ Chitosan ในปริมาณมากขึ้น ทำให้รับแรงได้มากขึ้นด้วย เนื่องจากมีปริมาณไคโตซานลดลง ความแข็งแรงของชิ้นงานจึงลดลง ส่วนค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 0% มีค่ามากที่สุด เนื่องจากไม่มีไคโตซาน จึงทำให้ชิ้นงานมีความเหนียว ยืดหยุ่น และดึงยืดได้ดี ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 2%, 4%, 6%, 8% และ 10% มีค่าการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณ Chitosan เพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะแข็ง เปราะ จึงดึงยืดและยืดหยุ่นได้น้อยลง

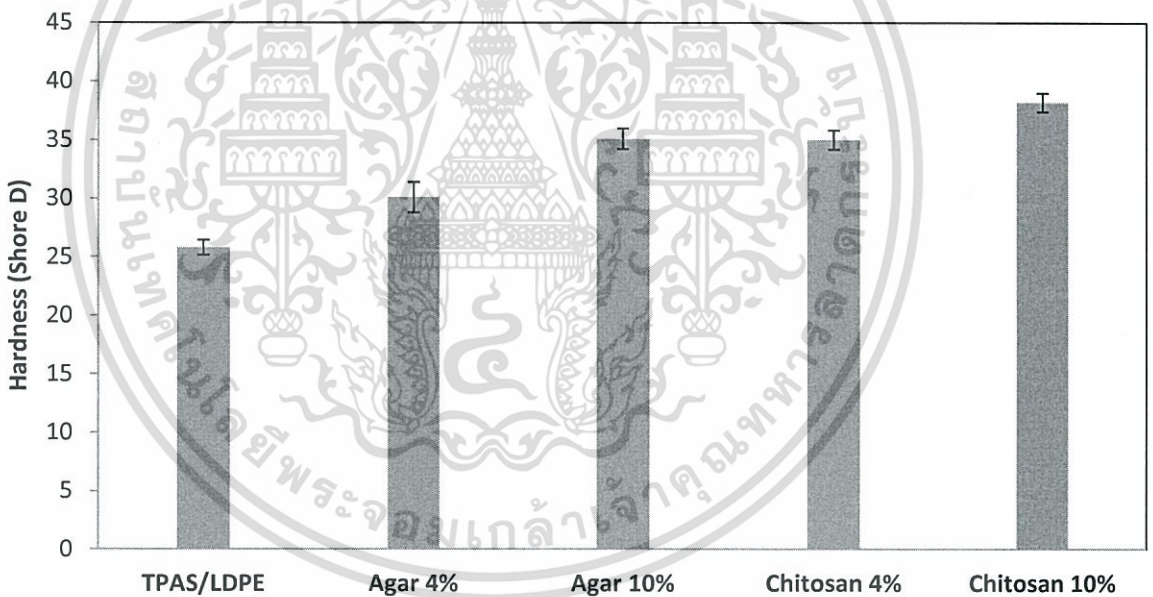
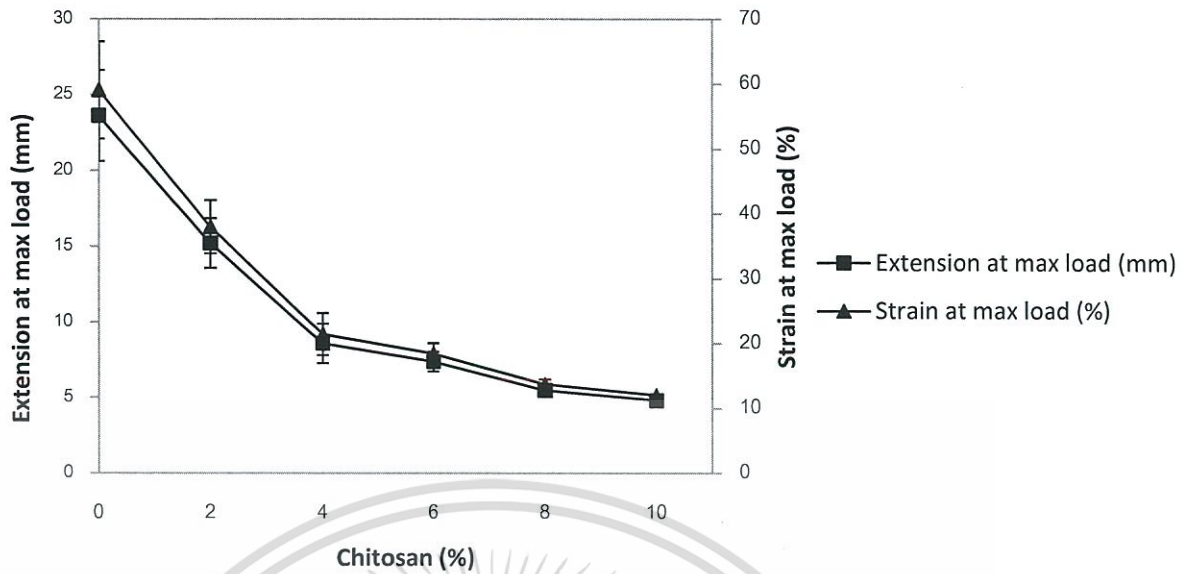
จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเติม Agar ลงไปในพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก Agar เป็นอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่ในชิ้นงาน เมื่อเพิ่มปริมาณ Agar ลงทำให้ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติม Chitosan ลงในพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE พบว่าค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและมากกว่า Agar เนื่องจาก Chitosan เป็นอนุภาคของแข็งและมีความแข็งแรงมากกว่า Agar

จากสมบัติเชิงกล สรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เนื่องจากมีค่าแรงดึง และความแข็งแรงดึงมากที่สุด แต่ให้ค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดต่ำที่สุด



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

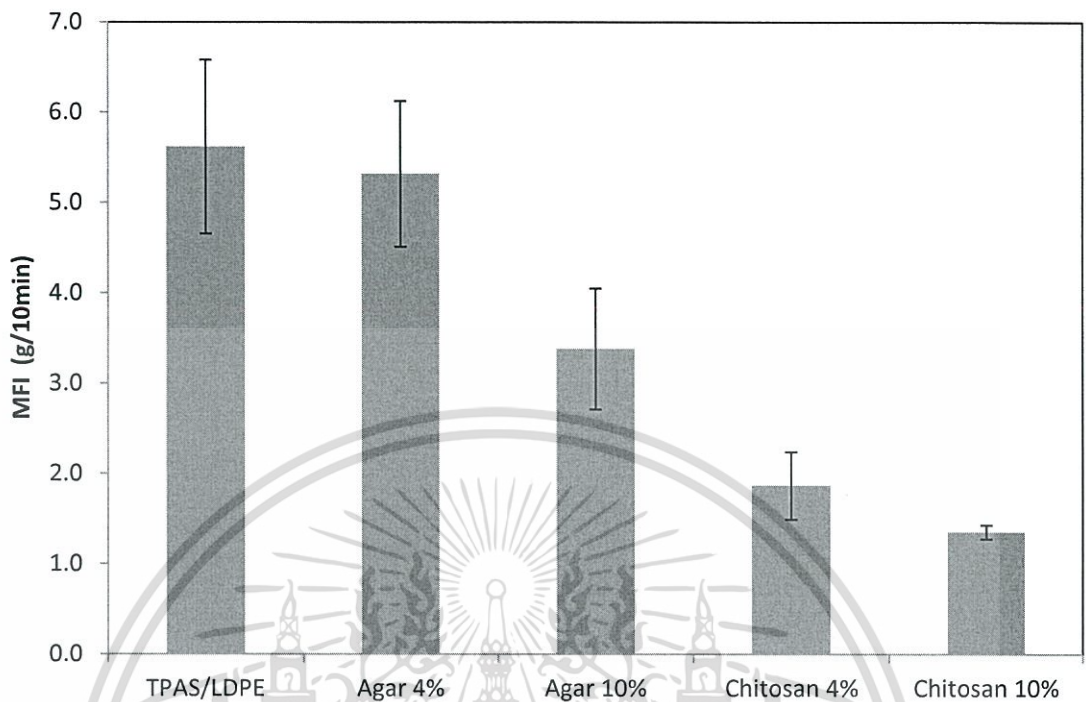


(ค)

รูปที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวยาย่อมผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและผสมไคโตซาน (ก) แรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส (ข) การดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และ (ค) ความแข็งกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ดัชนีการไหล



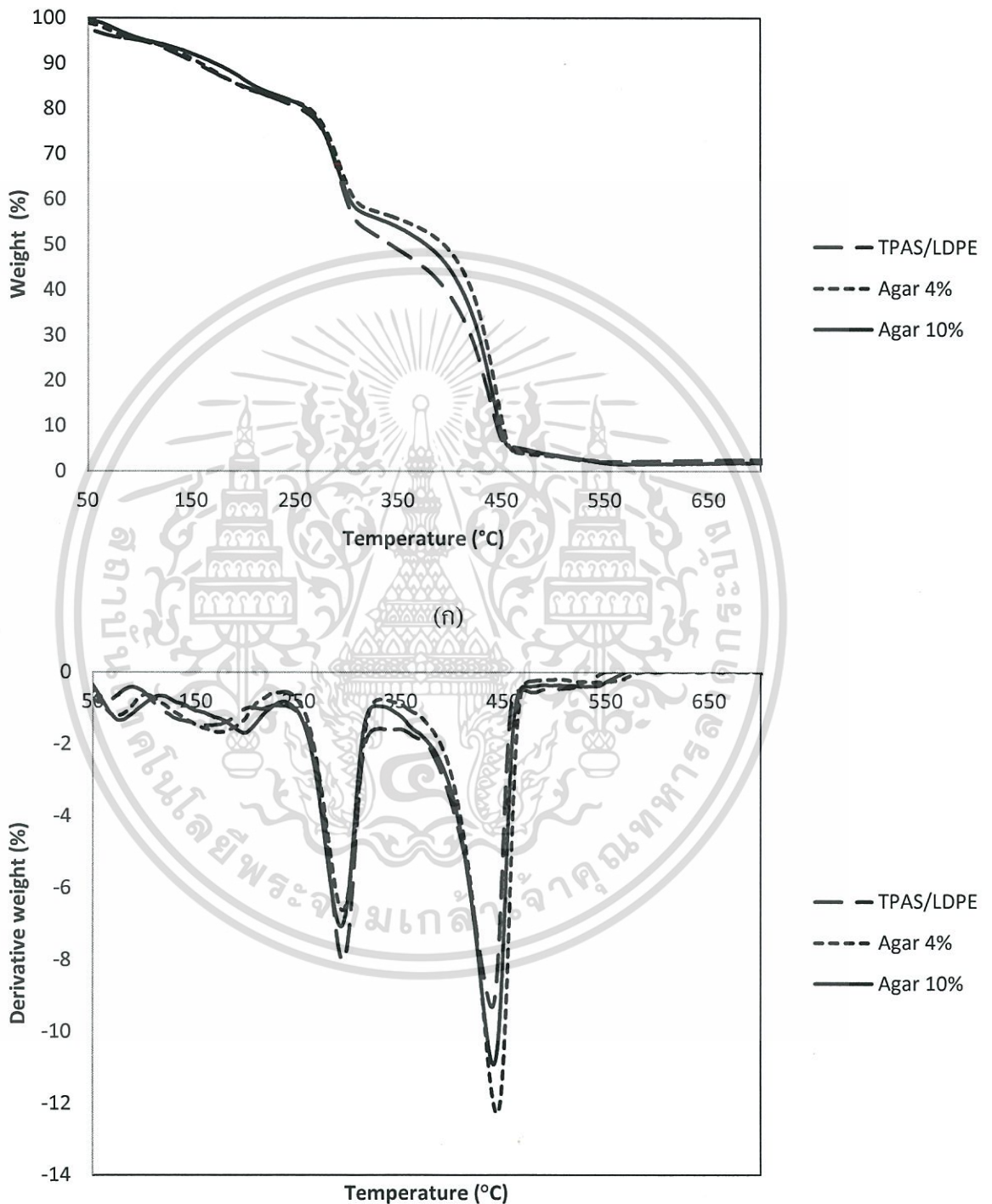
รูปที่ 4.9 ดัชนีการไหล (Melt Flow Index) ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar และ Chitosan

จากการศึกษาสมบัติดัชนีการไหลพบว่า TPAS/LDPE มีค่า MFI มากที่สุดเนื่องจากไม่มีอนุภาคของแข็งเข้าไปขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์หลอมเหลว เมื่อเติม Agar ลงไป ทำให้ไหลได้น้อยลง เนื่องจาก Agar เป็นอนุภาคของแข็งเข้าไปขวางการเคลื่อนที่ เมื่อเพิ่มปริมาณ Agar มากขึ้น ความสามารถในการไหลมีแนวโน้มลดลง และพบว่าเมื่อเติม Chitosan ลงไปทำให้มีความสามารถในการไหลลดต่ำกว่า Agar ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของ Chitosan มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของ Agar จึงสามารถขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์หลอมเหลวได้มากกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณ Chitosan ส่งผลให้ความสามารถในการไหลลดลง เป็นเหตุให้ TPAS/LDPE+Chitosan 10% มีความหนืดมากที่สุด นอกจากนี้ เมื่อเติม Agar และ Chitosan ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

4.6 สมบัติทางความร้อน

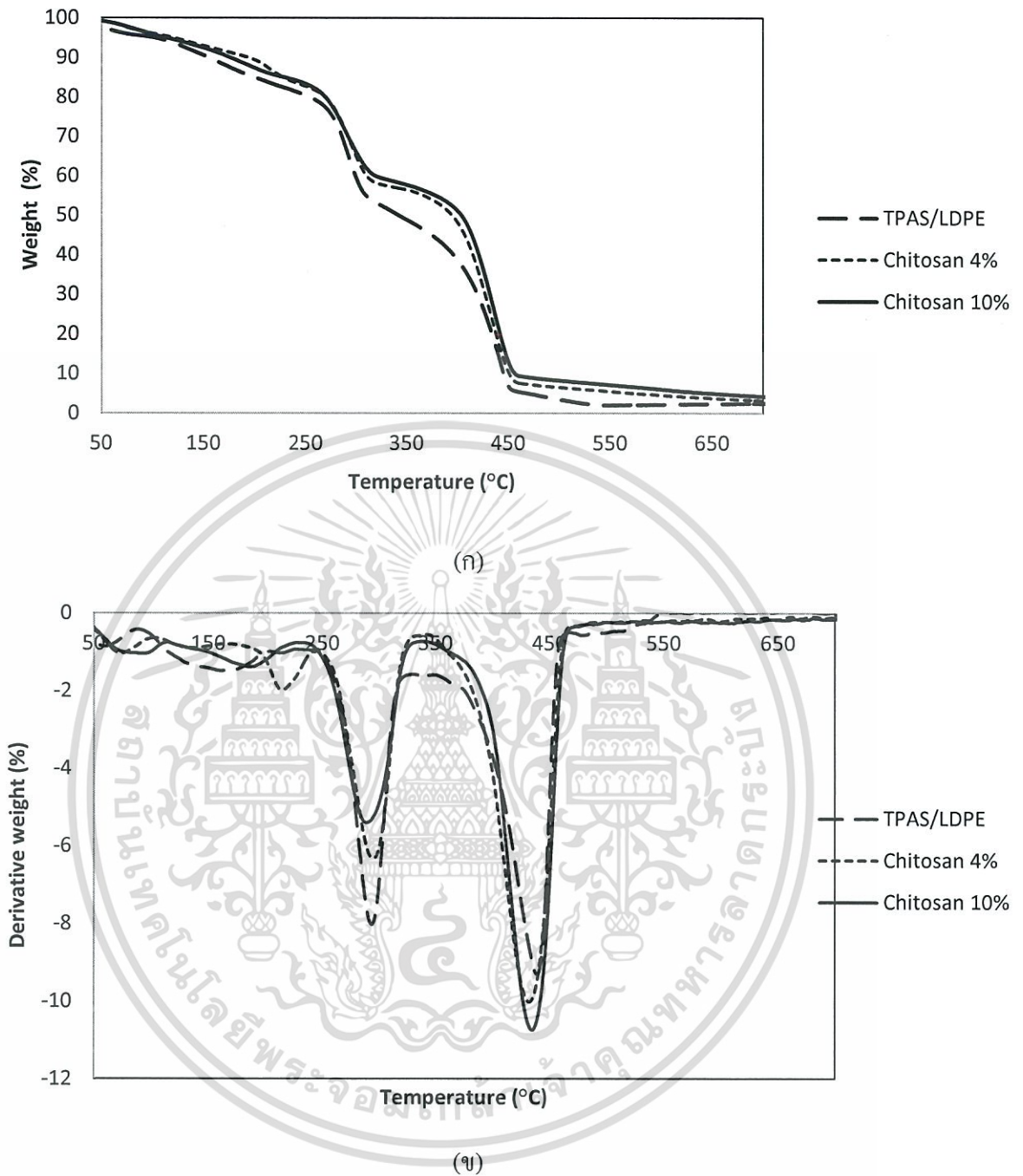
สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา ได้แก่ การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) ของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) และใช้สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในช่วง 50-700 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.10 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 (ก) TGA และ (ข) DTG ของพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสม

TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar

พอลิเมอร์ผสม	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (แป้ง)	ช่วงที่ 3 (LDPE)
TPAS/LDPE	123.9	276.8	411.8
TPAS/LDPE+Agar 4%	135.6	274.2	416.8
TPAS/LDPE+Agar 10%	167.6	270.8	410.0

จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.9 พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลอยู่ในช่วง 123.67 - 167.55 °C [27] อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งอยู่ในช่วง 270.82 - 276.76 °C [22] อุณหภูมิการสลายตัวของ LDPE อยู่ในช่วง 410.04 - 416.77 °C [25] ซึ่งพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเติม Agar ลงไปใน TPAS ทำให้เกิดการสลายตัวเพียง 1 ช่วง อุณหภูมิเท่านั้น ซึ่งโดยปกติแล้ว Agar มีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ในช่วง 267.2 – 280.0 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง [23] โดยพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar 10% มีอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งและ LDPE ต่ำที่สุด แสดงว่า มีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสม

TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan

พอลิเมอร์ผสม	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (แป้ง)	ช่วงที่ 3 (LDPE)
TPAS/LDPE	123.9	276.8	411.8
TPAS/LDPE+Chitosan 4%	192.5	276.7	402.6
TPAS/LDPE+Chitosan 10%	153.8	268.0	408.3

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.10 พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลอยู่ในช่วง 123.67-192.47 °C อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งอยู่ในช่วง 267.97 - 276.76 °C และมีอุณหภูมิการสลายตัว

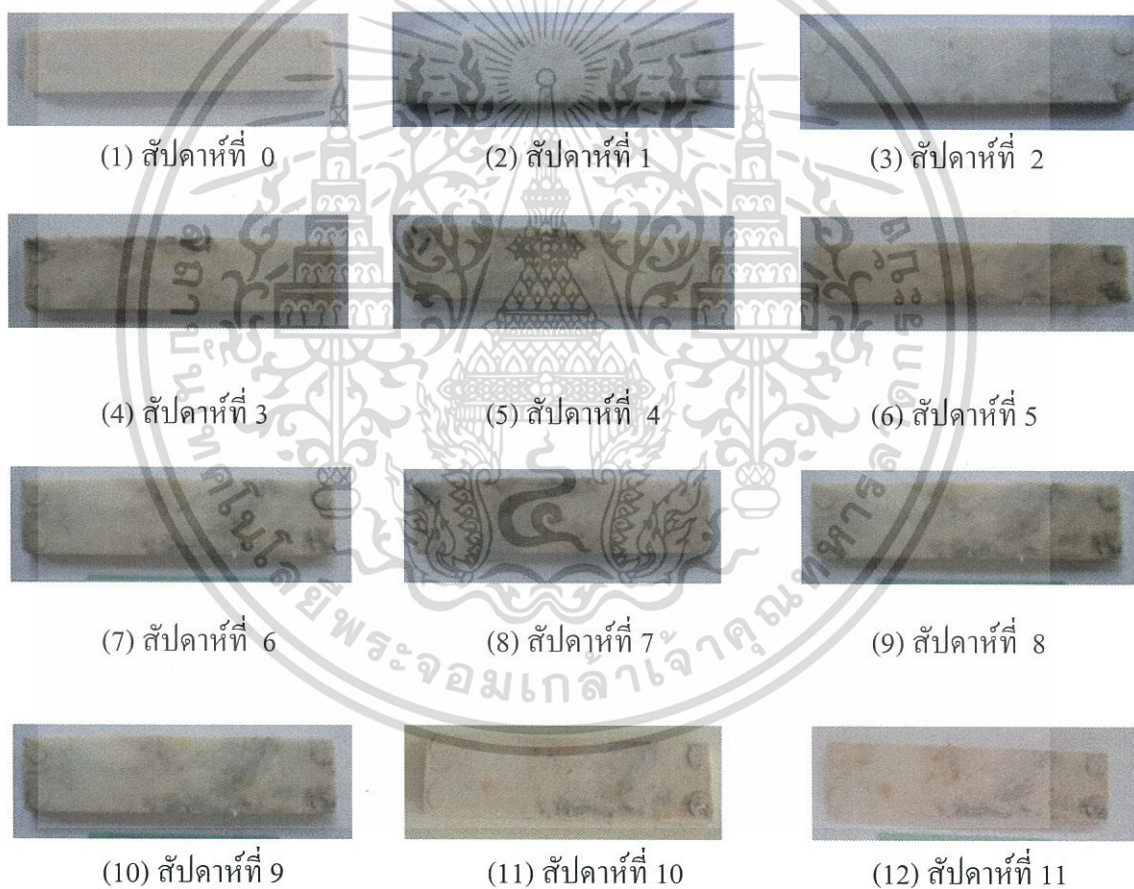
ของ LDPE อยู่ในช่วง 404.56 - 411.76 °C จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการเติม Chitosan ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้คุณสมบัติการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มลดลง และไม่แสดงผลคุณสมบัติการสลายตัวของ Chitasan ซึ่งปกติแล้ว Chitosan มีคุณสมบัติการสลายตัวอยู่ในช่วง 270 - 330 °C [21] ซึ่งพอลิเมอร์ผสมพบว่า TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10% มีคุณสมบัติการสลายตัวของแป้งต่ำที่สุด แสดงว่า มีค่าเสถียรภาพทางความร้อนต่ำที่สุด

4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน ทำได้โดยนำพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยผงวุ้นและไคโตซานในปริมาณที่แตกต่างกัน มาทำการทดสอบโดยฝังดินที่มีการควบคุมความชื้นของดินที่ 30-40% เป็นเวลา 77 วัน ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.12 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของ TPAS/LDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



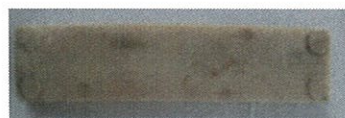
(1) สัปดาห์ที่ 0



(2) สัปดาห์ที่ 1



(3) สัปดาห์ที่ 2



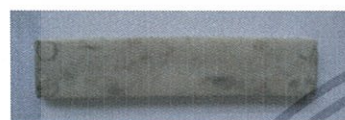
(4) สัปดาห์ที่ 3



(5) สัปดาห์ที่ 4



(6) สัปดาห์ที่ 5



(7) สัปดาห์ที่ 6



(8) สัปดาห์ที่ 7



(9) สัปดาห์ที่ 8



(10) สัปดาห์ที่ 9



(11) สัปดาห์ที่ 10



(12) สัปดาห์ที่ 11

รูปที่ 4.13 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย

Agar 4 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1) สัปดาห์ที่ 0



(2) สัปดาห์ที่ 1



(3) สัปดาห์ที่ 2



(4) สัปดาห์ที่ 3



(5) สัปดาห์ที่ 4



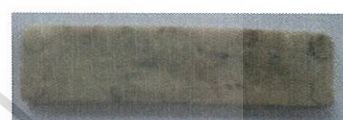
(6) สัปดาห์ที่ 5



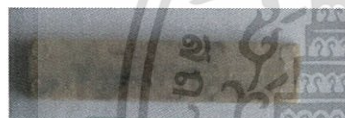
(7) สัปดาห์ที่ 6



(8) สัปดาห์ที่ 7



(9) สัปดาห์ที่ 8



(10) สัปดาห์ที่ 9



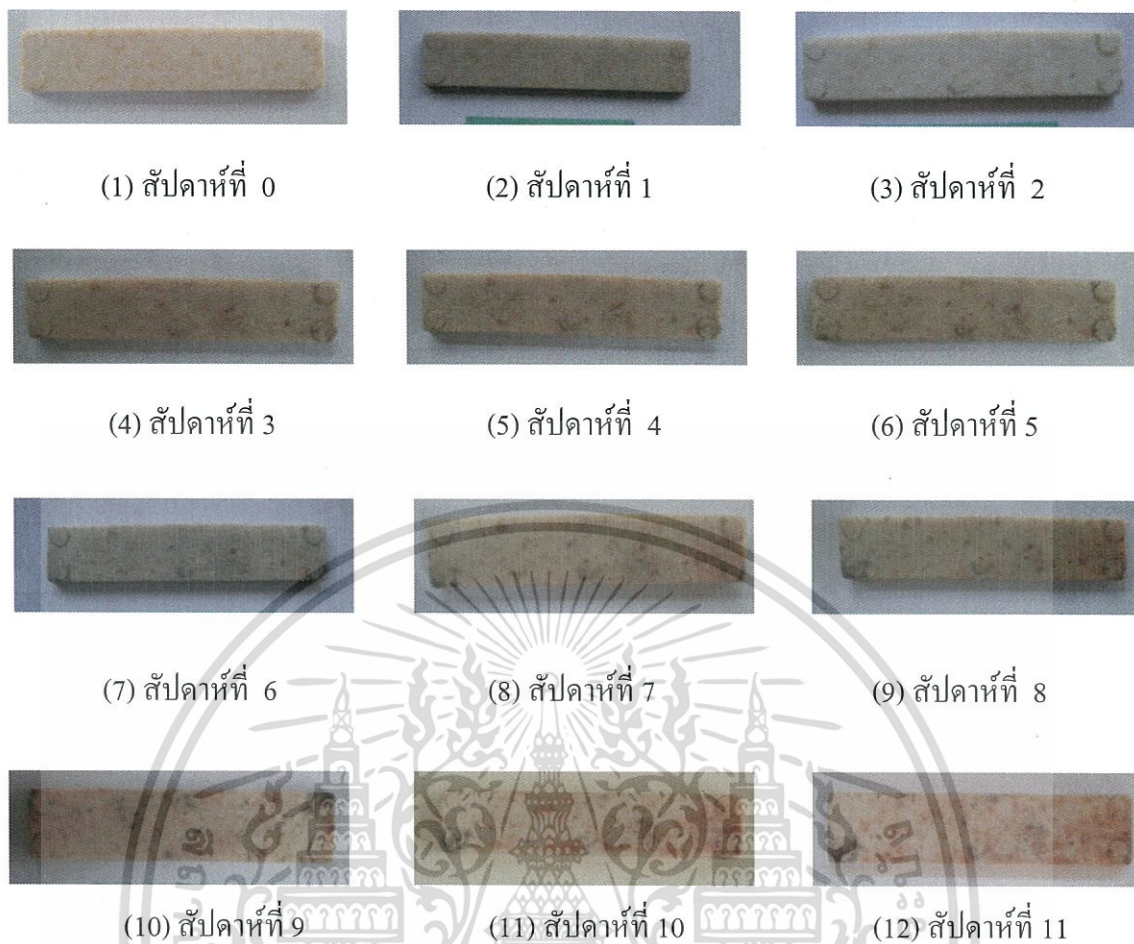
(11) สัปดาห์ที่ 10



(12) สัปดาห์ที่ 11

รูปที่ 4.14 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1) สัปดาห์ที่ 0



(2) สัปดาห์ที่ 1



(3) สัปดาห์ที่ 2



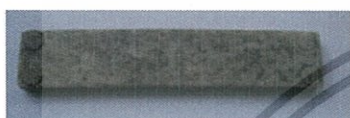
(4) สัปดาห์ที่ 3



(5) สัปดาห์ที่ 4



(6) สัปดาห์ที่ 5



(7) สัปดาห์ที่ 6



(8) สัปดาห์ที่ 7



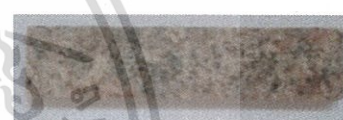
(9) สัปดาห์ที่ 8



(10) สัปดาห์ที่ 9



(11) สัปดาห์ที่ 10



(12) สัปดาห์ที่ 11

รูปที่ 4.16 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย

Chitosan 10%

จากรูปที่ 4.12 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมเริ่มยุบบริเวณผิวหน้า เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินเข้ามาย่อยแป้งที่มีอยู่บริเวณผิวหน้าของชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 มีการเติม Agar ลงไป พบว่า ในสัปดาห์ที่ 8 มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนคือ ที่ผิวหน้าของชิ้นงานมีการพองตัวขึ้น เนื่องจาก Agar มีการดูดน้ำจากดินเข้าไปในชิ้นงาน และเมื่อเพิ่มปริมาณ Agar พบว่า มีการพองตัวมากขึ้น แสดงว่า Agar มีสมบัติดูดซึมน้ำได้ดี [20]

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 มีการเติม Chitosan ลงไป พบว่า ในสัปดาห์ที่ 7 ชิ้นงานเริ่มมีสีแดงขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจาก ใน Chitosan มีโปรตีน ชื่อ อัลฟา-ครัสตาไซยานิน (α -Crustacyanin) เป็นส่วนประกอบ ภายในโมเลกุลนี้ประกอบด้วยรงควัตถุสีแดงชื่อ แอสตาแซนทิน (Astaxanthin) อยู่ภายใน เมื่อได้รับความร้อนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก โปรตีนจึงเกิดการเสียสภาพ ทำให้ แอสตาแซนทินที่อยู่ภายในแพร่ออกมาข้างนอกและเปลี่ยนเป็นสีแดง [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาการวัดสี พบว่าพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar และ Chitosan มีความสว่างลดลง จากค่า Hue angle พบว่าชิ้นงานมีสีออกส้มแดงถึงเหลือง

2. จากการศึกษาการดูดซึมน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้จากแป้งท้าวยายม่อมผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ปรับปรุงสมบัติโดย Agar และ Chitosan ในปริมาณต่างๆ พบว่าการเติม Agar และ Chitosan ลงในพอลิเมอร์ผสมของ TPAS/LDPE ทำให้การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมลดลง

3. จากสเปกตรัมที่ได้พบว่า สเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar พบพีก 1375 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O stretching ของ 3, 6-anhydro-galactose โดยพีกในตำแหน่งนี้ไม่พบในสารตัวอย่างชนิดอื่น และจากสเปกตรัมของ TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Chitosan พบพีก 1240 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ C-N stretching โดยพีกในตำแหน่งนี้ไม่พบในสารตัวอย่างชนิดอื่น

การเติม Agar และ Chitosan ลงในพอลิเมอร์ผสมของ TPAS/LDPE พบว่า สเปกตรัมในช่วงตำแหน่งการสั่นของ OH-stretching มีการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปในตำแหน่งที่ลดลง แสดงว่ามีการเกิดพันธะไฮโดรเจนใหม่

4. จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่าพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่เติม Agar มีลักษณะจับกันเป็นแผ่นมากขึ้นและเมื่อใส่ Agar ในปริมาณมากขึ้น พื้นผิวมีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่ซ้อนทับกันและเรียบขึ้น เมื่อใส่ Chitosan พบลักษณะของ Chitosan ที่เป็นเกล็ดยื่นออกมาจากชิ้นงาน เมื่อเพิ่มปริมาณของ Chitosan พบว่ามี Chitosan ยื่นออกมาจากชิ้นงานมากขึ้นและพบว่ามีลักษณะของแป้งเกาะอยู่บนพื้นผิว Chitosan

5. จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วย Agar 8% มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เนื่องจากมีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงที่สุด แต่ให้ค่าการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่ำสุด และพอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน 10% มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลดีที่สุด เนื่องจากมีค่าแรงดึง และความแข็งแรงดึงมากที่สุด แต่ให้ค่าการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดต่ำที่สุด

6. จากการทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่า TPAS/LDPE+Agar10% และ TPAS/LDPE+Chitosan 10% มีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำที่สุด

7. จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าชิ้นงานที่เติม Agar มีการพองตัวบางบริเวณบนผิวหน้าของชิ้นงาน ส่วนชิ้นงานที่เติม Chitosan เริ่มมีสีแดงอย่างชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มปริมาณแป้งลงไปในพอลิเมอร์ผสมให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายและลดปริมาณการใช้พลาสติก
2. ศึกษาแป้งชนิดอื่นที่นำมาเตรียมพอลิเมอร์ผสม เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเขียว เป็นต้น
3. ศึกษาชนิดของเทอร์โมพลาสติกที่นำมาในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้น เช่น LLDPE PP เป็นต้น
4. ศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงานหลังจากการฝังดิน เพื่อศึกษาการย่อยสลายเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- [1] บรรณเณง ศรีนิต, ณรงค้ ผังวิวัฒน์ และนฤมล เกรือองอาจนุกูล. การศึกษาผลของการเติมแป้งลงในพลาสติกเพื่อการย่อยสลายทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- [2] นิสานาด หลิมศิริวงษ์, รัชชณา คงจินตามุณี และสุภาวรัตน์ สุระกิจ. การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตร้ชจากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ผงวุ้น. โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553
- [3] แป้งทำวยายม่อม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://cherdpr1.wordpress.com/2007/12/26/187>. (วันสืบค้นข้อมูล : 15 มิถุนายน 2554).
- [4] ภัทรารุช มนต์วิเศษ. “ไคตินและไคโตซาน”. **Biopolymer**. กรุงเทพฯ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553.
- [5] National Metal and Material Technology Center (MTEC). “พลาสติก”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/index.html. (วันสืบค้นข้อมูล : 30 มิถุนายน 2554).
- [6] ชนิดพลาสติก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.agropack.com/en/material.html>. (วันสืบค้นข้อมูล : 30 มิถุนายน 2554).
- [7] พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch53/group04/rangroung_y/Bio-based.html. (วันสืบค้นข้อมูล : 5 กรกฎาคม 2554).
- [8] กกล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [9] Carbohydrate Technology. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap4/chapter4_6.html. (วันสืบค้นข้อมูล : 15 กันยายน 2554).
- [10] อภิรัฐ ทวีรัตนานนท์, อภิวุฒิ เทศกาล และอรรวรรณ วุทธิโซ. การปรับปรุงสมบัติของ **ไทเทเนียมไดออกไซด์โดยใช้เส้นใยจากเปลือกข้าวโพด**. โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง, 2551.

- [11] D.R. Paul and C.B. Bucknall. 2000. **Polymer Blends**. Vol. 1. John Wiley & Sons. New York.
- [12] Grafted PE of Maleic Anhydride. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://jianqiaoplastic.en.made-in-china.com/offer/zeGENbuDgHcg/Sell-Grafted-PE-of-MaleicAnhydride.html>. (วันสืบค้นข้อมูล : 30 กันยายน 2554).
- [13] Polyethylene-graft-maleic anhydride. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.sigmaaldrich.com/catalog/ProductDetail.do?D7=0&N5=SEARCH_CONCAT_PNO|BRAND_KEY&N4=456624|ALDRICH&N25=0&QS=ON&F=SPEC. (วันสืบค้นข้อมูล : 30 กันยายน 2554).
- [14] เจริญ นาคะสุวรรณค์. **กระบวนการแปรรูปพลาสติก**. สำนักพิมพ์โพร์เพช, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ, 2554.
- [15] อรทัย ตั้งสิรินฤนาท, อำนวย ลากเกษมสุข, นที ศรีสวัสดิ์ และอารีญา ตงสาดี. **การเตรียมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่ได้จากแป้งข้าวเหนียวผสมกับพลาสติกและการประยุกต์ใช้ในงานสิ่งทอ**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [16] H.A. Pushpadass, P. Bhandari and M.A. Hanna. "Effects of LDPE and glycerol contents and compounding on the microstructure and properties of starch composite films", *Carbohydrate Polymers*, 82 (2010) 1082–1089.
- [17] S.I Park, S. Kenneth, B. Marsh and P. Dawson. "Application of chitosan-incorporated LDPE film to sliced fresh red meats for shelf life extension", *Meat Science*, 85 (2010) 493–499.
- [18] D.P. The, F. Debeaufort, A. Voilley and D. Luu. "Biopolymer interactions affect the functional properties of edible films based on agar, cassava starch and arabinoxylan blends", *Food Engineering*, 90 (2009) 548-558.
- [19] S. Garg and A.K. Jana. "Studies on the properties and characteristics of starch-LDPE blend films using cross-linked, glycerol modified, cross-linked and glycerol modified starch", *European Polymer*, 43 (2007) 3976-3987.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [20] Y.Wu, F. Geng, P. R. Chang, J. Yu and X. Ma. "Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film", *Carbohydrate Polymers*, 76 (2009) 299-304.
- [21] G. Cardenas and S.P. Miranda "FTIR and TGA studies of chitosan composite films" *Journal of the Chilean Chemical Society*, 49, (2004) 291-295.
- [22] L. Dobricau, P.A Sreekumar, R. Satoh, N. Leblanc, C. Terrie , R. Gattin and J.M. Saiter. "Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fiber:Agro-green composite." *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 40 (2009) 329-334.
- [23] E. Raphael, C.O Avellaneda, B. Manzolli, A. Pawlicka. "Agar-based films for application as polymer electrolytes." *Electrochimica Acta* , 55 (2010) 1455-1459.
- [24] ทำไมกุ้งโดนความร้อนแล้วตัวเป็นสีแดง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.agri.kmitl.ac.th/km/blog/?p=1268> (วันที่สืบค้นข้อมูล :17 เมษายน 2555)
- [25] S.K. Singh, S.P. Tambe, A.B. Samui, V.S. Raja and Dharendra Kumar "Maleic acid grafted low density polyethylene for thermally sprayable anticorrosive coatings" *Progress in Organic Coatings* , 55 (2006) 20–26.
- [26] Y.S. Nam, W.H. Park, D. Ihm and S.M. Hudson "Effect of the degree of deacetylation on the thermal decomposition of chitin and chitosan nanofibers" *Carbohydrate Polymers* , 80 (2010) 291–295.
- [27] N. L. Garciaa, L. Ribbaa , A. Dufresnec, M. Arangurend and S. Goyanes "Effect of glycerol on the morphology of nanocomposites made from thermoplastic starch and starch nanocrystals" *Carbohydrate Polymers* , 84 (2011) 203–210.
- [28] T. Bourtoom and M.S. Chinnan "Preparation and properties of rice starch chitosan blend biodegradable film" *LWT - Food Science and Technology*, 41 (2008) 1633-1641
- [29] ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก msds.pcd.go.th/SearchName.asp?vID=1696 (วันที่สืบค้นข้อมูล :18 เมษายน 2555)

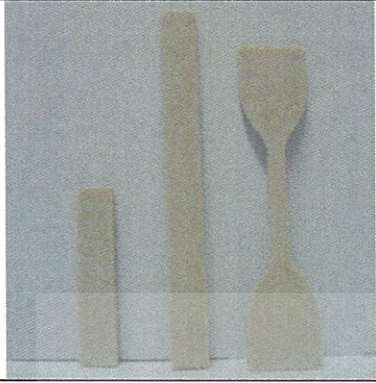
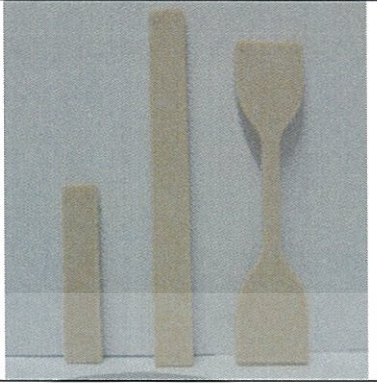

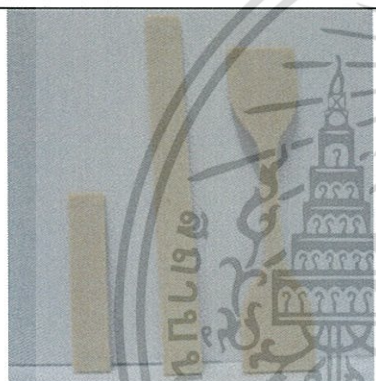
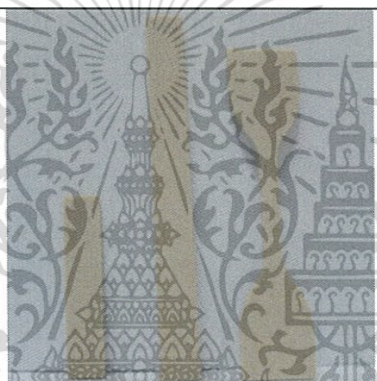
ภาคผนวก ก

ลักษณะชิ้นงาน

ตารางที่ ก.1 ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป

TPAS/LDPE	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 2%	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4%
		
พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 6%	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 8%	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%
		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 2%	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 6%
		
พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 8%	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%	
		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

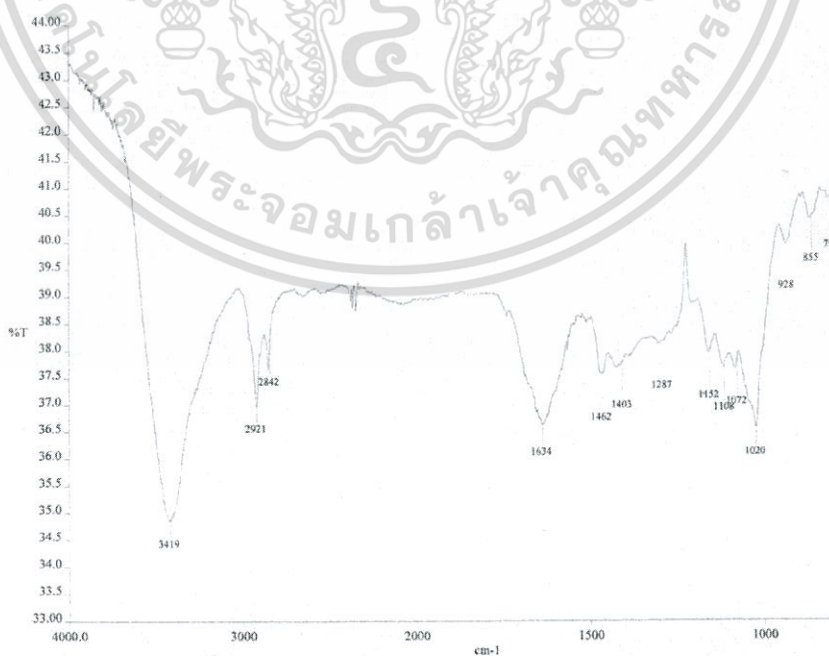
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

รูปที่ ข.1 พอลิเมอร์ผสม TPAS/LDPE

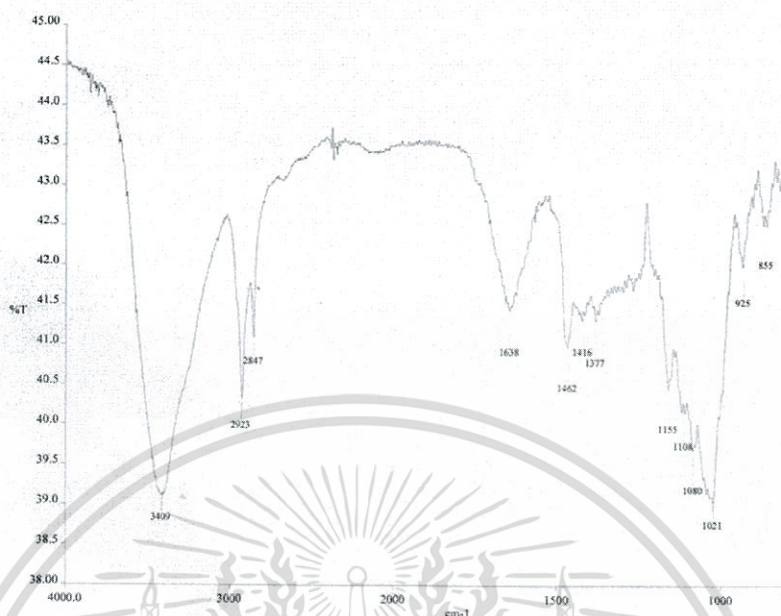


รูปที่ ข.2 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%

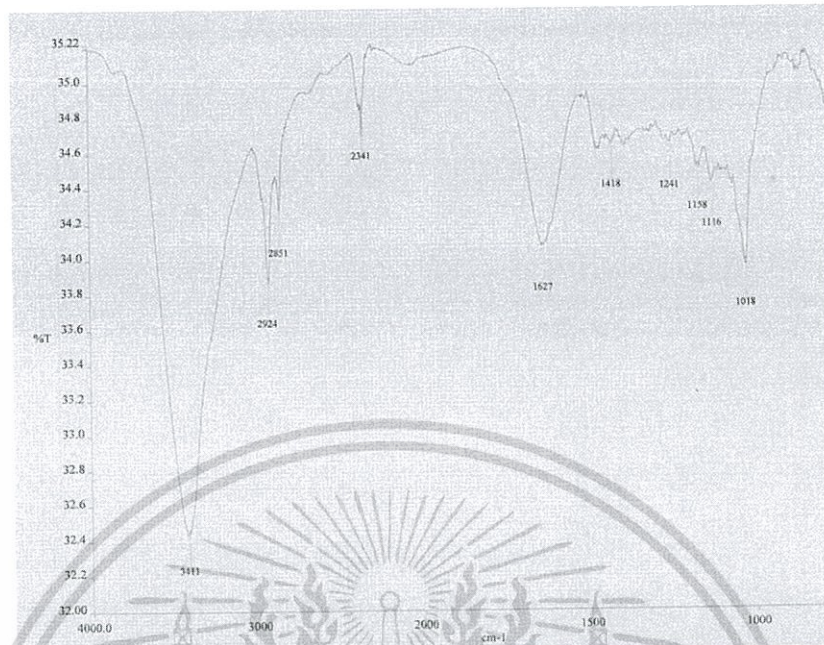


รูปที่ ข.4 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.5 พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วัดสี

ตารางที่ ก.1 การวัดสีของ TPAS/LDPE

Sample Number	TPAS/LDPE				
	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
1	81.5	1.1	4.2	4.3	74.6
2	81.0	1.0	4.2	4.4	75.8
3	81.1	1.2	4.2	4.4	73.2
4	81.3	1.3	4.3	4.5	73.1
5	81.5	1.2	4.2	4.4	73.7
6	81.6	0.8	4.1	4.2	78.7
7	81.3	1.1	4.3	4.4	74.9
8	81.3	1.1	4.3	4.4	75.5
9	81.3	1.2	4.1	4.3	73.3
10	81.1	1.2	4.5	4.6	74.8
Mean	81.3	1.1	4.2	4.4	74.8
SD	0.2	0.1	0.1	0.1	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4%

Sample Number	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4%				
	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
1	71.5	2.8	11.8	12.2	76.5
2	71.3	2.4	12.4	12.6	79.0
3	71.6	2.8	11.7	12.0	76.5
4	71.1	2.8	12.1	12.4	76.6
5	71.9	2.6	11.6	11.9	77.0
6	71.6	2.8	11.7	12.1	76.5
7	71.8	2.7	11.6	11.9	76.8
8	71.5	2.7	11.7	12.0	76.9
9	71.2	2.8	11.9	12.2	76.3
10	71.5	2.8	11.5	11.9	76.2
Mean	71.5	2.7	11.8	12.1	76.8
SD	0.2	0.1	0.2	0.2	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.3 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%

Sample Number	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%				
	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
1	73.2	3.3	14.2	14.6	76.8
2	73.2	3.2	14.2	14.6	77.1
3	73.1	3.3	14.0	14.3	76.6
4	73.1	3.3	14.3	14.6	76.7
5	72.8	3.3	14.2	14.6	76.8
6	72.9	3.2	14.3	14.7	77.4
7	72.3	3.2	14.2	14.6	77.0
8	73.1	3.3	14.4	14.7	76.8
9	73.0	3.2	14.2	14.6	77.0
10	73.2	3.3	14.2	14.6	76.8
Mean	73.0	3.3	14.2	14.6	76.9
SD	0.2	0.05	0.1	0.1	0.228

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%

Sample Number	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%				
	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
1	75.6	3.8	10.1	10.8	69.5
2	75.8	3.6	10.1	10.8	70.3
3	76.2	3.5	9.4	10.0	69.5
4	76.3	3.5	9.5	10.1	69.4
5	76.1	3.0	10.6	11.0	73.7
6	75.5	3.7	10.1	10.7	69.7
7	75.3	3.8	9.9	10.6	69.0
8	76.5	2.8	10.0	10.4	74.0
9	75.5	3.8	10.0	10.7	69.1
10	75.6	3.8	9.9	10.6	68.7
Mean	75.8	3.5	9.9	10.6	70.3
SD	0.4	0.3	0.3	0.3	1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 การวัดสีของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%

Sample Number	พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%				
	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
1	72.3	3.8	12.8	13.3	73.1
2	72.3	4.3	11.9	12.6	70.0
3	71.7	4.6	12.4	13.2	69.6
4	71.6	4.5	12.8	13.6	70.3
5	71.9	4.4	12.1	12.9	69.7
6	73.0	3.9	11.7	12.3	71.2
7	72.2	4.3	12.1	12.9	70.3
8	71.7	4.6	12.5	13.3	69.7
9	72.6	4.2	11.9	12.6	70.5
10	72.1	4.2	12.3	13.0	70.8
Mean	72.1	4.3	12.2	13.0	70.5
SD	0.4	0.2	0.3	0.3	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง





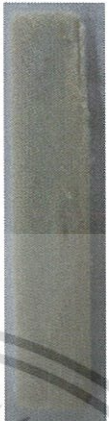


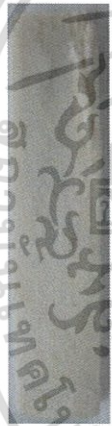


การดูดซึมน้ำ

ตารางที่ ง.1 เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบด้วยการดูดซึมน้ำ

วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ				
	TPAS/LDPE	TPAS/LDPE+Agar	TPAS/LDPE+Agar	TPAS/LDPE+Chitosan	TPAS/LDPE+Chitosan
		4%	10%	4%	10%
0	0	0	0	0	0
1	13.46	2.56	1.76	1.75	2.56
2	16.64	4.44	2.75	2.32	3.90
3	18.51	6.47	3.54	2.38	4.74
4	18.87	6.86	3.48	2.91	4.65
5	19.46	7.78	3.82	3.19	5.00
6	19.67	8.88	4.28	3.59	5.64
7	20.67	9.99	4.56	3.81	5.84
8	20.68	10.72	4.94	4.17	6.17
10	21.29	13.21	5.76	4.77	7.05
13	22.83	14.86	6.21	5.16	7.64
15	21.34	16.36	6.77	5.59	8.15
18	22.09	18.20	7.41	6.17	8.73
21	23.08	19.60	8.16	6.73	9.42
26	23.11	21.29	8.95	7.31	10.24
33	24.37	22.66	10.11	8.30	11.62
39	24.65	23.34	11.02	9.08	12.40
47	24.84	23.87	12.32	9.97	13.42
54	25.49	22.89	13.36	10.95	14.50
63	25.57	22.94	14.61	11.82	15.58








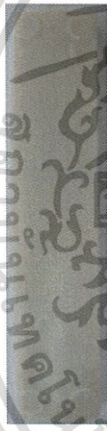
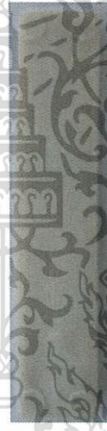

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.2 ดูดซึมน้ำ TPAS/LDPE

สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
					
สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9		
					


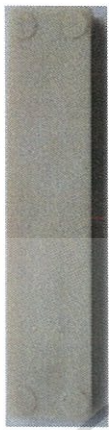





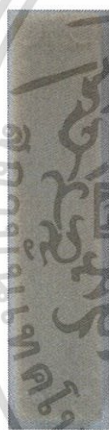


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 คุณซึมน้ำพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 4 %

สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
					
สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9		
					

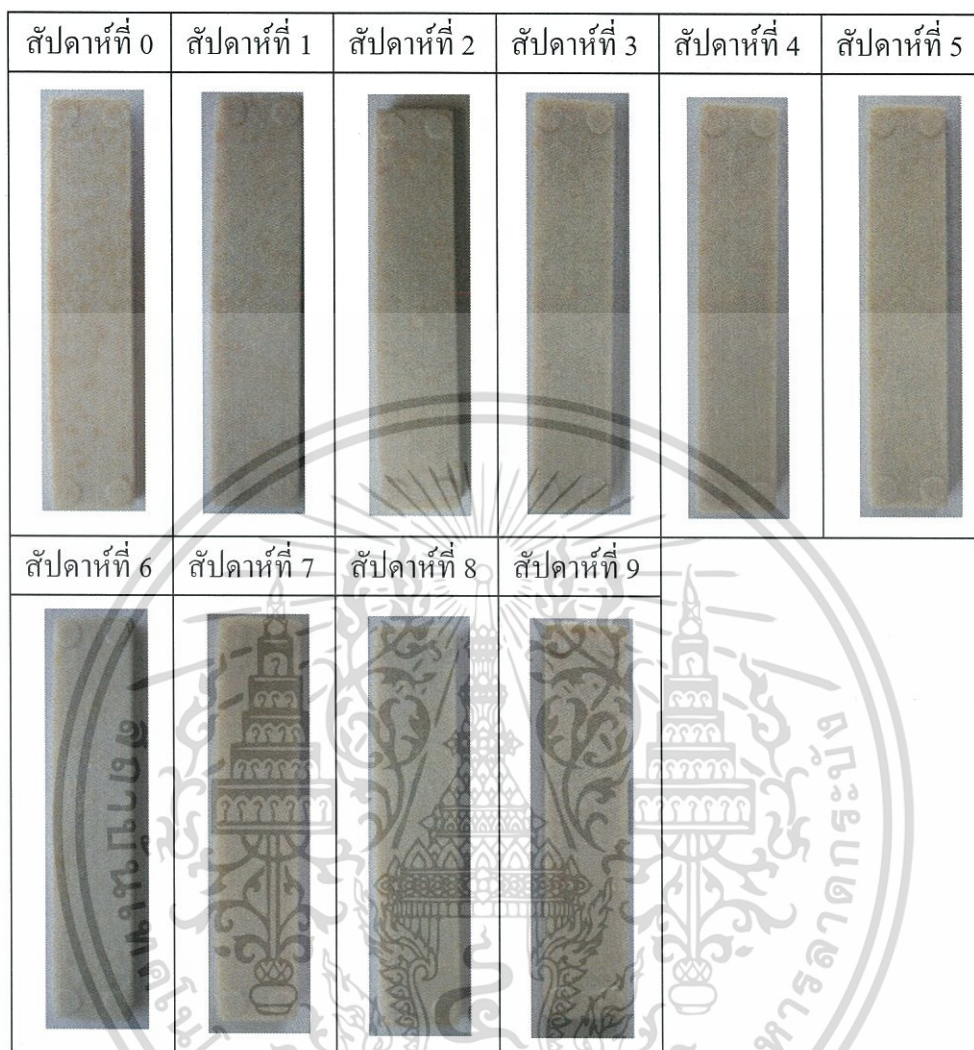
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.4 คุณลักษณะ น้ำ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Agar 10%

สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
					
สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9		
					











เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 คูดซีมน้ำ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 4%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.6 คุณซึมน้ำ พอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วย Chitosan 10%

สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
					
สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9		
					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

ตารางที่ จ.1 สมบัติเชิงกลของ TPAS/LDPE

Sample Number	Load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
1	140.7	7.331	19.93	49.82	77.3
2	147.3	7.760	24.51	61.28	75.4
3	144.7	7.626	20.54	51.36	71.7
4	148.2	7.760	25.73	64.32	71.9
5	144.8	7.512	23.39	58.48	66.6
6	146.2	7.576	21.64	54.11	70.3
7	146.7	7.643	22.02	55.04	69.2
8	158.7	8.308	29.83	74.57	77.4
9	154.3	7.964	22.53	56.32	67.2
10	154.6	8.091	26.16	65.41	75.4
Mean	148.62	7.7571	23.628	59.071	72.24
Std dev	5.5154	0.2911	3.0015	7.5030	3.9836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 2%

Sample Number	Load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
1	142.5	7.298	31.92	79.80	67.4
2	136.1	7.248	39.16	97.89	62.3
3	138.4	7.074	35.05	87.64	62.8
4	135.8	6.976	38.53	96.31	60.5
5	138.3	7.205	32.10	80.25	71.4
6	136.8	7.160	36.54	91.34	65.2
7	140.3	7.205	36.37	90.92	73.0
8	138.5	7.185	39.29	98.23	68.6
9	151.9	7.800	37.35	93.38	76.2
10	140.6	7.221	36.12	90.31	61.8
Mean	139.92	7.2372	36.243	90.607	66.92
Std dev	4.7027	0.2177	2.6171	6.5401	5.3220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 4%

Sample Number	Load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
1	169.2	8.676	32.58	81.46	67.4
2	163.3	8.650	33.12	82.79	62.3
3	165.2	8.603	35.94	89.85	62.8
4	167.5	8.723	28.55	71.37	60.5
5	171.4	8.845	35.93	89.83	71.4
6	166.4	8.587	31.20	78.00	65.2
7	160.5	8.559	35.34	88.36	73.0
8	150.2	7.833	32.15	80.38	68.6
9	157.4	8.352	33.49	83.72	76.2
10	153.1	8.206	37.94	94.84	61.8
Mean	162.420	8.503	33.624	84.060	66.920
Std dev	7.0066	0.2976	2.7368	6.8419	5.3220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 6%

Sample Number	Load (N)	Stess at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
1	182.9	9.541	27.63	69.08	107.7
2	175.4	9.134	27.18	67.96	101.1
3	180.5	9.473	20.34	50.86	108.8
4	174.7	8.961	31.36	78.41	99.5
5	176.4	9.345	28.46	71.16	100.5
6	174.3	9.301	28.75	71.87	95.6
7	189.7	10.050	25.04	62.61	120.5
8	180.2	9.546	24.66	61.65	105.5
9	174.5	9.100	28.36	70.91	95.3
10	180.5	9.558	27.65	69.12	104.8
Mean	178.910	9.401	26.943	67.363	103.930
Std dev	4.9002	0.3092	2.9916	7.4782	7.4460

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 8%

Sample Number	load(N)	Stess at max load(MPa)	Extension at max load(mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus(MPa)
1	195.7	10.54	7.85	19.63	154.8
2	194.5	10.54	9.92	24.80	145.7
3	191.6	10.73	9.56	23.89	137.8
4	190.9	10.34	12.09	30.23	137.7
5	194.0	10.51	10.19	25.47	145.2
6	185.9	10.14	9.21	23.01	144.2
7	192.7	10.44	9.67	24.18	142.6
8	189.1	10.24	9.34	23.34	141.1
9	191.5	10.37	11.21	28.02	142.3
10	189.1	10.24	12.24	30.60	138.8
Mean	191.500	10.409	10.127	25.317	143.020
Std dev	2.9360	0.1777	1.3630	3.4083	5.0534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.6 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Agar 10%

Sample Number	Load(N)	Stess at max load(MPa)	Extension at max load(mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus(MPa)
1	191.1	10.420	12.38	30.94	143.0
2	189.8	10.280	10.95	27.38	135.6
3	187.4	10.220	12.52	31.30	130.7
4	184.0	9.861	13.31	33.27	125.2
5	185.8	10.130	13.47	33.69	134.4
6	186.5	10.170	22.06	55.15	119.2
7	180.8	9.794	12.39	30.98	117.8
8	182.8	9.917	11.88	29.70	129.6
9	183.0	9.981	11.17	27.93	135.4
10	182.3	9.770	14.47	36.18	122.1
Mean	185.350	10.054	13.460	33.652	129.300
Std dev	3.3738	0.2215	3.2014	8.0030	8.1347

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 2%

Sample Number	Load(N)	Stress at max load(MPa)	Extension at max load(mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus(MPa)
1	166.2	9.154	12.52	31.30	123.30
2	169.7	9.294	13.22	33.05	131.10
3	163.8	9.171	14.47	36.18	127.40
4	171.0	9.379	14.29	35.73	142.70
5	169.0	9.285	16.22	40.55	132.70
6	171.6	9.481	16.12	40.31	133.80
7	171.2	9.454	15.05	37.63	139.00
8	168.9	9.312	15.31	38.27	150.90
9	176.7	9.710	17.57	43.94	135.60
10	167.2	9.175	17.27	43.19	131.40
Mean	169.5	9.342	15.20	38.02	134.79
Std dev	3.5	0.172	1.64	4.11	7.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.8 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 4%

Sample Number	Load(N)	Stress at max load(MPa)	Extension at max load(mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus(MPa)
1	186.6	10.240	8.621	21.55	166.9
2	174.9	9.646	8.274	20.68	131.1
3	187.1	10.230	8.888	22.22	168.4
4	183.6	10.180	9.474	23.68	168.0
5	173.5	9.565	8.122	20.30	150.0
6	180.5	9.987	11.130	27.81	151.7
7	179.6	9.955	9.540	23.85	150.9
8	178.8	9.810	7.755	19.39	160.1
9	189.2	10.480	6.267	15.67	181.0
10	181.6	9.929	7.790	19.48	163.3
Mean	181.5	10.002	8.586	21.46	159.1
Std dev	5.2	0.285	1.303	3.25	13.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.๑ สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 6%

Sample Number	Load(N)	Stess at max load(MPa)	Extension at max load(mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus(MPa)
1	203.1	10.470	7.904	19.76	183.3
2	198.6	10.400	6.836	17.09	175.7
3	193.2	9.852	6.754	16.89	167.4
4	197.1	9.997	6.768	16.92	181.5
5	199.0	19.150	7.088	17.72	174.1
6	201.5	10.160	6.686	16.72	188.8
7	199.5	10.180	8.552	21.68	184.2
8	194.4	9.913	7.869	19.67	178.6
9	201.6	10.340	7.402	18.50	186.8
10	203.6	10.320	7.920	19.80	182.6
Mean	199.2	11.078	7.378	18.48	180.3
Std dev	3.5	2.844	0.651	1.69	6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

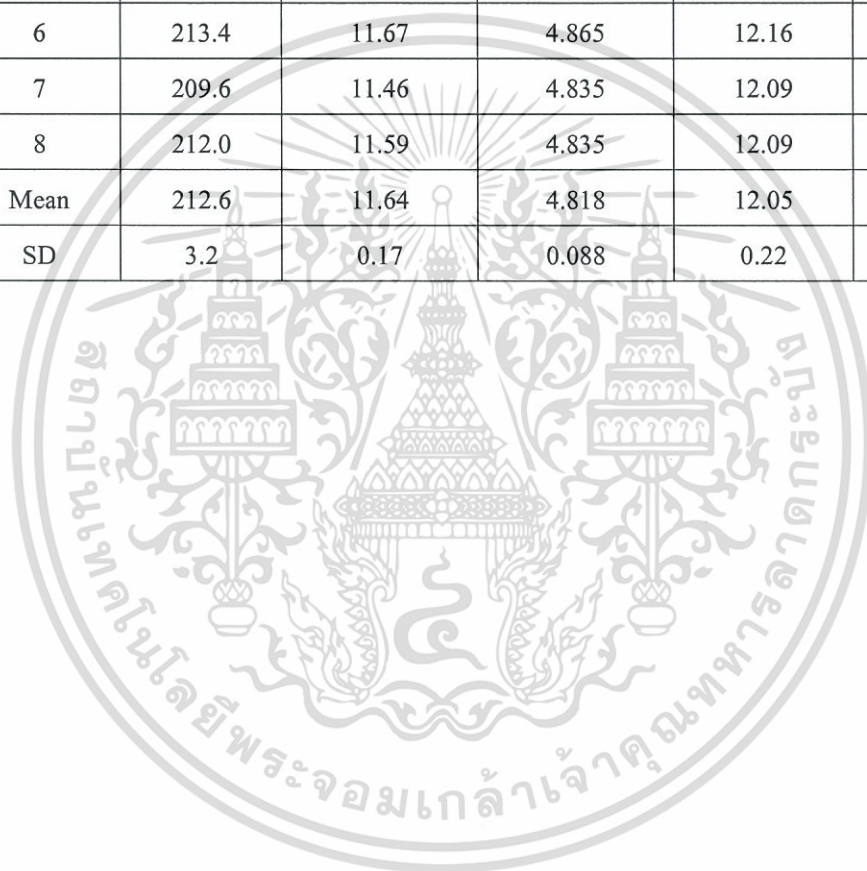
ตารางที่ ๑.10 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 8%

Sample Number	Load(N)	Stess at max load(MPa)	Extension at max load(mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus(MPa)
1	210.1	10.48	5.904	14.76	195.8
2	204.3	10.42	5.257	13.14	170.8
3	196.2	10.06	5.539	13.85	175.6
4	202.8	10.40	5.374	13.44	178.0
5	201.1	10.26	4.935	12.34	176.1
6	201.9	10.30	5.922	14.80	171.3
7	209.0	10.66	5.288	13.22	200.1
8	202.3	10.37	5.737	14.34	185.3
9	206.5	10.59	5.304	13.26	201.6
10	202.0	10.30	5.454	13.64	185.0
Mean	203.6	10.4	5.5	13.7	184.0
Std dev	4.1	0.17	0.311	0.78	11.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.11 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย Chitosan 10%

Sample Number	Load (N)	Stress at max load (MPa)	Extension at max load (mm)	Strain at max load (%)	Young's modulus (MPa)
1	218.9	11.97	4.884	12.21	231.00
2	215.3	11.77	4.921	12.30	219.80
3	210.8	11.57	4.635	11.59	223.20
4	211.2	11.55	4.769	11.92	206.40
5	209.7	11.51	4.803	12.01	192.80
6	213.4	11.67	4.865	12.16	206.20
7	209.6	11.46	4.835	12.09	225.00
8	212.0	11.59	4.835	12.09	231.70
Mean	212.6	11.64	4.818	12.05	215.50
SD	3.2	0.17	0.088	0.22	13.21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.12 ความแข็งกด

Sample Number	TPAS/LDPE	TPAS/LDPE +agar 4%	TPAS/LDPE +agar 10%	TPAS/LDPE +chitosan 4%	TPAS/LDPE +chitosan10%
1	25	29	34	35	39
2	26	31	35	36	39
3	26	29	36	35	38
4	25	33	36	35	37
5	26	29	35	36	38
6	27	30	34	35	38
7	26	30	35	36	38
8	26	29	36	34	37
9	26	31	34	34	39
10	25	30	36	34	39
mean	25.8	30.1	35.1	35.0	38.2
SD	0.6325	1.2867	0.8756	0.8165	0.7888

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ดัชนีการไหล

ตารางที่ ข.1 ดัชนีการไหล (Melt Flow Index)

Sample Number	TPAS/LDPE	TPAS/LDPE +agar 4%	TPAS/LDPE +agar 10%	TPAS/LDPE +chitosan 4%	TPAS/LDPE +chitosan 10%
1	6.856	4.206	3.87	1.418	1.288
2	5.636	6.38	3.694	1.784	1.332
3	5.442	4.48	4.322	1.656	1.43
4	7.122	5.624	2.42	1.502	1.226
5	5.632	5.22	3.816	1.858	1.352
6	5.206	6.404	3.084	2.326	1.42
7	4.304	4.86	2.55	2.486	1.414
8	4.75	5.36	3.28	1.9	-
Mean	5.6185	5.3168	3.3795	1.8663	1.3517
SD	0.9618	0.8072	0.6681	0.3744	0.0763

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การย่อยสลาย

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบ โดยการฝังดิน

วันที่	น้ำหนัก (%)				
	TPAS/LDPE	TPAS/LDPE +Agar 4%	TPAS/LDPE +Agar 10%	TPAS/LDPE +Chitosan 4%	TPAS/LDPE +Chitosan 10%
0	0	0	0	0	0
2	8.6132	3.0987	1.6624	1.4489	2.3050
3	19.0513	6.2005	3.1981	2.6156	4.4624
4	15.7608	4.8383	2.8907	2.3457	3.5208
5	16.0426	5.6658	3.2895	2.6412	3.9861
6	17.0235	6.3884	3.5567	2.8564	4.2938
7	17.9532	7.1400	3.9006	3.1081	4.6712
8	19.0696	7.9061	4.2446	3.3744	5.0485
10	19.6040	9.8284	5.0093	3.9508	5.9681
13	19.5966	10.9413	5.3496	4.2755	6.3931
15	20.6252	12.2891	5.9278	4.7352	7.0452
18	20.1310	13.7127	6.4693	5.1802	7.6974
21	19.4063	14.5908	6.8865	5.5012	8.0821
26	19.6040	15.8988	7.7903	6.2199	9.0969
33	18.2460	17.3984	9.0307	7.0954	10.4268
39	16.8039	18.1969	9.8540	7.7338	11.2365
47	15.4643	18.8654	10.9078	8.5656	12.1927
51	13.6745	18.9051	11.7787	9.1639	12.7239
63	13.6781	19.2593	12.9643	9.9774	13.7974

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้