

การเพิ่มความแข็งแรงของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังด้วย
ไททานเนียมไดออกไซด์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การเพิ่มความแข็งแรงของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังด้วย

ไททานเนียมไดออกไซด์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENHANCEMENT OF STRENGTH OF BIOPLASTIC FROM TAPIOCA
STARCH CONTAINED TITANIUM DIOXIDE



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การเพิ่มความแข็งแรงของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังด้วย
ไททาเนียมไดออกไซด์
โดย นางสาวปัทมญา แม่นดวง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ
(อ.ศิริพันธ์ มุรรธาธิกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การเพิ่มความแข็งแรงของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังด้วยไททาเนียมไดออกไซด์
โดย	นางสาวปพิชญา แม่นดวง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีความสนใจในการใช้และการเพิ่มประสิทธิภาพของพลาสติกชีวภาพ ซึ่งผลิตจากพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตสายยาวสามารถพบได้ในแป้งมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้จึงสนใจผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอลดิบเป็นพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่ส่งผลต่อการเพิ่มสมบัติเชิงกลและการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ โดยกำหนดปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ ดังนี้ 0 %, 1 %, 3 %, 5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก ในการผลิตพลาสติกชีวภาพมีการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และกลีเซอรอลดิบเป็นพลาสติกไซเซอร์แล้วนำส่วนผสมดังกล่าวมาผ่านวิธีการหล่อด้วยตัวทำละลาย โดยกำหนดสัดส่วนปริมาณน้ำต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 4 : 1 และ 6 : 1 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพด้วยแรงดึงที่แสดงผลเป็นค่าความเครียดและความเค้น ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของพลาสติกชีวภาพ ตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก จะมีค่าความเครียดมากที่สุด เท่ากับ 2.4 MPa แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์จะส่งผลให้ค่าความเครียดลดลง ส่วนค่าความเค้นก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบสัดส่วนปริมาณน้ำต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 4 : 1 จะให้ค่าสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มที่ดีกว่าสัดส่วนปริมาณน้ำต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 6 : 1 ยกเว้นที่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์มากทำให้การกระจายตัวไม่ดี น้ำจึงมีส่วนช่วยให้การกระจายตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ดีขึ้น ส่วนการวิเคราะห์สมบัติการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 78 ชั่วโมง พบว่าพลาสติกชีวภาพจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นตามการเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ส่งผลให้การย่อยสลายดีขึ้น และนอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก หลังจากนำมาฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ส่งผลให้ทั้งความแข็งแรงและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นจากก่อนทดสอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต

Report Title	Enhancement of Strength of Bioplastic from Tapioca Starch Contained Titanium Dioxide
By	Miss Papitchaya Manduang
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2017
Advisor	Asst. Prof. Dr. Kunlanan Kiatkittipong

ABSTRACT

Currently, there has been considerable interest in the use and optimization of biodegradable polymers which originate from polysaccharide that is polymeric carbohydrate molecule and is found in tapioca starch. The purpose of this study was to produce bioplastic from tapioca starch and crude glycerol as a plasticizer. The effects of amount of titanium dioxide (i.e. 0, 1, 3, 5 and 10 wt%) and ratio of water to tapioca starch (i.e. 4 : 1 and 6 : 1) on the mechanical properties and degradation of bioplastic were studied. Fabrication of bioplastic was carried out using water as solvent crude glycerol as plasticizer and through solvent casting method. The mechanical properties were analyzed by tensile test that composed of stress and elongation to indicate strength and elasticity of bioplastic. It was found that the highest stress was 2.4 MPa at titanium dioxide 1 wt% but the stress decreased as amount of titanium dioxide increased and was adverse in term of elongation. As consideration of the ratio water to starch, the ratio of 4 : 1 enhanced in mechanical properties more than ratio of 6 : 1 except at titanium dioxide 10 wt%. Because increasing titanium dioxide affected on decrease in dispersion. Water affected in a progressive distribution of titanium dioxide in mixture. The degradation was analyzed by photodegradation test that carried out under UV light for 78 hours. It was found that the greater the amount of titanium dioxide, the more weight loss occurred. The photodegradation increased as amount of titanium dioxide increased. Moreover, the strength and elasticity of amount of titanium dioxide 1 wt% increased after photodegradation for 12 hours.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยคำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัย ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย และ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ผู้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในเรื่องของอุปกรณ์ต่างๆ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสามท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ และ อ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ ผู้เป็นกรรมการในการตรวจเล่มปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ที่คอยให้คำแนะนำในการเขียนปริญญาานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์แบบ

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์กรรมการสอบที่คอยแนะนำและชี้แนวทางในข้อบกพร่องต่าง ๆ ในปริญญาานิพนธ์เรื่องนี้

ขอขอบพระคุณทั้งเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ช่วยเหลือในเรื่องการดำเนินเอกสารขอใช้อุปกรณ์ทดลองกับเครื่องทดสอบ และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องทดสอบของคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิเคราะห์ผลค่าแรงดึงของพลาสติกชีวภาพ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการผลิตพลาสติก

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ปกครองของผู้จัดทำที่เป็นทั้งกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ผู้จัดทำสามารถทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ปพิชญา แม้นดั่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แป้ง (Starch)	4
2.2 กลีเซอรอลดิบ (Crude glycerol)	6
2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	11
3.1 สารเคมี	11
3.2 อุปกรณ์	11
3.3 เครื่องทดสอบ	11
3.4 วิธีการทดลอง	12
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	15
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกับปริมาณ ไททาเนียมไดออกไซด์ 1 %, 3 %, 5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ	15
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกับปริมาณ ไททาเนียมไดออกไซด์ 1 %, 2 %, 3 %, 4 % และ 5 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ	17
4.3 วิเคราะห์พลาสติกชีวภาพที่ผ่านการย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต	18
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการทดลอง	22
5.2 ข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	26



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติของแป้งเปียกของแป้งชนิดต่าง ๆ	5
ตารางที่ 2.2 ความหนืดของแป้งมันสำปะหลังเมื่อวัดด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer	5
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมแป้งมันสำปะหลัง กลิเซอรอลดิบ และน้ำกลั่น	12
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมแป้งมันสำปะหลัง กลิเซอรอลดิบ และ ไททาเนียมไดออกไซด์	13
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทั่วไปของกลีเซอรอลดิบ	27
ตารางที่ ก.2 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไฟไอปรอท	27
ตารางที่ ก.3 สัดส่วน % โดยน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ	27
ตารางที่ ก.4 สัดส่วนน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ	28
ตารางที่ ก.5 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องอัดเบา	30
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องทดสอบแรงดึง	31
ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองจากการชั่งน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	32
ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองจากการชั่งน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	33
ตารางที่ ค.3 ค่าความเครียดและความเค้นของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	33
ตารางที่ ค.4 ค่าความเครียดและความเค้นของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	34
ตารางที่ ค.5 ค่าความเครียดของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต	34

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.6 ค่าความเค้นของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททานเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต	35
ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองจากการซึ้่น้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททานเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	36
ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองจากการซึ้่น้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักร้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททานเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	37



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของ แอานาเทส, รูไทล์ และ บรึคโคท	6
รูปที่ 2.2 กลไกการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์	7
รูปที่ 3.1 กล่องทึบแสงที่มีหลอดไฟไอปรอทสำหรับใช้ในการศึกษา	14
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความเครียด กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ระหว่างสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 และ 6 : 1	15
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความเค้น กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ระหว่างสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 และ 6 : 1	16
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของ ความเครียด กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1	17
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของ ความเค้น กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1	18
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของ % น้ำหนักที่สูญเสีย กับ เวลาที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1	19
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของ % น้ำหนักที่สูญเสีย กับ เวลาที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 6 : 1	19
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของ ความเครียด กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1	20
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของ ความเค้น กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1	20
รูปที่ ก.1 การผสมพลาสติกชีวภาพและให้ความร้อน	29
รูปที่ ก.2 พลาสติกชีวภาพขึ้นรูปในแม่พิมพ์	29
รูปที่ ก.3 ตู้ไฟควบคุมการทำงานของเครื่องอัดเป่า	29
รูปที่ ก.4 ชุดแท่นอัดเป่า	30
รูปที่ ก.5 แสดงลักษณะเครื่องอัดเป่า	30
รูปที่ ก.6 กล่องทึบแสงที่มีหลอดไฟไอปรอท	30
รูปที่ ข.1 เครื่องทดสอบแรงดึง	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลาสติกสังเคราะห์ถูกนำมาใช้แทนวัสดุธรรมชาติอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสมบัติที่พิเศษเช่น ความแข็งแรง, น้ำหนักเบา, ความยืดหยุ่น, ทนต่อความร้อน เป็นต้น ซึ่งสมบัติต่าง ๆ สามารถตอบสนองการใช้งานได้อย่างดี อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยข้อจำกัดของน้ำมันปิโตรเลียมที่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตพลาสติกที่มีอยู่อย่างจำกัด และระยะเวลาของการย่อยสลายปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มสูงขึ้นในปริมาณ 3.75 ล้านตัน/ปี [1] ทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าพลาสติกบางชนิดจะสามารถย่อยสลายได้ง่ายทางธรรมชาติเช่น พอลิคาโพรแลกโตน, พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต และ พอลิแลคติกแอซิด แต่ด้วยราคาที่สูงมาก [2] ทำให้ในโลกปัจจุบันจึงมีการหาทางเลือกใหม่ โดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพ

พลาสติกชีวภาพเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ที่ผลิตมาจากพืชหรือวัตถุดิบในธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติด้วยกระบวนการทางชีวภาพ และวัตถุดิบมีอยู่มากสามารถปลูกทดแทนขึ้นได้ โดยแบ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุด เนื่องจากสามารถนำมาจากพืชหลายชนิด เช่น ข้าว, มันฝรั่ง, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด, ข้าวสาลี หรือพวกธัญพืช เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพคือ แป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากประเทศไทยนั้นเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดของโลก [3] ทำให้มีการผลิตพลาสติกชีวภาพทดแทนพลาสติกสังเคราะห์มากขึ้น

จากงานวิจัยของ Kanjana Uthachay และคณะพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีโมเลกุลที่มีโครงสร้างขดกันเป็นเกลียว ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของอะไมโลส และอะมิโลเพกทินน้อยกว่าเซลลูโลส [4] ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดจากการพองตัวและการเสีรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น แต่ถ้าหากแป้งได้รับความร้อนแป้งจะเกิดการสลายตัวก่อนที่จะเกิดการหลอม แสดงได้ว่าแป้งมีจุดหลอมที่สูงกว่าจุดสลาย [5] จึงทำให้เกิดแนวทางการผลิตพลาสติกชีวภาพโดยการผสมแป้งเข้ากับพลาสติกไซเซออร์ ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเนื้อพลาสติกที่มีเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ โดยมีพลาสติกไซเซออร์คือกลีเซอรอลที่มีสมบัติความชอบน้ำมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างโดยหากกลีเซอรอลผสมกับแป้งจะก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลถูกทำลายทำให้โมเลกุลของอะไมโลส และอะมิโลเพกทินเป็นอิสระมากขึ้นจึงทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง จากงานวิจัยของ Godbillot และคณะ สรุปได้ว่า กลีเซอรอลที่ผสมกับแป้งนั้นมีผลต่อความสามารถของการหลอมตัวของแป้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดอิมตัวของแป้งที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยดังกล่าวมีข้อจำกัดในส่วนของจุดอิมตัวของแป้ง ซึ่งถ้าหากพลาสติกไซเซออร์มีปริมาณการผสมมากกว่าจุดอิมตัวของแป้งก็จะเกิดการรวมตัวเป็นก้อนของแป้งกับพลาสติกไซเซออร์ ส่งผลให้ความสามารถของการหลอมตัวของแป้งลดลง ทำให้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของพลาสติกกล่าวคือสมบัติพลาสติกสามารถปรับปรุงได้ง่ายๆโดยการเติมสารปรับแต่ง ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 10 ชนิดดังนี้คือ สารเร่ง (Accelerators), สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidants), สารป้องกันโอโซน (Antiozonants), สารเพิ่มพอง (Blowing agent), สารเติม (Filler), ผงสี (Pigment), สารเสริมแรง (Reinforcing agents), สารหน่วง (Retarders), สารทำให้นุ่ม (Softeners), สารปรับสภาพพลาสติก (Plasticizers) และ สารวัลแคนไนซ์เซชัน (Vulcanization agents) [8] จากงานวิจัยมีการผสมสารเติมแต่งคือ ไททาเนต (TiNT), ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) และ ไคโตซาน ซึ่งตามงานวิจัยของ Ostafínska และคณะได้มีการสรุปได้ว่า ไททาเนียมไดออกไซด์สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพลาสติกชีวภาพให้มีการกระจายของโมเลกุลดีกว่าสารตัวอื่น ๆ [9]

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารปรับแต่งที่มีสมบัติไวต่อแสง เมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตจะมีอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลเกิดขึ้นแล้วเกิดการทำปฏิกิริยากับน้ำ และออกซิเจนในอากาศได้เป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัล และไฮดรอกซิลเรดิคัล เป็นต้น โดยไฮดรอกซิลเรดิคัลส่วนใหญ่แล้วมีความว่องไวสูงต่อการเกิดปฏิกิริยาที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ซึ่งส่งผลให้เกิดการขาดของสายโซ่ได้ ดังนั้นไททาเนียมไดออกไซด์จึงมีส่วนในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกและยังส่งผลต่อการย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตอีกด้วย

อย่างไรก็ตามยังไม่มียานวิจัยใดที่ศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงสมบัติของพลาสติกชีวภาพที่ใช้กลีเซอรอลดิบเป็นพลาสติกไซเซออร์ โดยมีไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารปรับแต่งพอลิเมอร์ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ความแตกต่างของสัดส่วนระหว่างแป้ง กลีเซอรอลดิบ และไททาเนียมไดออกไซด์โดยพิจารณาถึงสมบัติของพลาสติกชีวภาพก่อนและหลังที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตในเวลาที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนักที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพ
- 2) ผลกระทบของพลาสติกชีวภาพทั้งสมบัติเชิงกลและการย่อยสลายด้วยแสงหลังฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างกลีเซอรอลดิบ แป้งมันสำปะหลัง และ ไททานเนียมไดออกไซด์ ในการผลิตพลาสติกชีวภาพ
- 2) ศึกษาปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ที่ส่งผลต่อโครงสร้างของพลาสติกชีวภาพ
- 3) ศึกษาสมบัติความเป็นพลาสติกชีวภาพที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติ โดยวิเคราะห์ถึงค่าแรงดึงของพลาสติกชีวภาพ
- 4) ศึกษาปริมาณการรับแสงอัลตราไวโอเล็ตของพลาสติกชีวภาพที่มีส่งผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1) ได้พลาสติกชีวภาพต้นแบบ โดยใช้กลีเซอรอลดิบที่เหลือทิ้งจากการผลิตไบโอดีเซลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต
- 2) พลาสติกชีวภาพที่เพิ่มสมบัติของความเป็นเนื้อเดียวกันของกลีเซอรอลดิบกับแป้งมันสำปะหลัง ทั้งความยืดหยุ่น และแรงดึงโดยใช้ไททานเนียมไดออกไซด์



ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายโมเลกุลของพลาสติกชีวภาพโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ นั้นจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ สมบัติของแป้งในด้านพอลิเมอร์ สมบัติของกลีเซอรอล ที่มีผลต่อการผสมกับแป้ง และสมบัติของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อการกระจายตัวของโมเลกุล

2.1 แป้ง (Starch) [5]

2.1.1 สมบัติของแป้ง

การเกิดเจลลาตินในเซชัน (Gelatinization) คือปรากฏการณ์ที่ความหนืดของแป้งเปียกมีค่ามากขึ้น เริ่มจากสมบัติการชอบน้ำของแป้งทำให้แป้งละลายในน้ำ แต่ด้วยโครงสร้างของเม็ดแป้งที่มีรูปร่างแบบร่างแหจึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าหากสารละลายน้ำแป้งได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลแป้งจะคลายตัวลง เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลแป้งกับน้ำมากขึ้น เม็ดแป้งดูดน้ำได้มากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งจึงเหลือน้อยลงทำให้เม็ดแป้งมีการเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ความหนืดของสารละลายแป้งจึงเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลาตินในเซชันเรียกว่า อุณหภูมิเจลลาตินไนซ์ (Gelatinization temperature) โดยความหนืดที่สูงที่สุดของสารละลายแป้งในระหว่างการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันจะแปรผันไปตามชนิดของแป้ง สมบัติของแป้งแต่ละชนิดมีความแตกต่างดังตารางที่ 2.1

การละลาย และการดูดซับน้ำของแป้ง เกิดจากความชื้นโดยเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว หมายความว่าจุดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำรวมไปถึงความชื้นในบรรยากาศ โดยปริมาณน้ำที่แป้งดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งดิบจะไม่สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาตินไนซ์ เนื่องจากระหว่างโมเลกุลของแป้งนั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลเชื่อมต่อกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าอุณหภูมิเจลลาตินไนซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาสร้างพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระแล้ว เม็ดแป้งเกิดการละลายจนมีความหนืดเพิ่มขึ้นส่งผลถึงสมบัติทางกายภาพ เช่น การบิตระนาบแสงโพลาไรซ์ในเม็ดแป้ง ความสามารถในการละลาย เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 สมบัติของแป้งเปียกแต่ละชนิด

สมบัติ	แป้งมันฝรั่ง	แป้งข้าวโพด	แป้งสาลี	แป้งมัน สำปะหลัง	แป้งข้าวโพด เหนียว
อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด	ต่ำ	สูง	สูง	ต่ำ	ปานกลาง
ความหนืด	สูงมาก	ปานกลาง	ค่อนข้างต่ำ	สูง	ค่อนข้างสูง
เนื้อสัมผัส	ยาว	สั้น	สั้น	ยาว	ยาว
ความใส	เกือบใส	ปานกลาง	ขุ่น	ใส	ใส
ความทนต่อแรงเฉือน	ค่อนข้างต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
การเกิดรีโทรเกรเดชัน	ปานกลาง	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำมาก

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Scientific Newport)

2.1.2 คุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง [5]

แป้งมันสำปะหลังเป็นผงละเอียด สีขาว มีลักษณะเป็นทรงกลมหรือรูปไข่ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12-15 ไมโครเมตร ประกอบด้วยแป้งมากกว่า 95 % โปรตีนและไขมันน้อยกว่า 1 % ฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.04 %

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำประมาณ 18-23 % ซึ่งปริมาณอะไมโลสนั้นส่งผลกระทบต่อการพองตัว และความสามารถในการละลายน้ำของแป้ง ซึ่งแป้งมีอะไมโลสสูงจะมีการพองตัวต่ำกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลสที่เป็นเส้นตรงซึ่งทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสได้ดีกว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของแป้ง ดังนั้นในกรณีของแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำจึงเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของแป้งได้ดี ทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำของแป้งสูง จึงมีความหนืดสูง แต่ถ้าหากแป้งเปียกได้รับความร้อนและแรงกลอย่างต่อเนื่องจะทำให้ความหนืดลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีความหนืดที่ไม่คงตัว เป็นข้อจำกัดในการใช้แป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2.2 ความหนืดของแป้งมันสำปะหลังเมื่อวัดด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer

ค่าที่วัด	หน่วยความหนืด (RVU)
ความหนืดเมื่อแป้งพองตัวสูงสุด	256-512
ความหนืดเมื่อแป้งคงตัว	92-169
ความหนืดเมื่อแป้งเย็นตัว	146-241
ความหนืดเมื่อแป้งยุบ	163-350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความหนืดของแป้งมันสำปะหลังเมื่อวัดด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (ต่อ)

ค่าที่วัด	หน่วยความหนืด (RVU)
ความหนืดเมื่อแป้งคืนตัว	54-109

หมายเหตุ : แป้งมันสำปะหลัง 3 กรัม (ความชื้น 14 %) ผสมกับน้ำ 25 มิลลิลิตร

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Sriroth และคณะ,2001)

2.2 กลีเซอรอลดิบ (Crude glycerol) [6]

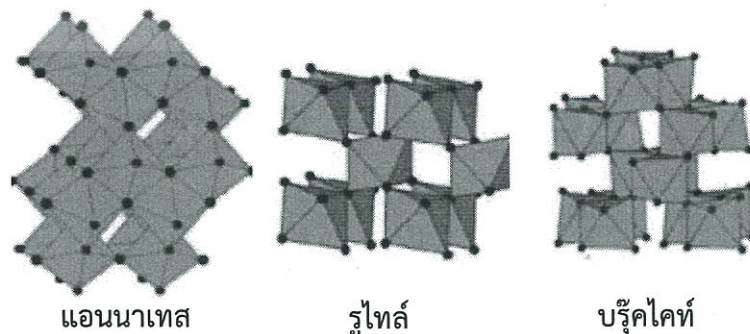
กลีเซอรอลดิบ ในระบบ IUPAC มีชื่อเรียกว่า 1,2,3-propanetriol สูตรโมเลกุล $C_3H_5(OH)_3$ ซึ่งโมเลกุลของกลีเซอรอลดิบนั้นประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงสามารถละลายในน้ำและเอทานอลได้ดี โดยลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้ม มีความบริสุทธิ์ประมาณ 60-80% ซึ่งมีสารประกอบอื่นๆ ตกค้างอยู่ประกอบด้วย กลีเซอแล็ก ไขมัน เมทานอล ไชมัน และน้ำ

จากการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยมีน้ำมันหรือไขมัน (Tri-glyceride) กับแอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้น มีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลหรือ แอลคิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลดิบเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ แสดงดังสมการที่ 2.1



2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) [8]

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบของไททาเนียม มีโครงสร้างผลึกได้ 3 แบบ คือ แอนนาเทส, รูไทล์ และ บรึคไคท์ ดังรูปที่ 2.1

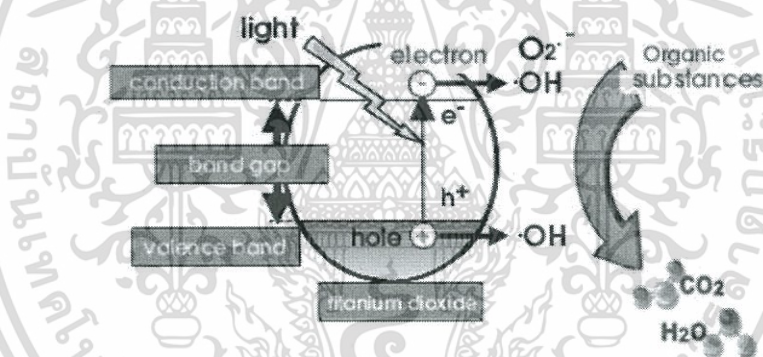


รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของ แอนนาเทส, รูไทล์ และ บรึคไคท์ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กลไกการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ [8]

กลไกการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์โดยกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ให้พลังงานมากกว่าแถบช่องว่างพลังงานของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ พลังงานจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบเวเลนซ์ (Valence - band) เพื่อจะเหนี่ยวนำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปที่แถบคอนดักชัน (Conduction band) ทำให้เกิดช่องว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอนเรียกว่าช่องว่างอิเล็กตรอนหรือโฮลมีประจุบวก โดยโฮลจะทำปฏิกิริยากับน้ำและหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) เกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล (Hydroxyl radical; $\text{OH}\cdot$) ดังสมการ (2.6) ส่วนอิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนแรดิคัล (O_2^-) ดังสมการ (2.7) ซึ่งแรดิคัลที่เกิดขึ้นเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงสามารถทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์สลายกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.2 กลไกการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ [10]

เมื่อโฟลลิเมอร์ดูดกลืนพลังงานอัลตราไวโอเล็ตทำให้เริ่มกระบวนการเสียคุณภาพในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นไปตามกลไกการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ ที่อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้น แต่เนื่องจากอิเล็กตรอนไม่เสถียรทำให้อิเล็กตรอนต้องการกลับสู่สถานะพื้น จึงมีการปลดปล่อยพลังงาน ในกระบวนการกายภาพทางแสง (Photophysical processes) และกระบวนการเคมีทางแสง (Photochemical processes)

2.3.1.1 กระบวนการกายภาพทางแสง [8]

การกระตุ้นอิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้นแบ่งได้ 3 แบบ คือ การถ่ายโอนพลังงาน (Energy transfer) การแผ่รังสี (Radiation) และ ความร้อน (Heat)

1) การถ่ายโอนพลังงาน

การถ่ายโอนพลังงานกระตุ้นด้วยโมเลกุลภายในของพอลิเมอร์ หรือระหว่างโมเลกุลไปสถานะพื้นเดียวกัน โดยโมเลกุลภายในจะดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยหมู่โครโมฟอร์มาเพื่อย้ายโมเลกุลที่ไม่สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ ไปเกิดในปฏิกิริยาต่อไป ส่วนระหว่างโมเลกุลระยะเริ่มต้นสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ แต่มีบางกรณีที่ไม่สามารถดูดกลืนได้ จึงมีการถูกกระตุ้นได้ในทางอ้อมดังสมการต่อไปนี้



เมื่อพอลิเมอร์ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตมากเกินไปทำให้เกิดความไม่เสถียร จึงมีการเติมสารระงับพลังงาน (Quencher) เพื่อถ่ายโอนพลังงานที่มากเกินไป ดังสมการต่อไปนี้



2) การแผ่รังสี

เริ่มจากกระบวนการทางกายภาพของแสงลึกลงด้วยพลังงานที่ปล่อยออกมาสูงในสถานะถูกกระตุ้นที่มีความยาวคลื่นมาก เพื่อกลับไปยังระดับพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำในสถานะพื้นในเวลา 10^{-9} ถึง 10^{-6} วินาที เรียกว่า ฟลูออเรสเซนซ์ ส่วนสถานะสามที่ถูกปล่อยพลังงานในเวลา 10^{-3} ถึง 20 วินาที เรียกว่า การสั่นสะเทือนแบบรามาน (Raman vibrations) ของอิเล็กตรอน อะตอม หรือโมเลกุล

3) ความร้อน

เกิดจากพลังงานที่กระจายอยู่ในแต่ละระดับพลังงาน และพลังงานที่ถูกกระตุ้นจากการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลแบบทาวโทเมอร์ริค

2.3.1.2 กระบวนการเคมีทางแสง [8]

จากพลังงานส่วนเกินของกระบวนการทางกายภาพของแสงจะทำให้เกิดการแตกพันธะโคเวเลนต์สามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีได้อย่างถาวร ซึ่งโอกาสเป็นไปได้ยากเนื่องจากพันธะโคเวเลนต์ของพอลิเมอร์นั้นแข็งแรงมากกว่าพลังงานแสงอัลตราไวโอเล็ต แต่ด้วยความแข็งแรงของพันธะลดลงเมื่อมีการกระตุ้นในส่วนเดิม พันธะ C-H จะถูกกระตุ้นอยู่มากขึ้นในตำแหน่งอัลฟาของกลุ่มไม่อิ่มตัว เช่น C=C และ C=O ส่งผลให้พอลิเมอร์สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้พอที่จะให้พันธะโคเวเลนต์แตกได้เป็นโฟโตลิซิส ซึ่งมีผลกระทบต่อโมเลกุล คือ การแตกแยก (Cleavage), การกำจัดโมเลกุลเล็กๆ (Elimination of small molecule), ความไม่อิ่มตัว (Unsaturation), การจัดเรียงตัวและการเกิดเป็นวง (Rearrangement and cyclization), การเชื่อมโยงของโครงร่างตาข่าย (Cross-linking), การออกซิเดชัน (Oxidation) และ โฟโตไฮโดรลิซิส (Photohydrolysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลาสติกชีวภาพสามารถใช้พอลิเมอร์จากพืชโดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เซลลูโลส และ แป้ง ซึ่งทั้งสองพอลิเมอร์มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ในส่วนของเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง และส่วนแป้งมีโครงสร้างเป็นเกลียวขดกัน ซึ่งการเกิดพอลิเมอร์จะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกันจากงานวิจัยของ Kanjana Uthachay และคณะได้กล่าวไว้ว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของแป้งจะน้อยกว่าเซลลูโลส ทำให้การรวมตัวของแป้งเป็นลักษณะแบบเม็ด เนื่องจากด้วยแรงยึดเหนี่ยวของแป้งน้อยเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดจุดการสลายตัวของแป้งก่อนที่แป้งนั้นจะเกิดการหลอมตัว [4] จากสาเหตุนี้จึงสามารถกล่าวถึงงานวิจัยของ Ning และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยของกรดซิตริกที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจากแป้ง โดยมีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนอยู่ พบว่ากรดซิตริกมีส่วนช่วยในการเพิ่มการกระจายตัว จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ X-ray diffractometry พบว่ากรดซิตริกมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ของแป้งทำให้โมเลกุลของแป้งไม่มีการดูดซับความชื้นได้ ซึ่งถ้าหากแป้งมีการดูดซับความชื้นจะทำให้แป้งไม่มีการรวมตัวกับพอลิเอทิลีน จากผลวิเคราะห์ของกรดซิตริกยังส่งผลต่อการเพิ่มสมบัติเชิงกลในการลดความเหนียว และเพิ่มความสามารถในการไหล เนื่องจากกรดซิตริกมีผลต่อการสลายตัวของโมเลกุล ทำให้แป้งมีโครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกที่ไม่แข็งแรงหรือ สลายให้เสียรูปไป ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงปริมาณของกรดซิตริกที่มีผลต่อความชื้น และสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติก [11]

ด้วยข้อจำกัดของงานวิจัยด้วยเรื่องของกรดซิตริกที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่เทอร์โมพลาสติกได้ดูดซับเข้าไป จึงทำให้มีงานวิจัยของ Shujun และคณะที่มีการศึกษาของกรดอินทรีย์ที่อิมตัวและไม่อิมตัว หรือเรียกอีกอย่างว่า กรดไดเบสิก ซึ่งที่นิยมใช้กันมากก็คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากว่าเป็นกรดอินทรีย์ที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา และมีการคายน้ำออกมาน้อย ในขณะที่มีการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกลายเป็นพอลิเมอร์ จึงมีการนำมาเลอิกแอนไฮไดรด์มาใช้ทดแทนกรดซิตริกเพื่อให้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ได้ทำปฏิกิริยาเชื่อมกึ่งกับพอลิเอทิลีน ช่วยทำให้พอลิเอทิลีนที่เป็นสารไม่มีขีดความสามารถยึดเกาะแป้งที่เป็นสารที่ชอบน้ำเกาะมากยิ่งขึ้น และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ยังมีส่วนช่วยในการเพิ่มสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติก

จากงานวิจัยทำให้ต้องคำนึงถึงธรรมชาติของแป้งที่เป็นสารที่ชอบน้ำ [12] จึงมีงานวิจัยของ Raquez และคณะที่ได้อธิบายถึงการทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติก คือเทอร์โมพลาสติกที่มีกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบอยู่ มีการสลายตัวได้ช้าเนื่องจากความร้อนนั้นสามารถระเหยน้ำในกลีเซอรอลออกไปเสียก่อน [13] แสดงได้ว่าเทอร์โมพลาสติกยังคงมีความสามารถในการดูดซับน้ำจึงมีงานวิจัยของ Godbillot และคณะที่แสดงถึงจุดอิมตัวของแป้งที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์และความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน ซึ่งหากมีปริมาณของกลีเซอรอลมากเกินไปจะมีกลีเซอรอลบางส่วนที่จับเกาะตัวกับแป้งบางส่วนแยก

ออกเป็นอิสระ หรือ กลีเซอรอลส่วนหนึ่งจับตัวเกาะกับแป้งบางส่วนจับกับน้ำ ซึ่งผลวิเคราะห์แสดงให้เห็น

ว่าสมบัติของแป้งสามารถดูดซับพลาสติกไซเซอรันได้แต่ด้วยขีดจำกัดของจุดอิ่มตัวแป้ง ทำให้ในการเพิ่มปริมาณของพลาสติกไซเซอรันมีอยู่อย่างจำกัด [14] จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงมีงานวิจัยของ Yun และคณะที่ได้ศึกษาการผสมไททาเนียมไดออกไซด์ในเทอร์โมพลาสติกเพื่อกระจายตัวของโมเลกุลแป้ง พบว่าการเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณของน้ำที่ถูกดูดซับในเทอร์โมพลาสติกน้อยลง เนื่องจากการเพิ่มไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อไปแทรกระหว่างองค์ประกอบของฟิล์มเทอร์โมพลาสติก ซึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำกับแป้งไม่ได้เชื่อมต่อกัน [15] แต่ด้วยข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือหากเพิ่มไททาเนียมไดออกไซด์ ในปริมาณมาก ๆ จะส่งผลให้ความสามารถของการละลายในเทอร์โมพลาสติกก็จะลดลงและยังส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกในกรณีที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ตามงานวิจัยของ Y K Krisnandi ได้กล่าวถึงไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณมากแรงดึงของพลาสติกชีวภาพจะเพิ่มขึ้นตาม เป็นเพราะเกิดจากการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ [16]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) แป้งมันสำปะหลัง ตราปลาไทย
- 2) กลีเซอรอลดิบ
- 3) ไททาเนียมไดออกไซด์ รูปผลึกแบบแอนนาเทส
- 4) ซิลิกาเจล

3.2 อุปกรณ์

- 1) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 2) ข้อนตักสาร
- 3) Beaker
- 4) เครื่อง Hot plate
- 5) Magnetic bar
- 6) แท่งคนสาร
- 7) เทอร์โมมิเตอร์
- 8) แม่พิมพ์
- 9) เครื่องอัดเข้า รุ่น PR2D-W300L350-PM-WCL-HMI
- 10) ถาด
- 11) ตู้อบ
- 12) เกียง
- 13) โถดูดความชื้น
- 14) หลอดไฟไอปรอท

3.3 เครื่องทดสอบ

- 1) เครื่องทดสอบแรงดึง 50 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

- 1) อบแป้งมันสำปะหลัง 120°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 2) ผสมแป้งมันสำปะหลัง น้ำ (ตัวทำละลาย) และ กลีเซอรอลดิบ ณ อุณหภูมิห้องตามสัดส่วนในตารางที่ 3.1 โดยผสมใน Beaker ใช้เครื่อง Hot plate กับ Magnetic bar ในการผสมเป็นเวลา 10 นาที
- 3) ให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 นาที
- 4) เทลงบนแม่พิมพ์แล้วอัดด้วยเครื่องอัดเข้าใช้ความดัน 500 psi เพื่อไล่อากาศออก เป็นเวลา 30 นาที
- 5) ปล่อยให้ความชื้นด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 6) เก็บในโถดูดความชื้น

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอลดิบ และ น้ำกลั่น

แป้งมันสำปะหลัง (% โดยน้ำหนัก)	กลีเซอรอลดิบ (% โดยน้ำหนัก)	น้ำกลั่น : แป้งมันสำปะหลัง (โดยน้ำหนัก)
50	50	4 : 1
50	50	6 : 1

3.4.2 การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์

- 1) อบแป้งมันสำปะหลัง 120°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 2) ผสมไททาเนียมไดออกไซด์ 1 % , 3 % , 5 % และ 10 % โดยน้ำหนักกับน้ำกลั่น 2 นาที ณ อุณหภูมิห้องแล้วค่อยผสมกับแป้งมันสำปะหลัง และ กลีเซอรอลดิบตามตารางที่ 3.2 โดยผสมใน Beaker ใช้เครื่อง Hot plate กับ Magnetic bar ในการผสมเป็นเวลา 10 นาที ณ อุณหภูมิห้อง
- 3) ให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 นาที
- 4) เทลงบนแม่พิมพ์แล้วอัดด้วยเครื่องอัดเข้าใช้ความดัน 500 psi เพื่อไล่อากาศออก เป็นเวลา 30 นาที
- 5) ปล่อยให้ความชื้นด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 6) เก็บในโถดูดความชื้น

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอร์อลติบ และ โททาเนียมไดออกไซด์

สัดส่วน น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง : % โททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	% โดยน้ำหนัก		
	แป้งมัน สำปะหลัง	กลีเซอร์อลติบ	โททาเนียม ไดออกไซด์
4 : 1 : 1 %	49.5	49.5	1
4 : 1 : 3 %	48.5	48.5	3
4 : 1 : 5 %	47.5	47.5	5
4 : 1 : 10 %	45	45	10
6 : 1 : 1 %	49.5	49.5	1
6 : 1 : 3 %	48.5	48.5	3
6 : 1 : 5 %	47.5	47.5	5
6 : 1 : 10 %	45	45	10

3.4.3 การทดลองย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจาก ข้อ 3.4.1 และ 3.4.2

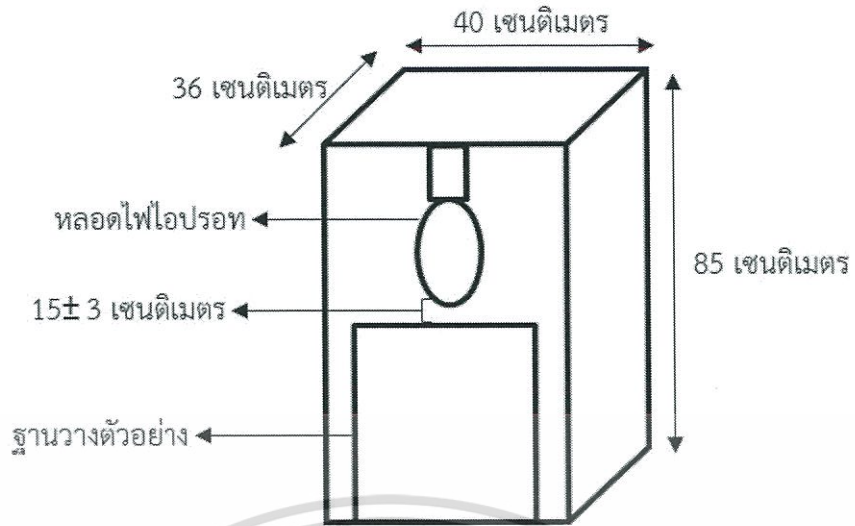
ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้หลอดไฟไอปรอท ในระยะเวลาทั้งหมด 78 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักทุก ๆ 6 ชั่วโมง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ

3.4.4 การทดสอบแรงดึงของพลาสติกชีวภาพจากการเตรียมของข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 การทดสอบแรงดึงจะตั้งค่าเครื่องทดสอบแรงดึง ระยะห่างการดึง ความยาว 2 เซนติเมตร ความกว้าง 1 เซนติเมตร และ ความหนา 1 มิลลิเมตร

3.4.5 วิเคราะห์สัดส่วนที่ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอร์อลติบ และ น้ำกลั่นจากการทดสอบแรงดึง

3.4.6 การทดลองย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตของพลาสติกชีวภาพที่ได้สัดส่วนจาก วิเคราะห์ในข้อ 3.4.5

- 1) ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้หลอดไฟไอปรอท ในระยะเวลาทั้งหมด 60 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุก ๆ 6 ชั่วโมง
- 2) ไปทดสอบแรงดึงโดยตั้งค่าเครื่องทดสอบระยะห่างความยาว 2 เซนติเมตร ความกว้าง 1 เซนติเมตร และ ความหนา 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1 กล่องทึบแสงที่มีหลอดไฟโอบรอตสำหรับการศึกษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

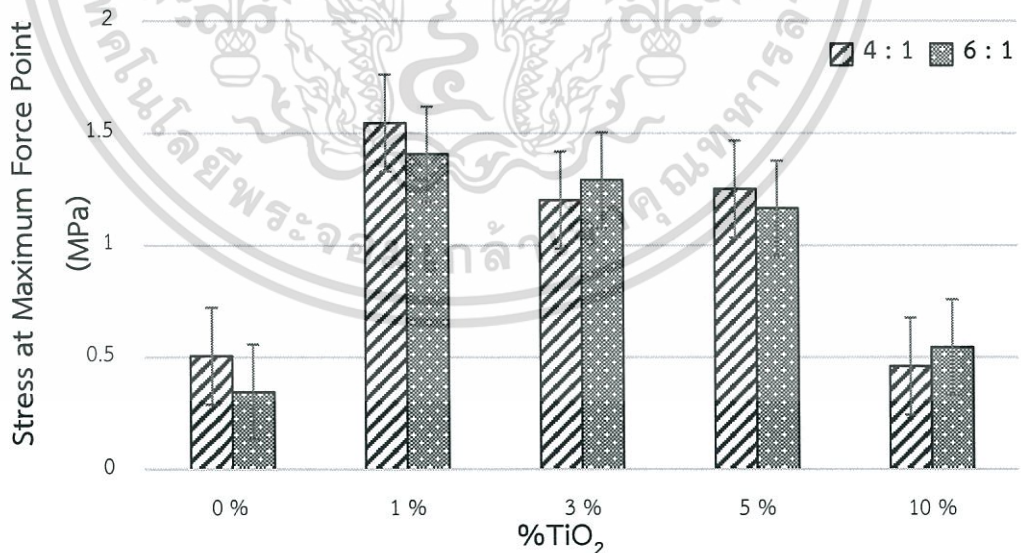
จากงานวิจัยเล่มนี้ได้ผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง โดยเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกล และการย่อยสลายด้วยแสงของพลาสติกชีวภาพที่ผสมและไม่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์ โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ เพื่อหาปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมของพลาสติกชีวภาพ

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกับปริมาณ

ไททาเนียมไดออกไซด์ 1 %, 3 %, 5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

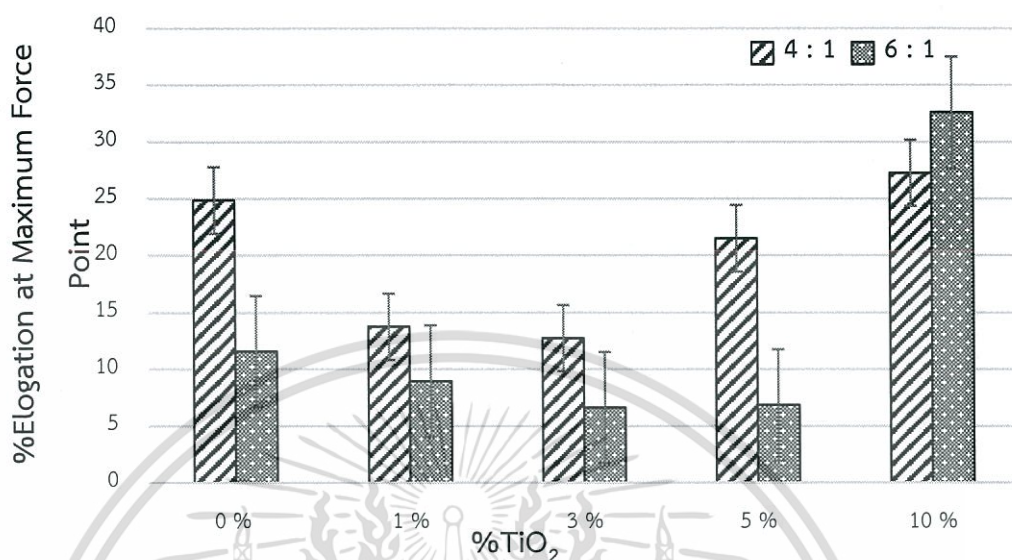
ในการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกับปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ ทำการวิเคราะห์ค่าความเครียด และความเค้นของพลาสติกชีวภาพที่ผสมไททาเนียมไดออกไซด์ 1 %, 3 %, 5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

4.1.1 วิเคราะห์ค่าความเครียดของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 และ 6 : 1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของความเครียด กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ระหว่างสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 และ 6 : 1

4.1.2 วิเคราะห์ค่าความเค้นของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 และ 6 : 1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของความเค้น กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ระหว่างสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 และ 6 : 1

การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพด้วยแรงดึงโดยเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณน้ำต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 4 : 1 และ 6 : 1 พบว่าสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 ค่าความเครียดและความเค้นมากกว่าพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 6 : 1 เนื่องจากเมื่อพลาสติกชีวภาพมีสัดส่วนของน้ำน้อยกว่า ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งมีปริมาณน้อยกว่า ซึ่งทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น จึงเกิดความหนืดมากขึ้น ทำให้ส่งผลให้ค่าความเครียดและความเค้นสูงกว่า แต่ที่ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก ในสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 6 : 1 ค่าความเครียดและความเค้นมากกว่าสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 เนื่องจากปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากเกินไป ทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์เกิดการกระจายตัวได้ไม่ดี น้ำจึงช่วยในการกระจายตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ให้ดีขึ้น

หากเปรียบเทียบปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ในพลาสติกชีวภาพที่แตกต่างกันดังนี้ 0 %, 1 %, 3 %, 5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก มีความเครียดมากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ค่าความเครียดจะลดลงเนื่องจากความเป็นผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์มากขึ้น เพราะกลีเซอรอลดิบ และแป้งมันสำปะหลังมีความสามารถในการละลายน้ำได้ แต่ไททาเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงส่งผลเกิดการแยกของวัฏภาคทำให้ค่าความเครียดลดลง แต่สามารถทำให้ค่าความเค้นมากขึ้นได้เพราะมีปริมาณ

ไททาเนียมไดออกไซด์มากจนความเป็นผลึกนั้นมีแต่ไททาเนียมไดออกไซด์ และด้วยสมบัติไททาเนียมไดออกไซด์ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพ

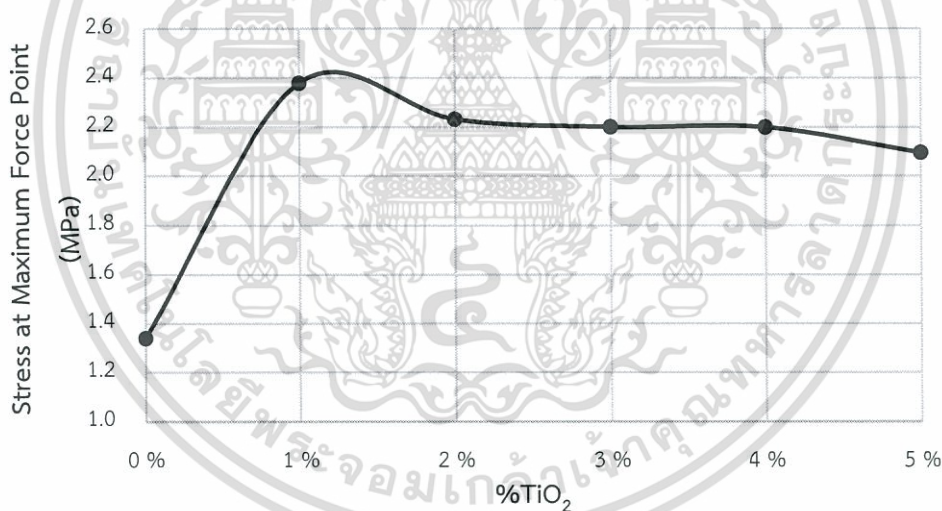
(จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 % ถึง 5 % โดยน้ำหนัก ให้ผลได้ไม่สอดคล้อง)

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกับปริมาณ

ไททาเนียมไดออกไซด์ 1 %, 2 %, 3 %, 4 % และ 5 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

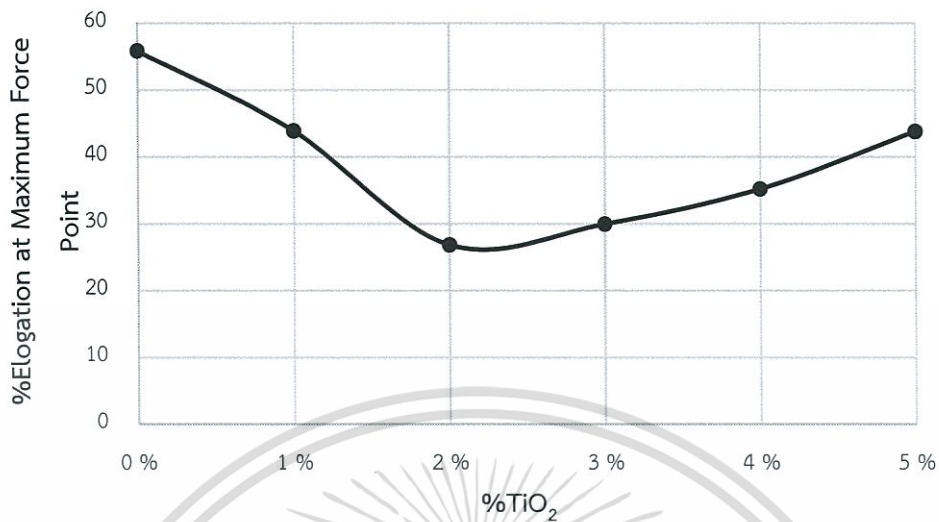
จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ในพลาสติกชีวภาพที่ทำให้พลาสติกชีวภาพมีความเครียดสูง อยู่ในช่วง 1% - 5% โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเลือกปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ในช่วงดังกล่าวคือ 1 %, 2 %, 3 %, 4 % และ 5 % โดยน้ำหนัก มาทำการวิเคราะห์ค่าความเครียดและความเค้นของพลาสติกชีวภาพ เพื่อหาปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ในพลาสติกที่เหมาะสมที่สุด

4.2.1 วิเคราะห์ค่าความเครียดของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของ ความเครียด กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนักของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1

4.2.2 วิเคราะห์ค่าความเค้นของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1



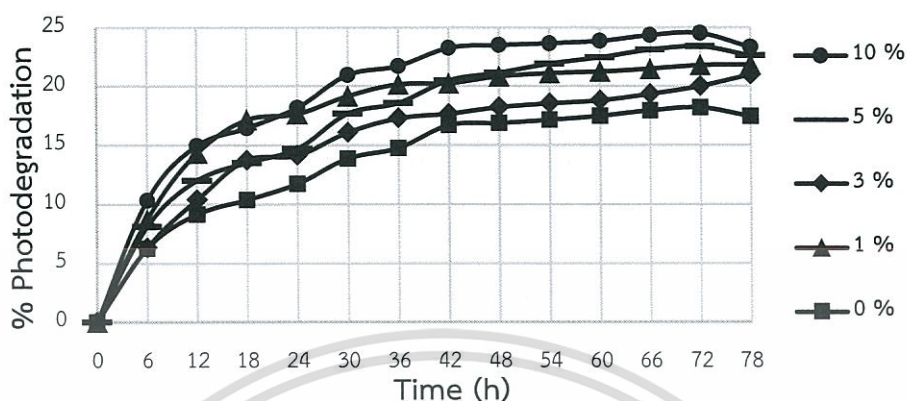
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของ ความเค้น กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1

จากผลการทดสอบแรงดึงพบว่าสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 มีค่าความเครียดมากที่สุด ดังนั้นจึงใช้สัดส่วนดังกล่าว มาเปรียบเทียบกับปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันดังนี้ 0 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 % และ 5 % โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก ทำให้เกิดความเครียดมากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ค่าความเครียดจะลดลงเรื่อยๆ เพราะความเป็นผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มากขึ้น ส่วนค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่น้อยกว่าค่าความเค้นของปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก

4.3 วิเคราะห์พลาสติกชีวภาพที่ผ่านการทดลองย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต

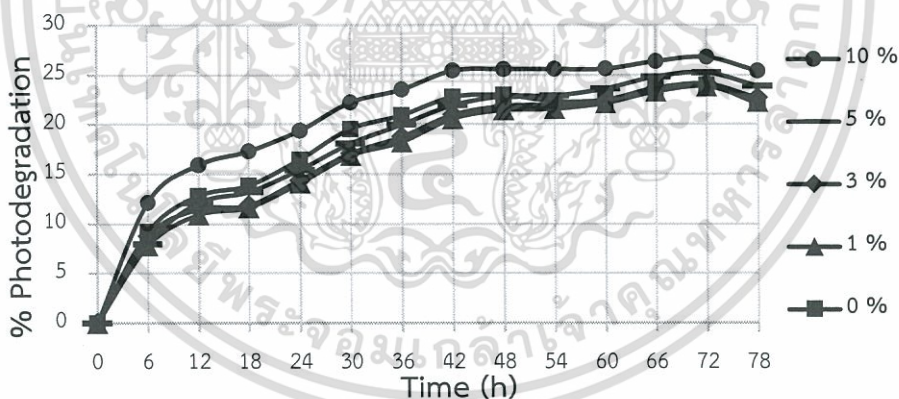
ในการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตของพลาสติกชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 กับ 6 : 1 ที่มีปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ 1 %, 3 %, 5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง
เป็น 4 : 1



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของ % น้ำหนักที่สูญเสีย กับ เวลาที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต
ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง
เป็น 6 : 1

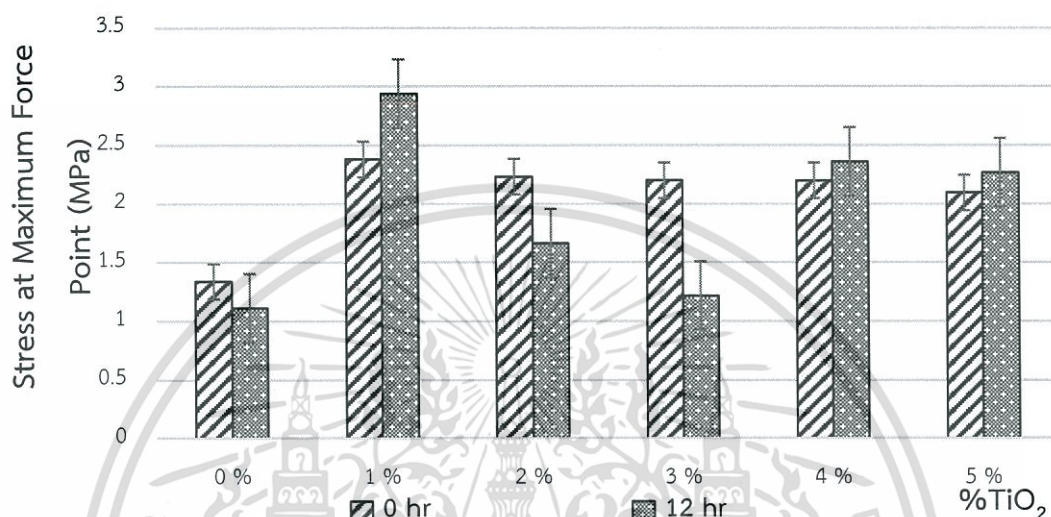


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของ % น้ำหนักที่สูญเสีย กับ เวลาที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต
ของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 6 : 1

จากผลการทดลองของพลาสติกชีวภาพโดยเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 กับ 6 : 1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์มากขึ้นส่งผลให้น้ำหนักของพลาสติกชีวภาพลดลง เนื่องจากเกิดการตัดขาดของสายโซ่พอลิเมอร์จากอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล และอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ อีกสาเหตุหนึ่งคือพบว่าสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 6 : 1 มีการย่อยสลายได้

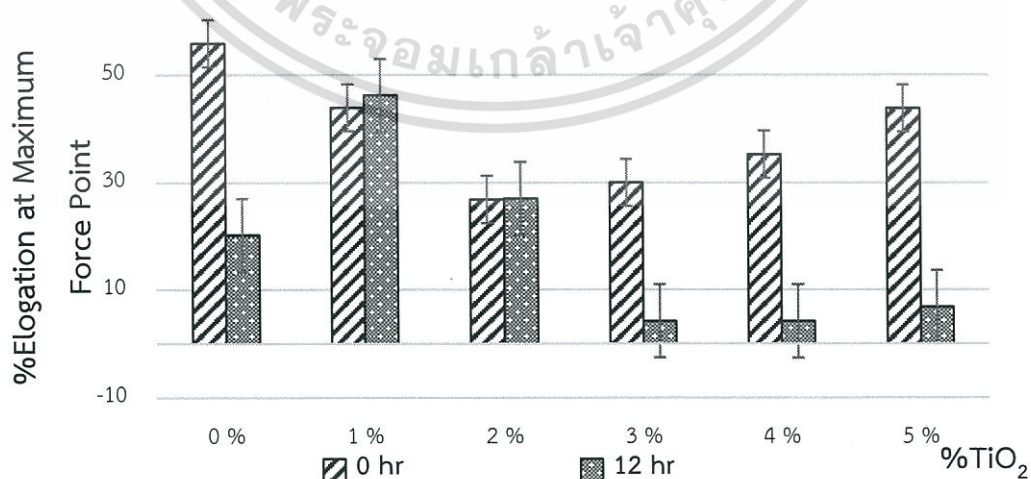
มากกว่าสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 เพราะอาจเกิดการระเหยของน้ำออกจากพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากอุณหภูมิภายในการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตสูงถึง 105 °C

4.3.3 วิเคราะห์ค่าความเครียดของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 โดยผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของ ความเครียด กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนักของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1

4.3.4 วิเคราะห์ค่าความเค้นของพลาสติกชีวภาพที่มีสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 โดยผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของ ความเค้น กับ % ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนักของสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบแรงดึงของพลาสติกชีวภาพผสมปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ดังนี้ 0 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 % และ 5 % โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก เมื่อได้รับการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้ค่าความเครียดและความเค้นมากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากมีการเชื่อมโยงของสายพอลิเมอร์เกิดขึ้น และด้วยสมบัติของไททานเนียมไดออกไซด์ แล้วยังพบว่าปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ 4 % และ 5 % โดยน้ำหนัก เมื่อฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตมีค่าความเครียดมากกว่าก่อนฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต เพราะว่าปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์มีปริมาณที่มากเมื่อได้ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลและอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ เพื่อเข้าไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ จึงทำให้สมบัติของพลาสติกชีวภาพแข็งแรงส่งผลถึงค่าความเครียดที่มากขึ้น ส่วนพลาสติกชีวภาพไม่ผสมไททานเนียมไดออกไซด์มีความเค้นเพิ่มขึ้น เพราะด้วยอุณหภูมิในการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตสูงถึง 105 °C ทำให้เกิดการพองตัวของแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอลดิบที่ช่วยความยืดหยุ่นพลาสติกดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพผสมปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ดังนี้ 0 %, 1 %, 3 %, 5 % และ 10 % โดยน้ำหนัก มีสัดส่วนแป้งมันสำปะหลัง 50 % โดยน้ำหนัก กลีเซอรอลดิบ 50 % โดยน้ำหนัก และ สัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 และ 6 : 1 โดยได้วิเคราะห์ทั้งสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพก่อน - หลังฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต และการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพที่ผสมปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ 0 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4%, 5% และ 10 % โดยน้ำหนัก พบว่าสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 ที่ปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก ให้ค่าความเครียดมากที่สุด เพราะเป็นปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ที่สามารถกระจายโมเลกุลไปแทรกเป็นเนื้อเดียวกันกับแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอลดิบได้ ส่วนปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ที่ 10 % โดยน้ำหนัก พบว่า สัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 6 : 1 ให้ค่าความเครียดและความเค้นมากกว่าสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 เพราะปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ที่ 10% โดยน้ำหนัก สามารถทำให้เกิดความเป็นผลึกของโมเลกุลไททานเนียมไดออกไซด์ ส่งผลให้โมเลกุลของไททานเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกับแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลดิบได้ และเนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำมีส่วนช่วยในการกระจายตัวของไททานเนียมไดออกไซด์ในแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลดิบให้ดีขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพที่สัดส่วนน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง 6 : 1 โดยน้ำหนัก มีความแข็งแรงกว่าที่สัดส่วนน้ำต่อแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาการทดลองย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าพลาสติกชีวภาพจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นตามการเพิ่มปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ส่งผลให้การย่อยสลายดีขึ้น เพราะเกิดจากการตัดขาดสายโซ่ของพอลิเมอร์ออกด้วยพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล และอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ เมื่อเทียบสัดส่วนน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 4 : 1 กับ 6 : 1 พบว่าน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักพลาสติกชีวภาพ เพราะเมื่อมีน้ำปริมาณมาก น้ำหนักของพลาสติกชีวภาพจะน้อยลง ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิในการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตสูงถึง 105 °C น้ำจึงระเหยออกจากพลาสติกชีวภาพก่อนที่จะเกิดการตัดขาดสายโซ่ของพอลิเมอร์ เมื่อจากนี้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพที่ผสมปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์หลังผ่านการทดลองย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าปริมาณไททานเนียมไดออกไซด์ 1 % โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเครียด และความเค้นเพิ่มขึ้น เพราะเกิดจากทั้งการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ กับเกิดอิเล็กตรอนอิสระพร้อมประกอบด้วยสมบัติเพิ่มความแข็งแรงของไททาเนียมไดออกไซด์

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) หาวิธีการที่ทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์มีการกระจายตัวให้เข้ากันกับแป้งมันสำปะหลัง กับกลีเซอรอลดิบ
- 2) เปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่นๆ เพราะแป้งแต่ละมีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันซึ่งมีผลต่อความหนืดของสารละลายที่เตรียมผลิตพลาสติกชีวภาพ
- 3) เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ธรรมชาติอื่น ๆ เช่น เซลลูโลส ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล, 2011, “Poly(lactic acid): Polyester from Renewable Resources”, พิมพ์ฉบับที่ 77. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ.
- [2] นโยบายพลังงาน, 2014, “แนวทางการส่งเสริมน้ำมันปิโตรเลียมจากขยะพลาสติก”, กระทรวงพลังงาน.
- [3] ภชนก จิตรเที่ยง, ปาลิตา สัจจะบุตรม สุรศักดิ์ สุรนนท์ชัย, และอัญชลี มโนกุล, 2000, “การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทอร์โมพลาสติกจากแป้งเป็นวัสดุประสาน ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะ”, สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] Kanjana Uthachay, Kosin Hachawee, Narain Arsaipanit, Natthaporn Surapat, Wanchai Lerdwittjarud, and Amnard Sittattrakul, 2005, “Preparation and testing of Thermoplastic Starch”, 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology, 18 – 20 October.
- [5] ศรีรอด, เทคโนโลยีของแป้ง, พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- [6] Atchara Niyomdecha, Effects of Crude Glycerin By-Product Form Biodiesel Production in Broiler Diet on Growth Performance Carcass Characteristics and Animal Feed Save Cost, Princess of Naradhiwas University, 2016.
- [7] P. D. Godbillot, L., et al., Analysis of water binding in starch plasticized films. Vol. 96. 2006. 380-386.
- [8] รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย, สารปรับแต่งพอลิเมอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] Ostafińska, A., et al., Thermoplastic starch composites with TiO₂ particles: Preparation, morphology, rheology and mechanical properties. International Journal of Biological Macromolecules, 2017. 101(Supplement C): p. 273-282.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] ขนิษฐา หทัยสมิทธิ์, การประยุกต์ใช้ฟิล์มนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในการลดสีจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 ถนนอิสรภาพ แขวงหริรัญจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600.
- [11] Ning, W., et al., The influence of citric acid on the properties of thermoplastic starch/linear low-density polyethylene blends. *Carbohydrate Polymers*, 2007. 67(3): p. 446-453.
- [12] Shujun, W., Y. Jiugao, and Y. Jinglin, Preparation and characterization of compatible thermoplastic starch/polyethylene blends. *Polymer Degradation and Stability*, 2005. 87(3): p. 395-401.
- [13] Raquez, J.-M., et al., Maleated thermoplastic starch by reactive extrusion. *Carbohydrate Polymers*, 2008. 74(2): p. 159-169.
- [14] Godbillot, L., et al., Analysis of water binding in starch plasticized films. *Food Chemistry*, 2006. 96(3): p. 380-386.
- [15] Yun, Y.H., et al., Preparation and physical properties of starch-based nanocomposite films with the addition of titanium oxide nanoparticles. *Journal of Ceramic Processing Research*, 2012. 13(1): p. 59-64.
- [16] Y K Krisnandi, D G W K D Rasanji, S Z Luthfiyah, Zahara and R Sihombing, Photodegradation study of TiO₂-organoclay modified acetate cellulose bioplastic. *Materials Science and Engineering*, 2017.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง

1. ข้อมูลทั่วไปของสารเคมี

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทั่วไปของกลีเซอรอลดิบ

(จาก GLOBAL GREEN CHEMICALS PUBLIC COMPANY LIMITED)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)	การทดสอบ
กลีเซอรอล	67.84	USP 37
น้ำ	0.87	ASTM E 203-01
เมทานอล	8.9	DIN EN 14110
เถ้า	4.04	ASTM D 482-00a E1
สารอินทรีย์อื่น ๆ	18.36	ISO 2462-1973

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไฟไอปรอท

ยี่ห้อ	Philips
กำลังไฟ (วัตต์)	500
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	220-230
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	≈ 180-780

2. การเตรียมสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอลดิบ และ ไททาเนียม ไดออกไซด์ % โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ก.3 สัดส่วน % โดยน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ

สัดส่วนน้ำหนัก น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง : กลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	% โดยน้ำหนัก		
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอลดิบ	ไททาเนียม ไดออกไซด์
4 : 1 : 1 : 0 %	50	50	0
4 : 1 : 1 : 1 %	49.5	49.5	1
4 : 1 : 1 : 2 %	49	49	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 สัดส่วน % โดยน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ (ต่อ)

สัดส่วนน้ำหนัก น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง : กลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	% โดยน้ำหนัก		
	แป้งมันสำปะหลัง	กลีเซอรอลดิบ	ไททาเนียม ไดออกไซด์
4 : 1 : 1 : 3 %	48.5	48.5	3
4 : 1 : 1 : 4 %	48	48	4
4 : 1 : 1 : 5 %	47.5	47.5	5
4 : 1 : 1 : 10 %	45	45	10
6 : 1 : 1 : 0 %	50	50	0
6 : 1 : 1 : 1 %	49.5	49.5	1
6 : 1 : 1 : 3 %	48.5	48.5	3
6 : 1 : 1 : 5 %	47.5	47.5	5
6 : 1 : 1 : 10 %	45	45	10

3. การเตรียมสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอลดิบ และ ไททาเนียมไดออกไซด์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ก.4 สัดส่วนน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ

สัดส่วนน้ำหนัก น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง : กลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	น้ำหนัก (กรัม)			น้ำหนักตัว ทำละลาย (มิลลิลิตร)
	แป้งมัน สำปะหลัง	กลีเซอรอล ดิบ	ไททาเนียม ไดออกไซด์	น้ำกลั่น
4 : 1 : 1 : 0 %	15	15	0	60
4 : 1 : 1 : 1 %	14.85	14.85	0.3	59.4
4 : 1 : 1 : 2 %	14.7	14.7	0.6	58.8
4 : 1 : 1 : 3 %	14.55	14.55	0.9	58.2
4 : 1 : 1 : 4 %	14.4	14.4	1.2	57.6
4 : 1 : 1 : 5 %	14.25	14.25	1.5	57
4 : 1 : 1 : 10 %	13.5	13.5	3	54
6 : 1 : 1 : 0 %	15	15	0	90
6 : 1 : 1 : 1 %	14.85	14.85	0.3	89.1

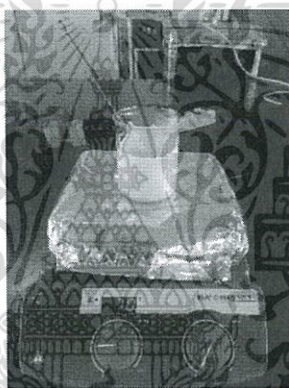
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

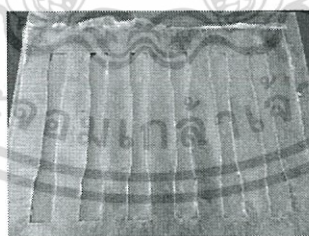
ตารางที่ ก.4 สัดส่วนน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ (ต่อ)

สัดส่วนน้ำหนัก น้ำ : แป้งมันสำปะหลัง : กลีเซอรอลดิบ : % โททานเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก	น้ำหนัก (กรัม)			น้ำหนักตัว ทำละลาย (มิลลิลิตร)
	แป้งมัน สำปะหลัง	กลีเซอรอล ดิบ	โททานเนียม ไดออกไซด์	น้ำกลั่น
6 : 1 : 1 : 3 %	14.55	14.55	0.9	87.3
6 : 1 : 1 : 5 %	14.25	14.25	1.5	85.5
6 : 1 : 1 : 10 %	13.5	13.5	3	81

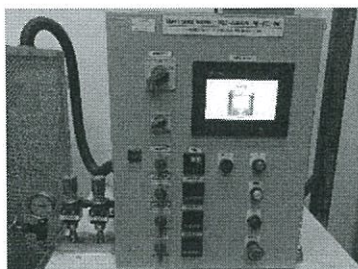
4. การเตรียมขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพด้วยเครื่องอัดเป่า



รูปที่ ก.1 การผสมพลาสติกชีวภาพและให้ความร้อน



รูปที่ ก.2 พลาสติกชีวภาพขึ้นรูปในแม่พิมพ์



รูปที่ ก.3 ตู้ไฟควบคุมการทำงานของเครื่องอัดเป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ชุดแท่นอัดเบ้า

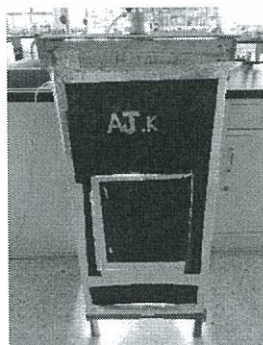
ตารางที่ ก.5 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องอัดเบ้า (จาก บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด)

รุ่น	PR2D-W300L350-PM-WCL-HMI
ความดัน (psi)	0 - 2500
อุณหภูมิ (°C)	300°C
ระบบไฟฟ้า	3 เฟส 380 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์



รูปที่ ก.5 แสดงลักษณะเครื่องอัดเบ้า

5. การเตรียมทดลองย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต



รูปที่ ก.6 กล่องทึบแสงที่มีหลอดไฟไอปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์การทดลองจากเครื่องทดสอบแรงดึง

1. การเตรียมวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องทดสอบแรงดึง

มาตรฐานเครื่องทดสอบ	ASTM Standard
วิธีทดสอบ	Tensile
แรงดึง (นิวตัน)	500
ความเร็ว (มิลลิเมตร/นาที)	50
ก่อนโหลด (นิวตัน)	1
แรงที่สิ้นสุด (นิวตัน)	9.8
% of maximum force to stop when force decrease (%)	20 %

สูตรคำนวณในเครื่องทดสอบแรงดึง

$$\text{Area (A)} = \text{Width (W)} * \text{Thickness (T)}$$

$$\text{Inertia (I)} = (W * T^3) / 12$$



รูปที่ ข.1 เครื่องทดสอบแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการทดลอง

1. ผลการทดลองของพลาสติกชีวภาพที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองจากการชั่งน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักของพลาสติกชีวภาพ (กรัม)				
	4 : 1 : 1 : 0 %	4 : 1 : 1 : 1 %	4 : 1 : 1 : 3 %	4 : 1 : 1 : 5 %	4 : 1 : 1 : 10 %
0	1.383	1.575	1.570	1.136	0.616
6	1.296	1.438	1.471	1.043	0.553
12	1.256	1.350	1.407	0.999	0.524
18	1.239	1.305	1.354	0.982	0.515
24	1.220	1.297	1.348	0.969	0.504
30	1.191	1.273	1.317	0.935	0.487
36	1.178	1.257	1.298	0.925	0.483
42	1.152	1.256	1.292	0.903	0.473
48	1.149	1.247	1.284	0.895	0.472
54	1.145	1.243	1.279	0.887	0.471
60	1.141	1.240	1.274	0.881	0.469
66	1.134	1.237	1.266	0.873	0.466
72	1.131	1.232	1.255	0.870	0.465
78	1.141	1.231	1.240	0.879	0.473

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองจากการชั่งน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)				
	6 : 1 : 1 : 0 %	6 : 1 : 1 : 1 %	6 : 1 : 1 : 3 %	6 : 1 : 1 : 5 %	6 : 1 : 1 : 10 %
0	0.545	0.570	0.741	0.697	0.636
6	0.495	0.525	0.677	0.641	0.559
12	0.476	0.508	0.657	0.612	0.535
18	0.470	0.504	0.654	0.605	0.526
24	0.456	0.490	0.635	0.589	0.513
30	0.439	0.474	0.615	0.571	0.495
36	0.431	0.466	0.602	0.558	0.487
42	0.421	0.453	0.586	0.544	0.475
48	0.420	0.448	0.579	0.538	0.474
54	0.424	0.447	0.578	0.537	0.474
60	0.423	0.444	0.576	0.532	0.473
66	0.416	0.437	0.566	0.524	0.469
72	0.415	0.434	0.563	0.521	0.466
78	0.425	0.443	0.573	0.530	0.475

2. ผลการทดสอบแรงดึงของพลาสติกชีวภาพ

ตารางที่ ค.3 ค่าความเครียดและความเค้นของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก

สัดส่วน	ความเครียด (MPa)	% ความเค้น
4 : 1 : 1 : 0 %	0.506	24.878
4 : 1 : 1 : 1 %	1.545	13.740
4 : 1 : 1 : 3 %	1.200	12.730
4 : 1 : 1 : 5 %	1.250	21.510
4 : 1 : 1 : 10 %	0.460	27.260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ค่าความเครียดและความเค้นของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก (ต่อ)

สัดส่วน	ความเครียด (MPa)	% ความเค้น
6 : 1 : 1 : 0 %	0.345	11.570
6 : 1 : 1 : 1 %	1.407	8.948
6 : 1 : 1 : 3 %	1.290	6.620
6 : 1 : 1 : 5 %	1.165	6.837
6 : 1 : 1 : 10 %	0.545	32.600

ตารางที่ ค.4 ค่าความเครียดและความเค้นของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก

สัดส่วน	ความเครียด (MPa)	% ความเค้น
4 : 1 : 1 : 0 %	1.339	55.896
4 : 1 : 1 : 1 %	2.380	43.907
4 : 1 : 1 : 2 %	2.232	26.816
4 : 1 : 1 : 3 %	2.200	29.962
4 : 1 : 1 : 4 %	2.199	35.190
4 : 1 : 1 : 5 %	2.096	43.800

ตารางที่ ค.5 ค่าความเครียดของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสง อัลตราไวโอเลต

ผลการทดลอง	สัดส่วน	เวลา (ชั่วโมง)				
		0	6	12	24	36
ค่าความเครียด (MPa)	4 : 1 : 1 : 0 %	1.339	0.708	1.111	0.986	0.625
	4 : 1 : 1 : 1 %	2.380	0.677	2.939	1.025	1.340
	4 : 1 : 1 : 2 %	2.232	2.036	1.665	0.704	0.713
	4 : 1 : 1 : 3 %	2.200	1.547	1.217	1.760	0.296
	4 : 1 : 1 : 4 %	2.199	2.043	2.360	0.513	0.780
	4 : 1 : 1 : 5 %	2.096	1.874	2.267	2.138	0.840

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ค่าความเค้นของพลาสติกชีวภาพของสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมัน
 สำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททานเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสง
 อัลตราไวโอเล็ต

ผลการทดลอง	สัดส่วน	เวลา (ชั่วโมง)				
		0	6	12	24	36
% ความเค้น	4 : 1 : 1 : 0 %	55.896	75.444	20.196	11.247	32.880
	4 : 1 : 1 : 1 %	43.907	16.177	46.233	13.284	13.285
	4 : 1 : 1 : 2 %	26.816	24.401	26.978	26.938	78.223
	4 : 1 : 1 : 3 %	29.962	13.944	4.219	4.394	2.113
	4 : 1 : 1 : 4 %	35.190	24.808	4.190	4.398	4.311
	4 : 1 : 1 : 5 %	43.800	26.368	6.820	1.790	3.191



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณ

1. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพลาสติกชีวภาพเมื่อผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตค่าแสดงดังตารางที่ ง.1 และ ง.2

$$\% \text{ น้ำหนักที่สูญเสีย} = \left(\frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \right) \times 100$$

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองจากการชั่งน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

เวลา (ชั่วโมง)	% น้ำหนักที่สูญเสีย				
	4 : 1 : 1 : 0 %	4 : 1 : 1 : 1 %	4 : 1 : 1 : 3 %	4 : 1 : 1 : 5 %	4 : 1 : 1 : 10 %
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	6.256	8.712	6.308	8.111	10.322
12	9.151	14.316	10.382	11.994	14.957
18	10.365	17.156	13.739	13.515	16.457
24	11.731	17.642	14.137	14.703	18.175
30	13.868	19.159	16.072	17.669	20.948
36	14.762	20.175	17.286	18.585	21.707
42	16.693	20.248	17.664	20.489	23.233
48	16.877	20.841	18.226	21.145	23.498
54	17.154	21.110	18.544	21.919	23.641
60	17.492	21.255	18.811	22.456	23.843
66	17.957	21.486	19.348	23.100	24.328
72	18.194	21.787	20.013	23.371	24.513
78	17.467	21.839	20.981	22.621	23.316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองจากการชั่งน้ำหนักของพลาสติกชีวภาพแต่ละสัดส่วนระหว่าง น้ำหนักน้ำ : น้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง : น้ำหนักกลีเซอรอลดิบ : % ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

เวลา (ชั่วโมง)	% น้ำหนักที่สูญเสีย				
	6 : 1 : 1 : 0 %	6 : 1 : 1 : 1 %	6 : 1 : 1 : 3 %	6 : 1 : 1 : 5 %	6 : 1 : 1 : 10 %
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	9.167	7.780	8.727	7.965	12.139
12	12.802	10.894	11.436	12.081	15.901
18	13.838	11.622	11.840	13.182	17.292
24	16.465	14.084	14.368	15.424	19.362
30	19.540	16.863	17.077	18.070	22.207
36	20.922	18.240	18.757	19.970	23.502
42	22.743	20.564	20.944	21.901	25.393
48	22.939	21.436	21.826	22.834	25.552
54	22.330	21.559	21.974	22.895	25.572
60	22.457	22.135	22.342	23.599	25.608
66	23.656	23.295	23.604	24.802	26.356
72	23.955	23.827	24.072	25.207	26.774
78	22.090	22.281	22.645	23.859	25.371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้