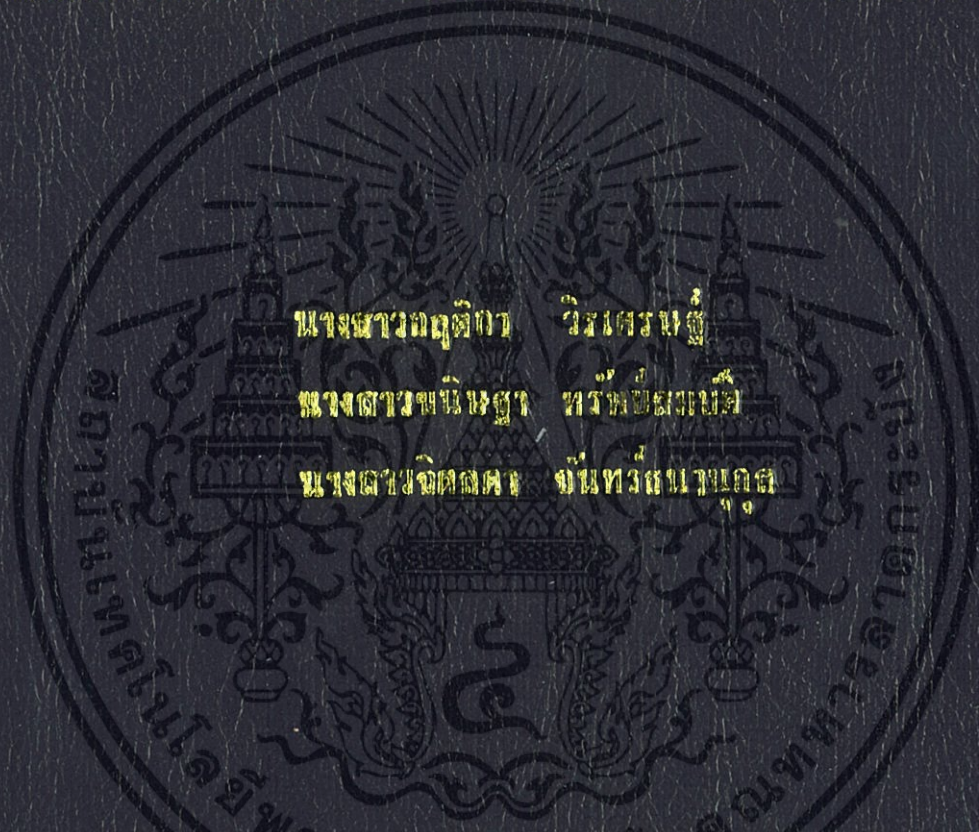


การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ทำจากแป้งมันสำปะหลัง

โดยใช้โซเดียมอัลจีเนตและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

MODIFICATION OF BIODEGRADABLE BANANA STARCH FILMS
USING SODIUM ALGINATE AND POLY(VINYL ALCOHOL)



นางสาวกัญติภา จีระเศรษฐ์

นางสาวนันทิชา ทวีทองนาค

นางสาวจิตติศา จันทร์นันทนถ์

รายงานพิเศษที่เสนอขึ้นเพื่อขอรับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งกล้วย

โดยโซเดียมอัลจิเนตและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

**MODIFICATION OF BIODEGRADABLE BANANA STARCH FILMS
USING SODIUM ALGINATE AND POLY(VINYL ALCOHOL)**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MODIFICATION OF BIODEGRADABLE BANANA STARCH FILMS
USING SODIUM ALGinate AND POLY(VINYL ALCOHOL)**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งกล้วยโดย
โซเดียมอัลจิเนตและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Modification of biodegradable banana starch films using sodium
alginate and poly(vinyl alcohol)

ชื่อนักศึกษา นางสาวกฤติกา วัชรเศรษฐ์
นางสาวขนิษฐา ทรัพย์สมบัติ
นางสาวจิตลดา จันทร์ชนานุกุล

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นราธิป วิทยากร	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	
รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร	

ลิขสิทธิของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งกล้วยโดยโซเดียมอัลจิเนตและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกฤติกา วัชรเศรษฐ์	รหัสนักศึกษา	52050121
	นางสาวชนิษฐา ทรัพย์สมบัติ	รหัสนักศึกษา	52050128
	นางสาวจิตลดา จันทร์ธรรนานุกูล	รหัสนักศึกษา	52050134
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2555		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. จุฑารัตน์ปรีชญาวรากร		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยน้ำว่า โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ เนื่องจากฟิล์มมีสมบัติเชิงกลต่ำและความสามารถในการดูดซับน้ำสูง ดังนั้นจึงปรับปรุงฟิล์มด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และโซเดียมอัลจิเนต โดยใช้ปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ/หรือโซเดียมอัลจิเนตในปริมาณต่างๆ กัน จากเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, (FTIR)) พบว่าพีค OH stretching เคลื่อนไปที่เลขคลื่นที่ลดลงเนื่องจากการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ/หรือโซเดียมอัลจิเนต สำหรับการดูดซับน้ำ ฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากที่สุด แต่ฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับโซเดียมอัลจิเนตดูดซับน้ำน้อยที่สุด ส่วนสมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุดพบในฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % ร่วมกับโซเดียมอัลจิเนต 5 % จากสมบัติทางความร้อนโดยเทอร์โมแกรมใน TGA ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยอัลจิเนตลดลงแต่ไม่เปลี่ยนแปลงสำหรับฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และสำหรับสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงย่อยสลายเร็วที่สุด

คำสำคัญ : ฟิล์มจากแป้งกล้วย, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, โซเดียมอัลจิเนต

Title	Modification of Biodegradable Banana Starch Films using Sodium Alginate and Poly(vinyl alcohol)
Student	Kittika Wirasert Khanittha Subsombut Jitlada Chanthananukul
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2012
Advisor	Assoc.Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

ABSTRACT

This research focuses on the preparation of biodegradable films from banana starch, plasticized by glycerol. Due to the low mechanical properties and high water absorption of the film, the film was, then modified by poly(vinyl alcohol) and sodium alginate. Different contents of poly(vinyl alcohol) and/or sodium alginate were used. From FTIR it was found that the OH stretching peak shifted to lower wavenumber by the addition of poly(vinyl alcohol) and/or sodium alginate. For water absorption the banana film modified by 30 % poly(vinyl alcohol) showed the highest water absorption but the banana film modified by both poly(vinyl alcohol) and sodium alginate showed the lowest water absorption. The highest overall mechanical properties were found in the banana film modified by 5 % poly(vinyl alcohol) and 5 % sodium alginate. From thermal properties from TGA thermograms, the results revealed that the thermal degradation temperature of the banana film modified by alginate decreased but it remained unchanged for the banana film modified by poly(vinyl alcohol). For biodegradability test, the unmodified banana film degraded quickest.

Keywords : Banana starch films, Poly(vinyl alcohol), Sodium Alginate

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดีด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการทำวิจัยในครั้งนี้จาก รศ.ดร. จุฬารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ ความเอาใจใส่จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล และ ผศ.ดร.นราธิป วิทยากร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาตรวจทานและแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยให้ความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะและตอบปัญหาข้อสงสัยต่างๆ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีและบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นักศึกษาทุกคนที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือสนับสนุนการทำโครงการพิเศษฉบับนี้มาตลอดจนสำเร็จสมบูรณ์

อนึ่งยังมีบุคคลอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งให้ความกรุณาช่วยเหลือ ทางผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ขนิษฐา ทรัพย์สมบัติ และคณะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	I
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
สัญลักษณ์และคำย่อ	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลาสติกย่อยสลายได้	4
2.2 แป้ง	11
2.2.1 องค์ประกอบของแป้ง	11
2.2.2 สมบัติของแป้ง	13
2.3 กล้วย	20
2.4 แป้งกล้วย	22
2.4.1 สมบัติทางเคมี	24
2.4.2 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์	24
2.5 พลาสติกไซเซออร์	25
2.5.1 กลไกของพลาสติกไซเซออร์	26
2.5.2 ชนิดของพลาสติกไซเซออร์	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 อัลติเจเนต	28
2.7 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	32
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	38
3.1 สารเคมี	38
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	40
3.3 การทดลอง	44
3.4 การทดสอบ	50
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	53
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของฟิล์มด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลติเจเนต	53
4.2 Fourier – Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	55
4.3 การทดสอบการดูดซับน้ำ	59
4.4 สันฐานวิทยา	67
4.5 สมบัติเชิงกล	76
4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	86
4.7 สมบัติการย่อยสลาย	91
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	109
5.1 สรุปผลงานวิจัย	109
5.2 ข้อเสนอแนะ	111

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	112
ภาคผนวก ก	116
ภาคผนวก ข	119
ภาคผนวก ค	124
ภาคผนวก ง	126
ภาคผนวก จ	132
ภาคผนวก ฉ	138



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขนาดเมล็ดสตราซจากกล้วยสายพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยต่างๆ	23
ตารางที่ 2.2 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดสตราซชนิดต่างๆ	23
ตารางที่ 3.1 สมบัติต่างๆ ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	38
ตารางที่ 3.2 สมบัติของ โซเดียมอัลจิเนต เกรดอาหาร (H050912406) จากบริษัท รวมเคมี จำกัด	38
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนแป้งกล้วย สารละลายอัลจิเนต กติเซอร์อล และน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	46
ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนแป้งกล้วย สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กติเซอร์อล และน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	47
ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนแป้งกล้วย โซเดียมอัลจิเนต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กติเซอร์อล และน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	49
ตารางที่ 3.6 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งกล้วยที่เตรียมได้	51
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนแป้งกล้วยสารละลายอัลจิเนตคติเซอร์อลและน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	53
ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนของแป้งกล้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คติเซอร์อลและน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	54
ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนของแป้งกล้วยอัลจิเนตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คติเซอร์อล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	54
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะฟิล์มจากแป้งกล้วยจากการทดสอบการดูดซับน้ำ	59
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่เตรียมจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต	86
ตารางที่ 4.6 ลักษณะของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยเนื่องจากการฝังดิน	94

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส	12
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	13
รูปที่ 2.3 การพองตัวของเม็ดแป้ง	14
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน	15
รูปที่ 2.5 ลักษณะของแกรนูลแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมหรือ filler ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก	17
รูปที่ 2.6 เม็ดพลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรล	18
รูปที่ 2.7 เม็ดโฟมกันกระแทกที่ผลิตจากแป้งเพื่อใช้ป้องกันการแตกหักของสินค้าที่บรรจุในกล่องระหว่างการขนส่ง	19
รูปที่ 2.8 การจัดเรียงโมเลกุลของสตาโรลแบบเกลียวคู่ของโครงสร้างแบบ A และโครงสร้างแบบ B บนแนวระนาบ a และ b	22
รูปที่ 2.9 ลักษณะเม็ดสตาโรลจากกล้วยดิบ (ก) และเม็ดสตาโรลจากกล้วยสุก (ข) ที่ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	24
รูปที่ 2.10 ชนิดของ block ในอัลจินตรูปแบบ: G-blocks รูปกลาง: M-blocks รูปล่าง: MG-blocks	29
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 2	41
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 3	42
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 4	43
รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงโดยใช้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ กัน	55
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงโดยใช้ อัลจินตปริมาณต่างๆ กัน	57
รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงโดยใช้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินตปริมาณต่างๆ กัน	58
รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %	61

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.5 เฟอร์เซนต์การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจิเนตที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %	62
รูปที่ 4.6 เฟอร์เซนต์การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % , อัลจิเนต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %	63
รูปที่ 4.7 เฟอร์เซนต์การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 % , อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %	64
รูปที่ 4.8 เฟอร์เซนต์การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 % , อัลจิเนต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %	65
รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กาลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่าที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ	68
รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กาลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่าที่ปริมาณสารละลายอัลจิเนตต่างๆ	70
รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กาลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่าที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนตต่างๆ	72
รูปที่ 4.12 ลักษณะฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ	73
รูปที่ 4.13 ลักษณะฟิล์มที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายอัลจิเนตที่ปริมาณสารละลายอัลจิเนตต่างๆ	74
รูปที่ 4.14 ลักษณะฟิล์มที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนตที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนตต่างๆ	75
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ กัน	76

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่มีปริมาณอัลจินตต่างๆ กัน	78
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่มีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินตต่างๆกัน โดยอัตราส่วนเท่ากัน	80
รูปที่ 4.19 สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % อัลจินต 20 % และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจินต 10 % และ 20 %	84
รูปที่ 4.20 (ก) TGA (ข) DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยปรับปรุงสมบัติ โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ กัน	87
รูปที่ 4.21 (ก) TGA (ข) DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยปรับปรุงสมบัติ โดยอัลจินตในปริมาณต่างๆ กัน	88
รูปที่ 4.22 (ก) TGA (ข) DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยปรับปรุงสมบัติ โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินตในปริมาณต่างๆ กัน	89
รูปที่ 4.23 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วย	91
รูปที่ 4.24 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วย สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %	91
รูปที่ 4.25 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วย สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %	91
รูปที่ 4.26 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วย สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %	92
รูปที่ 4.27 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายอัลจินต 10 %	92
รูปที่ 4.28 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายอัลจินต 20 %	92
รูปที่ 4.29 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายอัลจินต 30 %	92
รูปที่ 4.30 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : ละลายอัลจินต 5 %	93

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.31 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : ละลายอัลจินต 10 %	93
รูปที่ 4.32 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : ละลายอัลจินต 15 %	93
รูปที่ 4.33 เพอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการฝังดิน	96
รูปที่ 4.34 เพอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินตที่ได้จากการฝังดิน	97
รูปที่ 4.35 เพอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มจากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจินต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจินต 5 % ที่ได้จากการฝังดิน	98
รูปที่ 4.36 เพอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มจากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจินต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจินต 10 % ที่ได้จากการฝังดิน	99
รูปที่ 4.37 เพอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มจากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจินต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจินต 15 % ที่ได้จากการฝังดิน	100
รูปที่ 4.38 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : สารละลายอัลจินต 5 % ระยะเวลา 1 เดือน	102
รูปที่ 4.39 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : สารละลายอัลจินต 10 % ระยะเวลา 1 เดือน	102
รูปที่ 4.40 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : สารละลายอัลจินต 15 % ระยะเวลา 1 เดือน	102
รูปที่ 4.41 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วย (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	103
รูปที่ 4.42 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	103

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.43 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	104
รูปที่ 4.44 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	104
รูปที่ 4.45 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย อัลจินต 10 %(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	105
รูปที่ 4.46 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย อัลจินต 20 %(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	105
รูปที่ 4.47 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย อัลจินต 30 %(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	106
รูปที่ 4.48 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจินต 5 %(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	106
รูปที่ 4.49 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจินต 10 %(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	107
รูปที่ 4.50 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจินต 15 % (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน	107

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
RO.	อนุมูลอิสระชนิดแอลคอกซี (Alkoxy radical)
.OH	อนุมูลอิสระชนิดไฮดรอกซี (Hydroxy radical)
DP	องศาของการเกิดพอลิเมอร์
PVA	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์
Alg.	อัลจิเนต
FT-IR	เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
SEM	สถานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
TGA	เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส
DTG	อนุพันธ์ของเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส
% w/v	มวลของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร
cm ⁻¹	หน่วยของเลขคลื่นในอินฟราเรดสเปกตรัม
mm	ซึ่งมีความหมายว่า จำนวนลูกคลื่นต่อระยะทาง 1 เซนติเมตร
mm/min	มิลลิเมตร
μm	มิลลิเมตรต่อนาที
MPa	ไมโครเมตร
N	เมกะปาสกาล
	นิวตัน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่ง ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น และนำมาแทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น ไม้ เหล็ก เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก มีน้ำหนักเบาและมีขอบข่ายการใช้งานได้กว้างเนื่องจากเราสามารถผลิตพลาสติกให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้ โดยขึ้นกับการเลือกใช้วัตถุดิบ ปฏิริยาเคมี กระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้อย่างมากมาย และนอกจากนี้ ยังสามารถปรุงแต่งสมบัติได้ง่าย โดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้นจึงทำให้พลาสติกมีบทบาทสำคัญในการใช้ชีวิตของเราในสมัยนี้เป็นอย่างมาก

โดยพลาสติกส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทางปิโตรเลียมและปิโตรเคมี แต่พลาสติกมีข้อจำกัดด้านปริมาณของวัตถุดิบน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งคาดการณ์ว่าจะต้องหมดไปในที่สุด นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดยเฉพาะการเผาไหม้ยังก่อให้เกิดการสะสมของมลภาวะ ซึ่งได้ขยายไปในวงกว้างต่อระบบนิเวศน์ และเนื่องจากพลาสติกถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาในด้านการจัดการและกำจัดขยะพลาสติกเหล่านี้ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบขยะเหล่านี้เป็นจำนวนมาก หรือการกำจัดด้วยวิธีการเผาจะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อม แม้ว่าจะมีการนำขยะพลาสติกเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ (Recycle) จะสามารถช่วยแก้ปัญหาได้เพียงส่วนหนึ่ง แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์

จึงเกิดแนวคิดในการแก้ปัญหา ซึ่งหนึ่งในทางเลือกคือ การเลือกใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ เช่น พอลิแซคคาไรด์ เซลลูโลส อนุพันธ์ของแป้ง อัลจินเนต คาราจีแนน เพคติก โคอิตซาน

โปรตีน เป็นต้น นำมาสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและธรรมชาติ

งานวิจัยและพัฒนาพอลิเมอร์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ได้มีการศึกษาค้นคว้า และวิจัยอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้จะแตกต่างกันตามชนิดของแป้งที่นำไปใช้การสังเคราะห์ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้เลือกศึกษาและทดลองการนำแป้งกล้วยมาสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ในรูปแบบของแผ่นฟิล์ม เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่พบมากในประเทศไทย เจริญเติบโตได้ง่าย ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี หาได้ง่ายราคาถูก และพบว่าในกล้วยดิบมีปริมาณแป้งเป็นปริมาณมาก

จากงานวิจัยของกรรณิการ์ เควีเลาะ และคณะ [1] พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 % และ โซเดียมอัลจิเนต 20 % ที่มีสารเชื่อมโยงเป็นกฏตารอลดีไฮด์ ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด แต่สมบัติเชิงกลที่ได้ยังต่ำกว่าฟิล์มที่ใช้ในทางการค้ามาก งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และโซเดียมอัลจิเนตในปริมาณต่างๆ โดยไม่ใช้สารเชื่อมโยง โดยคาดว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะช่วยปรับปรุงสมบัติการดูดซับน้ำ [2] และโซเดียมอัลจิเนตสามารถปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นฟิล์ม [3] จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เตรียมได้ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัมพันธวิทยา โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน สมบัติการดูดซับน้ำ และสมบัติการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้จากแป้งกล้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย (Banana starch) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ เพื่อทดแทนการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก โดยนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์

1.2.2 เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากแป้งกล้วย โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และโซเดียมอัลจิเนต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ย่อยสลายได้โดยใช้เกลือเซอร์โรลและน้ำเป็นพลาสติกไซเซออร์

1.3.2 เตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ย่อยสลายได้โดยเทคนิคเทหล่อ (Casting)

1.3.2 ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โซเดียมอัลจิเนต ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 10 % 20 % และ 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับอัลจิเนตในอัตราส่วนที่เท่ากัน นั่นคือ 1:1 ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5 % : 5 % 10 % : 10 % และ 15 % : 15 %

1.3.3 เพื่อทดสอบสมบัติของฟิล์มที่เตรียมได้ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน ทัศนวิทยา โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน สมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถผลิตฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย มาใช้ทดแทนพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากในปัจจุบัน

1.4.2 ฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เตรียมได้ มีสมบัติโดยรวมที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.4.3 ช่วยส่งเสริมการใช้วัสดุที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ทดแทนการใช้วัสดุจากการสังเคราะห์

1.4.4 เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตที่ได้จากกล้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติที่ย่อยสลายได้ [4]

เนื่องจากปัจจุบันพลาสติกก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปฝังดินจะย่อยสลายยาก และใช้เวลานานทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ หรือถ้านำไปเผาทำลายจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและมลสารที่ปนเปื้อนในอากาศนี้อาจเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์จึงได้ศึกษาค้นคว้าและผลิตพลาสติกชนิดใหม่ขึ้นมาทดแทนเพื่อช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม

ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้

โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้อาจไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการพิมพ์ด้วยหมึกที่หนา มากบนพื้นผิวเนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม

สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนดโดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4.การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไซครายด์ พอลิคาร์บอนเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีความชื้นจากสภาพแวดล้อมและสารเคมีหรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลน์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5.การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และ

ไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

*มวลชีวภาพหมายถึง มวลรวมของสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในการดำรงชีวิตและเติบโตของสิ่งมีชีวิต ซึ่งรวมถึงพืช สัตว์ และจุลินทรีย์

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้คำว่า พลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ด่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์ แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้ต้องเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อม และคำว่า พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental friendly plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [5]

ในอนาคตมีแนวโน้มการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น มีการค้นพบและพัฒนากระบวนการผลิตใหม่ๆ ทำให้พลาสติกมีราคาที่ต่ำลงและมีสมบัติต่างๆ ดีขึ้น มีกฎข้อบังคับรวมถึงการที่มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะที่สูงขึ้น ทำให้บริษัทต่างๆ ทำการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่มีสมบัติที่หลากหลายแตกต่างกัน บางครั้งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่เกิดการย่อยสลายผ่านกระบวนการทางชีวภาพอย่างแท้จริง เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ปัจจุบันจึงมีหลายองค์กรทั่วโลกได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) ขึ้น และให้คำจำกัดความของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยไว้ ดังนี้

1. ASTM D6400-99 – biodegradable plastic is a degradable plastic in which the degradation results from the action of naturally occurring microorganisms such as bacteria, fungi and algae.

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย ราและสาหร่าย

2. ISO 472:1998 – Biodegradable plastics are plastic designed to undergo a significant change in its chemical structure under specific environmental conditions resulting in a loss of some properties that may vary as measured by standard test methods appropriate to the plastics and application in a period of time that determines its classification. The change in chemical structure results from the action of naturally occurring microorganisms

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ

เป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่างๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกและการใช้งาน ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น

3. BPS Japan (1994) – Biodegradable plastics are polymeric materials which are changed into lower molecular weight compounds where at least one step in the degradation process is through metabolism in the presence of naturally occurring organism.

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ วัสดุพอลิเมอร์ ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลงได้ โดยมีอย่างน้อย 1 ขั้นตอนในกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ

4. DIN FNK103.2 (1993) – A plastic materials is called biodegradable if all its organic compounds undergo a complete biodegradation process Environmental condition and rates of biodegradation are to be determined by standardized test methods. วัสดุพลาสติกจะได้อ้างว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ก็ต่อเมื่อสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม และมีอัตราการย่อยสลายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน

5. CEN (1993) – A degradable material in which the degradation results from the action of microorganisms and ultimately materials is converted to water, carbon dioxide and/or methane and new cell biomass.

วัสดุย่อยสลายได้ คือ วัสดุที่การย่อยสลายเป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้

วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ/หรือ แก๊สมีเทน และมวลชีวภาพใหม่ เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย

สำหรับคำว่า Biodegradation (หรือการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ) ย่อมาจาก Biotic degradation ในมาตรฐานต่างๆ มีคำจำกัดความที่ใช้พื้นฐานแนวคิดเดียวกัน คือ เป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีต่อชิ้นวัสดุ เป็นผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สมีเทนและน้ำ

การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ [6]

1. การใช้งานทางการแพทย์ (Medical applications)

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวนั่งเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยด้วยอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับ การออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2. สารเคลือบกระดาษ หรือโฟม (Paper coatings or foam)

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแสมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

3. ฟิล์มคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร (Film mulching and materials for agriculture)

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืชและรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการ

นำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ด้วงยา ฟูย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

4. ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bags)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

5. ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food waste film and bags)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะอาดไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลี ได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ตันต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

6. บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer packaging materials)

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อย

สลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้

7. โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill)

โฟมเม็ดกันกระแทก (loose fill) โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีน เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

2.2 แป้ง [7]

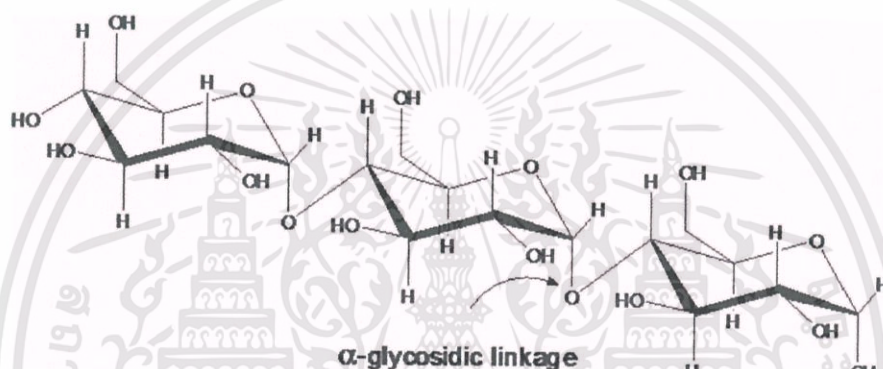
2.2.1 องค์ประกอบของแป้ง

เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากกลูโคสหลายพันโมเลกุลเชื่อมต่อกันละลายน้ำได้เล็กน้อยมีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีโครงสร้างทั้งที่เป็นแบบสายตรงยาวและเป็นแบบกิ่งก้านสาขาแป้งเป็นรูปแบบของคาร์โบไฮเดรตที่พืชใช้ในการเก็บสะสมอาหาร โดยพืชจะมีการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้มาอยู่ในรูปของแป้งแล้วเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ โดยเฉพาะในเมล็ดและหัวในดิน แป้งเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ร่างกายจึงไม่สามารถดูดซึมได้ทันทีที่ต้องการย่อยสลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อนจึงจะสามารถดูดซึมได้โดยในร่างกายของเราจะสามารถย่อยสลายแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้โดยเอนไซม์อะไมเลส และแป้ง (starch) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจาก D-glucose หลายๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 glycosidic แป้งประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนหนึ่งประมาณ 20 % ละลายได้ในน้ำร้อน เรียกว่า

อะไมโลส (Amylose) อีกส่วนหนึ่งประมาณ 80 % ไม่ละลายในน้ำร้อน เรียกว่า อะไมโลเพกติน (Amylopectin)

อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 – glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.1 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย



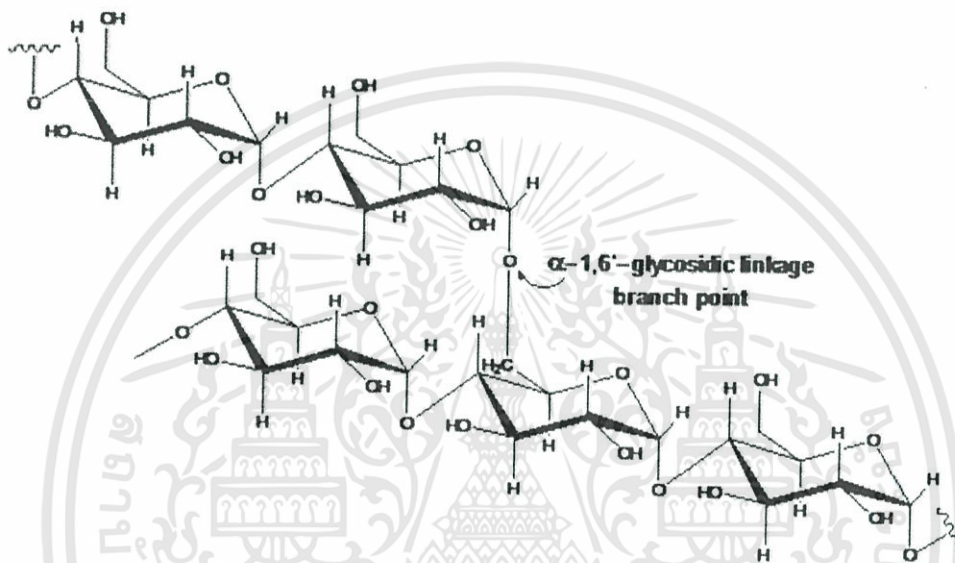
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส [7]

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืชเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณ 22-30 % ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาจะจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า คือ อยู่ในช่วง 18-24 % น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 คาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไปเนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [7]

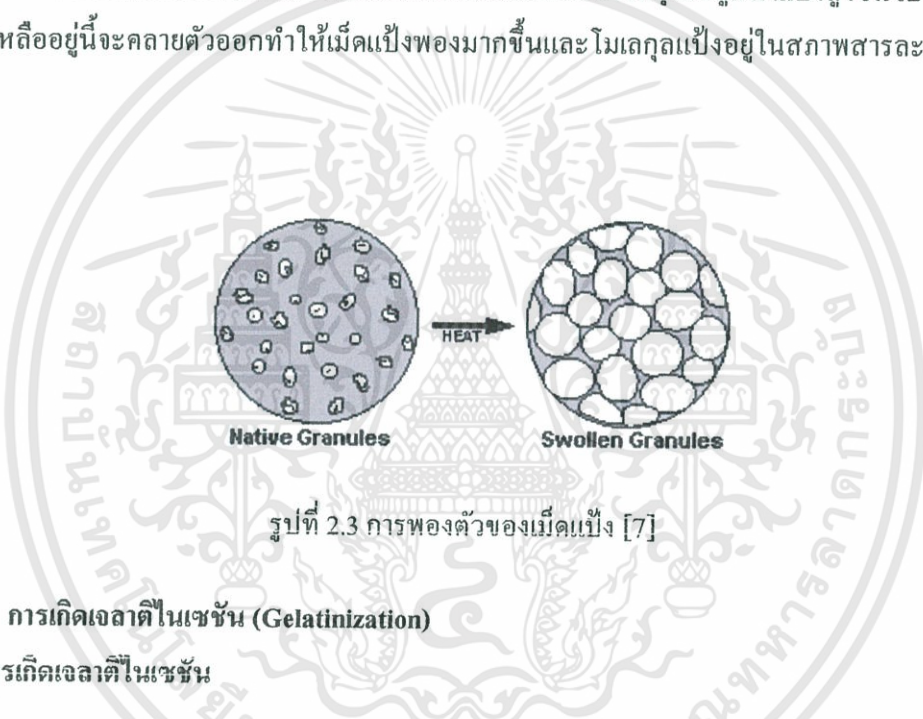
หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมดอะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตัน และมีการคืนตัวต่ำเนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งอะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเมล็ดแป้งดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียวจึงยังสามารถรวมตัวเป็นเมล็ดแป้งได้

2.2.2 สมบัติของแป้ง [7]

1. การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินภายในเมล็ด

แป้ง ในส่วนผลึกโมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของอสัณฐานซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากสามารถเกิดปฏิกิริยา Hydration ได้บ้างแม้ในน้ำเย็นเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 °C ขึ้นไป ส่วนของอสัณฐานจับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วนผลึกเริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.3) โมเลกุลในส่วนผลึกที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้งเมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วนผลึกที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารถละลายมากขึ้น



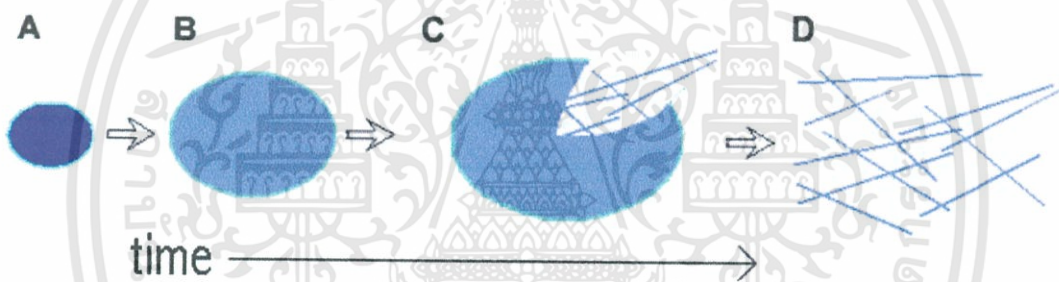
รูปที่ 2.3 การพองตัวของเม็ดแป้ง [7]

2. การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

กลไกการเกิดเจลาตินในเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่งแต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก สังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาธิตในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10 % และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็นผลึกจับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็นแต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 °C หรือใช้สารเคมีเช่นให้ความร้อน 60 °C แก่แป้งสาธิตจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วนผลึกลดลงเกิดปฏิกิริยา Hydration และการพองตัวของเม็ด

แป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้นกระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ภายใต้มืดแป้งหายไปอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้งเนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วนผลึกที่แตกต่างกันทั้งระดับการจับกัน (Degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ดแม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 °C โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก แต่เมื่อใช้ SEM ส่องดูโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณ 30 % พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน แป้งอาจเกิด Gelatinized ได้ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยการละลายใน Solvent เช่น alkali, liquid ammonia, DMSO, aq. CaCl₂



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [7]

งานวิจัยเพื่อพัฒนาการนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) เกิดขึ้นครั้งแรกในราว 40 ปีที่แล้ว (ในช่วงต้นทศวรรษ 1970's) ซึ่งในระยะแรกงานวิจัยค้ำนี้ยังไม่ได้รับความสนใจมากนักอย่างไรก็ดีด้วยภาวะโลกร้อนและปัญหามลพิษกอรปกับภาวะการขาดแคลนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบจากแหล่งปิโตรเคมีที่เกิดขึ้นในโลกขณะนี้ทำให้ระยะหลังงานวิจัยในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อทดแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ได้รับความสนใจและมีความก้าวหน้าอย่างมาก ทั้งในแง่ของการวิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิตและการพัฒนาด้านการตลาดซึ่งถึงแม้จะมีราคาแพงกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปอย่างมาก แต่เนื่องจากความตื่นตัวของผู้บริโภคที่มีต่อสิ่งแวดล้อมการยอมรับของผู้บริโภคต่อพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพจึงมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพนั้นหมายถึง พลาสติกที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความแข็งแรงทนทานและสมบัติการใช้ประโยชน์ที่ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไปแต่มีโครงสร้างทางเคมีที่สามารถถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยสลายได้ด้วย Enzymes จากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อสิ้นอายุการใช้งานของพลาสติกแล้วถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ในกองปุ๋ยหมักก็จะถูกย่อยสลายกลายเป็นคาร์บอน ไดออกไซด์ น้ำ และวัตถุดิบที่รีไซเคิลคืนสู่ธรรมชาติ โดยไม่ทิ้งสารพิษใดๆ ที่จะเป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อมในภายหลัง

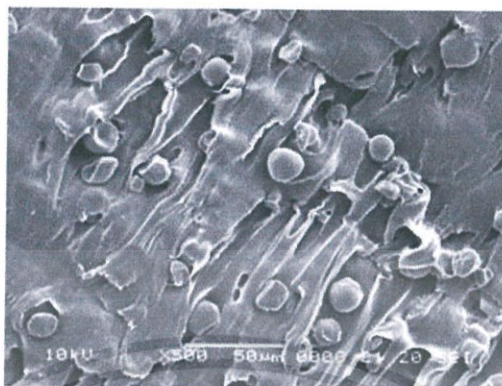
ถึงแม้ว่าพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพอาจผลิตได้จากวัตถุดิบกลุ่มบีโตรีเคมี แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการพัฒนาการผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลจากธรรมชาติ เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้และถือเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าในบรรดาชีวมวลจากธรรมชาติทั้งหลาย แป้งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงและได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีปริมาณมากหาง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้

พลาสติกสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง [7]

แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลสและอะไมโลเพกทิน ในธรรมชาติโมเลกุลแป้งจะมีการจัดเรียงตัวเกิดเป็นโครงสร้างกิ่งผลึกที่เป็นระเบียบในแกรนูลแป้ง โครงสร้างระดับแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมากสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงถึง 220 °C แนวทางการนำแป้งมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การใช้แป้งเป็นฟิลเลอร์ (filler) หรือสารตัวเติมในพลาสติก

การใช้แป้งในลักษณะนี้จะเป็นการผสมแป้งเข้ากับพลาสติกในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเนื้อพลาสติกที่มีเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ (ภาพที่ 2.5) การผสมแป้งกับพลาสติกในลักษณะนี้จะเติมแป้งลงไปได้ในปริมาณไม่มากนัก โดยเฉพาะการผลิตฟิล์มบางมักจะผสมแป้งได้ไม่เกิน 10 % ในช่วงแรกการผสมแป้งในพลาสติกส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้ของพลาสติกผสม อย่างไรก็ตามวิธีการที่ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตขึ้นจะย่อยสลายได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกับแป้งด้วยหากเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายไม่ได้ เช่น Polyethylene พลาสติกผสมที่ผลิตได้จะเกิดการย่อยสลายเฉพาะในส่วนของแป้งเท่านั้นแต่แป้งไม่ได้ช่วยให้ Polyethylene เกิดการย่อยสลายได้แต่อย่างใด



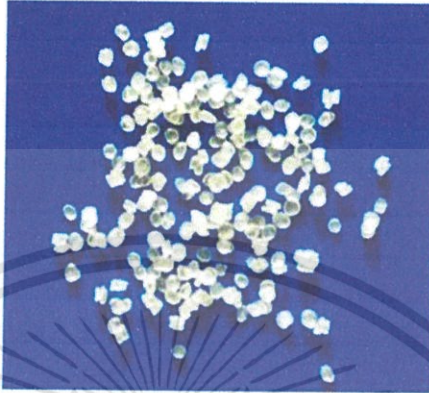
รูปที่ 2.5 ลักษณะของเกรนูลแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติมหรือ filler ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก [7]

เนื่องจากแป้งเป็นสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่พลาสติกส่วนใหญ่เป็นสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สารทั้งสองชนิดจึงผสมเข้ากันได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นแรงยึดเกาะระหว่างพลาสติกกับเกรนูลแป้งจึงมีค่าต่ำทำให้พลาสติกผสมที่ได้มีความแข็งแรงและสมบัติเชิงกลต่ำด้วยแนวทางการแก้ปัญหาที่อาจทำได้โดยการตัดแปร โครงสร้างแป้งให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากขึ้นหรืออาจใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) เติมลงไปในช่วงกระบวนการหลอมผสมนอกจากนี้การผลิตฟิล์มบางยังถือเป็นอีกข้อจำกัดของวิธีนี้เนื่องจากเกรนูลแป้งโดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 5-100 ไมโครเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นการผลิตฟิล์มที่มีความหนาน้อยกว่าขนาดเกรนูลแป้งจึงเป็นไปได้ยาก

2. การผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch)

เทอร์โมพลาสติก หมายถึง พอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวและหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำให้เย็นลงก็จะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้ พลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มภาชนะและชิ้นส่วนรูปทรงต่างๆ ได้การนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกมีข้อจำกัดคือ โครงสร้างผลึกในเกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมาก เกรนูลแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก จึงไม่สามารถหลอมละลายได้หากเราให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้นแทนที่จะหลอมเหลวเกรนูลแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลายอย่างใดก็ได้ หากมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ที่เรียกว่า Plasticizer จะช่วยทำให้เกรนูลแป้งเกิดการหลอมละลายได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและแรงกลได้สารที่เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

(Thermoplastic starch หรือเรียกย่อว่า TPS) เม็ดพลาสติก TPS (รูปที่ 2.6) ที่ผลิตได้สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือและกระบวนการผลิตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพลาสติกทั่วไป เช่น เอกซ์ทรูเดอร์ เครื่องฉีด และเครื่องเป่าฟิล์ม เป็นต้น



รูปที่ 2.6 เม็ดพลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช [7]

ถึงแม้ว่าจะทำหน้าที่เป็น Plasticizer ของแป้งได้ดีแต่เนื่องจากน้ำระเหยได้ง่ายทำให้พลาสติกที่ได้มีลักษณะเปราะจึงไม่นิยมใช้น้ำในการผลิต TPS สารที่นิยมใช้เป็น Plasticizer ในการผลิต TPS ได้แก่ กลีเซอรอล เนื่องจาก TPS สามารถหลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อนและแรงกลที่เหมาะสมจึงสามารถใช้ TPS เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตพลาสติก อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจาก TPS มีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ คือ มีสมบัติเชิงกลต่ำและไม่ทนน้ำ งานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงสมบัติทั้งสองด้านของ TPS ให้ดีขึ้น ซึ่งแนวทางที่นิยมได้แก่ การดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วยกระบวนการทางเคมีและการผสม TPS กับพลาสติกสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ บริษัทที่เป็นผู้นำในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งที่สำคัญ ได้แก่ บริษัท Novamont (Italy), Biotec (Germany), Rodenburg (Netherlands) เป็นต้น

3. โฟมจากแป้ง (Starch-based foams)

โฟมจากแป้งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนโฟมที่ผลิตจาก Polystyrene ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โฟม หลายชนิด เช่น เม็ดโฟมกันกระแทก (Loss-fill) ถาดหรือจานโฟม และผลิตภัณฑ์โฟมอื่นๆ โฟมที่ผลิตจากแป้งนอกจากจะสามารถย่อยสลายได้แล้วยังมีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้เพียงน้ำเป็นสารช่วยให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างโฟม (Blowing agent) เนื่องจากองค์ประกอบหลัก คือ แป้งทำให้โฟมที่ผลิตได้ไม่ทนน้ำและยังมีสมบัติบางประการที่ดีกว่าโฟมจาก Polystyrene การนำพลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น เช่น Poly(vinyl alcohol), Polycaprolactone และ

Poly(lactic acid) มาผสมกับแป้งเป็นแนวทางที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้ง (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 เม็ดโฟมกันกระแทกที่ผลิตจากแป้ง เพื่อใช้ป้องกันการแตกหักของสินค้าที่บรรจุในกล่อง ระหว่างการขนส่ง [7]

4. การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการหมัก (Starch as feed stock for fermentation process)

เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสจึงเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับกระบวนการหมักเพื่อผลิตสารหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์เอสเทอร์ และกรด เป็นต้น ในบรรดาสารต่างๆ ที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแป้งกรดแลคติกได้รับความสนใจและมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ เนื่องจากกรดแลคติกเป็นมอนอเมอร์สำหรับใช้ในการผลิต Poly(lactic acid) หรือที่เรียกว่า PLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพที่มีศักยภาพสูงและมีการวิจัยและพัฒนามากที่สุดตัวหนึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาทำให้มีความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วจนในปัจจุบันมีการผลิต PLA ในระดับอุตสาหกรรมแพร่หลายมากขึ้น โดยผู้นำทางการผลิต PLA ที่ใหญ่ที่สุดในโลกได้แก่ NatureWorks LLC (USA) ซึ่งทำการผลิต PLA จากแป้งข้าวโพด PLA เป็นพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงกับพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไป สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น ถุง ภาชนะบรรจุอาหารแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง, ฟิล์มสำหรับห่ออาหาร, ของเล่น และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ หรือแม้กระทั่งชิ้นส่วนในรถยนต์ด้วยการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ PLA เป็นพลาสติกทางเลือกที่มีบทบาทสำคัญในการทดแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ดังนั้นจึงคาดการณ์ได้ว่าปริมาณความต้องการใช้ PLA น่าจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆซึ่งย่อมส่งผลให้ความต้องการใช้แป้งเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิต PLA มากขึ้นด้วยเช่นกัน

2.3 กล้วย [8]

กล้วยเป็นพืชพื้นบ้านของไทยที่ถูกลำนำมาใช้ประโยชน์ในทุกยุคทุกสมัยเพราะทุกส่วนของกล้วยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นอาหาร ขนมของคอกแต่ง กระถาง หรือภาชนะ
ดินกำเนิดของกล้วย

กล้วยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้นดินแรกของกล้วยจึงอยู่แถบเอเชียตอนใต้ ซึ่งจะพบกล้วยพื้นเมืองทั้งที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ดและจากผลของการย้ายถิ่นฐานในการทำมาหากินการอพยพประชากรจากเอเชียตอนใต้ไปยังหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกตั้งแต่ต้นคริสต์ศักราชเป็นต้นมา ในการอพยพแต่ละครั้งจะต้องมีการนำเอาเสบียงอาหารติดตัวไปด้วยจึงได้มีการนำเอากล้วยไปปลูกแถบหมู่เกาะฮาวายและหมู่เกาะทางด้านตะวันออกสำหรับประวัติกล้วยในประเทศไทยเข้าใจว่าประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของกล้วยป่าและต่อมาได้มีการนำเข้ามาปลูกตามนี้และกล้วยชนิดอื่นในช่วงที่มีการอพยพของคนไทยในการตั้งถิ่นฐานอยู่ที่จังหวัดสุโขทัยมีเอกสารกล่าวว่าในสมัยอยุธยาพบว่ามีกล้วยร้อยหวี

ลักษณะทั่วไป

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa sapientum* L. ชื่อวงศ์ : Musaceae ชื่อสามัญ : Banana

กล้วยเป็นไม้ผล ลำต้นเกิดจากกาบหุ้มซ้อนกัน สูงประมาณ 2 – 5 เมตร ใบ เป็นใบเดี่ยว เกิดกระจายส่วนปลายของลำต้นเวียนสลับซ้ายขวาต่างระนาบกัน ก้านใบยาว แผ่นใบกว้าง เส้นของใบขนานกัน ปลายใบมน มีติ่ง ผิวใบเรียบสิ้นใบมีสีเขียวด้านล่างมีไขนวลหรือแป้งปกคลุม เส้นและขอบใบเรียบ ขนาดและความยาวของใบขึ้นอยู่กับแต่ละพันธุ์ ดอก เป็นดอกห้อยลงมายาวประมาณ 60 – 130 ซม. ซึ่งเรียกว่าหวัปตี ตามช่อจะมีกาบหุ้มสีเขียวเป็นรูปกลมรี ยาว 15 – 30 ซม. ช่อดอกเมื่อเจริญก็จะกลายเป็นผล ผลสดจะประกอบด้วยหวักล้วย เกรื่อละ 7 – 8 หวีแต่ละหวัมีกล้วยอยู่ประมาณ 10 กว่าลูก ขนาดและสีของกล้วยจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของแต่ละพันธุ์บางชนิดมีผลสีเขียว, เหลือง, แดง เมล็ดมีลักษณะกลมขรุขระ เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีดำ หนาเหนียวเนื้อในเมล็ดมีสีขาว ขยายพันธุ์ด้วยการแยกหน่อ หรือแยกเหง้า รสชาติฝาด

ประโยชน์ของกล้วย [7]

ทางด้านอาหาร : เป็นไม้ผลนำมาบริโภค ใบนำมาห่อขนม หรือส่วนของลำต้นใบนำมาทำกระทง ก็นำมาประดิษฐ์เป็นของเล่น ประโยชน์ทางสมุนไพรยางกล้วยจากใบใช้ห้ามเลือด โดยหยดขยกลงบนแผล ใช้กล้วยดิบทั้งลูกบดกับน้ำให้ละเอียดและใส่น้ำตาล รับประทาน แก้โรคท้องเสีย แผลในกระเพาะอาหารไม่ย่อยผลสุกให้เป็นอาหารเป็นยาระบายที่เป็นโรคริดสีดวงทวาร อุจจาระแข็ง หัวปลีแก้โรคไตได้ แก้โรคโลหิตจาง และลดน้ำตาลในเลือด

ประโยชน์ทางสมุนไพร : ตำรายาไทยใช้ผลดิบซึ่งมีสารแทนนินมากรักษาอาการท้องเสียและบิด โดยกินครั้งละครึ่งหรือ 1 ผล มีรายงานว่ามียุทธวิธีป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารของหนูขาวที่ถูกกระตุ้นด้วยยาแอสไพรินเชื่อว่าฤทธิ์ดังกล่าวเกิดจากการถูกกระตุ้นผนังกระเพาะอาหารให้หลั่งสารเมือกออกมามากขึ้น จึงนำมาทดลองรักษาโรคกระเพาะอาหารของคน โดยใช้กล้วยดิบหั่นเป็นแว่น ตากแห้งบดเป็นผงกินวันละ 4 ครั้งๆ ละ 1-2 ช้อนแกง ก่อนอาหารและก่อนนอน อาจทำให้เกิดอาการท้องอืดซึ่งป้องกันได้โดยกินร่วมกับยาขับลม เช่น จิง

ส่วนที่ใช้เป็นยา : ผลกล้วยสุกทุกชนิด และผลกล้วยห่าม โดยผ่านตากแดดให้แห้ง บดเป็นผง จะใช้กล้วยหักมุกห่ามแทนยิ่งดี

สรรพคุณ : ผลกล้วยมีสรรพคุณช่วยรักษาอาการผิดปกติของร่างกายหลายๆ อย่าง เช่น ภาวะความดันโลหิตสูง ภาวะความเป็นพิษภายในร่างกาย ช่วยให้อุดชุมชื้นและแก้กระหายน้ำได้เป็นอย่างดี และใช้ป้องกันบำบัด โรคแผลในกระเพาะอาหารช่วยเคลือบกระเพาะ – รักษาอาการท้องเสีย กล้วยอุดมด้วยน้ำตาลธรรมชาติ 3 ชนิด คือ ซูโครส ฟรุคโทส และ กลูโคสรวมกับเส้นใยและกากอาหารกล้วยจะช่วยเสริมเพิ่มพลังงานให้กับร่างกายทันทีทันใด จากงานวิจัยพบว่ากินกล้วยแค่ 2 ผล สามารถเพิ่มพลังงานให้ได้อย่างเพียงพอกับการออกกำลังกายอย่างเต็มที่ได้นานถึง 90 นาที

2.4 แป้งกล้วย [9]

แบ่งขั้นตอนในการสุกของกล้วยหลังจากตัดมาบ่ม ดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกเขียวผลแข็งไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิดๆ

ระยะที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

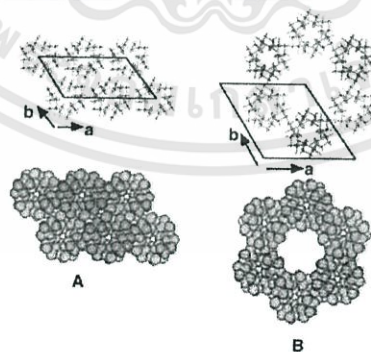
ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มักกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป, เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

สมบัติของแป้งและสตาร์ชจากกล้วย

2.1 สมบัติทางกายภาพ

การสังเกตลักษณะเม็ดสตาร์ชสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็วและง่าย แต่ผู้ที่ทำการตรวจสอบต้องมีความชำนาญในการสังเกตลักษณะต่างๆ โดยทั่วไปลักษณะที่ทำให้การสังเกตคือ รูปร่างขนาดตำแหน่งของไฮลัมการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชและลักษณะไบรีฟรินเจนท์ซึ่งเป็นสมบัติหนึ่งของสตาร์ชที่สามารถเบี่ยงเบนระนาบของแสงโพลาไรซ์ได้และมีการตัดกันของแขนที่เรียกว่ากากบาท (Maltese cross) หรือไบรีฟรินเจนต์ (Birefringence) ซึ่งจะตัดกันที่ตำแหน่งของไฮลัม



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงโมเลกุลของสตาร์ชแบบเกตุยวคู่ของ โครงสร้างแบบ A และ โครงสร้างแบบ B

บนแนวระนาบ a และ b [10]

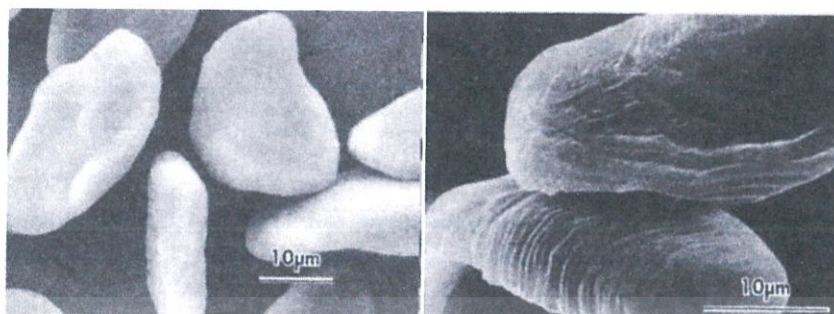
จากกล้วยน้ำว้ามีรูปร่างคล้ายเปลือกหอยสตาร์ช จากกล้วยหักมุกมีรูปร่างเป็นแท่งแท่งยาวรี ส่วนกล้วยตานีมีเม็ดสตาร์ชมีลักษณะแตกต่างกันทั้งขนาดและรูปร่างซึ่งมีทั้งลักษณะคล้ายเปลือกหอย และมีลักษณะเป็นแท่ง สังเกตได้ว่าถึงแม้ว่าเป็นสตาร์ชจากกล้วยเหมือนกันแต่เป็นกล้วยที่มีสายพันธุ์ต่างกันอีกทั้งยังมีระยะเวลาสุกของผลไม่เท่ากันจะมีผลทำให้ขนาดรูปร่างเม็ดสตาร์ชที่สังเกตได้มีความแตกต่างกันด้วยดังแสดงขนาดเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยต่างๆ ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้เม็ดสตาร์ชที่มาจากแหล่งของสตาร์ชต่างกันก็จะมีลักษณะรูปร่างและขนาดต่างกันด้วย

ตารางที่ 2.1 ขนาดเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยต่างๆ [10]

พันธุ์	ขนาดเม็ดสตาร์ช(μm)
Valery (AAA)	15-20
Taiwan dessert banana (ABB)	20-60
Fougamou (ABB)	7.2-76.4
Bluggoe(ABB)	3.9-50.8

ตารางที่ 2.2 ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชชนิดต่างๆ [10]

แหล่งของสตาร์ช	ขนาดเม็ด(μm)	ค่าเฉลี่ย (μm)	รูปร่างเม็ดสตาร์ช
กล้วย	6-80	20-60	หลายเหลี่ยม รูปไข่ เปลือกหอย
มันฝรั่ง	5-100	30	กลม รูปไข่ มีวงคล้ายเปลือกหอย
ข้าวโพด	3-26	15	กลมแบน มีหลายเหลี่ยม คล้ายแท่ง
ข้าวสาลี	1-40	10	กลม ค่อนข้างรี
มันสำปะหลัง	4-35	20	กลม คล้ายไข่ที่มีรอยตัด
ถั่วเขียว	7-26	11	รูปไข่คล้ายเม็ดถั่ว



รูปที่ 2.9 ลักษณะเม็ดสตาarch จากกล้วยดิบ (ก) และเม็ดสตาarch จากกล้วยสุก (ข) ที่ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราด (SEM) [10]

2.4.1 สมบัติทางเคมี

สตาarch แต่ละชนิดถึงแม้จะเป็นสตาarch จากพืชชนิดเดียวกันแต่หากมีความแตกต่างของสายพันธุ์ แหล่งเพาะปลูก อายุการเก็บเกี่ยว วิธีการสกัดสตาarch รวมถึงเทคนิคและสารเคมีที่ใช้สตาarch จะให้สมบัติที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นจึงพบว่า สตาarch กล้วยที่สกัดได้จากแหล่งงานวิจัยต่างๆ จะมีค่าทางองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน

จากการศึกษาพบว่าทั้งเนื้อกล้วยดิบและเนื้อกล้วยสุกจะมีปริมาณความชื้นอยู่มากถึงร้อยละ 75.0 และร้อยละ 73.5 ตามลำดับ แต่เนื้อกล้วยดิบจะมีปริมาณสตาarch มากกว่าเนื้อกล้วยสุกในขณะที่เนื้อกล้วยสุกจะมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าเนื้อกล้วยดิบ จากนั้นจึงศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยที่ได้จากเนื้อกล้วยสุกและเนื้อกล้วยดิบดังกล่าวพบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันมากนักระหว่างแป้งจากกล้วยสุกกับแป้งจากกล้วยดิบ แต่พบว่าแป้งจากกล้วยสุกจะมีปริมาณน้ำตาลประมาณร้อยละ 56.4 ซึ่งมากกว่ากล้วยดิบคือร้อยละ 3.0 ส่วนกล้วยดิบจะมีปริมาณสตาarch มากกว่ากล้วยสุกคือมีร้อยละ 78.0 ซึ่งกล้วยสุกมีปริมาณสตาarch เพียงร้อยละ 16.1

2.4.2 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ที่สำคัญของสตาarch ได้แก่ ความสามารถในการพองตัวและการละลาย การเกิดเจลลาตินในเซชันสมบัติเชิงความร้อนสมบัติด้านความหนืดซึ่งสามารถกล่าวได้ดังนี้ เมื่อผสมน้ำกับสตาarch เข้าด้วยกันพบว่า น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหไมเซลล์ (Micelle) ในเม็ดสตาarch ได้อย่างอิสระสตาarch ชนิดจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาติน เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาarch ที่อยู่ใกล้ๆ กัน แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายโมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่

เป็นอิสระเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวทำให้การละลายความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดสตาร์ช ปริมาณน้ำในสารละลาย สตาร์ช ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น ไขมัน โดยไขมันจะสามารถยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชได้โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ โมเลกุลของอะไมโลส โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพคติน ซึ่งรวมไปถึงความยาวของสายรูปร่างและน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลเพคติน รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชจากพืชแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป

สตาร์ชจากธัญพืชจะมีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ชั้นแสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดสตาร์ชที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ พันธะบริเวณเปลือกและบริเวณอณูพื้นฐานของสตาร์ชสตาร์ชจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุดแต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูงซึ่งอะไมโลสจะทำให้โครงสร้างที่เป็นร่างแหหรือ โครงสร้างผลึกในเม็ดสตาร์ชแข็งแรงขึ้นทำให้พองตัวได้ต่ำ สตาร์ชจากส่วนราก เช่น มันสำปะหลังมีการพองตัวเพียงชั้นเดียวกำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า สตาร์ชจากส่วนรากจะเกิดเจลที่ในซึ่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสตาร์ชจากธัญพืช สำหรับสตาร์ชจากพืชหัว เช่น สตาร์ชจากมันฝรั่งจะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในสตาร์ชมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้นเนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงชั้นเดียวและเกิดที่อุณหภูมิต่ำ

2.5 พลาสติไซเซอร์ (plasticizers) [11]

พลาสติไซเซอร์ (plasticizers) เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหลของพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรด-ด่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยจะใส่ประมาณ 20-40 % โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง

2.5.1 กลไกของพลาสติกไซเซชัน (Mechanism of plasticizer)

พลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยแรง Vander Waal โดยที่พลาสติกไซเซชันไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ แต่จะแทรกตัวเองอยู่ระหว่างโมเลกุล พอลิเมอร์โดยไปทำให้แรง Vander Waal ลดลง

2.5.2 ชนิดของพลาสติกไซเซชัน

พลาสติกไซเซชันสามารถแบ่งเป็น

1. มอนอเมอร์พลาสติกไซเซชัน (Monomeric plasticizers) มีอยู่หลายกลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ เป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซชันมากที่สุด เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต 2 หมู่ มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและละลายในไขมันได้ดี พทาเลทเอสเทอร์ที่ผลิตในอุตสาหกรรมมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟูริก หรือกรดพาราโทลูอิน ซัลโฟนิก พทาเลทเอสเทอร์ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซชัน เช่น

- ไดเมทิลพทาเลท (Dimethyl phthalate, DMP)
- ไดเอทิลพทาเลท (Diethyl phthalate, DEP)
- ไดนอร์มิลิวทิลพทาเลท (Di-n butyl phthalate, DBP)
- บิวทิลเบนซิลพทาเลท (Butylbenzyl phthalate, BBP)
- ไดทูเอทิลเฮกซิลพทาเลท (Di-(2-ethylhexyl) phthalate, DOP)
- ไดนอร์มิลออกทิลพทาเลท (Di-n-octylphthalate, DOP)
- ไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl phthalate, DINP)

- กลุ่มอดิเพต (Adipates) และอะซีเลต (Azelates) ผลิตจากกรดอดิพิค (Adipic acid) หรือกรดอะซีลิกกับแอลกอฮอล์ เช่น ไดทูเอทิลเฮกซิลอดิเพต (Di-2-ethylhexyl adipate, DOA),

ไดไอโซเดซิลอดิเพท (Diisodecyladipate, DIDA) และไดนอร์มัลออกทิลเดซิลอดิเพท (Di-n-octyldeacyladipate, DNODA) ที่สำคัญที่สุด คือ DOA ซึ่งองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

ส่วนกลุ่มอซีเลทนั้น เช่น ไดเอทิลเฮกซิลอซีเลท (Di-2-ethylhexyl azelate, DOZ), ไดไอโซออกทิลอซีเลท (Diisooctylazelate, DIOZ) และไดเฮกซิลอซีเลท (Diethylazelate, DHZ) ซึ่งเป็นตัวที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหารเช่นกัน

- **กลุ่มฟอสเฟต** มีออกทิลไดเฟนิลฟอสเฟต (Octyldiphenyl phosphate) ตัวเดียวเท่านั้นที่ องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

2. **พอลิเมอร์พลาสติกไซเซอร์ (Polymeric plasticizers)** ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไดเบซิก (Dibasic acid) เช่น กรดอดิพิค หรือ กรดอซีเลอิกกับไกลคอล เช่น พรอพิลีนไกลคอลจะได้ พลาสติกไซเซอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 20 เท่าของชนิดมอนอเมอร์ริค และจะมีโอกาสหลุดจาก พลาสติกได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงๆ และยังทนต่อการละลายของน้ำมันและตัวทำละลาย ส่วนราคาของ พอลิเมอร์พลาสติกไซเซอร์นั้นจะสูงกว่าพวกพทาเลทเอสเทอร์ประมาณ 1.5-2 เท่า

ความเป็นพิษ

เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ กลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ ดังนั้นจึงมีผู้ศึกษา วิเคราะห์วิจัยและมีหลักฐานการตรวจพบในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้กันมากและ อยู่ในรายการสารมลพิษ (Priority pollutants) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency, USEPA) มีอยู่ด้วยกัน 6 ตัว คือ DMP, DEP, DBP, BBP, DOP และ DO โดยเฉพาะ DOP นิยมใช้กันมากที่สุดหรือที่รู้จักกันในชื่อ ไดเอทิลเฮกซิลพทาเลท ซึ่งเป็นคนละ ตัวกับไดนอร์มัลออกทิลพทาเลท (DOP) สารมลพิษเหล่านี้ไม่ค่อยแสดงความเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน แต่จะแสดงในลักษณะพิษเรื้อรังเป็นผลให้เกิดอาการคอกเลือดในปอด (Lung hemorrhage), ตับโต (Hepatomegaly), เป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกาย (Cytotoxicity), ทำให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity), เกิดการ ก่อกลายพันธุ์ (Mutagenicity) และทารกในครรภ์มีรูปร่างผิดปกติ (Teratogenicity)

พลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ในผลิตภัณฑ์พลาสติกจะไม่ได้เกิดพันธะเคมีกับพอลิเมอร์เพียงแต่จะแพร่ แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลดังกล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย ดัง รายงานการตรวจพบสารเหล่านี้ในน้ำ ขากาศ ดิน ปัสสาวะ เหงื่อ และผลัดผม

2.6 อัลจิเนต (Alginate) [12]

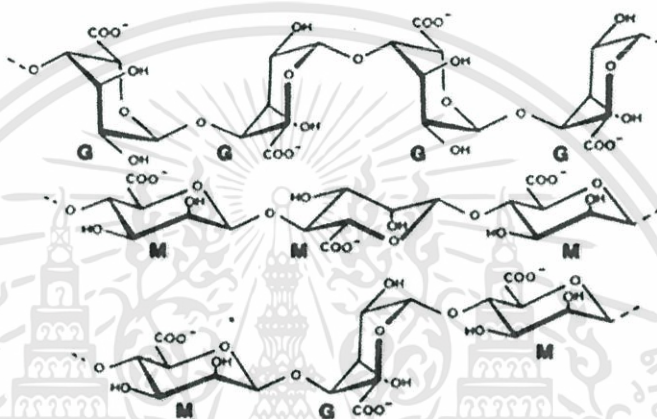
อัลจิเนตเป็นสารพอลิแซคคาไรด์ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากส่วนประกอบของผนังเซลล์ของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลในตระกูล Phaeophyceae ซึ่งพบมากตามพื้นที่ชายฝั่ง สกุล Ascophyllum, Durvillaea, Ecklonaria, Lessonia, Macrocystis, Sargassum และสกุล Turbinaria ซึ่งเป็นแหล่งผลิตอัลจิเนตเพื่อการพาณิชย์ที่สำคัญ แต่ละสกุลจะให้อัลจิเนตที่มีองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติด้านความหนืดและการเกิดเจลต่างกัน อัลจิเนตเป็นเกลือและเอสเทอร์ของกรดอัลจินิก ปกติอยู่ในรูปสารประกอบของเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ แคลเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม โดยทั่วไปพบในรูปของโซเดียมอัลจิเนตรองมาคือแอมโมเนียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมอัลจิเนต และกรดอัลจินิก

นอกจากนี้พบว่ามีแบคทีเรียบางกลุ่ม ได้แก่ *Azotobacter vinelandii* และ *Pseudomonas aeruginosa* สามารถสร้างอัลจิเนตได้โดยสามารถพบอัลจิเนตได้ในแคปซูลที่เป็นสารพอลิแซคคาไรด์ในแบคทีเรียในดิน อัลจิเนตเป็นพวก Hydrophilic colloidal carbohydrate ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลประกอบด้วยโมโนเมอร์จำนวนมาก (จำนวนตั้งแต่ 100 - 300 โมโนเมอร์) เชื่อมต่อกันมีโครงสร้างเป็น glycurglycan สายยาวซึ่งเป็นพอลิเมอร์สายตรงประกอบด้วย Monomeric 2 ชนิดคือ D-mannuronic acid และ L-guluronic acid ซึ่งเป็น C-5 epimer มีโครงสร้างคล้ายกันแต่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิลซึ่งส่งผลให้โครงสร้างแบบ block มีความแตกต่างกันมาก พอลิเมอร์ของอัลจิเนตเกิดการเชื่อมต่อของ Monomer ด้วยพันธะไกลโคซิดิก (1, 4) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของโมเลกุลหนึ่งกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของอีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งจะทำให้เกิดสายโซ่พอลิเมอร์ได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ

1. M-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid เพียงอย่างเดียวซึ่งเกิดจาก Equatorial group ทั้ง C1 และ C4 ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงคล้ายริบบิ้นเจลที่ได้มีความอ่อนนุ่มมีความยืดหยุ่นไม่ทนความร้อนจึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็งเพราะสามารถทนต่อ Freeze thaw ได้ดี
2. G-block ประกอบด้วย L-guluronic acid เพียงอย่างเดียวเกิดจาก Axial group ทั้ง C1 และ C4 ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะคดไปมาซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดเจลทำให้มี Gel strength สูง เจลที่ได้มี

ความแข็งแรงไม่มีความยืดหยุ่น มีความคงทนต่อความร้อนได้ดี แต่เกิดการสูญเสียน้ำหนักจึงไม่เหมาะสม
ผลิตภัณฑ์แช่แข็ง

3. MG-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid และ L-guluronic acid การจัดเรียงตัวของ
D-mannuronic acid และ L-guluronic acid ในสายพอลิเมอร์มีผลต่อลักษณะและสมบัติของอัลจินต



รูปที่ 2.10 ชนิดของ block ในอัลจินตรูปบน: G-blocks รูปกลาง: M-blocks
รูปล่าง: MG-blocks [12]

สมบัติของอัลจินตและการใช้ประโยชน์ [3]

อัลจินตจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลนิยมใช้ในรูปของโซเดียมอัลจินตเกิดการเกิดฟั่มของโซเดียมอัลจินตเป็นผลมาจากเกิดการเกิดเจล เมื่อยัลจินตทำปฏิกิริยากับพอลิวาเลนต์แคทไอออน (Polyvalent cation) เช่น แคลเซียมซึ่งจะเป็นไอออนที่ทำให้เกิดเจลที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้ในรูปของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งจะทำให้เจลเกิดขึ้นเนื้อแน่นคุณภาพดี เนื่องจากแคลเซียมไอออนเข้าจับกับสายของอัลจินตด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดแรงดึงดูดภายในโมเลกุลเกิดขึ้นความแข็งแรงของฟิล์มและค่าการซึมผ่านสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยจะเกี่ยวข้องกับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของพอลิวาเลนซ์แคทไอออน เวลาในการอบฟิล์ม ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและ ส่วนผสมในการผลิต

โครงสร้างโมเลกุลของอัลจินเนตจัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประจุลบ (Anionic polysaccharide) ทำให้เกิดอันตรกิริยาแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic interaction) กับโมเลกุลของโปรตีนได้ อัลจินเนตประกอบด้วยมอนอเมอร์กระจายอยู่ทั่วไป การเกิดเจลอัลจินเนตมีความคงตัวเมื่อมีเกลือของกรดอัลจินิก ซึ่งเกลือของแคลเซียม-อัลจินเนต เป็นเจลชนิดที่สามารถทนความร้อนและสามารถประยุกต์ใช้กับพวกเบเกอร์ชอสได้ กรดอัลจินิกไม่ละลายในน้ำเย็นและละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำร้อน แต่ละลายในสารละลายต่างๆ เช่น โลหะไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอเนตเกิดเป็นเกลืออัลจินเนต ทำให้สารละลายมีลักษณะเหนียว ส่วนเกลือโซเดียม โพแทสเซียมและแอมโมเนียม รวมทั้งพอสฟอรัส ไกลคอลเอสเทอร์ของอัลจินิกละลายได้ทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น ไอออนของโลหะพอลิวาเลนซ์ เช่น แคลเซียม ไอออนอลูมิเนียม ไอออนเมื่อทำปฏิกิริยากับอัลจินเนตทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ไม่ละลายน้ำมีลักษณะเป็นเจลแข็งหรือแผ่นฟิล์ม

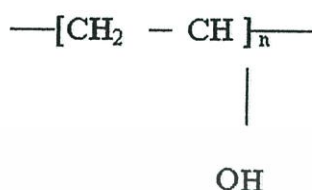
อัลจินเนตเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมอาหารเป็น สารธรรมชาติที่สกัดมาจากสาหร่ายสีน้ำตาลรวมตัวกับกรด 1-4 เบต้า-D-แมนนูโรนิก (1-4, β -D-Mannuronic Acid (M)) และกรดอัลฟา-แอล-กลูโรนิก (α -L-Guluronic Acid (G)) การรวมตัวกันและ ลำดับทางเคมีของกลุ่ม M และ G ขึ้นกับแหล่งที่พบด้านชีววิทยา การเติบโตและสภาวะตามฤดูกาล การใช้งานที่สำคัญและสมบัติที่ต่างจากสารอื่นของอัลจินเนต คือ สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิวาเลนซ์ แคทไอออนชนิดโลหะ (Polyvalent Metal Cations) เช่น ไอออนของแคลเซียมที่ใช้ผลิตเจลแข็งหรือพอลิเมอร์ที่มีการละลายได้ต่ำ ไอออนที่มีการเชื่อมระหว่างกลุ่ม M และ G เป็นผลให้มีโครงร่างเป็นสามมิติ (Tridimensional Network) ซึ่งมีการรวมตัวและประสานกันโดยมีการจัดเรียงตัวลักษณะรูปที่เรียกว่า Egg-Box Model การเชื่อมข้ามของพอลิวาเลนซ์แคทไอออนสามารถปรับปรุงลักษณะเฉพาะของฟิล์มได้ เช่น การป้องกันการซึมผ่านของน้ำ การต้านทานทางกล สมบัติการป้องกันการยัดเกาะ และความแข็งแรง

การใช้อัลจินตในเชิงการค้าขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างอัลจินตกับแคลเซียมไอออน ซึ่งนิยมใช้แคลเซียมไอออน อัลจินตสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและให้เจลที่สามารถรักษารูปร่างเดิมและลักษณะต่างๆ ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปในช่วงกระบวนการให้ความร้อน นอกจากนี้เจลของอัลจินตมีความเสถียรภาพต่อกระบวนการแช่แข็ง/ละลายน้ำแข็ง ซึ่งเป็นสมบัติที่จำเป็นในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด การผลิตอัลจินตเชิงการค้านิยมผลิตเป็นรูปกรดอัลจินิกซึ่งเป็นกรดในรูปอิสระ กรดอัลจินิกมีเสถียรภาพค่อนข้างจำกัดหรือจัดเป็นสารอินทรีย์มีเดียม การผลิตกรดอัลจินิกถูกเปลี่ยนเป็นเกลืออัลจินตได้หลายรูปแบบ เช่น โปแทสเซียมไอออน โซเดียมไอออน แอมโมเนียมไอออน และแคลเซียมไอออน และสามารถผลิตในรูปพอลิเมอร์ไกลคอลลอัลจินต

การเคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ถึงแม้อัลจินตจะให้ความชื้นผ่านได้สูงแต่การเคลือบให้ผลดี เนื่องจากเจลในฟิล์มมีปริมาณความชื้นสูงความชื้นในเจลระเหยออกไปก่อนที่ชิ้นเนื้อที่เจลดห่อหุ้มไว้จะสูญเสียความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มเจลยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ ช่วยรักษาสีแดงของเนื้อ ได้นานกว่าเนื้อปกติ ช่วยยืดอายุการเก็บของเนื้อแช่แข็ง ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหาร และช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น สมบัติความแข็งของอัลจินตเกี่ยวข้องกับปริมาณและการกระจายตัวของกรดแมนนูโรนิกและกรดกลูคูโรนิก อัลจินตที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดกลูคูโรนิกในปริมาณสูงจะมีความแข็งของเจล (Gel strength) สูงและความเข้มข้นของสารละลายไอออนที่ใช้ในการเกิดเจลมีผลต่อความแข็งของเจล

ความหนืดของสารละลายอัลจินตขึ้นกับความเข้มข้นน้ำหนัก โมเลกุล อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง สารละลายอัลจินตสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งเจลที่ได้ทนต่อความร้อน โดยทั่วไปนิยมใช้แคลเซียมไอออนหรือไอออนของโลหะพวกพอลิวาเลนซ์ช่วยในการเกิดเจล ส่วนการใช้สารคอนซีควาสเตรนที่ เช่น ฟอสเฟตหรือพอลิฟอสเฟตช่วยควบคุมการเกิดเจลและสมบัติต่างๆ ของอัลจินต นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของอัลจินต ซึ่งมีการนำอัลจินตมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารให้ความคงตัวตัวกระทำอิมัลชัน สารทำให้เกิดเจล โดยอัลจินตที่ใช้ต้องไม่ทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนแปลง

2.7 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)) [2]



<u>ชื่อภาษาไทย</u>	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์
<u>ชื่อภาษาอังกฤษ</u>	Poly(vinyl alcohol) และเรียกอีกนัยชื่อว่า PVOH หรือ PVA
<u>ลักษณะโดยทั่วไป</u>	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอฟีน ลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีครีม
<u>สมบัติทางเคมี</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่มีกลิ่นและไม่เป็นพิษ 2. สามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง 3. สามารถต้านทานต่อน้ำมัน สารหล่อลื่น และตัวทำละลาย 4. มีความแข็งแรงดึงสูง สามารถทนต่อแรงฉีกขาด และมีความยืดหยุ่นที่ดีเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่ม 5. ทนต่อออกซิเจนได้สูง

การผลิต กระบวนการผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มี 2 วิธี ได้แก่

วิธีที่1. เตรียมจากพอลิไวนิลแอซีเตต (Poly(vinyl acetate)) โดยใช้การไฮโดรไลซิสในสภาวะกรดหรือเบส เพื่อกำจัดหมู่แอซีเตตออกไป

วิธีที่2. เตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของไวนิลแอซีเตต (Vinyl acetate) โดยเกิดการไฮโดรไลซิสบางส่วนที่หมู่แอซีเตตในไวลิตแอซีเตตด้วยหมู่ไฮดรอกซิล จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมสารช่วยให้เกิดสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification agent) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดการตกตะกอน สุดท้ายนำไปล้างและอบจะได้พอลิเมอร์ชนิดนี้

ประโยชน์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานที่เกี่ยวข้องกับสารยึดติด สารที่ทำให้เกิดอิมัลชัน การขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่งสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากมาย เช่น กาวที่ใช้ในเครื่องสำอางค์ เซรามิก หนังสือตัว ผ้า กระดาษ สารช่วยถอดแบบของพลาสติกหล่อ เป็นสารที่ทำให้ขึ้น ไร้ตกแต่งเส้น

ใยและเส้นด้ายได้ และสามารถนำไปผสมในฟิล์มซึ่งมีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพเราสามารถแบ่งกลุ่มลักษณะการใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ใยสังเคราะห์ที่ละลายน้ำได้ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เช่น เป็นสารที่ช่วยให้ระบบอิมัลชันและระบบแขวนลอยให้ข้นมากขึ้น (Thickening agent) หรือใช้เป็นสารเคลือบในรูปแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษ ซึ่งจะให้กระดาษจะมีความใสและเหนียว หรือผสมลงไปในฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

2. นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ แล้วนำไปใช้งานเกี่ยวกับเส้นใยได้ เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายน้ำสามารถดูดซับน้ำหรือความชื้นได้เป็นอย่างดี ซึ่งเส้นใยนี้จะทนทาน สามารถคงรูปได้ดี จึงง่ายต่อการซัก ทำให้ใช้แทนเส้นใยฝ้ายได้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรรณิการ์ เควีเลาะและคณะ [1] ศึกษาการปรับปรุงฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ โซเดียมอัลจิเนต ซึ่งใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ใช้สารเชื่อมโยงคือ กอตุราลดดีไฮด์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับ โซเดียมอัลจิเนต ในปริมาณที่แตกต่างกัน ฟิล์มที่ได้นี้ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทหล่อ แล้วนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลในด้านแรงดึง พบว่า ฟิล์มแป้งกล้วยที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 50 % โซเดียมอัลจิเนต 20 % ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด ส่วนสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่า เมื่อเพิ่มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้การซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยลดลง แต่ถ้าใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ โซเดียม อัลจิเนตร่วมกันทำให้การซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 % ดูดซับน้ำดีที่สุด ส่วนสมบัติทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของ ฟิล์มจากแป้งกล้วยเพิ่มขึ้น เมื่อผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับ โซเดียมอัลจิเนตร่วมกัน จากสมบัติการย่อยสลายในดินพบว่า ฟิล์มแป้งกล้วยที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 % มีแนวโน้มสลายตัวช้าที่สุด นอกจากนี้จากการทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR พบพีก OH-stretching มีการเคลื่อนที่ในตำแหน่งลดลง และจากการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ โซเดียมอัลจิเนต ทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยมีแนวโน้มความเป็นผลึกมากขึ้น จึงสรุปได้ว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 % และ โซเดียมอัลจิเนต 20 % ที่มีสารเชื่อมโยงเป็น กอตุราลดดีไฮด์ ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด

มณฑาทิพย์ ยूनฉลาด และคณะ [13] ทดลองเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งมันเทศ โดยแยกอะไมโลสออกจากส่วนของแป้งมันเทศ เตรียมทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 แป้งมันเทศและวุ้น สูตรที่ 2 อะไมโลสกับแป้งมันเทศ (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) และวุ้น ส่วนสูตรที่ 3 อะไมโลสและวุ้น โดยใส่กลีเซอรอล 3 ระดับ คือ 0% , 0.25% และ 0.50% โดยน้ำหนักในแต่ละสูตร ซึ่งขึ้นรูปฟิล์มโดยการเทหล่อ พบว่า เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ความแตกต่างขึ้นกับปริมาณอะไมโลสกับกลีเซอรอล ทำให้ได้ฟิล์มที่โปร่งใสไปจนขุนขาวเป็นเม็ด เมื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า ฟิล์มที่มาจากแป้งและวุ้นมีค่าความต้านทานแรงดึงดีที่สุด ส่วนฟิล์มที่ผสมอะไมโลสได้ผลที่ไม่ดีเท่ากับฟิล์มที่มาจากแป้งและวุ้น เพราะเป็นผลมาจากการละลายของอะไมโลสที่ไม่สมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามฟิล์มทุกชนิดสามารถต้านทานการซึมผ่านของไขมันได้ดีมาก จึงควรนำไปใช้ในงานเพื่อห่อหุ้มอาหารที่มีองค์ประกอบไขมันสูง

ภูริสาห์ศิวิล และคณะ [14] ศึกษาสมบัติของฟิล์มประกอบ Biopolymer จากแป้งและเพคติน ซึ่งได้ฟิล์มมาจากแป้งข้าวเจ้าและซอร์บิทอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ผสมเพคตินความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้แผ่นฟิล์มทั้งสองด้านแตกต่างกัน คือ ด้านหนึ่งเรียบและมันวาว ส่วนอีกด้านหนึ่งมีลักษณะขรุขระ แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึงเปอร์เซ็นต์การยืด พบว่า ฟิล์มประกอบทั้ง 3 สูตร มีสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน จากนั้นนำไปทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำและการละลายน้ำ พบว่า ฟิล์มประกอบแป้งข้าวเจ้าและเพคตินมีการซึมผ่านของไอน้ำและการละลายน้ำที่ลดลง เมื่อความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะฟิล์มประกอบแป้งข้าวเจ้าและเพคตินความเข้มข้นร้อยละ 3 มีค่าการซึมผ่านไอน้ำและการละลายน้ำของฟิล์มต่ำที่สุด

J. W. Rhim [15] ศึกษาคุณภาพและสมบัติเชิงกลในการต้านทานน้ำของฟิล์มโซเดียมอัลจิเนต และมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยทำการปรับปรุงฟิล์มโซเดียมอัลจิเนตด้วยแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ซึ่งวิธีการทำมี 2 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 การเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในสารละลายโซเดียมอัลจิเนตโดยตรงในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.04 0.08 และ 0.12 กรัม/4 กรัมของโซเดียมอัลจิเนต ส่วนวิธีที่ 2 นำฟิล์ม โซเดียมอัลจิเนตจุ่มลงไปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 1, 2, 3 และ 5 กรัม $\text{CaCl}_2/100$ มิลลิลิตรของน้ำกลั่น ซึ่งฟิล์มที่ขึ้นด้วยเทคนิคการจุ่มสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ได้ฟิล์มที่แข็งแรงกว่าเดิมสี่ขุ่นลง เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า ความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงเพิ่ม แต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการซึมผ่านของไอน้ำที่ลดลง เพราะเกิดการเชื่อมโยงกับไอออนบวกทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น จากการทดสอบการละลายน้ำ พบว่า ฟิล์มที่ขึ้นด้วยเทคนิคการจุ่มสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต้านทานน้ำได้

มากกว่าฟิล์มที่ผสมแคลเซียมคลอไรด์ลงในสารละลายโซเดียมอัลจินตโดยตรง ฟิล์มชนิดนี้เหมาะสมต่อการนำไปใช้จัดเก็บอาหารหรือใช้ในรูปสารเคลือบด้วยกระดาษทดแทนการใช้พอลิเอทิลีน

K. Waliszewski และคณะ [16] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแป้งกล้วยโดยการตัดแปรทางเคมีและทางกายภาพเพื่อให้แป้งมีสมบัติที่ดีขึ้น ผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชัน โดยเปรียบเทียบการเชื่อมโยงแป้งกับฟอสฟอริเลท (Phosphorylate) และเชื่อมโยงกับไฮดรอกซีพรอพิเลท (Hydroxypropylated) ทำการเตรียมแป้งกล้วยได้เท่ากับ 33.8 % จากน้ำหนักกล้วยแห้งบริสุทธิ์ 99.0 % เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า อนุภาคแป้งกล้วยมีลักษณะเป็นทรงกลมและยาวเล็กน้อย มีความกว้าง 14 – 88 ไมครอนและความยาว 21 – 108 ไมครอน จากนั้นทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ พบว่า แป้งตัดแปรทางเคมีหรือที่เกิดการเชื่อมโยงมีลักษณะการดูดซับน้ำที่ดีกว่าแป้งกล้วยในธรรมชาติ และพบว่า แป้งกล้วยที่เชื่อมโยงกับฟอสฟอริเลทสามารถปรับปรุงการบวมตัวให้จำกัดขอบเขตและทำให้ความสามารถในการละลายลดลง แต่แป้งที่เชื่อมโยงกับไฮดรอกซีพรอพิเลทไม่เปลี่ยนแปลง จากการทดสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า โครงสร้างผลึกของแป้งกล้วยเป็นแบบ A-type และ B-type ผสมกัน และจากการทดสอบด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) พบว่า แป้งที่เชื่อมโยงกับฟอสฟอริเลทและไฮดรอกซีพรอพิเลท มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันลดลง

M.L. Fishman และคณะ [17] ศึกษาการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้และย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งเป็นฟิล์มที่ได้มาจากแป้งผสมเพคตินโดยขึ้นรูปผ่านกระบวนการอัดรีด และกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ในการทดลองใช้แป้งที่มีอะไมโลสสูงผสมเพคตินและกลีเซอรอลในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แล้วทำการขึ้นรูปฟิล์มผ่านเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่ นำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิค Dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) พบว่า ปริมาณความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการอัดรีดส่งผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันในแป้ง ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้และพบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) มีค่าอยู่ที่ 50 °C และทดสอบที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ฟิล์มสามารถดึงยืดได้ จากนั้นนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เมื่อทำการวิเคราะห์ภาพ SEM พบว่า พื้นผิวของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนแปลง เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำในขณะทำการอัดรีด ซึ่งคือ ปัจจัยที่ควบคุมการเกิดเจลาติไนเซชันในแป้งได้ จึงสรุปได้ว่า ฟิล์มที่ได้จากกระบวนการอัดรีดมีสมบัติเดียวกันกับฟิล์มที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบเทหล่อ

R. Sothornvit and N. Pitak [18] ศึกษาการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผลิตจากแป้งกล้วย โดยใช้แป้งกล้วยน้ำว่า เพคตินและกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ แป้งกล้วยที่ 4 %, 6 % และ 8 % โดยน้ำหนักเพคติน 0 % และ 1 % โดยน้ำหนัก และกลีเซอรอล 30 % และ 50 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิการเกิดเจลที่ในเซชันของแป้งประมาณ 75 – 80 °C เป็นเวลา 10 นาที และทำการอบที่อุณหภูมิ 50 °C อีก 12 ชั่วโมง โดยได้ฟิล์มแป้งกล้วยน้ำว่าที่มีลักษณะยืดหยุ่น สีเหลืองอ่อนๆ จากการศึกษาพบว่า ฟิล์มที่ผสมเพคตินทำให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงคิงสูงขึ้น และฟิล์มที่ผสมกลีเซอรอล 50 % มีเปอร์เซ็นต์การคิงยืดสูงสุด และเมื่อปริมาณของเพคตินและกลีเซอรอลมากขึ้น ทำให้การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในฟิล์มแป้งกล้วยลดลง และเมื่อนำไปทดสอบการผิวดินพบว่า สามารถย่อยสลายได้ด้วย แสดงว่ามีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

A. Co'rdoba และคณะ [19] ศึกษาผลกระทบของอัลจินตที่มีต่อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) ผสมกับกลีเซอรอล ซึ่งกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ใช้เป็นแป้งข้าวโพด กับโซเดียมหรือโพแทสเซียมอัลจินตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0 %, 5 %, 10 % และ 15 % โดยน้ำหนัก และกลีเซอรอล 35 % โดยน้ำหนักเท่ากันทุกสูตร ซึ่งไม่มีการเติมน้ำลงไป แล้วทำการขึ้นรูปผ่านกระบวนการอัดรีด จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติการไหล พบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์อัลจินตเพิ่มขึ้นทำให้พลังงานในพลาสติกไซเซชันลดลง แต่ค่าทอร์คคิงที่และทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า ความยืดหยุ่นลดลง แต่เปอร์เซ็นต์การคิงยืด ณ จุดขาดและการต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น เมื่อเปอร์เซ็นต์อัลจินตเพิ่มขึ้น แสดงว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมอัลจินตมีสถานะคล้ายยาง ซึ่งพิสูจน์จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า พื้นผิวแตกลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์อัลจินตเพิ่มขึ้น และการที่ไม่เติมน้ำทำให้อัลจินตไม่สร้าง “Egg-box” ในโครงสร้างทำให้พอลิเมอร์นี้ไม่แข็ง แต่อัลจินตทำหน้าที่เป็นตัวประสานแป้งกับพลาสติกไซเซอร์ แสดงว่า อัลจินตเป็นพลาสติกไซเซอร์ตัวที่สอง ในกรณีที่ไม่มีการเติมน้ำลงในพอลิเมอร์ชนิดนี้

J. Zhou และคณะ [20] ศึกษาการเตรียมและลักษณะของพื้นผิวฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (TPS/PVA) โดยปรับปรุงพื้นผิวด้วยเทคนิค Photocrosslinking ซึ่งใช้โซเดียมเบนโซเอทเป็นสารไวแสง ใช้วิธีการขึ้นรูปฟิล์มแบบเทหล่อ ซึ่งฟิล์มประกอบด้วยแป้งข้าวโพด 70 % พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % และกลีเซอรอล 15 % โดยน้ำหนัก จากนั้นนำฟิล์มไปแช่ในสารละลายโซเดียมเบนโซเอท แล้วฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นเวลา 30 วินาที พบว่า เป็นเวลาที่ดียุคในการทำให้เกิดการเชื่อมโยง เพราะฟิล์มที่ได้มีความเป็นเจลสูงแต่การ

บวมตัวลดลง จากนั้นนำไปทดสอบหาค่ามุมสัมผัสน้ำ สมบัติการดูดซึมน้ำ สมบัติการบวมตัว และการละลายน้ำ เพื่อหาลักษณะทางกายภาพ พบว่า พื้นผิวฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยการเชื่อมโยงทำให้พื้นผิวฟิล์มมีความชอบน้ำลดลง ทำให้สมบัติความต้านทานน้ำเพิ่มมากขึ้น และจากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า พื้นผิวฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยการเชื่อมโยงทำให้ฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสไตร์อะครีลิกโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ มีความแข็งแรงดึงและมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง

P. M. Arockianathan และคณะ [21] ศึกษาและประเมินการใช้ฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่ประกอบด้วยแป้งสาธกกับอัลจินตและอนุภาคซิลเวอร์นาโนเพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งแผล โดยเตรียมฟิล์มไบโอคอมโพสิตจากกระบวนการเทหล่อ และเตรียมฟิล์มไบโอคอมโพสิตเป็น 2 ชุด ได้แก่ ฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่ใส่อนุภาคซิลเวอร์นาโนและไม่ใส่อนุภาคซิลเวอร์นาโน จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis, (TGA) พบว่า อัลจินตช่วยให้ฟิล์มมีเสถียรภาพทางความร้อนมากขึ้นและแป้งสาธกช่วยให้ฟิล์มทนต่ออุณหภูมิสูงๆ ได้ จากนั้นนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีพื้นผิวที่เรียบกว่า และช่วยให้ออกซิเจนผ่านไปยังบริเวณบาดแผลได้ จากนั้นนำไปทดสอบการปกปิดบาดแผลและจึงนำฟิล์มที่ใช้แล้วไปความแข็งแรงดึง พบว่า ฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนทั้งที่ใส่และไม่ใส่ยาต้านแบคทีเรีย มีความแข็งแรงดึงสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณคอลลาเจนที่สร้างมาจากบาดแผล และจากการทดลองพบว่า ฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ใส่ยาต้านแบคทีเรียเท่านั้นที่ลดอาการอักเสบของแผลได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 ก๊วยน้ำว้าดิบที่มีระยะสุกเท่ากับ 0-1

3.1.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly (vinyl alcohol), PVA) BE17W จากบริษัท Lab system

ตารางที่ 3.1 สมบัติต่างๆของ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	ผลลัพธ์
Molecular weight	77,000 – 82,000 g/mol
pH	5 – 7
Viscosity	25 -30 cPs
Hydrolysis (mole %)	95.0 – 97.0
Volatile	5.0 % max
Ash	1.0% max

3.1.3 Sodium alginate จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

ตารางที่ 3.2 สมบัติของอัลจินเต เกรดอาหาร (H050912406) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

สมบัติทั่วไป	ผลลัพธ์
Particle size	Granular
Viscosity	500 cPs 1%
Loss on drying (105 °C, 4Hours)	13.4 %
pH	6.66
Sulphated ash	33.72 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Insoluble matter in water	0.55 %
Total heavy metal	<20 ppm
Total plate count	<1000 CFU/g
E.COLI	Negative
Yeast & Mould	<200 CFU/g

3.1.4 น้ำมันพืชตรางู

3.1.5 น้ำกลั่น

3.1.6 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 ปีกเกอร์

3.2.2 ตู้อบ

3.2.3 แท่งแก้วคน

3.2.4 เครื่องให้ความร้อน

3.2.5 จานเซรามิก (พื้นที่ก้นจานกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร)

3.2.6 ครกหิน

3.2.7 เครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.2.8 ตะแกรงร่อน ขนาด 100 เมช (0.15 มิลลิเมตร) และ 200 เมช (0.75 มิลลิเมตร)

3.2.9 เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์

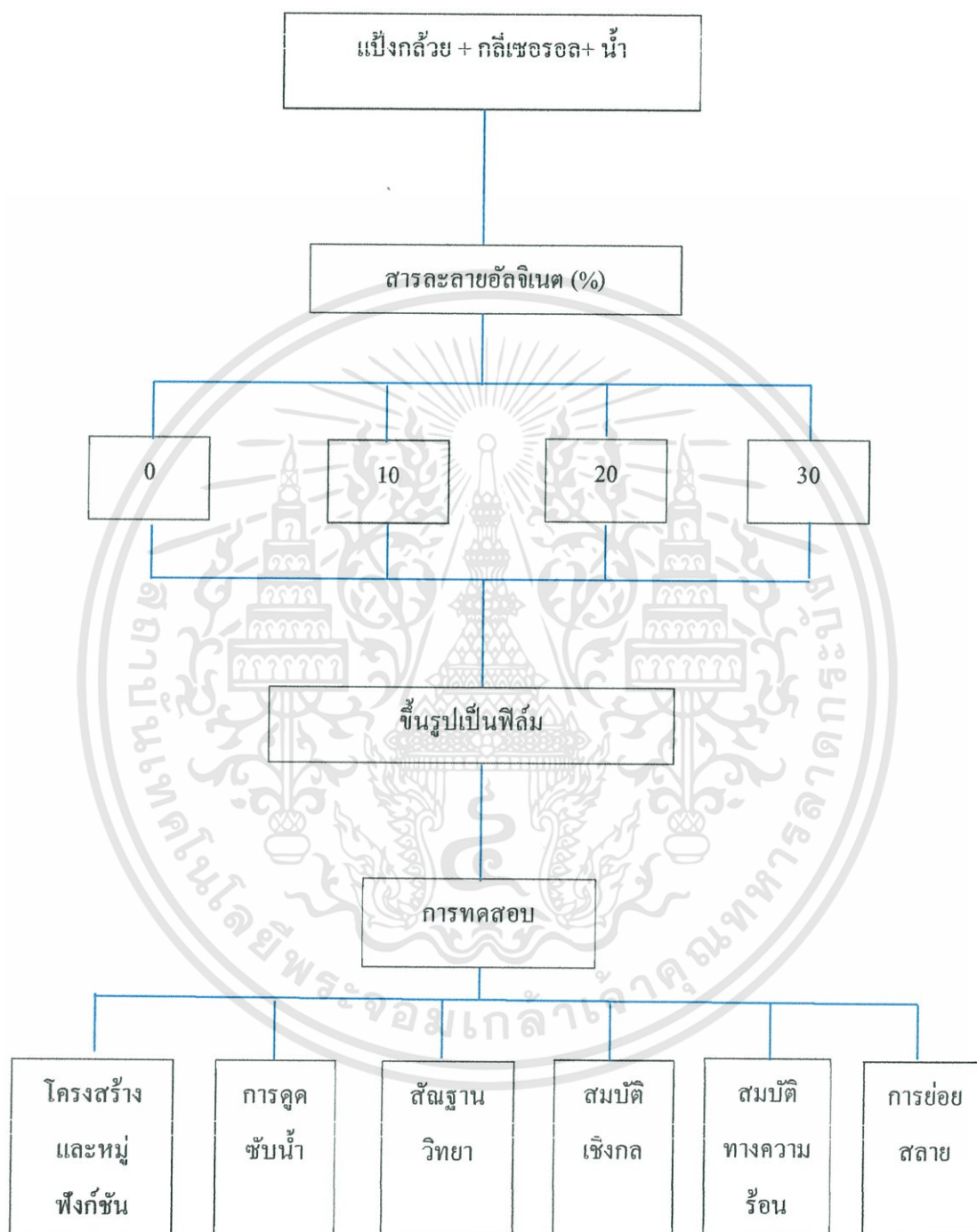
3.2.10 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Tasting Machine): Lloyd Instrument รุ่น LR 5k, INTRO ENTERPRISE

3.2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM): รุ่น 1455 VP, LEO

3.2.12 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (IR spectrophotometer) รุ่น SPECTRUM GX, PERKIN ELMER

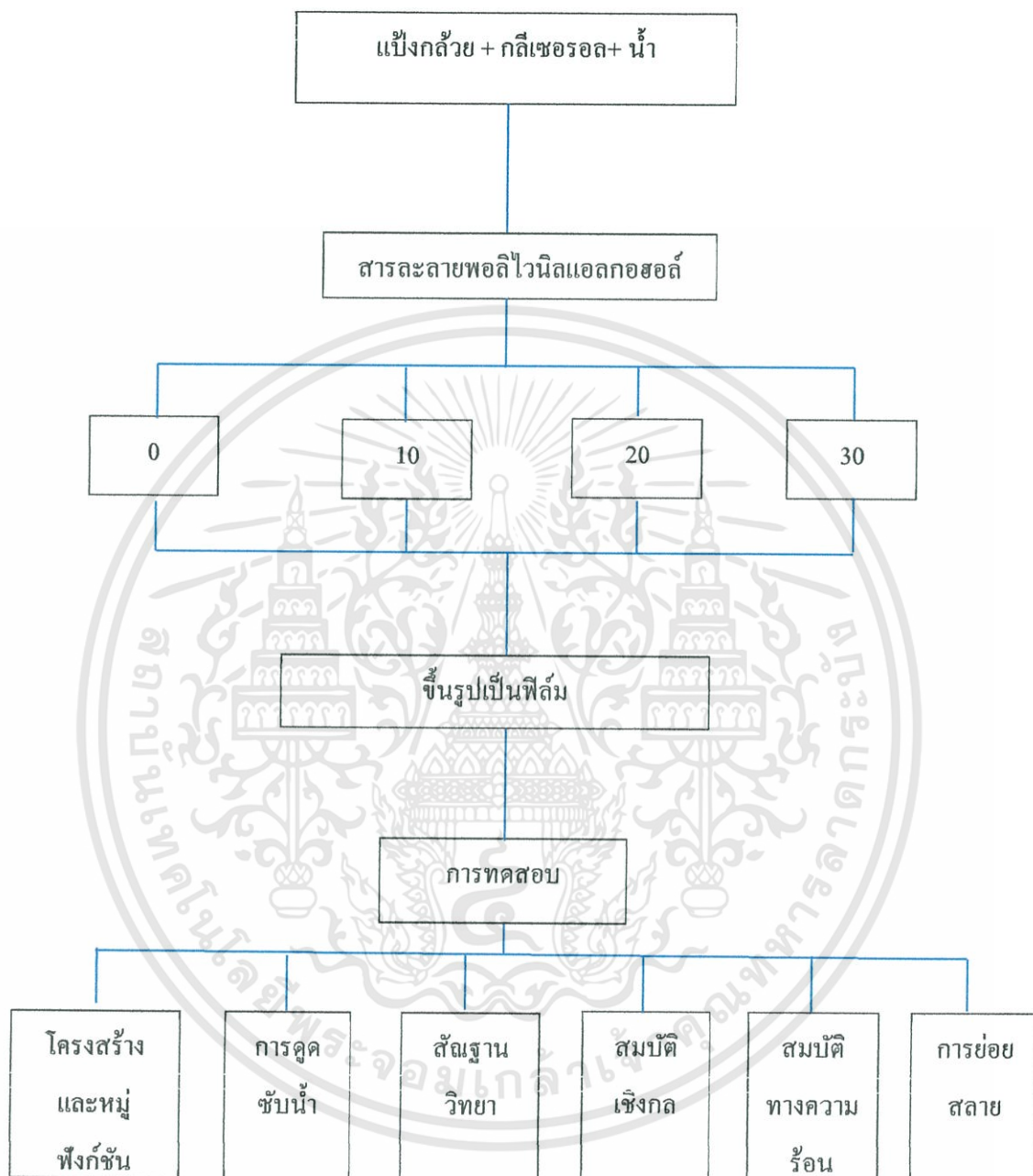
3.2.13 เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer) รุ่น PYSIS diamond, PERKIN ELMER

แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยในโครงการพิเศษ แสดงในรูปที่ 3.1 – 3.3



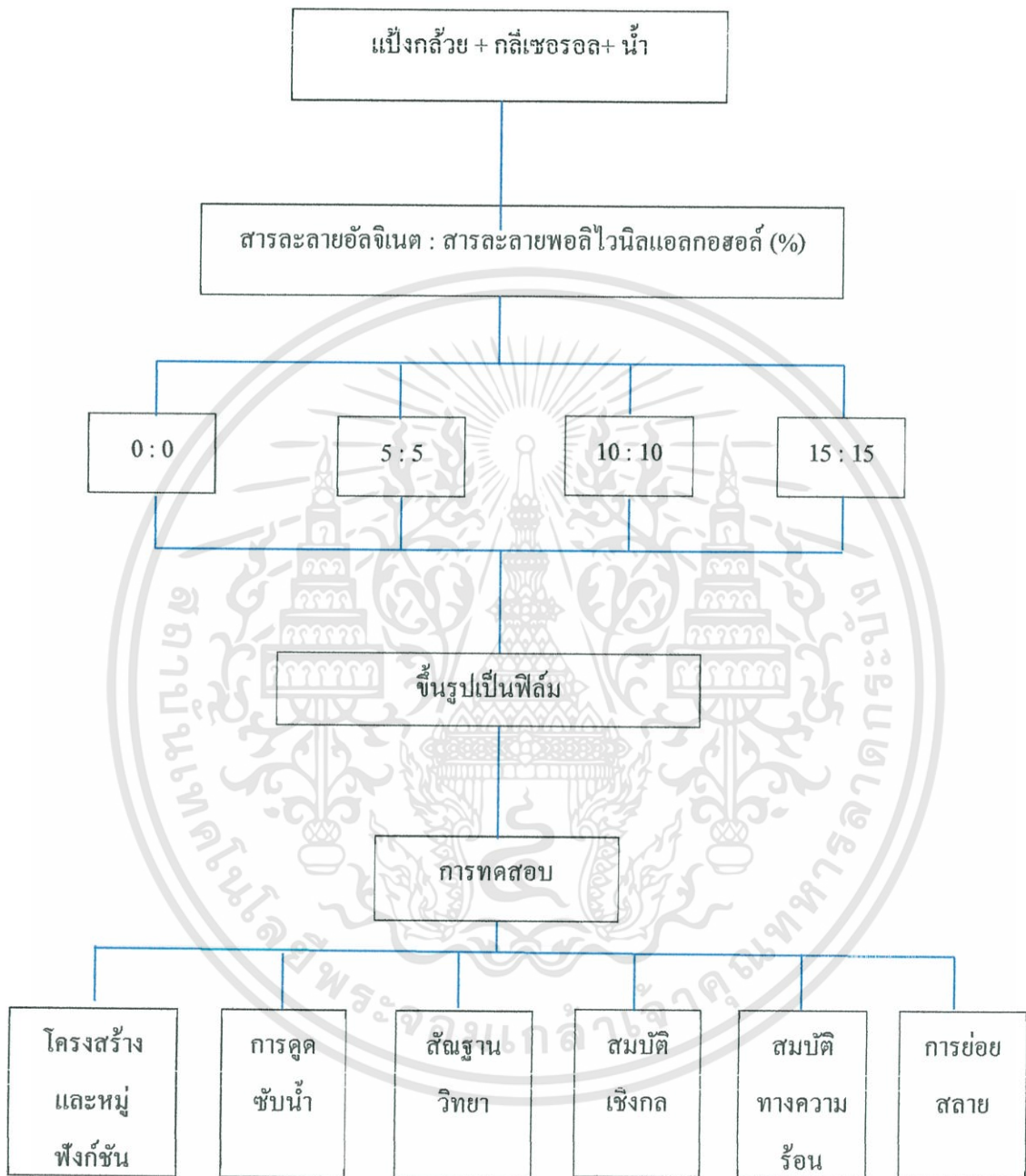
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1 – 3.3 ซึ่งในการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมแป้งกล้วย

- 1.1 เลือกกล้วยน้ำว้าดิบที่มีระยะสุกเท่ากับ ศูนย์ – หนึ่ง จากนั้นทำการปอกเปลือกผ่านให้เป็นแผ่นบางๆแล้วนำไปแช่น้ำหนักกล้วยดิบที่ได้ และนำไปแช่ในน้ำเกลือ
- 1.2 แช่ในน้ำเกลือที่เตรียมได้จากอัตราส่วน 500 มิลลิลิตร/3 กรัม เพื่อล้างยางออกจากกล้วยเป็นเวลา 10 -15 นาที เช้าแล้วนำขึ้นจากน้ำเกลือ วางผึ่งให้สะเด็ดน้ำจากนั้นนำมาใส่ภาชนะที่มีลักษณะแบนราบเพื่อกระจายความร้อนที่ได้รับโดยทั่วกันสม่ำเสมอ
- 1.3 นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- 1.4 เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำไปแช่น้ำหนัก (หาเปอร์เซ็นต์น้ำที่ระเหยไป)
- 1.5 นำกล้วยที่อบแล้วไปตำด้วยครกหิน ให้อนุภาคแป้งกล้วยมีขนาดเล็กสม่ำเสมอ
- 1.6 นำแป้งกล้วยที่ได้ไปร่อน โดยใช้เครื่องร่อนในการแยกอนุภาคของแป้งกล้วย โดยช่วงของขนาดอนุภาคแป้งกล้วยที่ต้องการ โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช และ 230 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวในช่วง 0.063 – 0.075 มิลลิเมตร
- 1.7 นำแป้งกล้วยที่ร่อนได้ เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้แน่น เพื่อป้องกันการดูดซับความชื้นของแป้งกล้วย

ตอนที่ 2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้อัลจินต

- 2.1 เตรียมสารละลายอัลจินตโดยใช้อัลจินต 3 กรัม ละลายน้ำ 100 ml (3% w/v) โดยทำการปั่นกวน โดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- 2.2 ชั่งแป้งกล้วย สารละลายอัลจินตกลีเซอรอล และน้ำลงในบีกเกอร์ ตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.3
- 2.3 นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน ซึ่งจะทำการปั่นกวนสารละลายดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ให้ความร้อน เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ให้เทสารละลายอัลจินตลงไปผสมในบีกเกอร์และทำการปั่นกวนต่อไปโดยให้อุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียส (ช่วงอุณหภูมิที่แป้งเกิดเจลลาทีไนเซชัน)
- 2.4 เตรียมงานเซรามิกสำหรับเทสารละลาย โดยหยคน้ำมันพืช (1-2 หยด) แล้วทำให้ทั่วทั้งงาน
- 2.5 นำสารละลายที่เกิดเจลลาทีไนเซชันออกจากเครื่องให้ความร้อน แล้วเทลงในกระบอกลงให้ได้ปริมาตร 50 ml เทลงในงาน เียงงานให้สารละลายแผ่ทั่วทั้งงาน ให้มีความหนาใกล้เคียงกัน
- 2.6 อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง
- 2.7 ลอกฟิล์มออกจากงาน นำไปวางบนกระดาษ A4 เก็บใส่ถุงซิปล็อคโดยปิดปากถุงให้สนิท แล้วเก็บใส่กล่องที่บรรจุเม็ดซิลิกาเจลอยู่ภายในสำหรับดูดความชื้น

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนแป้งกล้วย สารละลายอัลจินต กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	Glycerol (กรัม)	น้ำ (กรัม)	อัลจินต	
			(กรัม)	(%)
3.00	0.67	60	0.00	0
2.70	0.54	54	0.30	10
2.40	0.48	48	0.60	20
2.10	0.42	42	0.90	30

หมายเหตุ ปริมาณน้ำคิดเป็น 20 เท่าของแป้งกล้วย

ตอนที่ 3 การปรับปรุงฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.1 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยชั่ง PVA 3 g ละลายในน้ำ 100 ml (3%w/v) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนโดยใช้แม่เหล็กเป็นเวลา 45 นาที

3.2 ชั่งแป้งกล้วย สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำ โดยใส่กลีเซอรอล และน้ำลงไปผสมกับแป้งกล้วยภายในบีกเกอร์ในอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.4

3.3 นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน ซึ่งจะทำกรปั่นกวนสารละลายดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ให้ความร้อน เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ให้เทสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปผสมในบีกเกอร์ (เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ ในน้ำ) และทำการปั่นกวนต่อไปโดยให้อุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียส (ช่วงอุณหภูมิที่แป้งกิดเกิดเจลลาทีในเซชัน)

3.4 เตรียมงานเซรามิกสำหรับทดสอบสารละลาย โดยหยดน้ำมันพืช (1-2 หยด) แล้วทำให้ทั่วกันงาน

3.5 นำสารละลายที่เกิดเจลาตินในเซชันออกจากเครื่องให้ความร้อน แล้วเทลงในกระบอบกวดงให้ได้ปริมาตร 50 ml เทลงในจาน เอียงจานให้สารละลายแผ่ทั่วก้นจาน ให้มีความหนาใกล้เคียงกัน

3.6 อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง

3.7 ลอกฟิล์มออกจากงาน นำไปวางบนกระดาษ A4 เก็บใส่ถุงซิปล็อคโดยปิดปากถุงให้สนิท แล้วเก็บใส่กล่องที่บรรจุเม็ดซิติกาเจลอยู่ภายในสำหรับดูแลความชื้น

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	Glycerol (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	
			(กรัม)	(%)
3.00	0.67	60	0.00	0
2.70	0.54	54	0.30	10
2.40	0.48	48	0.60	20
2.10	0.42	42	0.90	30

หมายเหตุ ปริมาณน้ำคิดเป็น 20 เท่าของแป้งกล้วย

ตอนที่ 4 การปรับปรุงฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต

4.1 เตรียมสารละลายโซเดียมอัลจิเนต โดยชั่งโซเดียมอัลจิเนต 3 กรัม ละลายในน้ำ 100 ml (3%w/v) โดยปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

4.2 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยชั่ง PVA 3 g ละลายในน้ำ 100 ml (3%w/v) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนโดยใช้แม่เหล็กเป็นเวลา 45 นาที

4.3 ชั่งแป้งกล้วย สารละลายโซเดียมอัลจิเนต สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำ โดยใส่กลีเซอรอล และน้ำ ลงไปผสมกับแป้งกล้วยภายในบีกเกอร์ตามอัตราส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

4.4 นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน ซึ่งจะทำการปั่นกวนสารละลายดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ให้ความร้อน เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ให้เทสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปผสมในบีกเกอร์ (เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ ในน้ำ) และทำการปั่นกวนต่อไป โดยให้อุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียส (ช่วงอุณหภูมิที่แป้งกิดเกิดเจลลาทีโนเซชัน)

4.5 เตรียมงานเซรามิกสำหรับทดสอบสารละลาย โดยหยดน้ำมันพืช (1-2 หยด) แล้วทำให้ทั่วกันงาน

4.6 นำสารละลายที่เกิดเจลลาทีโนเซชันออกจากเครื่องให้ความร้อน แล้วเทลงในกระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 50 ml เทลงในงาน เียงงานให้สารละลายแผ่ทั่วกันงาน ให้มีความหนาใกล้เคียงกัน

4.7 อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง

4.8 ลอกฟิล์มออกจากงาน นำไปวางบนกระดาษ A4 เก็บใส่ถุงซิปล็อคโดยปิดปากถุงให้สนิท แล้วเก็บใส่กล่องที่บรรจุเม็ดชิลิกาเจลอยู่ภายในสำหรับดูดความชื้น

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนของแป้งกล้วย อัลจิเนต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลิเซอรอลและน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายอัลจิเนตต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม : กรัม)		สารละลายอัลจิเนตต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (% : %)	
3.00	0.67	60	0	0	0	0
2.70	0.54	54	0.15	0.15	5	5
2.40	0.48	48	0.30	0.30	10	10
2.10	0.42	42	0.45	0.45	15	15

หมายเหตุ ปริมาณน้ำคิดเป็น 20 เท่าของแป้งกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบ

3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน โดย FTIR

การศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR ทำได้โดยการใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยใช้ฟิล์มจากแป้งกล้วยในสูตรต่างๆ ทำได้โดยการนำฟิล์มไปบดกับ KBr แล้วนำไปอัดเป็นแผ่น สภาวะที่ใช้คือ ที่ความยาวคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$ โดยสแกน 16 ครั้งต่อตัวอย่าง ความละเอียดที่ใช้คือ 4 cm^{-1}

3.4.2 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

อบฟิล์มแป้งกล้วยด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำฟิล์มแป้งกล้วยมาชั่งน้ำหนัก(ภายใต้สภาวะนี้การระเหยของพลาสติกไซเซอร์จะยังไม่เกิดขึ้น) จากนั้นนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างในภาชนะปิดที่บรรจุด้วยน้ำกลั่น ซึ่งให้ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ตามมาตรฐาน ASTM E 104 แล้วชั่งน้ำหนักภายหลังการดูดซับน้ำทุกวัน โดยสามารถคำนวณปริมาณการดูดซับน้ำได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$W_a = (W_c - W_o / W_o) * 100$$

เมื่อ W_a คือ เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของฟิล์มแป้งกล้วย

W_c คือ น้ำหนักของฟิล์มแป้งกล้วยหลังการดูดซับน้ำ

W_o คือ น้ำหนักของฟิล์มแป้งกล้วยก่อนการดูดซับน้ำ

3.4.3 ศึกษานิวทียา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ได้นำมาใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มแป้งกล้วย ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำมาเคลือบทองและนำไปเข้าเครื่อง SEM โดยการศึกษานิวทียาของฟิล์มแป้งกล้วยก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมอัลจินเตและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติต่างๆตามมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งกล้วยที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D 822	MPa
มอดุลัส (Young' modulus)	ASTM D 822	MPa
ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Strain at maximum load)	ASTM D 822	%

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Tasting Machine) โดยทำการทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 822 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 100*15 มิลลิเมตร² จำนวน 5 ชิ้นงานของแต่ละสูตร โดยทำการควบคุมสถานะของชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60 % ทดสอบตามสถานะดังนี้

Test speed : 50 mm/min

Gauge length : 50 mm

Load cell : 100 N

ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด, มอดุลัส และความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด} = F/A$$

$$\text{มอดุลัส (Young' modulus)} = (F/A)/[(L-L_0)/L_0]$$

$$\text{ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด} = (L-L_0)/L_0$$

3.4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาอุณหภูมิการสลายทางความร้อน (Onset degradation temperature) ของฟิล์มแป้งกล้วยผสมโซเดียมอะซิเตตและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer: TGA) ทำได้โดยการชั่งตัวอย่างประมาณ 16 กรัม และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50 – 600 องศาเซลเซียส และอัตราเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส

3.4.6 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5*6 เซนติเมตร² ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 30-40 % การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจาก ตัวอย่างอาจกระจายไปกับดิน แล้วทำการชั่งน้ำหนักฟิล์มทุกวัน และเปรียบเทียบน้ำหนักของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและทดสอบสมบัติของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยมีกลีเซอรอลและน้ำเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้และเลือกศึกษาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินเตในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สัมพันธวิทยา สมบัติทางความร้อนและการย่อยสลายโดยการฝังดิน จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินเต ให้ผลการทดลองดังนี้

4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของฟิล์มด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินเต

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนแป้งกล้วย สารละลายอัลจินเต กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	อัลจินเต	
			(กรัม)	(%)
3.00	0.67	60	0.00	0
2.70	0.54	54	0.30	10
2.40	0.48	48	0.60	20
2.10	0.42	42	0.90	30

หมายเหตุ ปริมาณน้ำคิดเป็น 20 เท่าของแป้งกล้วย

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนของแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	
			(กรัม)	(%)
3.00	0.67	60	0.00	0
2.70	0.54	54	0.30	10
2.40	0.48	48	0.60	20
2.10	0.42	42	0.90	30

หมายเหตุ ปริมาณน้ำคิดเป็น 20 % ของแป้งกล้วย

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนของแป้งกล้วย อัลจินต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอลและน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายอัลจินตต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม : กรัม)		สารละลายอัลจินตต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (% : %)	
3.00	0.67	60	0	0	0	0
2.70	0.54	54	0.15	0.15	5	5
2.40	0.48	48	0.30	0.30	10	10
2.10	0.42	42	0.45	0.45	15	15

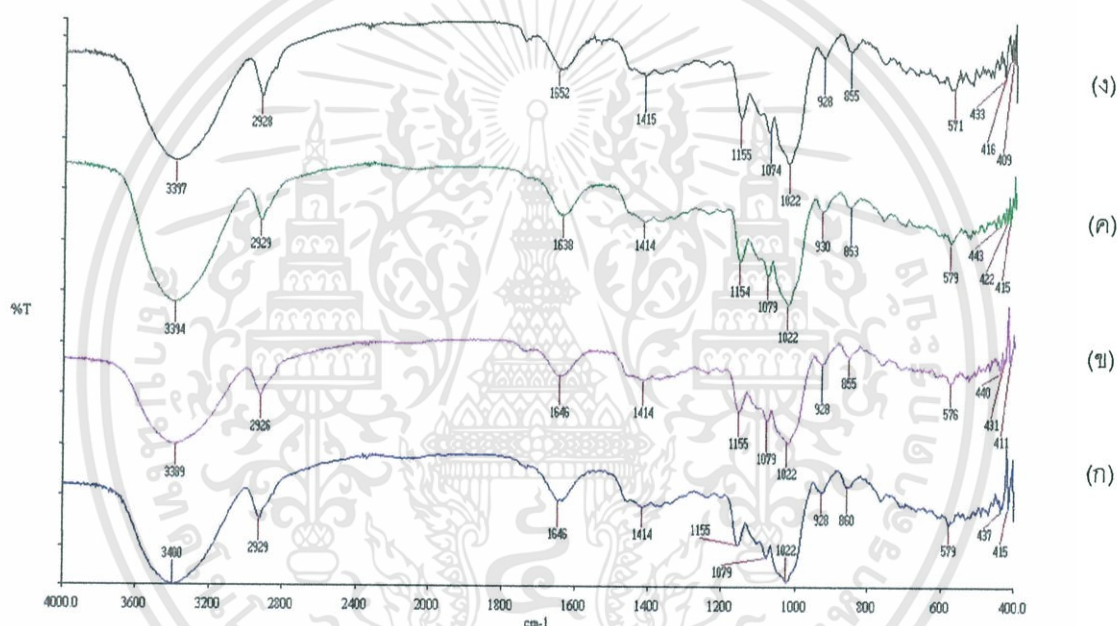
หมายเหตุ ปริมาณน้ำคิดเป็น 20 เท่าของแป้งกล้วย

จากตารางที่ 4.1- 4.3 พบว่าเมื่อมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัลจินต และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจินตในปริมาณที่ต่างกันลงในสูตรต่างๆ นั้นทำให้สารละลายแป้งกล้วยมีความหนืดมากขึ้น เนื่องจากทั้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินตเป็นสารก่อเจล (Gelling agent) [24, 26] ซึ่งจะทำให้ฟิล์มมีความขรุขระลดลง มีความเรียบมากขึ้น และช่วยปรับปรุงในเรื่องความแข็งแรงของฟิล์ม

4.2 Fourier – Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

ผลจากการศึกษาโดยเทคนิค Fourier – Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยศึกษาผลของการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ โซเดียมอัลจินเตตลงในฟิล์มจากแป้งกล้วย

4.2.1 การเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ กัน



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ กัน(ก) 0 % (ข) 10 % (ค) 20 % และ (ง) 30 %

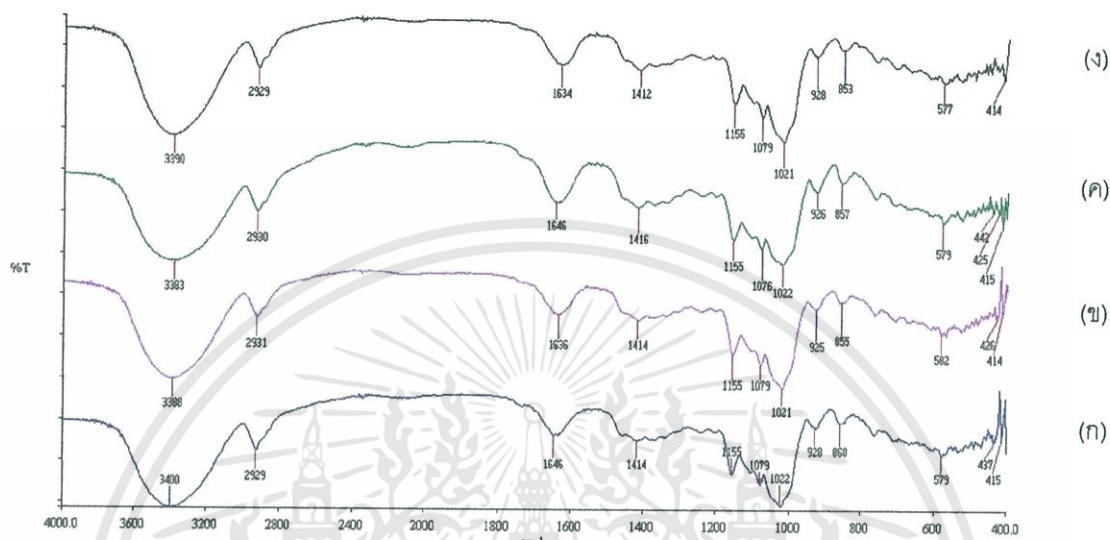
จากรูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ กัน พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากทุกสูตรมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกันซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลลูโลสตามลักษณะดังนี้

แถบพีคที่ความยาวคลื่น $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้งและกลีเซอรอล แถบพีคในช่วง $2800-2900\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นแบบ C-H stretching จาก CH_2 และ CH_3 ของ

แป้ง แแถบพีคที่ 1650 cm^{-1} สามารถอธิบายถึงการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลของน้ำแล้วเกิดการ Dehydration เรียกการเกิดปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งการ Hydrated ของ OH group ใน Amylose พีคช่วง 1400 cm^{-1} เป็นพีคของ O-H bending พีคช่วง $1300-1100\text{ cm}^{-1}$ มีลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching ของแป้ง และแถบพีคช่วง $1200-1100\text{ cm}^{-1}$ ลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending ของแป้งพบพีคที่ $800-850\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ C-H bending [27]

สำหรับความแตกต่างระหว่างฟิล์มย่อยสลายได้ที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในฟิล์มแป้งกล้วยจากรูป (ข) และ (ง) ทำให้พีคที่ตำแหน่ง $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ แบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างโมเลกุลของแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ A.Pawlak and M.Mucha [28] โดยรายงานวิจัยทั้งสองได้กล่าวว่า พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสององค์ประกอบที่ผสมกันสามารถศึกษาได้จากเทคนิค FT-IR โดยเมื่อสององค์ประกอบมีความเข้ากันได้ จะทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้นระหว่างองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2 โดยทำให้อินฟราเรดสเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบเดี่ยวๆ

4.2.2 การเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณอัลจินตต่างๆ กัน

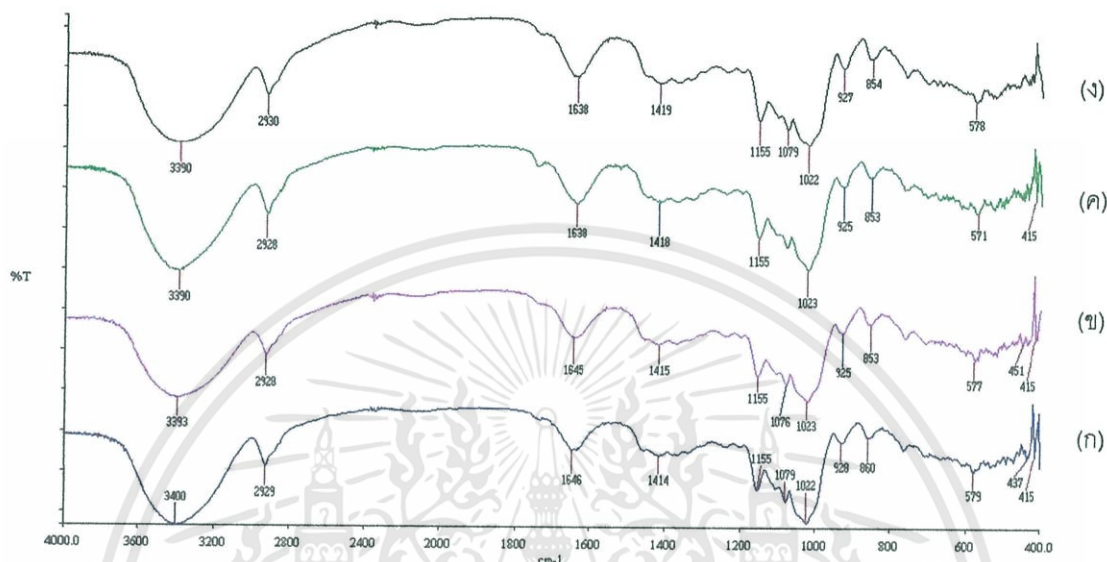


รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุง โดยใช้อัลจินตปริมาณต่างๆ กัน

(ก) 0 % (ข) 10 % (ค) 20 % และ (ง) 30 %

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 พบว่าผลจากการเติมอัลจินตลงในฟิล์มแป้งกล้วย ส่งผลให้สเปกตรัมคล้ายกับ สเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วย พบว่าทำให้พีคที่ตำแหน่ง $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลงแสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างโมเลกุลของแป้งและอัลจินต ซึ่งผลจากการเติมอัลจินตลงไปในฟิล์มแป้งกล้วยไม่ส่งผลให้มีพีคใหม่เกิดขึ้น

4.2.3 การเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และโซเดียมอัลจิเนตที่ปริมาณต่างๆ กัน



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนตปริมาณต่างๆกัน (ก) 0 % (ข) 10 % (ค) 20 % และ (ง) 30 %

จากการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนตลงในฟิล์มแป้งกล้วย ทำให้พีคที่ตำแหน่ง $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ แบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง พีคที่ 1646 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นแบบขั้วสมมาตรและขั้วไม่สมมาตร (Asymmetric and symmetric stretching) ของหมู่ carboxylate ($-\text{COO}^-$) และยังเกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่าง $-\text{OH}$ ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ $-\text{OH}$ หรือ $-\text{COO}^-$ ของอัลจิเนต

4.3 การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption)

ผลการศึกษาการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยศึกษาผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัลจินเตเมื่อเติมลงในแป้งกล้วย ทดสอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ตามมาตรฐาน ASTM E 104

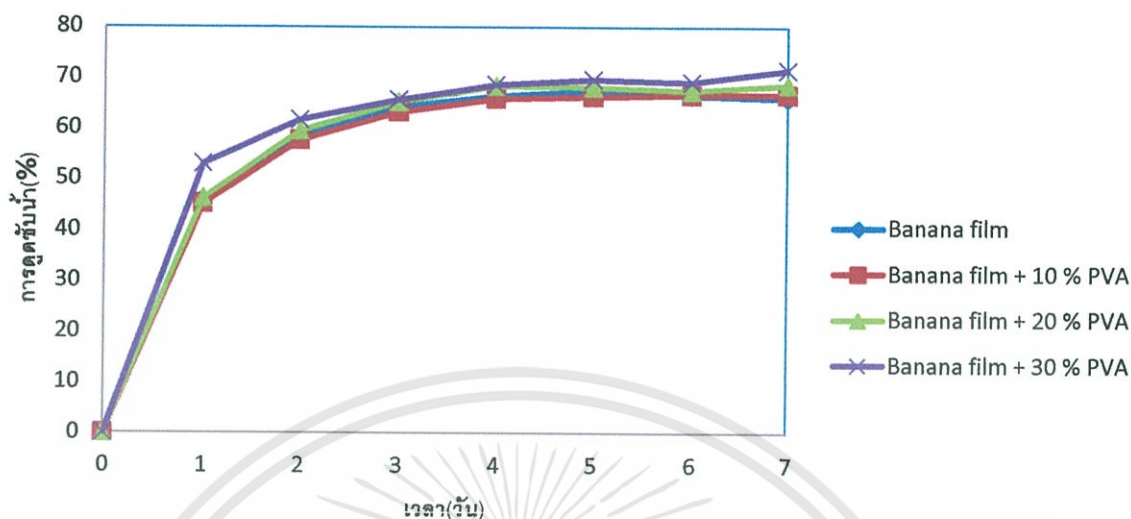
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะฟิล์มจากแป้งกล้วยจากการทดสอบการดูดซับน้ำ

ปริมาณ (%)		ลักษณะฟิล์มจากแป้งกล้วย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	อัลจินเต	
0	0	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 5 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
10	0	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 5 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
20	0	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้นและ มีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 4 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
30	0	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 4 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
0	10	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 5 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

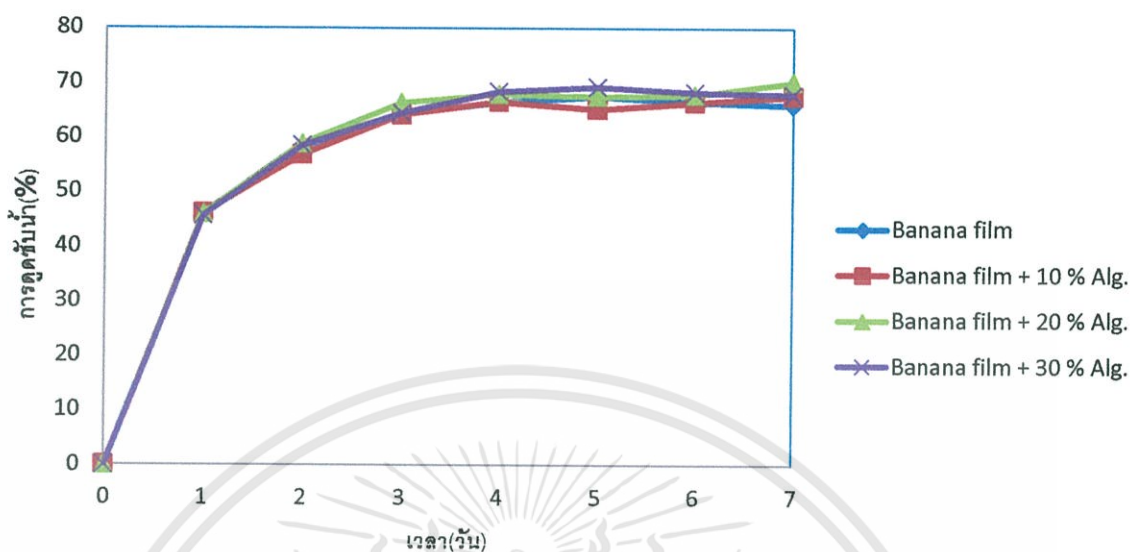
ปริมาณ (%)		ลักษณะฟิล์มจากแป้งกล้วย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	อัลจิเนต	
0	20	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 5 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
0	30	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 4 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
5	5	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
10	10	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา
15	15	ผ่านไป 2 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอมากขึ้น และมีความชื้นเพิ่มขึ้น ผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขึ้นรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นสัมพัทธ์ 100 %

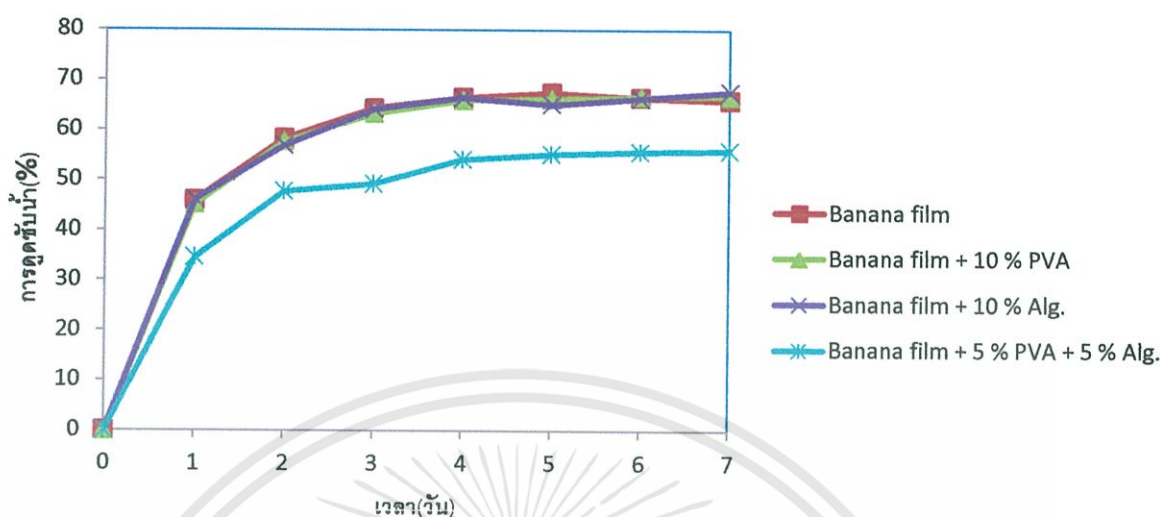
จากการทดสอบการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ รูปที่ 4.4 พบว่าในช่วง 4 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทุกสูตรมีความสามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าลง โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทุกสูตรมีความสามารถดูดซับน้ำแตกต่างกัน โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากที่สุด ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยที่สุด



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจิเนต

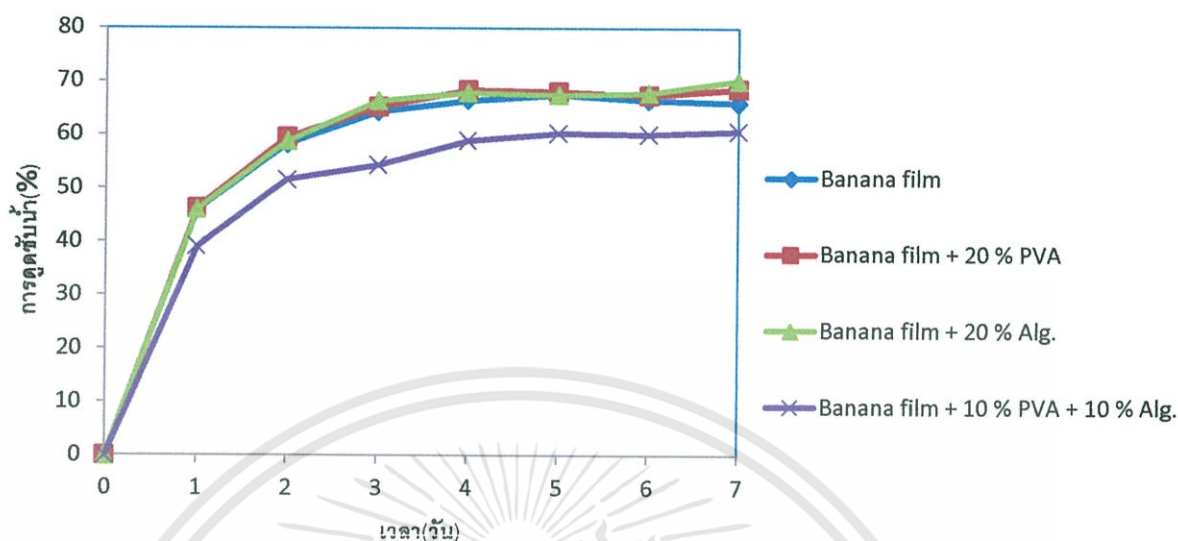
ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %

จากการทดสอบการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจิเนต รูปที่ 4.5 พบว่าในช่วง 4 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมอัลจิเนตทุกสูตรมีความสามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าลง โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมอัลจิเนตทุกสูตรมีความสามารถดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน



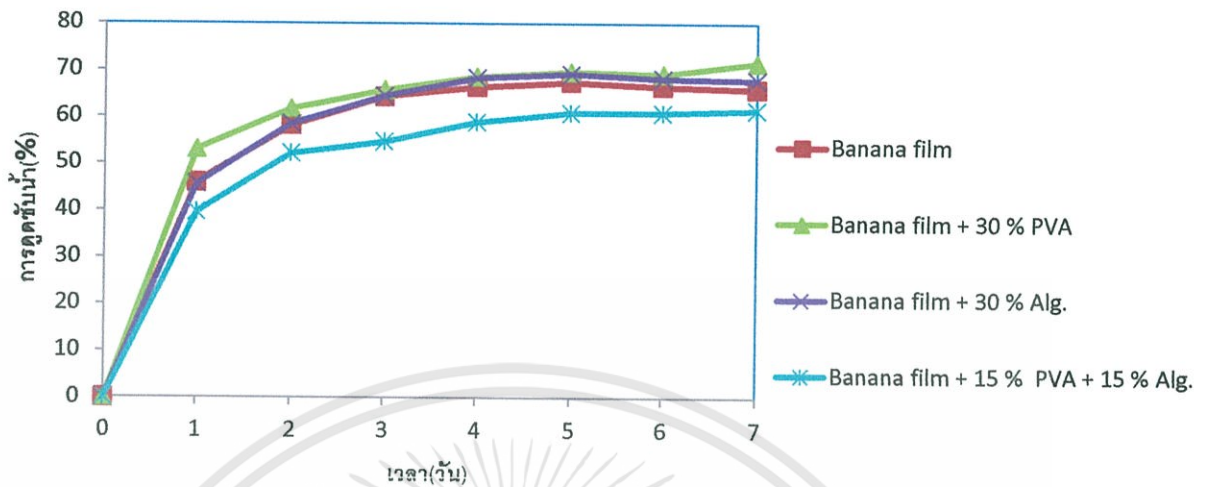
รูปที่ 4.6 เปรูเซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจิเนต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %

จากการทดสอบการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจิเนต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % รูปที่ 4.6 พบว่าในช่วง 4 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจิเนต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % มีความสามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าลง โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของแป้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัลจิเนต ทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลง ส่วนสูตรที่เหลือมีการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.7 เปรี่เซนต์การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %

จากการทดสอบการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % รูปที่ 4.7 พบว่าในช่วง 4 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % มีความสามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าลง โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาขึ้นระหว่างโมเลกุลของแป้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัลจิเนต ทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลง ส่วนสูตรที่เหลือมีการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.8 เปรอ์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจิเนต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %

จากการทดสอบการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจิเนต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % รูปที่ 4.8 พบว่าในช่วง 4 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจิเนต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % มีความสามารถดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าลง โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : โหเดียมอัลจิเนต 15 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของแป้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัลจิเนต ทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลง ส่วนสูตรที่เหลือมีการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน

จากการทดสอบการดูดซับน้ำสามารถสรุปได้ว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากที่สุด เมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เพราะปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น น้ำจะถูกดูดซับได้มากขึ้นด้วย ซึ่งการทดลองได้ใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่อากาศนั้นอิ่มตัวและไม่สามารถกักเก็บไอน้ำได้มากกว่านี้แล้ว ดังนั้นฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

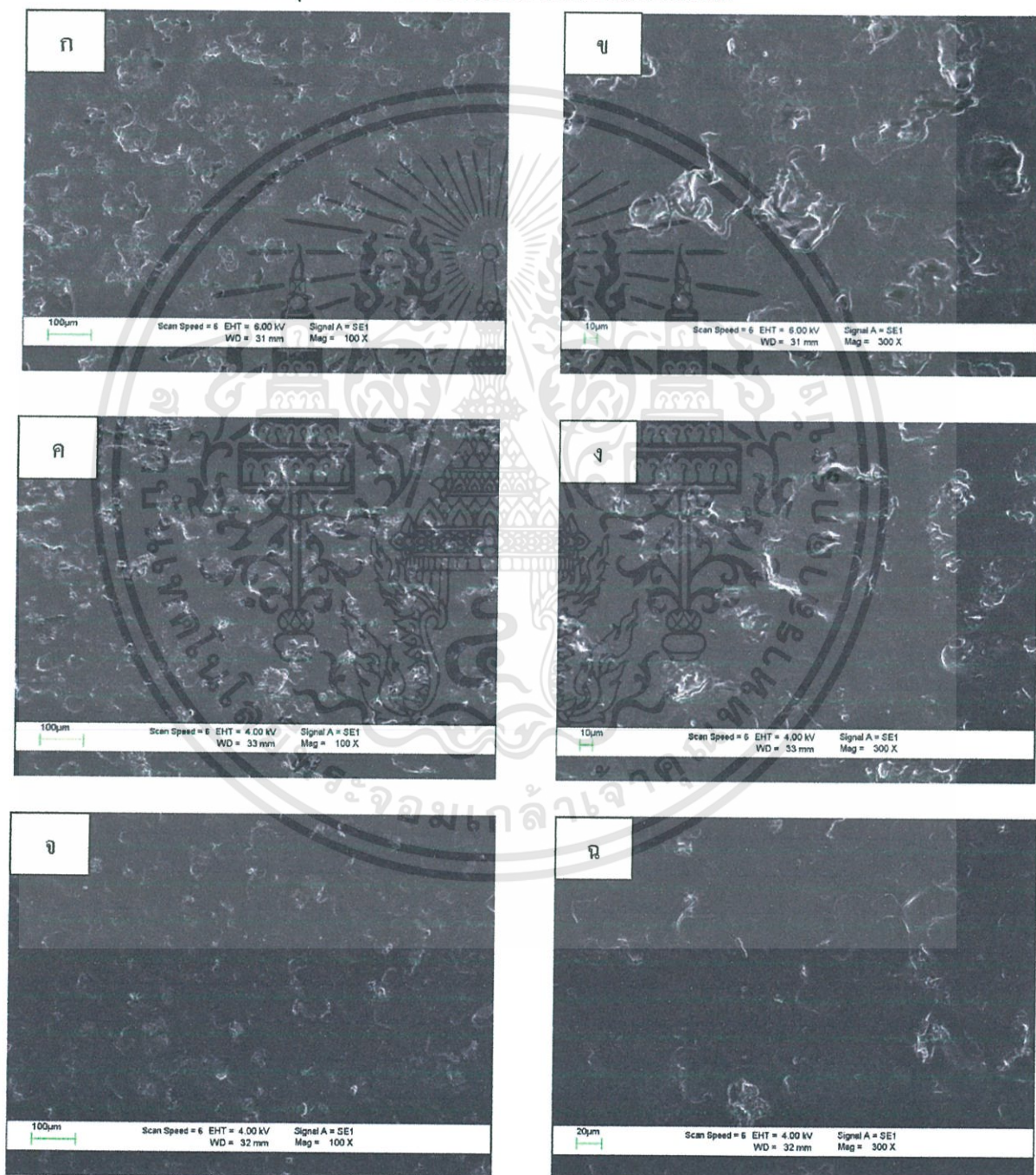
ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินต มีความสามารถในการดูดน้ำใกล้เคียงกับแป้งกล้วยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติ แม้ว่าอัลจินตที่ใช้จะช่วยปรับปรุงในเรื่องของความแข็งแรงของฟิล์มแล้วยังทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยตกตะกอน และเป็นสารเพิ่มความคงตัว ซึ่งอัลจินตเป็นสารแขวนลอยตกตะกอนที่มีการดูดน้ำได้ไม่ดี จึงทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินตมีความสามารถในการดูดน้ำได้ต่ำกว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

นอกจากนี้ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับอัลจินตที่อัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจินต 5 % มีความสามารถในการดูดน้ำค่าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มจากสูตรอื่นๆ

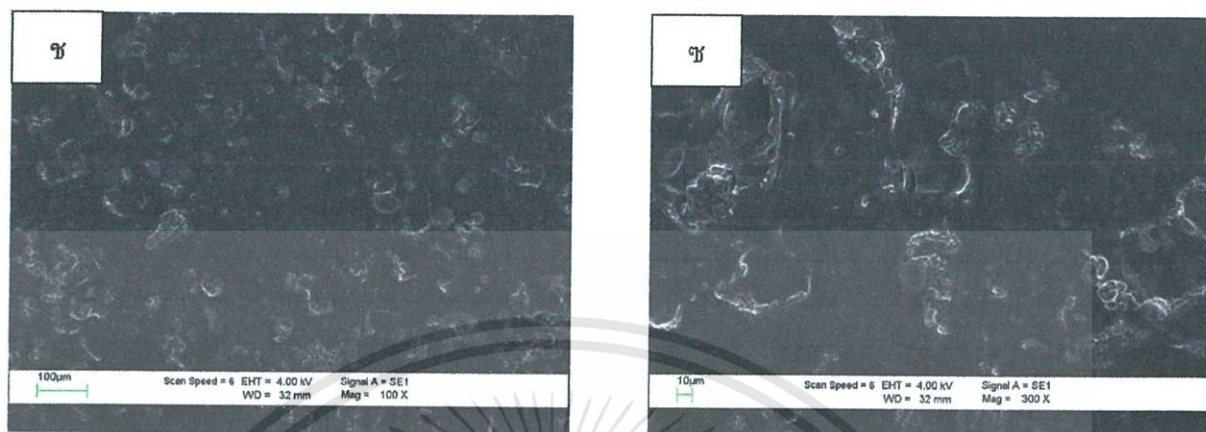


4.4 สัณฐานวิทยา

เทคนิคการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ได้นำมาใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มแข็งกล้วย โดยศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มแข็งกล้วยก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินเตด

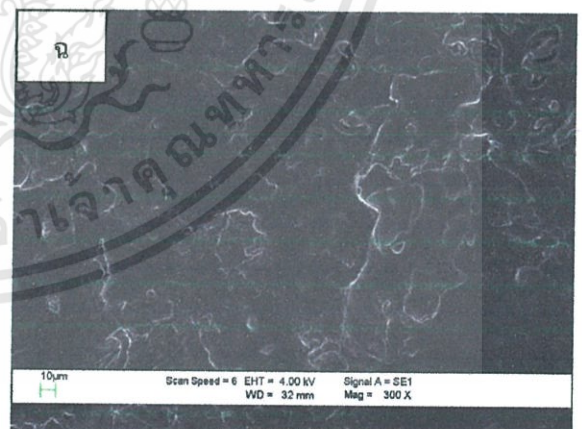
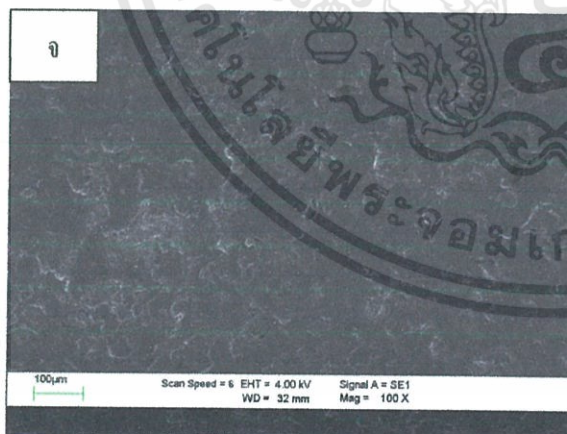
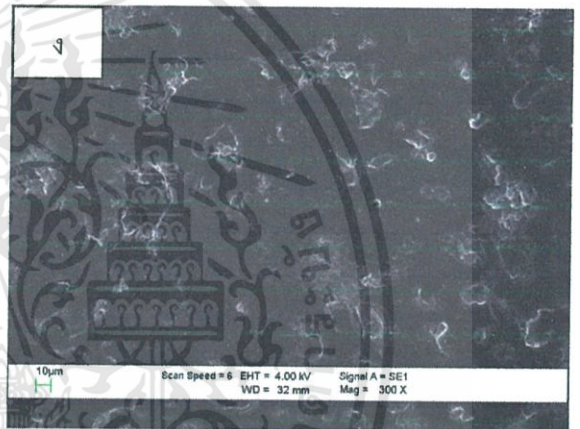
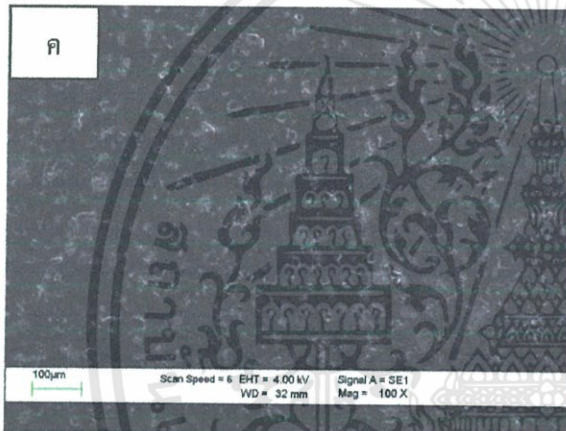
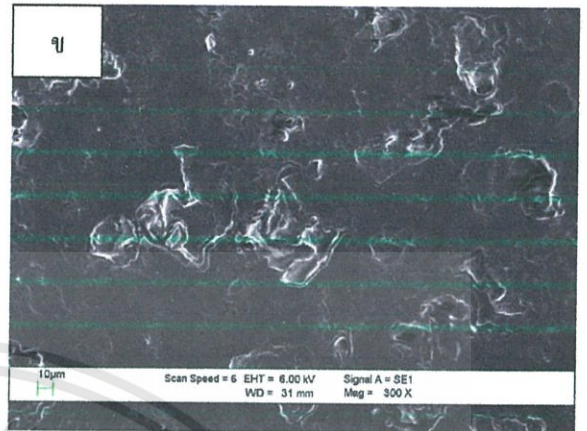
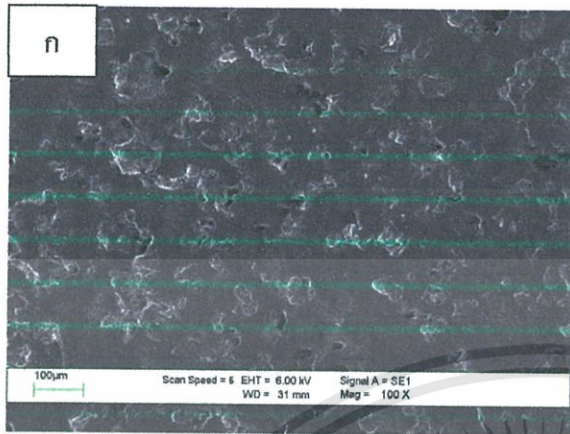


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

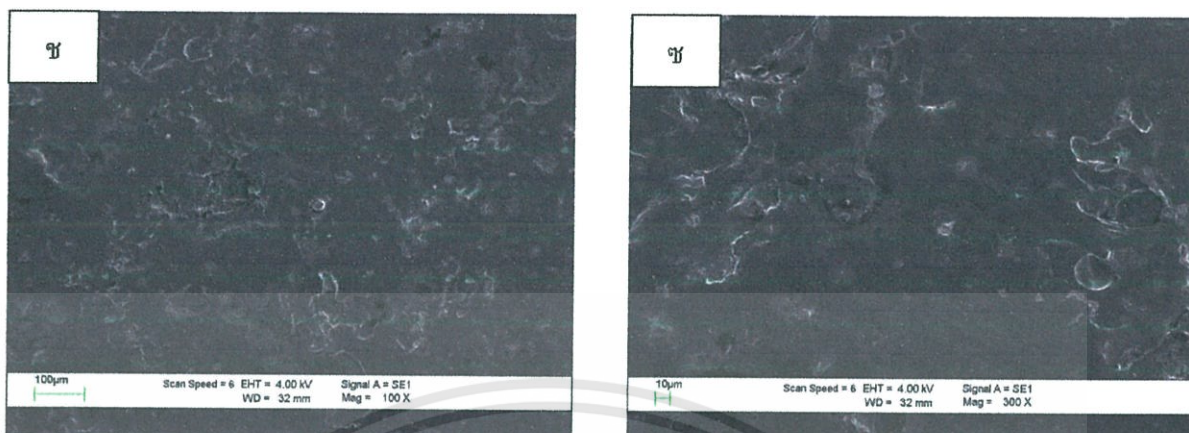


รูปที่ 4.9 ลักษณะผิว (พื้นผิว) ด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า ที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ (ก) – (ข) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0 %, (ค) – (ง) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, (จ) – (ฉ) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, (ช) – (ซ) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %

รูปที่ 4.9 (ก) - 4.9 (ซ) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวด้านล่าง (ด้านที่สัมผัสกับแม่พิมพ์) ของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เติมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ กัน ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า พบว่า จากรูปที่ 4.9 (ก) และรูปที่ 4.9 (ข) พื้นผิวของฟิล์มจากแป้งกล้วยมีลักษณะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว มีฟองอากาศเป็นจำนวนมาก แต่พื้นผิวของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เติมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีลักษณะที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้มากขึ้นเนื่องมาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารก่อเจล (Gelling agent) [2] มีสมบัติในการทำให้เกิดฟิล์มได้ง่ายกว่าแป้งกล้วย และจากการทดลองพบว่า ที่การเติมปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 % (รูปที่ 4.9 (จ) – รูปที่ 4.9 (ฉ)) พื้นผิวมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด และเมื่อเติมปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 % (รูปที่ 4.9 (ช) – รูปที่ 4.9 (ซ)) จะทำให้พื้นผิวมีความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันลดลง เนื่องจากมีปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากเกินไป ทำให้มีจำนวนฟองอากาศที่เพิ่มมากขึ้น

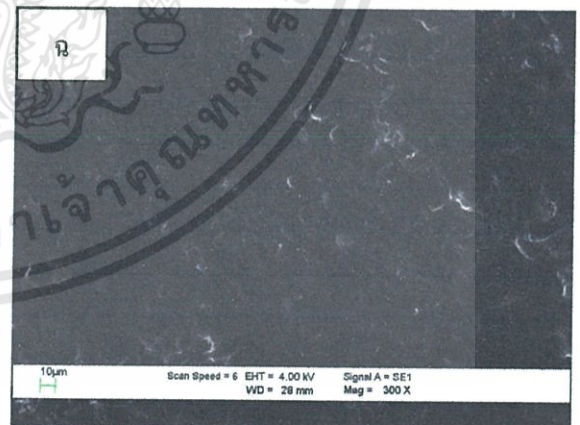
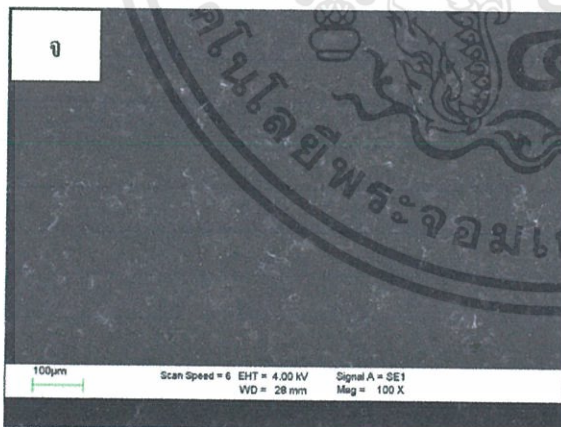
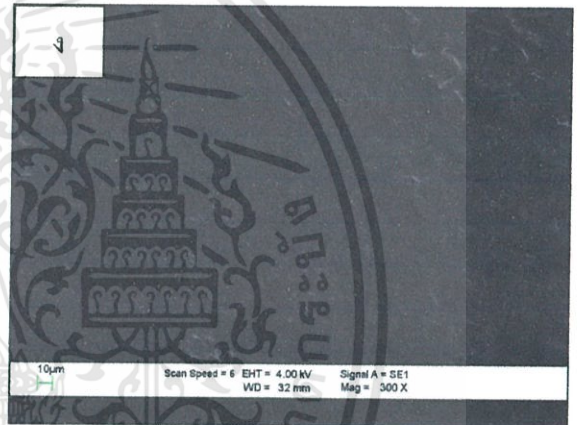
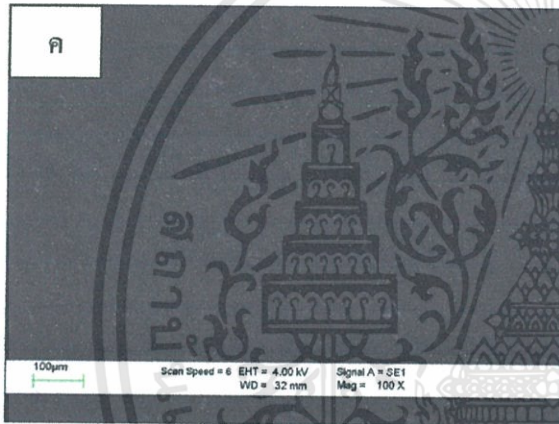
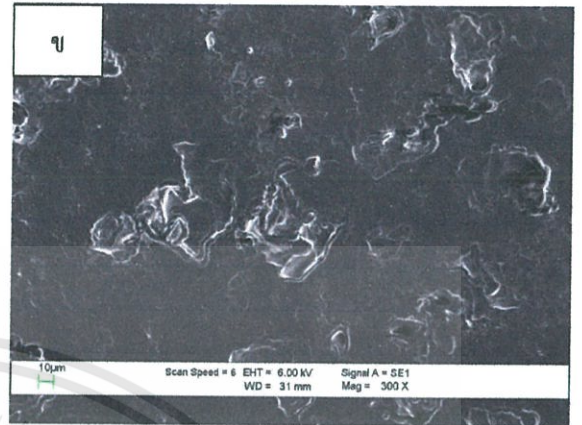


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

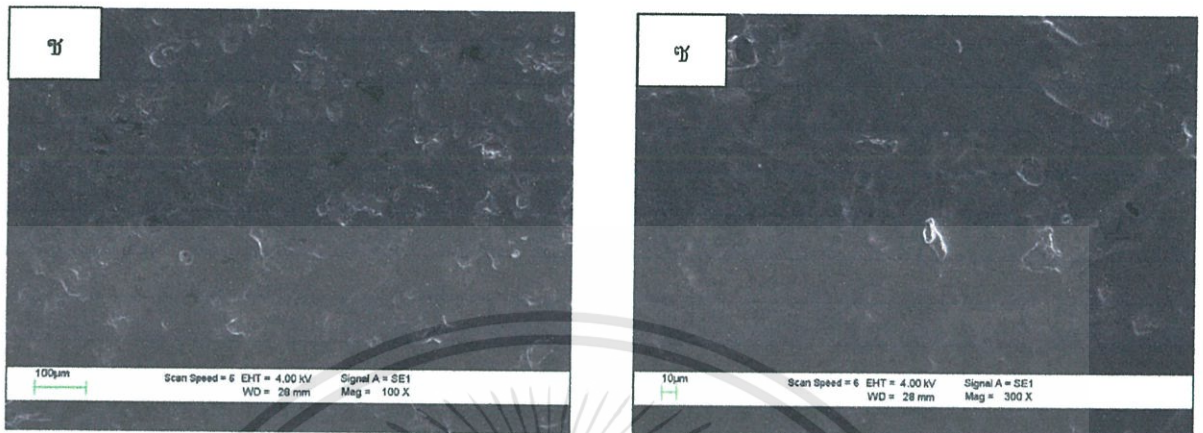


รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า ที่ปริมาณสารละลายอัลจินตต่างๆ (ก) – (ข) อัลจินต 0 %, (ค) – (ง) อัลจินต 10 %, (จ) – (ฉ) อัลจินต 20 %, (ช) – (ซ) อัลจินต 30 %

รูปที่ 4.10 (ก) – 4.10 (ซ) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวด้านล่าง (ด้านที่สัมผัสกับแม่พิมพ์) ของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เติมสารละลายอัลจินตในปริมาณต่างๆ กัน ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า พบว่า จากรูปที่ 4.10 (ก) และรูปที่ 4.10 (ข) พื้นผิวของฟิล์มจากแป้งกล้วยมีลักษณะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว มีฟองอากาศเป็นจำนวนมาก แต่พื้นผิวของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เติมสารละลายอัลจินตมีลักษณะที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้มากขึ้นขึ้น ฟองอากาศมีขนาดเล็กลงแต่มีจำนวนมากขึ้น เนื่องจากอัลจินตทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น และจากการทดลองพบว่า ที่การเติมปริมาณอัลจินต 10 % (รูปที่ 4.10 (ค) – รูปที่ 4.10 (ง)) พื้นผิวมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุดและฟองอากาศมีขนาดเล็กที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



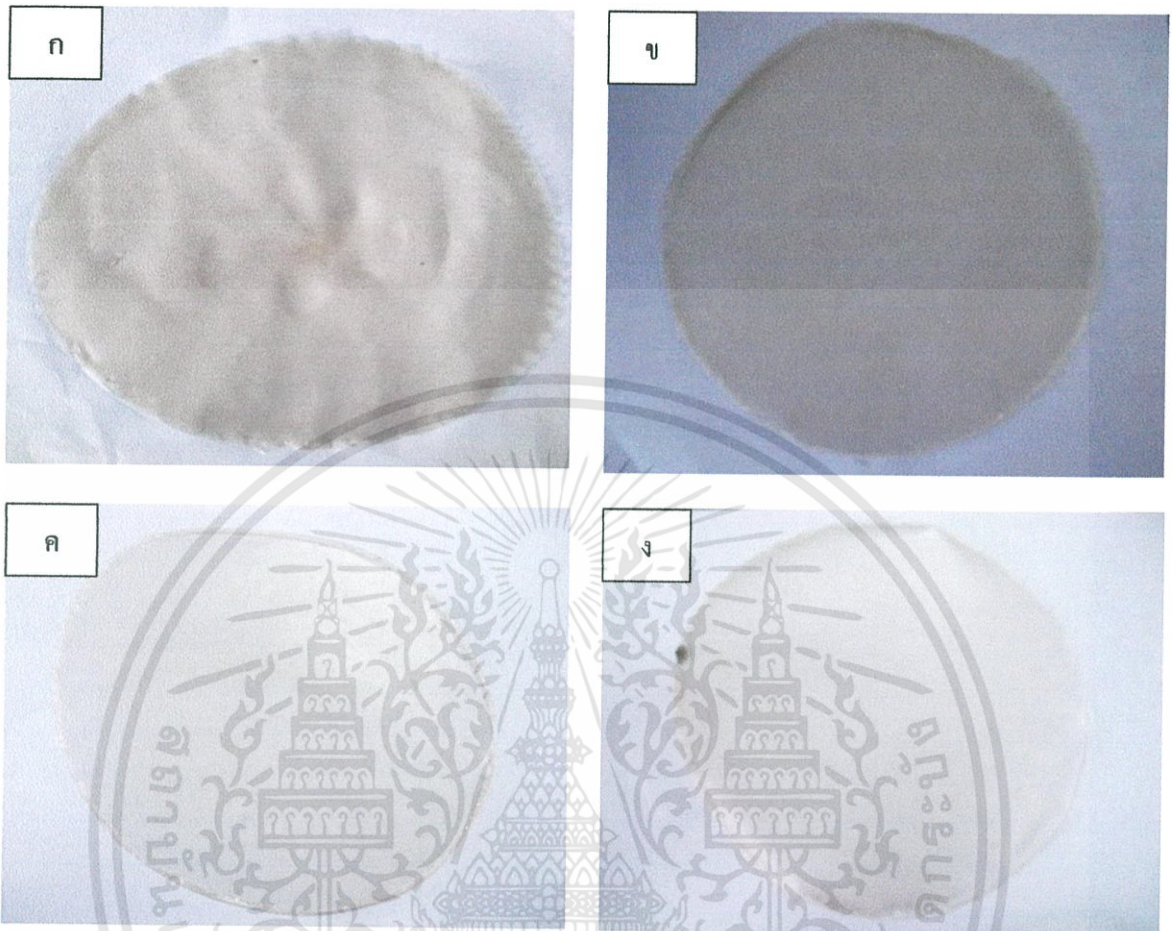
รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยา (พื้นผิว) ด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ค้ำลงขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

ที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนตต่างๆ

- (ก) – (ข) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0 % : อัลจิเนต 0 %,
- (ค) – (ง) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 %,
- (จ) – (ฉ) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 %,
- (ช) – (ซ) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 %

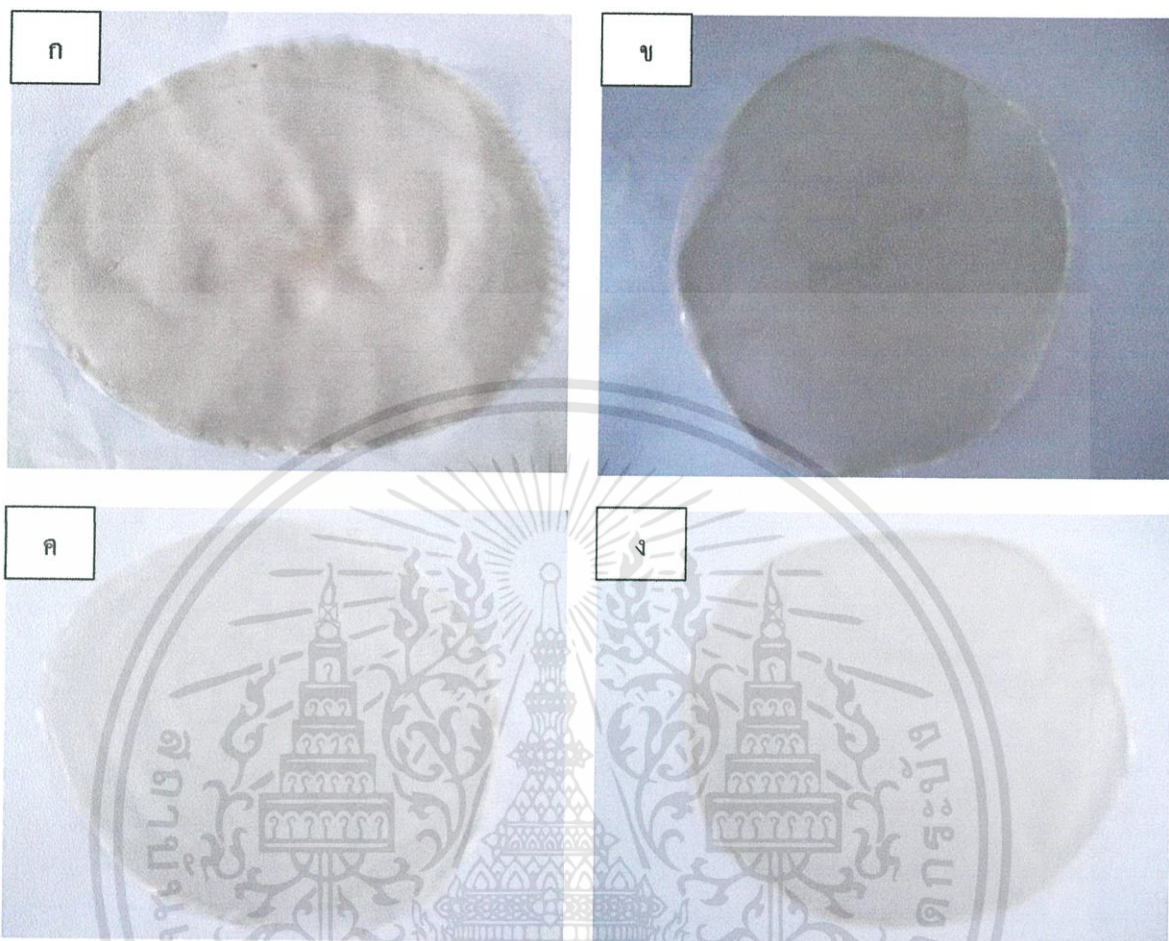
รูปที่ 4.11 (ก) – 4.11 (ซ) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวด้านล่าง (ด้านที่สัมผัสกับแม่พิมพ์) ของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เติมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนตในปริมาณต่างๆ กัน ที่ค้ำลงขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า พบว่า จากรูปที่ 4.11 (ก) และรูปที่ 4.11 (ข) พื้นผิวของฟิล์มจากแป้งกล้วยมีลักษณะไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว มีฟองอากาศเป็นจำนวนมาก แต่พื้นผิวของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เติมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนตมีลักษณะที่มีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากขึ้น แต่เกิดฟองอากาศและมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้นตามปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนตที่มากขึ้น และจากการทดลองพบว่า ที่การเติมปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % (รูปที่ 4.11 (ค) – รูปที่ 4.11 (ง)) พื้นผิวมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



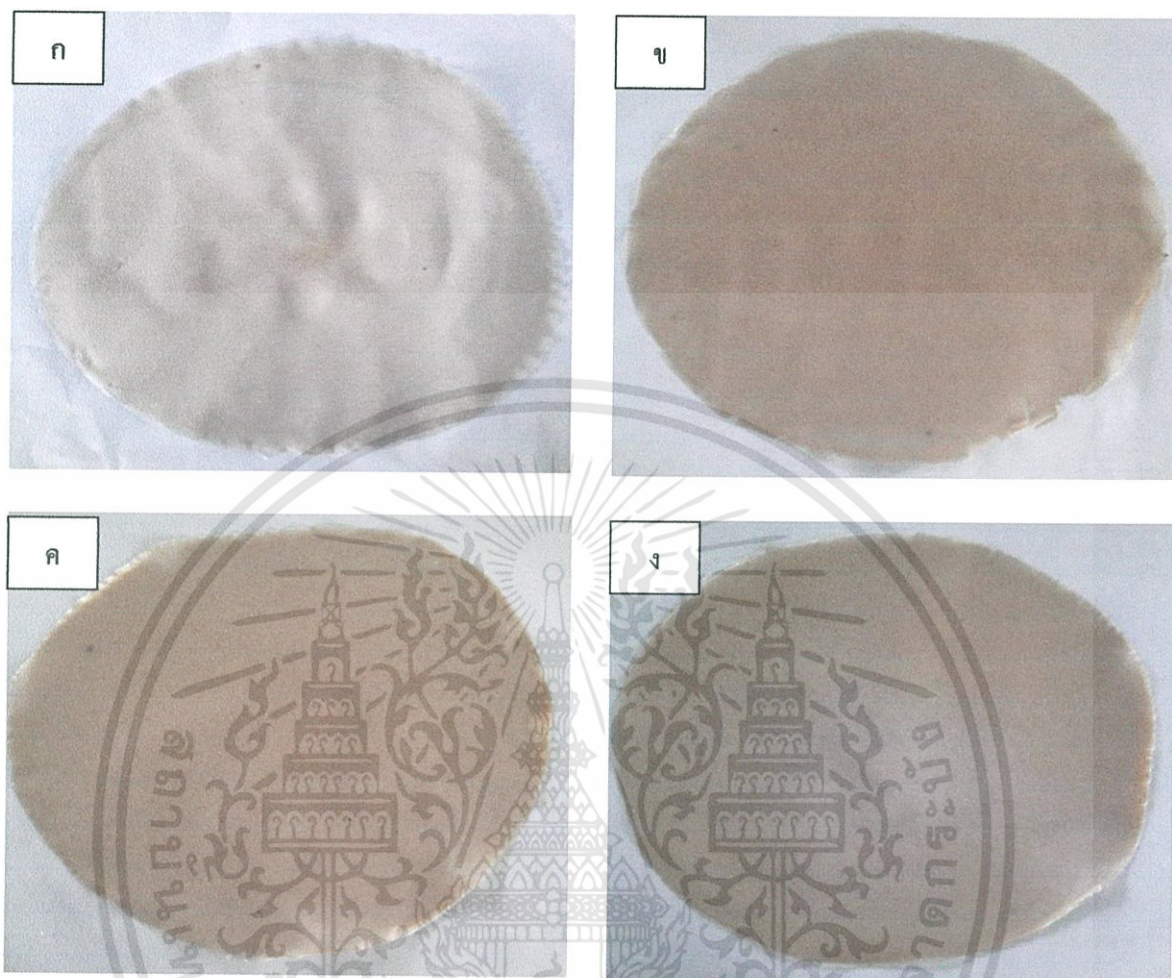
รูปที่ 4.12 ลักษณะฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ (ก) 0 % (ข) 10 % (ค) 20 % และ (ง) 30 %

จากรูปที่ 4.12 ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล พบว่า รูปที่ 4.12 (ก) ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีฟองอากาศจำนวนมากและเห็นได้ชัด รูปที่ 4.12 (ข) – (ค) เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่มีจำนวนฟองอากาศลดลง และเห็นไม่ชัด ส่วนรูปที่ 4.12 (ง) เมื่อปริมาณของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 30 % ทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยมีฟองอากาศขนาดใหญ่และเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.13 ลักษณะฟิล์มที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายอัลจินต ที่ปริมาณสารละลายอัลจินตต่างๆ (ก) 0 % (ข) 10 % (ค) 20 % และ (ง) 30 %

จากรูปที่ 4.13 ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล พบว่า รูปที่ 4.13 (ก) ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายอัลจินต มีฟองอากาศจำนวนมากและเห็นได้ชัด รูปที่ 4.13 (ข) ที่ปริมาณสารละลายอัลจินต 10 % ฟิล์มจากแป้งกล้วยมีขนาดฟองอากาศเล็กลงและจำนวนฟองอากาศเพิ่มขึ้น ส่วนรูปที่ 4.13 (ค) - (ง) เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายอัลจินตมากขึ้น ทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยมีฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 4.14 ลักษณะฟิล์มที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจินต
 ที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจินตต่างๆ (ก) 0 : 0 % (ข) 5 : 5 % (ค) 10 : 10 %
 และ (ง) 15 : 15 %

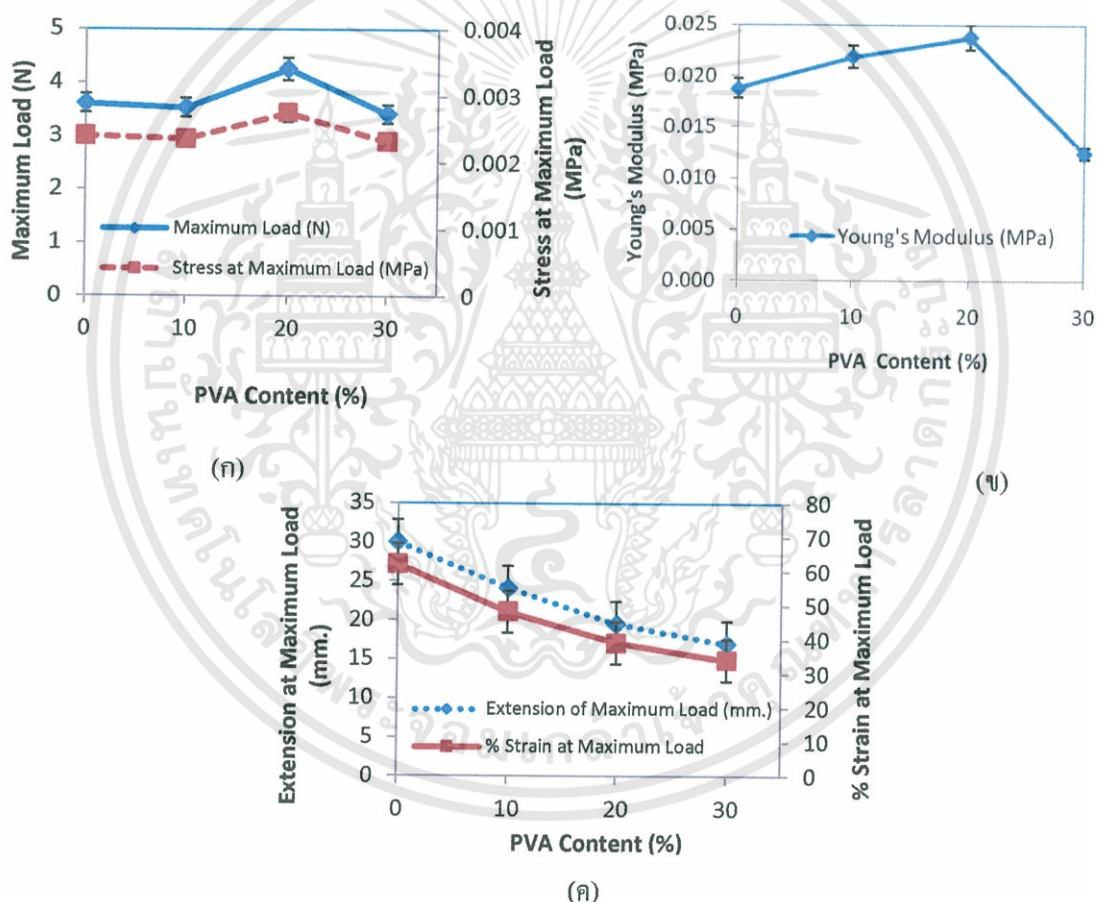
จากรูปที่ 4.14 ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ พบว่า รูปที่ 4.14 (ก) ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจินต มีฟองอากาศจำนวนมากและเห็นได้ชัด รูปที่ 4.14 (ข) ที่ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจินต 5 % ฟิล์มจากแป้งกล้วยมีลักษณะเรียบ ปริมาณฟองอากาศน้อย ส่วนรูปที่ 4.14 (ค) - (ง) เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจินต มากขึ้น ทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยมีลักษณะไม่เรียบและมีฟองอากาศ

4.6 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาและทดลอง ได้แก่แรงดึงสูงสุด (Maximum load) ความเค้น ณ แรงดึงสูงสุด (Stress at max load) โมดูลัส (Young's Modulus) การดัด ยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Extension at max load) และความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Strain at max load)

4.6.1 สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ผลการทดลองสมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากแป้งกล้วยโดยใช้กลีเซอรอล และน้ำเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 0 %, 10 %, 20 % และ 30 % ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณพอลิไวนิล

แอลกอฮอล์ต่างๆ กัน (ก) ความแข็งแรงดึงกับความเค้น ณ แรงดึงสูงสุด (ข) โมดูลัส และ

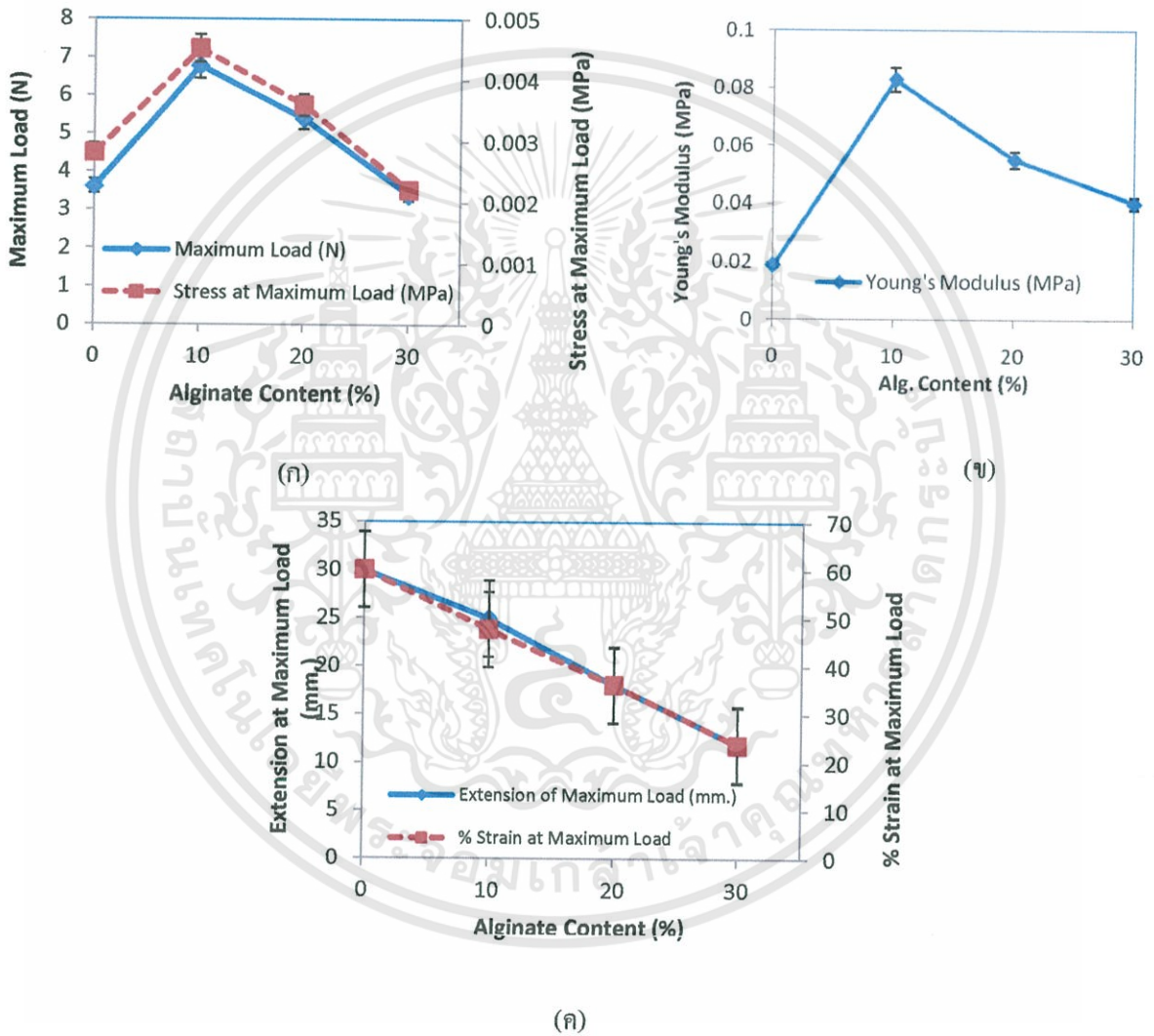
(ค) การดัดยืดกับเปอร์เซ็นต์การดัดยืด ณ แรงดึงสูงสุด

จากรูปที่ 4.16 (ก) – (ข) พิจารณาผลของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ปริมาณ 0 %, 10 %, 20 % และ 30 % พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 20 % ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเพิ่มความข้น (Thickening agent) หรือสารก่อเจล (Gelling agent) ลักษณะมีความยืดหยุ่นดี [2] จึงคาดว่าฟิล์มที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความแข็งแรงดึงลดลง แต่จากผลการทดลอง SEM พบว่า ฟิล์มที่เตรียมได้มีความมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากขึ้น (รูปที่ 4.9) และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า การ Shift ของเลขคลื่นของหมู่ไฮดรอกซิลที่ลดลงเมื่อเทียบฟิล์มแป้งกล้วย ซึ่งแสดงถึง การสร้างพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างของแป้งกล้วยและของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงทำให้แรงดึงสูงสุดกับความเค้น ณ แรงดึงสูงสุดและมอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 30 % พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสลดลง แม้จะพบการ Shift ของเลขคลื่นของหมู่ไฮดรอกซิลลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มแป้งกล้วย ลักษณะเดียวกับฟิล์มที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 % แต่เนื่องจากปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาก ทำให้เกิดฟองอากาศในชิ้นงานมาก ดังที่ได้กล่าวข้างต้นว่า สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเพิ่มความข้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง SEM (รูปที่ 4.9) พบว่า พื้นผิวฟิล์มมีลักษณะฟองอากาศมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีแนวโน้มลดลง

จากรูปที่ 4.16 (ค) พิจารณาการดึงยึดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดสูงสุด มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับธรรมชาติของวัสดุ กล่าวคือ เมื่อวัสดุมีความแข็งแรง ถ้าให้แรงกระทำในลักษณะแรงดึง จะขยายตัวได้น้อยหรือถ้าให้แรงดึงมากเกินไป อาจทำให้วัสดุเสียหายหรือแตกหัก แสดงว่า วัสดุมีความแข็ง เปราะ มากขึ้น ดังนั้นปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้นทำให้ระยะยึดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ แรงดึงสูงสุดลดลง

4.6.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยอัลจินต

ผลการทดลองสมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากแป้งกล้วยโดยใช้กลีเซอรอล และน้ำเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณสารละลายอัลจินตที่ 0 %, 10 %, 20 % และ 30 % ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณอัลจินตต่างๆ กัน

(ก) ความแข็งแรงดึงกับความเค้น ณ แรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ

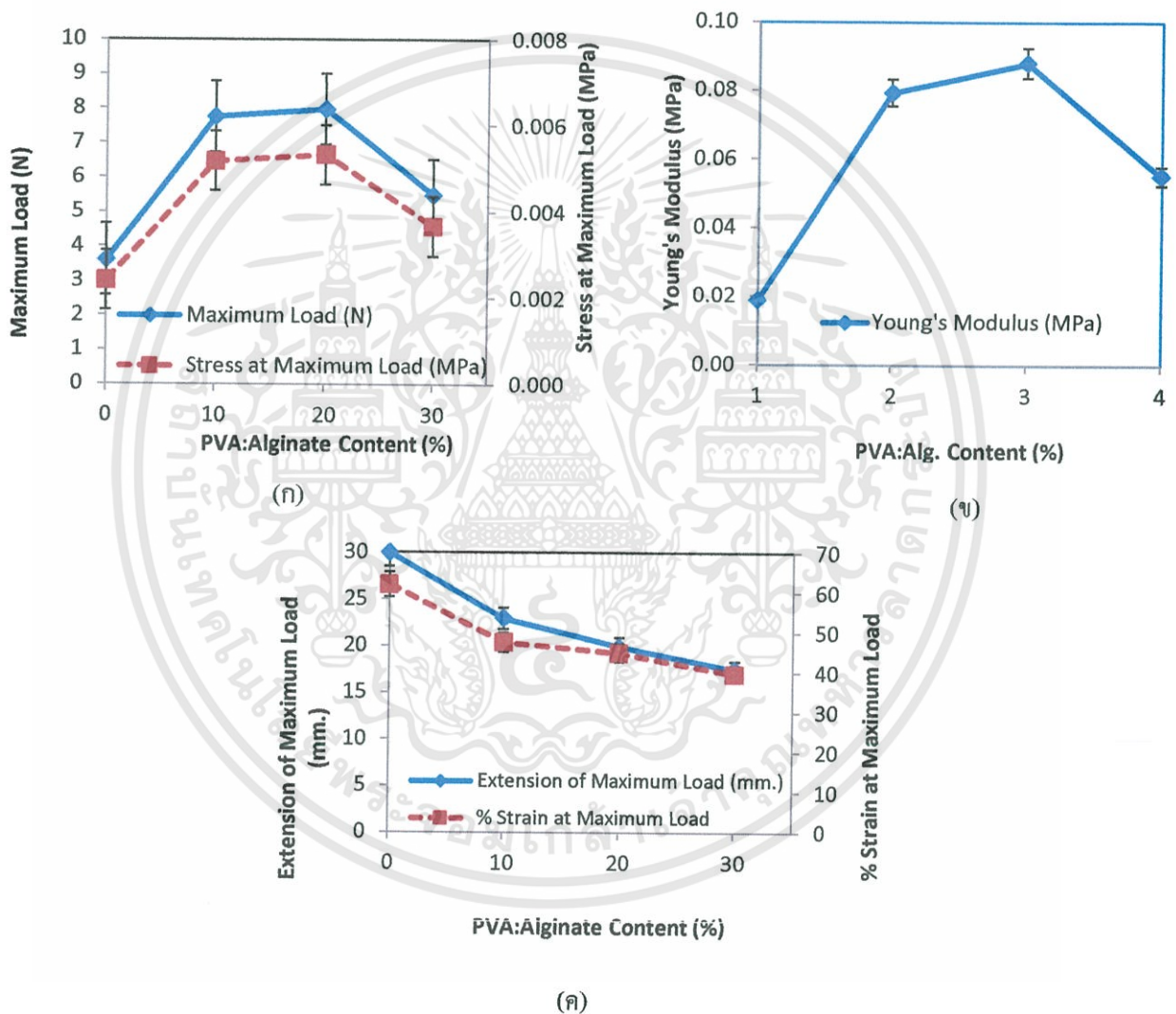
(ค) การดึงยืดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุด

จากรูปที่ 4.17 (ก) – (ข) พิจารณาผลของสารละลายอัลจินต ที่ปริมาณร้อยละ 0 %, 10 %, 20 % และ 30 % พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายอัลจินตเป็น 10 % ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลอง SEM ซึ่งพบว่า ฟิล์มที่เตรียมได้มีความมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากขึ้น (รูปที่ 4.10) และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า การ Shift ของเลขคลื่นของหมู่ไฮดรอกซิล ที่ประมาณ 3400 cm^{-1} ที่ลดลงเมื่อเทียบฟิล์มแป้งกล้วย ซึ่งแสดงถึง การสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งกล้วยและอัลจินต จึงทำให้แรงดึงสูงสุดกับความเค้น ณ แรงดึงสูงสุดและมอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณอัลจินตเป็น 20 % พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสลดลง แม้จะพบการ Shift ของเลขคลื่นของหมู่ไฮดรอกซิลที่ประมาณ 3400 cm^{-1} เปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งกล้วย ลักษณะเดียวกับฟิล์มที่เติมอัลจินต 10 % แต่เนื่องจากปริมาณสารละลายอัลจินตมาก ทำให้เกิดฟองอากาศในชิ้นงานมาก สอดคล้องกับผลการทดลอง SEM (รูปที่ 4.10) พบว่า พื้นผิวฟิล์มมีลักษณะฟองอากาศมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสมีแนวโน้มลดลง

จากรูปที่ 4.17 (ค) พิจารณาการดึงยึดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดสูงสุด มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณอัลจินตเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัลจินตเป็นสารเพิ่มความหนืด เมื่อปริมาณอัลจินตเพิ่มขึ้น ทำให้พื้นผิวฟิล์มมีลักษณะฟองอากาศมากขึ้น การส่งแรงกระทำในวัสดุภาคไม่ต่อเนื่องกัน จึงส่งผลต่อการขยายตัวได้ไม่ดี ดังนั้นปริมาณอัลจินตมากขึ้น ทำให้การดึงยึดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ แรงดึงสูงสุดลดลง

4.6.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัลจิเนต

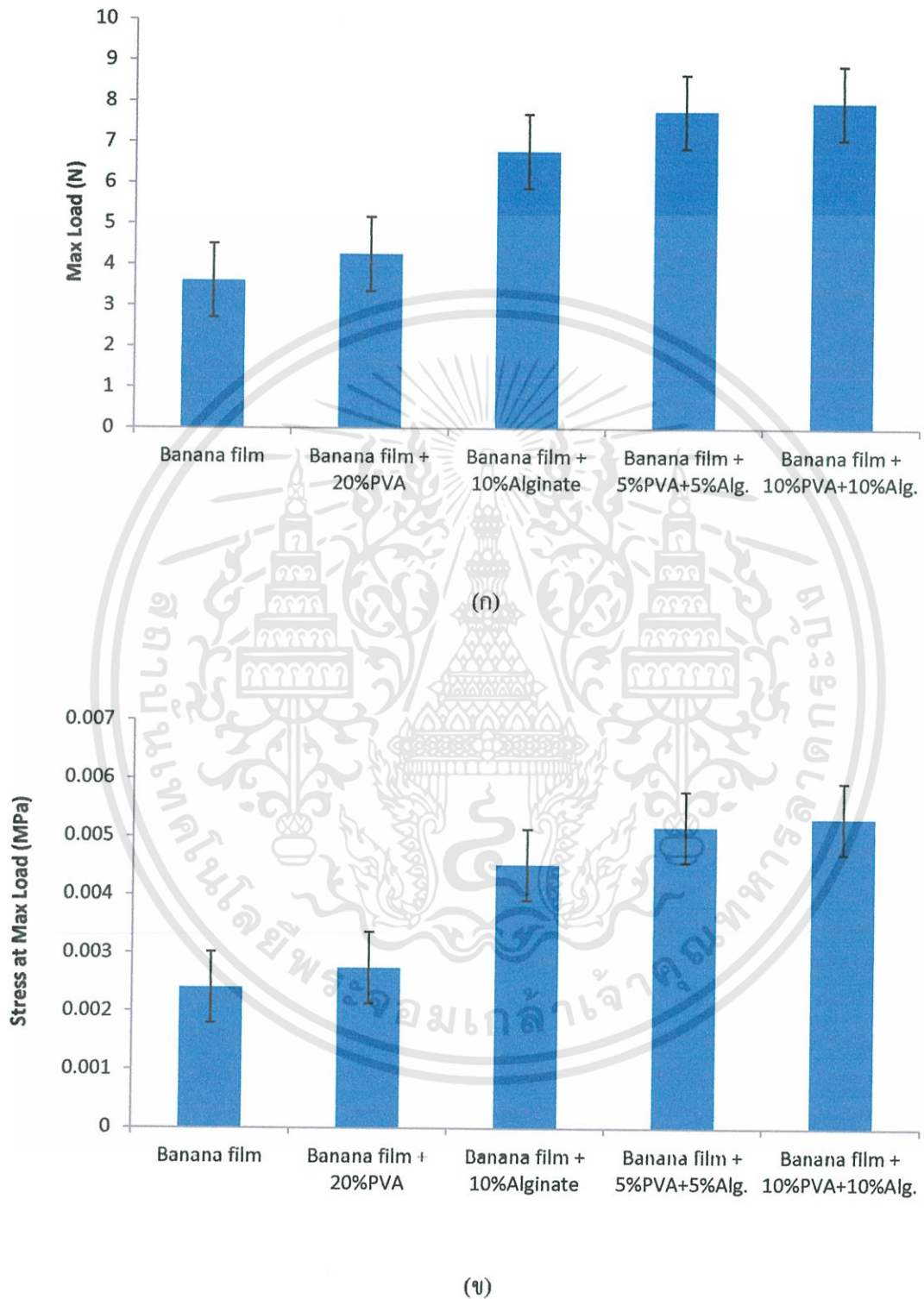
ผลการทดลองสมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากแป้งกล้วยโดยใช้กลีเซอรอล และน้ำเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนตในอัตราส่วน เท่ากับ 1:1 ที่ 0 %, 10 %, 20 % และ 30 % ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



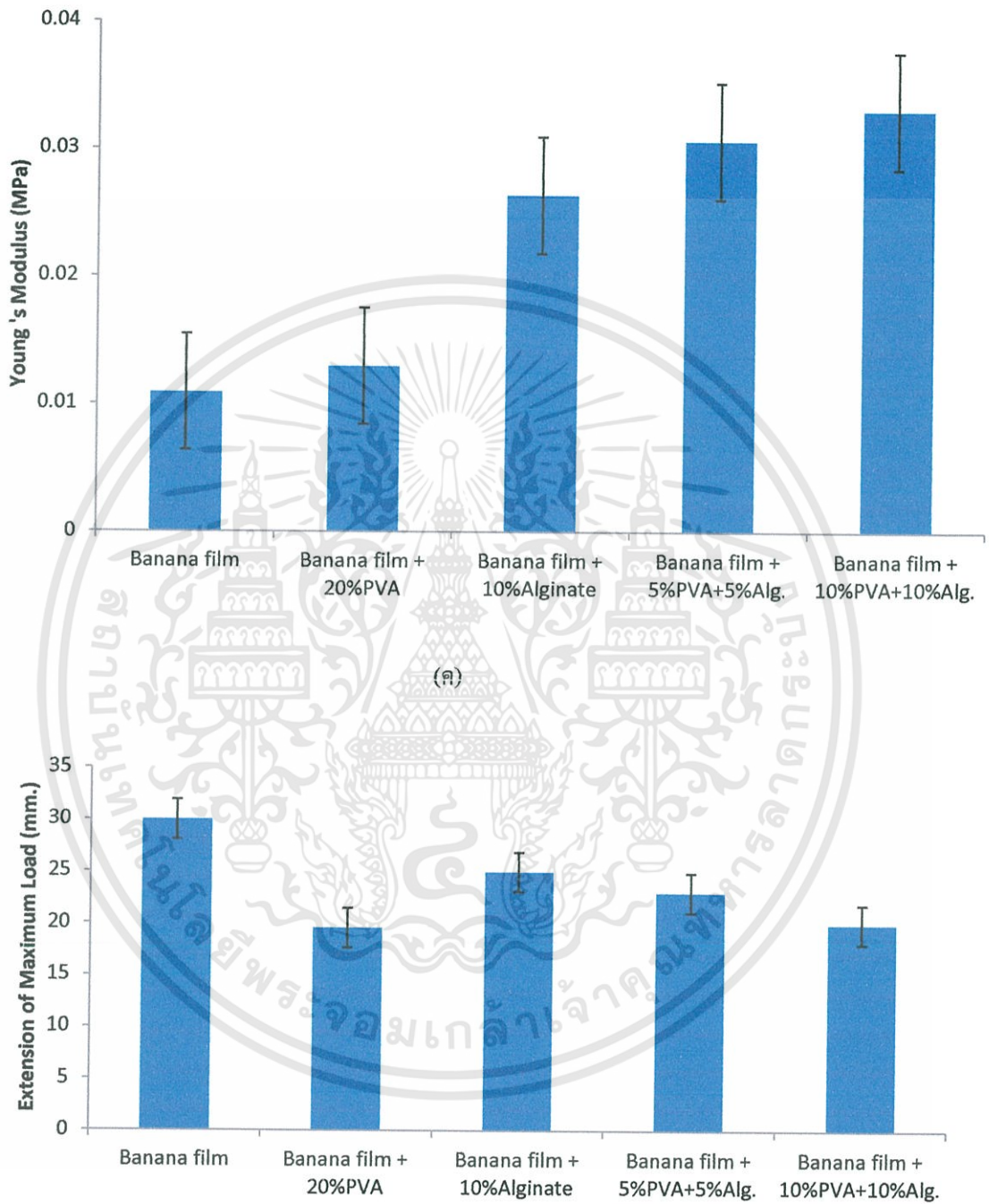
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนตต่างกัน โดยอัตราส่วนเท่ากัน (ก) ความแข็งแรงดึงกับความเค้น ณ แรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) การดึงยืดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุด

จากรูปที่ 4.18 (ก) – (ข) พิจารณาผลของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต ที่ ปริมาณ 0 %, 10 %, 20 % และ 30 % โดยอัตราส่วน 1:1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และอัลจิเนตเป็น 10 % และ 20 % โดยอัตราส่วนเท่ากัน นั่นคือ 1:1 แรงดึงสูงสุดและ มอดุลัสมีแนวโน้มเดียวกันโดยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต มีผลทำให้ฟิล์มที่เตรียม ได้จากแป้งกล้วยมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถรับแรงดึงได้มากขึ้น เนื่องจากความเข้ากันได้ ระหว่างภูมิภาคของแป้งกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต ซึ่งพิจารณาได้จากผลการ ทดลอง SEM พบว่า พื้นผิวฟิล์มมีความมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (รูปที่ 4.11) และจากรูปที่ 4.18 (ค) พิจารณาระยะยืดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และอัลจิเนตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับธรรมชาติของวัสดุ กล่าวคือ เมื่อวัสดุมีความแข็งแรง ถ้าให้แรงกระทำในลักษณะแรงดึง ขยายตัวได้น้อยหรือถ้าให้แรงดึงมากเกินไป อาจทำให้วัสดุเสียหาย หรือแตกหัก แสดงว่า วัสดุมีความแข็ง เปราะ มากขึ้น ดังนั้นปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต มากขึ้น ทำให้ระยะยืดกับเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุดลดลง

การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ แรงดึงสูงสุด ความเค้น ณ แรงดึงสูงสุด มอดุลัส และ ความเครียด ณ แรงดึงสูงสุด ที่ดีที่สุดของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ำโรงสมาบัติโดย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือปรับปรุงสมบัติโดยอัลจิเนต และปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัลจิเนตสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.19

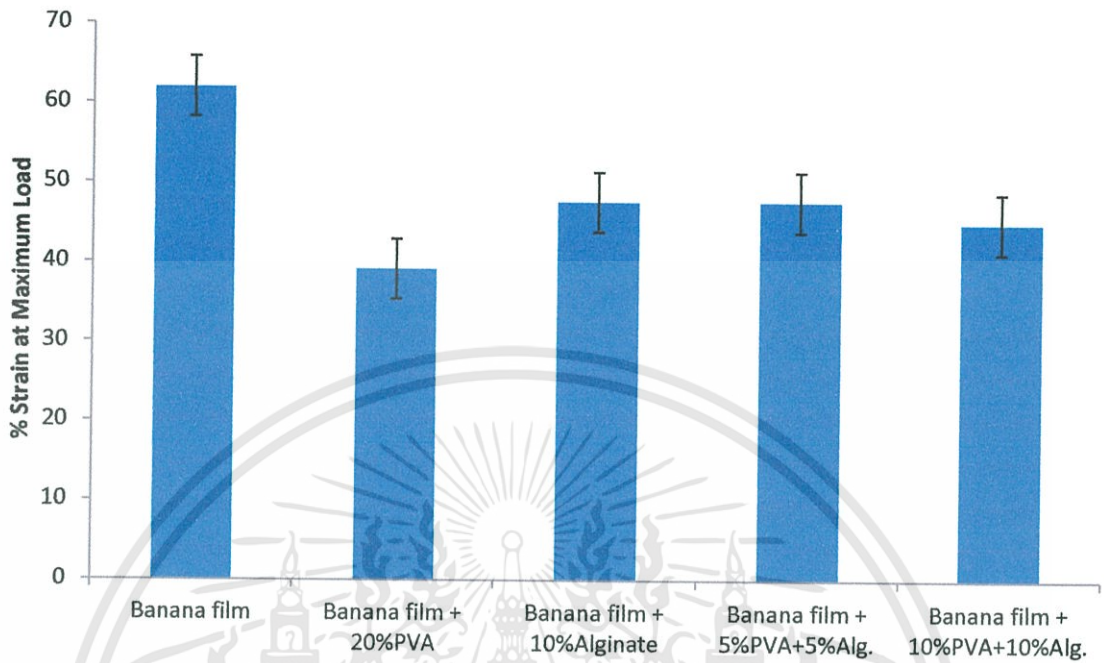


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

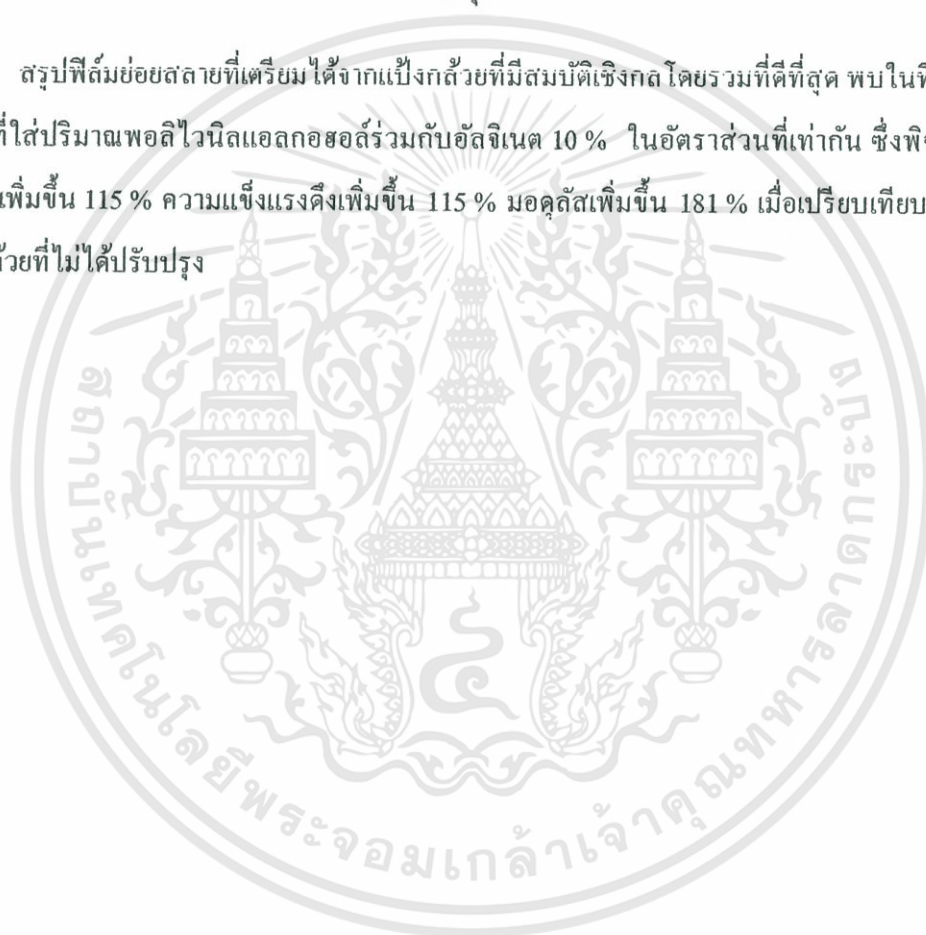


รูปที่ 4.19 สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจิเนต 10 % และ 20 % (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) โมดูลัส (ง) ระยะยืด (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง โมดูลัส การดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุด ของฟิล์มแบ่งกล้วยเปรียบเทียบกับฟิล์มแบ่งกล้วยที่ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรืออัลจินเตเพียงอย่างเดียว และเปรียบเทียบกับสูตรที่ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจินเตในอัตราส่วน 1:1 พบว่า ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และโมดูลัส ของสูตรที่ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจินเตในอัตราส่วน 1:1 เพิ่มขึ้น แต่การดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุด มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มแบ่งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง

สรุปฟิล์มย่อยสลายที่เตรียมได้จากแบ่งกล้วยที่มีสมบัติเชิงกล โดยรวมที่ดีที่สุด พบในฟิล์มแบ่งกล้วยที่ใส่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับอัลจินเต 10 % ในอัตราส่วนที่เท่ากัน ซึ่งพิจารณาที่แรงดึงเพิ่มขึ้น 115 % ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 115 % โมดูลัสเพิ่มขึ้น 181 % เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มแบ่งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง



4.8 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

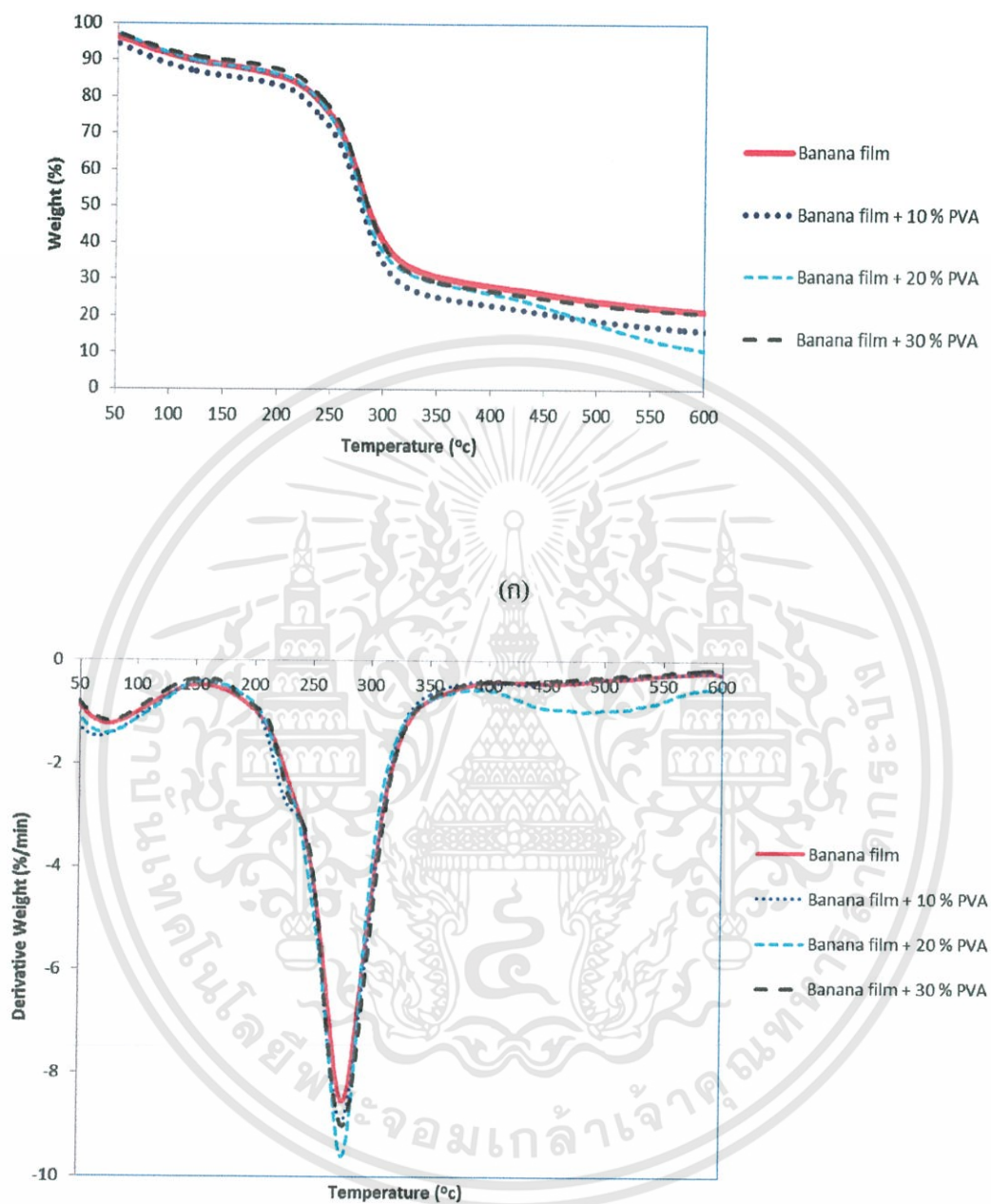
ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่จุดสูงสุด (On peak degradation temperature) ของฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมจากแป้งกล้วยที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจิเนตในปริมาณที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis, TGA) ใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer) โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยประมาณ 16 มิลลิกรัม และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50 – 600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยสมบัติของความร้อนที่ทำการศึกษาการสลายตัว (Degradation temperature) ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่เตรียมจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต

สูตร	T _d (°C)		
	PVA	Alginate	Starch
Banana film			277.4
Banana film + 10% PVA	231.0		276.9
Banana film + 20% PVA	231.0		278.1
Banana film + 30% PVA	232.6		278.3
Banana film + 10% Alginate		232.5	276.6
Banana film + 20% Alginate		231.9	273.7
Banana film + 30% Alginate		232.1	273.6
Banana film + 5%PVA + %5Alg.		233.3	274.5
Banana film + 10%PVA + 10%Alg.		233.8	274.1
Banana film + 15%PVA + 15%Alg.		230.3	274.6

หมายเหตุ T_d = อุณหภูมิการสลายตัว (Decomposed temperature)

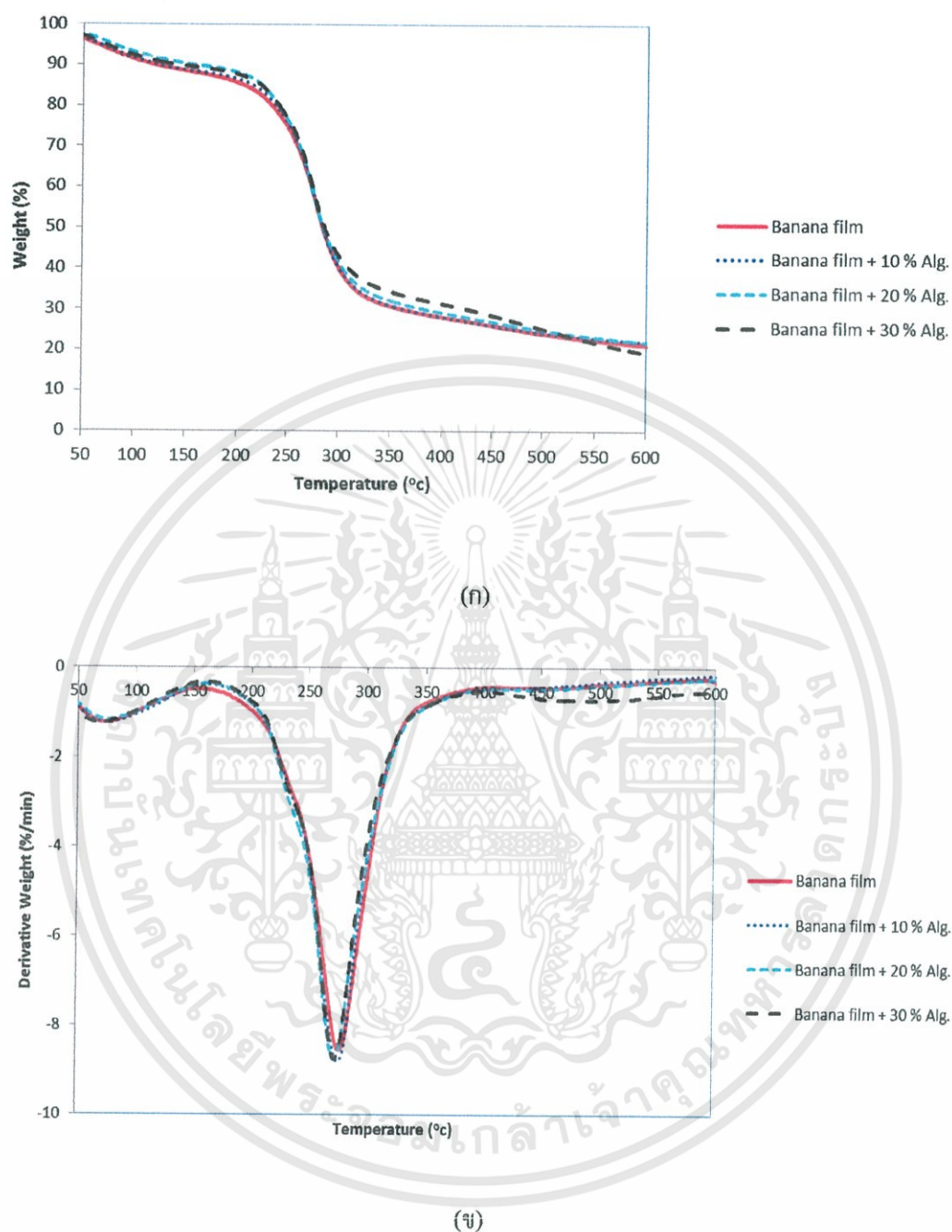
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

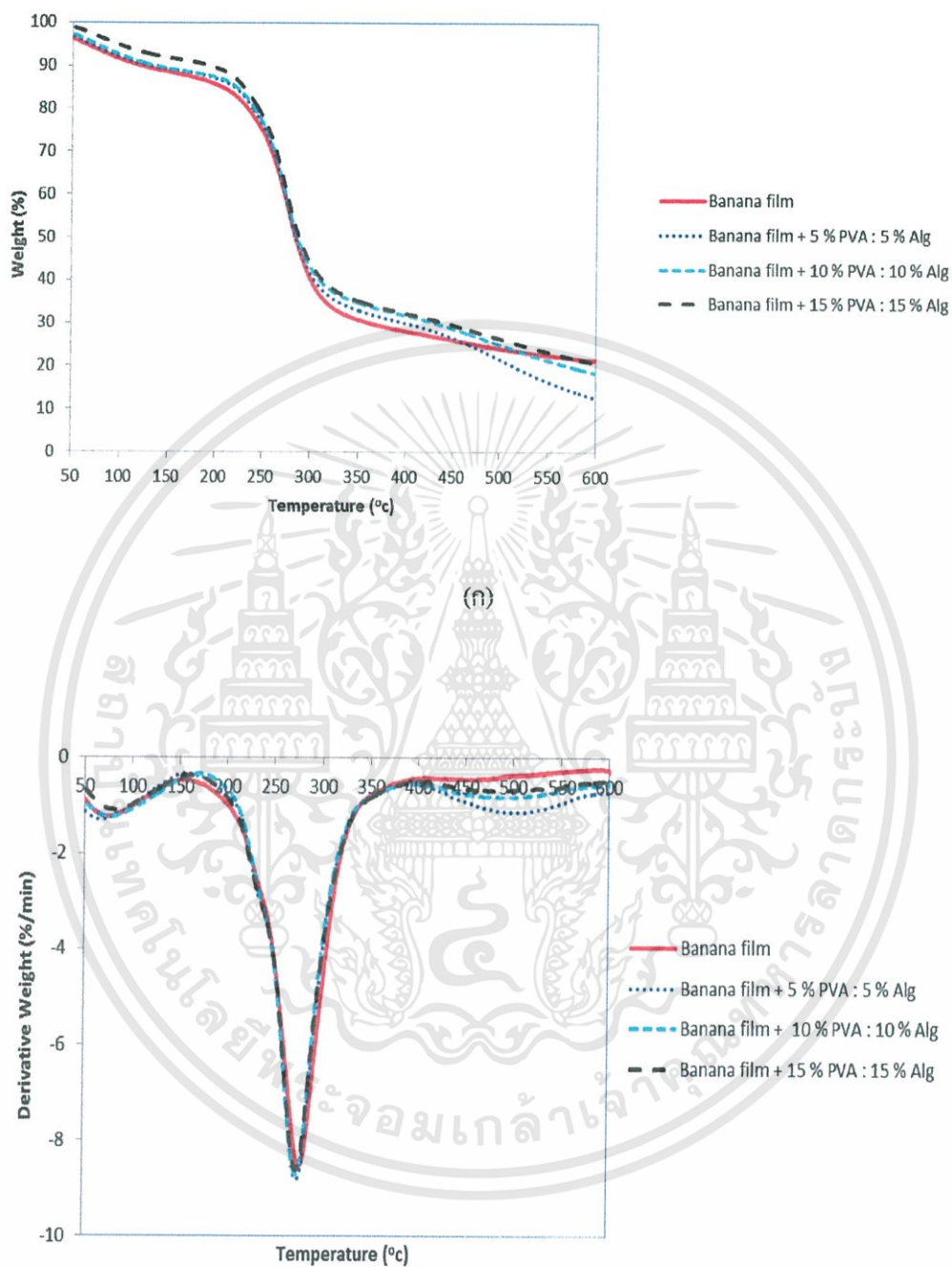
รูปที่ 4.20 (ก) TGA (ข) DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 (ก) TGA (ข) DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยปรับปรุงสมบัติโดยอัลจิเนต
ในปริมาณต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

รูปที่ 4.22 (ก) TGA (ข) DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจินเตในปริมาณต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

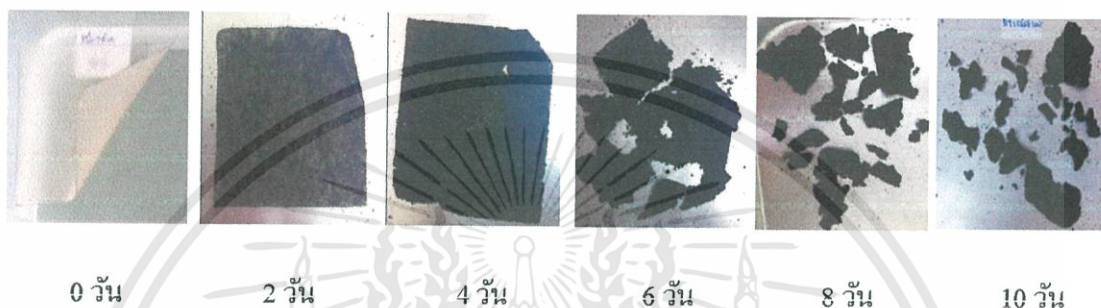
จากรูปที่ 4.20 – 4.22 แสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, อัลจิเนต และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจิเนต โดยอัตราส่วนเท่ากันในปริมาณที่ต่างๆ กัน จากตารางที่ 4.5 พบว่า ฟิล์มแป้งกล้วยมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ $277.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเมื่อเติมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไป พิจารณาเทอร์โมแกรม DTG รูปที่ 4.20 (ก) พบว่า อุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง โดยการสลายตัวขั้นที่ 1 เป็นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวจากการทดลองอยู่ในช่วง $231.0 - 233.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ สอดคล้องกับอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ [22] และพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวขั้นที่ 2 เป็นของฟิล์มแป้งกล้วย ซึ่งไม่ได้เปลี่ยนแปลงจากฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง

และเมื่อปรับปรุงฟิล์มแป้งกล้วยด้วยอัลจิเนต พบว่า อุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง โดยการสลายตัวขั้นที่ 1 เป็นของอัลจิเนต จากการทดลองอยู่ในช่วง $231.5 - 232.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิการสลายตัวของอัลจิเนตเท่ากับ $221\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ภาคผนวก 11 จ.) และพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวขั้นที่ 2 เป็นของฟิล์มแป้งกล้วย ซึ่งเปลี่ยนแปลงจากฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง กล่าวคือ ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มแป้งกล้วยลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง

เมื่อปรับปรุงฟิล์มแป้งกล้วยด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจิเนต ในอัตราส่วนเท่ากัน พบว่า อุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง โดยการสลายตัวขั้นที่ 1 เกิดจากการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนต ซึ่ง อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนตมีค่าใกล้เคียงกัน [22, (ภาคผนวก 11 จ.)] ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวจากการทดลองอยู่ในช่วง $230.0 - 234.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ และพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวขั้นที่ 2 เป็นของฟิล์มแป้งกล้วย ซึ่งเปลี่ยนแปลงจากฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุง กล่าวคือ ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มแป้งกล้วยลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงซึ่งเป็นผลมาจากการเติมอัลจิเนต

4.7 สมบัติการย่อยสลาย

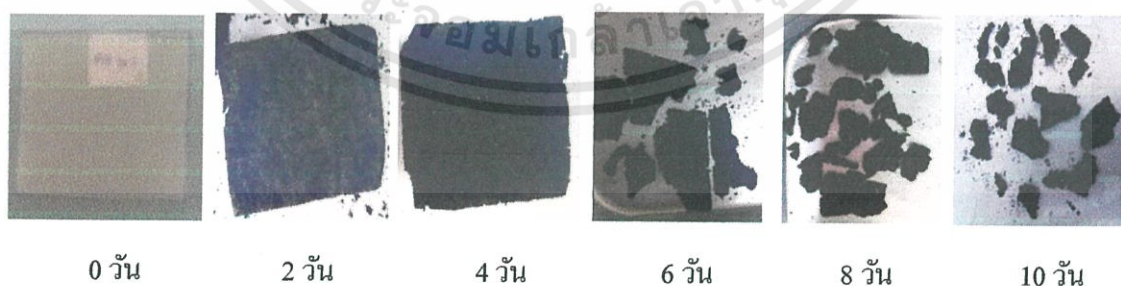
สมบัติการย่อยสลายทดสอบ โดยการฝังดิน โดยนำฟิล์มจากแป้งกล้วยมาฝังดิน โดยควบคุมความชื้นของดินให้คงที่ในช่วง 30 – 40 % จากนั้นเปรียบเทียบน้ำหนักของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.23 - 4.32



รูปที่ 4.23 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วย



รูปที่ 4.24 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %



รูปที่ 4.25 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



0 วัน

2 วัน

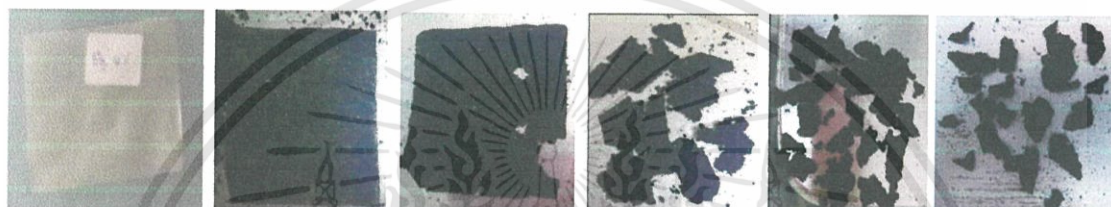
4 วัน

6 วัน

8 วัน

10 วัน

รูปที่ 4.26 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %



0 วัน

2 วัน

4 วัน

6 วัน

8 วัน

10 วัน

รูปที่ 4.27 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายอัลจิเนต 10 %



0 วัน

2 วัน

4 วัน

6 วัน

8 วัน

10 วัน

รูปที่ 4.28 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายอัลจิเนต 20 %



0 วัน

2 วัน

4 วัน

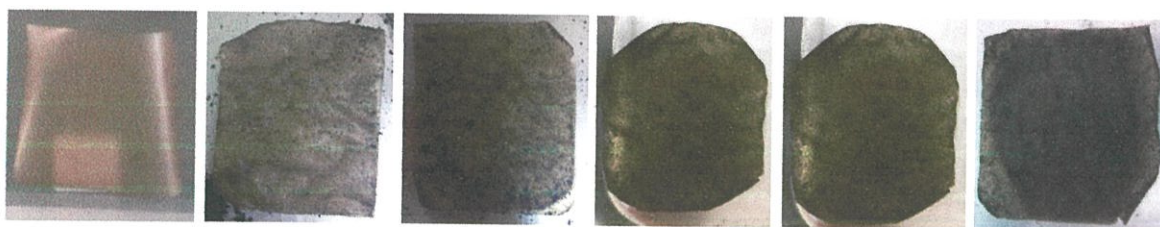
6 วัน

8 วัน

10 วัน

รูปที่ 4.29 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายอัลจิเนต 30 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



0 วัน

2 วัน

4 วัน

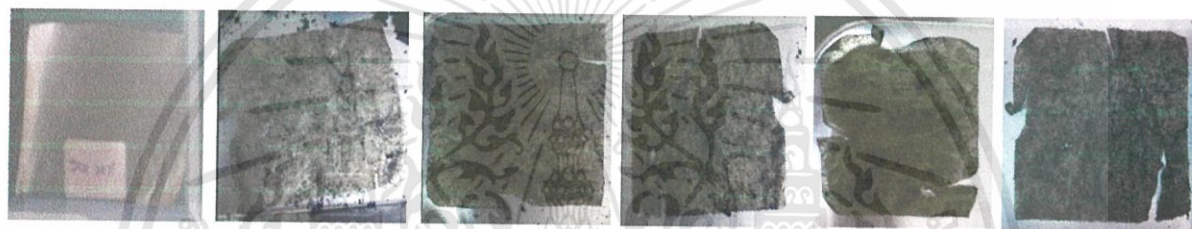
6 วัน

8 วัน

10 วัน

รูปที่ 4.30 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %

: สารละลายอัลจินต 5 %



0 วัน

2 วัน

4 วัน

6 วัน

8 วัน

10 วัน

รูปที่ 4.31 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %

: สารละลายอัลจินต 10 %



0 วัน

2 วัน

4 วัน

6 วัน

8 วัน

10 วัน

รูปที่ 4.32 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 %

: สารละลายอัลจินต 15 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

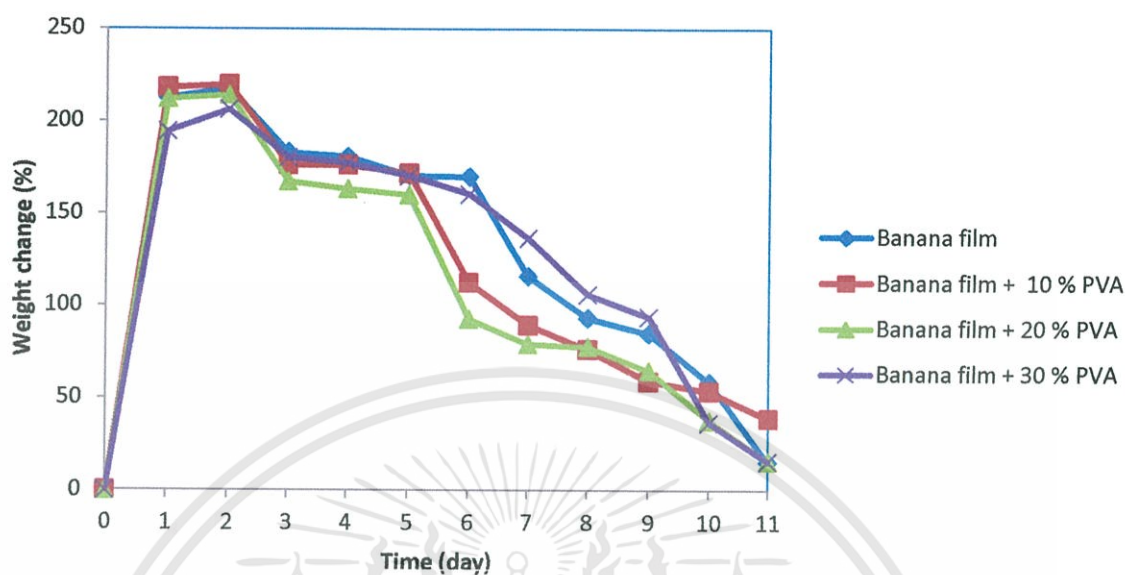
ตารางที่ 4.6 ลักษณะของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย เนื่องจากการฝังดิน

ปริมาณ %		ลักษณะของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์	อีลิจีนิต	
0	0	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากจากก่อนฝังดิน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการขาดบริเวณขอบเมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขาดออกเป็นชิ้นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ฟิล์มเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ
10	0	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากจากก่อนฝังดิน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการขาดบริเวณขอบเมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขาดออกเป็นชิ้นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ฟิล์มเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ
20	0	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากจากก่อนฝังดิน วันที่ 3 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการขาดบริเวณขอบเมื่อผ่านไป 7 วันฟิล์มเริ่มขาดออกเป็นชิ้นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ฟิล์มเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ
30	0	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากจากก่อนฝังดิน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการขาดบริเวณขอบเมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขาดออกเป็นชิ้นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ฟิล์มเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ
0	10	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากจากก่อนฝังดิน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการขาดบริเวณขอบเมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขาดออกเป็นชิ้นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ฟิล์มเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

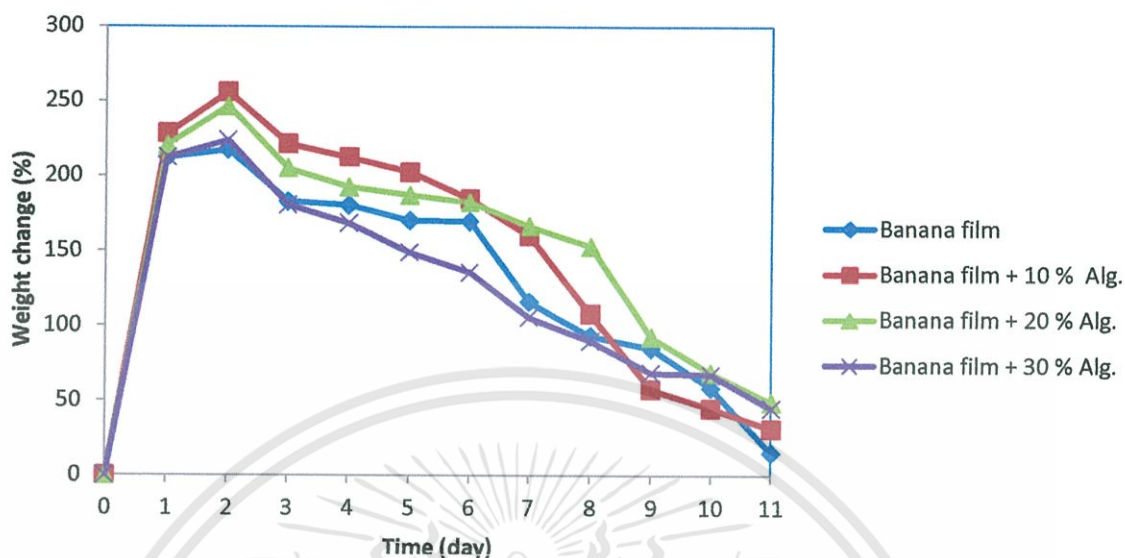
ปริมาณ %		ลักษณะของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์	อัลจิเนต	
0	20	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวนี้ เหนือเพิ่มขึ้นมา เกษ เกษย่นผิงคืน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น และเริ่มมีการขาดบริเวณขอบเมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขาดออกเป็นชิ้นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ฟิล์มเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ
0	30	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวนี้ น้ำหนักเพิ่มขึ้นมาจากก่อนผิงคืน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น และเริ่มมีการขาดบริเวณขอบเมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มเริ่มขาดออกเป็นชิ้นๆ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน ฟิล์มเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ
5	5	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวนี้ น้ำหนักเพิ่มขึ้นมาจากก่อนผิงคืน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มมีความอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น และมีการขาดบริเวณขอบเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 10 วันฟิล์มมีความอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การขาดบริเวณขอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
10	10	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวนี้ น้ำหนักเพิ่มขึ้นมาจากก่อนผิงคืน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มมีความอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 10 วันฟิล์มมีความอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ
15	15	เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันฟิล์มเริ่มมีความชื้นมากขึ้น อ่อนนุ่มและเกิดการพองตัวนี้ น้ำหนักเพิ่มขึ้นมาจากก่อนผิงคืน วันที่ 2 ฟิล์มเริ่มอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อผ่านไป 6 วันฟิล์มมีความอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 10 วันฟิล์มมีความอ่อนนุ่มและพองตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



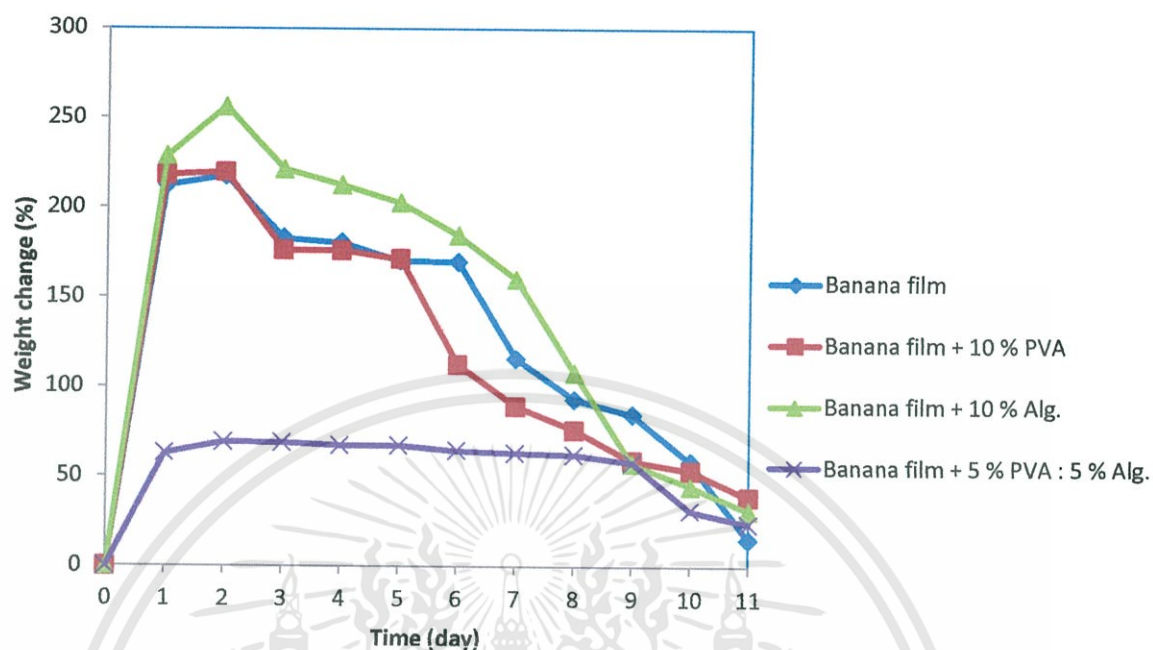
รูปที่ 4.33 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการฝังดิน

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์รูปที่ 4.33 พบว่าในช่วง 2 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากดูดความชื้นจากดิน หลังจากนั้นการ เปลี่ยนแปลงน้ำหนักก็มีแนวโน้มลดลง โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 และ 30 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุด ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0 % มีการ เปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากที่สุด ซึ่งเกิดการย่อยสลายมากที่สุด



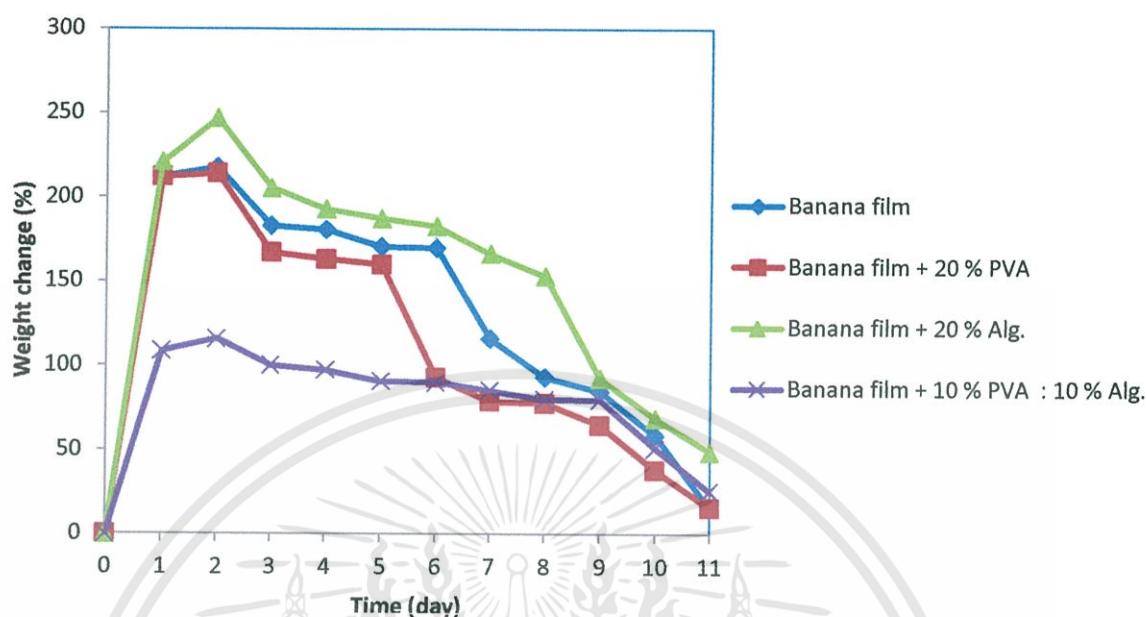
รูปที่ 4.34 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินตที่ได้จากการฝังดิน

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินตรูปที่ 4.34 พบว่าในช่วง 2 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมอัลจินตทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมอัลจินต 10 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากที่สุด ฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมอัลจินต 20 และ 30 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใกล้เคียงกันแต่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมอัลจินต 10 % ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมอัลจินต 0 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากที่สุด ซึ่งเกิดการย่อยสลายมากที่สุด

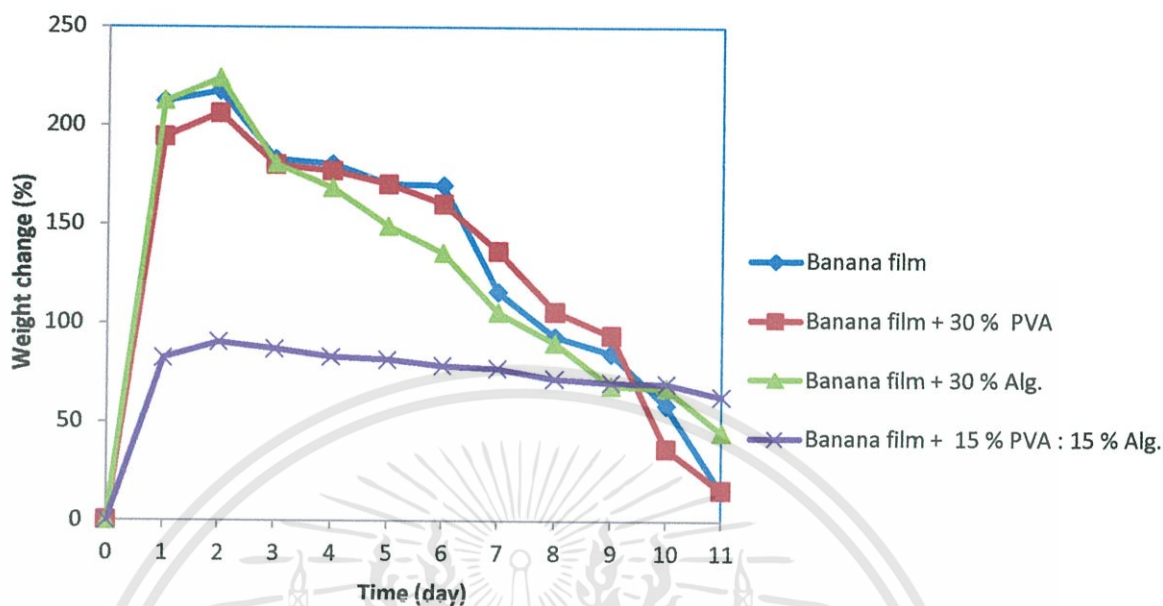


รูปที่ 4.35 เปรอ์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจิเนต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % ที่ได้จากการฝังดิน

จากการทดสอบการการย่อยสลายโดยการฝังดินจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจิเนต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % รูปที่ 4.35 พบว่าในช่วง 2 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจิเนต 10 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, อัลจิเนต 10 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจิเนต 5 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งเกิดการย่อยสลายน้อยที่สุด



รูปที่ 4.36 เปร้เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % ที่ได้จากการฝังดินจากการทดสอบการการย่อยสลายโดยการฝังดินจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % รูปที่ 4.36 พบว่าในช่วง 2 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจิเนต 20 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจิเนต 20 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %, อัลจิเนต 20 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจิเนต 10 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งเกิดการย่อยสลายน้อยที่สุด



รูปที่ 4.37 เปรี่เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจิเนต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % ที่ได้จากการฝังดิน

จากการทดสอบการการย่อยสลายโดยการฝังดินจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจิเนต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % รูปที่ 4.37 พบว่าในช่วง 2 วันแรกฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจิเนต 30 % และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 %, อัลจิเนต 30 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจิเนต 15 % มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยที่สุด ซึ่งเกิดการย่อยสลายน้อยที่สุด

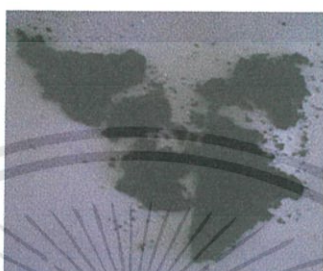
จากการทดลองการย่อยสลายด้วยการฝังดิน พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยทุกสูตรมีแนวโน้มในการย่อยสลายที่เหมือนกัน กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการฝังดิน เนื่องจากฟิล์มแป้งกล้วยมีการดูดความชื้นจากดิน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเพิ่มขึ้นจนสูงสุด และหลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดการย่อยสลายโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในดิน [30]

โดยเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติเกิดการย่อยสลายได้เร็วที่สุด ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดการย่อยสลายเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ปรับปรุงสมบัติในทุกสูตร เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารกึ่งเจล มีความสามารถในการดูดซับน้ำและความชื้นได้มากจึงทำให้ฟิล์มเกิดการย่อยสลายได้เร็ว ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินต เกิดการย่อยสลายได้ช้าที่สุด เนื่องจากอัลจินตจะช่วยปรับปรุงในเรื่องของความแข็งแรงของฟิล์ม และทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยตกตะกอนและเป็นสารเพิ่มความคงตัว [26] ซึ่งอัลจินตเป็นสารแขวนลอยตกตะกอนจึงทำให้ดูน้ำได้ไม่ดี ทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินตมีความสามารถในการย่อยสลายได้ช้าที่สุด ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจินต เกิดการย่อยสลายได้รองลงมาจากฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

แต่เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายรูปที่ 4.23 – รูปที่ 4.32 พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจินต เห็นการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินต เป็นผลมาจากความเข้ากันได้ (Compatibility) ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : อัลจินต ซึ่งยืนยันด้วยผลการทดสอบ SEM

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มจากแป้งกล้วยทุกสูตร พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติมีแนวโน้มเกิดการย่อยสลายได้เร็วที่สุด ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจินต 15 % มีแนวโน้มเกิดการย่อยสลายช้าที่สุด

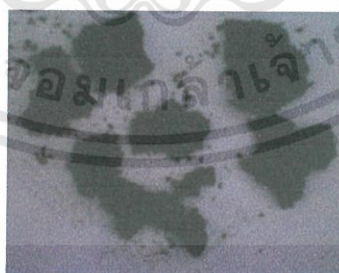
จากการทดลองการย่อยสลายโดยการฝังดิน เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินต เกิดการย่อยสลายจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับอัลจินตเกิดการย่อยสลายเหลือเป็นชิ้นเล็กๆ ดังรูปที่ 4.38 – 4.40



รูปที่ 4.38 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : สารละลายอัลจินต 5 % ระยะเวลา 1 เดือน



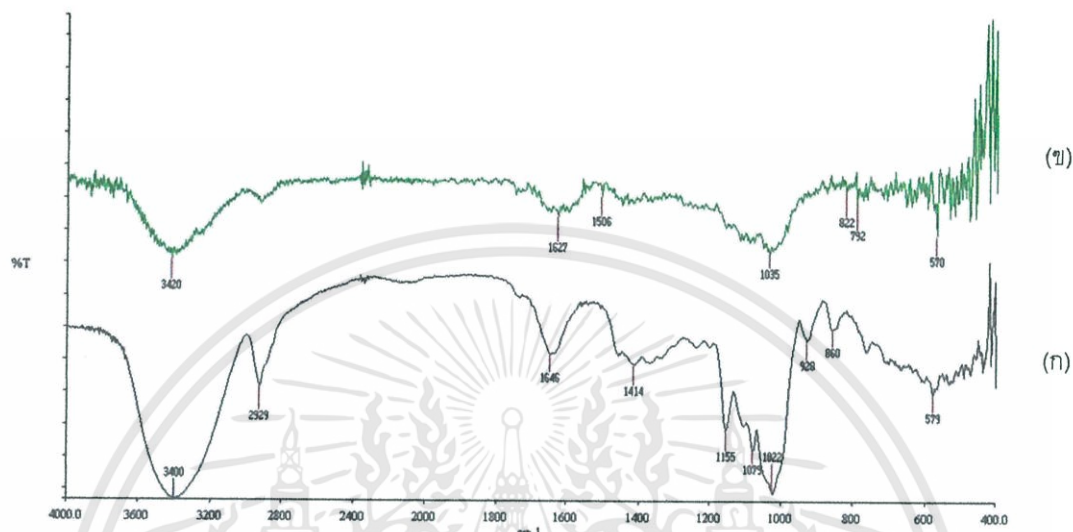
รูปที่ 4.39 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : สารละลายอัลจินต 10 % ระยะเวลา 1 เดือน



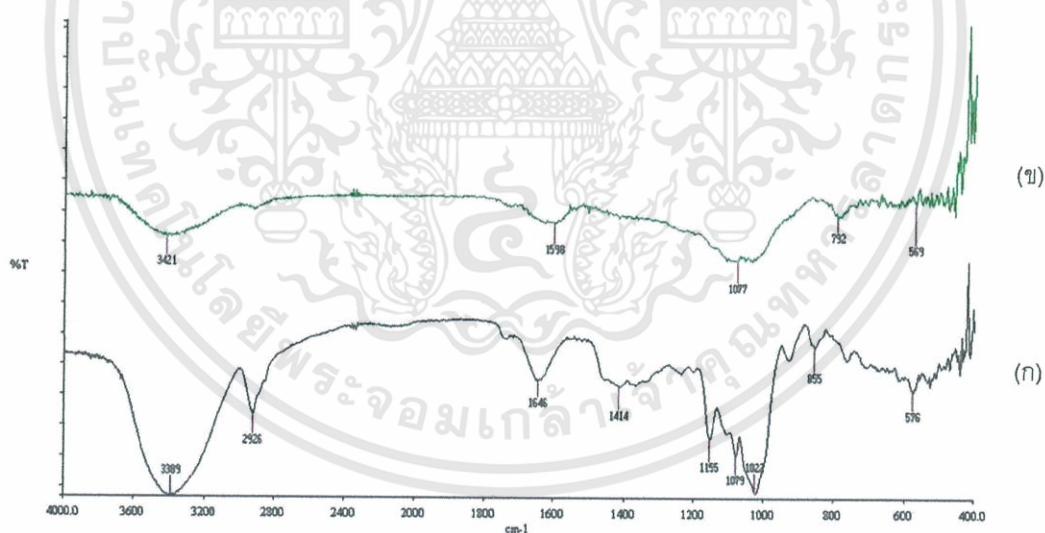
รูปที่ 4.40 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : สารละลายอัลจินต 15 % ระยะเวลา 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการศึกษาโดยเทคนิค Fourier – Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยก่อนและหลังผึ่งคืน เป็นดังนี้



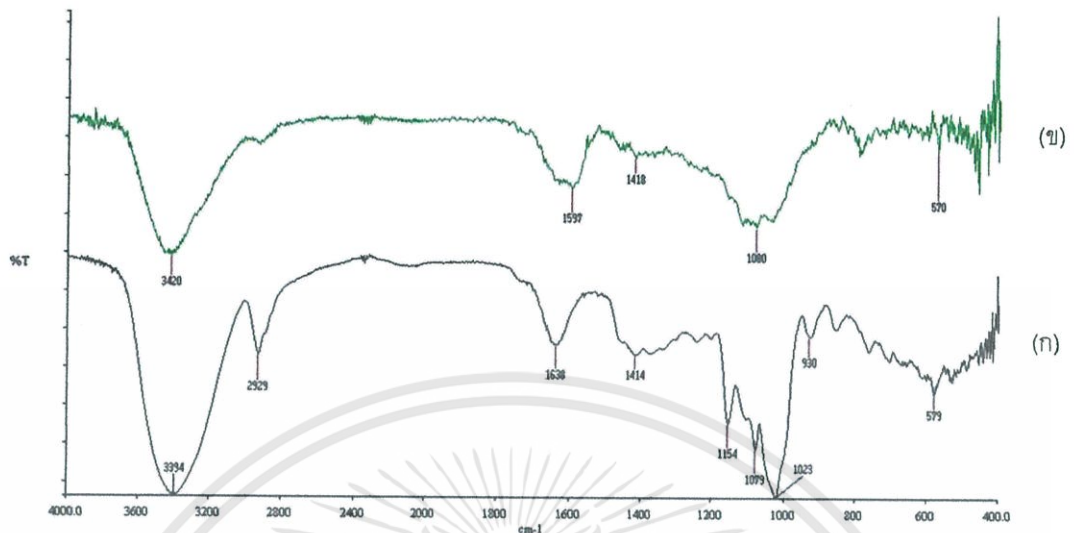
รูปที่ 4.41 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วย (ก) ก่อนผึ่งคืน และ (ข) หลังผึ่งคืน



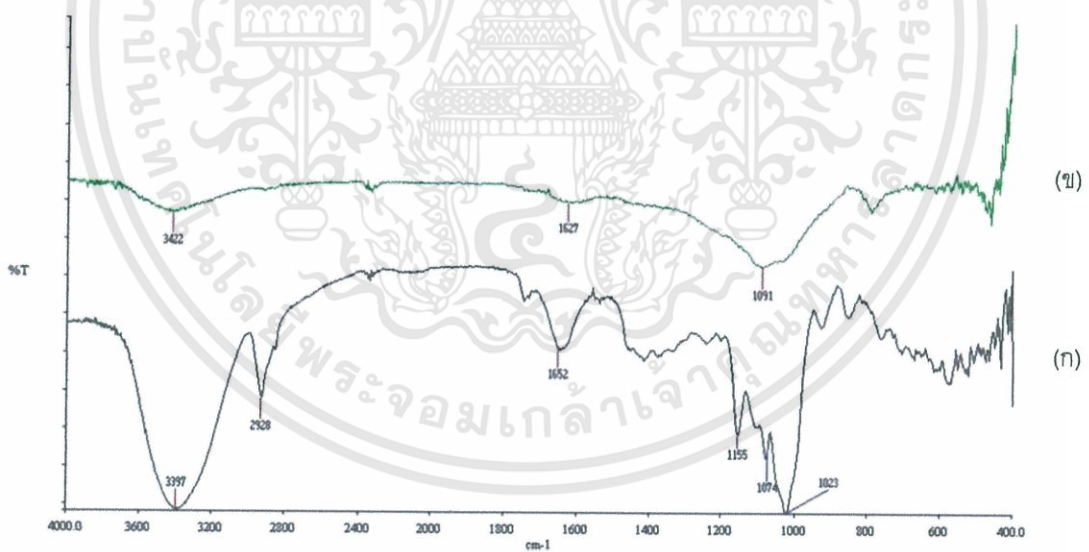
รูปที่ 4.42 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % (ก) ก่อนผึ่งคืน และ (ข) หลังผึ่งคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

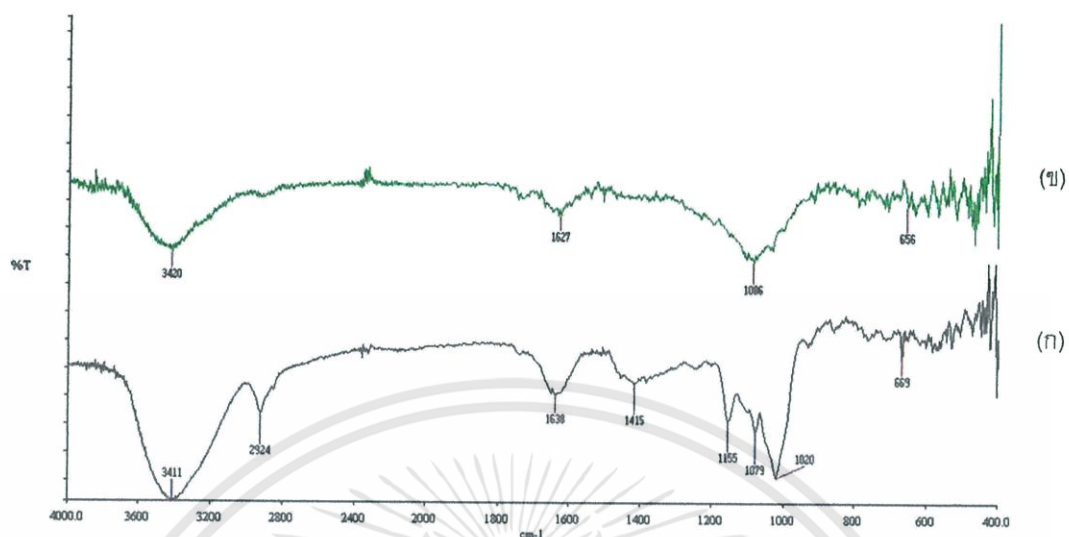


รูปที่ 4.43 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 % (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน



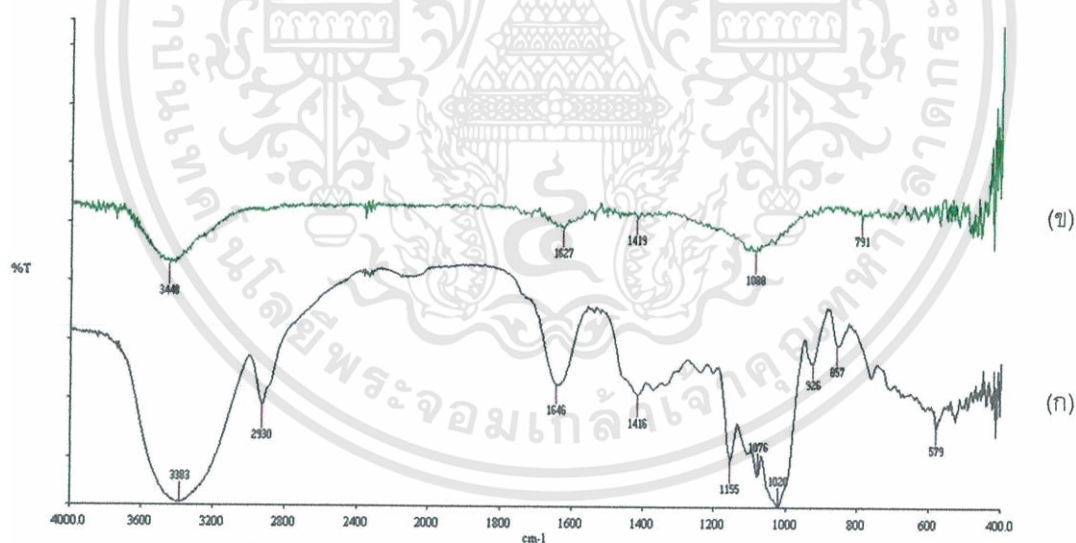
รูปที่ 4.44 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 % (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจิเนต 10 %

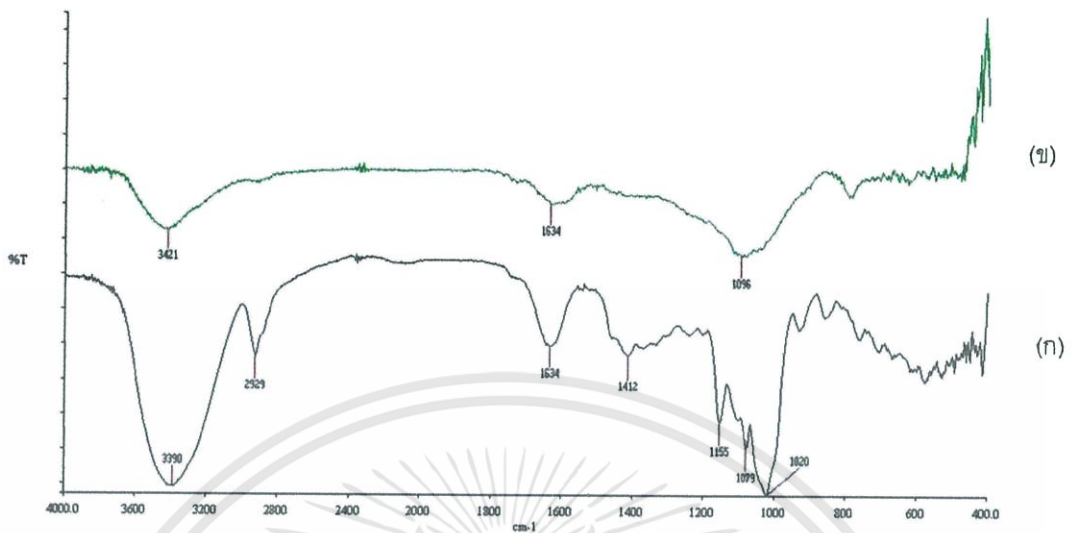
(ก) ก่อนผึ่งคืน และ (ข) หลังผึ่งคืน



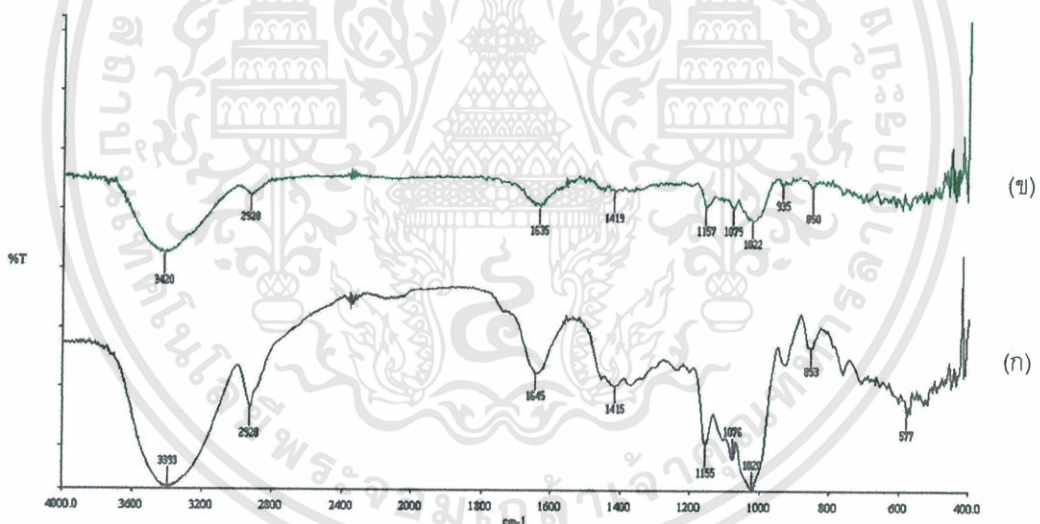
รูปที่ 4.46 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจิเนต 20 %

(ก) ก่อนผึ่งคืน และ (ข) หลังผึ่งคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

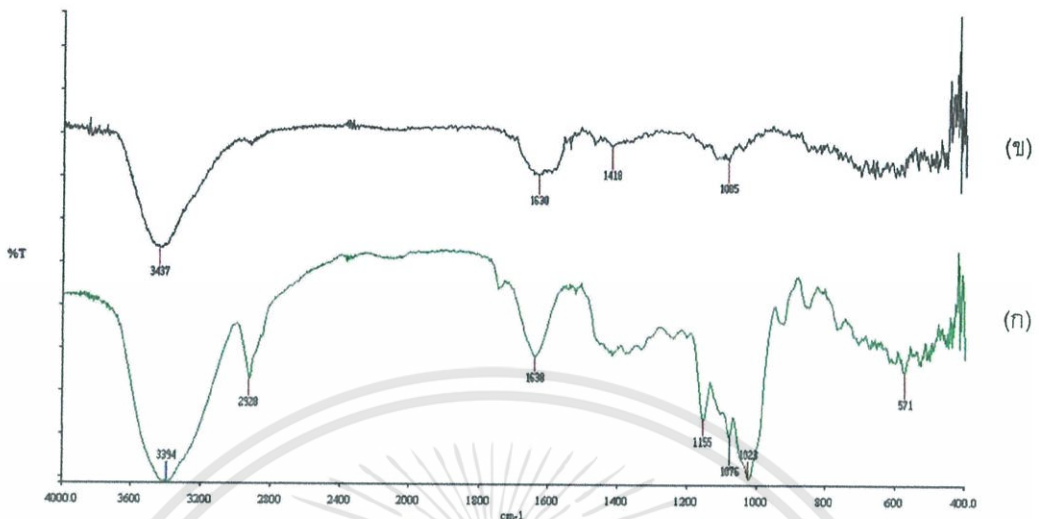


รูปที่ 4.47 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากเปลือกกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอัลจินต 30 %
(ก) ก่อนผึ่งดิน และ (ข) หลังผึ่งดิน

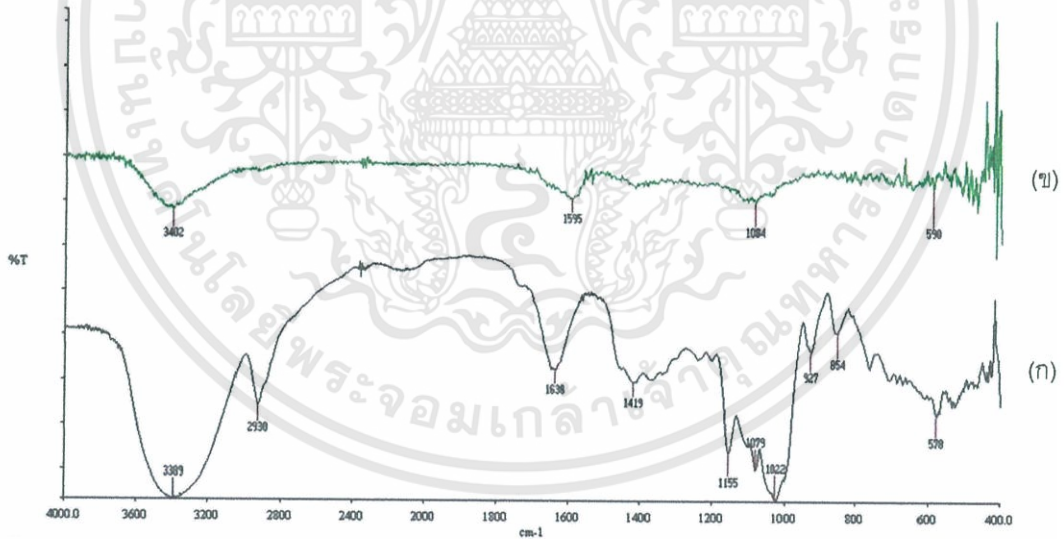


รูปที่ 4.48 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากเปลือกกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % : อัลจินต 5 % (ก) ก่อนผึ่งดิน และ (ข) หลังผึ่งดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากเปลือกกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 % : อัลจินต 10 % (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน



รูปที่ 4.50 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากเปลือกกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 % : อัลจินต 15 % (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดิน

จากรูปที่ 4.41 – 4.50 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ และอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, อัลจินต และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับอัลจินตหลังจากการฝัสดิน พบว่า พีคที่ตำแหน่ง $3300-3500\text{ cm}^{-1}$, $2800-2900\text{ cm}^{-1}$ และ 1650 cm^{-1} มีความเข้มลดลง และพีคที่ตำแหน่ง 1400 cm^{-1} หายไป เนื่องจากเกิดการแตกของพันธะ จึงสามารถยืนยันได้ว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยเกิดการย่อยสลายได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝัสดิน ซึ่งวิเคราะห์จากการบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป



บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

การเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยน้ำว่าโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากแป้งกล้วย โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และโซเดียมอัลจิเนต ให้ผลสรุปเป็นดังนี้

1. จากการศึกษาสมบัติการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด พบว่า หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันหลักที่มีอยู่ในฟิล์มจากแป้งกล้วยและมีพีค O-H stretching เกิดการเคลื่อนที่ของเลขคลื่นไปยังตำแหน่งที่ลดลง
2. จากผลการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 % มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากที่สุด ส่วนฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับอัลจิเนต มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด
3. จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่า การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนตลงในฟิล์มจากแป้งกล้วย ทำให้ชิ้นงานมีความมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากขึ้น
4. จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % ร่วมกับอัลจิเนต 5 % มีสมบัติในด้านแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูง

ที่สุด ส่วนฟิล์มแข็งก๊วยที่ไม่ได้ปรับปรุง มีสมบัติในด้านการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ แรงดึงสูงสุด สูงที่สุด

5. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่า ฟิล์มจากแป้งก๊วยสูตรที่มีการเติมอัลจินตทุกสูตรมี อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งก๊วยลดลง แต่ในสูตรที่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อุณหภูมิ การสลายตัวของแป้งก๊วยมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง
6. จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่า ฟิล์มจากแป้งก๊วยที่ไม่ได้มีการ ปรับปรุงมีแนวโน้มเกิดการย่อยสลายเร็วที่สุด ส่วนฟิล์มจากแป้งที่ปรับปรุงสมบัติด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับอัลจินต มีแนวโน้มเกิดการย่อยสลายช้าที่สุด
7. สรุปจากงานวิจัยนี้ สูตรที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด คือ ฟิล์มจากแป้งก๊วยที่มีการปรับปรุง สมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 % ร่วมกับอัลจินต 5 % เนื่องจากมีสมบัติการดูดซับน้ำที่ ต่ำสุด มีพื้นผิวของแผ่นฟิล์มมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากที่สุดเมื่อทำการศึกษาสัณฐานวิทยา อีกทั้งมีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มที่ได้จากแป้งกล้วย นอกจากใช้สารเติมแต่งแล้วอาจใช้เส้นใยธรรมชาติช่วยในการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรง เช่น เส้นใยฝ้าย เส้นใยปอ เส้นใยสัปะรด เป็นต้น
2. ควรลดการเกิดฟองอากาศในชิ้นงาน โดยการนำฟิล์มไปอบในตู้สุญญากาศ หรือเครื่องอัดรีดไซคลิก
3. อาจใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรืออัลจินต ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 3 % เพื่อลดความเหนียวของสารละลายผสม และ โอกาสในการเกิดฟองอากาศภายในฟิล์ม
4. ในการทดสอบสัณฐานวิทยา ควรมีการวัดปริมาตรและขนาดของรูพรุนบนพื้นผิวของชิ้นงาน เพื่อระบุความสามารถในการเข้ากันได้ของแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ/หรืออัลจินต

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรรณิการ์ เควีเลาะ, จิตติมา เศษอุดมวัฒนา และวรรณุช วงศ์ตระกูล. “การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และโซเดียมอัลจิเนต.”, โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.
- [2] [Online].Available : <http://www.primaryinfo.com/projects/polyvinyl-alcohol.htm> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [3] วิชาวีร์ ธาระเขตร์. “การพัฒนาสารเคลือบบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์ร่วมกับสารสกัดพืชสมุนไพร.”, วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัยสาขาเทคโนโลยีการบรรจุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551.
- [4] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [5] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/bio_de_plas.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [6] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/usage_de_plas.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [7] http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap2/chapter2_4.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [8] <http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [9] <http://aquiamnui.wordpress.com/> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] <http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/99/PailumpaNIMAll.pdf> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [11] http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=146 (สืบค้นข้อมูลวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2555)
- [12] มาริสา จาตุรพิพัฒน์. “การผลิตหุ้ดลามเทียมจากเจลาตินและโซเดียมอัลจินต.”, วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัยสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.
- [13] มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, สายสนม ประดิษฐ์ดวง และสายพิณ มณีพันธ์. “การเตรียมฟิล์มฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งมันเทศ.”, โครงการพิเศษบัณฑิตคณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2535.
- [14] ฐริสา ทศวิล, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฐฐา เลหาทกุลจิตต์. “คุณสมบัติของฟิล์มประกอบ Biopolymer จากแป้งและเพคติน.”, โครงการพิเศษบัณฑิตคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2535.
- [15] J. W. Rhim “Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films”, LWT - Food Science and Technology, 37 (2004) 323–330.
- [16] K. Waliszewski, M. Aparicio, L. Bello and J. Monroy “Changes of banana starch by chemical and physical modification”, Carbohydrate Polymers, 52 (2003) 237–242.
- [17] M.L. Fishman, D.R. Coffin, R.P. Konstance and C.I. Onwulata “Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol”, Carbohydrate Polymers, 41 (2000) 317-325.
- [18] R. Sothornvitand N. Pitak “Oxygen permeability and mechanical properties of banana film”, Food Research International, 40 (2007) 365-370.
- [19] A. Co’rdoba, N. Cue’llar, M. Gonza’lez and J. Medica “The plasticizing effect of alginate on the thermoplastic starch/glycerin blends”, Carbohydrate Polymers, 73 (2008) 409–416.

- [20] J. Zhou, Y. Ma, L. Ren, J. Tong, Z. Liu and L. Xie **“Preparation and characterization of surface crosslinked TPS/PVA blend films”**, Carbohydrate Polymers, 76 (2009) 632–638.
- [21] P. Marie Arockianathan, S. Sekar, S. Sankar, B. Kumaranand T.P. Sastry, **“Evaluation of biocomposite films containing alginate and sago starch impregnated with silver nano particles”**, Carbohydrate Polymers, 90 (2012) 717–724.
- [22] T.C., Aykara and S. Demirci **“Preparation and Characterization of Blend Films of Poly(Vinyl Alcohol) and Sodium Alginate”**, Macromolecular Science, 43 (2006) 1113–1121.
- [23] X. Luo, J. Li, X. Lin, **“Effect of gelatinization and additives on morphology and thermal behavior of corn starch/PVA blend films”**, Carbohydrate Polymers, 90 (2012) 1595–1600.
- [24] <http://www.chemtrack.org/Board-Detail.asp?TID=0&ID=841> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556)
- [25] <http://www.vessel-chemical.com/Default.aspx?pageid=25> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556)
- [26] W. Cheng, C.- H. Liu, C.- M. Kuo, J.- C. Chen, **“Dietary administration of sodium alginate enhances the immune ability of white shrimp Litopenaeusvannamei and its resistance against Vibrio alginolyticus”**, Fish&Shellfish Immunology, 18 (2005) 1-12.
- [27] <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556)
- [28] M. Mucha and P. Pawlak **“Thermal analysis of chitosan and its blends”**, Thermochemica Acta, 427 (2005) 69-76.

- [29] C. Merlini, V. Soldi and G. M.O. Barra “**Influence of fiber surface treatment and length on physic-chemical prpperties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites**”, Polymer Testing, 30 (2011) 830- 840.
- [30] Z. Guohua, L. Ya, F. Cuilan, Z. Min, Z. Caiqion and C. Zongdao “**Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly(vinyl alcohol) blend film**”, Polymer Degradation and Stability, 91 (2006) 703-711.



ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 1 ก. แสดงอัตราส่วนแป้งกล้วย สารละลายอัลจินต กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	Glycerol (กรัม)	น้ำ (กรัม)	อัลจินต		ลักษณะทางกายภาพ
			(กรัม)	(%)	
3.00	0.67	60	0.00	0	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียว
2.70	0.54	54	0.30	10	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น
2.40	0.48	48	0.60	20	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น
2.10	0.42	42	0.90	30	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นมีความใสเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ก. แสดงอัตราส่วนของแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	Glycerol (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายพอลิไวนิล แอลกอฮอล์		ลักษณะทางกายภาพ
			(กรัม)	(%)	
3.00	0.67	60	0.00	0	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียว
2.70	0.54	54	0.30	10	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น
2.40	0.48	48	0.60	20	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น
2.10	0.42	42	0.90	30	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น

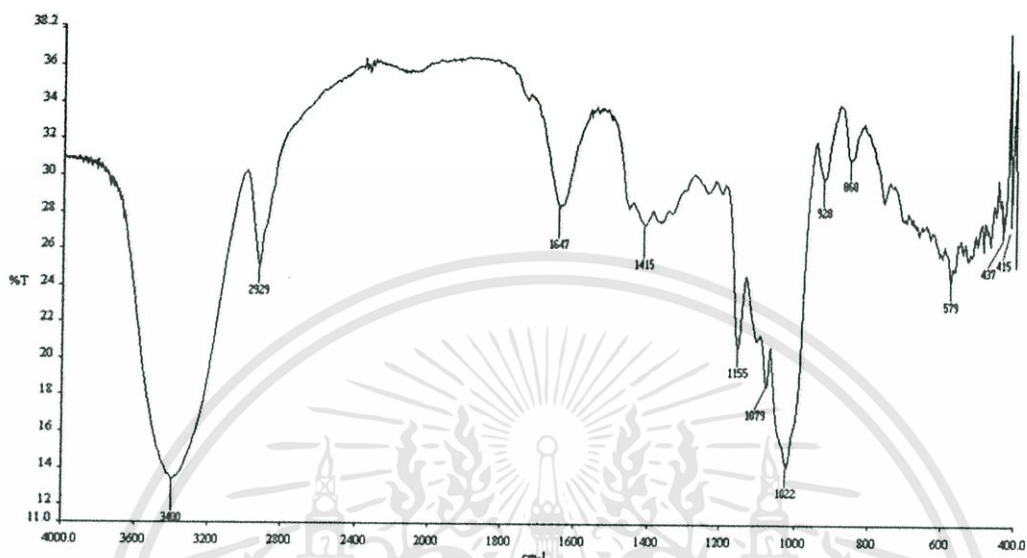
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ก. แสดงอัตราส่วนของแป้งกล้วย อัลจินต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลิเซอรอลและน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

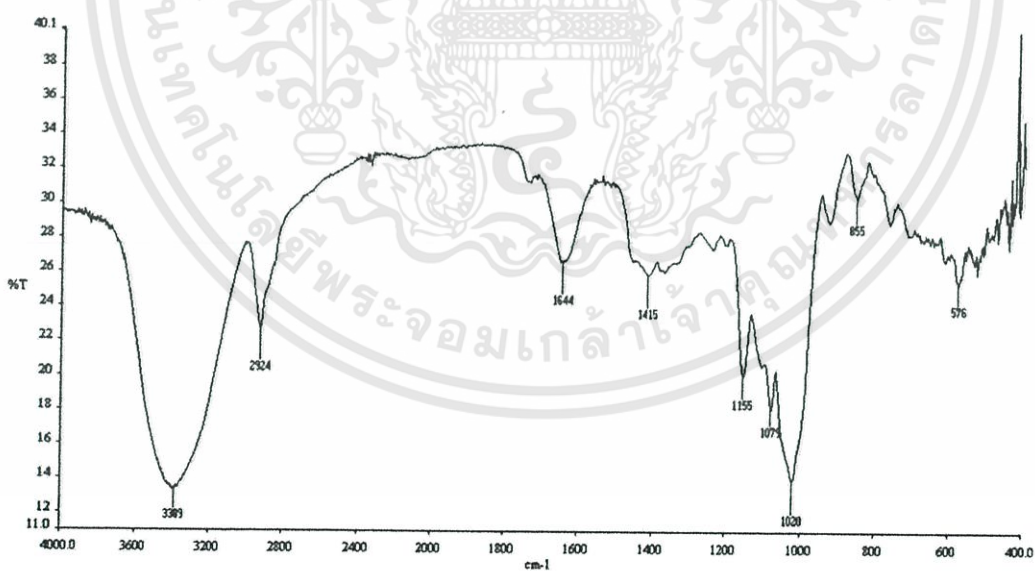
แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลาย อัลจินตต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม : กรัม)		สารละลาย อัลจินตต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	อัตราส่วนของ สารละลาย อัลจินตต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	ลักษณะทางกายภาพ
3.00	0.67	60	0	0	0	0:0	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียว
2.70	0.54	54	0.15	0.15	10	1:1	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น
2.40	0.48	48	0.30	0.30	20	1:1	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น
2.10	0.42	42	0.45	0.45	30	1:1	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น มีความใสเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.



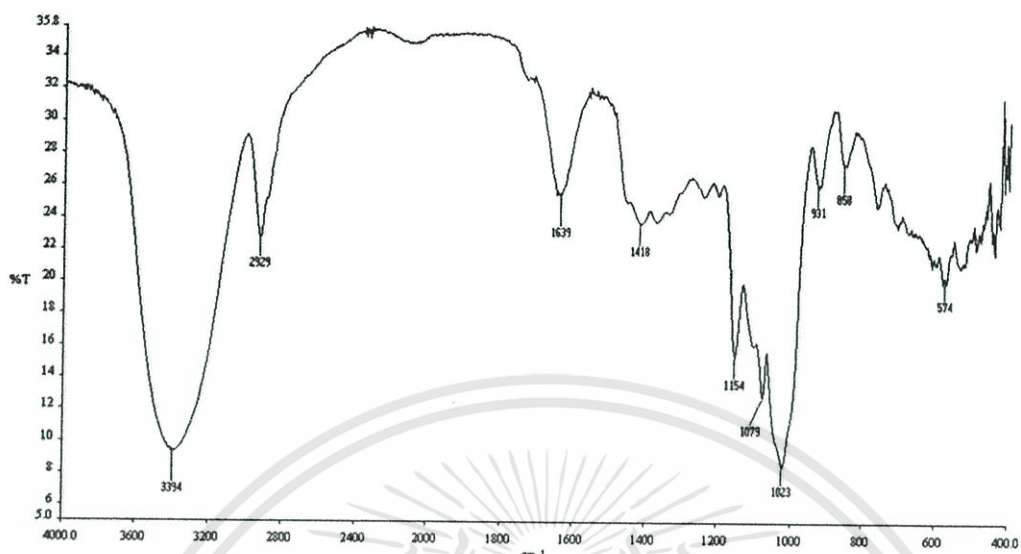
รูปที่ 1 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย



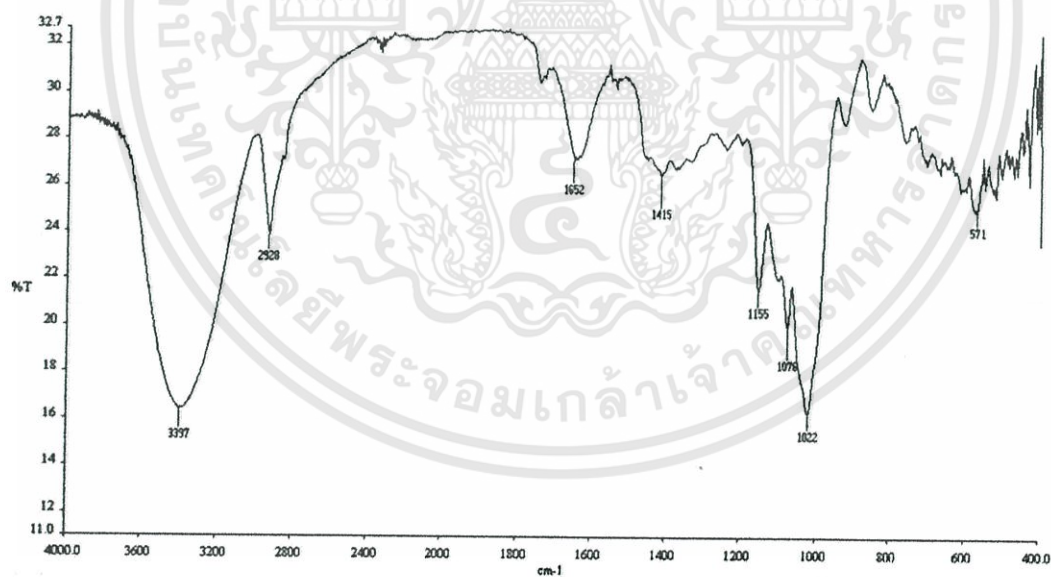
รูปที่ 2 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย

10 % PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

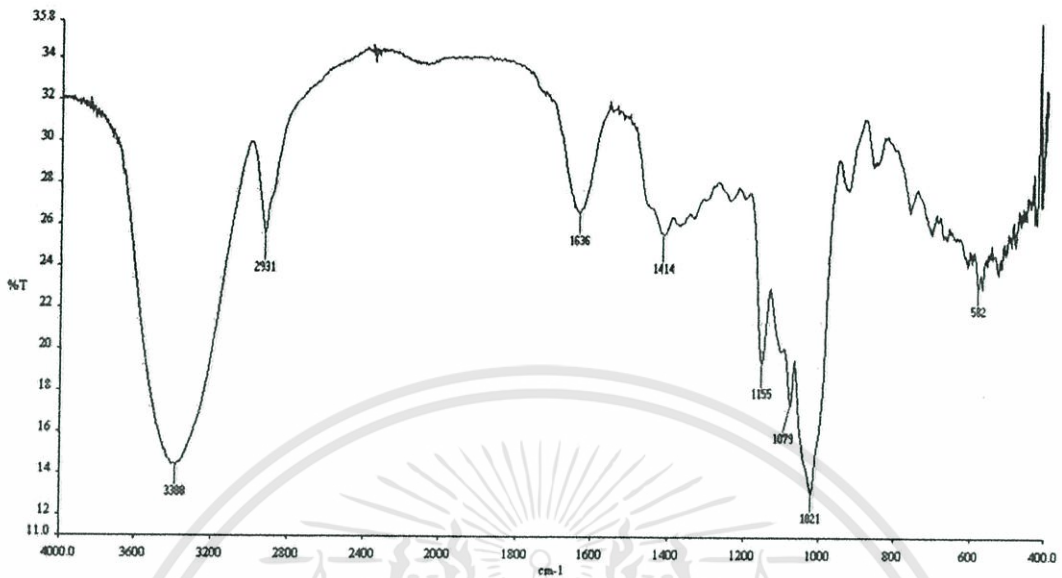


รูปที่ 3 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 20 % PVA

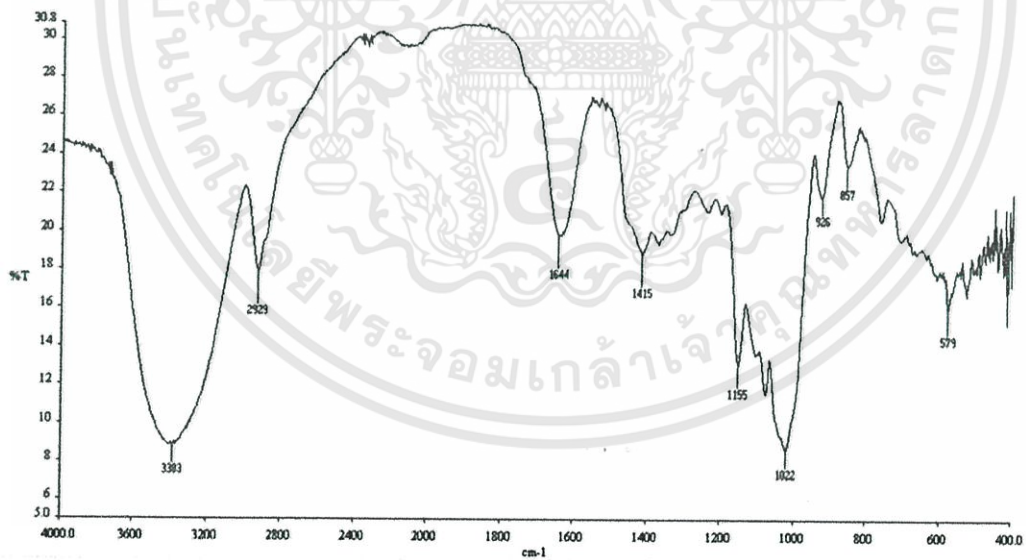


รูปที่ 4 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 30 % PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

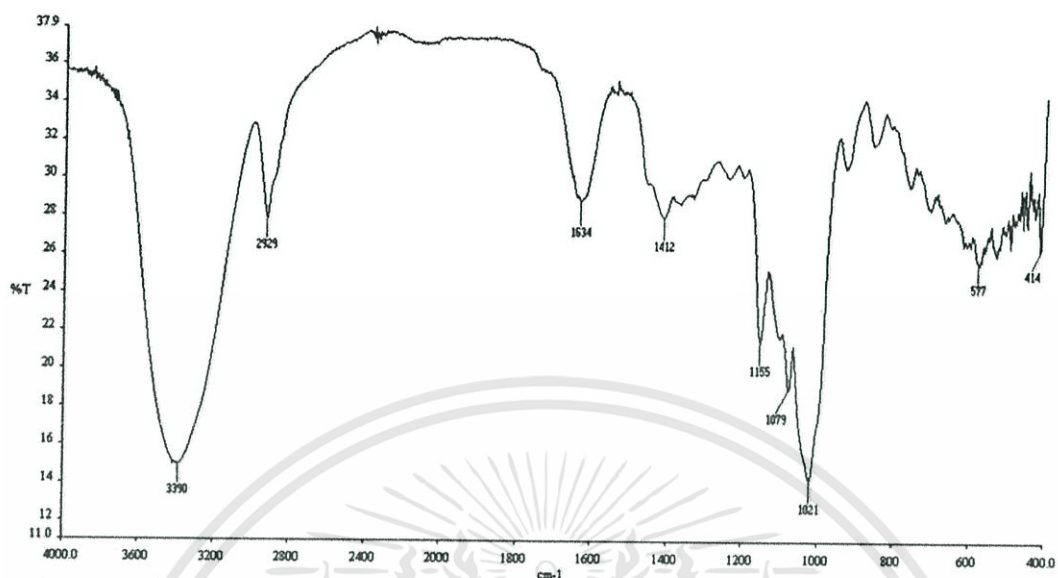


รูปที่ 5 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 10 % Alg.

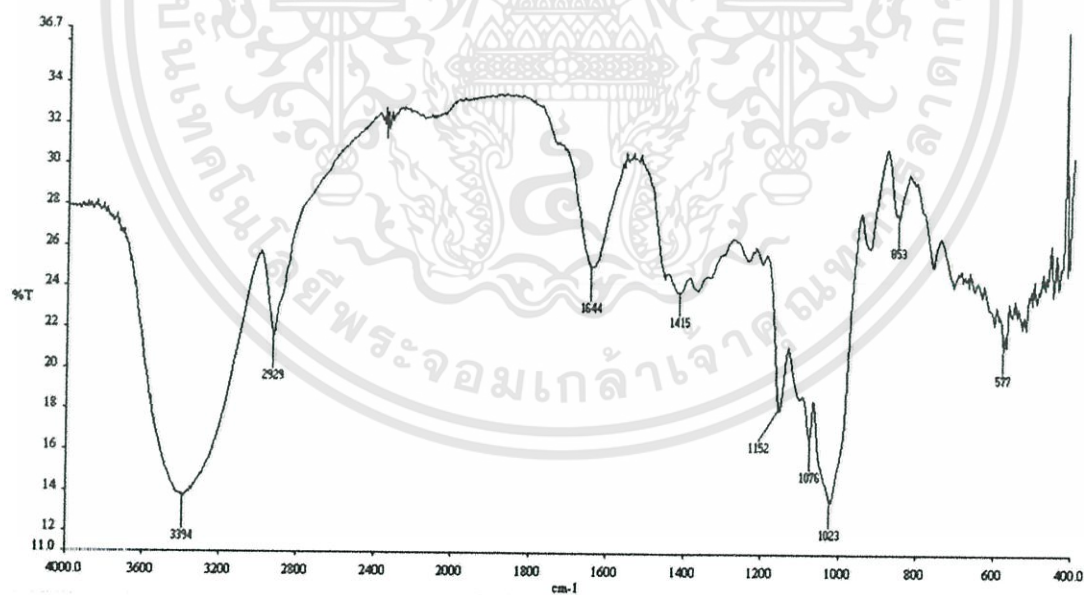


รูปที่ 6 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 20 % Alg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

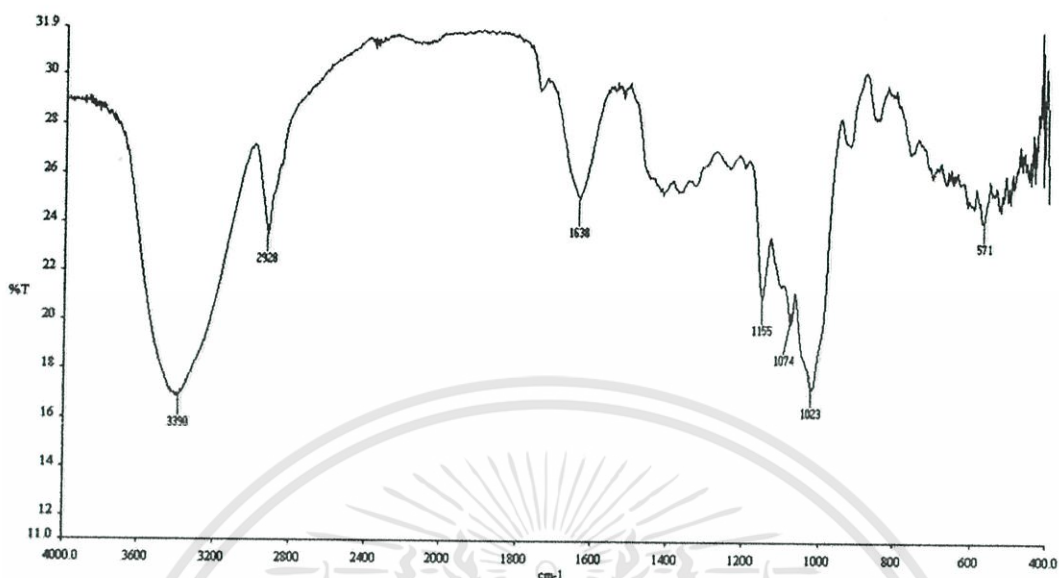


รูปที่ 7 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 30 % Alg.

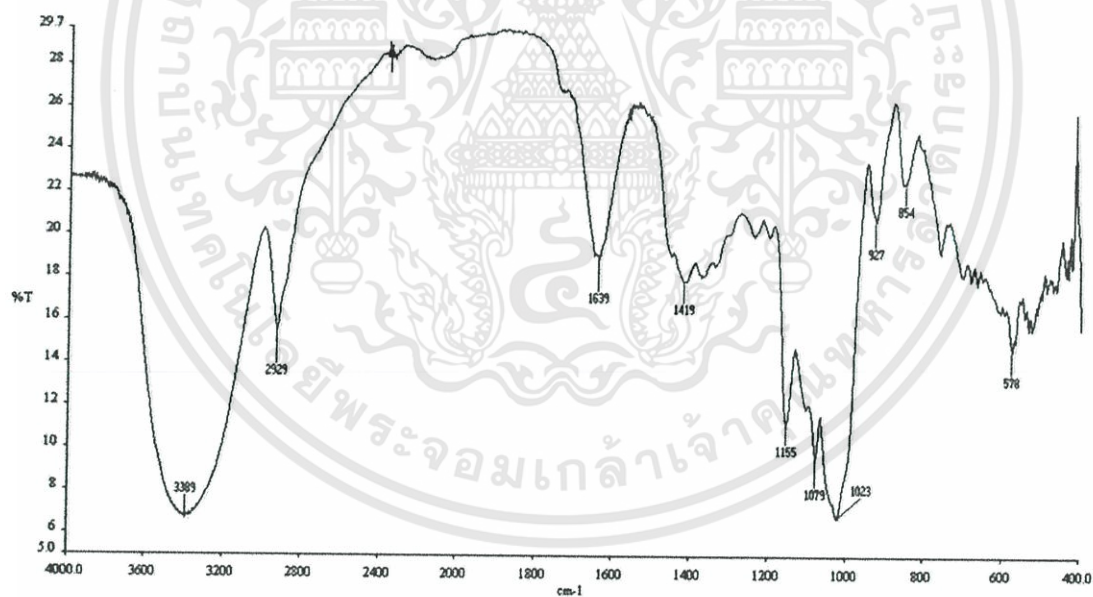


รูปที่ 8 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 5 % PVA : 5 % Alg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
10 % PVA : 10 % Alg.



รูปที่ 10 ข. แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
15 % PVA : 15 % Alg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 1 ค. เเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 100 % RH ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยอัลจิเนตในปริมาณต่างๆ

วันที่	0 % Alg.	10 % Alg.	20 % Alg.	30 % Alg.
1	45.9	46.1	46.0	45.7
2	58.3	56.8	58.8	58.5
3	64.3	64.1	66.3	64.5
4	66.5	66.5	67.9	68.4
5	67.5	65.1	67.5	69.2
6	66.5	66.4	67.8	68.2
7	66.0	67.6	70.2	67.9

ตารางที่ 2 ค. เเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 100 % RH ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ

วันที่	0 % PVA	10 % PVA	20 % PVA	30 % PVA
1	45.9	45.1	46.2	53.1
2	58.3	57.7	59.5	61.7
3	64.3	63.3	65.2	65.7
4	66.5	65.9	68.4	68.6
5	67.5	66.3	68.2	69.7
6	66.5	66.7	67.4	69.1
7	66.0	66.7	68.6	71.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค. เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 100 % RH ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้ง
กล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอัลจิเนตในปริมาณต่างๆ

วันที่	0 % PVA + Alg.	10 % PVA + Alg.	20 % PVA + Alg.	30 % PVA + Alg.
1	45.9	34.6	39.1	39.6
2	58.3	47.7	51.6	52.2
3	64.3	49.2	54.3	54.7
4	66.5	54.1	58.9	58.9
5	67.5	55.2	60.3	60.9
6	66.5	55.7	60.1	60.9
7	66.0	55.9	60.7	61.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตารางที่ 1 ง. สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ

แรงดึง

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Max load (N)
0%	3.61±0.18
10%	3.53±0.22
20%	4.26±0.13
30%	3.41±0.22

ความแข็งแรงดึง

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Stress at Max load (MPa)
0%	0.0024±0.0001
10%	0.0024±0.0002
20%	0.0028±0.0002
30%	0.0023±0.0002

มอดุลัส

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Young's Modulus (MPa)
0%	0.019±0.001
10%	0.022±0.002
20%	0.024±0.005
30%	0.012±0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดึงยืด

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Extension at Max load (mm.)
0%	29.98±2.83
10%	24.09±2.06
20%	19.53±0.72
30%	17.02±1.91

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Strain at Max load (%)
0%	61.99±3.93
10%	48.19±4.11
20%	39.07±1.43
30%	34.03±3.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ง. สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยอัลจิเนตในปริมาณต่างๆ

แรงดึง

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Max load (N)
0%	3.61±0.18
10%	6.78±0.22
20%	5.40±0.26
30%	3.41±0.20

ความแข็งแรงดึง

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Stress at Max load (MPa)
0%	0.0024±0.0001
10%	0.0045±0.0002
20%	0.0036±0.0002
30%	0.0022±0.0002

มอดูลัส

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Young's Modulus (MPa)
0%	0.019±0.001
10%	0.083±0.002
20%	0.055±0.002
30%	0.040±0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดึงยืด

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Extension at Max load (mm.)
0%	29.98±2.83
10%	24.94±2.24
20%	18.04±1.53
30%	11.83±2.18

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Strain at Max load (%)
0%	61.99±3.93
10%	47.59±1.42
20%	36.08±3.06
30%	23.66±4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ง. สมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และอัลจินตในปริมาณต่างๆ

แรงดึง

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Max load (N)
0%	3.61±0.18
10%	7.76±0.11
20%	7.98±1.29
30%	5.49±0.33

ความแข็งแรงดึง

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Stress at Max load (MPa)
0%	0.0024±0.0001
10%	0.0052±0.0001
20%	0.0053±0.0007
30%	0.0037±0.0002

มอดูลัส

ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Young's Modulus (MPa)
0%	0.019±0.001
10%	0.073±0.006
20%	0.088±0.034
30%	0.055±0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดึงยืด

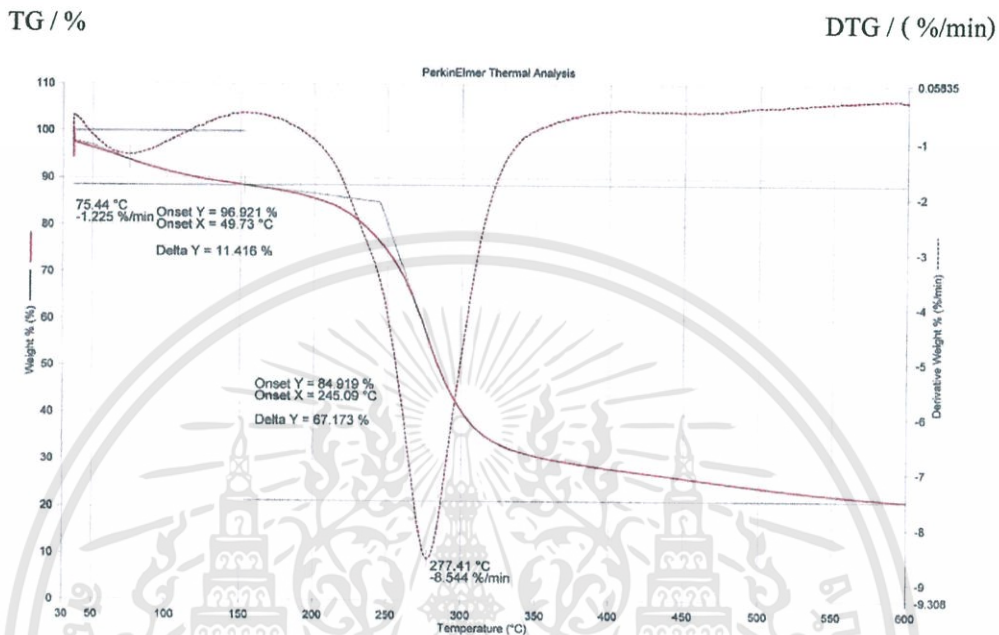
ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Extension at Max load (mm.)
0%	29.98±2.83
10%	22.96±0.43
20%	19.92±2.98
30%	17.49±2.62

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

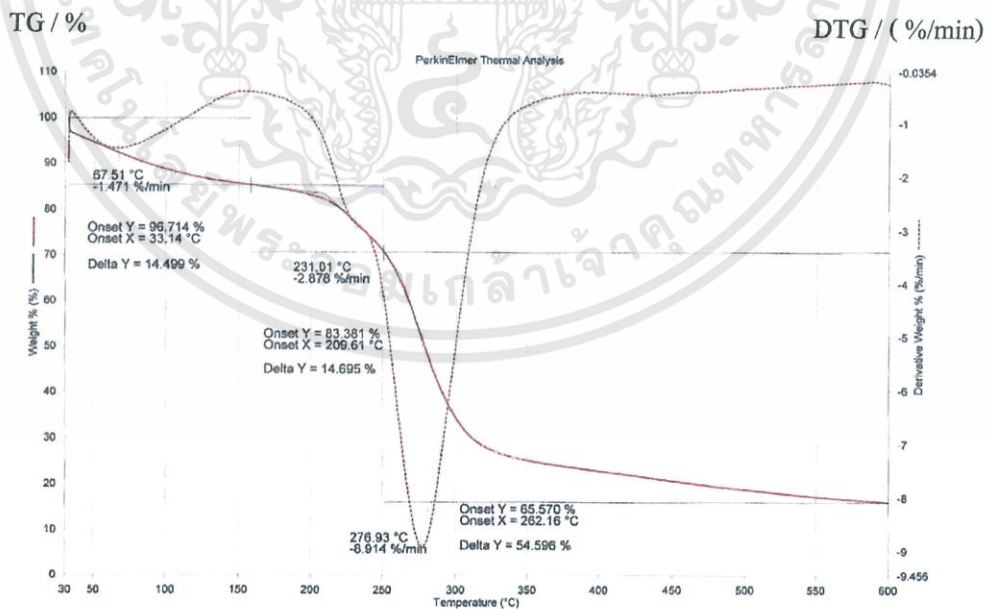
ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Strain at Max load (%)
0%	61.99±3.93
10%	47.55±3.36
20%	44.88±4.54
30%	39.60±3.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

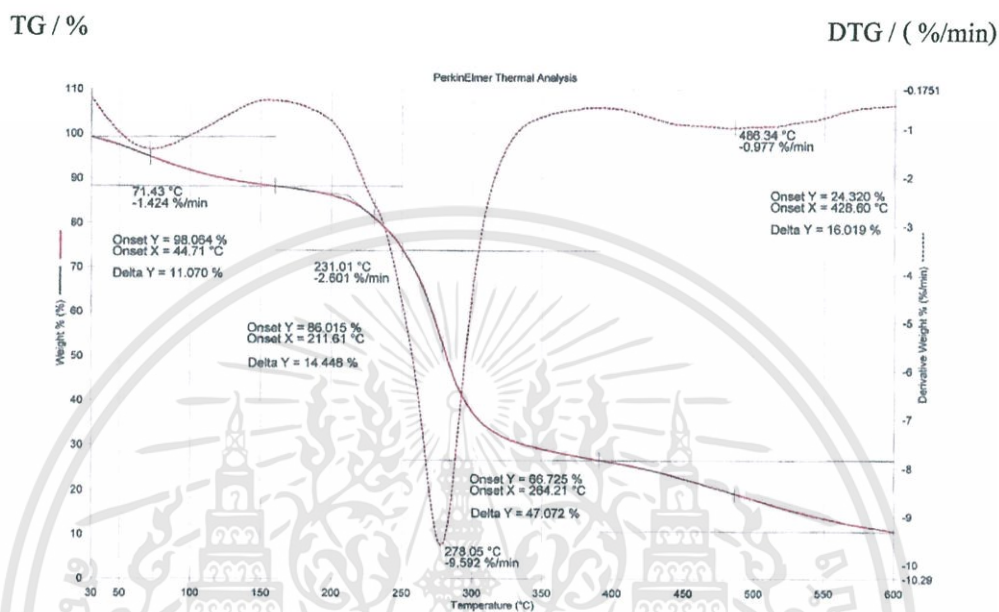


กราฟที่ 1 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

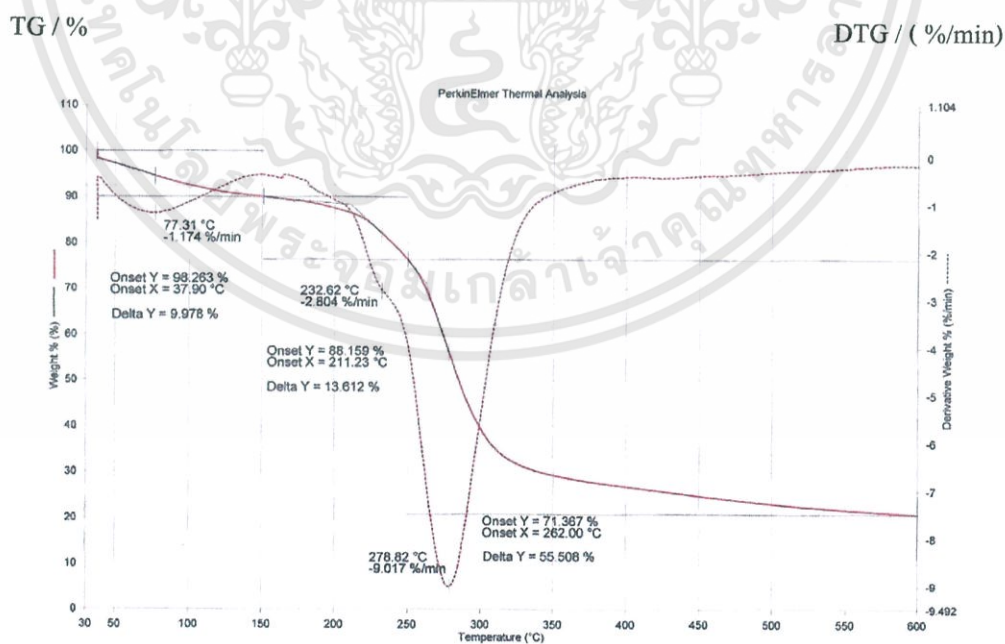


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 2 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 10 % PVA

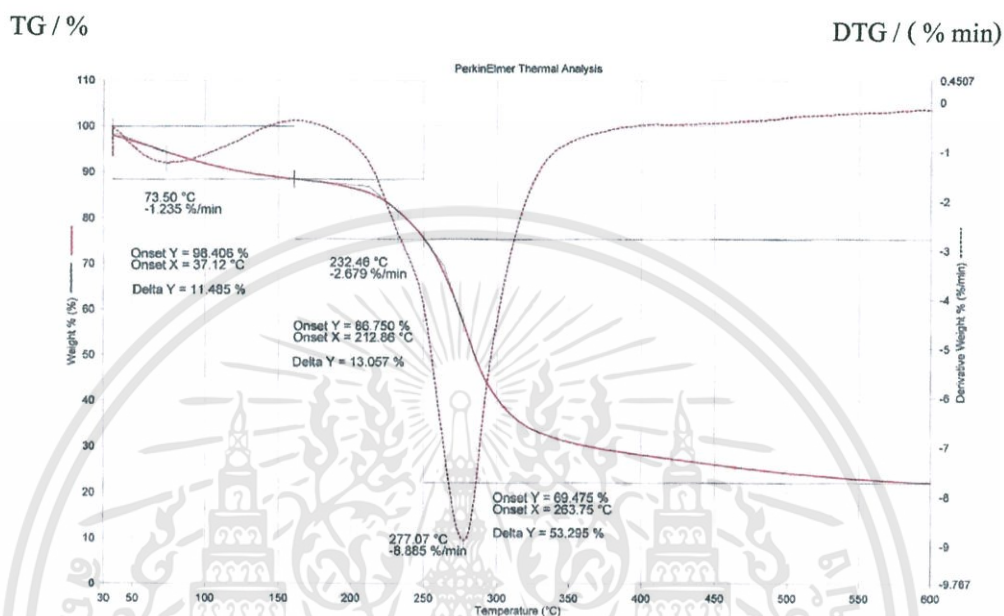


กราฟที่ 3 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 20 % PVA

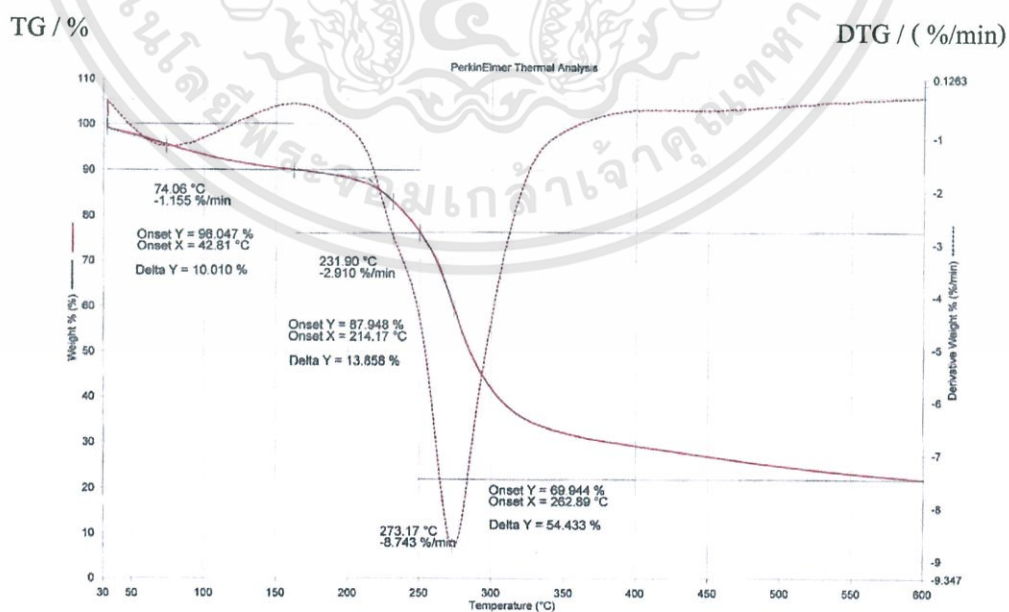


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 30 % PVA

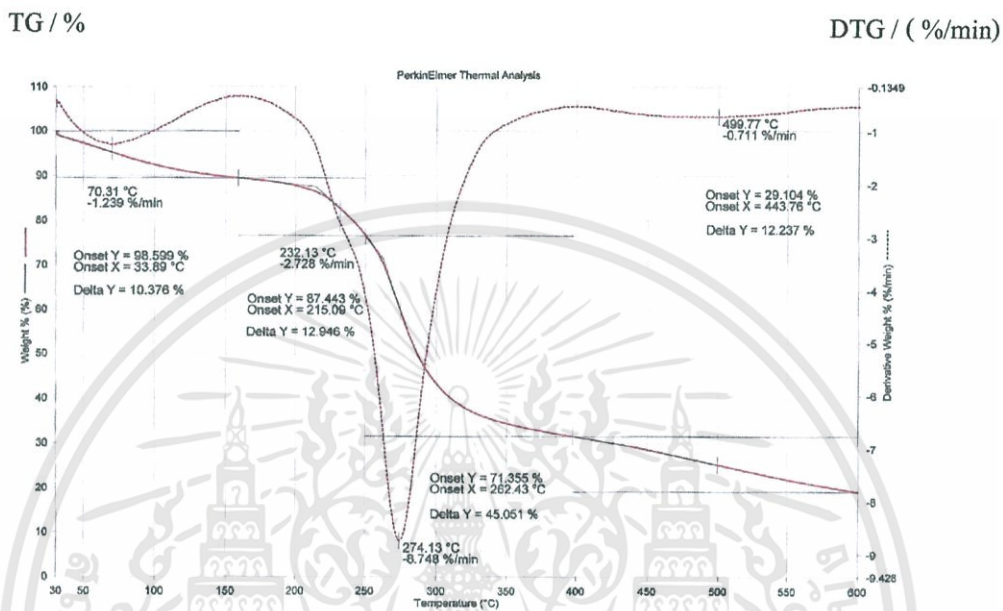


กราฟที่ 5 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 10 % Alg.

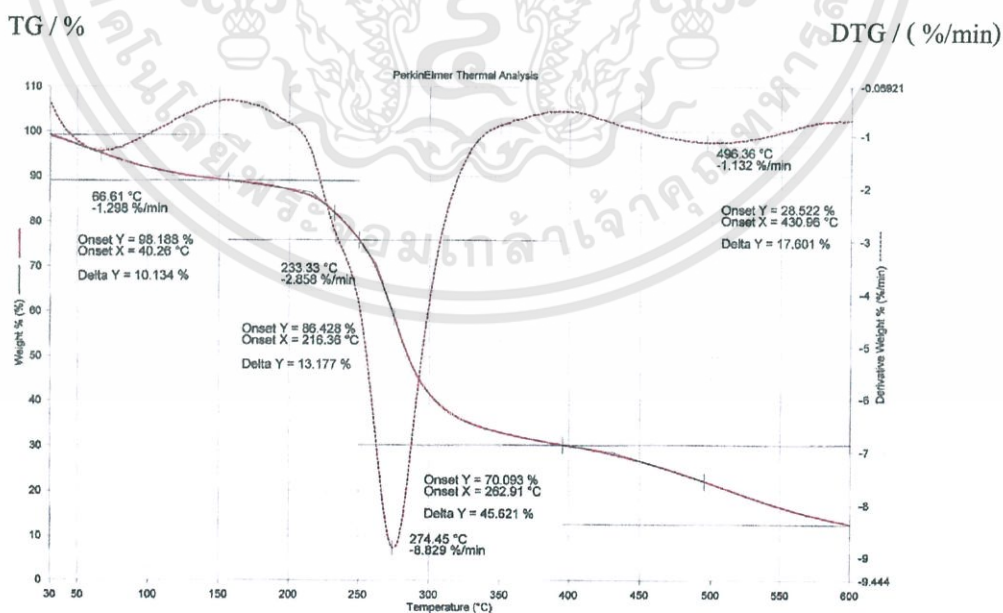


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 6 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 20 % Alg.

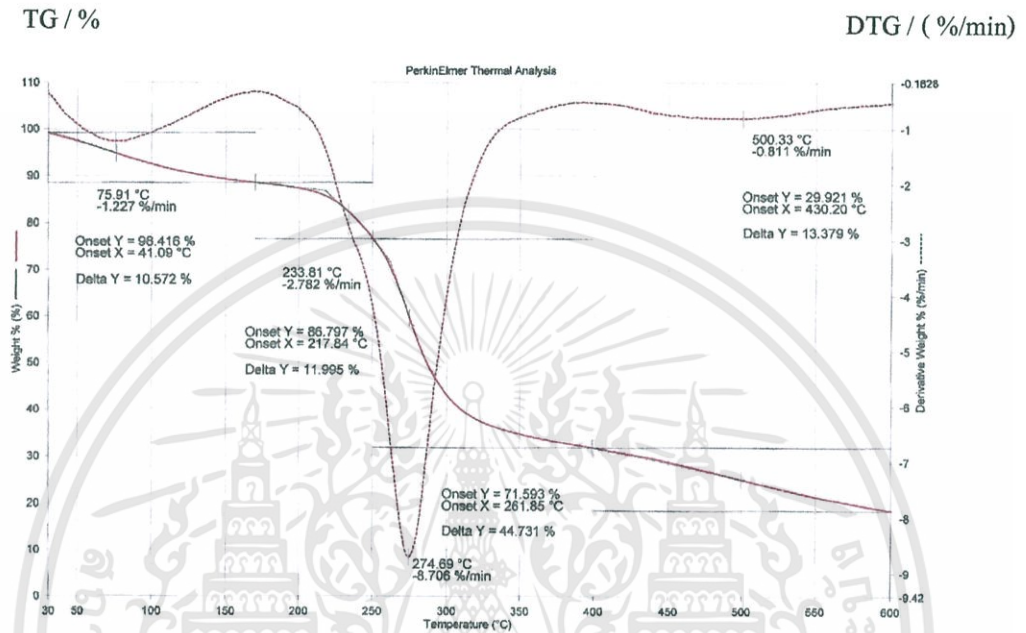


กราฟที่ 7 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่
ปรับปรุงสมบัติด้วย 30 % Alg.

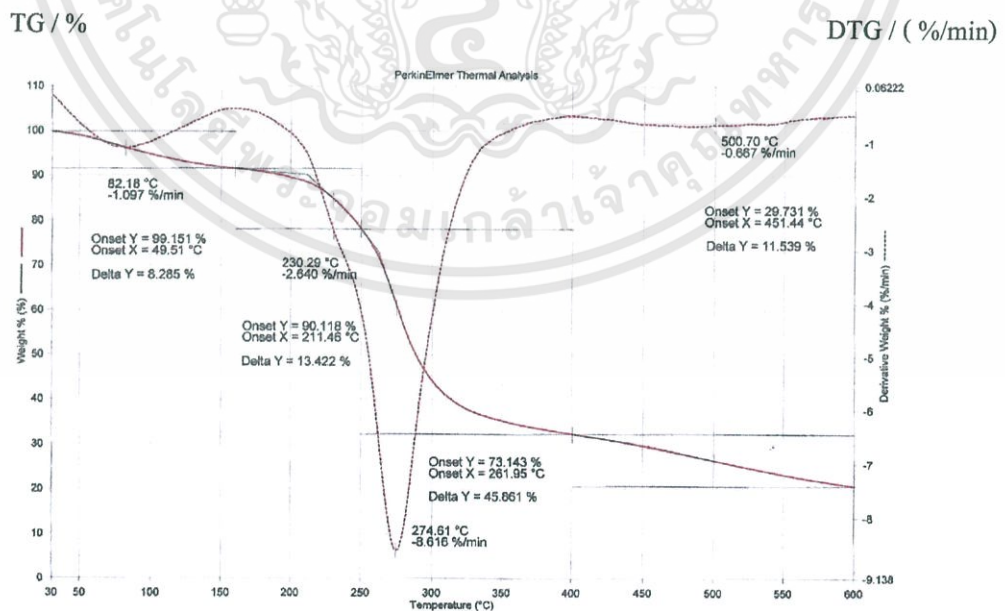


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 8 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 5 % PVA : 5 % Alg.

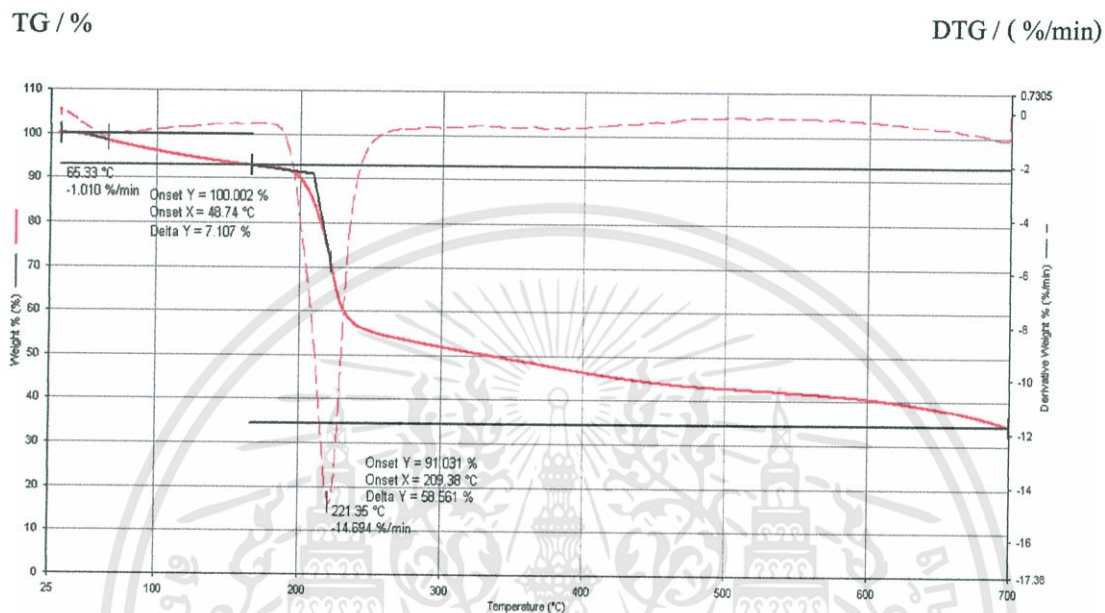


กราฟที่ 9 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 10 % PVA : 10 % Alg.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 10 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 15 % PVA : 15 % Alg.



กราฟที่ 11 จ. แสดงเทอร์โมแกรมด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของอัลจินต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ตารางที่ 1 ฉ. เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบด้วยการฝังดินของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้ง
กล้วยที่ปรับปรุงด้วยอัลจินตในปริมาณต่างๆ

วันที่	0 % Alg.	10 % Alg.	20 % Alg.	30 % Alg.
1	212.4	228.6	220.9	212.5
2	217.6	256.3	246.6	224.1
3	183.0	221.4	205.2	180.7
4	180.6	212.7	192.7	168.6
5	170.5	202.7	187.3	149.1
6	169.9	184.7	182.5	135.6
7	115.9	160.0	166.4	105.6
8	93.3	108.0	153.0	90.1
9	84.9	57.6	92.5	68.5
10	58.6	45.0	68.6	67.4
11	15.4	31.4	49.0	45.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ฉ. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบด้วยการฝังดินของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้ง
กล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ

วันที่	0 % PVA	10 % PVA	20 % PVA	30 % PVA
1	212.4	218.2	212.0	194.4
2	217.6	219.8	214.1	206.3
3	183.0	176.2	167.2	180.2
4	180.6	176.1	163.2	177.2
5	170.5	171.5	159.9	170.3
6	169.9	112.5	92.7	160.4
7	115.9	89.4	79.0	136.5
8	93.3	76.2	77.8	106.0
9	84.9	59.1	64.8	93.8
10	58.6	53.6	37.9	36.7
11	15.4	38.8	15.8	15.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้