

การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดย  
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

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



โครงการสนับสนุนโดยสำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย (กศน.)

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

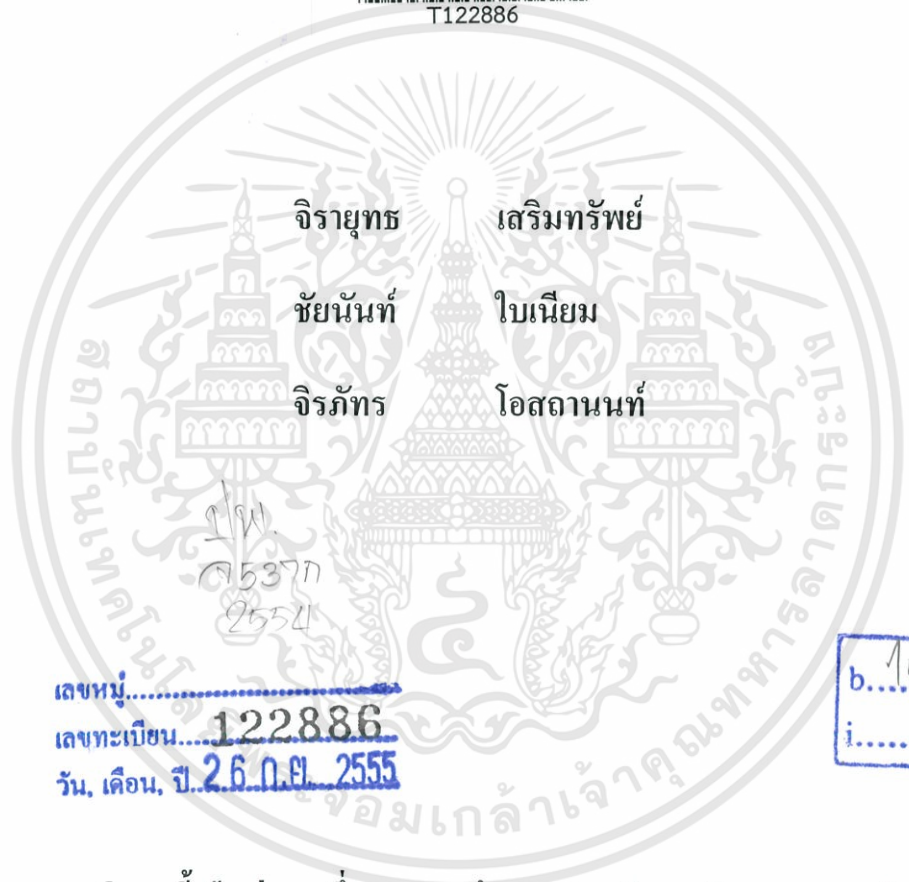
ปีการศึกษา ๒๕๕๔

การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดย  
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

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



T122886



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....122886  
วัน, เดือน, ปี 26.๐.๕. 2555

b. 124316๗๙  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

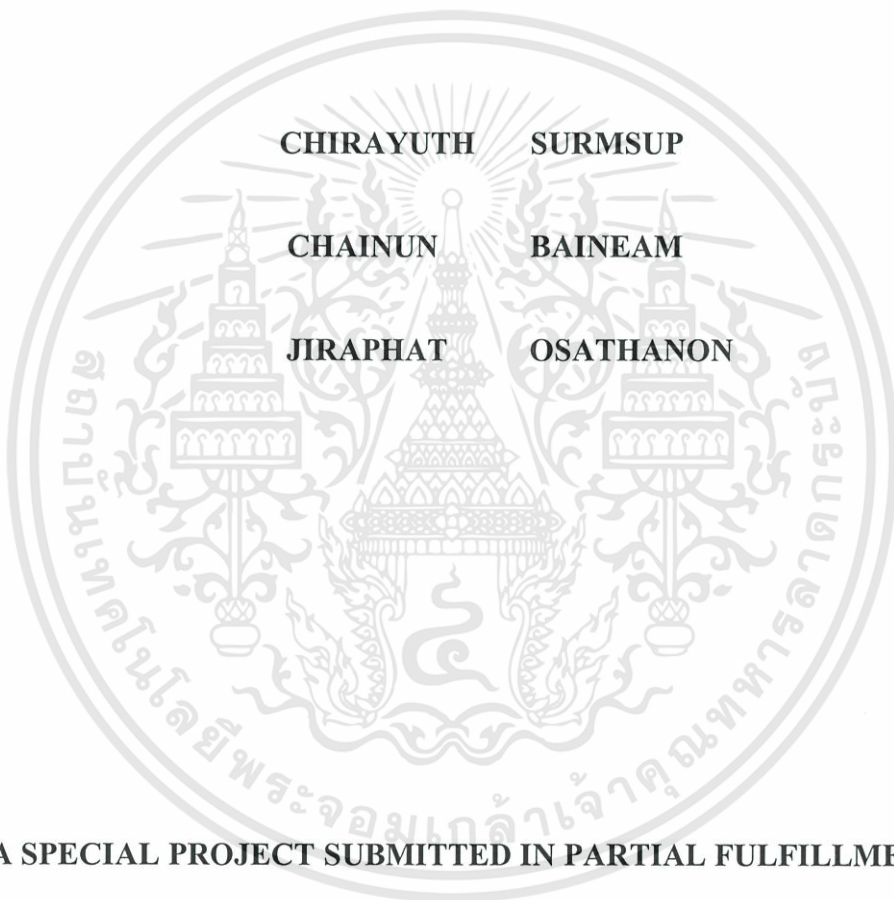
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



**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 LADKABUNG**

**ACADEMIC YEAR 2011**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกติน

ชื่อนักศึกษา นายจิรายุทธ เสริมทรัพย์ รหัสนักศึกษา 51050104  
นายชัยนันท์ ไบเนียม รหัสนักศึกษา 51050112  
นายจิรภัทร โอสถานนท์ รหัสนักศึกษา 51050220




ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2554

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2554

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	
ผศ.ดร.พัชณี เจริญยิ่ง	
ผศ.ดร.ดวงกมล กิติสัน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษ**                    การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกติน

**ชื่อนักศึกษา**                    นายจิรายุทธ    เสริมทรัพย์    รหัสนักศึกษา 51050104  
   นายชัยนันท์    ไบเนียม        รหัสนักศึกษา 51050112  
   นายจิรภัทร      โอสถานนท์    รหัสนักศึกษา 51050220

**ปริญญา**                            วิทยาศาสตร์บัณฑิต

**สาขาวิชา**                        เคมีอุตสาหกรรม

**ปีการศึกษา**                      2554

**อาจารย์ที่ปรึกษา**              รศ.ดร.จุฑารัตน์    ปรีชญาวารการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วยด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกตินขึ้นรูปด้วยวิธีการเทหล่อเป็นแผ่นฟิล์มบาง และนำไปตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ได้ พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ/หรือเพกติน แสดงถึงการเคลื่อนของฟิคอินฟราเรด จากการดูดซับน้ำพบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุง ดูดซับน้ำได้มากที่สุด และฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินที่อัตราส่วน 1:1 ดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินทำให้ความเป็นผลึกของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากหลักฐานวิทยา พบว่าการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินลงในฟิล์มจากแป้งกล้วยในอัตราส่วน 2:1 มีผลดีที่สุด นอกจากนี้การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10% ลงในฟิล์มจากแป้งกล้วยให้ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึงและมอดูลัสสูงที่สุดเช่นเดียวกับเมื่อเติมปริมาณเพกตินในปริมาณ 10% สำหรับสมบัติทางความร้อน แสดงให้เห็นอุณหภูมิการสลายตัวเพียง 1 ช่วงเท่านั้น และการย่อยสลายโดยการฝังดิน ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงเกิดการย่อยสลายเร็วที่สุด

**Special Project** Modification of biodegradable banana starch films using

poly(vinyl alcohol) and pectin

**Name** Mr. Chirayuth Surmsup 51050104

Mr. Chainun Baineam 51050112

Mr. Jiraphat Osathanon 51050220

**Degree** Bachelor of Science

**Department** Chemistry

**Academic Year** 2011

**Advisor** Assoc. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

### Abstract

This special project aimed to prepare biodegradable film from banana starch using glycerol as plasticizer and modified the banana film with poly(vinyl alcohol) and pectin. The banana film were prepared using casting technique. Then, properties of different banana films were examined. It was found that IR shift of the OH stretching region of the banana film was detected by the addition of poly(vinyl alcohol) and/or pectin. From water uptake, the highest and lowest water uptake values were found in the non-modified and 1:1 poly(vinyl alcohol) : pectin – modified banana films, respectively. Moreover, the addition of poly(vinyl alcohol) and pectin led to the increase in crystallinity of the banana films. From SEM micrographs, it was observed that the 2:1 poly(vinyl alcohol) : pectin – modified banana film showed the smoothest surface. In addition, the incorporation of poly(vinyl alcohol) into the banana film caused the highest load, stress at max load and Young's modulus, similar to the incorporation of 10% pectin. Only 1 thermal degradation step was found for all of the banana films. Finally, the non-modified banana film showed the quickest degradability under soil burial test.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยสกว.และสกอ. ที่ให้เงินทุนสนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูง  
ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และได้ช่วยเหลือ ในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.พัชณี เจริญยิ่ง และ ผศ.ดร.ดวงกมล กลีสัน ที่กรุณาเป็นกรรมการ  
ตลอดจนให้คำแนะนำโครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ผู้ที่คอยให้กำลังใจ และแรงกระตุ้น พร้อมข้อเสนอแนะดีๆ จนทำให้โครงการ  
พิเศษนี้ประสบความสำเร็จได้อย่างสวยงาม

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ที่ให้ทุกสิ่งอย่างต่อคณะผู้จัดทำ จนประสบความสำเร็จ  
ในการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายจิรายุทธ เสริมทรัพย์

นายชัยนันท์ ไบเนียม

นายจิรภัทร โอสถานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

รายการ	หน้า
บทคัดย่อโครงการนพิเศษภาษาไทย	I
บทคัดย่อโครงการนพิเศษภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการนพิเศษ	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	3
2.1 พลาสติก	3
2.1.1 ประเภทของพลาสติก	3
2.1.2 พลาสติกที่ใช้มากในปัจจุบัน	5
2.1.3 อันตรายที่เกิดจากพลาสติก	8
2.1.4 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ	8
2.1.5 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
2.1.6 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้	11
2.2 แป้ง	13
2.2.1 สมบัติของแป้ง	14
2.2.1.1 การเกิดเจลาตินไนซ์	14
2.2.1.2 การเกิดเจล	15
2.2.1.3 การเกิดรีโทรเกรเดชั่น	16
2.3 ก๋วยเตี๋ยว	16
2.3.1 ประวัติของก๋วยเตี๋ยว	16
2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	17
2.3.3 ประโยชน์ของก๋วยเตี๋ยว	18
2.3.4 แป้งก๋วยเตี๋ยว	21
2.4 พลาสติกไซเซออร์	26
2.5 เพกติน	27
2.6 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	30
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	34
3.1 สารเคมี	34
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	35

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
3.3 การทดลอง	39
3.4 การทดสอบ	44
3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน โดย FTIR	44
3.4.2 การดูดซับน้ำ	44
3.4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	44
3.4.4 สัณฐานวิทยา	45
3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล	45
3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	46
3.4.7 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน	46
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	47
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	47
4.2 Fourier – Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	49
4.3 การทดสอบการดูดซับน้ำ	52
4.4 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	56
4.5 สัณฐานวิทยา	59
4.6 สมบัติเชิงกล	64
4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	68

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
4.8 สมบัติการย่อยสลาย	71
<b>บทที่ 5</b> สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลงานวิจัย	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารอ้างอิง	78
ภาคผนวก ก	82
ภาคผนวก ข	88
ภาคผนวก ค	91
ภาคผนวก ง	94
ภาคผนวก จ	95
ภาคผนวก ฉ	98
ภาคผนวก ช	103
ภาคผนวก ซ	106

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต	5
ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งชนิดต่าง ๆ	15
ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางอาหารของผลกล้วยสุก หนัก 100 กรัม	19
ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งกล้วยที่ได้จากตูบแห้ง	21
ตารางที่ 2.5 ลักษณะของกล้วยที่ระยะการสุกต่าง ๆ	23
ตารางที่ 2.6 ปริมาณของเพกตินที่มีอยู่ในพืชผักผลไม้	29
ตารางที่ 3.1 สมบัติต่าง ๆ ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	34
ตารางที่ 3.2 สมบัติต่าง ๆ ของเพกติน	34
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของแป้งกล้วย เพกติน กลีเซอรอล และน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	40
ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	41
ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนของแป้งกล้วย เพกติน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย	43
ตารางที่ 3.6 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เตรียมได้	45
ตารางที่ 4.1 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	47
ตารางที่ 4.2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้เพกติน	48

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.3 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	49
ตารางที่ 4.4 ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วย เนื่องจากการดูดซับน้ำ	54
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิของการสลายตัวของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่มีการปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	68
ตารางที่ 4.6 ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ได้หลังจากทำการฝังดิน	73



# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบลูกโซ่	4
รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย	4
รูปที่ 2.3 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต	5
รูปที่ 2.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง	6
รูปที่ 2.5 พอลิไวนิลคลอไรด์	6
รูปที่ 2.6 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ	7
รูปที่ 2.7 พอลิพรอพิลีน	7
รูปที่ 2.8 พอลิสไตรีน	7
รูปที่ 2.9 พลาสติกอื่นๆ	8
รูปที่ 2.10 การเกิดเจลาตินไนซ์	14
รูปที่ 2.11 การเกิดเจล	15
รูปที่ 2.12 การเกิดรีโทรเกรเดชั่น	16
รูปที่ 2.13 รูปร่างและขนาดเม็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบ	22
รูปที่ 2.14 ลักษณะเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสุก	22
รูปที่ 2.15 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วย	23
รูปที่ 2.16 โครงสร้างโมเลกุลของเพกติน	27
รูปที่ 2.17 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	30

## สารบัญรูปรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 2	36
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 3	37
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 4	38
รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติ โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกติน	50
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุง สมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	51
รูปที่ 4.3 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วย	52
รูปที่ 4.4 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10%	52
รูปที่ 4.5 การดูดซับน้ำของฟิล์มของแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 10%	53
รูปที่ 4.6 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกตินในอัตราส่วน 1:1	53
รูปที่ 4.7 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกตินในอัตราส่วน 1:2	53
รูปที่ 4.8 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกตินในอัตราส่วน 2:1	53
รูปที่ 4.9 เปรอ์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือเพกตินที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%	55

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10	
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มแข็งที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และเพกตินที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%	56
รูปที่ 4.11	
ดิฟแฟรกโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติ ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	57
รูปที่ 4.12	
ดิฟแฟรกโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติ ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	58
รูปที่ 4.13	
สัณฐานวิทยา ผิวด้านบนของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า ที่ปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	60
รูปที่ 4.14	
สัณฐานวิทยา ผิวด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า ที่ปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	63
รูปที่ 4.15	
สมบัติเชิงกลฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ต่าง ๆ กัน	64
รูปที่ 4.16	
สมบัติเชิงกลฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณเพกตินต่าง ๆ กัน	66
รูปที่ 4.17	
สมบัติเชิงกลฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และเพกติน	67
รูปที่ 4.18	
TGA ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่าง ๆ	69

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.19 DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่าง ๆ	70
รูปที่ 4.20 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วย	71
รูปที่ 4.21 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10%	71
รูปที่ 4.22 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 10%	72
รูปที่ 4.23 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วน 1:1	72
รูปที่ 4.24 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วน 1:2	72
รูปที่ 4.25 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วน 2:1	72
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ที่อัตราส่วนต่างๆ	74

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันมีการใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก ใช้ระยะเวลาในการสลายตัว และยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพอลิเมอร์พลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมีภัณฑ์ ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลาย ในรูปของบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีปริมาณการใช้เพิ่มสูงขึ้นกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุชนิดอื่น เช่น กระดาษ โลหะ และแก้ว เนื่องจากพลาสติกมีความทนทาน ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย กันน้ำได้ดี และมีน้ำหนักเบา จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก ส่งผลให้ปริมาณขยะที่เกิดจากพลาสติกเพิ่มสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดและการจัดการ เนื่องจากปริมาณขยะที่กินเนื้อที่ในการฝังกลบ และหากกำจัดโดยการเผาจะทำให้เกิดปัญหาจากมลพิษ แม้ว่าการนำกลับมาใช้ใหม่จะช่วยแก้ปัญหาได้ส่วนหนึ่ง แต่ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เองในสภาวะของสิ่งแวดล้อมที่เป็นธรรมชาติ หรือกระบวนการที่เกิดขึ้นทางชีวภาพในระยะเวลาอันสั้น และไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชีวภาพที่ง่ายต่อการย่อยสลาย เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ เซลลูโลส อนุพันธ์ของแป้ง แอลจินัท คาราจีแนน เพกติน ไคโตซาน และโปรตีน เป็นต้น ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแทนการใช้พลาสติกที่จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้ใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติก ง่ายต่อการย่อยสลายในธรรมชาติ และปลอดภัยกับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยและพัฒนาพอลิเมอร์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ได้มีผู้วิจัยอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศ และต่างประเทศ โดยสามารถใช้แป้งได้หลายชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งกล้วย แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า เป็นต้น โดยพอลิเมอร์ที่ได้จะมีสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่นำมาสังเคราะห์

กล้วยเป็นพืชที่ปลูกและขยายพันธุ์ได้ง่าย เจริญเติบโตได้รวดเร็ว ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี มีราคาถูก ในประเทศไทยนั้น กล้วยสามารถพบได้ทุกภูมิภาคของประเทศ โดยจะมีปริมาณของแป้งอยู่มากในกล้วยดิบ

จากงานวิจัยของพัชรินทร์ โคตรสุวรรณและคณะ [1] พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ใช้กลีเซอรอลในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ได้ยังไม่ดีนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม โดยใช้เพกตินและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของฟิล์มกล้วย ได้แก่ สมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติการย่อยสลายฟิล์ม และสมบัติการซึมผ่านไอน้ำจากแป้งกล้วยที่เตรียมได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย (Banana starch) ใช้ในบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารทดแทนการใช้พอลิเมอร์พลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- 1.2.2 เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยใช้เพกติน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ย่อยสลายได้ โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
- 1.3.2 ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มแป้งกล้วยโดยใช้เพกติน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ
- 1.3.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน และสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มที่เตรียมได้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่มีสมบัติที่ดี ใช้ระยะเวลาสั้นในการสลายตัว และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- 1.4.2 ส่งเสริมการนำวัสดุที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ช่วยเหลือเกษตรกร และเพิ่มมูลค่าผลผลิตที่ได้จากกล้วย
- 1.4.3 นำฟิล์มย่อยสลายจากแป้งกล้วย มาใช้ทดแทนวัสดุย่อยสลายได้ยากในปัจจุบัน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 พลาสติก [2]

พลาสติก เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และอาจผลิตเพื่อให้มีสีต่างๆ ใสแข็งหรืออ่อนก็ได้ และยังสามารถหลอมละลายเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้โดยใช้แรงดันและความร้อน โดยคุณสมบัติของพลาสติกคือ ไม่สลายตัว ประโยชน์ของพลาสติก คือ น้ำหนักเบา ทำให้สะดวกต่อการถือหิ้ว และการขนส่ง ตลอดจนมีความทนทานอยู่ได้เป็นเวลานาน และเนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ได้มาก พลาสติกจึงเข้ามาแทนที่

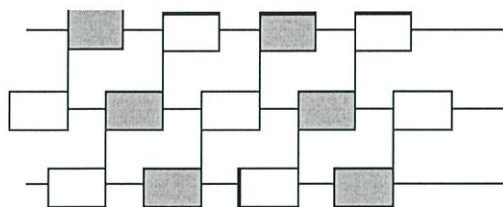
อย่างไรก็ตามถึงแม้พลาสติกจะมีประโยชน์ แต่ก็มีข้อเสียคือ พลาสติกผลิตมาจากทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน นอกจากนี้ ก็ยากต่อการนำมารีไซเคิล ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และที่สำคัญเนื่องจากพลาสติกมีหลายชนิด การนำมาผลิตใช้ใหม่จะต้องแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกัน ปัจจุบันจึงมีเพียงถุงพลาสติกเท่านั้นที่สามารถนำมาผลิตใช้ใหม่ได้ แต่มีการนำถุงพลาสติกที่ใช้แล้วเพียงร้อยละ 3 ของจำนวนถุงพลาสติกที่ผลิตออกมาเท่านั้นที่นำกลับเข้าสู่โรงงานเพื่อทำการรีไซเคิล ดังนั้นพลาสติกที่ถูกทิ้งเป็นขยะในปัจจุบันจึงคงอยู่ในสภาพแวดล้อมไปอีกนานนับหลายร้อยปี

##### 2.1.1 ประเภทของพลาสติก [3]

พลาสติกสามารถแบ่งออกตามลักษณะการยึดเกาะตัวของ โครงสร้างโมเลกุลได้ เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด คือ พลาสติกประเภทกึ่งรูป (Thermoplastics) และพลาสติกประเภทคงรูป (Thermosettings)

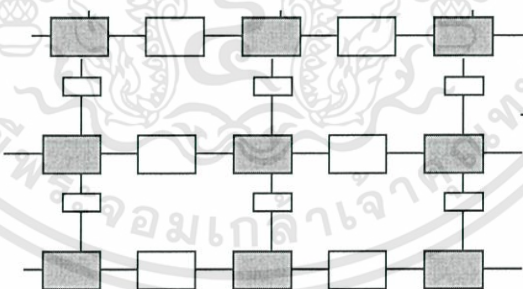
1. พลาสติกประเภทกึ่งรูป (Thermoplastics) หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า พลาสติกอ่อน เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก หลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว เปรียบเสมือนน้ำนำไปทำน้ำแข็ง เมื่อถูกความร้อนก็จะละลายกลายเป็นน้ำอีก และน้ำนี้ก็สามารถนำกลับไปทำน้ำแข็งได้อีกไม่มีที่สิ้นสุด เรียกว่า “Plastics with a Memory” โครงสร้างของพลาสติกประเภทนี้จะประกอบด้วยโมเลกุลเดี่ยวเกาะตัวแบบต่อแขนยาวออกเป็นเส้นด้าย หรือแบบลูกโซ่ (Filament or Chain) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพลาสติกอาจเกิดได้ง่ายโดยการไหลเลื่อนระหว่างโมเลกุลต้านแรงแวนเดอวาล์ว (Van der Waal's forces) ซึ่งดึงดูดโมเลกุลเข้าไว้ด้วยกันอย่างอ่อนๆ

ตัวอย่างเช่น Polymethacrylate Perspex and Nylon



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบลูกโซ่ (Chains Molecule) [3]

2. พลาสติกประเภทคงรูป (Thermosetting) หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า พลาสติกแข็งคือ เป็นพลาสติกที่มีรูปทรงถาวรซึ่งผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน (Heat) หรือแรงอัด (Pressure) ขึ้นรูปแต่เมื่อเย็นตัวลงจะไม่สามารถทำให้อ่อนตัวโดยใช้ความร้อนหรือนำไปหลอมละลายขึ้นรูปใหม่ได้อีก เปรียบเสมือนไข่เมื่อนำไปต้มสุกแล้วจะทำให้เหลวเหมือนเดิมอีกไม่ได้ในประเทศอังกฤษเรียกพลาสติกชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า ดุโรพลาสติก (Duroplastics) โครงสร้างของพลาสติกแบบคงรูปร่างจะมีการเกาะตัวของโมเลกุลเป็นแบบตาข่าย หรือร่างแห (Net) เวลาได้รับความร้อนจะไม่ยืดหรือหดตัวแต่จะเกิด Covalent bond ยึดระหว่างโมเลกุลขึ้น ตัวอย่างเช่น Phenol formaldehyde หรือที่เรียกว่า Bakelite โดยยางดิบหากผ่านกรรมวิธี Vulcanization ก็เป็นพลาสติกประเภทคงรูปอย่างหนึ่ง



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย (Net Molecule) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต [3]

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซต
1. เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นหรือแบบกิ่ง	1. เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห
2. จะอ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน	2. จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน
3. ต้องทำให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบ มิฉะนั้นจะเสียรูปทรงได้	3. ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบ
4. ไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันในแม่พิมพ์	4. เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันในแม่พิมพ์
5. นำมารีไซเคิลโดยการหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้	5. ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้

### 2.1.2 พลาสติกที่ใช้มากในปัจจุบัน [4]

พลาสติกที่ถูกนำมาใช้ในปริมาณมากในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ จึงมีการใส่สัญลักษณ์ตัวเลขเพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งประเภทของพลาสติก โดยตัวเลขทั้ง 7 ตัวนี้จะอยู่ในสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกันและมักพบอยู่บริเวณก้นของภาชนะพลาสติก

#### 1. พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly(ethylene terephthalate), PET)

PET ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายใน จึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และเครื่องดื่มอัดลม นอกจากนี้ขวด PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของแก๊สได้เป็นอย่างดี จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม PET สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม และเส้นใยสังเคราะห์สำหรับอัดหมอน หรือเส้นใยสำหรับเล่นสกี



รูปที่ 2.3 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

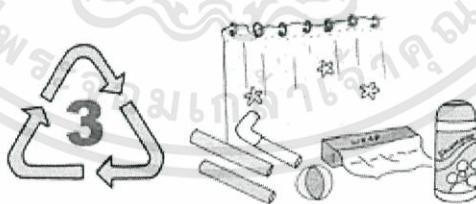
HDPE พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีสนสวยงาม ยกเว้นขวดที่ใช้บรรจุน้ำดื่ม ซึ่งจะขุ่นกว่าขวด PET ราคาถูกขึ้นรูปได้ง่าย ทนสารเคมีจึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แป้งเด็ก แชมพูสระผม และถุงหิ้ว นอกจากนี้ภาชนะที่ทำจาก HDPE ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของ ความชื้นได้ดี จึงใช้เป็นขวดนมเพื่อยืดอายุของนมให้นานขึ้น HDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตขวดต่างๆ เช่น ขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้เทียมเพื่อใช้ทำราวหรือม้านั่งในสวน



รูปที่ 2.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง [4]

## 3. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC)

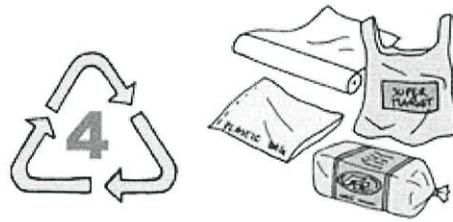
PVC เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อ เช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่มโดยใส่พลาสติกไซเซอร์ ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดใสแชมพูสระผม PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม PVC สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และเฟอร์นิเจอร์ หรือม้านั่งพลาสติก



รูปที่ 2.5 พอลิไวนิลคลอไรด์ [4]

## 4. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

LDPE เป็นพลาสติกที่นิ่ม สามารถยืดตัวได้มาก มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง และถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร LDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหิ้ว หรือถังขยะ



รูปที่ 2.6 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ [4]

#### 5. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

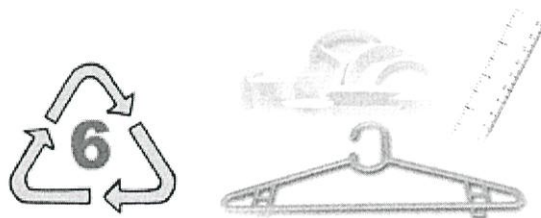
PP เป็นพลาสติกที่แข็งแรง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ขาม จาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น PP สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมผลิตเป็นกล่องแบบเตอริรียนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน



รูปที่ 2.7 พอลิพรอพิลีน [4]

#### 6. พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)

PS เป็นพลาสติกที่แข็ง ใส แต่เปราะ และแตกง่าย ราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สาลี หรือของแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยอง และคุกกี้ เนื่องจาก PS เปราะและแตกง่าย จึงไม่นิยมนำพลาสติกประเภทนี้มาบรรจุน้ำดื่มหรือแชมพูสระผม เนื่องจากอาจลื่นตกแตกได้ มีการนำพลาสติกประเภทนี้มาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหาร โฟมจะมีน้ำหนักที่เบาเนื่องจากประกอบด้วย PS ประมาณ 2-5% เท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง PS สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนิยมผลิตเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวิดีโอ ไม้บรรทัด หรือของใช้อื่นๆ

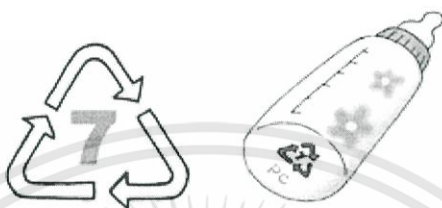


รูปที่ 2.8 พอลิสไตรีน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. พลาสติกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก หรือไม่ทราบว่าเป็นพลาสติกชนิดใด

สำหรับพลาสติกในกลุ่มที่ 7 เป็นพลาสติกชนิดอื่นที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก นอกจากจะมีตัวเลขระบุแล้ว ควรใส่สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษระบุชนิดของพลาสติกนั้นๆ ไว้ เพื่อสะดวกในการแยกและนำกลับมารีไซเคิล เช่น พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC)



รูปที่ 2.9 พลาสติกอื่นๆ [4]

### 2.1.3 อันตรายที่เกิดจากพลาสติก [5]

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความคงทนและเสื่อมสลายยาก พลาสติกบางชนิดเมื่อถูกทิ้งในดิน สามารถคงสภาพโดยไม่ผุพังได้นานหลายสิบปี การนำพลาสติกใช้แล้วไปเผาไฟดูเหมือนเป็นวิธีการที่ง่าย แต่จะเกิดผลเสียตามมามากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารที่เกิดจากการเผาไหม้ของพลาสติกเหล่านั้น อาจเกิดมลพิษที่เป็นอันตรายต่อชีวิตทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม เช่น แก๊สอันตรายหลายชนิด สารไดออกซิน สารอะโคลีน สารอันตรายเหล่านี้ บางชนิดทำลายระบบประสาท บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง บางชนิดมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต บางชนิดเป็นแหล่งสะสมจุลินทรีย์ บางชนิดทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิที่ผิวโลกร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ความสมดุลของบรรยากาศของโลกเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการใช้พลาสติกจึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวังและใช้อย่างถูกวิธี การให้เด็กเล่นของเล่นที่ผลิตจากพลาสติกและมีขนาดเล็ก เด็กอาจกลืนกินเข้าไปและไปติดขวางในช่องทางระบบหายใจ ซึ่งอาจเป็นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ วัสดุเติมแต่งสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกบางชนิดอาจมีอันตราย ไม่เหมาะสำหรับนำมาผลิตของเล่นหรือภาชนะสำหรับใส่อาหาร เช่น สีที่ใช้ผสมในพลาสติก

### 2.1.4 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable Plastic for Environmental Friendly) [6]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือ Biodegradable plastics เป็นพลาสติกที่ผลิตจากพืช หรือ วัตถุดิบที่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้ (Renewable resources) กระบวนการผลิตเป็นกระบวนการหมัก (Fermentation) ใช้พลังงานต่ำ และมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำเมื่อนำไปฝังกลบภายหลังการใช้งาน ปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง และเป็นแนวทางหลักแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม กลุ่มอุตสาหกรรมแนวหน้าทั่วโลกตื่นตัวในการคิดค้นหาวัสดุชีวภาพหรือพอลิเมอร์ตัวใหม่ เพื่อพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและให้มีคุณสมบัติในการใช้งานได้ดีเทียบเท่ากับพลาสติกดั้งเดิมที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่ โดยพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นพลาสติกที่ถูกละลายจากการกระทำของจุลินทรีย์ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ในดิน บ่อฝังกลบขยะ บ่อบำบัดน้ำเสีย แหล่งน้ำจืดหรือในทะเล หากการย่อยสลายได้ทางชีวภาพเกิดขึ้นในระบบการหมักภายใต้สภาวะ ที่มีการควบคุมจะเรียกว่า การย่อยแบบคอมโพสท์ (Compostable) เมื่อกระบวนการหมักแบบคอมโพสท์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ มวลชีวภาพ และสารอินทรีย์ ซึ่งการย่อยสลายแบบคอมโพสท์นี้เป็นการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ พืชสามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำไปใช้สังเคราะห์แสง ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืช

ประเภทของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ

1. พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น แป้ง, ข้าวโพด, มันสำปะหลัง, ไฟเบอร์, โคลดิน, เซลลูโลส
2. พอลิเมอร์สังเคราะห์จากจุลินทรีย์ เช่น PHA, PHB
3. พอลิเมอร์สังเคราะห์จากขบวนการเคมี เช่น PLA, PBS, PBAT, PCL

## 2.1.5 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ [7]

### 2.1.5.1 การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวน้ำเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นดามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เอง ภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับ การออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

### 2.1.5.2 สารเคลือบกระดาษหรือโฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแฮมเบอร์เกอร์หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

### 2.1.5.3 ฟิล์มคลุมดินและวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืชและรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บ และกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง

ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บ และ กำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อย สารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชใน ทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

#### 2.1.5.4 ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้ งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำ กลับมาใช้เคล็ดมากนักเนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมี ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มี ศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

#### 2.1.5.5 ฟิล์มและถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food waste film and bag)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับ สถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์ กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะดวก ไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลี ได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการ ผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ตันต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่าง สมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

#### 2.1.5.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer packaging materials)

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การใช้งานด้านบรรจุ ภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้ได้รับความนิยมนำ กลับมาใช้เคล็ดมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับ อาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุ ภัณฑ์ลงได้

#### 2.1.5.7 โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill)

โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill) โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่าง การเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้

อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิโพรพิลีน เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

## 2.1.6 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ [8]

โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.1.6.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนาจนกบ้นพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.1.6.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ

2.1.6.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความชื้น แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.1.6.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไฮดรอกไซด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอก โมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายใน โมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสถานะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายใน โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.1.6.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือแร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

หมายเหตุ มวลชีวภาพ หมายถึง มวลรวมของสสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในการดำรงชีวิตและเติบโตของสิ่งมีชีวิต ซึ่งรวมถึงพืช สัตว์ และจุลินทรีย์

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้คำว่า พลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally degradable plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ด่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสดง

จากดวงอาทิตย์ แรงดันจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์ โดยจุลินทรีย์ ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสถานะแวดล้อม และคำว่า พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสถานะแวดล้อม (Environmental friendly plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบต่อสถานะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

## 2.2 แป้ง [9]

แป้งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเกิดจากการต่อกันของโมเลกุลเดี่ยวจนเป็นสายยาว โดยแป้งเป็นอาหารสะสมในเซลล์พืช มักพบอยู่ในส่วนของรากเมล็ด ต้น และผลบางชนิด (ข้าวเจ้ามีแป้ง 75% ข้าวโพดมีแป้ง 50% มันฝรั่งมีแป้ง 20%) ประกอบด้วยเม็ดแป้งขนาดเล็ก แต่ละชนิดมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เม็ดแป้งมีขนาดยาวตั้งแต่ 0.002-0.015 เซนติเมตร โดยขนาดของเม็ดจะมีผลต่อการเกิดเจลของแป้ง ในทางเคมีแล้ว แป้งมีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด

### - อะไมโลส

ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-กลูโคส หลาย ๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4' ไกลโคซิดิกทั้งหมด ดังนั้น โครงสร้างจึงเป็นเส้นตรง เมื่อโซ่ยาวขึ้นจะมีลักษณะเป็นเป็นขดเกลียวซึ่งจะเกิดสารเชิงซ้อน (Complex compound) กับไอโอดีนได้สารสีน้ำเงิน

### - อะไมโลเพกติน

ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-กลูโคส หลาย ๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4' ไกลโคซิดิกบางส่วน แต่มีบางส่วนจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 6' ไกลโคซิดิก โดยมีอัตราส่วนระหว่างพันธะทั้งสองชนิดเป็น 15 : 1 ตามลำดับ ดังนั้น โครงสร้างของอะไมโลเพกตินจึงเป็นกิ่งก้านสาขา

แป้งประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายตรง (Straight chained) และแตกแขนง (Branched chained) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นอาหารสะสมเป็นส่วนใหญ่ในผลิตภัณฑ์เกษตรหลังการเก็บเกี่ยว พบในรูปของเม็ดแป้ง (Starch grains) ใน Plastids (Amyloplasts) และ Chloroplasts ในส่วนของใบ ส่วนของสายตรงเรียกว่าอะไมโลส (Amylose) ประกอบด้วยกลูโคส 200-1,000 หน่วย ต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -(1-4) ไกลโคซิดิก ส่วนของสายที่แตกแขนงเรียกว่าอะไมโลเพกติน (Amylopectin) ประกอบด้วยกลูโคส 2,000-200,000 หน่วย ต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -(1-4) ระหว่างโมเลกุลของกลูโคสและทุกๆ 20-25 หน่วยของกลูโคสจะมีการแตกกิ่งก้านสาขาและต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -(1-6) ไกลโคซิดิก สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกตินในแต่ละสายพันธุ์จะ

แตกต่างกันไปและถูกควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรม อะไมโลเพคตินมักเป็นรูปแบบที่พบมาก (Dominant form) คืออาจมีตั้งแต่ 60% ไปจนถึงมากกว่า 95%

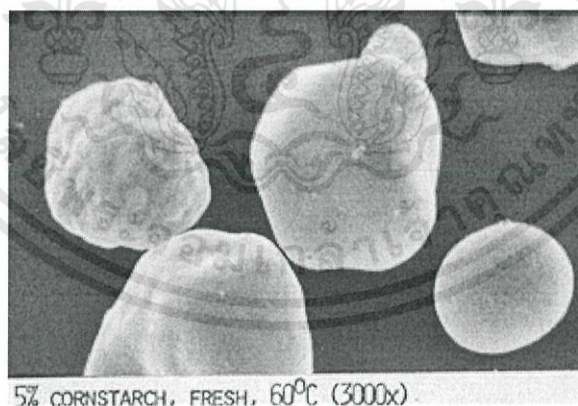
แป้งในสถานะที่เป็นกรดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่าย ได้สารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เรียกว่า เด็กซ์ตริน (Dextrin) เมื่อถูกไฮโดรไลซ์ต่อไปได้มอลโทสและกลูโคสตามลำดับ แป้งที่อยู่ในร่างกาย จะถูกย่อยโดยเอนไซม์อะไมเลสและมอลเทส

แป้งไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ แต่ถ้าไฮโดรไลซ์แป้งด้วยการต้มกับ สารละลายกรด แป้งจะถูกไฮโดรไลซ์ได้กลูโคส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ ได้ ตะกอนสีแดงอิฐของ  $\text{Cu}_2\text{O}$

## 2.2.1 สมบัติของแป้ง

### 2.2.1.1 การเกิดเจลาตินไนซ์ (Gelatinization) [10]

ปกติ แป้งนั้นจะมีปริมาณความชื้น 12-14% แป้งจะรับน้ำได้สูงสุด 30% ถ้าได้รับ น้ำมาก น้ำจะซึมผ่านเข้าไปในเม็ดแป้ง โดยที่ไม่รบกวนอนุภาคของแป้ง แป้ง จะยังคงสภาพอยู่ได้ โดยที่ไม่แตกออกที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียส หรือมีการกวนอย่างรุนแรงจนเม็ดแป้งแตกออก โมเลกุลของแป้งจะรวมเข้ากับตัวกลางที่ล้อมรอบ อยู่ ทำให้เกิดลักษณะเหลวข้นของแป้ง (Starch paste) (ตารางที่ 2.2)



รูปที่ 2.10 การเกิดเจลาตินไนซ์ [10]

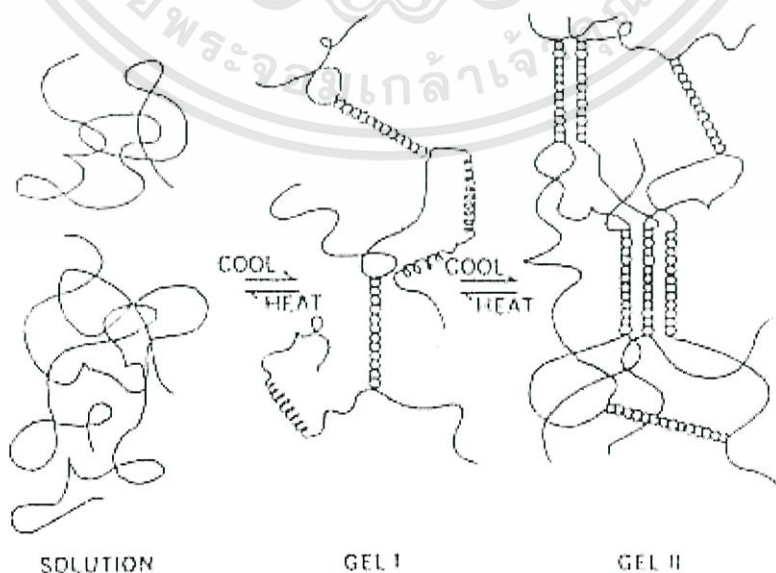
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิการเกิดเจลในตัวของแป้งชนิดต่างๆ [11]

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	อุณหภูมิการเกิดเจลในตัว (°C)
ข้าวสาลี	26	43-65
ข้าวบาเลย์	22	56-62
ข้าวโพด	28	62-70
ข้าวโอ๊ต	27	56-62
ข้าวเจ้า	18	61-78
ข้าวเหนียว	1	55-65
ข้าวฟ่าง	25	69-75
มันฝรั่ง	23	58-66

### 2.2.1.2 การเกิดเจล

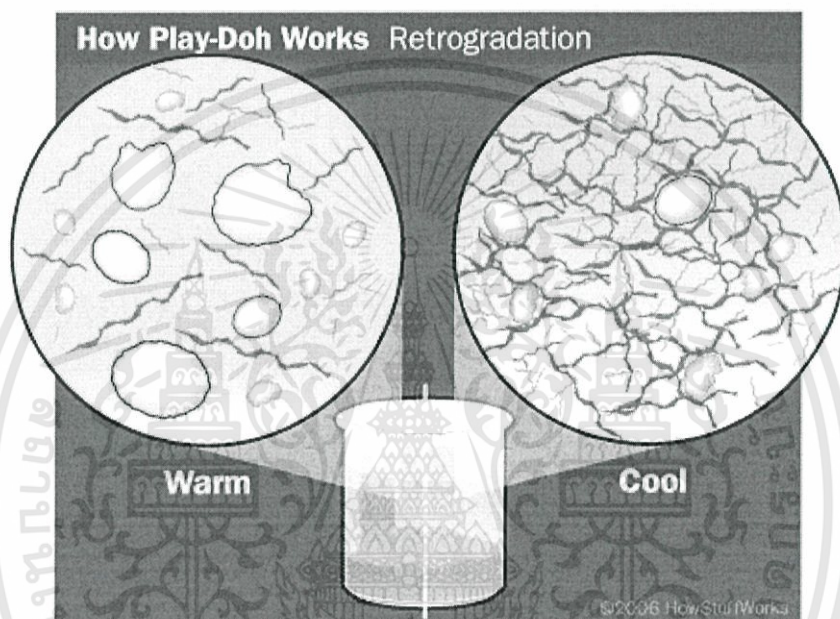
เมื่อส่วนผสมของแป้งซึ่งเป็นของเหลวข้นทิ้งไว้ โดยที่ไม่มีการรบกวน จะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของแป้ง และสร้างร่างแหสามมิติขึ้น โดยเฉพาะ โมเลกุลของอะไมโลส ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะมีแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจนกับ โมเลกุลของน้ำ ไกลโคเจน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรต และ โครงสร้างมีสาขามากจะไม่เกิดเจล ส่วน โมเลกุลของอะไมโลเพกตินจะเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลได้ยาก ยกเว้นเมื่อแป้งมีความชื้นเกินร้อยละ 30 จึงจะทำให้โมเลกุล ซึ่งมีสาขาของอะไมโลเพกตินนั้นรวมยึดเข้าด้วยกันได้แป้งทั่วไปจะมีอะไมโลสเป็นส่วนประกอบอยู่ จึงสามารถเกิดเจลได้ดี แม้จะมีอะไมโลสที่ความเข้มข้นต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.11 การเกิดเจล [11] ม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

สามารถเกิดได้ทั้งในเจลและสารแขวนลอย ซึ่งจะมีความข้นหนืดสูง เมื่อถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว จะเกิดเป็นผลึกเล็กๆ (จากการรวมกลุ่มของโมเลกุลแป้งที่แน่นมากขึ้น) และตกตะกอน ทำให้สมบัติของเจลเปลี่ยนไป ปัจจัยสำคัญของการเกิดปฏิกิริยานี้ คือ อุณหภูมิกับขนาดและรูปร่างโมเลกุลของแป้ง ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วสุดจะอยู่ที่ช่วง 0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.12 การเกิดรีโทรเกรเดชัน [11]

## 2.3 ก๋วย [12]

### 2.3.1 ประวัติของก๋วย

ก๋วยเป็นไม้ผลที่คนไทยรู้จักกันมานาน เนื่องจากก๋วยมีถิ่นกำเนิดในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในภูมิภาคดังกล่าว จากการศึกษาพบว่า ก๋วยมีวิวัฒนาการถึง 50 ล้านปีมาแล้ว ดังนั้นจึงเป็นไม้ผลที่มนุษย์รู้จักบริโภคเป็นอาหารกันอย่างแพร่หลาย เชื่อกันว่าก๋วยเป็นไม้ผลชนิดแรกที่มีการปลูกเลี้ยงไว้ตามบ้าน และได้แพร่พันธุ์จากเอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปยังดินแดนอื่นๆ ในระยะเวลาต่อมา

ก๋วยมีการปลูกกันมากในเอเชียใต้ แม้ในปัจจุบัน ประเทศอินเดียเป็นประเทศที่มีการปลูกก๋วยมากที่สุดในโลก และมีพันธุ์ก๋วยมากมายอีกด้วย เหมาะสมกับที่มีการกล่าวกันไว้ในหนังสือของชาวอาหรับว่า “ก๋วยเป็นผลไม้ของชาวอินเดีย” ต่อมาได้มีหมอของจักรพรรดิโรมันแห่งกรุงโรมชื่อว่า แอนโตนิอุส มูซา (Antonius Musa) ได้นำหน่อก๋วยจากอินเดียไปปลูกทางตอนเหนือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอียิปต์ เมื่อประมาณ 2,000 ปีมาแล้ว หลังจากนั้นมีการแพร่ขยายพันธุ์กล้วยไปในดินแดนของแอฟริกาที่ชาวอาหรับเข้าไปค้าขายและพำนักอาศัย จนกระทั่งเมื่อประมาณ ค.ศ. 965 ได้มีการกล่าวถึงกล้วยว่า ใช้ในการประกอบอาหารชนิดหนึ่งของชาวอาหรับ ซึ่งอร่อยและเป็นທີ່เลื่องลือมาก ชื่อว่า กาลาอิฟ (Kalaiif) เป็นอาหารที่ปรุงด้วยกล้วย เมล็ดอัลมอนต์ น้ำมัน ผสมกับน้ำมันนัต (Nut oil) ซึ่งสกัดจากผลไม้เปลือกแข็งชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ใช้ประกอบอาหารแล้ว ชาวอาหรับยังใช้กล้วยทำยาอีกด้วย ชาวอาหรับเรียกกล้วยว่า “มูซา” ตามชื่อของหมอที่เป็นผู้นำกล้วยเข้ามาในอียิปต์เป็นครั้งแรก

ในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 15 ชาวโปรตุเกสได้เดินเรือไปค้าขายบริเวณชายฝั่งตะวันตกของทวีปแอฟริกาและได้นำกล้วยไปแพร่พันธุ์ที่หมู่เกาะคะเนรี ซึ่งตั้งอยู่นอกชายฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของทวีป หลังจากนั้นชาวสเปนจึงได้นำกล้วยจากหมู่เกาะคะเนรีเข้าไปปลูกในหมู่เกาะอินดีสตะวันตกของอเมริกากลาง โดยเริ่มปลูกที่อาณานิคมชั้น โตโดมิง โก บนเกาะฮิสปัน โยลาเป็นแห่งแรก แล้วขยายไปปลูกที่เกาะอื่นในเวลาต่อมา ส่งผลให้ดินแดนในอเมริกากลางมีการปลูกกล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจกันอย่างแพร่หลาย และนับตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา ได้กลายเป็นแหล่งปลูกกล้วยส่งเป็นสินค้าออกมากที่สุดของโลก โดยปลูกมากในประเทศคอ스타ริกา และประเทศฮอนดูรัส

### 2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กล้วยมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ ดังนี้

- ลำต้น กล้วยมีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า หัว หรือเหง้า (Rhizome) ที่หัวมีตา (Bud) ซึ่งจะเจริญเป็นต้นเกิดหน่อ (Sucker) หลายหน่อ เรียกว่า การแตกกอ หน่อที่เกิด หรือต้นที่เห็นอยู่เหนือดิน ความจริงแล้วมิใช่ลำต้น เราเรียกว่า ลำต้นเทียม (Pseudostem) ส่วนนี้เกิดจากการอัดกันแน่นของกาบใบที่เกิดจากจุดเจริญของลำต้นใต้ดิน กาบใบจะชูก้านใบ และใบ และที่จุดเจริญนี้จะมีการเจริญเป็นดอกตามขั้วมหาหลังจากสิ้นสุดการเจริญของใบ ใบสุดท้ายก่อนการเกิดดอก เรียกว่า ใบธง

- ดอก ดอกของกล้วยออกเป็นช่อ (Inflorescence) ในช่อดอกยังมีกลุ่มของช่อ ดอกย่อยเป็นกลุ่มๆ ระหว่างกลุ่มของช่อดอกย่อยแต่ละช่อจะมีกลีบประดับ หรือที่เราเรียกกันว่า กาบปลี (Bract) มีสีม่วงแดงกันไว้ กลุ่มดอกเพศเมียอยู่ที่โคน และกลุ่มดอกเพศผู้อยู่ที่ปลาย เป็นส่วนที่เราเรียกว่า หัวปลี (Male bud) ระหว่างกลุ่มดอกเพศเมียและดอกเพศผู้มีดอกกะเทย แต่บางพันธุ์ก็ไม่มี ในช่อดอกย่อยแต่ละช่อมีดอกเรียงซ้อนกันอยู่ 2 แถว ถ้าเป็นดอกเพศเมีย ดอกเหล่านี้จะเจริญต่อไปเป็นผล

- ผล ผลกล้วยเกิดจากดอกเพศเมีย ซึ่งอยู่ที่โคน กลุ่มของดอกเพศเมีย 1 กลุ่ม เจริญเป็นผล เรียกว่า 1 หวี ซ่อดอกเจริญเป็น 1 เครือ ดังนั้นกล้วย 1 เครืออาจมี 2-3 หวี หรือมากกว่า 10 หวี ทั้งนี้แล้วแต่พันธุ์กล้วย และการดูแลผลของกล้วยมีการเจริญได้โดยไม่ต้องผสมพันธุ์ จึงทำให้กล้วยส่วนใหญ่ไม่มีเมล็ด

- เมล็ด เมล็ดกล้วยมีลักษณะกลมเล็ก บางพันธุ์มีขนาดใหญ่ เปลือกหนา แข็ง มีสีดำ
- ราก เป็นระบบรากฝอย แผ่ไปทางด้านกว้างมากกว่าทางแนวตั้งลึก
- ใบ ใบกล้วยมีลักษณะเป็นแผ่นใบใหญ่ มีความกว้างประมาณ 70-90 เซนติเมตร ความยาว 1.7-2.5 เมตร ปลายใบมน รูปใบขอบขนาน โคนใบมน และแผ่นใบมีสีเขียว

### 2.3.3 ประโยชน์ของกล้วย [13]

#### 2.3.3.1 การใช้ประโยชน์ในการบริโภค

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหุ้มเช่นเดียวกับผลไม้อื่นๆ แต่วิธีการปอกเปลือกกล้วยนั้นไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือ เพียงใช้มือเด็ดปลายหรือจุก ก็สามารถปอกเปลือกได้ด้วยมือและรับประทานได้ทันที จึงเป็นผลไม้ที่รับประทานง่าย ดังคำโบราณว่า “ง่ายเหมือนปอกกล้วยเข้าปาก” นอกจากปอกเปลือกง่ายแล้ว กล้วยสุกเมื่อรับประทานแล้ว จะลื่นลงกระเพาะได้ง่าย และย่อยง่าย ด้วยเหตุที่กล้วยลื่นลงกระเพาะได้ง่าย ทำให้บางคนไม่ค่อยเคี้ยวกล้วยซึ่งเป็นวิธีการที่ผิด การรับประทานกล้วยจำเป็นต้องเคี้ยวให้ละเอียด เพราะกล้วยมีแป้งร้อยละ 20 - 25 ของเนื้อกล้วย ถ้าเคี้ยวไม่ละเอียด น้ำย่อยในกระเพาะต้องทำงานหนัก หากย่อยไม่ทันกล้วยจะอืดในกระเพาะ อย่างไรก็ตามกระเพาะของคนใช้เวลาในการย่อยกล้วยสั้นกว่าการย่อยส้ม กล้วยปดนิ่ม หรือแอปเปิ้ล ดังนั้นคนไทยจึงนิยมใช้กล้วยที่ชูดเอาแต่เนื้อ ไม่เอาไส้ บดละเอียดให้ทารกรับประทาน นอกจากทารกแล้ว คนชรารับประทานกล้วยได้ดีเช่นกัน ในกรณีคนหนุ่มสาว กล้วยเหมาะสำหรับคนที่ต้องการลดความอ้วน เนื่องจากกล้วยมีคุณค่าทางอาหารสูงพอ ๆ กับมันฝรั่ง แต่มีปริมาณไขมัน คอเลสเตอรอล และเกลือแร่ต่ำ กล้วยมีโซเดียมเพียงเล็กน้อยแต่มีโพแทสเซียมสูง การมีโพแทสเซียมสูงนี้จะช่วยลดความดันโลหิตลงได้ ในประเทศอินเดียมีความเชื่อว่า หากรับประทานกล้วย 2 ผลต่อวัน จะสามารถลดความดันโลหิตได้ถึงร้อยละ 10 ภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์

กล้วยยังเป็นผลไม้ที่เหมาะสำหรับผู้ที่เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร และท้องเสียบ่อย เพราะสามารถช่วยลดแก๊สในกระเพาะอาหารได้ กล้วยเมื่อยังดิบจะมีแป้งมาก แต่เมื่อสุกแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ดังนั้นหากท้องเดิน การกินกล้วยดิบจะช่วยทำให้อาการท้องเดินหยุดได้ และเมื่อเป็นโรคกระเพาะ ให้กินกล้วยที่สุกแล้ว สำหรับกล้วยที่ทำให้สุกด้วยความร้อน วิตามินจะลดลง

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางอาหารของผลกล้วยสุก หนัก 100 กรัม [13]

องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบ	
น้ำ	75.7	กรัม
พลังงาน	85	แคลอรี
โปรตีน	1.1	กรัม
ไขมัน	0.2	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	22.2	กรัม
เถ้า	0.8	กรัม
แคลเซียม	8.0	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.7	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	370	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	33	มิลลิกรัม
วิตามินเอ	190	IU
ไทอะมีน (Thiamine)	0.05	มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน (Riboflavin)	0.06	มิลลิกรัม
ไนอะซิน (Niacin)	0.7	มิลลิกรัม
วิตามินซี	1.0	มิลลิกรัม

#### 2.3.3.2 การใช้ประโยชน์ในพิธีกรรมต่างๆ และในชีวิตประจำวัน

ในพิธีทางศาสนา เช่น การเทศน์มหาชาติ และการทอดกฐิน มักใช้ต้นกล้วยประดับ  
ธรรมาสน์ และองค์กฐิน

ในพิธีตั้งขันข้าว หรือคำบูชาครูหมอดำเยา สำหรับผู้หญิงที่ตั้งครรภ์ และไปขอให้หมอดำเยาทำคลอดให้ จะต้องใช้กล้วย 1 หวี พร้อมทั้งข้าวสาร หมากพลู รูปเทียนสำหรับการทำพิธีบูชา  
ครูก่อนคลอด และเมื่อคลอดแล้วจะต้องอยู่ไฟ ก็ยังใช้ต้นกล้วยทำเป็นท่อนล้อมเตาไฟ ป้องกัน  
การลามของไฟ

ในพิธีทำขวัญเด็ก เมื่อเด็กอายุได้ 1 เดือน กับ 1 วัน มีการทำขวัญเด็กและโกนผมไฟ จะมี  
กล้วย 1 หวี เป็นส่วนประกอบในพิธีด้วย

ในพิธีแต่งงาน มักมีต้นกล้วยและต้นอ้อยในขบวนขันหมาก พร้อมทั้งมีขนมกล้วย และ  
กล้วยทั้งหวี เป็นการเซ่นไหว้เทวดาและบรรพบุรุษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปลูกบ้าน เมื่อมีพิธีทำขวัญยกเสาเอก จะใช้หมอกกล้วยผูกมัดไว้ที่ปลายเสาพร้อมกับต้นอ้อย และเมื่อเสร็จพิธีก็จะมีการลาต้นกล้วยและต้นอ้อยนั้น นำมาปลูกไว้ในบริเวณบ้าน จากนั้นประมาณ 1 ปี หรือเมื่อปลูกบ้านเสร็จแล้วพร้อมอยู่อาศัย ก็มีกล้วยไว้กินพอดี

ในงานศพ ในสมัยโบราณ มีการนำใบตองมารองศพ ก่อนนำศพวางลงในโลงนอกจากนี้ ใบตองยังมีบทบาทสำคัญมากในพิธีกรรมต่างๆ โดยการนำมาทำกระทงใส่ของ ใส่ดอกไม้ และประดิษฐ์เป็นกระทงบายศรี

ในชีวิตประจำวัน ใช้ใบตองในการห่อผักสดและอาหาร เนื่องจากใบตองสดมีความชื้น ดังนั้นเมื่อใช้ห่อผักสดหรืออาหาร ความชื้นจะช่วยรักษาผักหรืออาหารให้สดอยู่เสมอ นอกจากนี้ใบตองยังทนทานต่อความเย็นและความร้อน ดังนั้นเมื่อนำใบตองห่ออาหารแล้วเอาไปปิ้ง นึ่ง ต้ม ใบตองก็จะไม่สลายหรือละลายเหมือนเช่นพลาสติก จึงมีอาหารหลายอย่างที่ห่อใบตองแล้วนำไปนึ่ง เช่น ห่อหมก ข้าวต้มมัด ขนมกล้วย ขนมตาล ขนมใส่ไส้ หรือเอาไปปิ้ง เช่น ข้าวเหนียวปิ้ง หรือนำไปต้ม เช่น ข้าวต้มจิ้ม อาหารเหล่านี้เมื่อนำไปต้ม ปิ้ง หรือนึ่งแล้ว ยังทำให้เกิดความหอมของใบตองอีกด้วย สำหรับใบตองแห้งนำมาใช้ทำกระทงเพื่อใส่อาหาร ห่อกะละแม่มวนบุหรี โดยใบตองแห้งก็จะมีกลิ่นหอมเช่นกัน ทีมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้มีการทดลองนำเอาใบตองแห้งมาอัดกันแน่นหลายๆ ชั้น ทำเป็นภาชนะใส่ของแทนการใช้โฟมได้อีกด้วย

ใบตองแห้งยังนำไปใช้ในงานศิลปกรรมไทยได้อีกหลายอย่าง เช่น นำไปทำรักสมุก ในงานของช่างเขียน ช่างปั้น ช่างแกะ และช่างหุ่น เพราะรักสมุกใบตองแห้ง ช่วยในการเคลือบและปกป้องเนื้อไม้ ชัดแตงง่าย เมื่อแห้งผิวเป็นมัน น้ำหนักเบา เหมาะในการทำหัวโขน และการลงรักปิดทอง

ในสมัยโบราณ เมื่อยังใช้เตารีดที่เป็นเตาด่าน หากเตารีดร้อนมากไปก็เอามารีดบนใบตองสดก่อนนำไปรีดบนผ้า เพราะใบตองมีสารจำพวกขี้ผึ้งหุ้มอยู่ ขี้ผึ้งจะช่วยเคลือบเตารีด ทำให้รีดผ้าไม่ติด

กาบกล้วย ใช้ในศิลปะการแทงหยวกไว้ที่เชิงตะกอนเวลาเผาศพ ส่วนใหญ่ใช้กาบกล้วยตานี เพราะกาบกล้วยตานี ขาวสะอาด ทำให้หยวกที่แทงมีลวดลายสวยงาม งานแทงหยวกเป็นงานที่ต้องทำหลายคนแล้วเอามาประกอบกัน โดยช่างผู้ทำต้องสลักเป็นลายไทยต่างๆ เช่น กระจังตาอ้อย กระจงหนกเปลว คริบสิงห์ แข็งสิงห์ รกร้อย และเรือเถา นอกจากนี้กาบกล้วยยังนำมาฉีกเป็นเส้นใหญ่ๆ ใช้มัดผักเป็นกำๆ เช่น ชะอม ตำลึง เพื่อให้ความชื้นกับผัก เพราะกาบกล้วยมีน้ำอยู่มาก ถ้าฉีกเป็นเส้นเล็กๆ ก็ใช้มัดของแทนเชือกได้ กาบกล้วยเมื่อแห้งอาจนำมาทำเป็นเชือกกล้วย สำหรับผูกของและสานทำเป็นภาชนะรองของ หรือสานเป็นกระเป๋าสุภาพสตรี นอกจากนี้ใยของกาบกล้วยยังนำมาใช้ทอผ้าได้ด้วยเช่นกัน

ต้นกล้วย ที่หั่นเป็นท่อนๆ อาจใช้เป็นท่อนลอยน้ำให้เตี๊ยะๆ ใช้หัดว่ายน้ำ หรือนำมาทำเป็นแพสำหรับตั้งสิ่งของให้ลอยอยู่ในน้ำ

ก้านกล้วย เมื่อเอาแผ่นใบออกแกนกลางหรือเส้นกลางใบ อาจนำมาใช้มัดของ หรือนำมาทำของเล่นเด็กๆ ได้ เช่น ทำเป็นม้าก้านกล้วย และปิ่นก้านกล้วย ซึ่งเป็นของเล่นของเด็กไทยในสมัยก่อน

#### 2.3.4 แป้งกล้วย [12]

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผลกล้วยดิบ เพราะในกล้วยดิบจะมีปริมาณแป้งมาก แป้งกล้วยมีการทำและขายในตลาดท้องถิ่นมาก่อน และเริ่มทำเป็นอุตสาหกรรมเมื่อปี ค.ศ. 1982 ในประเทศเอกวาดอร์ด้วยกล้วยหอมกลุ่มคาวอนนิชและมีการผลิตแป้งกล้วยกันเพิ่มมากขึ้นเป็นอุตสาหกรรม ในประเทศเอกวาดอร์มีการผลิตประมาณปีละ 850 ตันและประเทศคอสตาริกามีการผลิตปีละประมาณ 2,700 ตัน เพื่อใช้เป็นอาหารของเด็กทารกและคนชรา ปัจจุบันการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นแป้งกล้วยนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจมีผู้นิยมทำกันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะมีประชากรโลกจำนวนมากนิยมบริโภคแทนข้าว และล้วนเป็นประเทศที่มีปัญหาในด้านการผลิตซึ่งมีปริมาณการนำเข้าสูงมากเพื่อความมั่นคงทางอาหารของประเทศ

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งกล้วยที่ได้จากตูบแห้ง [12]

องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบ
ความชื้น	9.19
Reducing sugar	1.03
Non reducing sugar	3.72
แป้ง	66.0-78.0
อะไมโลส	21% ของแป้ง
อะไมโลเพกติน	79% ของแป้ง
Crude fiber	0.93
โปรตีน	3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.3.4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย

จากการศึกษาสมบัติของสตาร์ชจากกล้วย [14] พบว่าแป้งจากกล้วยดิบประกอบด้วยสตาร์ช 78.0 เปอร์เซ็นต์ และแป้งจากกล้วยสุกประกอบด้วยสตาร์ช 16.1 เปอร์เซ็นต์และเมื่อส่องดูด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope พบว่าสตาร์ชจะอยู่ในลักษณะที่เป็นเม็ด (Starch granule) มีรูปร่างทรงกลม (Spheroid) และแท่งยาว (Elongated) โดยรูปร่างทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-40 ไมโครเมตร มีความกว้าง 5-25 ไมโครเมตร และยาว 20-50 ไมโครเมตร (รูปที่ 2.15) พื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบมีลักษณะเรียบ ในขณะที่เม็ดสตาร์ชจากกล้วยสุกมีลักษณะเป็นริ้วๆ ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ในระหว่างการสุกของกล้วย (รูปที่ 2.16) ส่วนสมบัติด้านความหนืดของเม็ดสตาร์ชเมื่อตรวจสอบโดย Brabender viscoamylograph พบว่า การตรวจสอบของผสมสตาร์ชกับน้ำที่ความเข้มข้นต่ำไม่พบการเกิด Peak viscosity และมีความหนืดเกิดขึ้นเล็กน้อยในระหว่างให้ความร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวน้อย จึงมีความแข็งแรงมากพอที่จะต้านทานต่อการกวนได้ แต่เมื่อตรวจสอบของผสมสตาร์ชกับน้ำที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ กราฟความหนืดที่ได้ใกล้เคียงกับสตาร์ชจากธัญพืช โดยหลังจากเกิด Peak viscosity แล้วเมื่อให้ความร้อนและเวลาต่อไป ความหนืดจะลดลง หลังจากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิลงความหนืดจะสูงขึ้น และพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาคติไนซ์ (Gelatinization temperature) อยู่ในช่วง 67-70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าสตาร์ชจากกล้วยมีรูปแบบการพองตัว (Swelling pattern) เป็น 2 ชั้น (Two-stage swelling pattern)



รูปที่ 2.13 รูปร่างและขนาดเม็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบ [14]



รูปที่ 2.14 ลักษณะเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสุก [14]

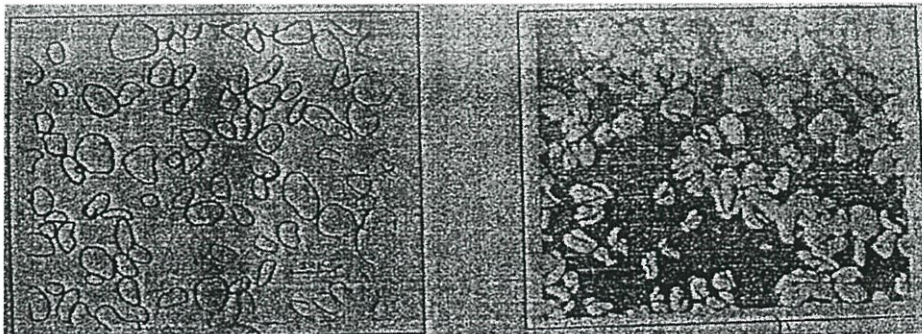
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป็งกล้วยมีระยะการสุกที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ลักษณะของกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ [15]

ระยะการสุก	ลักษณะกล้วย
0	เปลือกเขียว ผลแข็ง
1	เปลือกเขียว ผลแข็ง ยังไม่มีการสุก
2	เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองนิดๆ
3	เปลี่ยนจากเขียวออกเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง
4	เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
5	เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ที่ปลายยังเป็นสีเขียว
6	ทั้งผลเป็นสีเหลือง (ผลสุก)
7	ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกที่มีกลิ่นหอม)
8	ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกเกินไป เนื้ออ่อนตัว และมีกลิ่นแรง)

พบว่าเมล็ดstarfishเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงธรรมดา (Normal light) (รูปที่ 2.15) มีรูปร่างวงรี (Oval) และรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular) และเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์และแสงโพลาไรซ์ (Polarized light) พบการเกิดลักษณะไบรีฟริงเจน (Birefringence) (รูปที่ 2.15) เมล็ดstarfish มีขนาดอยู่ระหว่าง 6-80 ไมโครเมตร แต่ที่พบมากที่สุดอยู่ระหว่าง 20-60 ไมโครเมตร และเมื่อกล้วยมีระยะการสุกมากขึ้น พบเมล็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น โดยจะไม่พบเมล็ดแป้งที่มีขนาดเล็กกว่า 15 ไมโครเมตร เมล็ดกล้วยมีระยะการสุกมากกว่าระยะที่ 1 และจะไม่พบเมล็ดstarfishที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร เมล็ดกล้วยมีระยะการสุกมากกว่าระยะที่ 4 (ตารางที่ 2.5)



รูปที่ 2.15 ลักษณะรูปร่างของเมล็ดstarfishจากกล้วย [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตรวจสอบสมบัติการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกล้วยที่มีระยะการสุก 0 ถึง 3 ตรวจสอบที่อุณหภูมิ 65-95 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 2.5 พบว่าสตาร์ชจากกล้วยมีกำลังการพองตัวน้อยมาก (Fairly restricted swelling power) แต่สูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืช ส่วนความสามารถในการละลายน้ำก็เช่นเดียวกัน นอกจากนี้สมบัติทางด้านความหนืดของผสมสตาร์ชจากกล้วยกับน้ำที่เข้มข้น 5,7,8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตรวจสอบด้วย Brabender viscoamylograph ที่อุณหภูมิ 35,35,35 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที พบว่าของผสมสตาร์ชที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบ Peak viscosity เนื่องจากสตาร์ชมีการพองตัวน้อย จึงมีความหนืดเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่การตรวจสอบของผสมสตาร์ชที่มีความเข้มข้น 7 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบ Peak viscosity ในระหว่างให้ความร้อน และเมื่ออุณหภูมิลดลงจะเกิดการ Set back ขึ้น และเมื่อตรวจสอบสตาร์ชจากกล้วยที่มีระยะการสุกต่างกัน มี Gelatinization temperature ใกล้เคียงกัน โดยมี Gelatinization temperature อยู่ในช่วง 74-83 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายในสตาร์ชมีการจัดเรียงตัวกันอย่างแข็งแรง จึงทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวในระหว่างการให้ความร้อนน้อย (Fairly restricted-swelling) ดังนั้นต้องให้ความร้อนสูงเพื่อทำลายพันธะภายในเม็ดสตาร์ชจึงสามารถดูดน้ำและพองตัวได้

สุคาทิพย์ อินทร์ชื่น [16] ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย ได้ผลสรุปว่า

1. กล้วยน้ำว้าที่มีความแก่ 70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บเกี่ยว 15 16 17 และ 18 สัปดาห์หลังจากแทงปลี มีความยาวของเส้นรอบวง และอัตราส่วนเปลือกต่อเนื้อ แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยกล้วยน้ำว้าที่มีความแก่เพิ่มขึ้น ความยาวเส้นรอบวงมากขึ้น แต่อัตราส่วนเปลือกต่อเนื้อลดลง

2. ในการคัดแยกกล้วยน้ำว้าที่มีระยะความแก่ต่างกันสามารถใช้วิธีการวัดความยาวเส้นรอบวงร่วมกับการพิจารณาเหลี่ยมของผล และจำนวนวันหลังจากแทงปลีจนกระทั่งเก็บเกี่ยวเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแป้งกล้วยได้

3. ผลของวิธีการทำให้แป้งในกระบวนการผลิตแป้งกล้วยโดยการใช้ตู้อบ และการตากแดด ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแป้งกล้วยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แป้งกล้วยที่ทำให้แห้งโดยการตากแดดจะมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่าแป้งกล้วยที่ทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบแห้ง

4. แป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยที่มีความแก่ต่างกัน มีปริมาณโปรตีน เส้นใยคาร์โบไฮเดรต อะไมโลส และน้ำตาลทั้งหมด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยที่มีความแก่มากขึ้น ปริมาณ โปรตีน และเถ้า และน้ำตาลทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณ

เชื้อใยคาร์โบไฮเดรตจะลดลง แป้งกล้วยจะมีปริมาณน้ำตาลและอะไมโลสมากที่สุด เมื่อกกล้วยมีความแก่ 90% โดยประกอบด้วยสตาร์ชและอะไมโลส 66% และ 23% ตามลำดับ

5. แป้งกล้วยมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล จากการศึกษาของวิธีการทำให้แห้งในกระบวนการผลิตแป้งโดยการใช้ตู้อบและการตากแดด พบว่าค่า L (ค่าความสว่าง) ค่า a (ค่าสีแดง) และค่า b (ค่าสีเหลือง) ของแป้งกล้วยไม่มีการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาระยะความแก่ของกล้วยต่อค่าสีของแป้งกล้วยที่ผลิตได้ พบว่าค่า L (ค่าความสว่าง) ค่า a (ค่าสีแดง) และค่า b (ค่าสีเหลือง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยค่า L (ค่าความสว่าง) ลดลงเมื่อกกล้วยมีความแก่มากขึ้น ส่วนค่า b (ค่าสีเหลือง) เพิ่มขึ้นเมื่อกกล้วยมีความแก่มากขึ้น

6. เม็ดแป้งกล้วยมีรูปร่างทั้งที่เป็นวงรีและรูปร่างไม่แน่นอน มีขนาดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27-45 ไมโครเมตร วิธีการทำให้ในการผลิตแป้งกล้วยไม่มีผลต่อรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งและเมื่อพิจารณาระยะความแก่ของกล้วยที่มีต่อขนาดเม็ดแป้งพบว่ากล้วยที่มีความแก่ 70 80 90 และ 100% มีขนาดเม็ดแป้งโดยเฉลี่ยประมาณ 27 30 38 และ 45 ไมโครเมตรตามลำดับกล้วยที่มีความแก่มากขึ้นจะมีขนาดของเม็ดแป้งใหญ่ขึ้น

#### 2.3.4.2 การใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วย [17]

ญาณีสา รัตอาภาและคณะ [17] ได้ทำการประกอบอาหารจากแป้งกล้วยพบว่า เมื่อใช้แป้งกล้วยน้ำว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของแป้งทั้งหมดในขนมกล้วย และแป้งกล้วยหักมุกเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของแป้งทั้งหมดในขนมเหนียว ขนมถั่วแปบ และขนมต้มขำนี้ ผู้ชิมชอบและยอมรับแต่ข้าวตูและขนมกล้วยที่ใส่แป้งกล้วยน้ำว่านั้นผู้ชิมไม่ชอบ

วลัย หุตะโกวิท และคณะ [18] ได้นำแป้งกล้วยมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังเค้ก คุกกี้ โดนัท ขนมเปี๊ยะไหว้พระจันทร์ ในอัตราส่วน 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์พบว่าสามารถนำแป้งกล้วยมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เค้ก คุกกี้ โดนัท และขนมเปี๊ยะไหว้พระจันทร์ได้สูงสุดโดยผลิตภัณฑ์จากแป้งกล้วยยังมีลักษณะดีตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ และหากเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยมากกว่านี้พบว่าผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะร่วนซุยสีคล้ำ และนอกจากนี้ยังมีการทดลองเสริมแป้งกล้วยในผลิตภัณฑ์ขนมไทยบางชนิด เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและลดปริมาณการใช้แป้งอื่นๆ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยจากแป้งกล้วย พบว่าสามารถนำ

แปงกล้วยเสริมในผลิตภัณฑ์ขนมลูกชุบและเม็ดขนุนได้ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำผลิตภัณฑ์ที่ออฟฟี่แปงกล้วยและเสริมในขนมหม้อแกงถ้วยทองได้

## 2.4 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) [19]

พลาสติกไซเซอร์ช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) ซึ่งการไหลแบบพลาสติก หมายถึง การไหลของวัสดุที่ต้องอาศัยความเค้นหรือแรงน้อยที่สุดขนาดหนึ่งมากระทำต่อวัสดุนั้น ซึ่งความเค้นหรือแรงขนาดน้อยที่สุดที่ทำให้วัสดุเกิดการไหลนี้เรียกว่า Yield value

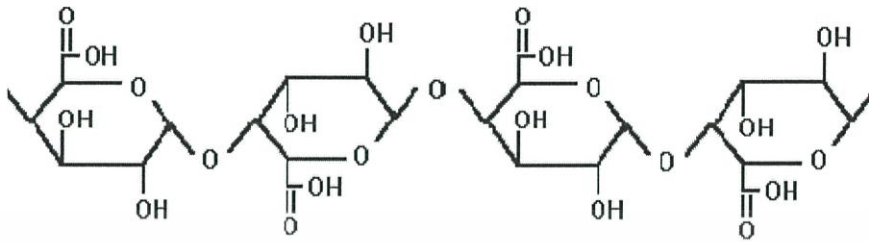
### 2.4.1 พลาสติกไซเซชันและพลาสติกไซเซอร์ (Plasticization and Plasticizer)

พลาสติกไซเซชัน หมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติก ซึ่งอาจทำได้โดยการให้ความร้อนหรือการใส่พลาสติกไซเซอร์โดยพลาสติกไซเซอร์จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้นเป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปได้ง่ายขึ้น ซึ่งกระบวนการผสมพลาสติกไซเซอร์เข้าไปในพอลิเมอร์โดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างพลาสติกไซเซอร์และพอลิเมอร์เรียกว่า “พลาสติกไซเซชันภายนอก” (External plasticization) และเรียกพลาสติกไซเซอร์ที่ผสมลงไปว่า “พลาสติกไซเซอร์ภายใน” (Internal plasticizer) ซึ่งพลาสติกไซเซอร์ ชนิดนี้จะช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติกโดยอำนาจการทำลาย

ข้อดีของพลาสติกไซเซชันภายนอก คือ สามารถทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวน้อยหรือมากตามความต้องการในการใช้งานได้โดยการปรับชนิด ปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ลงไป แต่มีจุดด้อย คือ พลาสติกไซเซอร์ที่ใช้อาจถูกสกัดออกจากพอลิเมอร์ได้

โดยทั่วไปแล้วพลาสติกไซเซอร์ภายนอกเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูง มีความดันไอต่ำ ระเหยยาก ละลายได้ในพอลิเมอร์ และมีอุณหภูมิ  $T_g$  ประมาณหรือใกล้เคียง  $-50^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ พลาสติกไซเซอร์แท้จริงหรือพลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ (True plasticizer or Primary plasticizer) และพลาสติกไซเซอร์เสริมหรือพลาสติกไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary plasticizer) โดยพลาสติกไซเซอร์แท้จริง สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิขึ้นรูปได้ดี สามารถใช้เดี่ยวๆ ได้และไม่แยกออกมาจากพอลิเมอร์ ในขณะที่พลาสติกไซเซอร์เสริมมีความสามารถในการเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้จำกัด จึงไม่สามารถใช้ตามลำพังได้ ต้องใช้ควบคู่กับพลาสติกไซเซอร์แท้จริงและช่วยเสริมประสิทธิภาพของพลาสติกไซเซอร์แท้จริง นอกจากนี้การใช้พลาสติกไซเซอร์เสริมยังช่วยลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงสมบัติอื่นๆของพอลิเมอร์ด้วย

## 2.5 เพกติน(Pectin) [20]



รูปที่ 2.16 โครงสร้างโมเลกุลของเพกติน [20]

เพกติน (Pectin) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) หรือพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural polymer) ที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางมาช้านาน โดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารก่อเจล ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ และสารเพิ่มความคงตัวของระบบคอลลอยด์ในเครื่องดื่มผลไม้และผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อคล้ายเยลลี่ ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา มีการนำเพกตินมาใช้ในทางเภสัชกรรมและอุตสาหกรรมยาเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเพกตินมีสมบัติเฉพาะที่ทำให้สามารถนำมาใช้เก็บกักหรือนำส่งยา โปรตีน และเปปไทด์ เป็นต้น และจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทไฟเบอร์หรือเส้นใยอาหารที่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบการย่อยของร่างกายมนุษย์ ซึ่งได้รับความสนใจจากนักโภชนาการมากขึ้น เพราะจากการวิจัยให้ผลออกมาว่าอาหารที่มีไฟเบอร์สูงจะช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ หรือในทางกลับกันคนที่กินอาหารที่มีเส้นใยน้อยจะมีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคต่างๆ ได้ง่ายขึ้น

เพกตินเป็น โพลีแซกคาไรด์ที่เป็น โครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงเกือบทุกชนิด จัดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส ค้นพบในศตวรรษที่ 18 ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล โดยในปี ค.ศ.1825 Henri Braconnot (เภสัชกรและนักพฤกษเคมีชาวฝรั่งเศส) ได้ตั้งชื่อและริเริ่มศึกษาระบบวิธีการสกัดเพกติน เพกตินมาจากภาษากรีกว่า “Pektikos” ซึ่งแปลว่าทำให้ข้นแข็ง (To congeal) หรือทำให้กลายเป็นของแข็ง (To solidify) Kertesz ได้ให้คำจำกัดความของเพกตินว่าเป็นกรดเพกติก (Pectinic acid) ชนิดละลายน้ำได้ซึ่งมีปริมาณหมู่เมทิลเอสเทอร์หลากหลาย สามารถเกิดเป็นเจลในสภาวะที่มีน้ำตาลและความเป็นกรดที่เหมาะสมหรือสภาวะที่มีเกลือเคลือบร่วมอยู่ด้วยสารประกอบเพกตินทำหน้าที่เป็น โครงสร้างของเซลล์และเป็นสารที่สำคัญในบริเวณชั้นผนังเชื่อมยึดระหว่างเซลล์หรือมิดเดิลลามลลา (Middle lamella) ที่ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน โดยจับกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช เพกตินช่วยเสริมผนังเซลล์ให้หนา แข็งแรง และยึดหยุ่นได้เล็กน้อย โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 การผลิต

แอปเปิ้ล , ฝรั่ง , ผลไม้ขนาดเล็ก , พลัม , Gooseberries , ส้ม , เชอร์รี่ , องุ่น , สตรอเบอร์รี่ , ส้มและอื่นๆ จะมีปริมาณเพกตินแตกต่างกันไป

ระดับทั่วไปของเพกตินในพืช (น้ำหนักสด) :

- แอปเปิ้ล , 1-1.5%
- Apricot , 1%
- เชอร์รี่ , 0.4%
- ส้ม 0.5-3.5%
- แครอท ประมาณ 1.4%
- ส้ม (เปลือก) 30%

### 2.5.2 สมบัติทางเคมี

สารกลุ่มเพกตินเป็น โพลีแซกคาไรด์เชิงซ้อนในพืช พบในพืชชั้นสูงโดยปรากฏในชั้นระหว่างเซลล์หรือจุดเชื่อมต่อระหว่างผนังเซลล์ ทำให้เกิดช่องสำหรับอาหารและน้ำ สารกลุ่มเพกตินเป็นสารเคลือบเส้นใยเซลลูโลสที่สำคัญและอาจจะเชื่อมต่อกับพันธะโควาเลนต์กับพอลิเมอร์อื่นๆ สารกลุ่มเพกตินจัดจำแนกได้เป็น โพรโตเพกติน เพกติน (เพกตินมีหมู่ Methoxyl สูง , เพกตินจัดตัวเร็วและเพกตินจัดตัวช้า , เพกตินมีหมู่ Methoxyl ต่ำ) และกรดเพกติก ซึ่งเพกตินมีอิทธิพลต่อการเจริญพัฒนาการและการแก่ชรา และมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อพืชและผลไม้ มีการใช้เพกตินอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารด้วยคุณสมบัติในการก่อรูปเป็นเจล โดยใช้เป็นสารก่อเจลและความคงตัวในแอมป์ เยลลี่ และผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว ผิวของผลพืชตระกูลส้ม กากผลแอปเปิ้ล และลำต้นของซูการ์บีต เป็นแหล่งที่ดีของเพกติน

เพกตินเป็นเฮเทอโรโพลีแซกคาไรด์ที่ซับซ้อน ประกอบด้วย Homogalacturonan, Rhamnagalacturonan I, และ Rhamnagalacturonan II เป็นโครงสร้างหลัก Homogalacturonan ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-Galacturonic acid หมู่คาร์บอกซิล หมู่เอสเทอร์ที่เติมเมทิลและหมู่ไฮดรอกซิล บางกลุ่มถูกเติมหมู่อะซีติลเชื่อมติดกับออกซิเจนตัวที่ 2 หรือ 3 ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของเพกติน Rhamnagalacturonan I ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-Galacturonic acid และ  $\alpha$ -L-Rhamnose ซึ่งจะรวมตัวซึ่งกันและกันในส่วนที่เป็นสายหลัก และบางส่วนของ Rhamnose มีการแตกกิ่งเป็นสายย่อยด้านข้าง ซึ่งมี Arabinose, Galactan, และ Arabinogalactan ที่ออกซิเจนตำแหน่งที่ 4 ของ Rhamnose Rhamnagalacturonan II มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมาก ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-Galacturonic acid ในส่วนสายหลัก และมีน้ำตาลแปลกๆ เช่น D-Apiose, 2-Keto-3-deoxy-D-manno-2-octulosonic acid (Rdo)

, 3-Deoxy-D-lyxo-2-heptulosaric acid (Dha) และอื่นๆ ซึ่งอยู่ในสายย่อยเชื่อมติดกับออกซิเจนตัวที่ 2 หรือ 3 ของ Galacturonic acid ที่สายหลัก

ตารางที่ 2.6 ปริมาณของเพกตินที่มีอยู่ในพืชผักผลไม้ [20]

ชนิดพืช	ปริมาณเพกติน	ชนิดพืช	ปริมาณเพกติน	ชนิดพืช	ปริมาณเพกติน	ชนิดพืช	ปริมาณเพกติน
ถั่วลิสง	5.98%	แครอท	2.00%	แอปเปิล	0.78%	องุ่น	0.19%
ส้มเขียว	3.90%	ฟักทอง	1.24%	สตอเบอรี่	0.75%	แตงโม	0.18%
ถั่วเหลือง	3.45%	กระเทียม	1.11%	ถั่วเขียว	0.70%	แตงกวา	0.16%
มะนาว	2.90%	กล้วย	0.94%	หัวหอม	0.35%	สับปะรด	0.09%
ส้ม	2.36%	มัน	0.83%	มะเขือเทศ	0.20%	พริกเขียว	0.09%

### 2.5.3 ประโยชน์ของเพกติน [21]

เพกตินนำมาใช้ประโยชน์ทั้งทางการแพทย์ อาหารและเครื่องสำอาง โดยเพกตินช่วยในการขัดขวางการดูดซึมของไขมันไม่ให้เข้าสู่กระแสเลือด ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคหลอดเลือดในสมองตีบ เพกตินจึงนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ช่วยลดคอเลสเตอรอล เนื่องจากเพกตินไม่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์หรือน้ำย่อยในลำไส้เล็ก จึงช่วยเพิ่มปริมาณกาก ทำให้ร่างกายขับถ่ายได้ดี ช่วยลดปัจจัยเสี่ยงการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่

สารละลายของเพกติน มีความหนืดสูง ดูดซับน้ำได้ดี ทำให้เกิดแผ่นฟิล์มที่ติดบนผิวหนังได้ดี นอกจากนี้เพกตินยังมีสมบัติเป็นมิวโคโพลิแซ็กคาไรด์ที่ให้ผิวหนังชุ่มชื้น และเร่งกระบวนการหายของแผลได้ โดยเพิ่มการไหลเวียนของเส้นเลือดในบริเวณที่ทา ส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของคอลลาเจน และเส้นใยอีลาสตินในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และเพิ่มความสามารถในการให้ความชุ่มชื้นต่อผิวหนัง โดยเพิ่มปริมาณของกรดไฮยาลูรอนิกและลดอาการบวมและอักเสบของผิวหนังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)) [22]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน เป็นผงสีขาวจนถึงครีม

### 2.6.1 การผลิต

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผลิตจากพอลิไวนิลแอซีเตต (Poly(vinyl acetate)) ในสถานะที่เป็นกรดหรือเบส มีหลายเกรดตามความหนืด ซึ่งขึ้นอยู่กับคีกรีของพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) และเปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์ซิส

### 2.6.2 สมบัติทางเคมี

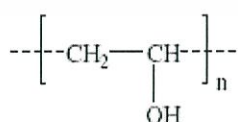
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง และความแข็งแรงการดึงยึด ความทนต่อการฉีกขาด และอ่อนงอดีขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น

### 2.6.3 ประโยชน์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ใช้ประโยชน์ในการแต่งเส้นใยและเส้นด้าย เป็นสารทำให้ขึ้น และสารช่วยถอดแบบของพลาสติกหล่อ เป็นกาวยาที่ใช้ในเครื่องสำอางค์ เซรามิก หนังสัตว์ ฝ้าย และกระดาษพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ และติดไฟได้คล้ายกระดาษการใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1) อาศัยคุณสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชัน และแขวนลอยต่างๆ ขึ้นขึ้น (ใช้เป็น Thickening agent) และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใสเหนียว และทนต่อการขีดข่วน

2) นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีให้ไม่สามารถละลายแล้วจึงนำมาใช้งาน ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำสามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.17 โครงสร้าง โมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [22]

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**พัชรินทร์ โคตรสุวรรณ และคณะ [1]** ศึกษาการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณต่างๆ และปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยใช้เส้นใยฝ้าย ฟิล์มจากแป้งกล้วยนี้ขึ้นรูปด้วยวิธีการเทหล่อ นำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ใส่กลีเซอรอล 20% และเส้นใยฝ้าย 15% มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด และทดสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อดูความเข้ากันได้ของแป้งกล้วยกับเส้นใยฝ้าย พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ใส่กลีเซอรอล 20% และเส้นใยฝ้าย 10% มีความเข้ากันได้มากที่สุด ทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ใส่กลีเซอรอล 10% และเส้นใยฝ้าย 0% มีการดูดซับน้ำมากที่สุดและฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ใส่กลีเซอรอล 40% และเส้นใยฝ้าย 10% มีการดูดซับน้ำน้อยที่สุด ทดสอบสมบัติการดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟราเรด (FT-IR) พบว่าหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณกลีเซอรอลและเส้นใยฝ้าย ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตำแหน่งเลขคลื่น และความเข้มของพีคเกิดขึ้น สมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เพื่อตรวจดูโครงสร้างผลึกของแป้งกล้วยและฟิล์มจากแป้งกล้วย พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบ A-type และ C-type ตามลำดับ และทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยใช้เวลาในการย่อยสลายตัวเร็วที่สุดและช้าที่สุด คือฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ใส่กลีเซอรอล 40% และเส้นใยฝ้าย 10%

**เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ [23]** ทดลองผลิตภัณฑ์ฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ในการทดลองใช้วัตถุดิบ คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลหรือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (Glycerol monostearate) ร้อยละ 0.2 5 และ 10 ทำการผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวหรือเครื่องเอ็กทрудเดอร์แบบสกรูคู่ เครื่องเอ็กทрудเดอร์แบบสกรูคู่สามารถผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มได้ดี ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติในการละลายน้ำสูง ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้ผิวแผ่นฟิล์มเรียบขึ้น แต่ทำให้คุณภาพด้านการทนต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรตในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น ลักษณะของแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอล คือ ไส ยืดหยุ่นดี ส่วนฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า ผสมกลีเซอรอล มีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ เพราะบางกว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง

**M. L. Fishman และคณะ [24]** ศึกษาการเตรียมฟิล์มที่รับประทานได้และย่อยสลายได้จากแป้งผสมเพคติน โดยขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด โดยมีกลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ในการทดลองผสมเพคตินและเม็ดแป้งที่มี อะไมโลสสูงและกลีเซอรอล ในปริมาณต่างๆ ทำขึ้นรูปโดยการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ นำฟิล์มที่ได้ทดสอบสมบัติเชิงกลทางความร้อน ด้วยเครื่อง

Dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าภาพจาก SEM บอกลถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำในระหว่างการอัดรีดซึ่งใช้ในการควบคุมการเกิดเจลาทีไนซ์ของแป้งได้ และข้อมูลจากเทคนิค DMTA พบว่าปริมาณความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการอัดรีดส่งผลถึงการเกิดเจลาทีไนซ์ของแป้งซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งผสมเพกติน โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) มีค่า -50 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิห้องฟิล์มสามารถดึงยืดได้ สรุปได้ว่า ฟิล์มที่ได้จากกระบวนการอัดรีดมีสมบัติเช่นเดียวกับฟิล์มที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเทหล่อ

**K. Waliszewska และคณะ [25]** ศึกษาการดัดแปลงแป้งกล้วยทางเคมีและทางกายภาพ ดัดแปลงแป้งกล้วย โดยวิธีการเจลาทีไนซ์ การเชื่อมโยงด้วยฟอสฟอริเลทและไฮดรอกซีพรีอพิเลท เพื่อให้แป้งกล้วยมีสมบัติที่ดีขึ้น แป้งกล้วยเตรียมได้ 33.8% จากน้ำหนักกล้วยแห้งที่บริสุทธิ์ 99% และอนุภาคเม็ดแป้งมีความกว้าง 14-88 ไมครอน ความยาว 21-108 ไมครอน แป้งกล้วยมีปริมาณอะไมโลส เท่ากับ 40.7% และแป้งกล้วยสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนได้ ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 563 นาโนเมตร พบว่า แป้งกล้วยที่เชื่อมโยงแบบไฮดรอกซีพรีอพิเลท มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ถึง 50% ซึ่งมากกว่าแป้งในธรรมชาติ พบว่าแป้งกล้วยมีลักษณะการบวมตัวอย่างมีขอบเขตและมีความสามารถในการละลายน้ำที่น้อย เมื่อทดสอบอนุภาคเม็ดแป้งด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่าโครงสร้างผลึกของแป้งเป็นแบบ C-type และแป้งกล้วยที่ถูกดัดแปลงด้วยฟอสฟอริเลทและไฮดรอกซีพรีอพิเลท พบว่ามีการลดลงของอุณหภูมิในการเกิดเจล

**A. Dimantov และคณะ [26]** ศึกษาลักษณะพื้นผิวและสมบัติในการละลายของสารเคลือบผิวที่เตรียมจากสารละลายผสมระหว่างข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูงและเพกตินเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ ตรวจสอบลักษณะแผ่นแก้วที่เคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) ทดสอบสมบัติในการละลายและทดสอบสมบัติการย่อยด้วยเอนไซม์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง พื้นผิวแผ่นแก้วที่เคลือบผิวด้วยสารละลายผสมระหว่างแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูงและเพกตินมีความขรุขระเพิ่มขึ้น สมบัติในการละลายของสารเคลือบผิวแป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูงและเพกติน มีค่าลดลงด้วยเมื่อทดสอบในท้อง (pH 1.6) และในลำไส้ของคน (pH= 7.0) ประสิทธิภาพของการต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ พบว่ามีค่ามากที่สุดเมื่อทดสอบในตับอ่อน และการเคลือบผิวด้วยแป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูงและเพกติน สามารถใช้ในการรักษาลำไส้ได้โดยการเคลือบผิว

**R. Shi และ คณะ [27]** ศึกษาถึงการยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ทำจากแป้งข้าวโพดที่มีน้ำอยู่ 12% โดยน้ำหนัก โดยการหลอมของผสมเข้ากับกกลีเซอรอลในปริมาณแตกต่างกันที่ 30% 40% 50% และ 60% โดยน้ำหนักภายใต้อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 5\%$  เก็บไว้ 3 เดือนแล้วทดสอบหรือทดสอบไปเรื่อยๆจนครบ 3 เดือน จากผลการทดสอบ XRD พบว่า เมื่อปริมาณกกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นช่วยให้โครงสร้างแบบเกลียวเดี่ยว (Single helix structure) เกิดได้มากขึ้นด้วย แต่จำกัดการเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ (Double helix structure) และผลการทดสอบทางความร้อน DMTA พบว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าเหนือสภาวะทรานซิชัน (Onset temperature of upper transition) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณกกลีเซอรอลไม่มากนัก และสมบัติเชิงกลเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เมื่อมีปริมาณกกลีเซอรอลมากกว่า 40% โดยน้ำหนัก ผลจากการวัด FTIR ยังสามารถแสดงถึงกราฟ Hydroxyl group stretching เคลื่อนที่ได้ช้าลง เมื่อปริมาณกกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นและยังพบว่าการแยกวัฏภาคมากขึ้นเรื่อยๆ ในเทอร์โมพลาสติกสตาโรล และพบว่ามีปริมาณน้ำมากขึ้นพร้อมกับปริมาณกกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเติมกกลีเซอรอลในปริมาณมากช่วยยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลได้

**R. Sothornvit และ N. Pitak [28]** ศึกษาการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่มีผลต่อฟิล์มแป้งกล้วย โดยใช้แป้ง 100 มิลลิลิตร แป้งกล้วยปริมาณต่างๆ กัน คือ 4% 6% และ 8% โดยน้ำหนัก กกลีเซอรอล 30% และ 50% โดยน้ำหนัก เพกติน 0% และ 1% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน 75 ถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 50 ถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยมีลักษณะแข็งและมีสีเหลืองจากแป้งกล้วยที่ส่วนผสมของเพกตินมีค่าความแข็งแรงสูงและฟิล์มแป้งกล้วยที่มีส่วนผสมของกกลีเซอรอล 50% ค่าเปอร์เซ็นต์การดัดยัดมีค่าสูงสุด และยังพบว่าเมื่อกกลีเซอรอลและเพกตินมีปริมาณมากขึ้นทำให้การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนในแป้งกล้วยลดลง นอกจากนี้วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารแห้งยังสามารถย่อยสลายได้โดยการฝังดิน

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

3.1.1 กล้วยดิบที่มีระยะสุกเท่ากับ 0-1

3.1.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly vinyl alcohol, PVA) จากบริษัท Lab system

ตารางที่ 3.1 สมบัติต่าง ๆ ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	ผลลัพธ์
Molecular weight	77,000 – 82,000 g/mol
pH	5 – 7
Viscosity	25 – 30 cPs

3.1.3 เพกติน (Pectin) จากบริษัท รวมเคมี

ตารางที่ 3.2 สมบัติต่าง ๆ ของเพกติน

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	ผลลัพธ์
Degree of Esterification	71%
pH	3.5
ขนาดอนุภาค	60 เมช

3.1.4 น้ำมันพีชตราโอลีน

3.1.5 น้ำกลั่น

3.1.6 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 บีกเกอร์

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 เครื่องปั่นยี่ห้อพานาโซนิค (Panasonic)

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 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing machine) : Lloyd Instrument รุ่น LR 5k

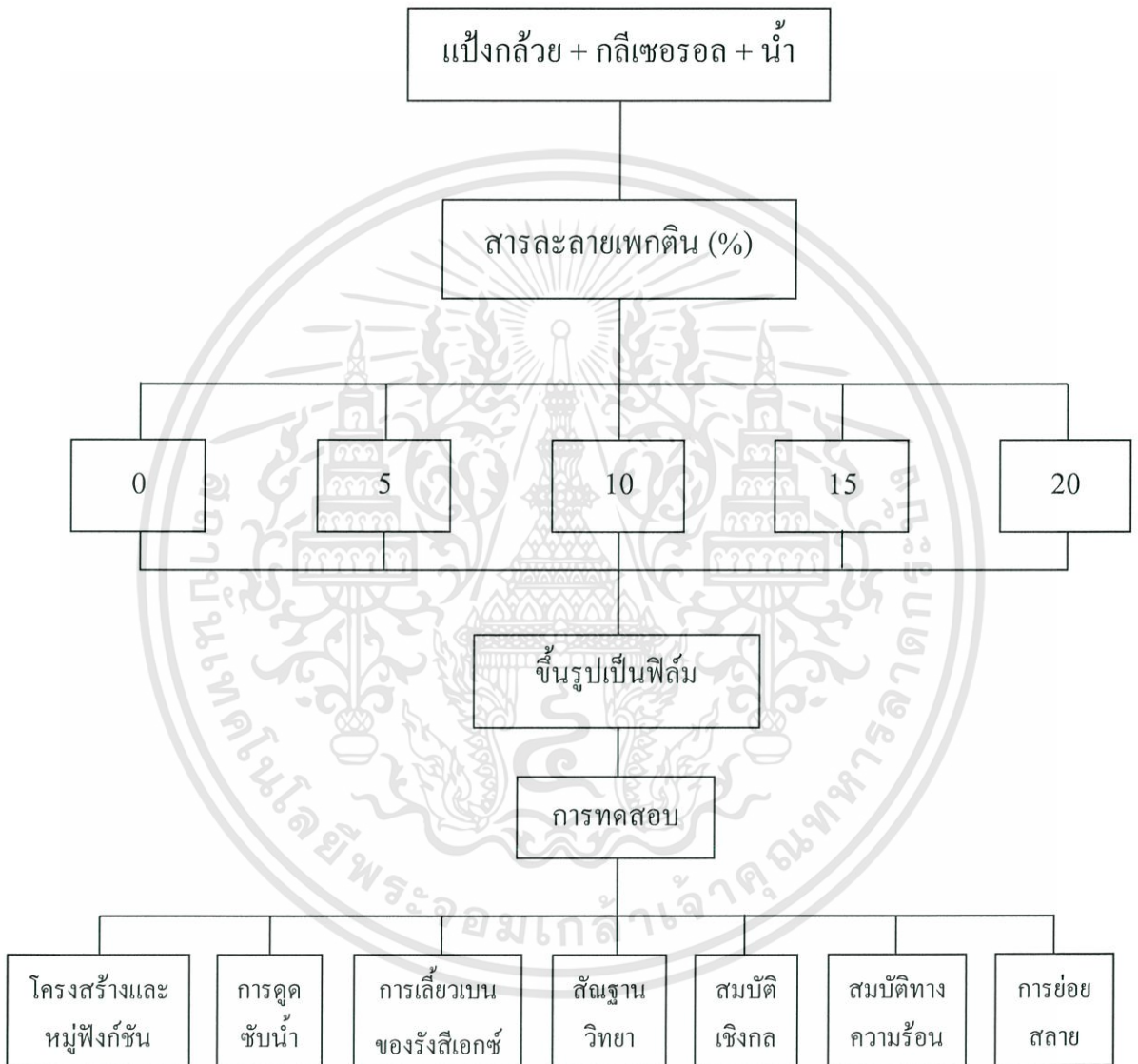
3.2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy:SEM) : LEO รุ่น 1450 VP

3.3.11 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) : XRD รุ่น D8 Advance

3.3.12 เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer) รุ่น SPECTRUM GX

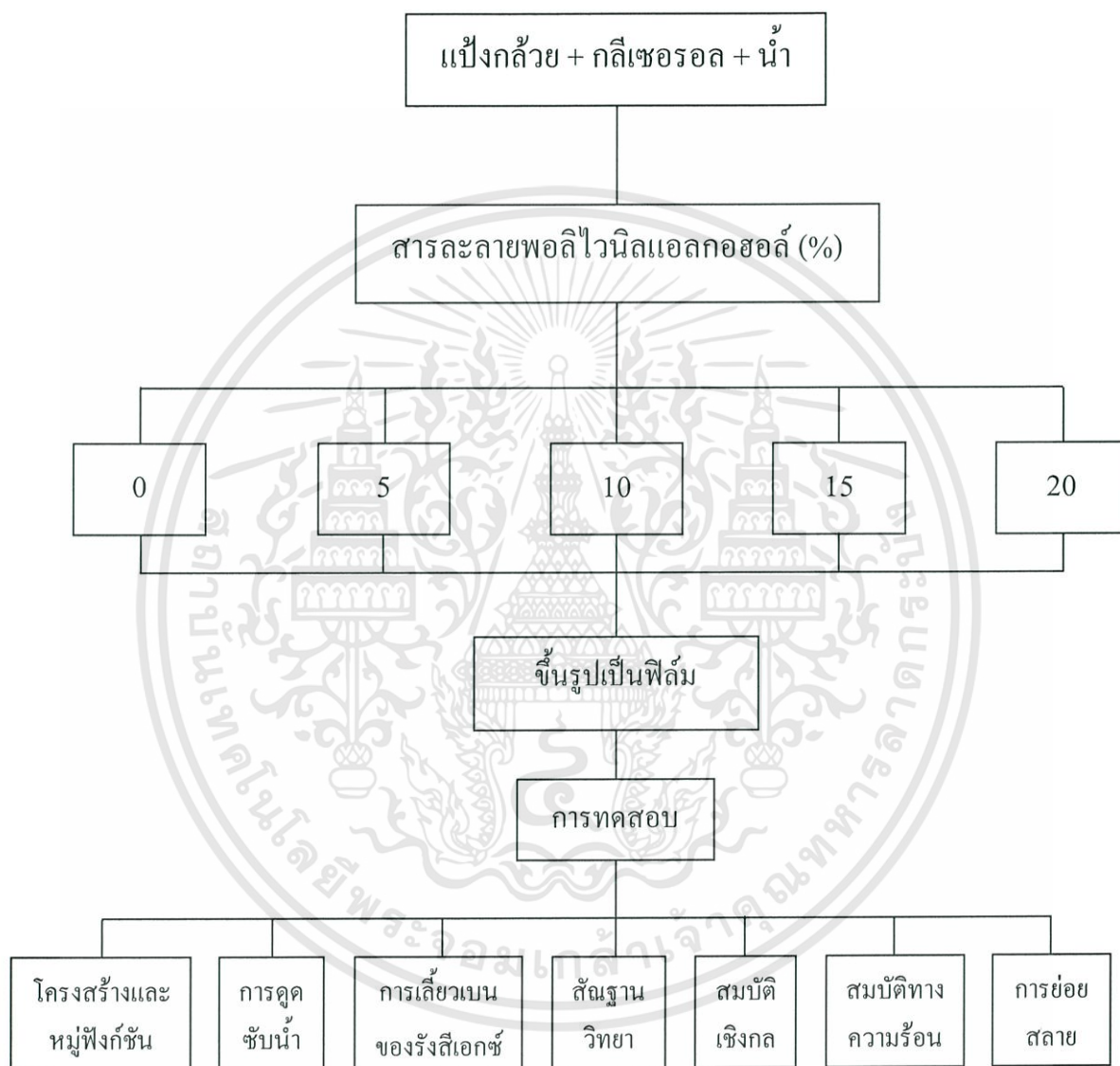
3.3.13 เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer) รุ่น PYRIS Diamond

แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยในโครงการพิเศษ แสดงในรูปที่ 3.1-3.3



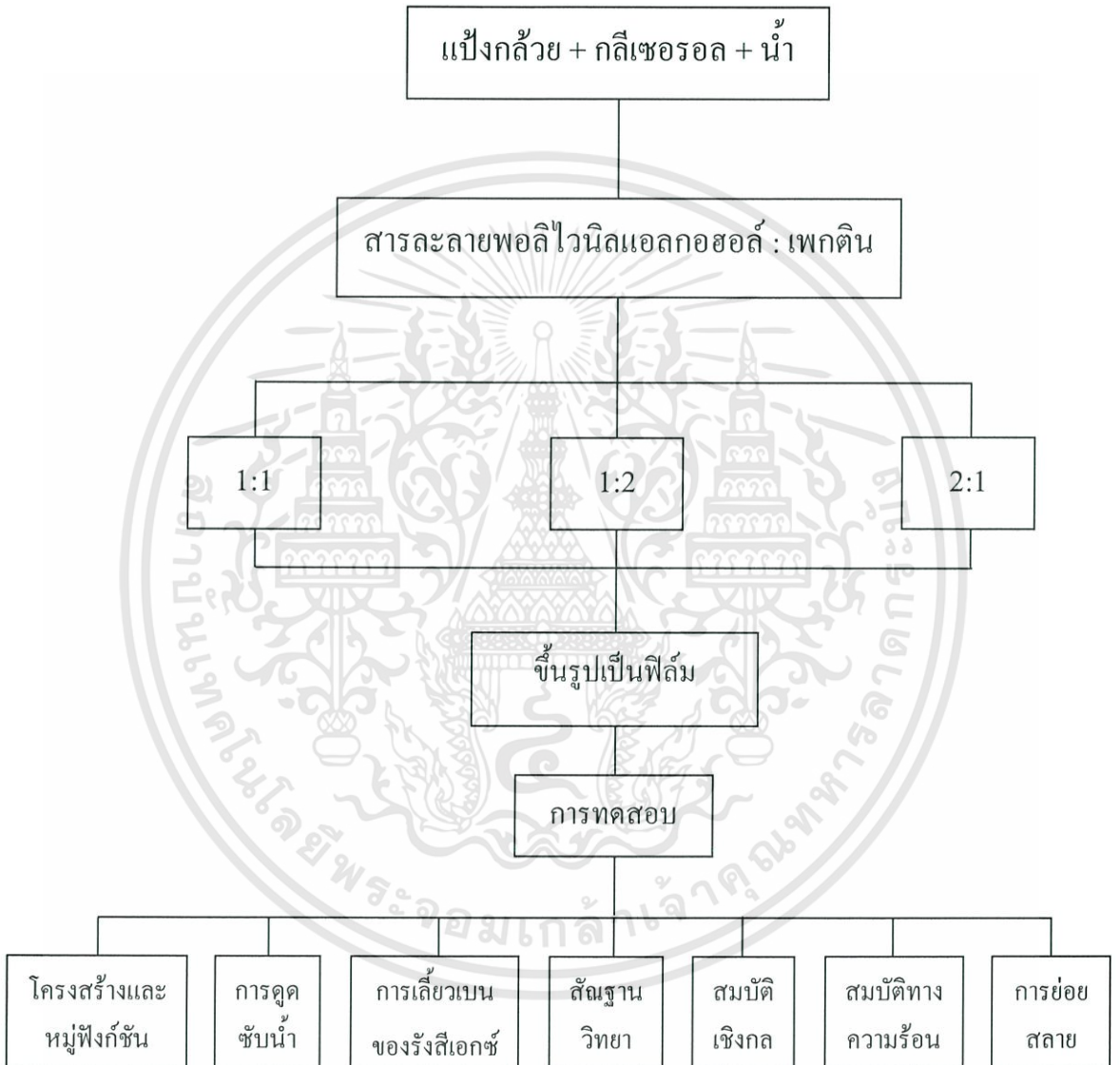
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยตอนที่ 2

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 ซึ่งในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

#### ตอนที่ 1 การเตรียมแป้งกล้วย

- 1.1 เลือกกล้วยดิบที่มีระยะสุกเท่ากับศูนย์-หนึ่ง จากนั้นทำการปอกเปลือก แล้วนำไปแช่ในน้ำเกลือที่เตรียมจากอัตราส่วน 500 มิลลิลิตร/3 กรัม เพื่อล้างยางออกจากกล้วย ขัดถูยางที่ติดบริเวณผิวหนังด้านนอกออกให้หมด
- 1.2 ผานให้เป็นแผ่นบางๆ แล้วแช่ในน้ำเกลืออีกรอบ เพื่อล้างยางที่อยู่ภายใน รอ 10-15 นาที เขย่าแล้วนำขึ้นจากน้ำเกลือ วางผึ่งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักกล้วยดิบที่ได้ จากนั้นนำมาใส่ภาชนะที่มีลักษณะแบนราบ เพื่อกระจายความร้อนที่ได้รับโดยทั่วกัน สม่ำเสมอ
- 1.3 นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- 1.4 เมื่อครบกำหนดเวลานำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นซักพัก แล้วทำการชั่งน้ำหนัก (หาเปอร์เซ็นต์น้ำที่ระเหยไป)
- 1.5 นำไปปั่นโดยเครื่องปั่นที่ความเร็วรอบเบอร์หนึ่ง โดยหนึ่งรอบการปั่นใช้เวลา 7 วินาที ต่อรอบ ปั่นประมาณ 7 รอบ หรือมากกว่า (สังเกตจากอนุภาคของแป้งกล้วยมีขนาดเล็ก ลงเป็นผงละเอียดสม่ำเสมอ)
- 1.6 นำแป้งกล้วยที่เตรียมได้ไปร่อน โดยใช้เครื่องร่อนในการแยกอนุภาคของแป้งกล้วย โดยช่วงของขนาดอนุภาคแป้งกล้วยที่ต้องการ โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช และ 200 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับขนาด 0.15-0.75 มิลลิเมตร
- 1.7 นำแป้งกล้วยที่ร่อนได้ เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้แน่น เพื่อป้องกันการดูดซับความชื้นของแป้งกล้วย

## ตอนที่ 2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้เพกติน

- 2.1 เตรียมสารละลายเพกติน โดยชั่งเพกติน 3 g ละลายในน้ำ 100 ml (3%w/v) โดยทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- 2.2 ชั่งแป้งกล้วย สารละลายเพกติน กลีเซอรอล และน้ำลงในบีกเกอร์ตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.3
- 2.3 ให้ความร้อนแก่สารละลายด้วยเครื่องให้ความร้อน ซึ่งจะทำการปั่นกวนสารละลายดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ให้ความร้อน โดยควบคุมอุณหภูมิในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส (ช่วงอุณหภูมิที่แป้งกล้วยเกิดเจลาทีไนเซชัน โดยสารละลายจะมีลักษณะหนืดมากขึ้นและใสขึ้น)
- 2.4 เตรียมจานเซรามิกสำหรับทดสอบสารละลาย โดยหยดน้ำมันพืช (1-2 หยด) แล้วทำให้ทั่วกัน
- 2.5 นำสารละลายที่เกิดเจลาทีไนเซชันออกจากเครื่องให้ความร้อน แล้วเทลงในกระบอกลดแรงดันให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทลงในจาน เอียงจานให้สารละลายแผ่กระจายอยู่ทั่วกันจน ให้มีความหนาใกล้เคียงกัน
- 2.6 อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัว
- 2.7 ลอกฟิล์มออกจากจาน นำไปวางบนกระดาษ A4 เก็บใส่ถุงซิปล็อคโดยปิดปากถุงให้สนิท แล้วเก็บใส่กล่องที่บรรจุเม็ดซิลิกาเจลอยู่ภายในสำหรับดูดความชื้น

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของแป้งกล้วย เพกติน กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายเพกติน	
			(กรัม)	(%)
3.00	0.60	60	0.00	0
2.85	0.57	57	0.15	5
2.70	0.54	54	0.30	10
2.55	0.51	51	0.45	15
2.40	0.48	48	0.60	20

หมายเหตุ ปริมาณน้ำ คิดเป็น 20 % ของแป้งกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตอนที่ 3 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

- 3.1 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยชั่ง PVA 3 g ละลายในน้ำ 100 ml (3%w/v) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 45 นาที
- 3.2 ชั่งแป้งกล้วย สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำ โดยใช้กลีเซอรอลและน้ำลงไปผสมกับแป้งกล้วยภายในบีกเกอร์ตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.4
- 3.3 นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน ซึ่งจะทำการปั่นกวนสารละลายดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ให้ความร้อน เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ให้ทำการเทพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปผสมในบีกเกอร์ (เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการกระจายตัวในน้ำ) และทำการปั่นกวนต่อไปโดยควบคุมอุณหภูมิในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส (ช่วงอุณหภูมิที่แป้งกล้วยเกิดเจลลาทีโนเซชัน)
- 3.4 เตรียมงานเซรามิกสำหรับทดสอบสารละลาย โดยหยดน้ำมันพืช (1-2 หยด) ทำให้ทั่วทั้งงาน
- 3.5 นำสารละลายที่เกิดเจลลาทีโนเซชันออกจากเครื่องให้ความร้อน แล้วเทลงในกระบอกลงให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทลงในงาน เียงงานให้สารละลายแผ่กระจายอยู่ทั่วทั้งงาน ให้มีความหนาใกล้เคียงกัน
- 3.6 อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัว
- 3.7 ลอกฟิล์มออกจากงาน นำไปวางบนกระดาษ A4 เก็บใส่ถุงซิปล็อคโดยปิดปากถุงให้สนิท แล้วเก็บใส่กล่องที่บรรจุเม็ดซิลิกาเจลอยู่ภายในสำหรับดูดความชื้น

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	
			(กรัม)	(%)
3.00	0.60	60	0.00	0
2.85	0.57	57	0.15	5
2.70	0.54	54	0.30	10
2.55	0.51	51	0.45	15
2.40	0.48	48	0.60	20

หมายเหตุ ปริมาณน้ำ คิดเป็น 20 % ของแป้งกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตอนที่ 4 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

- 4.1 เตรียมสารละลายเพกติน โดยชั่งเพกติน 3 g ละลายในน้ำ 100 ml (3%w/v) โดยทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- 4.2 เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยชั่ง PVA 3 g ละลายในน้ำ 100 ml (3%w/v) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 45 นาที
- 4.3 ชั่งแป้งกล้วย สารละลายเพกติน สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำ โดยใส่กลีเซอรอล สารละลายเพกตินและน้ำลงไปผสมกับแป้งกล้วยภายในบีกเกอร์ตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.5
- 4.4 นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน ซึ่งจะทำการปั่นกวนสารละลายดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ให้ความร้อน เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ให้ทำการเทพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปผสมในบีกเกอร์ตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.5 (เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ ในน้ำ) และทำการปั่นกวนต่อไปโดยควบคุมอุณหภูมิในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส (ช่วงอุณหภูมิที่แป้งกล้วยเกิดเจลลาทีโนเซชัน)
- 4.5 เตรียมงานเซรามิกสำหรับทดสอบสารละลาย โดยหยคน้ำมันพืช (1-2 หยด) ทำให้ทั่วกันงาน
- 4.6 นำสารละลายที่เกิดเจลลาทีโนเซชันออกจากเครื่องให้ความร้อน แล้วเทลงในกระบอกลงให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เทลงในงาน เอียงงานให้สารละลายแผ่กระจายอยู่ทั่วกันงาน ให้มีความหนาใกล้เคียงกัน
- 4.7 อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นตัว
- 4.8 ลอกฟิล์มออกจากงาน นำไปวางบนกระดาษ A4 เก็บใส่ถุงซิปล็อคโดยปิดปากถุงให้สนิท แล้วเก็บใส่กล่องที่บรรจุเมล็ดชิลิกาเจลอยู่ภายในสำหรับดูความชื้น

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนของแป้งกล้วย เพกติน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	ปริมาณของสารละลายพอลิ ไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน (กรัม:กรัม)		อัตราส่วนของ สารละลายพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และเพกติน
2.70	0.54	54	0.15	0.15	1 : 1
			0.10	0.20	1 : 2
			0.20	0.10	2 : 1

หมายเหตุ ปริมาณน้ำ คิดเป็น 20 % ของแป้งกล้วย  
แป้งกล้วย (กรัม), กลีเซอรอล (กรัม), น้ำ (กรัม), ปริมาณของสารละลายเพกติน (กรัม)  
และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม) ปริมาณของสารแต่ละตัวที่เป็นองค์ประกอบของแผ่นฟิล์มโดย  
เลือกจากผลสรุปจากตอนที่ 2 และตอนที่ 3

### 3.4 การทดสอบ

#### 3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน โดย FTIR

การศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยทำการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชัน ของฟิล์มจากแป้งกล้วยในสูตรต่างๆ ทำได้โดยการนำฟิล์มจากแป้งกล้วย มาบดรวมกับ KBr แล้วนำไปอัดให้เป็นแผ่น สภาวะที่ใช้คือ ที่ความยาวคลื่น  $4,000-600\text{ cm}^{-1}$  โดยทำการสแกน 16 ครั้งต่อตัวอย่าง ความละเอียดที่ใช้คือ  $4\text{ cm}^{-1}$

#### 3.4.2 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

อบฟิล์มแป้งกล้วยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำฟิล์มแป้งกล้วยมาชั่งน้ำหนัก (ภายใต้สภาวะนี้การระเหยของพลาสติกไซเซอร์จะยังไม่เกิดขึ้น) จากนั้นนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างในภาชนะปิดที่บรรจุด้วย แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) และน้ำกลั่น ซึ่งให้ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และ 100% ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ASTM E 104 แล้วทำการชั่งน้ำหนักภายหลังกการดูดซับน้ำทุกวัน โดยสามารถคำนวณหาปริมาณการดูดซับน้ำได้จากสมการนี้

$$W_a = [(W_c - W_0) / W_0] \times 100$$

เมื่อ  $W_a$  คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$W_c$  คือ น้ำหนักหลังการดูดน้ำ

$W_0$  คือ น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ

#### 3.4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

วิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึกขนาดอนุภาคและองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยการใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของฟิล์มแป้งกล้วยที่มุมต่างๆ เพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบ นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer โดยการเตรียมฟิล์มแป้งกล้วยที่มีความหนา 200 ไมโครเมตรและขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ ( $2\theta$ ) ในช่วง  $3-60^\circ$  ด้วยอัตราเร็ว  $1^\circ / \text{นาท}$

### 3.4.4 สัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) ได้นำมาใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มแข็งก๊วย ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำมาเคลือบด้วยทองและนำไปเข้าเครื่อง SEM โดยการศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มแข็งก๊วยก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

### 3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มแข็งก๊วยที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 882	MPa
มอดุลัส ( Young' s modulus )	ASTM D 882	MPa
% การดึงยืด ณ จุดขาด	ASTM D 882	เปอร์เซ็นต์

#### ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล ( Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D882 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 100 มิลลิเมตร x 15 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้นงานของแต่ละสูตร โดยทำการควบคุมสภาวะของชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ทดสอบตามสภาวะดังนี้

- Test speed : 50 mm./min
- Gauge length : 50 mm.
- Load cell : 100 N

ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง ( Tensile Strength )} = F/A$$

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ( \% Elongation at break )} = [(L-L_0)/L_0 ] \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาอุณหภูมิการสลายทางความร้อน (Onset degradation temperature) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer : TGA) ทำได้โดยการชั่งตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้ในช่วง 50-600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

### 3.4.7 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5 เซนติเมตร x 7 เซนติเมตร ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 30-40% การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจาก ตัวอย่างอาจจะกระจายไปกับดินแล้วทำการชั่งน้ำหนักฟิล์มทุกวัน และเปรียบเทียบน้ำหนักของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไปภายในระยะเวลา 2 เดือน

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและทดสอบสมบัติของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้ และเลือกศึกษาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกตินในปริมาณต่างๆ จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การศึกษาหุ้ผึ้งกัชัน การดูดซับน้ำ การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และการย่อยสลายโดยการฝังดิน จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ให้ผลดังนี้

#### 4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของฟิล์มด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งกล้วย กลีเซอรอล น้ำ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน โดยได้มีการทดลองหลายสูตร ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สูตร	แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	
				(กรัม)	(%)
1	3.00	0.60	60	0.00	0
2	2.85	0.57	57	0.15	5
3	2.70	0.54	54	0.30	10
4	2.55	0.51	51	0.45	15
5	2.40	0.48	48	0.60	20

หมายเหตุ ปริมาณน้ำ คิดเป็น 20 % ของแป้งกล้วย

กลีเซอรอลและน้ำคิดเป็นอัตราส่วน 1:100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 แป้งที่เตรียมได้ (สูตรที่ 1) มีลักษณะเหนียวเมื่อใช้แท่งแก้วคนสารผสมให้เข้ากันและมีสีน้ำตาล ลักษณะฟิล์มที่เตรียมได้พบว่ามีสีน้ำตาลเข้ม และพื้นผิวมีความขรุขระ จึงมีการปรับปรุงโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในสูตรที่ 2 – สูตรที่ 5

จากสูตรที่ 2 – สูตรที่ 5 ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วย เมื่อมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณมากขึ้น มีความหนืดขึ้นเล็กน้อย แต่มีสีน้ำตาลอ่อนลง มีความใสเพิ่มขึ้น พื้นผิวฟิล์มมีความเรียบมากขึ้นด้วย ตามปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากความสามารถในการก่อตัวเป็นฟิล์มของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แต่พบฟองอากาศในฟิล์มแป้งกล้วยมากขึ้น เนื่องจากความหนืดที่มากขึ้นตามปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น

#### ตารางที่ 4.2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้เพกติน

สูตร	แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	เพกติน	
				(กรัม)	(%)
6	2.85	0.57	57	0.15	5
7	2.70	0.54	54	0.30	10
8	2.55	0.51	51	0.45	15
9	2.40	0.48	48	0.60	20

หมายเหตุ ปริมาณน้ำ คิดเป็น 20 % ของแป้งกล้วย

กลีเซอรอลและน้ำคิดเป็นอัตราส่วน 1:100

จากสูตรที่ 6 – สูตรที่ 9 ใส่เพกตินในปริมาณต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วย พบว่าเมื่อมีการเติมเพกตินปริมาณมากขึ้น พบว่ามีความหนืดขึ้นเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนลงด้วย มีความใสเพิ่มขึ้น พื้นผิวฟิล์มมีความเรียบมากขึ้นด้วย ตามปริมาณเพกตินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากความสามารถในการก่อตัวเป็นฟิล์มของเพกติน แต่พบฟองอากาศในฟิล์มแป้งกล้วยมากขึ้น เนื่องจากความหนืดของที่มากขึ้น ตามปริมาณเพกตินที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

สูตร	แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	ปริมาณของพอลิไวนิล แอลกอฮอล์และเพกติน	
				(กรัม)	(กรัม)
10	2.70	0.54	54	0.15	0.15
11	2.70	0.54	54	0.10	0.20
12	2.70	0.54	54	0.20	0.10

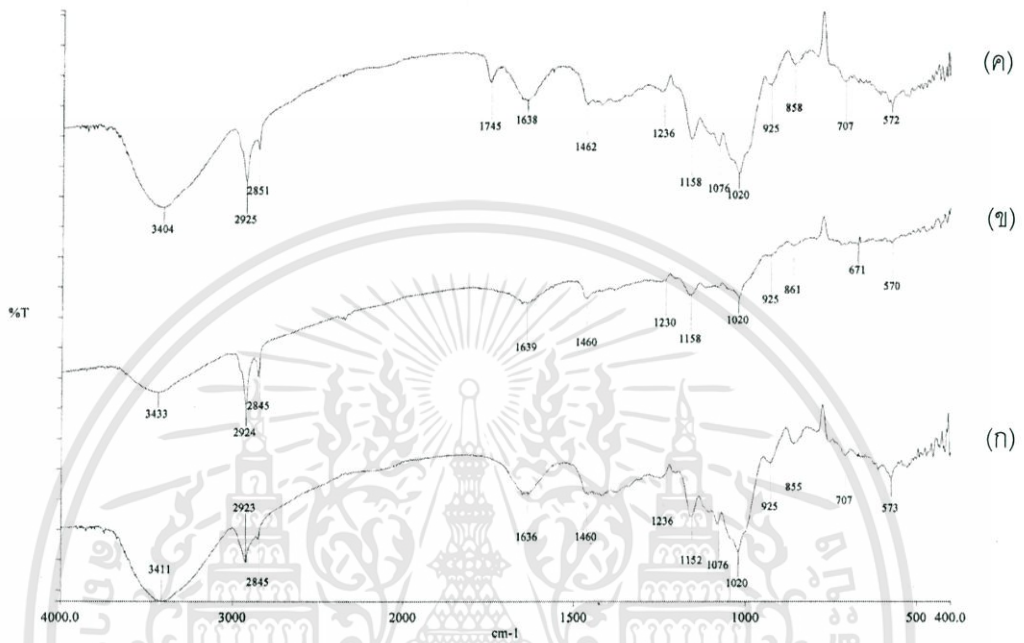
หมายเหตุ ปริมาณน้ำ คิดเป็น 20 % ของแป้งกล้วย  
กลีเซอรอลและน้ำคิดเป็นอัตราส่วน 1:100

จากสูตรที่ 10 – สูตรที่ 12 ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในปริมาณต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วย พบว่าเมื่อมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่มากกว่าเพกติน (สูตรที่ 12) พบว่ามีความหนืดที่มากกว่าเล็กน้อย (สูตรที่ 10 และสูตรที่ 11) ที่มีปริมาณเพกตินในที่น้อยกว่า เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุล 77,000 – 82,000 g/mol ทำให้ผสมที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และสูตรที่ 10 มีความหนืดมากกว่าสูตรที่ 11 โดยผลจากปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เติมลงไปมากกว่าใน สูตรที่ 11 โดยในสูตรที่ 10 – 12 มีสีน้ำตาลอ่อนลงเป็นแนวโน้มเดียวกัน

## 4.2 Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

ผลจากการศึกษาโดยเทคนิค Fourier-Transform Infrared Spectroscopy ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยศึกษาถึงผลของการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ลงในฟิล์มจากแป้งกล้วย

#### 4.2.1 การเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกติน (ก) Banana film (ข) +10% PVA และ (ค) +10% Pectin

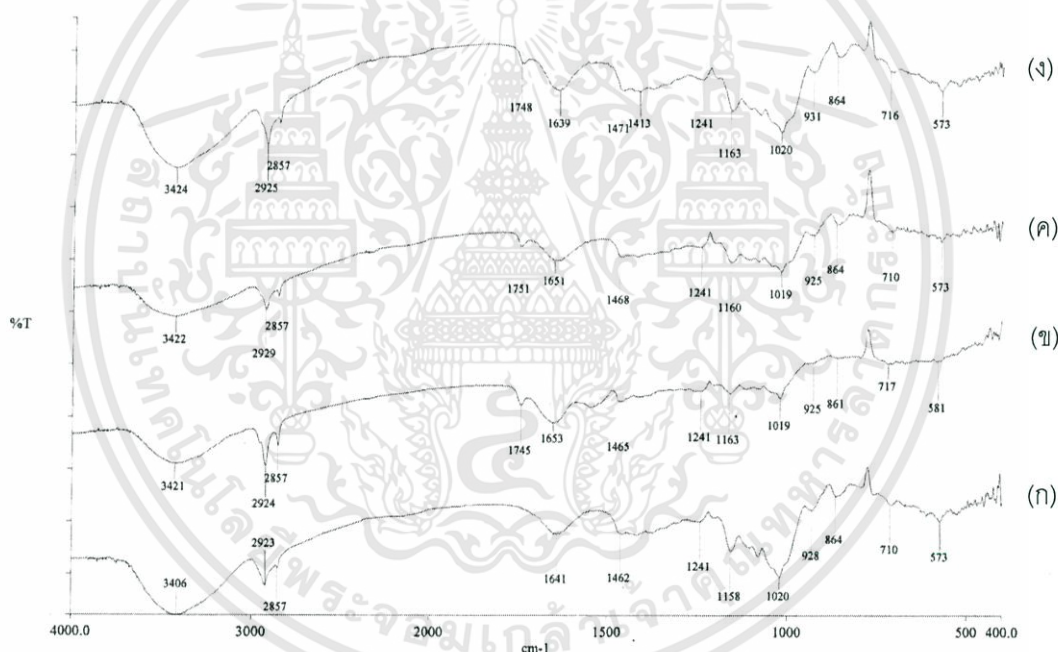
จากรูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน (ก) Banana film (ข) +10% PVA และ (ค) +10% Pectin จากทุกสูตรมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกันซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลลูโลสตามลักษณะดังนี้

แถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $3300-3500 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้งและกลีเซอรอล แถบการดูดกลืนในช่วง  $2800-2900 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบ C-H stretching ของ  $\text{CH}_2$  หรือ  $\text{CH}_3$  ของแป้ง แถบการดูดกลืน  $1650 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสามารถอธิบายถึงการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลของน้ำแล้วเกิดการ Dehydration เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งการ Hydrated ของ OH group ใน Amylose แถบการดูดกลืน  $1400 \text{ cm}^{-1}$  เป็นช่วงของการดูดกลืนของ O-H bending แถบการดูดกลืนในช่วง  $1100-1300 \text{ cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching ของแป้ง และแถบการดูดกลืนในช่วง  $1100-1200 \text{ cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่น C-O-H bending ของแป้ง พบแถบการดูดกลืนที่  $800-850 \text{ cm}^{-1}$  เป็นของ C-H bending [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกตินลงไปในแป้ง (รูปที่ 4.1 ค) ทำให้แถบการดูดกลืนในช่วง  $3300-3500\text{ cm}^{-1}$  ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นที่ลดลง แสดงว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างโมเลกุลของแป้งและเพกติน [30] สำหรับฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พบว่าให้แถบการดูดกลืนอินฟราเรดคล้ายคลึงกับฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุง แต่ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกตินพบว่าให้แถบการดูดกลืนที่ประมาณ  $1740$  ซึ่งสัมพันธ์กับ C=O stretching ที่พบหมู่ฟังก์ชัน -COOH ของเพกติน มีความเข้มเพิ่มขึ้น

#### 4.2.2 การเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่างๆ กัน



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ( ก) Banana film ( ข) +1:1 PVA:Pectin ( ค) +1:2 PVA:Pectin และ ( ง) +2:1 PVA:Pectin

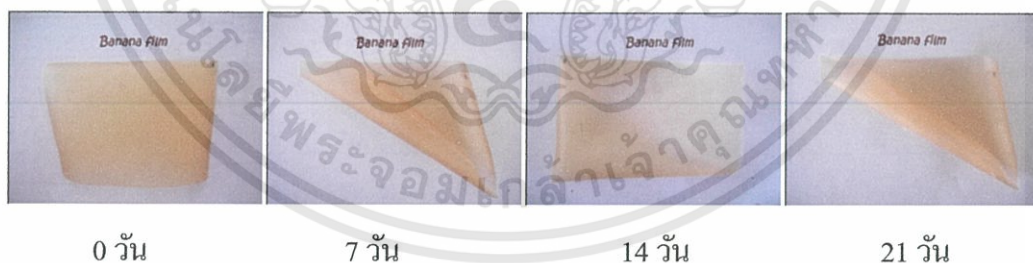
จากรูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงและฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากทุกสูตรมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกันซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลลูโลสตามลักษณะดังนี้

แถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $3300-3500\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้งและกลีเซอรอล แถบการดูดกลืนในช่วง  $2800-2900\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบ C-H stretching ของ  $\text{CH}_2$  หรือ  $\text{CH}_3$  ของแป้ง แถบการดูดกลืน  $1650\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสามารถอธิบายถึงการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลของน้ำแล้วเกิดการ Dehydration เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชั่น ซึ่งการ Hydrated ของ OH group ใน Amylose แถบการดูดกลืน  $1400\text{ cm}^{-1}$  เป็นแถบการดูดกลืนของ O-H bending ให้แถบการดูดกลืนในช่วง  $1100-1300\text{ cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching ของแป้ง และแถบการดูดกลืนในช่วง  $1100-1200\text{ cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่น C-O-H bending ของแป้ง พบแถบการดูดกลืนที่  $800-850\text{ cm}^{-1}$  เป็นของ C-H bending [29]

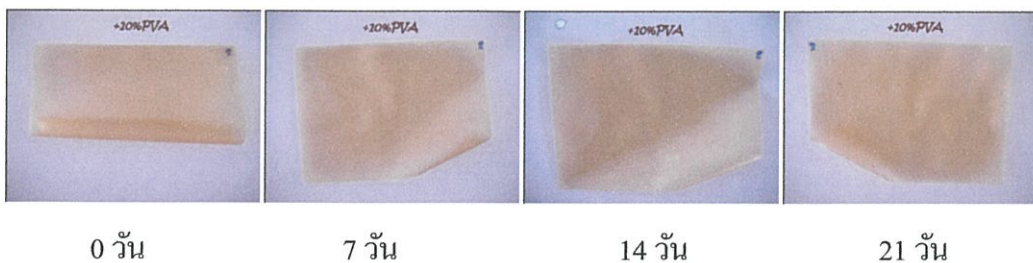
สำหรับความแตกต่างระหว่างฟิล์มย่อยสลายได้ที่ไม่มีการปรับปรุง และฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน พบว่ามีแถบการดูดกลืนที่สำคัญเพิ่มขึ้นมาคือ แถบการดูดกลืนในช่วง  $1735-1750\text{ cm}^{-1}$  มีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้เพกติน ซึ่งเป็นแถบการดูดกลืนของการสั่นแบบ C=O stretching ซึ่งแสดงอยู่ในหมู่ฟังก์ชัน -COOH ของเพกติน

#### 4.3 การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption)

ผลการศึกษาการดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยศึกษาถึงผลของการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกตินลงในฟิล์มจากแป้งกล้วย ทดสอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%

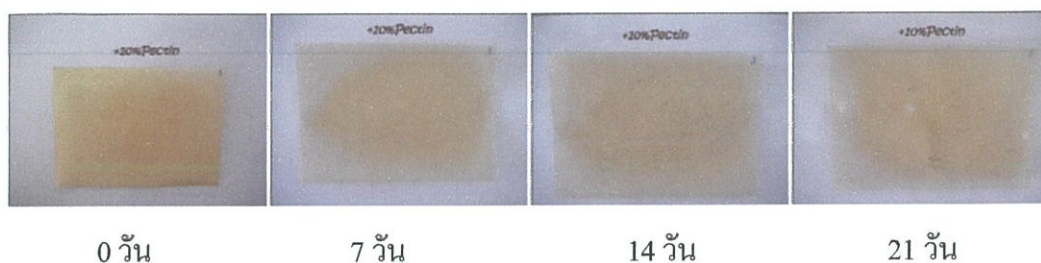


รูปที่ 4.3 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วย



รูปที่ 4.4 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



0 วัน                      7 วัน                      14 วัน                      21 วัน

รูปที่ 4.5 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10%



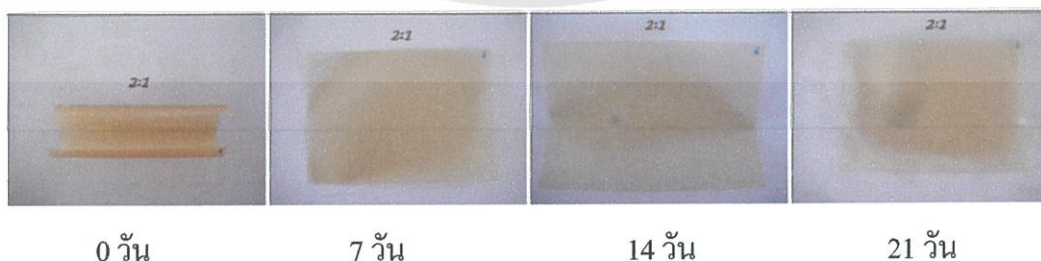
0 วัน                      7 วัน                      14 วัน                      21 วัน

รูปที่ 4.6 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพคติน ในอัตราส่วน 1:1



0 วัน                      7 วัน                      14 วัน                      21 วัน

รูปที่ 4.7 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพคติน ในอัตราส่วน 1:2



0 วัน                      7 วัน                      14 วัน                      21 วัน

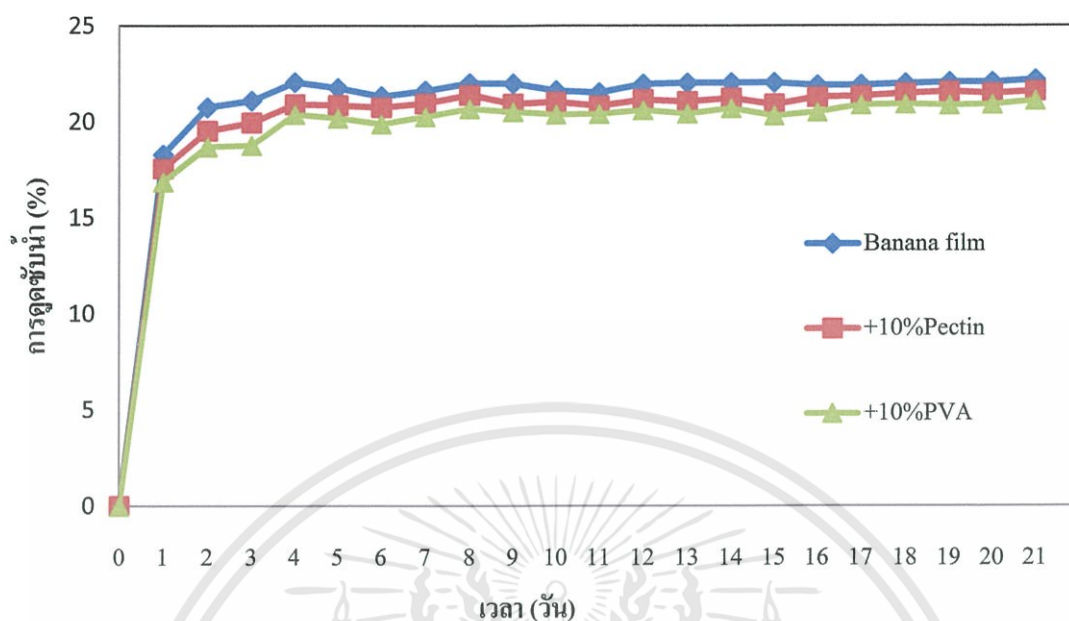
รูปที่ 4.8 การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพคติน ในอัตราส่วน 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วย เนื่องจากการดูดซับน้ำ

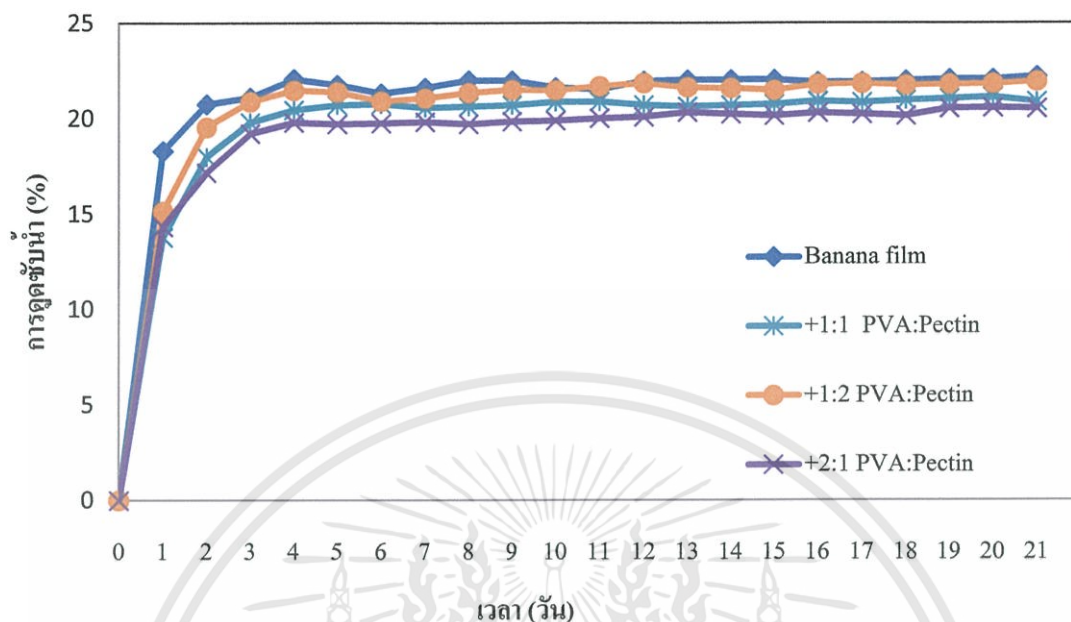
แผ่นฟิล์ม	ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วย
Banana film	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มมีการม้วนงอเล็กน้อย มีความชื้นมากขึ้น เมื่อผ่าน ไป 14 วัน ฟิล์มมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อผ่าน ไป 21 วัน ฟิล์มมีราสีขาวขึ้นกระจายเป็นจุดๆ
+10%PVA	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเริ่มมีการม้วนงอเล็กน้อย มีความชื้นมากขึ้น เมื่อผ่าน ไป 14 วัน ฟิล์มมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อผ่าน ไป 21 วัน ฟิล์มมีราสีขาวขึ้นกระจายเป็นจุดๆ
+10%Pectin	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มวางตัวแบนราบเรียบดี มีความชื้นมากขึ้น เมื่อผ่าน ไป 14 วัน ฟิล์มมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อผ่าน ไป 21 วัน ฟิล์มเกิดราสีขาวและน้ำตาลเข้ม ขึ้นเป็นจุดๆ
PVA:Pectin 1:1	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเกิดการม้วนงอบริเวณมุมสองมุม มีความชื้นมากขึ้น เมื่อผ่าน ไป 14 วัน ฟิล์มมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อผ่าน ไป 21 วัน ฟิล์มมีจุดเล็กๆ ของราสีขาวเกิดขึ้นหลายจุด
PVA:Pectin 1:2	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเริ่มมีการคลายตัวจากการม้วนงอ มีความชื้นมากขึ้น เมื่อผ่าน ไป 14 วัน ฟิล์มมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อผ่าน ไป 21 วัน ฟิล์มมีราสีขาวและสีน้ำตาลเกิดขึ้น
PVA:Pectin 2:1	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเริ่มมีการคลายตัวจากการม้วนงอ มีความชื้นมากขึ้น เมื่อผ่าน ไป 14 วัน ฟิล์มมีราสีขาวซึ่งตรงกลางมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นชัดเจน 1 จุด เมื่อผ่าน ไป 21 วัน ฟิล์มบริเวณจุดเดิมขยายใหญ่ขึ้น มีราสีขาวเกิดใหม่หลายจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 เปรูเซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือ เพกตินที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%

จากรูปที่ 4.9 พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงมีการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมา เป็นฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกตินและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามลำดับ เนื่องจากในแป้งมี องค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินซึ่งมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ ทำให้ฟิล์มที่ไม่มีการ ปรับปรุงมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีที่สุด และฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยเพกตินดูดซับน้ำได้ ดีกว่าฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากเพกตินมีหมู่  $-COOH$  จึงทำให้สามารถ ดูดซับน้ำได้ดี สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยมีแนวโน้มดูดซับน้ำน้อย ที่สุด เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการดูดความชื้นน้อยกว่าแป้ง [31]



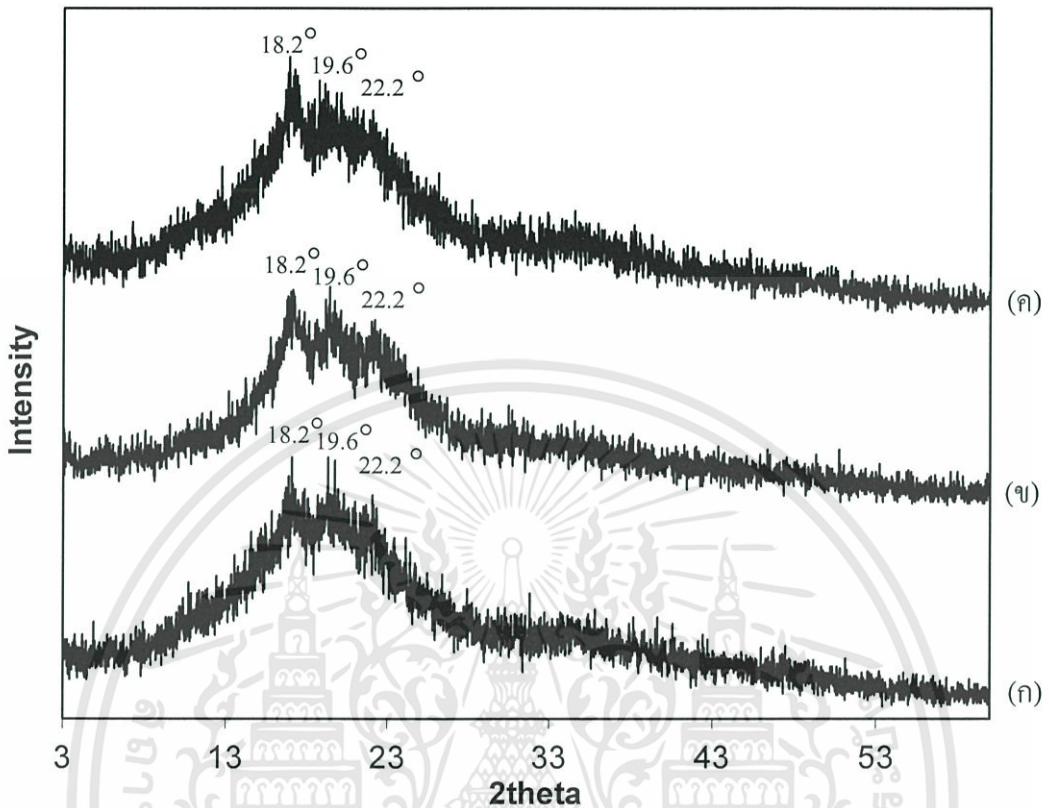
รูปที่ 4.10 เปรูเซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ เพกตินในอัตราส่วนต่างๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%

จากรูปที่ 4.10 พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยมีการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมาเป็นฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงโดยเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ

จากการทดสอบการดูดซับน้ำ ดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 สามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงมีการดูดซับน้ำมากที่สุด ซึ่งความสามารถในการดูดซับน้ำทำให้ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงมีอายุการใช้งานสั้นลง และเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกติน ทำให้ความสามารถในการดูดน้ำได้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเพกติน พบว่าเพกตินดูดน้ำได้มากกว่า เนื่องจากเพกตินมีหมู่  $-COOH$  จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำได้

#### 4.4 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ( X-ray diffraction)

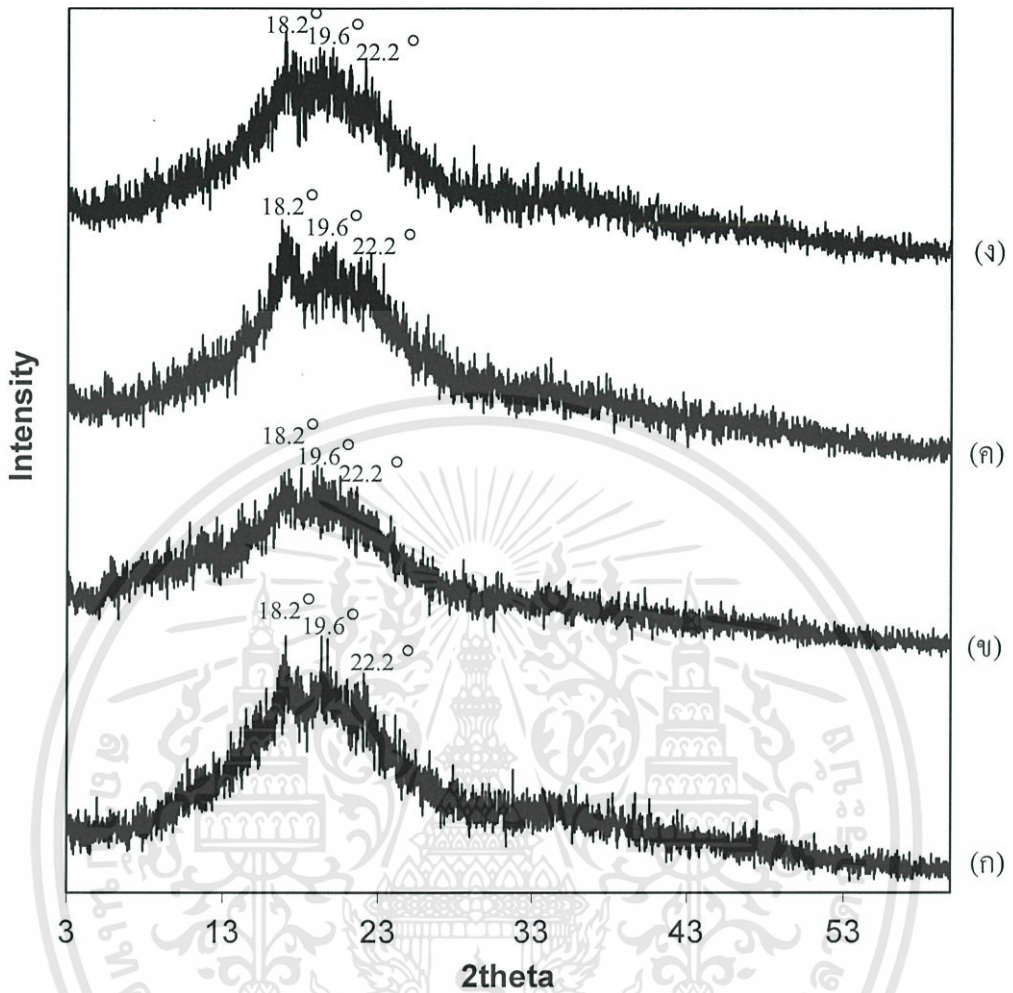
การวิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึกของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยการใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆ โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer โดยขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ ( $2\theta$ ) ในช่วง  $3-60^\circ$  ด้วยอัตราเร็ว  $1^\circ / \text{นาท}$  ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ดิฟแฟร็กโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน (ก) Banana film (ข) +10% PVA และ (ค) +10% Pectin

จากรูปที่ 4.11 (ก) – (ค) แสดงดิฟแฟร็กโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน พบว่าโครงสร้างผลึกของฟิล์มจากแป้งกล้วยจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ  $V_H$ -type โดยเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วมีรูปแบบผลึกเป็นแบบ V โดยให้พีคของผลึกที่มุม  $2\theta$  ที่  $18.2^\circ$ ,  $19.6^\circ$  และ  $22.2^\circ$  [32]

ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (รูปที่ 4.11 (ข)) และเพกติน (รูปที่ 4.11 (ค)) พบว่าให้ดิฟแฟร็กโตแกรมที่มีความเข้มเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยมีแนวโน้มความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้นจากการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกติน

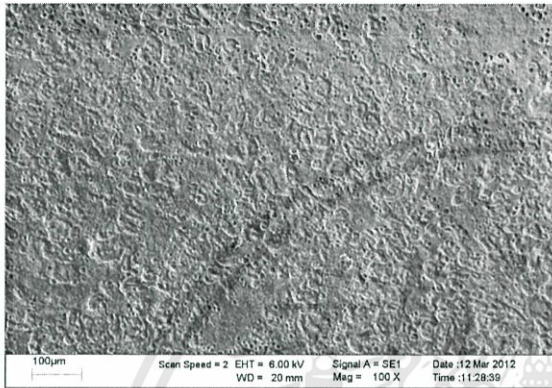


รูปที่ 4.12 ดิฟแฟรคโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) Banana film (ข) +1:1 PVA:Pectin (ค) +1:2 PVA:Pectin และ (ง) +2:1 PVA:Pectin

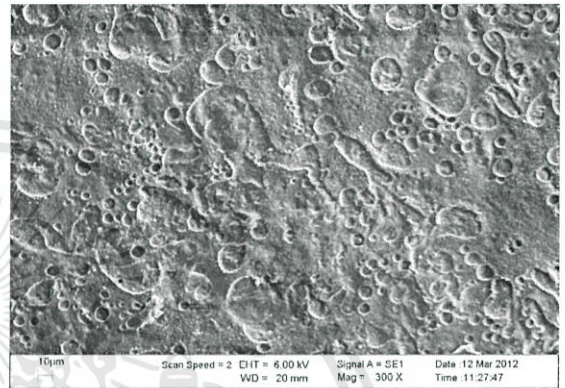
จากรูปที่ 4.12 (ก) – (ง) แสดงดิฟแฟรคโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงและแป้งกล้วยที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งพบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ในอัตราส่วน 1:2 มีความเข้มมากที่สุด

## 4.5 ฐานวิทยา

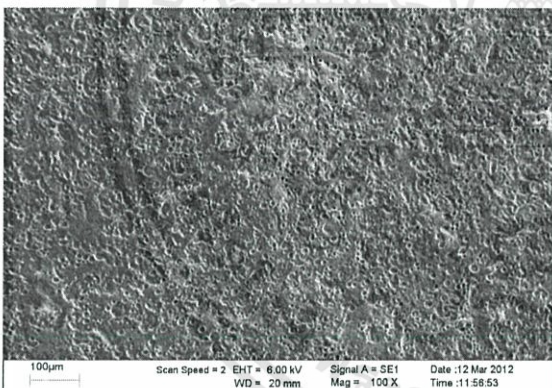
เทคนิคการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ได้นำมาใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยการศึกษาด้านฐานวิทยาของฟิล์มแป้งกล้วยหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน



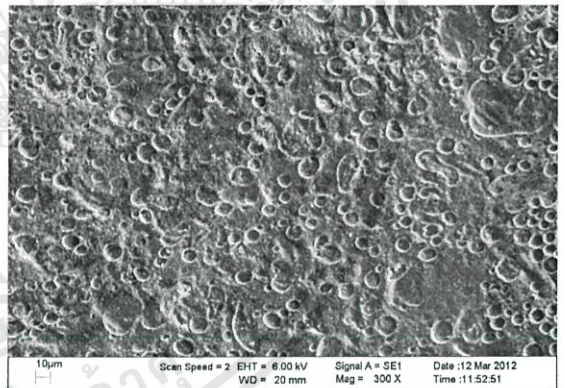
(ก)



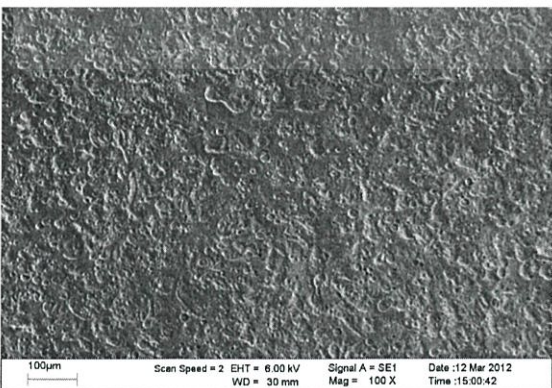
(ข)



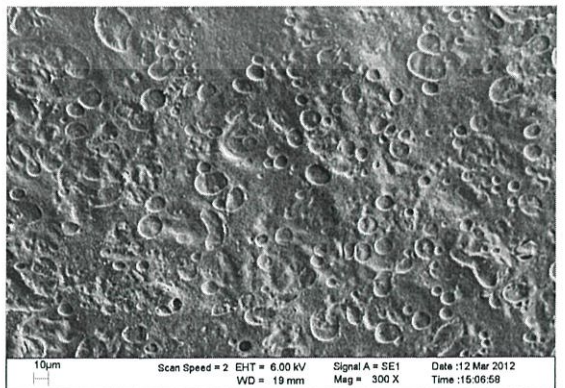
(ค)



(ง)

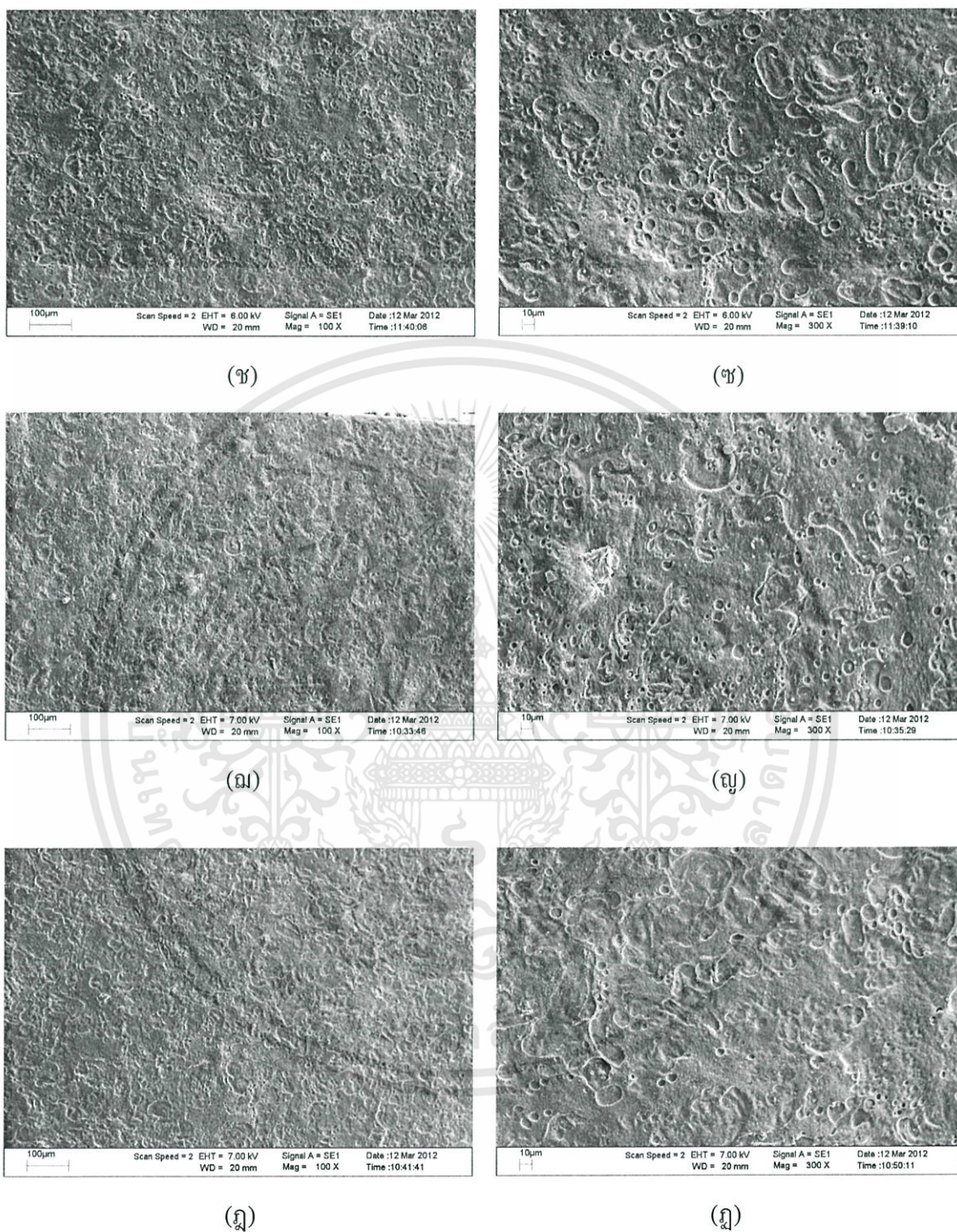


(จ)



(ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.13** สัณฐานวิทยา ผิวด้านบนของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า ที่ปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

(ก) – (ข) Banana film (ค) – (ง) +10%PVA (จ) – (ฉ) +10%Pectin

(ช) – (ซ) +1:1 PVA:Pectin (ณ) – (ญ) +1:2 PVA:Pectin (ฎ) – (ฏ) +2:1 PVA:Pectin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 (ก) – 4.13 (ข) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวด้านบน (ด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับแม่พิมพ์) ของฟิล์มแป้งกล้วยที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพคตินในปริมาณต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 300 เท่า ซึ่งพื้นผิวของฟิล์มมีความขรุขระ มีรูพรุนของฟองอากาศอยู่ภายใน โดยรูปที่ 4.16 (ก) – รูปที่ 4.16 (ข) Banana film ฟองอากาศขนาดใหญ่และเล็กปะปนกัน

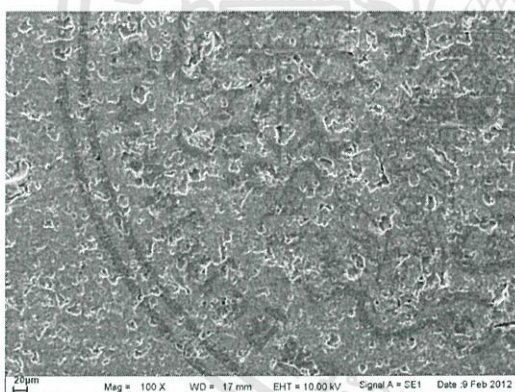
รูปที่ 4.13 (ค) – รูปที่ 4.13 (ง) +10% PVA ฟองอากาศมีขนาดเล็กลง มีส่วนเรียบมากขึ้น

รูปที่ 4.13 (จ) – รูปที่ 4.13 (ฉ) +10% Pectin ฟองอากาศขนาดเล็กลง ฟิล์มมีความเรียบมากกว่า Banana film

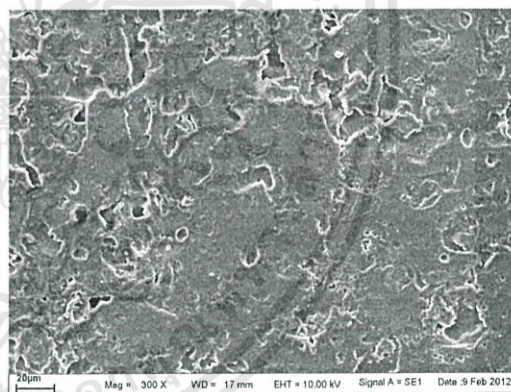
รูปที่ 4.13 (ช) – รูปที่ 4.13 (ซ) +1:1 PVA:Pectin ฟองอากาศขนาดเล็กและใหญ่ปะปนกัน

รูปที่ 4.13 (ด) – รูปที่ 4.13 (ฎ) +1:2 PVA:Pectin ผิวเรียบบางส่วนและปริมาณฟองอากาศน้อยกว่า สูตร 1:1 PVA:Pectin

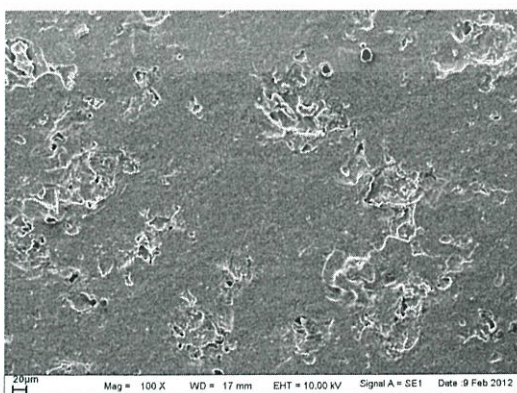
รูปที่ 4.13 (ฐ) – รูปที่ 4.13 (ฏ) +2:1 PVA:Pectin มีผิวเรียบขึ้น ฟองอากาศขนาดเล็กน้อยลงและมีผิวเรียบที่สุด โดยผิวด้านบนของฟิล์มทุกสูตรมีความขรุขระเกิดขึ้น เนื่องจากพื้นผิวด้านบนของฟิล์มมีการระเหยของน้ำกลายเป็นไอน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการอบ



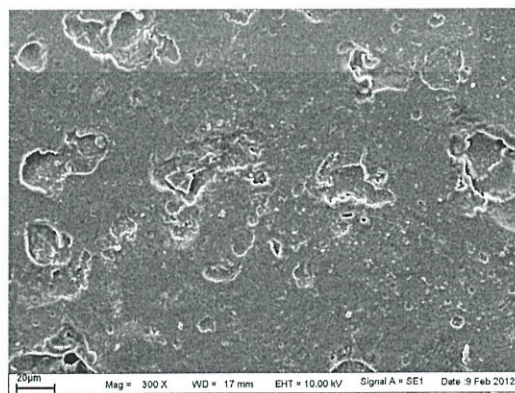
(ก)



(ข)

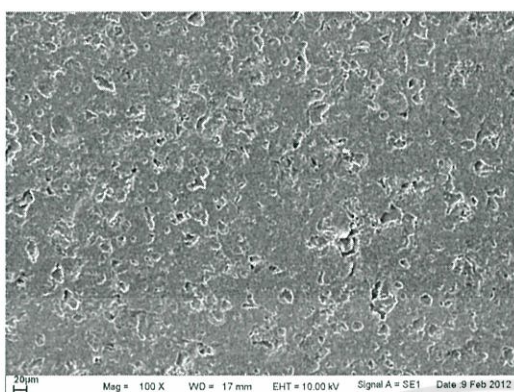


(ค)

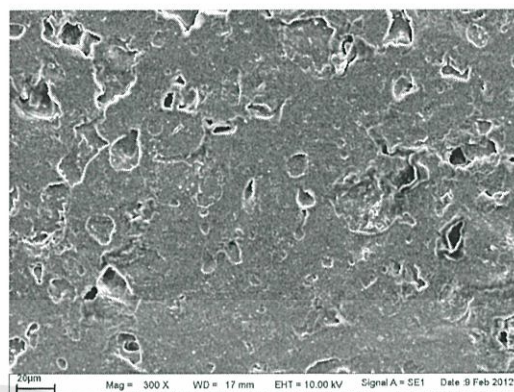


(ง)

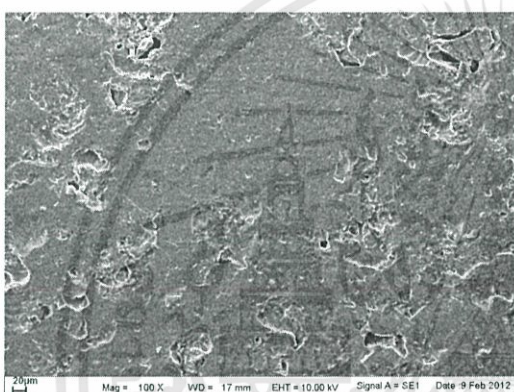
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



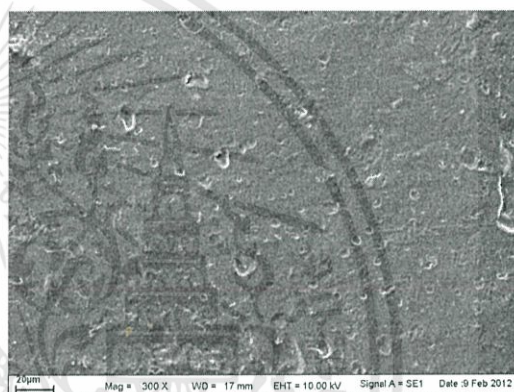
(จ)



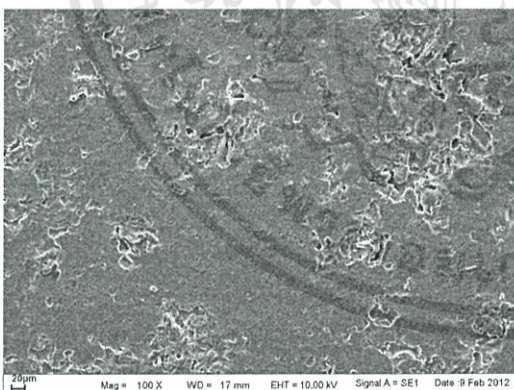
(ฉ)



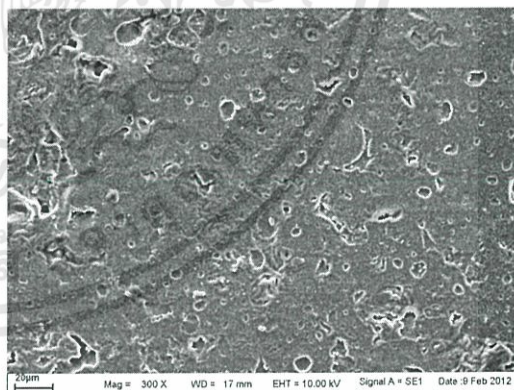
(ช)



(ฌ)

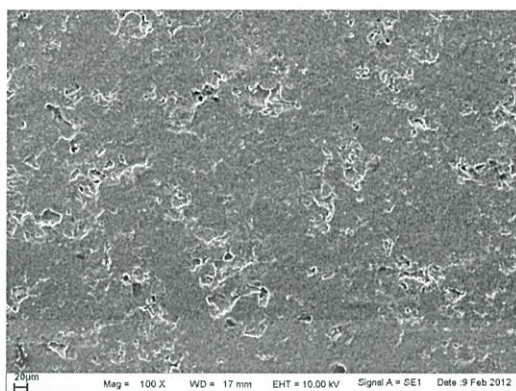


(ฉ)

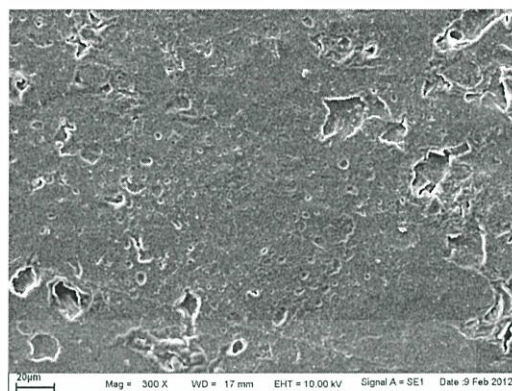


(ญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.14 สัณฐานวิทยา ผิวด้านล่างของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 300 เท่า ที่ปรับปรุงสมบัติโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

(ก) – (ข) Banana film (ค) – (ง) +10%PVA (จ) – (ฉ) +10%Pectin

(ช) – (ซ) +1:1 PVA:Pectin (ณ) – (ญ) +1:2 PVA:Pectin (ฎ) – (ฏ) +2:1 PVA:Pectin

รูปที่ 4.14 (ก) – 4.14 (ข) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวด้านล่าง (ด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับแม่พิมพ์) ของฟิล์มแป้งกล้วยที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในปริมาณต่างๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 300 เท่า ซึ่งพื้นผิวของแผ่นฟิล์มมีความขรุขระ มีรูพรุนของฟองอากาศอยู่ภายในแต่น้อยกว่าด้านบน โดย

รูปที่ 4.14 (ก) – รูปที่ 4.14 (ข) Banana film ผิวไม่เรียบ มีความขรุขระอยู่ทั่วพื้นผิวฟิล์ม

รูปที่ 4.14 (ค) – รูปที่ 4.14 (ง) +10%PVA ฟิล์มมีส่วนที่เรียบมากขึ้น

รูปที่ 4.14 (จ) – รูปที่ 4.14 (ฉ) +10%Pectin สัณฐานวิทยาคล้ายกับ Banana film ที่ไม่ได้ปรับปรุง

รูปที่ 4.14 (ช) – รูปที่ 4.14 (ซ) +1:1 PVA:Pectin ผิวเรียบมีฟองอากาศเล็กน้อย

รูปที่ 4.14 (ณ) – รูปที่ 4.14 (ญ) 1:2 +PVA:Pectin มีบริเวณผิวเรียบและขรุขระที่มองแยกออกจากกัน มีฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก

รูปที่ 4.14 (ฎ) – รูปที่ 4.14 (ฏ) 2:1 +PVA:Pectin มีบริเวณเรียบและขรุขระกับฟองอากาศเล็กน้อย

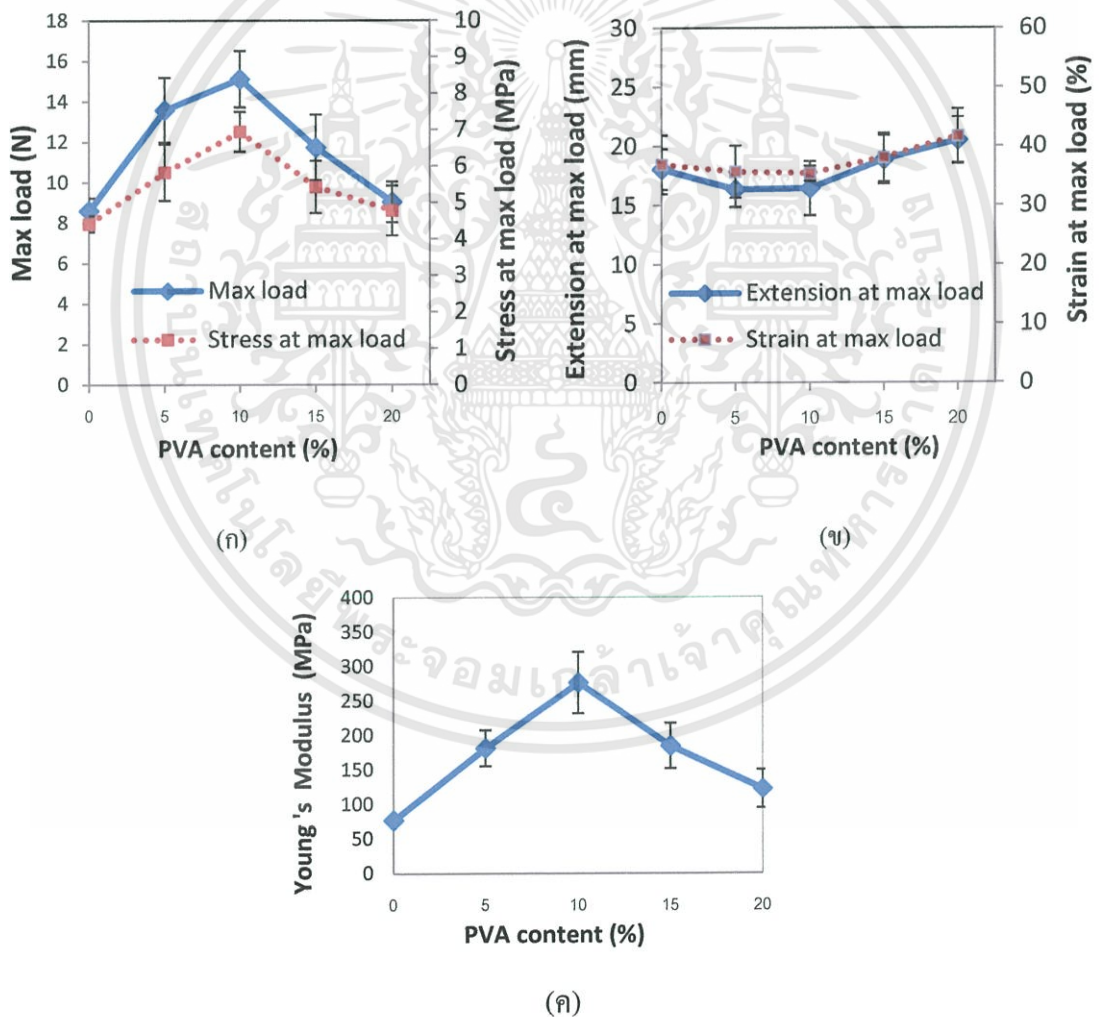
สรุปว่าที่อัตราส่วนต่างๆ ของฟิล์มแป้งกล้วยที่มีการปรับปรุงมีความเรียบเพิ่มขึ้นกว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุง แต่ยังมีส่วนที่ขรุขระอยู่โดยผิวด้านล่างของแผ่นฟิล์มทุกสูตรมีความเรียบมากกว่าด้านบน เนื่องจากเป็นด้านที่ติดกับแม่พิมพ์ที่เป็นผิวเรียบ และมีการทาน้ำมันพืชเพื่อช่วยให้ลอกออกได้ง่ายเมื่อแผ่นฟิล์มแห้ง และสูตรที่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้นมีผิวเรียบมากกว่าสูตรที่เติมเพกติน

## 4.6 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ แรงดึง ความแข็งแรงดึง การดึงยืด เปอร์เซ็นต์การดึงยืด และมอดุลัส

### 4.6.1 สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ผลการทดลองสมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากแป้งกล้วย โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0% , 5%, 10%, 15% และ 20% ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.15 สมบัติเชิงกลฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ กัน

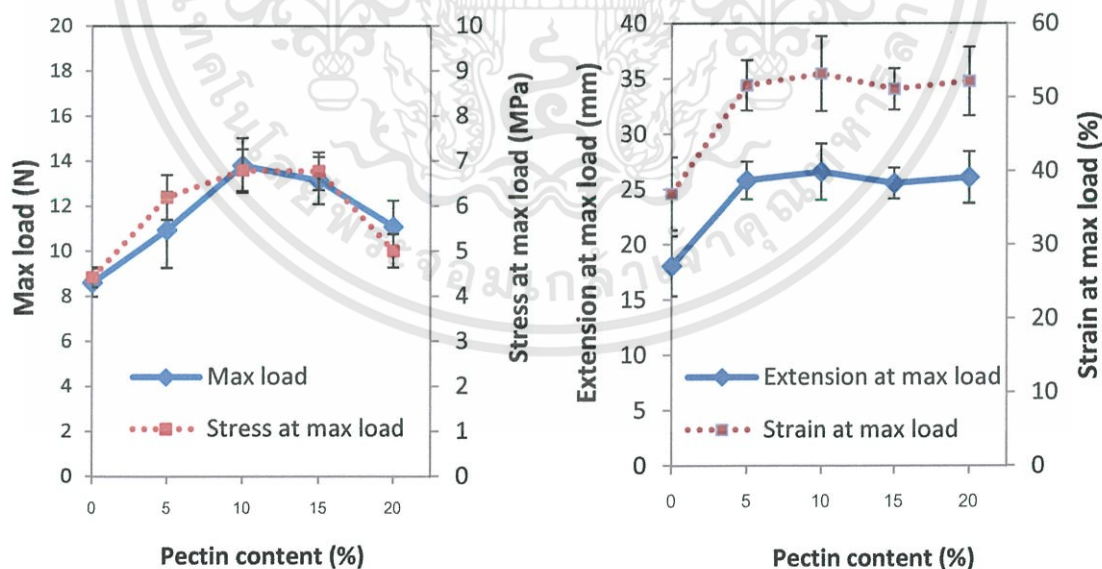
(ก) แรงดึงและความแข็งแรงดึง (ข) การดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด และ (ค) มอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 (ก) และรูปที่ 4.15 (ค) พิจารณาผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ปริมาณ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 10% ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีแนวโน้มสูงสุด เนื่องจากโครงสร้างของแป้งกล้วยและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโครงสร้างเหมือนกัน ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของแป้งกล้วยและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งสอดคล้องกับการเคลื่อนของอินฟราเรดสเปกตรัม (รูปที่ 4.2) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากกว่า 10% พบว่าค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาก ทำให้ฟองอากาศในฟิล์มเกิดขึ้นมาก ซึ่งเป็นจุดบกพร่องของฟิล์ม ส่งผลทำให้ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีค่าลดลง

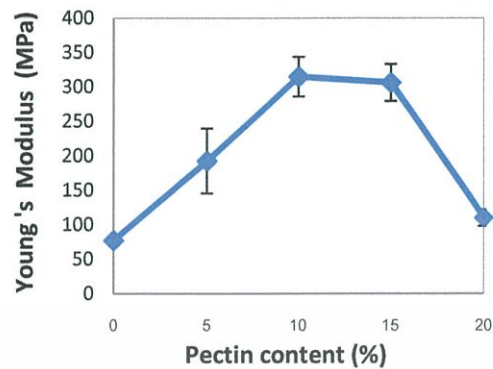
จากรูปที่ 4.15 (ข) พิจารณาค่าการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด พบว่าแนวโน้มเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจาก 10% ทำให้ค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงส่งผลให้ฟิล์มมีความเหนียวเพิ่มขึ้นสายโซ่ของแป้งกล้วยมีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น

#### 4.6.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้เพกติน



(ก)

(ข)



(ค)

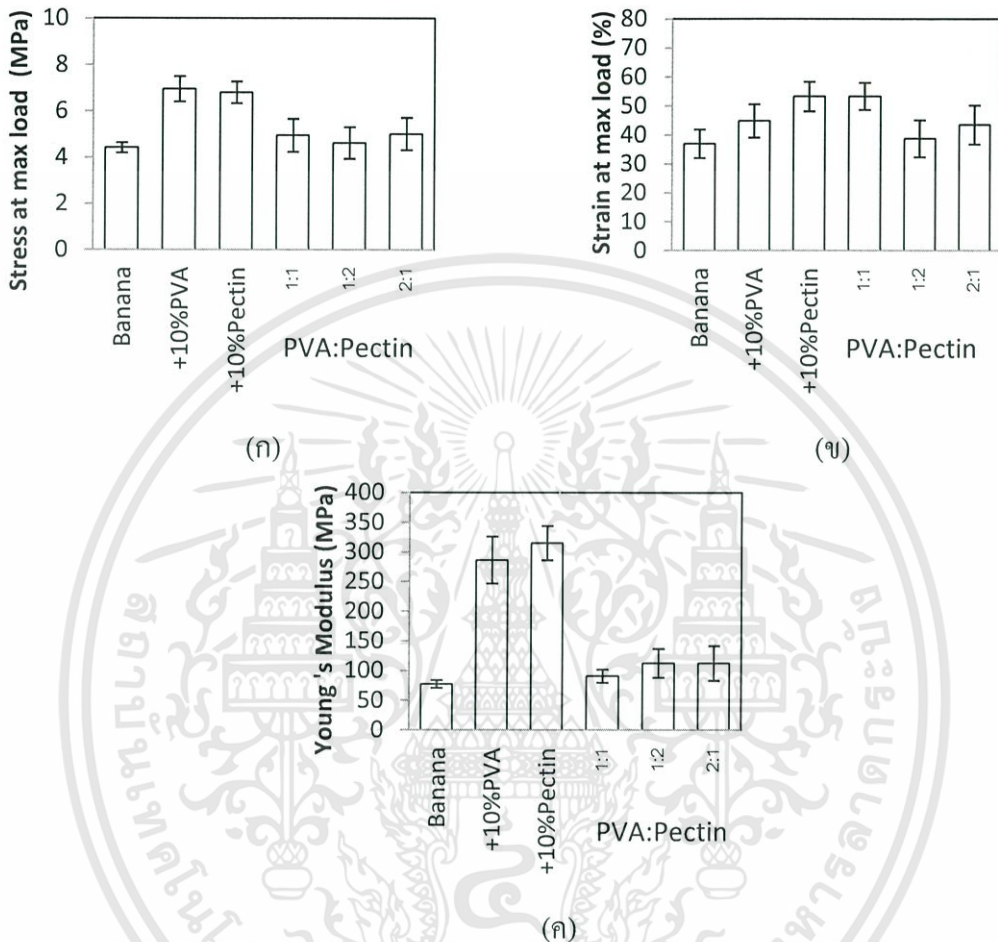
รูปที่ 4.16 สมบัติเชิงกลฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณเพกตินต่างๆ กัน

(ก) แรงดึงและความแข็งแรงดึง (ข) การดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด และ (ค) มอดุลัส

จากรูปที่ 4.16 (ก) และจากรูปที่ 4.16 (ค) พิจารณาผลของเพกติน ที่ปริมาณ 0% , 5%, 10%, 15% และ 20% ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มจากแป้งกล้วย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเพกตินเป็น 10% ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยสมบัติของเพกตินเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารก่อเจล มีลักษณะเนื้อคล้ายเยลลี่ และยืดหยุ่นดี [20] ทำให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงลดลง แต่จากผลการทดลอง พบว่าฟิล์มที่ได้มีความเรียบและมีความแข็งแรงมากขึ้น

จากรูปที่ 4.16 (ข) พิจารณาค่าการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด แนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเพกตินเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเพกติน 10% โดยสมบัติของเพกตินเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด และเป็นสารก่อเจล ซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีความเหนียวเพิ่มขึ้นสายโซ่ของแป้งกล้วยมีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืดและค่าการดึงยืดมีค่าสูงขึ้น

#### 4.6.3 สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน



รูปที่ 4.17 สมบัติเชิงกลฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ เพกติน (ก) แรงดึง (ข) เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด และ (ค) โมดูลัส

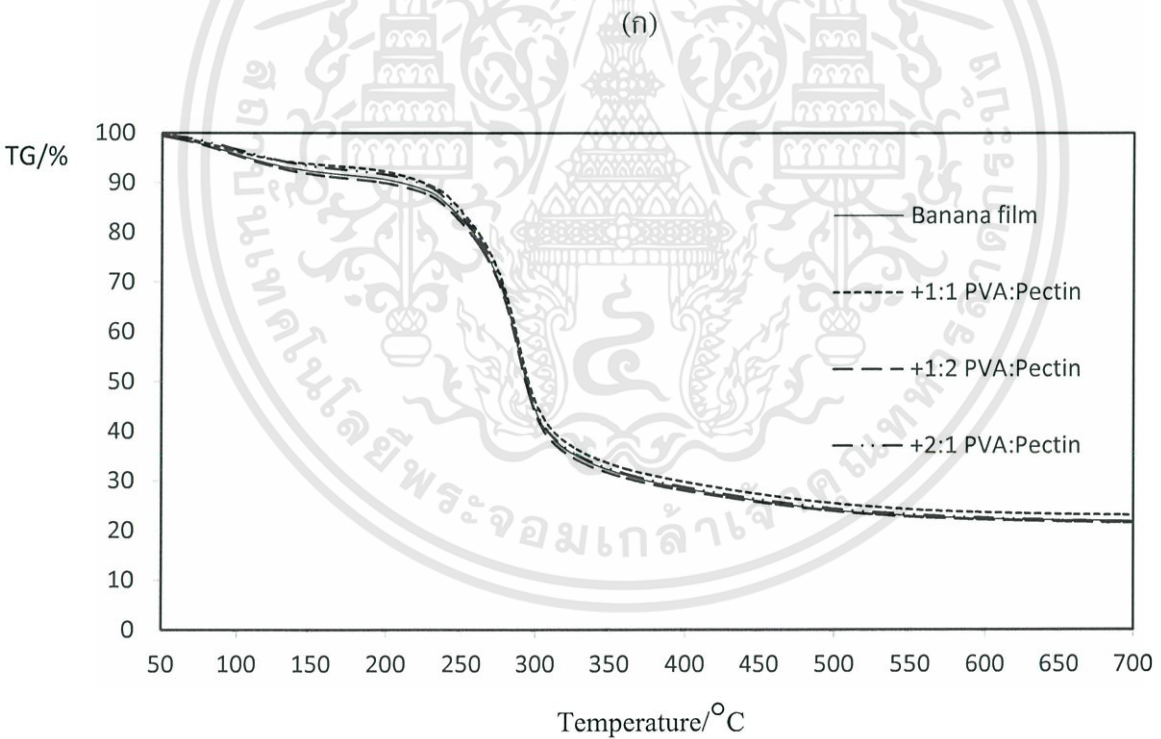
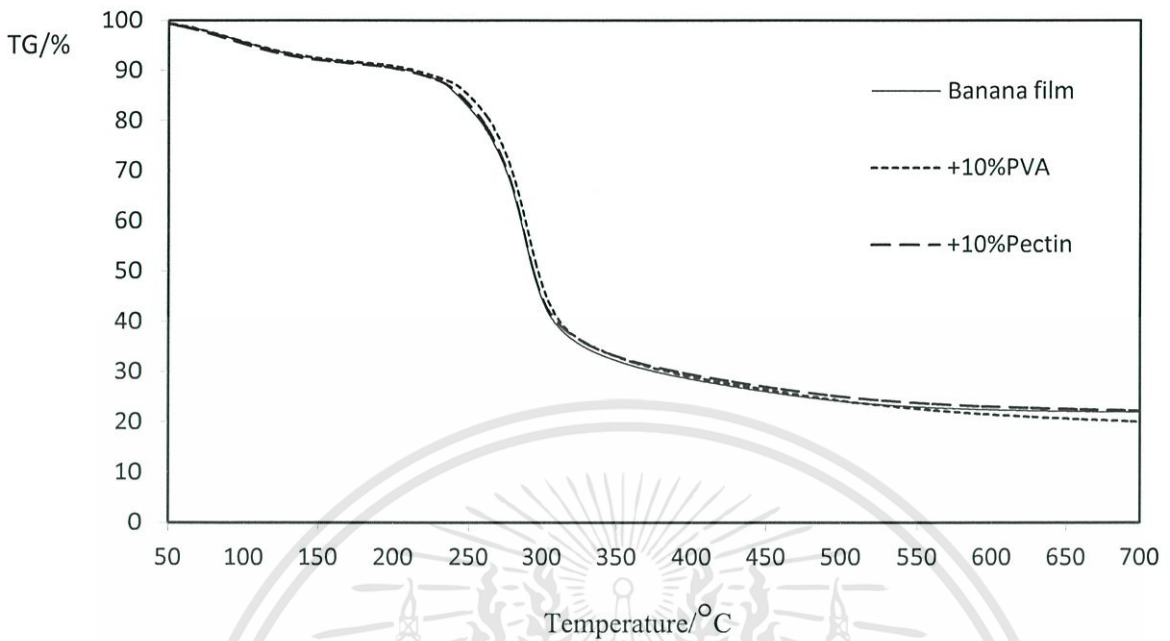
จากรูปที่ 4.17 (ก) - (ค) ความแข็งแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การดึงยืดและโมดูลัสมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกติน ซึ่งค่าความแข็งแรงดึงและโมดูลัสมีค่าสูงสุดที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10% เปรอร์เซ็นต์การดึงยืดมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเพกติน 10% ส่วนที่อัตราส่วนต่างๆ ของฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ให้ค่าแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การดึงยืดและโมดูลัสมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงแต่ต่ำกว่าฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกติน ใดๆอย่างหนึ่ง โดยรวมแล้วสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดได้จากฟิล์มจากแป้งกล้วยที่มีการปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกตินในปริมาณ 10%

#### 4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาถึงอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (Degradation temperature) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้ในช่วง 50 - 700 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีโดยสมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา ได้แก่ การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป (% Weight loss) ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิของการสลายตัวของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่มีการปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกติน

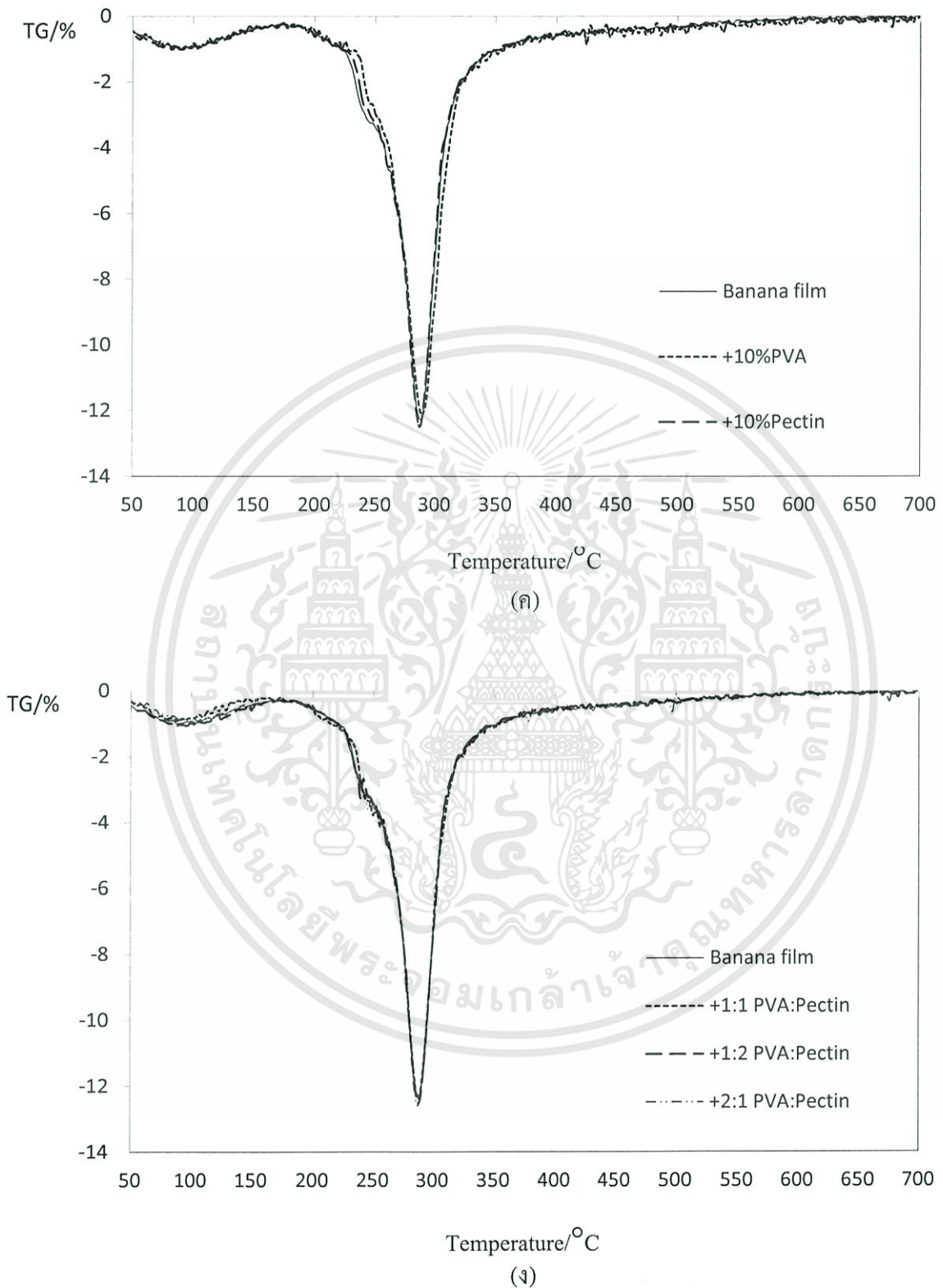
สูตรฟิล์มแป้งกล้วย	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		%Weight loss
	Onset	On peak	
Banana film	262.7	288.3	69.55
+10%PVA	265.0	289.4	71.51
+10%Pectin	263.3	287.6	68.97
+1:1 PVA:Pectin	262.4	288.0	70.28
+1:2 PVA:Pectin	263.5	288.2	69.08
+2:1 PVA:Pectin	262.6	287.7	70.84



(ข)

รูปที่ 4.18 (ก) และ (ข) TGA ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



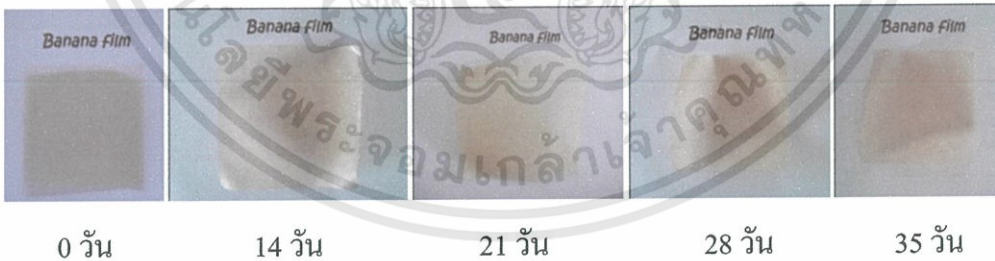
รูปที่ 4.19 (ค) และ (ง) DTG ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

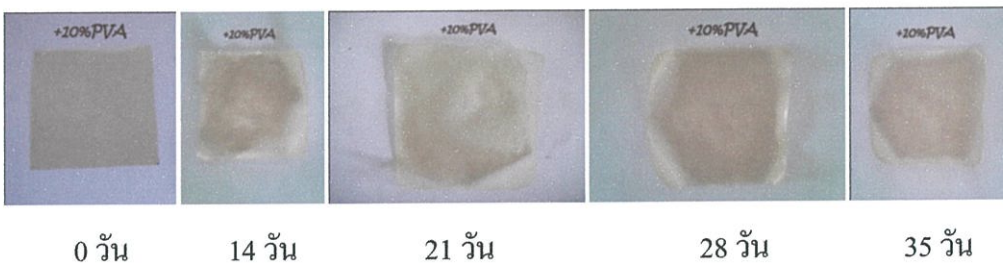
จากรูปที่ 4.18 – 4.19 แสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเพคตินในปริมาณต่างๆ และตารางที่ 4.5 พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ Onset 262.7 °C, On peak 288.3 °C และเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพคตินลงไป พบว่าแป้งกล้วยมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ Onset 265.0 °C, On peak 289.4 °C และ Onset 263.3 °C, On peak 287.6 °C ตามลำดับ และอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับเพคตินที่ 1:1 1:2 และ 2:1 แป้งกล้วยมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ Onset 262.4 °C, Onset 263.5 °C, Onset 262.6 °C และ On peak 288.0 °C, On peak 288.2 °C, On peak 287.7 °C ตามลำดับ ซึ่งจากเทอร์โมแกรมรูปที่ 4.18 – 4.19 และตารางที่ 4.5 พบว่าการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพคตินลงไปในฟิล์มแป้งกล้วยให้อุณหภูมิการสลายตัวเพียง 1 ช่วงเท่านั้น แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกล้วยกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพคติน นอกจากนี้อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของฟิล์มแป้งกล้วยแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มจากแป้งกล้วยมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงจากการปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ/หรือเพคติน

#### 4.8 สมบัติการย่อยสลาย

สมบัติการย่อยสลายทดสอบได้โดยการฝังดิน โดยนำฟิล์มจากแป้งกล้วยมาฝังดินที่มีความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 และควบคุมความชื้นของดินคงที่ในช่วง 20-30 % เปรียบเทียบน้ำหนักของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป เป็นเวลา 35 วัน

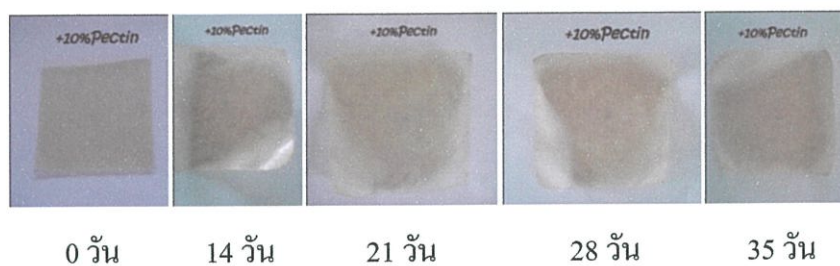


รูปที่ 4.20 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วย

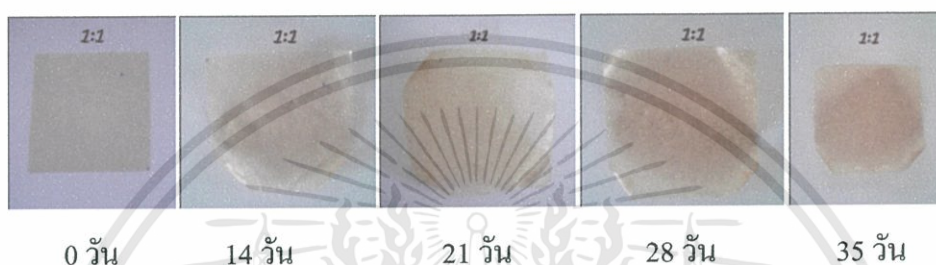


รูปที่ 4.21 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



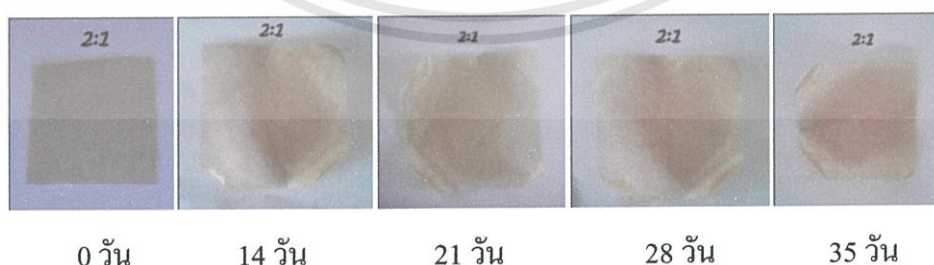
รูปที่ 4.22 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 10%



รูปที่ 4.23 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกติน ในอัตราส่วน 1:1



รูปที่ 4.24 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกติน ในอัตราส่วน 1:2



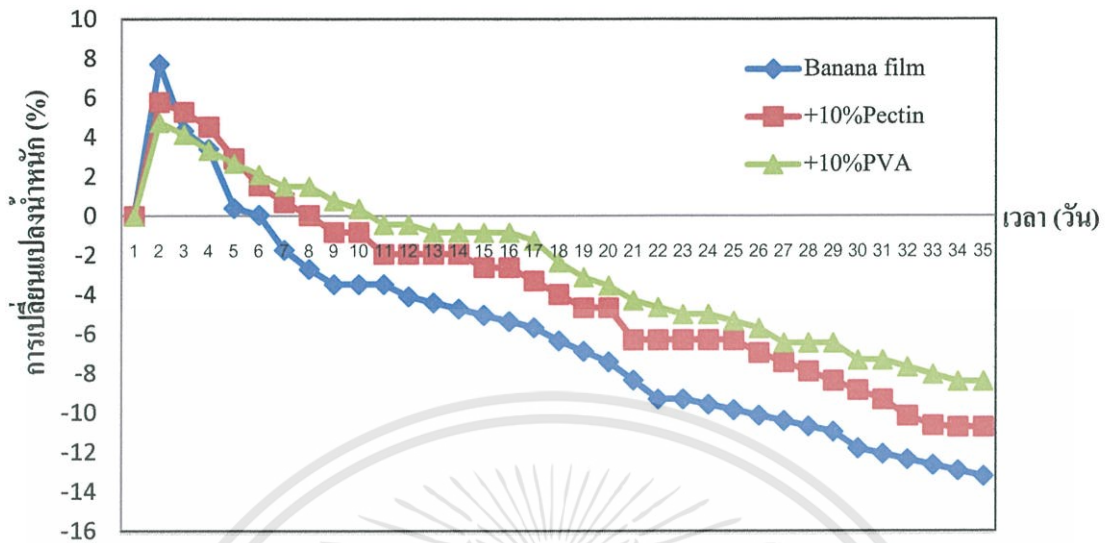
รูปที่ 4.25 การย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกติน ในอัตราส่วน 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

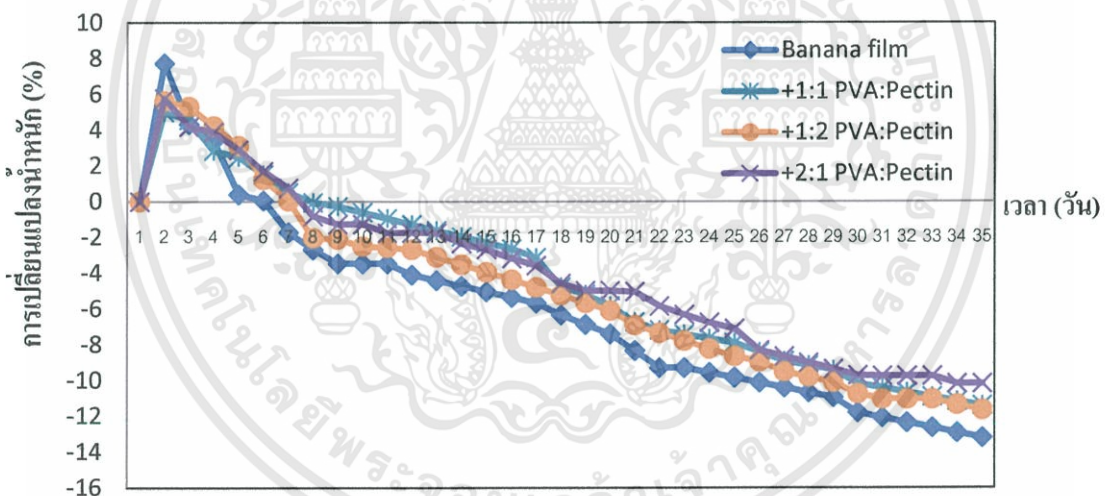
ตารางที่ 4.6 ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ได้หลังจากทำการฝังดิน

แผ่นฟิล์ม	ลักษณะของฟิล์มจากแป้งกล้วย
Banana film	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดิน เกิดการโค้งงอ เมื่อผ่านไป 14 วัน 21วัน 28 วัน และ 35 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดินมากขึ้น โค้งงอมากขึ้น
+10%PVA	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดิน เกิดการโค้งงอ เมื่อผ่านไป 14 วัน 21วัน 28 วัน และ 35 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดินมากขึ้น โค้งงอมากขึ้น
+10%Pectin	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดิน เกิดการโค้งงอ เมื่อผ่านไป 14 วัน 21วัน 28 วัน และ 35 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดินมากขึ้น โค้งงอมากขึ้น
+1:1 PVA:Pectin	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดิน เกิดการโค้งงอ เมื่อผ่านไป 14 วัน 21วัน 28 วัน และ 35 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดินมากขึ้น โค้งงอมากขึ้น
+1:2 PVA:Pectin	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดิน เกิดการโค้งงอ เมื่อผ่านไป 14 วัน 21วัน 28 วัน และ 35 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดินมากขึ้น โค้งงอมากขึ้น
+2:1 PVA:Pectin	เมื่อผ่าน ไป 7 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดิน เกิดการโค้งงอ เมื่อผ่านไป 14 วัน 21วัน 28 วัน และ 35 วัน ฟิล์มเกิดรอยกดทับของดินมากขึ้น โค้งงอมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.26 (ก) และ (ข) กราฟแสดงการย่อยสลายของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากการทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดิน พบว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยทุกสูตรมีแนวโน้มการย่อยสลายที่เหมือนกัน กล่าวคือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการฝังดิน เนื่องจากฟิล์มแป้งกล้วยมีการดูดความชื้นมาจากดินและผงฝุ่นดินที่เข้าไปอยู่ตามรูพรุนที่พื้นผิวของแผ่นฟิล์ม จากรูปที่ 4.26 (ก) พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือเพกติน มีการดูดความชื้นได้ดี เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง น้ำหนักที่สูง และในช่วงหลังเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดการย่อยสลายโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในดิน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์ม จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินพบว่าฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยเพกติน ย่อยสลายได้เร็วกว่าฟิล์มที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของ เพกตินมีหมู่  $-COOH$  ที่มีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินเกิดการย่อย สลายได้ช้ากว่าฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่น้อยกว่า จากงานวิจัยนี้พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงเกิดการย่อยสลายรวดเร็วที่สุด และฟิล์ม จากแป้งกล้วยที่เติม 2:1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินทำให้การย่อยสลายช้าที่สุด



## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

1. จากการศึกษาสมบัติด้านการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด พบว่ามีแถบการดูดกลืน ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching Shift ไปที่ตำแหน่งเลขคลื่นลดลง แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นมาใหม่ จากการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ/หรือเพกตินลงในฟิล์มจากแป้งกล้วย
2. จากการศึกษาสมบัติด้านการดูดซับน้ำ พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุง ดูดซับน้ำได้มากที่สุด และฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินด้วยอัตราส่วน 2:1 ดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด
3. จากการศึกษาสมบัติการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) พบว่า โครงสร้างผลึกของฟิล์มในทุกสูตร มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ  $V_H$ -type และการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินทำให้ความเป็นผลึกของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
4. จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินลงในฟิล์มจากแป้งกล้วยแสดงความเข้ากันได้ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพกติน แป้งกล้วย โดยสูตรที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินด้วยอัตราส่วน 2:1 มีผิวเรียบที่สุด
5. จากการศึกษาสมบัติด้านสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 10% ให้ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีค่าสูงที่สุด เช่นเดียวกับเมื่อปริมาณเพกตินเป็น 10% ส่วนที่อัตราส่วนต่างๆ ของฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินมีค่าแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืดและมอดุลัสมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุง แต่ต่ำกว่าฟิล์มแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเพกตินในปริมาณ 10%
6. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งกล้วยแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินลงไปในฟิล์มแป้งกล้วยพบอุณหภูมิการสลายตัวเพียง 1 ช่วงเท่านั้น แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกล้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน

7. จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายด้วยการฝังดิน พบว่า फिल्मจากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงเกิดการย่อยสลายรวดเร็วที่สุด และ फिल्मจากแป้งกล้วยที่เติม 2:1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกตินทำให้การย่อยสลายช้าที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมและทดสอบ फिल्मจากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุงสมบัติของ फिल्मแป้งกล้วยโดยใช้พอลิเมอร์จากธรรมชาติชนิดอื่น เช่น วุ้น
2. ศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยง เช่น กลูตารอลดีไฮด์ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของ फिल्म เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับ फिल्मจากแป้งกล้วย



## เอกสารอ้างอิง

- [1] พชรินทร์ โคตรสุวรรณ, พินทุอร พวงมาลี และพนิดา เจริญสุข. “ฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย.”, โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.
- [2] <http://www.school.net.th/library/snet6/envi4/recycle/re.htm> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [3] <http://www.industrial.cmru.ac.th/Civil/wechsawan/materials/ch08/ch08.htm> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [4] [http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable\\_plastic/type\\_and\\_usage\\_plas.html](http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_and_usage_plas.html) (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [5] [http://guru.sanook.com/enc\\_preview.php?id=3086](http://guru.sanook.com/enc_preview.php?id=3086) (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [6] <http://www.ussupplyamenity.com/newproducts02.html> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [7] [http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable\\_plastic/usage\\_de\\_plas.html](http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/usage_de_plas.html) (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [8] [http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable\\_plastic/type\\_de\\_plas.html](http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html) (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [9] <http://www.learners.in.th/blog/biochem/172505> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [10] <http://gumunbah.pbworks.com/w/page/8665289/7> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [11] <http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/unit502.html> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [12] <http://guru.sanook.com/encyclopedia/กล้วย/> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [12] กรมส่งเสริมวิชาการเกษตร. “สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2535/2536 ถึง 2543/44 กรุงเทพฯ.”, ฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544.
- [13] <http://guru.sanook.com/encyclopedia/ประโยชน์ของกล้วย/> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ. “กล้วยไทยสุปี 2000.”, กรุงเทพฯ กรมส่งเสริมการเกษตร. เอกสารประกอบการสัมมนา, 2542.
- [14] K. Kayisu and L. F Hood . “Molecular structure of banana starch.”, Journal of Food Science, 46 (1988) 1894-1897.
- [15] C. K. Lii , S. M. Chang and Y. L. Young. “Investigation of the Physical and Chemical Properties of Banana starches.”, Journal of Food Science, 47 (1982) 1493-1497.
- [16] สุภารัตน์ อินทรชื่น. “การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย.”, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [17] ญาณิศา รัตอากา, วิภา สุโรจนะเมธากุล, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ตวิษา โลหะนะ, ไพลิน ผู้พัฒนาและวารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งกล้วย.”, วารสารอาหาร, 23 (3) (2536) 197-208.
- [18] วลัย หุตะโกวิท, บุษรา สร้อยระย้า, ดวงแข สุขโข, เฟื่องฟ้า เมฆเกรียงไกร, รัมภา สุวรรณพฤกษ์, จุฑา วิริยะ และวิไลลักษณ์ สุทธา “กล้วยไทยสุปี 2000.”, กรุงเทพฯ กรมส่งเสริม การเกษตร เอกสารประกอบการสัมมนา. 2542.
- [19] อรุษา สรวารี “สารเติมแต่งพอลิเมอร์เล่ม1.”, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- [20] พรศักดิ์ ศรีอมรสักดิ์. “พอลิเมอร์ชีวภาพทางเภสัชกรรม:เพกติน.”, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัย ศิลปากรหน้า . 188, 2551
- [21] [http://siweb.dss.go.th/information/FAQ/search\\_FAQ.asp?QA\\_ID=161](http://siweb.dss.go.th/information/FAQ/search_FAQ.asp?QA_ID=161) (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [22] <http://www.mtec.or.th/laboratory/mech/index.php/knowledge/43-2009-06-25-03-17-43> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554)
- [22] <http://www.vcharkarn.com/vcafe/43876> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2554)
- [23] เกศศิณี ตระกูลทิวากร, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญศิริกุล และสมยศ จรรยาวิลาส. “การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง.”, วารสารอาหาร, 26 (2529) 249-262.
- [24] 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.

- [25] K. Waliszewska, M. A. Aparicio, L. A. Bello, J. A. Monroy. **“Changes of banana starch by chemical and physical modification.”**, Carbohydrate Polymers, 52 (2003) 237–242.
- [26] A. Dimantov, E. Kesselman, E. Shimoni. **“Surface characterization and dissolution properties of high amylose corn starch–pectin coatings.”**, Original Research Article Food Hydrocolloids, 18 (2004) 29-37.
- [27] R. Shi . Q .Liu , T . Ding ,Y. Han ,L. Zhang , D.Chan and W.Tian. **“Ageing of soft Thermoplastic Starch with High Glycerol Content.”**, Journal of Applied Polymer Science, 103 (2007) 574-586.
- [28] R. Sothornvit and N. Pitak. **“Oxygen permeability and mechanical properties of banana films.”**, Food Research International, 40 (3) (2007) 365-370.
- [29] J. N. BeMiller and R.L. Whistler. **“ Starch : chemistry and technology”** , 3<sup>rd</sup> ed., Academic Press, New York, 2009.
- [30] A. Pawlak and M. Mucha, **“Thermogravimetric and FTIR studies of chitosan blends.”**, Thermochemica Acta, 396 (2003) 153.
- [31] รัตนา รุจิรวนิช, **“การศึกษาผลของการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิแลคติกแอซิดและพอลิคาโพรแลกโตนที่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลและความสามารถในการต้านทานความชื้นของคอมโพสิตโฟมที่มีเป่ามันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลัก.”**, รายงานผลการวิจัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [32] K . N. Waliszewski , M. A. Aparicio, L. A. Bello and J.A. Monroy. **“Changes of banana starch by chemical and physical modification.”**, Carbohydrate Polymers, 52 (2003) 237-242.



# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

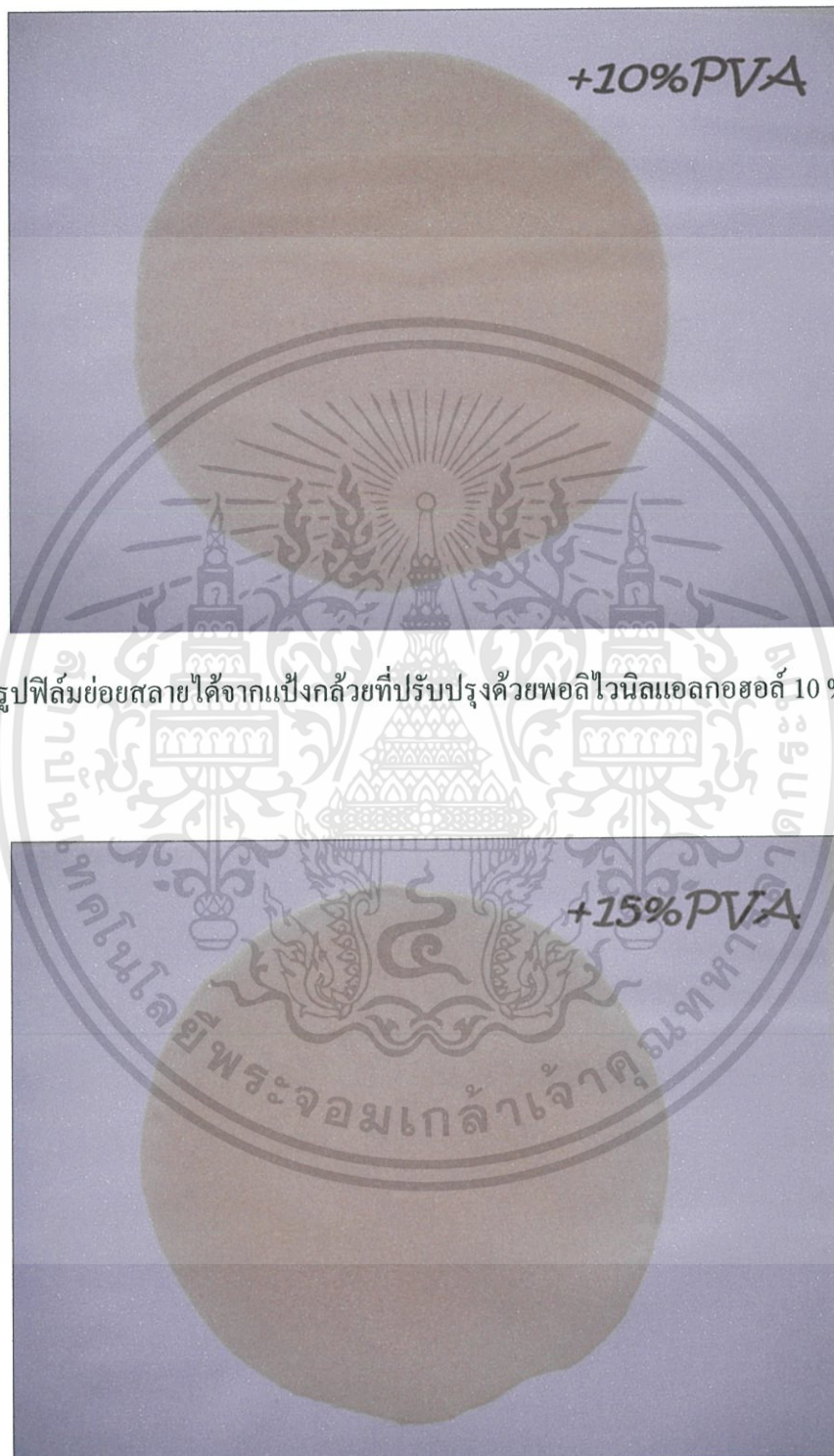


รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

+5%PVA

รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %

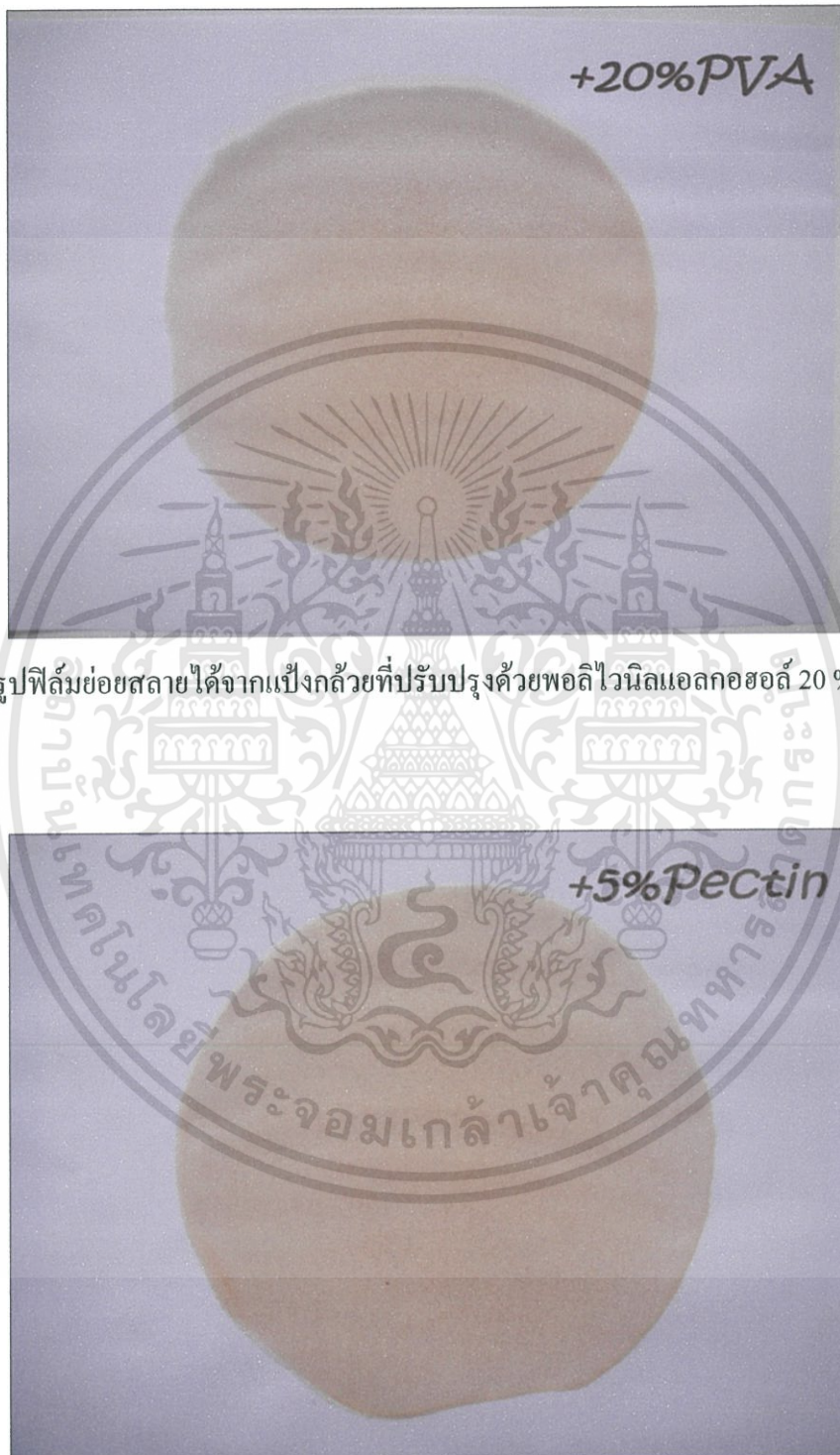
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %

รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 %

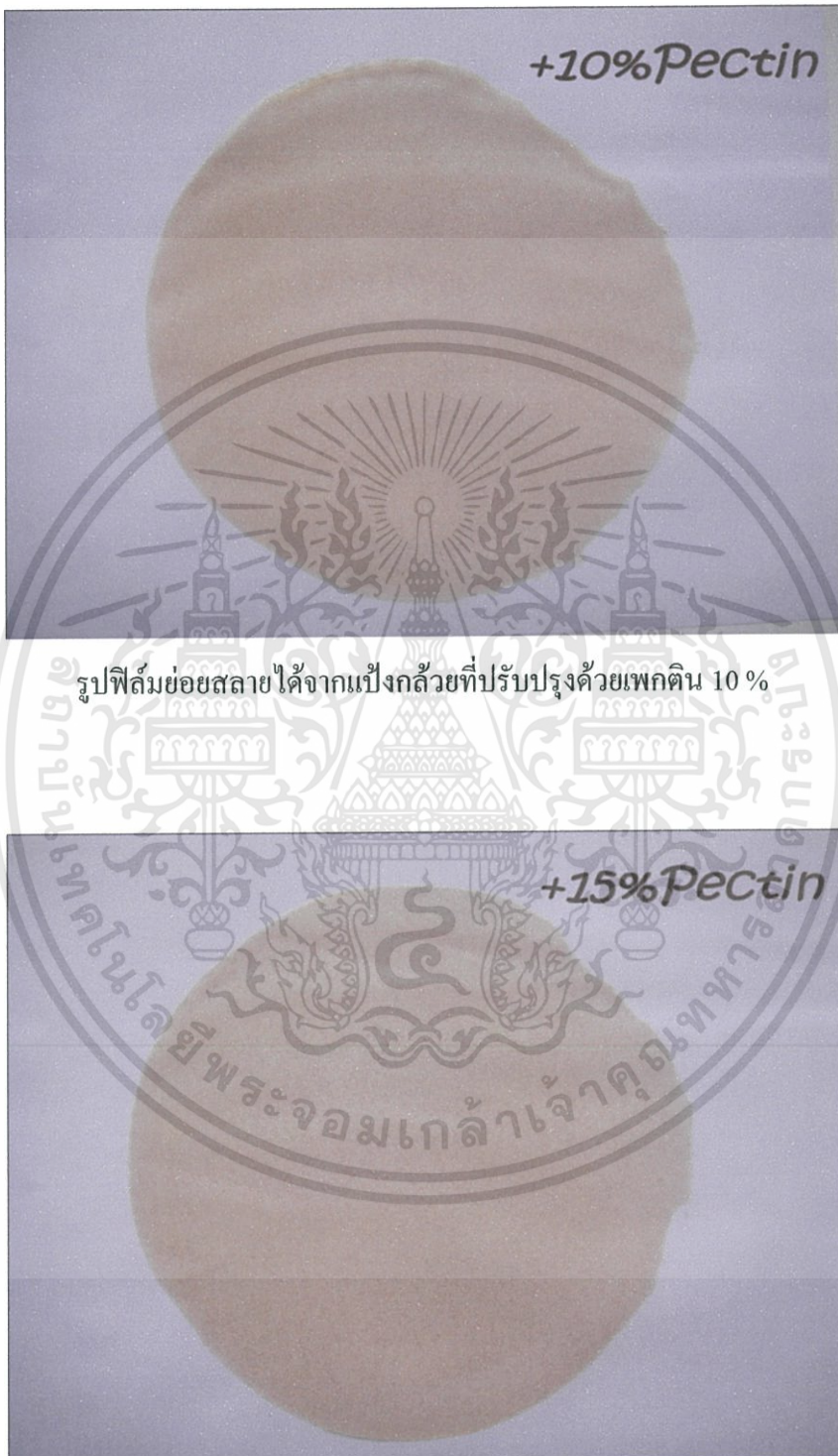
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปฟิล์มข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 %

รูปฟิล์มข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 5 %

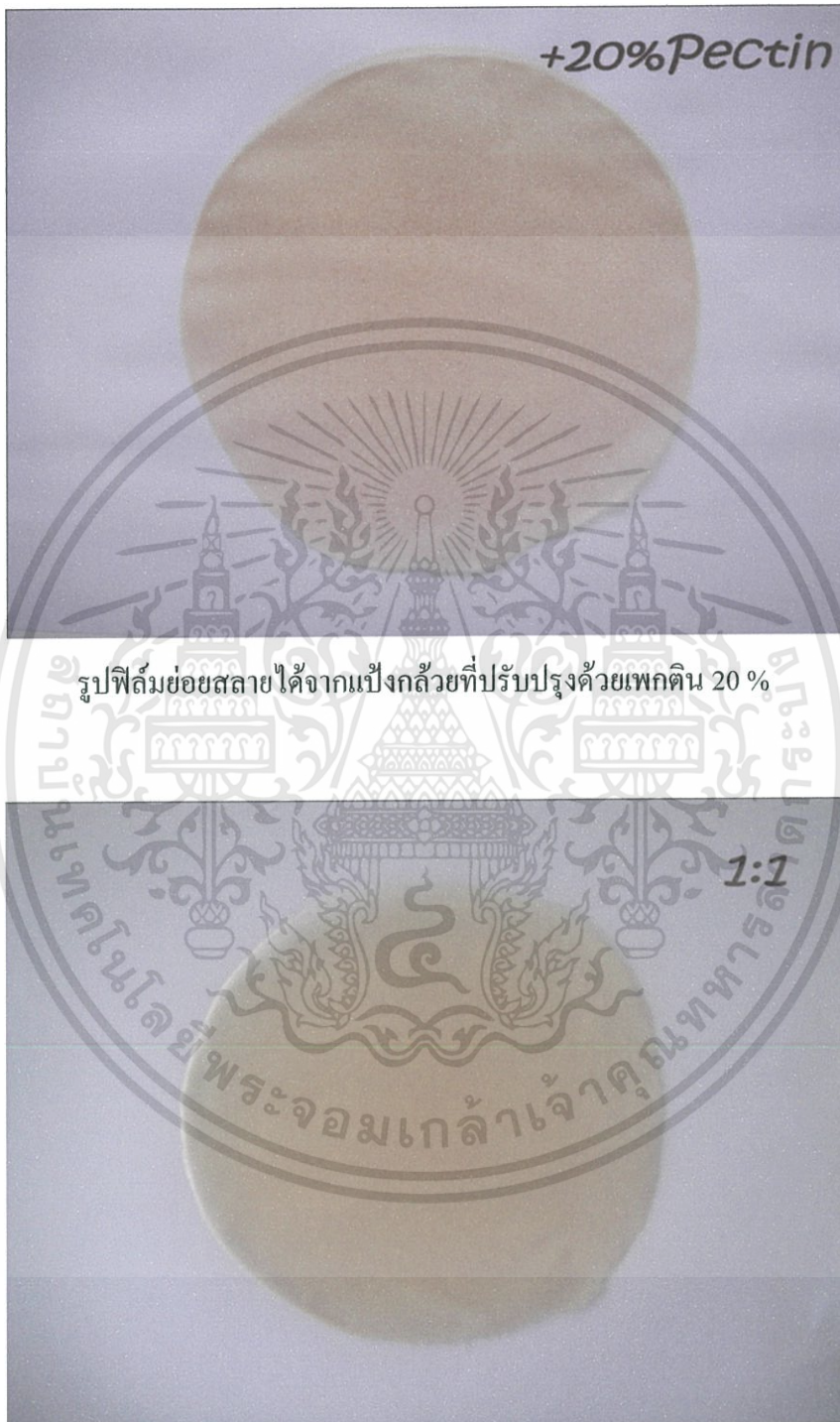
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 10 %

รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 15 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 20 %

1:1

รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ในอัตราส่วน 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ในอัตราส่วน 1:2



รูปฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ในอัตราส่วน 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ตารางแสดงอัตราส่วนของน้ำ แป้งกล้วย กลิเซอรอล และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

สูตร	แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายพอลิ ไวนิลแอลกอฮอล์		ลักษณะทางกายภาพ
				(กรัม)	(%)	
1	3.00	0.60	60	0.00	0	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียว มีสีน้ำตาลเข้มที่สุด
2	2.85	0.57	57	0.15	5	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนลงเล็กน้อย
3	2.70	0.54	54	0.30	10	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อนลงกว่าสูตรที่ 2
4	2.55	0.51	51	0.45	15	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อนลงกว่าสูตรที่ 3
5	2.40	0.48	48	0.60	20	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนลงกว่าสูตรที่ 4 มีความใสมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงอัตราส่วนของน้ำ แป้งกล้วย กลีเซอรอล และสารละลายเพกติน ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

สูตร	แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายเพกติน		ลักษณะทางกายภาพ
				(กรัม)	(%)	
6	2.85	0.57	57	0.15	5	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนลงนิดหน่อย
7	2.70	0.54	54	0.30	10	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อนลงกว่าสูตรที่ 6
8	2.55	0.51	51	0.45	15	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อนลงกว่าสูตรที่ 7
9	2.40	0.48	48	0.60	20	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนลงกว่าสูตรที่ 8 มีความใสมากที่สุด

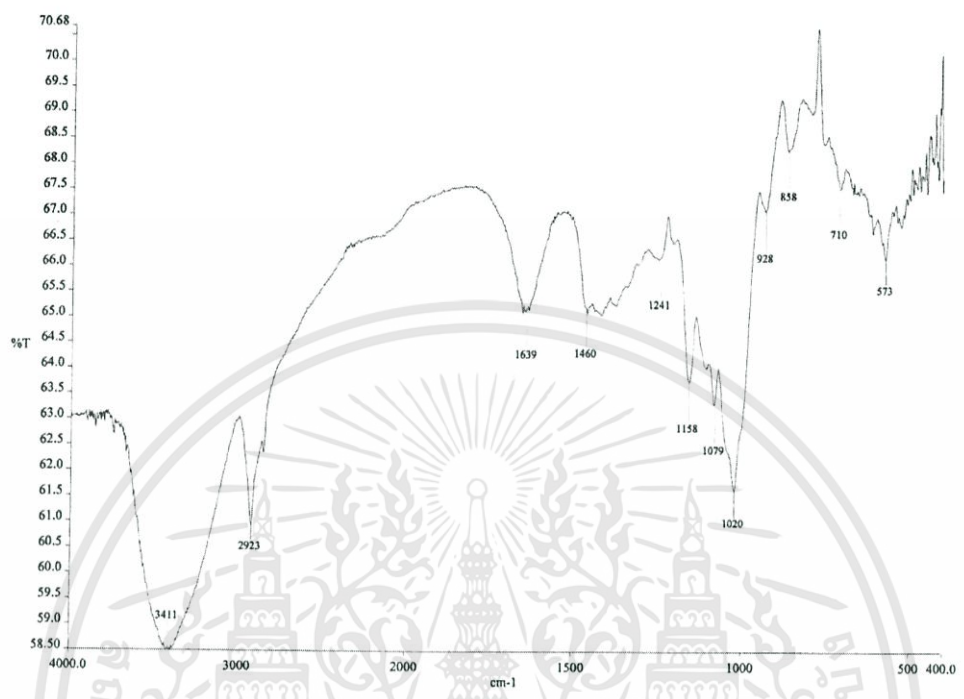
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงอัตราส่วนของน้ำ แป้งกล้วย กลีเซอรอล พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

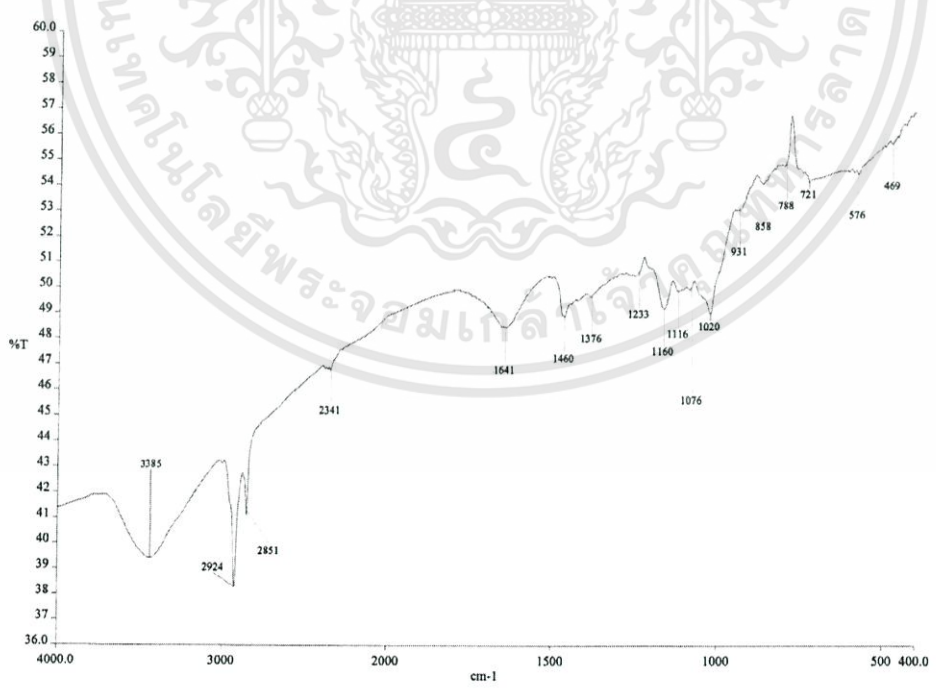
สูตร	แป้งกล้วย (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำ (กรัม)	ปริมาณของพอลิ ไวนิลแอลกอฮอล์ และเพกติน		ลักษณะทางกายภาพ
				(กรัม)	(กรัม)	
10	2.70	0.54	54	0.15	0.15	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนลง
11	2.70	0.54	54	0.10	0.20	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีสี น้ำตาลอ่อนลง
12	2.70	0.54	54	0.20	0.10	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีสี น้ำตาลอ่อนลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ค

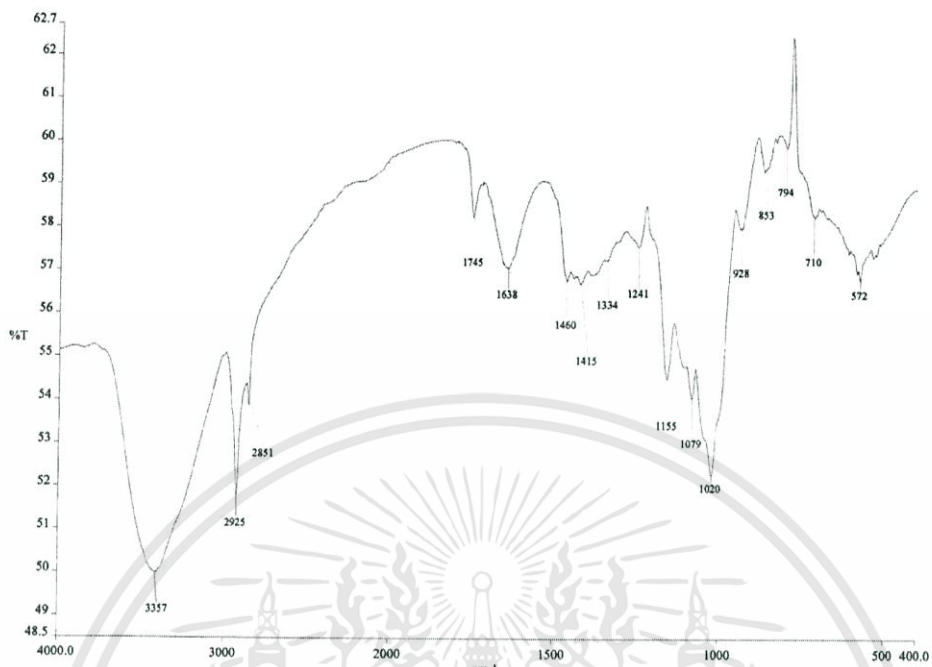


อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

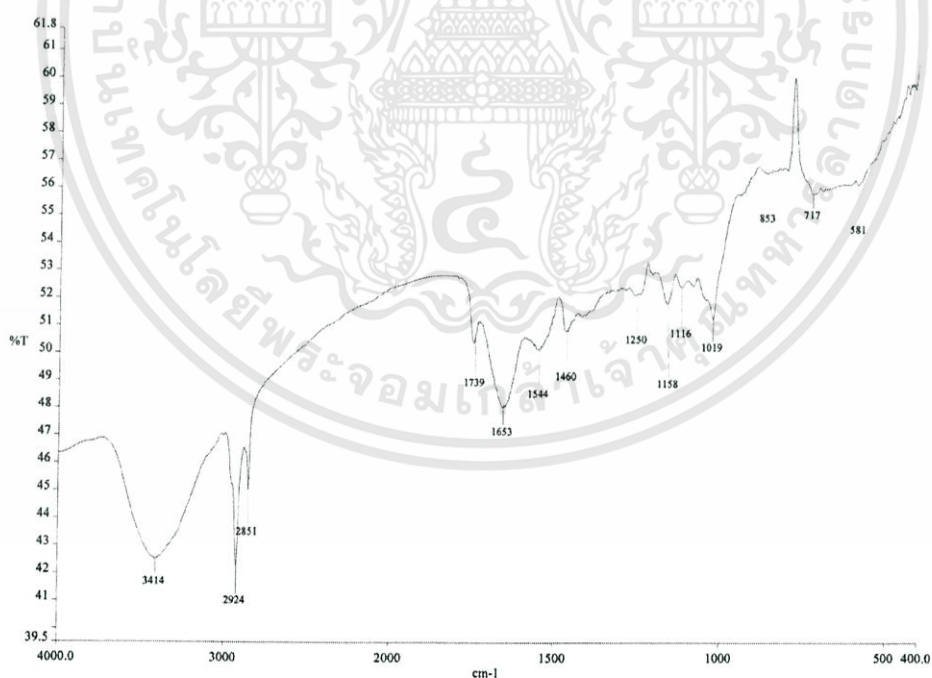


อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

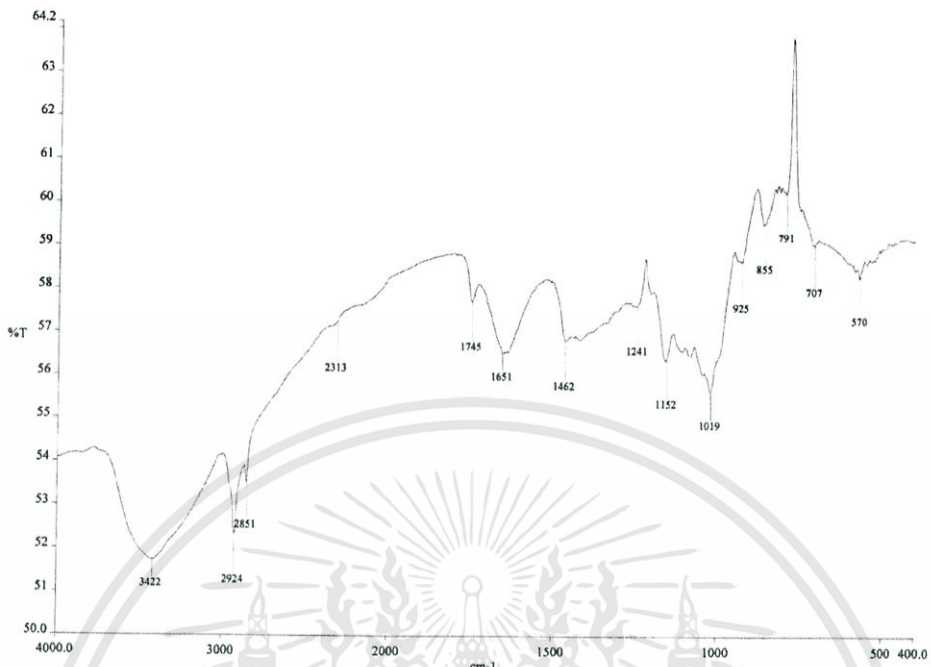


อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 10 %

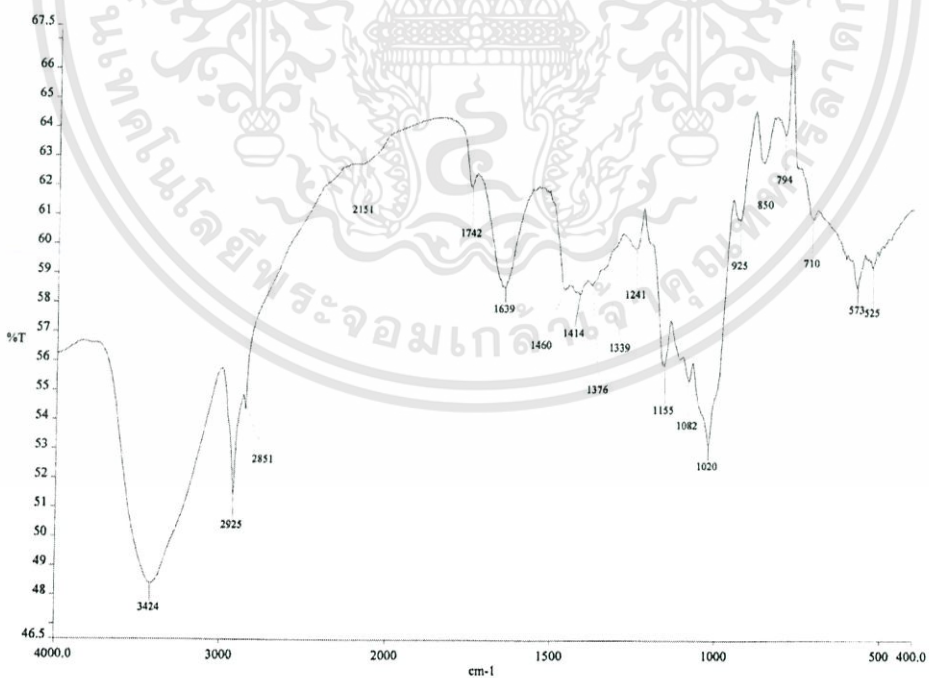


อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อเพกติน ในอัตราส่วน 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อ  
เพกติน ในอัตราส่วน 1:2



อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อ  
เพกติน ในอัตราส่วน 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

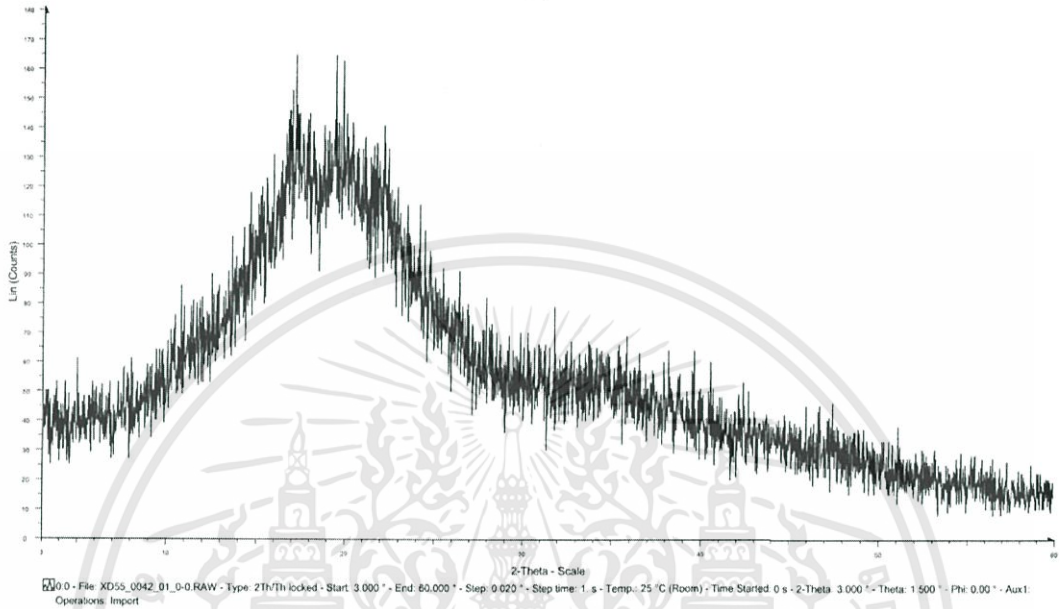
## ภาคผนวก ง

ตารางแสดง เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 100% RH ของฟิล์มย่อยสลายได้ จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสาโพสไล์ไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในปริมาณต่างๆ

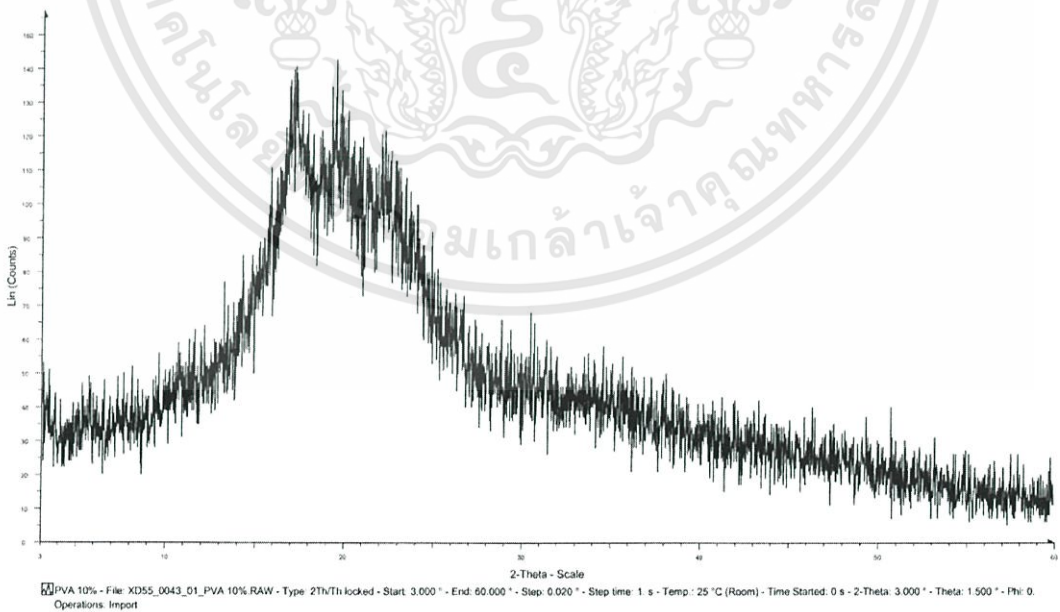
วันที่	Banana film	+10%PVA	+10%Pectin	+1:1 PVA:Pectin	+1:2 PVA:Pectin	+2:1 PVA:Pectin
0	0	0	0	0	0	0
1	22.41	20.31	21.31	15.99	17.84	16.74
2	24.92	22.16	23.31	20.38	22.44	19.66
3	25.27	22.24	23.75	22.22	23.81	21.74
4	26.24	23.87	24.70	22.88	24.41	22.33
5	25.94	23.68	24.66	23.13	24.32	22.24
6	25.50	23.38	24.54	23.19	23.83	22.28
7	25.79	23.76	24.75	22.99	24.00	22.35
8	26.19	24.17	25.19	23.06	24.28	22.24
9	26.17	24.03	24.73	23.13	24.45	22.38
10	25.81	23.88	24.84	23.30	24.42	22.43
11	25.71	23.91	24.63	23.31	24.61	22.54
12	26.15	24.10	24.96	23.13	24.79	22.62
13	26.20	23.92	24.85	23.06	24.57	22.86
14	26.22	24.20	25.03	23.12	24.52	22.76
15	26.22	23.82	24.71	23.17	24.42	22.67
16	26.09	24.01	25.09	23.34	24.73	22.83
17	26.10	24.38	25.15	23.28	24.77	22.76
18	26.18	24.43	25.28	23.39	24.69	22.67
19	26.25	24.37	25.38	23.47	24.73	23.06
20	26.25	24.41	25.28	23.56	24.76	23.09
21	26.38	24.61	25.40	23.30	24.88	23.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

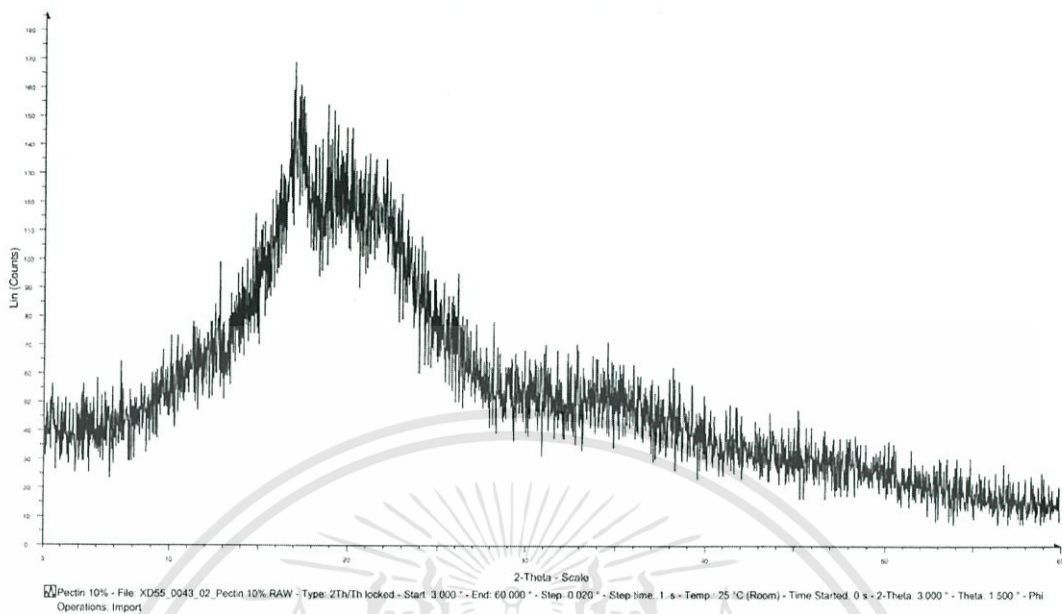


รูปแสดงดิฟแฟร็กโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

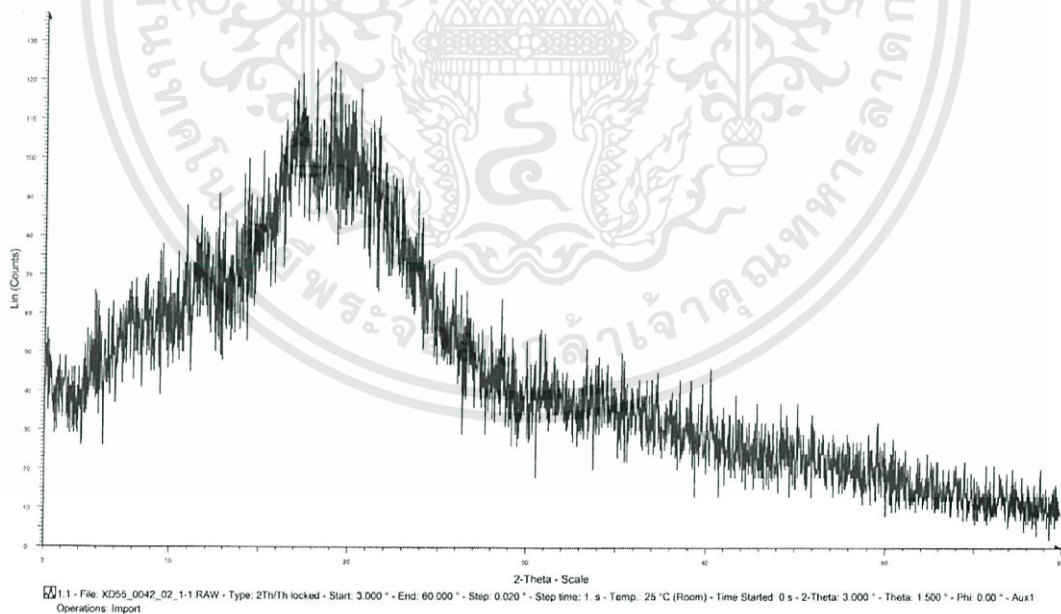


รูปแสดงดิฟแฟร็กโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

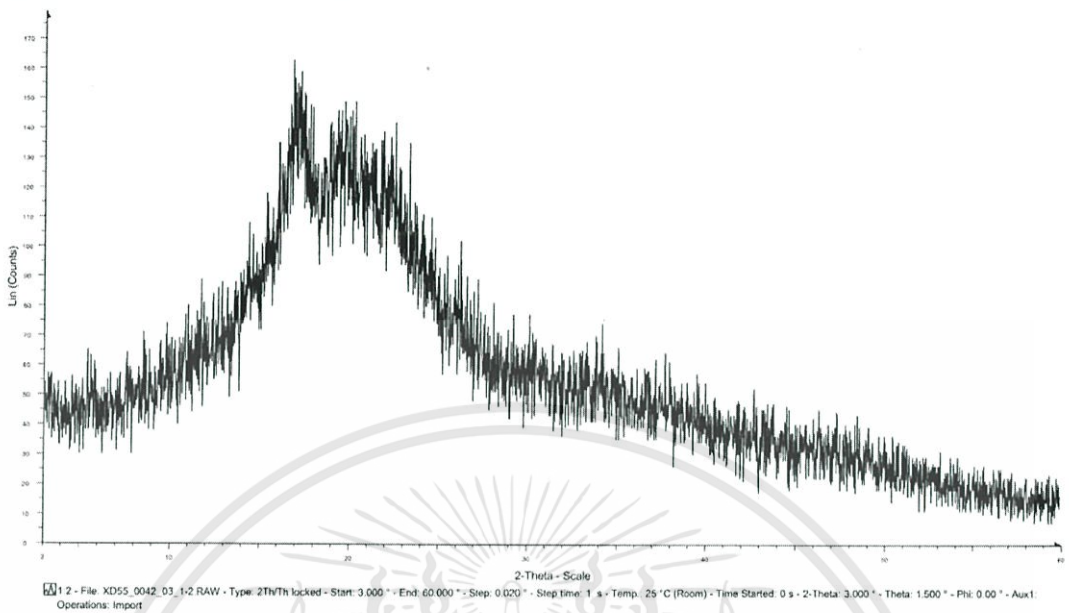


รูปแสดงดิฟแฟรคโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพกติน 10 %

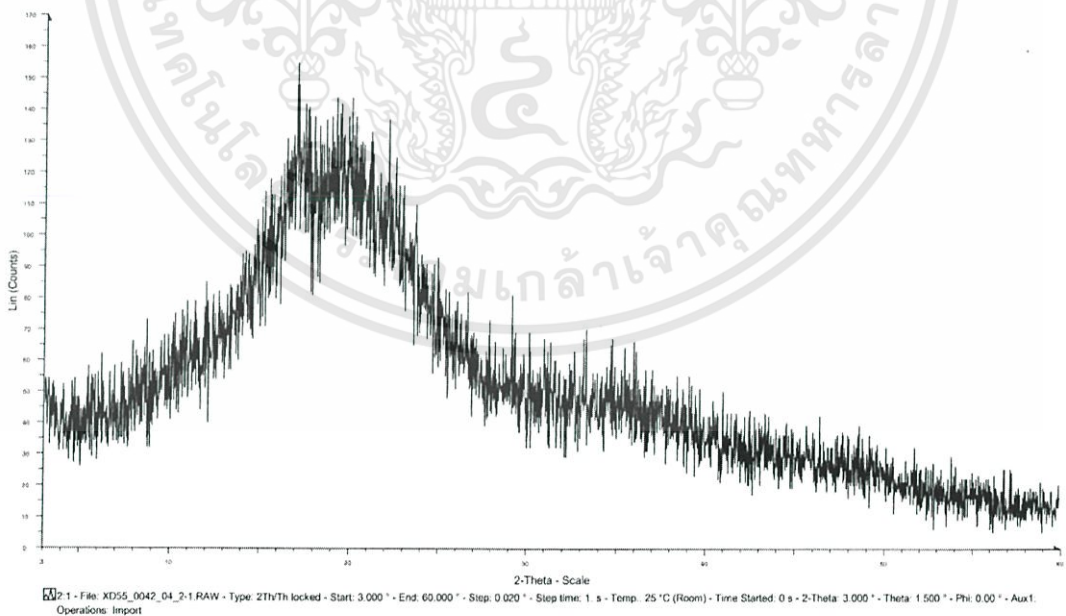


รูปแสดงดิฟแฟรคโตแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ต่อเพกติน ในอัตราส่วน 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงดิฟแฟร็กโทแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์  
ต่อเพกติน ในอัตราส่วน 1:2



รูปแสดงดิฟแฟร็กโทแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์  
ต่อเพกติน ในอัตราส่วน 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ

### แรงดึง

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Max load (N)
0 %	8.61 ± 0.63
5%	13.58 ± 1.60
10%	15.11 ± 1.39
15%	11.73 ± 1.62
20%	9.03 ± 1.01

### ความแข็งแรงดึง

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Stress at max load (MPa)
0 %	4.42 ± 0.22
5%	5.83 ± 0.77
10%	6.95 ± 0.55
15%	5.43 ± 0.72
20%	4.78 ± 0.68

### มอดุลัส

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Young 's Modulus (MPa)
0 %	77.33 ± 6.50
5%	181.63 ± 26.11
10%	276.29 ± 44.44
15%	184.69 ± 32.83
20%	122.34 ± 27.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การดึงยืด

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Extension at max load (mm)
0 %	18.07 ± 1.72
5%	16.35 ± 1.48
10%	16.44 ± 2.29
15%	18.87 ± 2.05
20%	20.52 ± 1.94

## เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (%)	Strain at max load (%)
0 %	36.92 ± 4.95
5%	35.71 ± 4.41
10%	35.40 ± 1.30
15%	38.08 ± 4.10
20%	41.69 ± 4.63

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยผสมสารละลายเพกตินปริมาณต่างๆ

## แรงดึง

เพกติน (%)	Max load (N)
0 %	8.61 ± 0.63
5%	10.95 ± 1.69
10%	13.81 ± 1.21
15%	13.13 ± 1.05
20%	11.08 ± 1.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงดึง

เพกติน (%)	Stress at max load (MPa)
0 %	$4.42 \pm 0.22$
5%	$6.20 \pm 0.50$
10%	$6.80 \pm 0.47$
15%	$6.95 \pm 0.42$
20%	$5.01 \pm 0.63$

มอดูลัส

เพกติน (%)	Young 's Modulus (MPa)
0 %	$77.33 \pm 6.51$
5%	$192.71 \pm 27.67$
10%	$315.03 \pm 28.86$
15%	$306.37 \pm 26.95$
20%	$109.87 \pm 11.82$

การดึงยืด

เพกติน (%)	Extension at max load (mm)
0 %	$18.07 \pm 2.72$
5%	$25.82 \pm 1.71$
10%	$26.61 \pm 2.54$
15%	$25.56 \pm 1.40$
20%	$26.09 \pm 2.33$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เปอร์เซ็นต์การดึงยึด

เพกติน (%)	Strain at max load (%)
0 %	$36.92 \pm 4.95$
5%	$51.63 \pm 3.42$
10%	$53.22 \pm 5.08$
15%	$51.12 \pm 2.80$
20%	$52.18 \pm 4.66$

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกตินในอัตราส่วนต่างๆ

## แรงดึง

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	Max load (N)
1:1	$10.59 \pm 1.59$
1:2	$7.54 \pm 1.22$
2:1	$7.97 \pm 0.59$

## ความแข็งแรงดึง

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	Stress at max load (MPa)
1:1	$4.95 \pm 0.71$
1:2	$4.62 \pm 0.68$
2:1	$5.02 \pm 0.70$

## มอดุลัส

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	Young's Modulus (MPa)
1:1	$90.60 \pm 11.09$
1:2	$112.35 \pm 24.28$
2:1	$112.26 \pm 29.22$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การดึงยืด

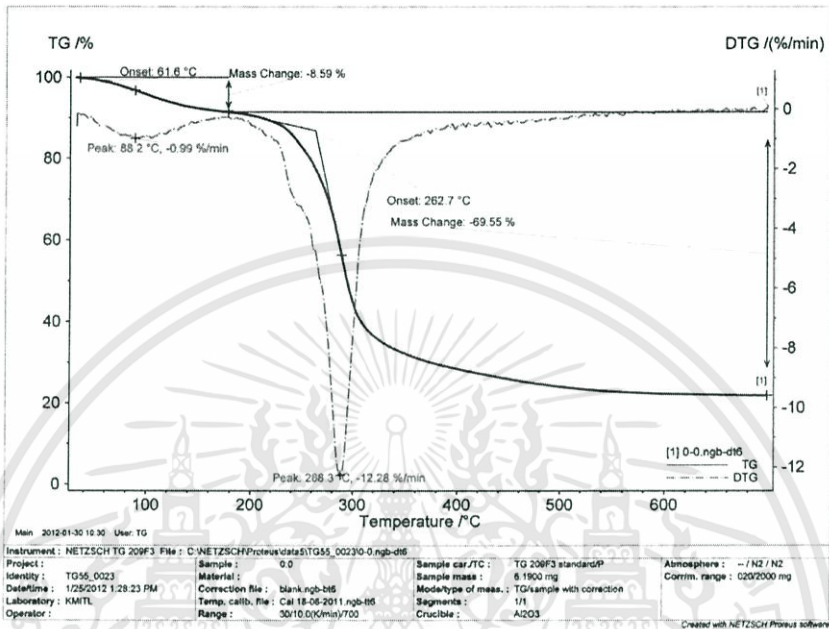
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	Extension at max load (mm)
1:1	24.01 ± 6.81
1:2	19.36 ± 3.18
2:1	19.31 ± 5.58

## เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

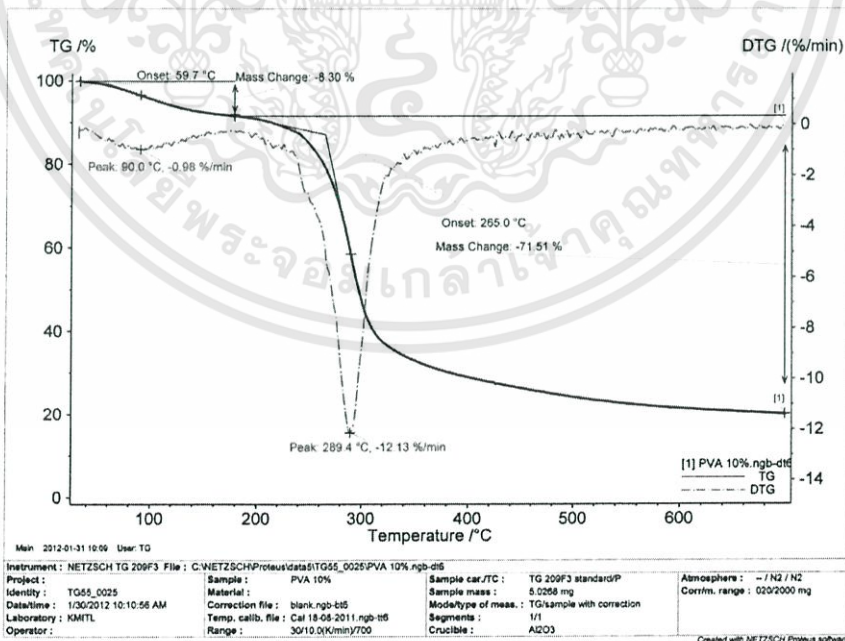
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเพกติน	Strain at max load (%)
1:1	53.31 ± 4.64
1:2	38.72 ± 6.37
2:1	43.46 ± 6.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

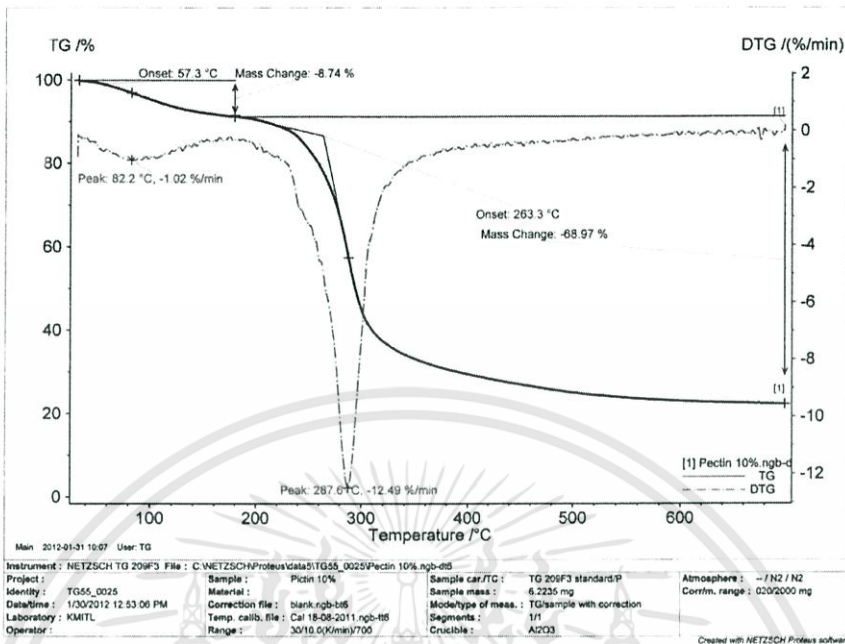


กราฟแสดงเทอร์โมแกรมฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

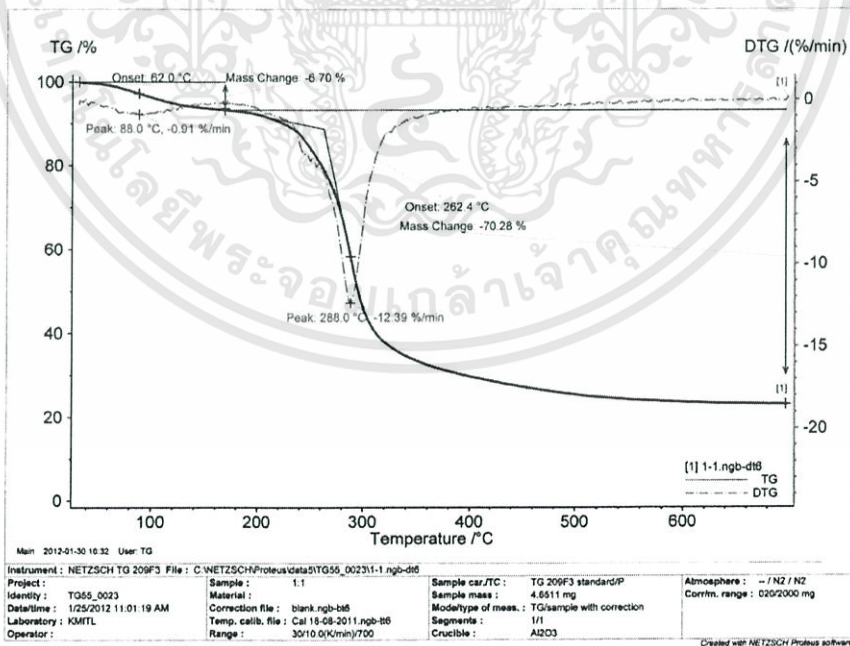


กราฟแสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

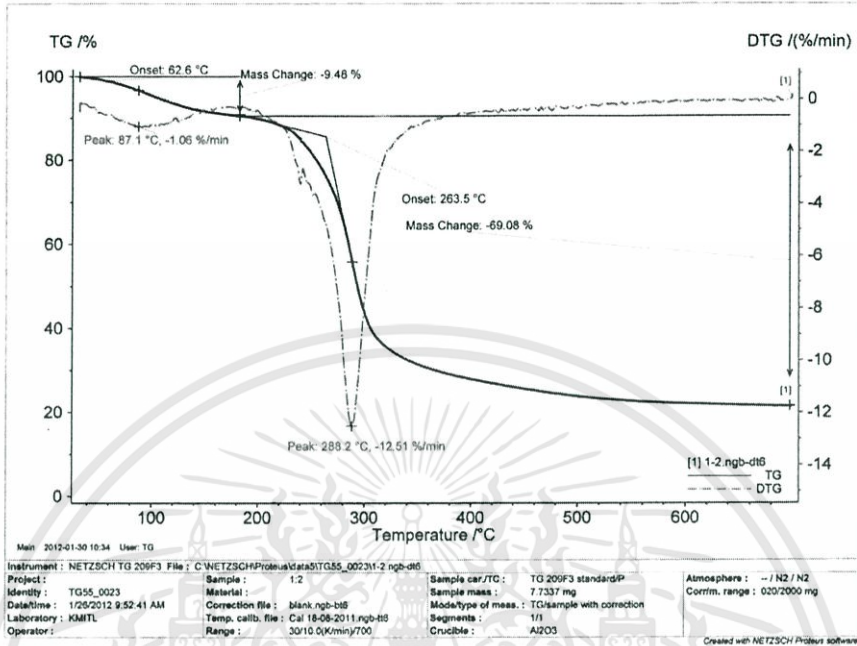


กราฟแสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยเพคติน 10 %

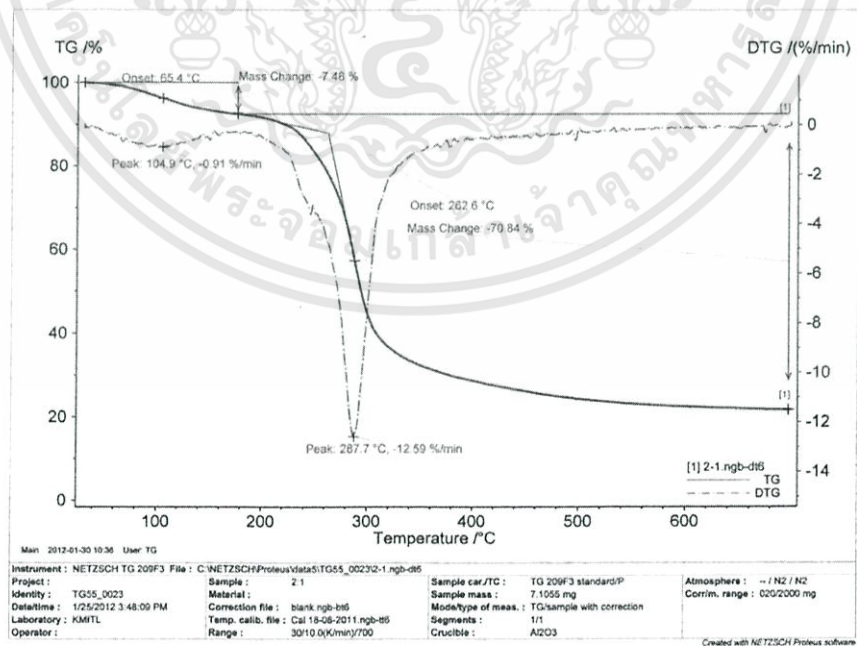


กราฟแสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อเพคติน ในอัตราส่วน 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อเพกติน ในอัตราส่วน 1:1



กราฟแสดงเทอร์โมแกรมของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อเพกติน ในอัตราส่วน 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (%) ของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยด้วย พอลิไวนิล แอลกอฮอล์และเพกติน

วันที่	Banana film	+10%PVA	+10%Pectin	+1:1 PVA:Pectin	+1:2 PVA:Pectin	+2:1 PVA:Pectin
1	0	0	0	0	0	0
2	8.38	4.99	6.14	5.26	5.96	5.96
3	5.09	4.39	5.64	4.84	5.65	4.41
4	4.18	3.58	4.90	3.14	4.57	4.11
5	1.26	2.94	3.31	2.79	3.48	3.12
6	0.92	2.35	1.95	1.81	1.63	1.94
7	-0.83	1.76	1.11	0.83	0.45	1.01
8	-1.80	1.76	0.45	0.27	-1.58	-0.55
9	-2.57	1.03	-0.40	0.05	-1.65	-1.00
10	-2.57	0.64	-0.40	-0.29	-2.05	-1.00
11	-2.57	-0.16	-1.50	-0.62	-2.12	-1.47
12	-3.19	-0.16	-1.50	-0.96	-2.23	-1.47
13	-3.50	-0.57	-1.50	-1.30	-2.65	-1.47
14	-3.81	-0.57	-1.50	-1.64	-3.07	-2.06
15	-4.13	-0.57	-2.17	-1.98	-3.49	-2.38
16	-4.44	-0.57	-2.17	-2.32	-3.91	-2.89
17	-4.76	-0.97	-2.85	-2.80	-4.34	-3.29
18	-5.42	-2.06	-3.52	-4.41	-4.76	-4.28
19	-5.95	-2.81	-4.21	-4.84	-5.19	-4.69
20	-6.49	-3.24	-4.21	-5.47	-5.62	-4.69
21	-7.40	-3.99	-5.81	-6.36	-6.43	-4.73
22	-8.35	-4.34	-5.81	-6.81	-6.87	-5.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	Banana film	+10%PVA	+10%Pectin	+1:1 PVA:Pectin	+1:2 PVA:Pectin	+2:1 PVA:Pectin
23	-8.35	-4.69	-5.81	-7.05	-7.31	-6.01
24	-8.63	-4.69	-5.81	-7.29	-7.75	-6.46
25	-8.90	-5.04	-5.81	-7.53	-8.16	-6.80
26	-9.18	-5.39	-6.46	-8.03	-8.46	-7.99
27	-9.45	-6.13	-6.93	-8.54	-9.02	-8.34
28	-9.73	-6.13	-7.40	-8.78	-9.32	-8.69
29	-10.01	-6.13	-7.88	-9.03	-9.62	-9.04
30	-10.85	-6.99	-8.35	-9.79	-10.25	-9.39
31	-11.13	-6.99	-8.83	-10.03	-10.55	-9.42
32	-11.41	-7.35	-9.64	-10.28	-10.55	-9.42
33	-11.69	-7.71	-10.13	-10.53	-10.55	-9.42
34	-11.97	-8.07	-10.21	-10.78	-10.86	-9.86
35	-12.26	-8.07	-10.21	-11.02	-11.16	-9.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้