

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มแป้งกล้วยที่ย่อยสลายได้ด้วยพอลิไวนิล

แอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย

Modification of biodegradable banana starch films using poly(vinyl alcohol) and cotton fibers



T117187

นางสาว ปิยนุช

ลิมป์สุริยพร

นางสาว พิมประภา

นครเกตุ

นางสาว วรรณชนา

เทศดี

สาขา

เลขทะเบียน 117187

วันเดือนปี 19 ก.ค. 2554

10341925  
b.....  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงปีการศึกษา 2553 จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Modification of biodegradable banana starch films using poly(vinyl  
alcohol) and cotton fibers**



**MISS PIYANUCH LIMSURIYAPORN**

**MISS PIMPRAPHA NAKORNKATE**

**MISS WANCHANA TESDEE**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

**IN INDUSTRIAL CHEMISTRY**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ACADEMIC YEAR 2010  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนวิจัยสกว.และสกอ. ที่ให้เงินทุนสนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็น  
อย่างสูง ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และ ช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ดวงกมล กิติ์ตัน และ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาเป็น  
กรรมการ ตลอดจนให้คำแนะนำโครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประคิษฐ์ และ คุณสุจิต stonสะอาด เจ้าหน้าที่ Polymer  
Workshop สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้สอนวิธีใช้เครื่องมือและคอย  
อำนวยความสะดวกทุกอย่าง

ขอขอบคุณ ผู้ที่คอยให้กำลังใจและแรงกระตุ้น พร้อมข้อเสนอแนะดีๆ จนทำให้ โครงการ  
พิเศษนี้ประสบความสำเร็จได้อย่างสวยงาม

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ที่ให้การอุปการะทุกสิ่งทุกอย่างต่อคณะผู้วิจัยจน  
ประสบความสำเร็จในการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

น.ส.ปิยนุช

ลิมป์สุริยพร

น.ส.พิมพ์ประภา

นครเกตุ

น.ส. วรณชญา

เทศดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มแป้งกล้วยที่ย่อยสลายได้ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย (Modification of biodegradable banana starch films using poly(vinyl alcohol) and cotton fibers)

นักศึกษา 1. น.ส.ปิยนุช ลิมป์สุริยพร

2. น.ส.พิมประภา นครเกตุ

3. น.ส. วรรณชนา เทศี


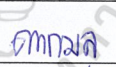

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย	
ผศ.ดร.ดวงกมล กีสัน	
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มแข็งที่ข่อยสลายได้ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย

นักศึกษา 1.นางสาว ปิยบุษ ลิมป์สุริยพร รหัสนักศึกษา 50050346

2.นางสาว พิมพ์ภา นครเกตุ รหัสนักศึกษา 50050353

3.นางสาว วรณชญา เทศดี รหัสนักศึกษา 50050370

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ขึ้นรูปโดยการหล่อแบบ จากนั้นทำการปรับปรุงสมบัติ และเสริมแรงโดยการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ การดูดซับน้ำ สันฐานวิทยา สมบัติเชิงกล การข่อยสลาย และการซึมผ่านของไอน้ำ การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10% ความเป็นผลึกของฟิล์มจากแป้งกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย นอกจากนี้การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย จากการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10% ทำให้แรงดึง ความแข็งแรงดึง และโมดูลัสของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยมีแนวโน้มสูงขึ้นและสมบัติเชิงกลของฟิล์มจากแป้งกล้วยมีค่าสูงสุดที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10% และเส้นใยฝ้าย 10% จากสันฐานวิทยาพบว่า เมื่อเพิ่มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พื้นผิวชิ้นงานขรุขระมากขึ้น และเส้นใยฝ้ายถูกปกคลุมด้วยเมทริกซ์จากแป้งกล้วย ส่วนสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำสามารถปรับปรุงได้โดยการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่า ฟิล์มแป้งกล้วยที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงอุณหภูมิการสลายตัวเพียง 1 ช่วง และอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของฟิล์มแป้งกล้วยทุกสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเติมเส้นใยฝ้าย นอกจากนี้ฟิล์มที่สามารถข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้ายข่อยสลายได้เร็วที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project** Modification of biodegradable banana starch films using poly(vinyl alcohol) and cotton fibers

**Name** Miss Piyanuch Limsuriyaporn

Miss Pimprapa Nakornkett

Miss Wanchana Tesdee

**Department** Chemistry

**Academic Year** 2010

**Special project advisor** Assoc. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

### Abstract

This research aimed to focus on preparation of banana film plasticized by glycerol using casting technique. The banana film was modified using different contents of PVA and cotton fibers. Physical, water uptake, morphology, mechanical, biodegradable and water vapor permeable properties were then tested. It was found that crystallinity of the banana film slightly increased by the addition of PVA and cotton fibers. Moreover, water uptake of the banana film clearly decreased by the incorporation of PVA and cotton fibers. By the addition of 10% PVA; load, stress at maximum load and Young's modulus increased and the highest overall mechanical properties were found in the banana film with 10% PVA and 10% cotton fibers. From morphology, roughness of the banana film increased by the increased content of PVA and cotton fibers were wetted by the matrix of the banana starch. Water vapor permeability of the banana film was also improved by the inclusion of PVA and cotton fibers. For thermal property, it was found that the banana film with PVA show only 1 degradation temperature and onset degradation degree temperature of all films tended to increase by the addition of cotton fibers. Finally, the banana film without PVA and cotton fibers degraded the quickest.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

รายการ	หน้า
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 การเปลี่ยนแปลงจากการใช้ทรัพยากรปิโตรเลียมไปสู่ทรัพยากรมวลชีวภาพ.....	5
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้.....	6
2.2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	7
2.2.2 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง.....	8
2.2.2.1 การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก .....	8
2.2.2.2 แป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า	
2.2.2.3	แข่งกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	12
2.2.3	วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย.....	13
2.2.3.1	การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน.....	13
2.2.3.2	การวิเคราะห์หาน้ำหนักที่หายไป.....	13
2.2.3.3	การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์.....	14
2.2.3.4	การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด.....	14
2.2.3.5	การวิเคราะห์ด้วยความร้อน.....	15
2.2.3.6	การทดสอบโดยการฝังดิน.....	15
2.3	แป้ง.....	15
2.3.1	ลักษณะของเม็ดแป้ง.....	16
2.3.2	องค์ประกอบภายในแป้ง.....	17
2.3.3	โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง.....	26
2.3.4	สมบัติของแป้ง.....	29
2.3.4.1	การพองตัวและการละลาย.....	29
2.3.4.2	การเกิดเจลาตินในเซชัน.....	31
2.3.4.3	การคืนตัวของแป้งสุก.....	34
2.3.5	กล้วย.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 2.3.6 แป้งกล้วย..... 47  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
2.3.6.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย.....	48
2.3.6.2 การใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วย.....	55
2.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....	55
2.5 พลาสติกไซเซออร์.....	56
2.5.1 พลาสติกไซเซออร์และพลาสติกไซเซออร์.....	56
2.6 เส้นใย.....	57
2.6.1 เส้นใยธรรมชาติ.....	57
2.6.1.1 เส้นใยฝ้าย.....	57
2.6.1.1.1 ลักษณะการจัดเรียงตัวภายในเส้นใย.....	58
2.6.1.1.2 องค์ประกอบทางเคมี.....	58
2.6.1.1.3 สมบัติทางกายภาพ.....	60
2.7 กาวรั้งัม.....	63
2.8 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	64
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	65
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	72
3.1 สารเคมี.....	72
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
3.3 การทดลอง.....	74
3.4 การทดสอบ.....	78
3.4.1 การตรวจหาหมู่ฟังก์ชัน โดย FT-IR.....	78
3.4.2 การดูดซับน้ำ.....	79
3.4.3 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์.....	79
3.4.4 สัณฐานวิทยา.....	79
3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	80
3.4.6 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ.....	81
3.4.7 การทดสอบด้วยไอโอดีน.....	81
3.4.8 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	82
3.4.9 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	82
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	83
4.1 การหาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่ปรับปรุง สมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย.....	83
4.1.1 การหาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย	83
4.2 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	85
4.3 การดูดซับน้ำ.....	88
4.4 Fourier-transform Infrared spectroscopy และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	90

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
4.4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PVA.....	90
4.4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยปรับปรุงสมบัติด้วย PVA และเส้นใยฝ้าย.....	91
4.5 สัณฐานวิทยา.....	92
4.6 สมบัติเชิงกล.....	97
4.6.1 การศึกษาผลของปริมาณ PVA ที่มีผลต่อการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย.....	97
4.6.1.1 ผลของปริมาณ PVA.....	97
4.6.1.2 ผลของการเติม PVA และเส้นใยฝ้าย.....	98
4.7 การซึมผ่านของไอน้ำ.....	100
4.8 การทดสอบด้วยไอโอดีน.....	101
4.9 สมบัติทางความร้อน.....	103
4.10 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	106
บทที่5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	112
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	112
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

รายการ	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	115
ภาคผนวก.....	121



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 พื้นที่การปลูกและผลผลิตจากกล้วยน้ำว้าในปี พ.ศ. 2544 ถึง ปี พ.ศ.2552	2
ตารางที่ 2.1 ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด.....	18
ตารางที่ 2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....	19
ตารางที่ 2.3 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ.....	20
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของอะไมโลสและสีของสารประกอบเชิงซ้อน ของอะไมโลสกับไอโอดีน.....	21
ตารางที่ 2.5 สมบัติของอะไมโลเพกตินจากแป้งชนิดต่างๆ.....	25
ตารางที่ 2.6 ลักษณะ โครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด.....	30
ตารางที่ 2.7 ปริมาณผลผลิตกล้วยของกลุ่มภาคเหนือตอนล่าง จำแนกตามจังหวัดต่างๆ	45
ตารางที่ 2.8 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกล้วยสดและผลิตภัณฑ์ ปี 2540-2547.....	46
ตารางที่ 2.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งกล้วยที่ได้จากตูบแห้ง.....	47
ตารางที่ 2.10 ลักษณะของกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ.....	50
ตารางที่ 2.11 ปริมาณเม็ดสตาร์ชขนาดต่างๆ(เปอร์เซ็นต์)ที่พบในกล้วยที่มีระยะการสุกต่างๆ	52
ตารางที่ 2.12 กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ชกล้วย ที่มีระยะการสุกต่างๆ.....	52
ตารางที่ 2.13 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลกล้วยที่ระยะความแก่ต่างๆ.....	54
ตารางที่ 2.14 ปริมาณผลผลิตแป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยที่ความแก่ต่าง เมื่อทำให้แห้ง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
โดยไม่ใช้ตูบและการตากแดด..... 54

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกข้อยกเว้นให้เด็ดขาดเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.15 สมบัติของเส้นใยฝ้าย.....	61
ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	72
ตารางที่ 3.2 สมบัติของกั้วร์กัม.....	72
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนแป้งกล้วย กลิเซอรอล น้ำ และPVA ที่ใช้ในการปรับปรุง สมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วยด้วย PVA.....	77
ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนแป้งกล้วย กลิเซอรอล น้ำ เส้นใยฝ้าย PVA และกั้วร์กัม ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วยด้วย PVA และ เส้นใยฝ้าย.....	78
ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชที่เตรียมได้.....	80
ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย.....	83
ตารางที่ 4.2 ส่วนผสมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเสริมแรงด้วย เส้นใยฝ้าย.....	84
ตารางที่ 4.3 การซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย.....	100
ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย เมื่อผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ และ เส้นใยฝ้าย.....	105
ตารางที่ 4.5 การทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยเมื่อผสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	110

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ขั้นตอนต่างๆในการย่อยสลายของพอลิเมอร์.....	7
2.2	วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	8
2.3	การย่อยสลายแป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้.....	10
2.4	การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแบบเม็ดแป้ง.....	10
2.5	การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้ในรูปแบบเจลาตินในซ้.....	11
2.6	โครงสร้างของสตาร์ชกราฟท์โคพอลิเมอร์.....	12
2.7	โครงสร้างของอะไมโลส.....	19
2.8	ภาพจำลองการจับตัวของอะไมโลสกับสารอินทรีย์.....	21
2.9	โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	22
2.10	ไดอะแกรมของโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพคตินถูกเสนอโดย (1) Haworth, (2) Staudinger, (3) Meyer and (4) Meyer redrawn.....	24
2.11	แผนภูมิแสดงชนิดของอะไมโลเพคตินที่ชี้ให้เห็นแบบกิ่งก้านของ แต่ละหน่วย (1, 4)- $\alpha$ -chains (A, B1–B3)ถูกรวมกัน โดย (1, 6) - $\alpha$ - linkages (จุดกิ่ง).....	24
2.12	โครงสร้าง Lamellar ของเม็ดแป้งตาม.....	27
2.13	Polymorphsของอะไมโลสชนิด A และ B.....	28
2.14	X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่า 2.15 การพองตัวของเม็ดแป้ง.....

การนำใบใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.16	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน.....	32
2.17	DSC thermogram ของแป้ง.....	33
2.18	การคืนตัวของแป้ง.....	34
2.19	ปริมาณการส่งออกกล้วยของประเทศไทย.....	44
2.20	การแปรรูปและการใช้ประโยชน์จากกล้วย.....	44
2.21	รูปร่างและขนาดเม็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบ.....	49
2.22	ลักษณะเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสุก.....	49
2.23	ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วย.....	51
2.24	ต้นฝ้ายและเมล็ดฝ้าย.....	58
2.25	สายโมเลกุลเซลลูโลส.....	60
2.26	โครงสร้างของกาววีทัม.....	63
2.27	โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	64
3	แผนภาพแสดงขั้นตอนในการวิจัย.....	74
4.1	ดิฟแฟรกโตแกรมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่าง ๆ.....	85
4.2	ดิฟแฟรกโตแกรมของ ฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เสริม แรงด้วยเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่าง ๆ.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่ปริมาณ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ กัน ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 50%	88
4.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย.....	90
4.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุง สมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและ PVA.....	91
4.6	สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหน้า) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้.....	93
4.7	สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหน้า) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้และเส้นใยฝ้าย	94
4.8	สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหลัง) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้.....	95
4.10	สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหลัง) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้และเส้นใยฝ้าย	96
4.10	สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเติม PVA ที่ปริมาณแตกต่างกัน โดยมีการเติมเส้นใยฝ้ายและไม่เติมเส้นใยฝ้าย	99
4.11	การทดสอบไอโอดีนของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน.....	102
4.12	(ก) TGA และ (ข) DTG ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยและ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ.....	103
4.13	(ก) TGA และ (ข) DTG ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆและ 10% เส้นใยฝ้าย.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่า 4.14 มีได้ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 0% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แล้วจนถึงแล้วของเอกสารทุกครั้ง 106 การนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 10% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	106
4.16	ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 20% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	107
4.17	ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 0% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย 10 %	107
4.18	ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 10% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย 10 %	108
4.19	ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 20% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย 10 %	108
4.20	%น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย.....	109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

โลกของเราประสบปัญหาภาวะโลกร้อน (Green house effect) ที่ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การคิดค้นวิธีการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรตระหนักเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันเป็นปัญหาที่ทุกคนให้ความสำคัญอันดับต้นๆ และได้มีการคิดค้นสิ่งที่สามารถนำใช้ทดแทน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อโลกของเรานั้นเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่ง ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในขณะนี้ เนื่องมาจากปัญหาของขยะที่มาจากพลาสติกในปัจจุบันที่มีจำนวนมหาศาลซึ่งต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย ที่ยาวนานเป็นร้อยๆปี และปัจจุบันประชาชนได้ให้ความสำคัญในการรณรงค์รักษาสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นกว่าในอดีต ทำให้ประเทศต่างๆ ทั่วโลกให้ความสนใจในการใช้วัสดุชีวภาพจากธรรมชาติมาเป็นองค์ประกอบในการผลิตพลาสติกเพื่อเป็นของใช้ชนิดต่างๆ เพราะสามารถเป็นทางเลือกหนึ่งในการบรรเทาปัญหาเนื่อง จากพลาสติกจากธรรมชาติสามารถใช้เวลาในการย่อยสลายที่น้อยกว่าพลาสติกธรรมดา

กล้วย (Banana) เป็นผลไม้ที่คนไทยรู้จักกันเป็นอย่างดี ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะกล้วยเป็นผลไม้ที่ปลูกกันได้ทุกพื้นที่และทุกภูมิภาคของประเทศ ประชาชนมีการปลูกกล้วยกันอยู่ทั่วไปทั้งยังมีผลผลิตตลอดทั้งปีด้วย เป็นพืชที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ผลของกล้วยใช้รับประทานได้ทั้งที่สุกและดิบ มีไขมันที่ต่ำ มีวิตามิน และเกลือแร่ จึงเหมาะสำหรับการบริโภคในทุกเพศทุกวัย

กล้วยน้ำว้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า (*Musa sapientem*) Kluai Nam wa และยังมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปตามภูมิภาค ดังนี้ กล้วยใต้ (เชียงใหม่ เชียงราย) กล้วยตานีอ่อน (อุบลราชธานี) กล้วยมะลิอ่อน (จันทบุรี) กล้วยอ่อน (ชัยภูมิ) และมีชื่อสามัญว่า Pisang Awak [1]

กล้วยน้ำว้าปลูกกันทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ เป็นที่นิยมบริโภคโดยทั่วไปพื้นที่ที่ทำการปลูกจำนวนมาก ได้แก่ ภาคกลางที่จังหวัดอ่างทองและสิงห์บุรี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดชัยภูมิ นครราชสีมา อุบลราชธานี ภาคตะวันออกที่จังหวัดชลบุรี ภาคตะวันตกที่เพชรบุรี โดยภาคใต้ที่แม้ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช และสงขลา ปริมาณการปลูกและผลผลิตกล้วยน้ำว้าในระยะ 9 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ. 2552 (ตารางที่ 1) มีแนวโน้มที่สูงขึ้น กล่าวคือ ในปี พ.ศ. 2544 มีเนื้อที่ปลูกเป็น 1,040 ไร่ ผลผลิตรวม 1,128 ตัน ราคาเฉลี่ยกิโลกรัมละ 5 บาท จะสังเกตเห็นได้ว่ากล้วยน้ำว้าให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรให้ความสำคัญกับการปลูกกล้วยน้ำว้า และใส่ใจกับผลผลิตมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2544 ให้ผลผลิต 1,200 กิโลกรัมต่อไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 1,400 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี พ.ศ. 2552 [2]

จากข้อมูลของกรมศุลกากร พบว่าในปี พ.ศ. 2551 (ม.ค.-มิ.ย.) ไทยมีปริมาณการส่งออกกล้วยสด 11,162.2 ตัน เป็นมูลค่า 213.1 ล้านบาท ปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.64 และ 25.05 ตามลำดับจากช่วงเดือนเดียวกันของปีที่ผ่านมา ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น จีน ทาว ฮองกง สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร และฝรั่งเศส [3]

ตารางที่ 1 พื้นที่การปลูกและผลผลิตจากกล้วยน้ำว้าในปี พ.ศ. 2544 ถึง ปี พ.ศ.2552 [2]

ปี (ไร่)	เนื้อที่การปลูก (กก./ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน)	ผลผลิตรวม	ราคาเฉลี่ย (บาท/กก.)
2544	1,040	1,200	1,128	5.00
2545	1,090	1,200	1,248	4.33
2546	1,090	1,200	1,248	4.33
2547	1,340	1,200	1,308	4.33
2549	1,090	800	872	7.52
2550	1,400	1,200	1,440	4.30
2551	1,090	800	872	7.52
2552	687	1,400	962	4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษ คือ สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพและติดไฟได้คล้ายกระดาษ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ ชนิดที่สามารถละลายในน้ำได้ และชนิดที่ไม่ละลายในน้ำ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีสมบัติละลายน้ำใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชันและแขวนลอยต่างๆ ขึ้นขึ้น (คือใช้เป็น thickening agent) ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใส เหนียว และทนต่อการขีดข่วน ส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำสามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปไปได้อย่างดี [4]

นอกจากนี้เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) ยังเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ ตัวอย่างเช่น ป่าน (Flax) ปอกระเจา (Jute) เส้นใยไม้ (Wood fibers) เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) เป็นต้น เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุที่หาง่าย มักมีราคาถูก น้ำหนักเบาและสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วเส้นใยธรรมชาติมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารเสริมแรงเนื่องจากมีความแข็งแรงสูง และมีความหนาแน่นต่ำ

จากงานวิจัยของพัชรินทร์ โคตรสุวรรณและคณะ [5] พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย มีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีสมบัติการดูดซับน้ำลดลง แต่สมบัติเชิงกลที่ได้ยังต่ำกว่าฟิล์มเทอร์โมพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมแป้งจากกล้วยน้ำว่าจากนั้นนำแป้งที่เตรียมได้ มาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มเพื่อนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มที่ย่อยสลายได้และศึกษาถึงแนวทางการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้ายเป็นสารเสริมแรงจากนั้นจึงทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของฟิล์มจากแป้งกล้วย ได้แก่ สมบัติเชิงกล ศักยภาพวิทยา สมบัติทางความร้อน การวัดการเปลี่ยนแปลงสี การดูดซับน้ำ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และสมบัติการย่อยสลาย

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย (Banana starch) โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer)

1.2.2 ศึกษาแนวทางการปรับปรุงสมบัติฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 เพื่อเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยมีกิลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
- 1.3.2 ศึกษาสภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนผสม
- 1.3.3 ศึกษาแนวทางการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ
- 1.3.4 ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วยโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้ายร่วมกันในอัตราส่วนต่างๆ
- 1.3.5 เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อนและสมบัติการย่อยสลายของ ฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เตรียมได้

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เพื่อผลิตพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย
- 1.4.2 ส่งเสริมการนำวัสดุธรรมชาติเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งกล้วยและเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การเปลี่ยนแปลงจากการใช้ทรัพยากรปิโตรเลียมไปสู่ทรัพยากรมวลชีวภาพ [6]

พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่หาได้ง่าย ราคาถูก สะดวกและทนทาน ผลิตภัณฑ์หลายประเภท ถูกออกแบบสำหรับการใช้งานครั้งเดียว ดังนั้นปัจจัยที่เป็นข้อเด่นเหล่านี้ จึงเร่งให้เกิดการทิ้งเป็นขยะเป็นจำนวนมากในแต่ละปีและส่งผลกระทบต่อด้านการกำจัด แม้ว่าจะมีการณรงค์ทั้งการลดปริมาณการใช้พลาสติก การนำกลับมาใช้และการเรียกกลับคืนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์แต่ปัญหาด้านมาตรการที่ไม่สามารถดำเนินการ ได้อย่างเต็มที่ ค่าใช้จ่ายในการจัดการนำมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างสูง ทำให้การรณรงค์ด้านการเก็บรวบรวม การทิ้ง และการนำมาใช้ใหม่ไม่บรรลุผล จึงทำให้ปริมาณขยะพลาสติกของโลกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

หากพิจารณาด้านวัตถุดิบ ได้แก่ ทรัพยากรน้ำมันปิโตรเลียมหรือเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีปริมาณจำกัดและประมาณการว่าจะหมดไปใน 90 ปีข้างหน้า จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่แปรรูปมาจากปิโตรเลียมมีราคาสูงขึ้นตามราคาน้ำมัน และอาจเกิดวิกฤตด้านการขาดแคลนวัตถุดิบด้วย

นอกจากนี้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นเรื่องมลภาวะอากาศ (เช่น ภาวะโลกร้อนจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การลดลงของโอโซน หมอกควันจากการเผาผลาญเชื้อเพลิง) ปัญหาทรัพยากรน้ำ (เช่น แหล่งน้ำมีความเป็นกรดหรือมีแร่ธาตุมากเกินไปซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ) ปัญหาทรัพยากรดินและน้ำ (เช่น การสะสมของพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย) จัดว่าเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่องค์รวมของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำได้ตระหนักถึง และหาแนวทางแก้ไขเพื่อให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ผลกระทบเหล่านี้จึงเป็นแรงผลักดันในการค้นหาแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และยังมีแหล่งวัตถุดิบที่ทดแทนใหม่ได้ (Renewable resources) ผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่ความต้องการและเงื่อนไขด้านสิ่งแวดล้อมเป็นแรงผลักดันที่ดีให้เกิดเทคโนโลยีและนวัตกรรม สู่การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน ดังเห็นได้จากกลุ่มประเทศยุโรป สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ [7]

พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastics) หมายถึง พลาสติกที่มีการเปลี่ยนโครงสร้างเคมีอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เนื่องจากมีสมบัติที่เปลี่ยนไป พลาสติกย่อยสลายได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1) พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางเคมีโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytically degradable plastic)

2) พลาสติกย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation plastic) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3) พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable plastic) พลาสติกประเภทนี้เกิดจากนำวัสดุจำพวกแป้งมาผสมกับพลาสติกต่างๆ ไปมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์จะสลายตัวก่อนซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์สลายตัวออกเป็นชิ้นเล็กๆ แต่ส่วนที่เป็นพลาสติกจะยังไม่ย่อยสลายดังนั้นพลาสติกประเภทย่อยสลายด้วยแสงนี้ยังคงไม่สามารถย่อยสลายได้ทั้งหมด

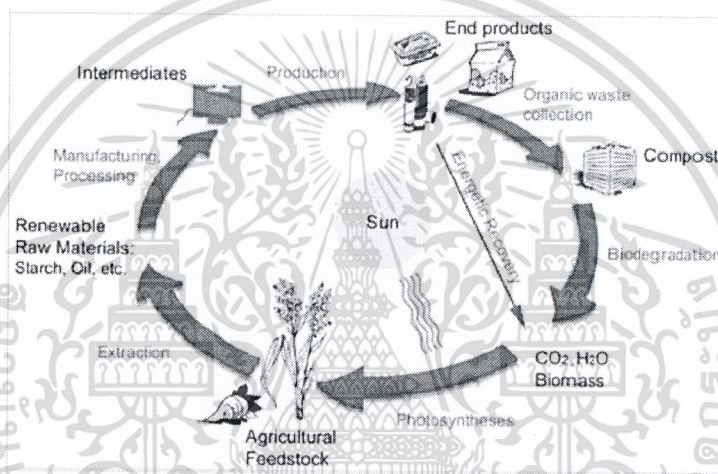
4) พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable plastic)

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หมายถึง พลาสติกที่สามารถย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้โดยอาศัยเอนไซม์จากสิ่งมีชีวิต ทั้งในสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศ สารประกอบคาร์บอนที่ได้จะกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม การย่อยสลายเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน ขั้นแรกจะเป็นการย่อยสลายให้โมเลกุลแตกออกเรียกว่าขั้น Depolymerization จะเกิดภายนอกสิ่งมีชีวิต (ปกติจะเป็นแบคทีเรียหรือรา) เนื่องจากขนาดและสมบัติที่ไม่ละลายของพอลิเมอร์จุลินทรีย์จะจับเอนไซม์ออกมาเพื่อจะตัดสายโซ่พอลิเมอร์ทั้งแบบ Endo (ตัดพันธะแบบสุ่ม) และแบบ Exo (ตัดพันธะจากมอนอเมอร์ปลายสุดก่อนอย่างมีลำดับ) จนได้สารประกอบที่เล็กลง จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอน คือ Mineralization สารประกอบที่ได้จากการย่อยจากขั้นแรกจะเข้าสู่เซลล์ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบ ATP ก๊าซต่างๆ (เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) น้ำเกลือต่างๆ และชีวมวล (Biomass) ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นแบบทั่วไปของกระบวนการย่อยสลาย แต่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลาย

จุลินทรีย์และสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น มีหลายกรณีที่ขั้นแรกสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ จะได้เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ประสิทธิภาพของการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ ชนิดของจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ซึ่งวัฏจักรของธรรมชาตินี้มีเกิดขึ้นและย่อยสลายไปอย่างครบวงจร โดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้องไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีจุดประสงค์ที่จะเลียนแบบวงจรของธรรมชาติ หลังจากผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพถูกนำไปใช้งานโดยผู้บริโภค และถูกนำไปกำจัดโดยการย่อยเป็นปุ๋ย เพื่อที่จะให้สิ่งที่ได้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและมวลชีวภาพ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้น จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ซึ่งวัฏจักรนี้ทำให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้เป็นการใช้ทรัพยากร แบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายใต้ทรัพยากรที่ปลูกทดแทนได้



รูปที่ 2.2 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [6]

## 2.2.2 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง [6]

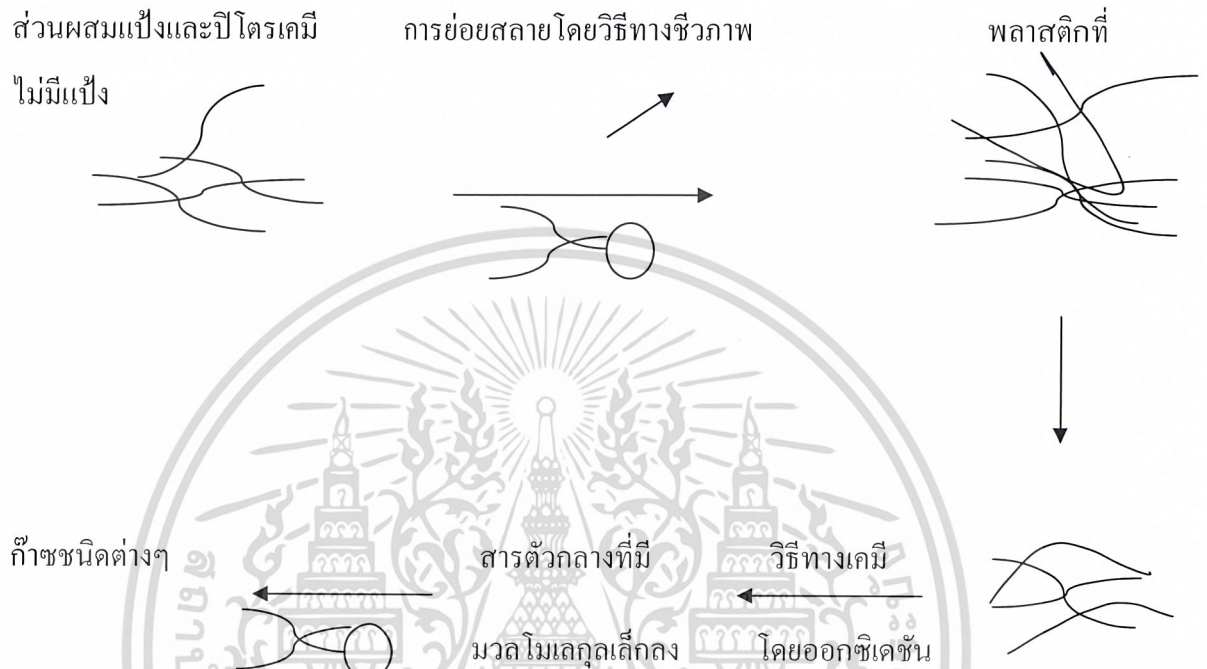
การพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้มีการพัฒนาเป็นเวลานานแล้ว เริ่มตั้งแต่การที่เริ่มใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีราคาถูก คือ การใช้แป้งผสมในการฉีดพลาสติกและได้รับการพัฒนาจากนักวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง ขณะนี้สามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

### 2.2.2.1 การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (แป้ง) เป็นองค์ประกอบหลัก

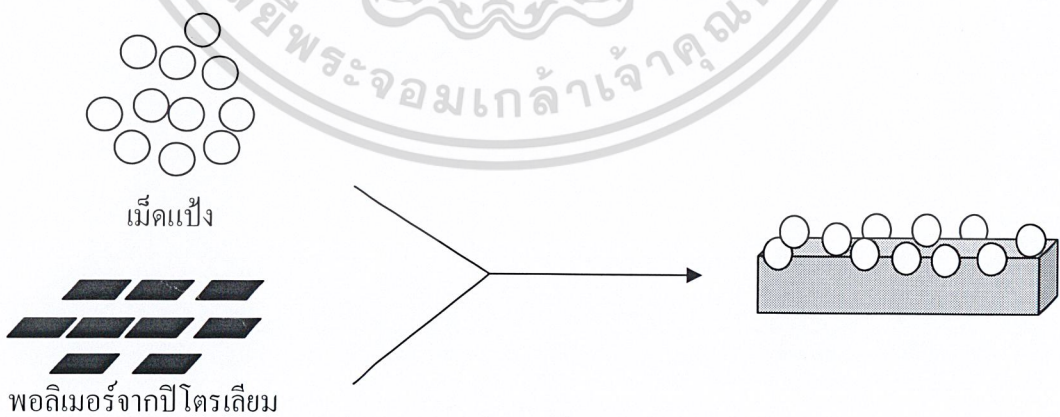
กลุ่มนี้จะใช้แป้งปริมาณทั้งหมดหรือมากกว่า 90 % ผลิตภัณฑ์ที่รู้จักจะอยู่ในรูปที่เรียกว่า

“Gelatinized” starch tuff หรือ Plate expanded by extrusion หรือ Baking with water หมายถึง การเอกลำนี้ไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิสูงแล้วจึงนำแป้งไปอบในน้ำเพื่อให้เกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำภายในตัวแป้งเมื่อถูกความร้อนสูงกลายเป็นไอไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.3 การย่อยสลายแป้งผสมพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ [6]

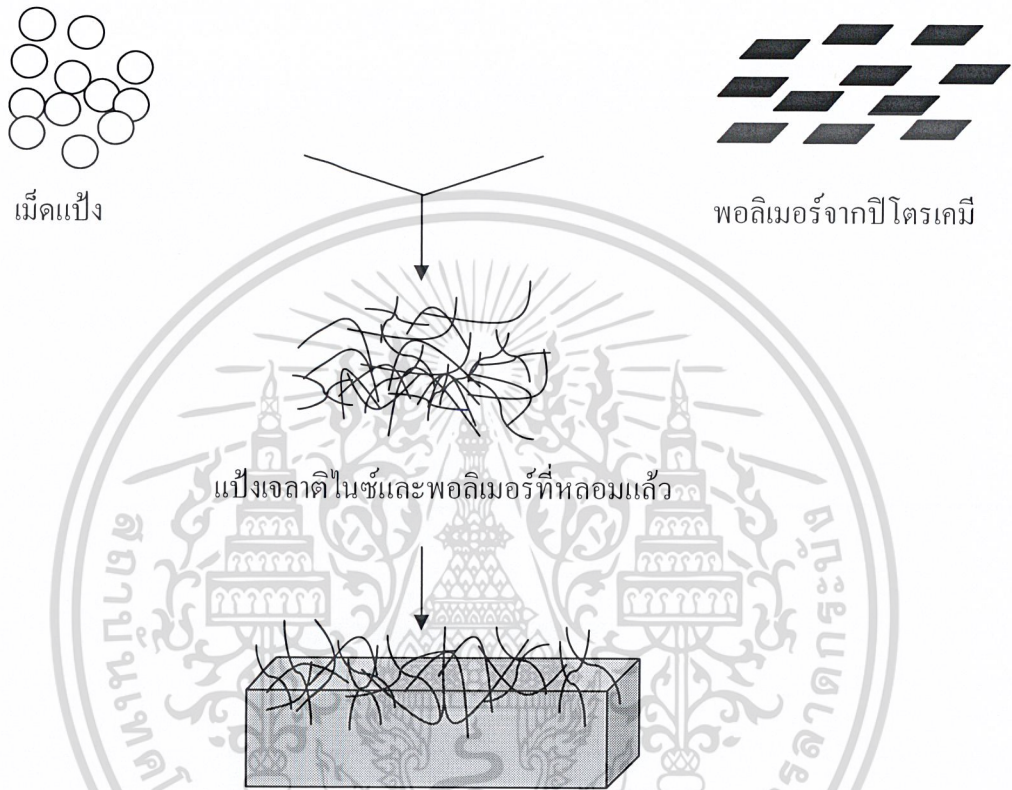


รูปที่ 2.4 การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปเม็ดแป้ง [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ในรูปแป่งเจลาตินซ์

วิธีนี้เม็ดแป่งจะแตกตัวทั้งหมด ผสมรวมกับอนุพันธ์ปิโตรเคมีที่หลอมละลาย กระบวนการผลิต แสดง ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้ในรูปเจลาตินซ์ [6]

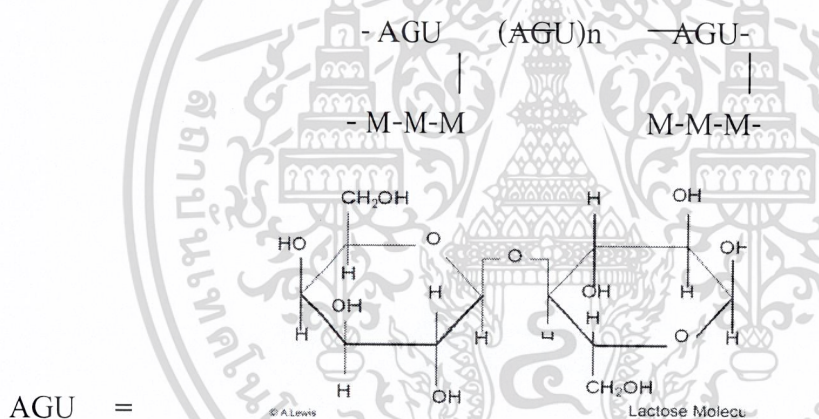
ในประเทศไทย ได้ทดลองผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จากส่วนผสมของแป่งมันสำปะหลังและพอลิคาโพรเลกแทม โดยแป่งมันที่ใช้อยู่ในรูปเม็ดแป่งเจลาตินซ์ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและความสามารถในการย่อยสลาย ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสมบัติของส่วนผสมขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแป่งที่ใช้ เมื่อปริมาณแป่งในรูปเม็ดแป่ง และแป่งเจลาตินซ์ในส่วนผสมต่ำกว่า 40% พบว่าความแข็งแรงดึงของส่วนผสมทั้ง 2 ไม่แตกต่างกัน % การดึงยึดขึ้นกับรูปแป่งที่ใช้ ถ้าปริมาณแป่งมากกว่า % ในการทดลองพบว่า ในรูปเม็ดแป่งมี % การดึงยึดสูงกว่ารูปแป่งเจลาตินซ์ถึง 125 เท่าที่ปริมาณแป่ง 50% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total

Organic Carbon Analyzer) และกล้องจุลทรรศน์ชนิดอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) พบว่า ในรูปแป่งเจลาตินซ์สามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่า เนื่องจากมีโครงสร้างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่น้อยกว่าในรูปเม็ดแป้ง เมื่อทำการทดสอบส่วนผสมที่มีอัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าส่วนผสมที่มีแป้งเจลาตินไนซ์ 30% และโพรติคาร์โบรแลคแทม 70% เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกที่มีสมบัติทางกายภาพดี และมีความสามารถในการย่อยสลายสูง

### 2.2.2.3 แป้งกราฟต์โคพอลิเมอร์

โครงสร้างของแป้งกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Starch graft copolymer) แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 โดยที่ AGU เป็นหน่วยกลูโคสและ M เป็นมอนอเมอร์ที่จะมาทำปฏิกิริยากับแป้ง แป้งที่ใช้อาจจะใช้ในรูปเม็ดแป้งหรือแป้งเจลาตินไนซ์การทำปฏิกิริยา Graft copolymerization ขั้นแรกจะต้องทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) บนสายโซ่โมเลกุลของแป้งก่อน ซึ่งมี 2 วิธี คือ โดยวิธีทางเคมีและวิธีฉายรังสี ซึ่งจะใช้วิธีไหนขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ วิธีทางเคมีที่เป็นที่นิยมที่ดีที่สุด คือ ปฏิกิริยาของแป้งกับเกลือซีริก (Ceric salts) ปฏิกิริยาแสดงได้ในรูปที่ 2.6



เมื่อเกิดอนุมูลอิสระบน โมเลกุลแป้ง ไอออนของมอนอเมอร์ปีโตรเคมีตัวแรกจะเข้ามาสร้างพันธะกัน จากนั้นตัวต่อๆ ไปจะเข้าต่อกับตัวแรก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนได้กิ่งที่มีน้ำหนัก โมเลกุลสูงซึ่งในแป้งแต่ละโมเลกุลจะมีกิ่งก้านจำนวนน้อย

### 2.2.3 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย [6]

#### 2.2.3.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสภาวะก๊าซซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสภาวะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักแห้ง สมมูลของคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

เมื่อ  $C_g$  คือ คาร์บอนในสภาวะก๊าซ

$C_s$  คือ คาร์บอนที่ละลายได้

$C_m$  คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้นร้อยละการย่อยสลายได้ของพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$\% f = \frac{C_d}{C_i} \times 100$$

เมื่อ  $C_i$  คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย

#### 2.2.3.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวล หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (Mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่หายไป จะทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งในปริมาณสูง จะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้งปริมาณต่ำ นอกจากนี้วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ แต่พอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

#### ก) การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง ที่ฝังดินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้าง นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์และเมื่อนำมาล้างและสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบรูเล็กๆในพอลิเมอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

#### ข) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังที่สูงมาก โดยจะได้ภาพในลักษณะสามมิติ ซึ่งจะพบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งฝังไว้ในดิน มีสีที่เปลี่ยนแปลงไปและมีขนาดเล็กลง เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาวซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายเหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีนนอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูงยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโลนีของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ฝังดินไว้ 6 เดือนมาตรวจปริมาณไนโตรเจน พบว่าปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 0.06% เป็น 0.16% มาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย

### 2.2.3.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าว ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

สเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไประหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้ขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้งจะเกิดรูขึ้นที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ที่รูเหล่านี้จะมีคาร์บอน ไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากสเปกโทรสโคปีชนิดเอกซเรย์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแสงอินฟราเรด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

วิธีวิเคราะห์ด้วยความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC)

การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียโดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA)

- การสูญเสียโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐาน (Amorphocity) ของพอลิเมอร์ จะลดลง โดยที่ส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนผลึก
- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วใช้ศึกษาการย่อยสลายเป็งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

### 2.2.3.6 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30 x 120 มิลลิเมตร หลายๆตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมาการทดลองใช้เวลาประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดิน แล้วทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่างๆ

## 2.3 แป้ง [8]

"แป้ง" หมายถึง คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารชีวโมเลกุลที่สำคัญที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด คำว่าคาร์โบไฮเดรตมีรากศัพท์มาจากคำว่า คาร์บอน (Carbon) และคำว่าไฮเดรต (Hydrate) อิมตัวไปด้วยน้ำ ซึ่งรวมกันก็หมายถึงคาร์บอนที่อิมตัวไปด้วยน้ำ คาร์โบไฮเดรตมีองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และอาจมีสิ่งเจือปนอื่นๆบ้างเป็นจำนวนเล็กน้อย เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่

แป้งที่ผลิตโดยทั่วไปก็ยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มาก เรียกว่า ฟลาว (Flour) ซึ่งผลิตมาจากบดธัญพืช เมล็ดหรือราก ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเขียว เป็นต้น ถ้ามีส่วนประกอบของโปรตีนสูง จะจัดอยู่ในประเภทฟลาว เรียกว่า แป้งข้าวโพด,

แป้งสาลี เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่มีโปรตีน 7-8% เรียกว่า Rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอัน หมายถึง

โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ อื่นๆ ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่จึงเรียกว่า สตาร์ช ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Starch) เช่น แป้งข้าวโพด, แป้งสาลี เป็นต้น ซึ่งแป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด แป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) พบว่าเม็ดแป้งจะมี ขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ

ประเภทของแป้งสามารถแยกได้ตามสมบัติเป็น 2 ประเภท คือ

1.Starch ผลิตได้จากพืชผลการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลีและจากพืชหัวชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องเป็นแป้งเปียก (Wet grinding) ซึ่งจะทำให้แยกStarchออกมาได้

2.Flour ผลิตได้จากการโม่แบบแห้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงทำให้มีสมบัติต่างไปจากStarch

### 2.3.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมันฝรั่งและแป้งพุทธรักขามีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ ถือได้ว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อ เปรียบเทียบกับแป้งอื่นๆ เม็ดแป้งสาลี บาร์เลย์และข้าวไรน์มี 2 แบบ คือ แบบ A มีรูปร่างแบบ lenticular(รูปเลนส์) ขนาด 10-30 ไมครอน และแบบ B รูปร่างกลม มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เม็ดแป้งแบบ B มีจำนวนมากกว่า คือ ประมาณ 95% ของจำนวนเม็ดแป้งทั้งหมด แต่ถ้าเทียบเป็นน้ำหนักแล้วจะคิดเป็น เพียง 20-30% เท่านั้น ส่วนเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีขนาดปานกลาง (20 ไมครอน) ขนาดใกล้เคียง กับเม็ดแป้งข้าวโพด ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.1

เม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวน (Growth ring) ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ หรือ SEM เม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็นวงแหวนได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งดินพุทธรักขาที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็นวงแหวนได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบวงแหวน สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวเจ้าจะสังเกตได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่าน ปฏิกริยาเคมีหรือย่อยด้วยเอนไซม์และศึกษาด้วย SEM โครงสร้างของวงแหวนแสดงถึงลักษณะ การเจริญของเม็ดแป้งโดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญ

มาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (Hilum) ซึ่งส่วนนี้ ประกอบด้วยส่วน Reducing end ของโมเลกุลแป้ง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีด้าน Non-reducing end ของอะไมโลส และ อะไมโลเพคตินแผ่กระจายออกไปจุดเชื่อม กิ่ง (Branch point) ของอะไมโลเพคตินอยู่ในส่วนอสังฐานและสายอยู่ในส่วนผลึก

ถ้าส่องด้วยกล้องโพลาไรซ์จะมองเห็นวงแหวนและไฮลัม เป็นเครื่องหมายกากบาทสีดำ ชัดเจน (birefringence หรือ polarization cross) โดยจุดตัดของ กากบาทจะเป็นตำแหน่งของไฮลัม และบริเวณอื่นจะเห็นเป็นแสงสว่างวาว ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันถึงลักษณะ ที่โมเลกุลของแป้งมีการจัดเรียง ตัวกันอย่างเป็นระเบียบ

### 2.3.2 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไป คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  แป้งมี หน่วย พื้นฐานเป็น Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -Glycosidic linkage ที่คาร์บอน ตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลาย ของโมเลกุลแป้งจะมี Anomeric carbon ( $C_1$ ) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละ โมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลาย ที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมี ตำแหน่ง Reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและ ลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโล เพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมี ขนาดใหญ่ กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า Intermediate material แต่พบใน ปริมาณไม่มากนัก อะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเมล็ดแป้งแต่ละชนิด [8]

แป้ง	ประเภท	รูปร่าง	ขนาด(mm)
ข้าวบาร์เลย์	ธัญพืช	รูปเลนส์(A-type), กลม(B-type)	15-25, 2-5
ข้าวโพด	ธัญพืช	กลม/พอลิฮีดรอล	2-30
Amylomaize	ธัญพืช	ไม่ปกติ	2-30
ข้าวเด็ดย	ธัญพืช	พอลิฮีดรอล	4-12
ข้าวโอ๊ต	ธัญพืช	พอลิฮีดรอล	3-10(เดี่ยว)
ถั่ว	ฝัก	Rentiform (single)	80 (สารประกอบ)
มันฝรั่ง	หัวพืชที่อยู่ที่ดิน	รูปเลนส์	5-10
ข้าว	ธัญพืช	พอลิฮีดรอล	5-100
ข้าวไรน์	ธัญพืช	รูปเลนส์	3-8 (เดี่ยว)/150
ข้าวฟ่าง	ธัญพืช	พอลิฮีดรอล	(สารประกอบ)
มันสำปะหลัง	ราก	กลม	10-40
Triticale	ธัญพืช	รูปเลนส์(A-type)/กลม(B-type)	5-10
สาเก	ธัญพืช	กลม	5-20
ข้าวสาลี	ธัญพืช	รูปไข่	5-45
		รูปเลนส์ (A-type)/กลม(B-type)	กลม
			1-30
			20-40/15-35/2-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

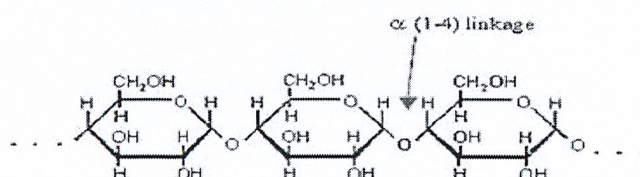
## ตารางที่ 2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน [8]

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ $\alpha$ -1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ $\alpha$ -1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ $\alpha$ -1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้

### องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง

#### 1. อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4 -Glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.1 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 2.7 โครงสร้างของอะไมโลส [8]**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแบ่งจากรากพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณ 22-30% ส่วนแบ่งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาธูจะมีปริมาณ อะไมโลสต่ำกว่า คือ อยู่ในช่วง 18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 คาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของ อะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง ปริมาณและสมบัติของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ [8]

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห่ง)	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห่ง)
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
พุทธรักษา	43.2	22.7
ถั่วเขียว	37.9	30.7

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น butanol, fatty acid, surfactant, phenol และ hydrocarbon (ดังรูปที่ 2.8) สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์อะไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 เพื่อกักเก็บโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์เอาไว้ไม่ให้หลุดออกสู่น้ำ

เอกสารไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 เพื่อกักเก็บโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์เอาไว้ไม่ให้หลุดออกสู่น้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ตารางที่ 2.4) ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ และใช้ในการตรวจสอบปริมาณอะไมโลสในแป้ง

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของอะไมโลสและสีของสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไอโอดีน [8]

Chain length (glucose unit)	Number of helix turns	color
12	2	None
12-15>	2	Brown
20-30	3-5	Red
35-40	6-7	Purple
>45	9	Blue



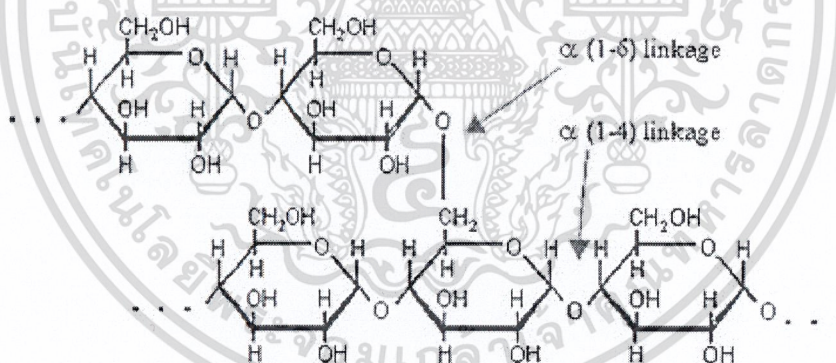
รูปที่ 2.8 ภาพจำลองการจับตัวของอะไมโลสกับสารอินทรีย์ [Molecular modelling representation of amylose–fatty acid complexes showing the inclusion of the aliphatic part ( $C_{12}$ ) of the fatty acid inside the hydrophobic cavity of the amylose single helix. [8]

การตรวจสอบปริมาณอะมิโลสโดยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และวัดสีที่เกิดขึ้น เป็นวิธีการที่ง่ายและนิยมใช้กันมาก แต่อาจมีข้อผิดพลาดได้จากความไม่อยู่ตัวของสีที่เกิดขึ้น การรบกวน ผลการวัดจากอะมิโลเพคติน โดยเฉพาะอะมิโลเพคตินที่มีความยาวสายโซ่กิ่งไม่ยาวกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากๆ ซึ่งจะเกิดสารเชิงซ้อนกับ ไอโอดีนได้เช่นเดียวกันทำให้วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสได้มากขึ้นจริง นอกจากนี้ไขมันที่เกิดสารเชิงซ้อน กับอะมิโลสอยู่เดิมจะทำให้อะมิโลสโมเลกุลนั้น จับกับ ไอโอดีน ไม่ได้ทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ ต่ำกว่าความเป็นจริง ในกรณีนี้ต้องทำการสกัดไขมันออกก่อน การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส อาจใช้วิธีการวัดเอนทาลปีในการหลอมเหลวของ Starch-lipid complex แต่ประสิทธิภาพของวิธีการนี้ จะขึ้นกับความสามารถในการละลายของอะมิโลสในตัวอย่างแป็งแต่ละชนิด วิธีการที่มีความแม่นยำมากกว่า คือ การใช้ Gel permeation chromatography (GPC) แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะกับตัวอย่างที่มีจำนวนมาก นอกจากนี้ก็มีการใช้ High pressure size exclusion chromatography (Bradbury & Bello, 1993) ซึ่งจะเร็วกว่าการใช้ GPC อีกวิธีการคือการใช้ Concanavalin A มาตกตะกอนอะมิโลเพคติน ออกไปและวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่เหลืออยู่

## 2. อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็น โพลีเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ  $\alpha$ -1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลีเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6-glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [8]

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ  $\alpha$ -1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสใน อะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 107 ถึง 109 คาลตัน และมีการกิ่งตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง อะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็น โครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้

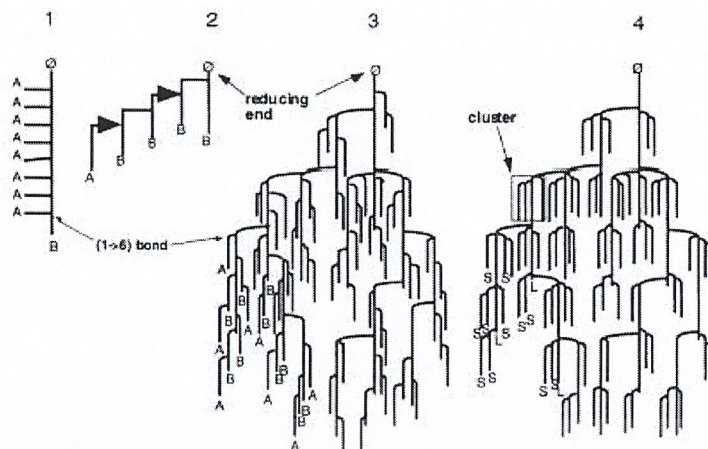
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 1940 Meyer และคณะเสนอโมเดลโครงสร้างของอะมิโลเพคติน ว่าเป็นแบบการแตกกิ่งแบบสุ่ม (random branching) ดังรูปที่ 2.10 หลังจากนั้น Nikuni (1978) เสนอ Clustered branching model เป็นต้นแบบของโมเดลที่ยอมรับกันในปัจจุบันซึ่งเสนอโดย Hizukuri (1986) ลักษณะที่สำคัญของโมเดลนี้(รูปที่2.11) คือ จะมีการแบ่งสายโซ่กิ่งเป็นกลุ่มๆ ตามขนาดความยาวของสายโซ่ที่มีช่วงที่แน่นอน (Certain periodicity) อะมิโลเพคตินประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด คือ [8]

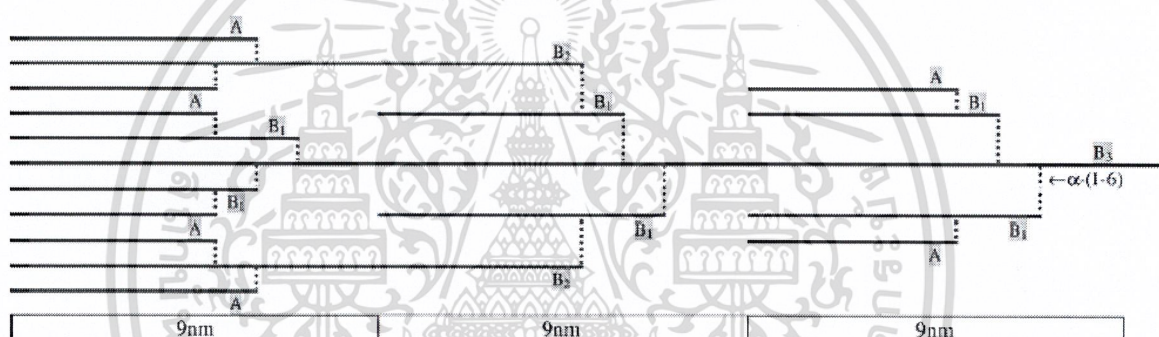
- 1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)
- 2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่า สายโซ่แบบ B นี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 ซึ่งมีความยาวคร่อมหนึ่ง สอง สามและสี่กลัยโคส (Cluster) ตามลำดับ
- 3) สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะมิโลเพคตินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ความยาวของสายกิ่งอะมิโลเพคตินมีตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45-60 หน่วย ประกอบด้วยสาย B สายยาว สายโซ่เหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Cluster) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไปในหัวข้อโครงสร้างของเม็ดแป้ง ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติของอะมิโลเพคตินของแป้งชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ปาโดะแกรมของโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพคตินถูกเสนอโดย (1) Haworth, (2) Staudinger, (3) Meyer and (4) Meyer redrawn [8]



รูปที่ 2.11 แผนภูมิแสดงชนิดของอะไมโลเพคตินที่ชี้ให้เห็นแบบกิ่งก้านของแต่ละหน่วย (1, 4)- $\alpha$ - chains (A, B1-B3) ถูกรวมกัน โดย (1, 6)- $\alpha$ - linkages (จุดกิ่ง). [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 สมบัติของอะไมโลเพคตินจากแป้งชนิดต่างๆ [9]

สมบัติ	เกาลัด	ถั่วคั่ว	ข้าวเดี่ย	มันฝรั่ง	ข้าว		มันเทศ			
					ควินซ์	อินดิกา	ทั่วไป	สัดส่วนML	มันสำปะหลัง	กระจับ
Iodine binding capacity (g 100 g <sup>-1</sup> )	0.51	0	1.25		0.39–0.87	1.62–2.57	0.38–0.44	0.83–1.04		0.41
[ $\eta$ ] at 22.5 °C in M KOH (ml g <sup>-1</sup> )	176	160	168	224	134–137	150–170	175–193	187–200		
<i>beta</i> -amylolysis (%)	55	57	60	55	58–59	56–59	55–56	57–58	57	59
DP <sub>n</sub> (10 <sup>3</sup> )			10.2		8.2–12.8	4.7–5.8				12.6
<i>P</i> (gluc-6-PO <sub>4</sub> ) (μg g <sup>-1</sup> )	43	121	3–5		8–13	9–28	95–115	100–102		24
A:B molar ratio		0.89		0.79					0.89	0.82

### 3. สารตัวกลาง (Intermediate material)

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะไมโลส และสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกึ่งเช่นเดียวกับอะไมโลเพกตินแต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณหรือสัดส่วนของอะไมโลสอะไมโลเพกตินและสารตัวกลางในเมล็ดแป้งไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำระหว่างการเพาะปลูก เป็นต้น

### 4. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเมล็ดแป้ง

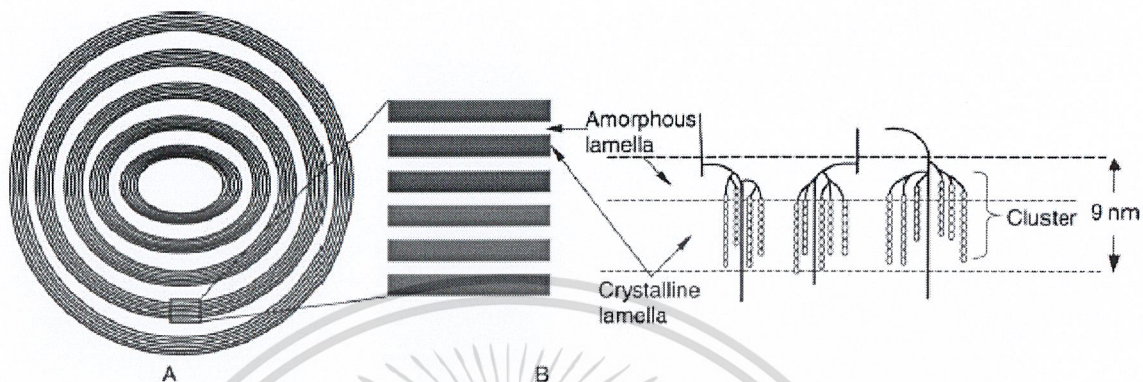
ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเมล็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเมล็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเมล็ดแป้ง
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเมล็ดแป้ง (Internal material) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเมล็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง
4. ส่วนประกอบอื่น ที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเมล็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

#### 2.3.3. โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเมล็ดแป้ง

ความรู้ที่ได้จากลักษณะของวงแหวนสมบัติ birefringence cross ของเมล็ดแป้ง และการใช้เทคนิค X-ray scattering ในการวิเคราะห์เมล็ดแป้ง นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า เม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยลักษณะความเป็นผลึก เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่ในโมเลกุลของ อะไมโลเพกตินในแนวรัศมีเป็นชั้นๆ ในรูปของคลัสเตอร์ (Series of stacked amylopectin clusters) ซึ่งในแต่ละคลัสเตอร์ ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นส่วนรวมของจุดที่แตกกิ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่า Amorphous lamellar และบริเวณที่มีสายโซ่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

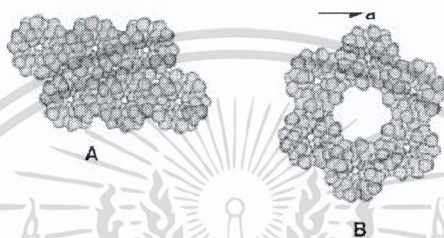
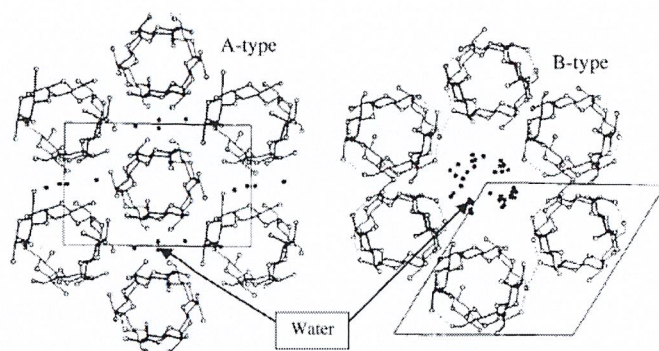
กิ่งของอะไมโลเพคตินที่จัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ ที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า Crystalline lamellar ดังรูปที่ 2.12 หนึ่งคลัสเตอร์มีขนาด 9 nm



รูปที่ 2.12 โครงสร้าง Lamellar ของเม็ดแป้งตาม. (A) กิ่งของแผ่นขนาดไมโครถูกแบ่งโดยวงแหวนที่ไม่เป็นผลึก (B) รูปขยายส่วนที่ไม่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นผลึก (C) โครงสร้างกันหอยคู่ฟอร์มโดยสายโซ่ของอะไมโลเพคตินที่อยู่ติดกันที่ให้ผลึก ช่วงของกิ่งที่เป็นผลึก [8]

เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ดังรูปที่ 2.13 ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) สารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วมีรูปแบบผลึกเป็นแบบ V

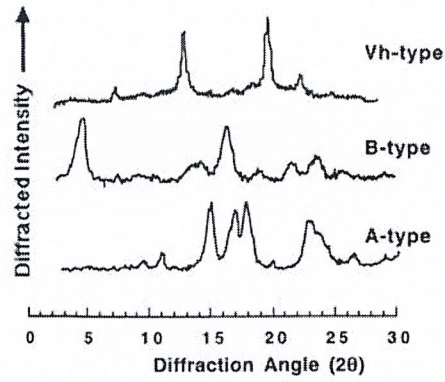
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Polymorphsของอะไมโลสชนิด A และ B [8]

โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิค Wide angle X-ray diffraction (WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันให้รูปแบบของ x-ray diffraction ต่างกันดังรูปที่ 2.14 แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A ให้พีคที่ 17 และ 18 และพีคเดี่ยวที่ 23 แต่ไม่มีพีคที่ 5.6 แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า มีลักษณะผลึกแบบ A แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B ให้พีคที่ 5.6 และ 17 แต่ไม่มีพีคที่ 18 และมีพีคคู่ (Doublet) ที่ 22 และ 24ซึ่งได้แก่ แป้งจากพืชหัวและแป้งที่มีอะไมโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C ให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A และ B กล่าวคือ มีพีคที่ 5.6 และ 17.9 ตัวอย่างเช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว ราก ลำต้นและแป้งผลไม้บางชนิด แป้งบางชนิดอาจให้ลักษณะของผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A และ C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติ (Treatment) ต่อเม็ดแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่งซึ่งที่ถูกบ่มไว้นานที่อุณหภูมิสูง ( $110^{\circ}\text{C}$ , 30 นาที : heat moisture treatment) มีชนิดของผลึกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นชนิด B ไปเป็นชนิด A ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

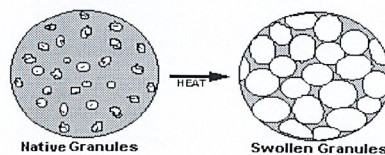


รูปที่ 2.14 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน [8]

### 2.3.4 สมบัติของแป้ง [8]

#### 2.3.4.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (Intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน Crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ Amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (Hydration) ได้บ้างเมื่อน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ  $60^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไป ส่วน Amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.15) โมเลกุลในส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 การพองตัวของเม็ดแป้ง [8]

ตารางที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด [8]

ชนิดแป้ง	ความเป็นผลึก (%)	อุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชัน (°C)	ปริมาณอะไมโลส (%)
โครงสร้าง A			
ข้าวโอ๊ต	33	60.7	23
ข้าวสาลี	36	63.5	23
ข้าวเหนียว	37	64.5	-
ข้าวฟ่าง	37	72.2	25
ข้าวเจ้า	38	70.0	17
ข้าวโพด	40	71.3	27
โครงสร้าง B			
Amylomaize	15 – 22	86.0	55 – 75
สาเก	26	70.5	28
มันฝรั่ง	28	67.3	22
โครงสร้าง C			
มันเทศ	38	70.0	20
มันสำปะหลัง	38	66.0	18

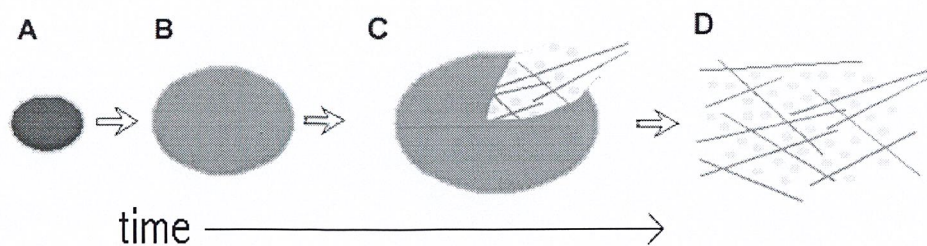
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4.2 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

กลไกการเกิดเจลาตินในเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก Collison [1968] สังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาทิ ในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (Reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งจะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุล อะไมโลสและอะไมโลเพกตินในส่วนที่เป็น Crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 °C หรือใช้สารเคมี เช่น ให้ความร้อน 60 °C แก่แป้งสาทิจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน Crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาตินในเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้น คือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ภายในเม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน Crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (Degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาตินในเซชันไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 °C โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาตินในเซชันได้ก่อนขนาดเล็ก แต่เมื่อใช้ SEM ส่องดูโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณ 30% พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน [Goering และคณะ, 1960] แป้งอาจเกิด gelatinized ได้ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยการละลายในตัวทำละลาย เช่น alkali, liquid ammonia, DMSO, aq. CaCl<sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [8]

โดยมีลำดับการเปลี่ยนแปลงเป็นดังนี้

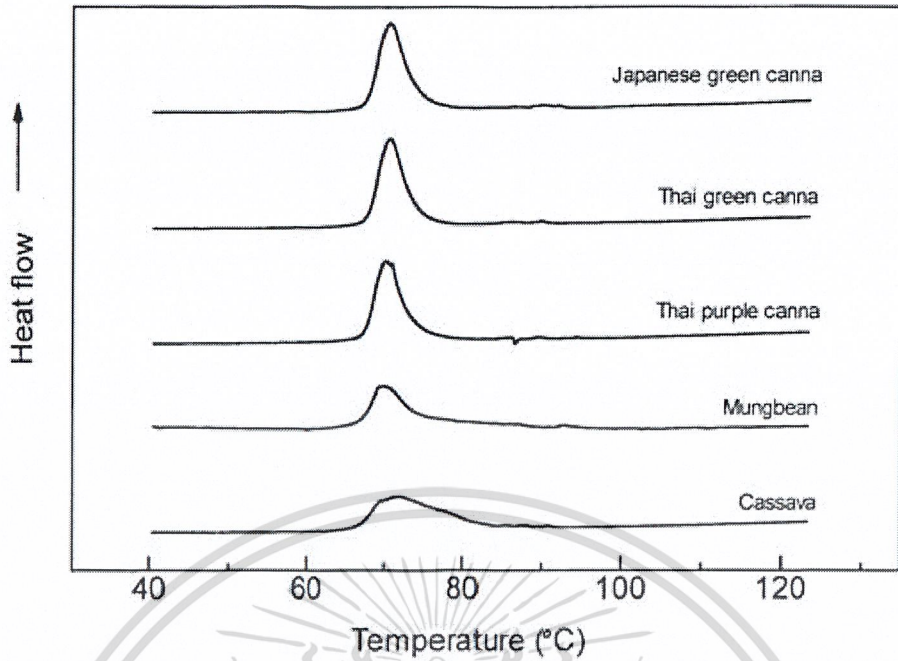
เริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุดคือในส่วน Amorphous การพองตัวจะทำให้เกิด tension ต่อ Crystallites ที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างเสียหาย การให้ความร้อนต่อไปจะเกิด Uncoiling หรือการแตกตัวของ double helical region เกิด break up ของโครงสร้างผลึก side chain ของอะไมโลเพคตินที่แยกตัวออกมาจะถูก hydrate และมีการพองตัวไปในแนวรอบๆ ดังนั้นจะเกิด stress ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่ การเกิด Hydration ต่อไปจะเพิ่ม mobility ของโมเลกุลทำให้เกิดการกระจายตัวของโมเลกุล โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจาก Swollen granule การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ Granule แตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย

#### การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในซ์ของแป้ง

วิธีที่ง่ายและแม่นยำ คือ วัดอุณหภูมิที่เม็ดแป้งสูญเสียเครื่องหมายกากบาทเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler (Kofler hot stage microscope) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีระบบการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำแป้งบนแผ่นสไลด์อย่างต่อเนื่องในอัตรา  $2^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที เมื่อมองผ่านแสงโพลาไรซ์ พบว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงที่เห็นคือ เม็ดแป้งประมาณ 2% เริ่มพองตัวและสูญเสียเครื่องหมายกากบาท ที่จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาตินในเซชัน (Initial of gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายกากบาทไป 50% จะเรียกเป็นจุดกลางของเจลาตินในเซชัน (Midpoint of gelatinization) และเมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายไปประมาณ 98% จะเรียกเป็นจุดสุดท้ายของเจลาตินในเซชัน (Final of gelatinization หรือ completion point) ดังนั้นส่วนใหญ่มักแสดงช่วงอุณหภูมิเจลาตินในเซชันของแป้งเป็นตัวเลขชุด แต่ถ้าวาระบุเป็นอุณหภูมิเดี่ยวมักเป็นจุดสุดท้ายของเจลาตินในเซชัน

หรือที่เรียกกันว่า Birefringence end point temperature (BEPT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



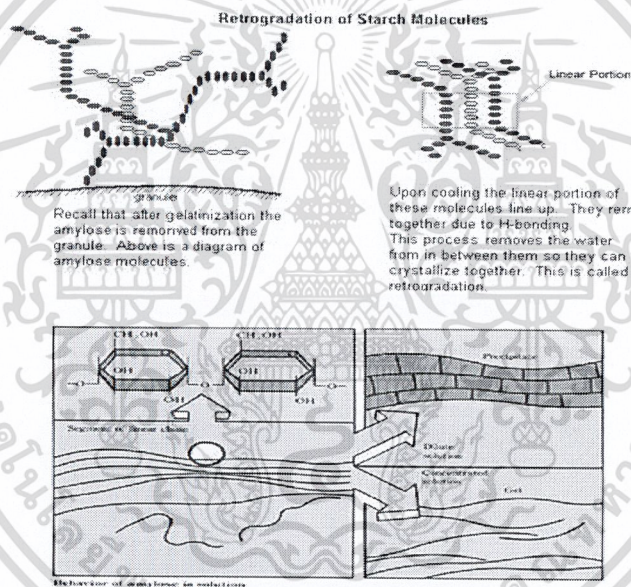
รูปที่ 2.17 DSC thermogram ของแป้ง [8]

นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์โดยใช้เครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ เช่น เครื่อง DSC ซึ่งใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ปกติโพลีเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย ( $T_m$ ) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 ถึง 200 °C แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายจะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70% แป้งจะเกิดเจลลาติไนเซชัน โดยทั่วไปจะถือว่าอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีสูงสุด (Peak temperature) คืออุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชัน สำหรับการตรวจสอบการเกิด เจลลาติไนเซชันของแป้ง โดยใช้เครื่อง DSC ทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแป้งกับน้ำในอัตรา 30/70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลลาติไนเซชัน จะได้ Thermogram ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง Heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนเซชัน ( $D_H$ , cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (ดังรูปที่ 2.12) ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น Crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม



รูปที่ 2.18 การคืนตัวของแป้ง [8]

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากรากหัวมีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากราก/หัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเมื่อดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้ง ยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เมื่อดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แต่งขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น Matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะเกาะ ยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท Waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วย โมเลกุล อะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนที่ไปอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน

### 2.3.5 กล้วย [11]

#### ข้อมูลทั่วไป

กล้วย เป็นพรรณไม้ล้มลุกในสกุล Musa มีหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว่า กล้วยน้ำไท กล้วยหอมทอง กล้วยหอมเขียว กล้วยไข่ กล้วยตานี กล้วยหักมุก กล้วยเล็บมือนาง กล้วยนิ้วมือนาง กล้วยส้ม กล้วยนาค กล้วยหิน กล้วยงาช้าง ฯลฯ บางชนิดออกหน่อแต่บางชนิดไม่ออกหน่อ ใบแบนยาวใหญ่ ก้านใบตอนล่างเป็นกาบยาวหุ้มห่อซ้อนกันเป็นลำต้น ออกดอกที่ปลายลำต้นเป็น ปลี และมักยาวเป็นงวง มีลูกเป็นหวี ๆ รวมเรียกว่า เครือ พืชบางชนิดมีลำต้นคล้ายปาล์ม ออกใบเรียงกันเป็นแถวทำนองพัดคลี่ คล้ายใบกล้วย เช่น กล้วยพัด (*Ravenala madagascariensis*) แต่ความจริงแล้วเป็นพืชในสกุลอื่น ที่มีใบทั้งปาล์มและกล้วย

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการเพาะปลูกและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากรับประทานง่าย มีราคาถูก และอุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร แหล่งเพาะปลูกกล้วยที่สำคัญของโลก อยู่ในประเทศแถบเอเชียมีปริมาณการผลิตกล้วยรวมกันมากถึงครึ่งหนึ่งของผลผลิตกล้วยทั้งหมดของโลก ประเทศที่ผลิตกล้วยได้มากที่สุดในโลก คือ อินเดีย รองลงมา ได้แก่ ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย จีน ไทย และเวียดนาม สำหรับแหล่งเพาะปลูกกล้วยในประเทศไทยกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ ปัจจุบันรัฐบาลเล็งเห็นถึงศักยภาพของการเพาะปลูกและส่งออกกล้วยและสนับสนุนให้เกษตรกรหันมาปลูกกล้วยเพื่อการส่งออกมากขึ้น การจำหน่ายทั้งกล้วยสดและผลิตภัณฑ์กล้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่ที่การแปรรูปกล้วยในอุตสาหกรรมอาหารและยา ซึ่งสามารถแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของกล้วยได้

### พันธุ์กล้วยในประเทศไทย ได้แก่ [12]

กล้วยน้ำว้า กล้วยพื้นบ้านของไทย มีหลายสายพันธุ์ เช่นกล้วยน้ำว้ากาบขาว กล้วยน้ำว้าค่อม กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าเขียว และกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน กล้วยน้ำว้าเมื่อดิบเปลือกสีเขียว (นอกจากเป็นกล้วยน้ำว้าเปลือกดำที่พบที่สวนสวนแก้ว จังหวัดนนทบุรี) เนื้อแน่น มีรสฝาด เมื่อสุกเปลือกเหลืองบาง เนื้อแน่นนุ่ม กลิ่นหอมและรสหวานจัดยิ่งขึ้น กินทั้งแบบดิบ ด้วยการนำไปปรุงสุกเป็นแกง กล้วยทำคากกล้วย ผัดผัดกล้วย กล้วยปิ้ง กล้วยบวชชี กล้วยเชื่อม กล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยกวน และกินสุกเป็นผลไม้

กล้วยหอม เป็นกล้วยที่เราพบเห็นทั่วไป กล้วยหอมพันธุ์มีหลายพันธุ์ เช่น กล้วยหอมทอง กล้วยหอมทองค่อม กล้วยหอมเขียว เปลือกเป็นสีเขียวรสหวานจัด มีกลิ่นหอม กล้วยหอมเขียวค่อม กล้วยหอมวิลเลียม กล้วยหอมพจมาน กล้วยหอมกระเหรียง กล้วยหอมแกรนด์เนน และกล้วยหอมจันทร์ เป็นต้น เฉพาะกล้วยหอมทอง เป็นกล้วยพาณิชย์ที่มีขายทั่วไป ผิวเปลือกสีเขียว รสหวานจัด เนื้อเนียนละเอียด กินสุกเป็นผลไม้ ผสมในน้ำมัน และทำเป็นไส้กล้วยในโรตีสายดำและมะตะบะ

กล้วยหอมทอง เป็นกล้วยหอมพันธุ์เศรษฐกิจชนิดหนึ่งลำต้นขนาดใหญ่ แข็งแรง ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก ก้านช่อดอกมีขน ผลยาวรี ปลายคอด มีจุด เปลือกบางเมื่อดิบเปลือกสีเขียว เมื่อสุกเปลือกกลายเป็นสีเหลืองทอง เนื้อสีส้มอ่อน กลิ่นหอม รสหวาน เนื้อนุ่มเนียน กล้วยหอมที่ค้าขายกันในโลกส่วนใหญ่เป็นกล้วยหอมคาเวนดิช (Cavendish) และกรอสไมเคิล (Gros Michael) ซึ่งมีรสหวาน เปลือกสีเหลืองหนา ขั้วเหนียว อันเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการขนส่งทางไกล

กล้วยหอมเขียว กาบใบมีจุดกระมากกว่ากาบกล้วยหอมทอง หวีหนึ่ง ๆ มีผลแน่นเป็นพิเศษกว่ากล้วยหอมใด ๆ มีถึง 32 ผล ผลสุกสีเขียวอมเหลือง ปลายผลทู่ เนื้อสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นหอมรสหวาน จังหวัดแพร่เรียกว่า กล้วยครีว นครศรีธรรมราชเรียกว่า กล้วยเขียว พะเยาเรียกว่า กล้วยหอมครีว

กล้วยไข่ เป็นกล้วยที่ปลูกมากที่จังหวัดกำแพงเพชร เพชรบุรี ตาก และสุรินทร์ เครือกล้วยไข่มีขนาดเล็ก แต่ละหวีมีผลดก ขนาดผลเล็ก ผิดสีเหลืองไข่ ผิวเปลือกบาง เนื้อสีเหลืองสวย รสหวานหอม

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยไข่ตกรเครือในผลสุกในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคมซึ่งตรงกับช่วงเข้าพรรษาที่มีการทำข้าว กระจายสารทวายพระกล้วยไข่เป็นผลไม้ที่นิยมกันคู่กับกระยาสารจะได้รสชาติที่อร่อยลงตัวพอดี กล้วยไข่ที่ขึ้นชื่อที่สุดคือ กล้วยไข่กำแพงเพชร ยังมีกล้วยไข่สายพันธุ์อื่นๆ เช่น กล้วยไข่พระตะบอง กล้วยไข่โบราณ และกล้วยไข่เถกยโสธร ซึ่งมีเปลือกบางสีเหลืองรสหวานอร่อย เนื้อสีเหลืองไข่ เหนียวหวานหอม กล้วยไข่กินสุกเป็นผลไม้ ทำเป็นขนมหวาน กล้วยเชื่อม กล้วยบวชชี และแปรรูป เป็นกล้วยตาก

**กล้วยนาก** เปลือกกล้วยสีออกสีนาก คือสีอมแดงค่อนข้างคล้ำ (นากเป็นโลหะผสมระหว่างทองคำ เงินและทองแดง คนโบราณใช้ทำเข็มขัดนาก กำไลนาก) พันธุ์กล้วยนากมีกล้วยนากแดง กล้วยน้ำ ฝรั่ง กล้วยครั่ง กล้วยกุ้งแดง ผลดิบผิวเขียวอมแดงหม่น ผลสุกผิวสีนากแดง มีกลิ่นหอม รสหวาน กึ่งกล้วยกึ่งกล้วยหอม เนื้อออกสีเหลืองส้ม ชาวมอญและชาวกระเหรี่ยงนำมาบดป้อนลูกเด็กเล็ก แดง เป็นกล้วยที่กินกันมากในประเทศพม่า

**กล้วยหิน** เป็นกล้วยคู่แม่ น้ำปัดตานี ปลูกตามควน (ตามเนินแนวลาดของภูเขาหรือเนินเขา) แถว บ้านนังสตาจังหวัดยะลา เป็นกล้วยที่ช่วยเสริมรายได้ให้ชาวบ้านอย่างมาก เพราะเมื่อนำไปแปรรูป แล้วจะอร่อยมาก กล้วยหินต้มที่สามแยกบ้านเนียง อำเภอบ้านนังสตา มีชื่อเสียงเลื่องลือ กล้วยหิน ฉาบจากตำบลน้้ำทะลุก็ดังไม่แพ้กัน

**กล้วยหักมุก** เป็นกล้วยที่นิยมนำมาบดกิน ตามแผงปิ้งกล้วยมักจะมียกล้วยหักมุกปิ้งทั้งเปลือกขายร่วม อยู่ด้วยเสมอ กล้วยหักมุกสุกห่ามนื้อหยาบ รสหวานอ่อนอมเปรี้ยวมีกลิ่นหอม เมื่อสุกเนื้อกล้วยจะ แน่นขึ้นและมีสีเหลืองอร่ามน่ากิน นอกจากนี้ยังนำมาทำกล้วยหักมุกฉาบ ที่พม่ากินกล้วยหักมุกสุก เป็นผลไม้ กล้วยส้มเป็นกล้วยหักมุกชนิดหนึ่ง ปลูกที่จังหวัดจันทบุรี

**กล้วยตานี** เป็นกล้วยป่าที่มาจากประเทศอินเดีย ปลูกเพื่อนำใบมาใช้เป็นใบตอง ผลกล้วยมีเมล็ด นอกจากนี้ผลดิบใช้ปรุงเป็นอาหาร เช่น ส้มตำกล้วยดิบ กินกับແหมນเมือง อาหารเวียดนาม นำไป ตองหรือแกง เป็นต้น

**กล้วยเล็บมือนาง** เป็นกล้วยกลายพันธุ์มาจากกล้วยป่าปลูกกันมากทางภาคใต้โดยเฉพาะที่จังหวัด ชุมพร อำเภอหลังสวน นับเป็นกล้วยที่แพร่หลายมากชนิดหนึ่ง (คนนครศรีธรรมราชเรียกว่า กล้วย

หมาก พัทลุงเรียกว่า กล้วยทองหมาก นครสวรรค์เรียกว่า กล้วยเล็บมือ เลยเรียกว่า กล้วยหอม) มีลำ อกสารนี้เป็นเอกลักษณ์สูงวันกล้วยที่ปลูกไว้เพื่อการค้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นกล้วยไข่เองจะเขียนหน้าการค้า ไม้ว่า ต้นส้มสูง กำกับค้ำน้อกสีชมพูอมแดง ผลมีขนาดเล็กเท่านิ้วมือ ปลายยาวเรียว โคนงอ ปลายผลมีจุดไข่

สีดำเล็กแหลมเป็นก้านเกสร เรียกว่า "เล็บ" ใน 1 หวี มีผลแน่นมากประมาณ 30-40 ผล ผลสุกสีเหลืองทอง เนื้อในสีเหลืองกลิ่นหอมแรง รสหวาน หอม เนื้อนุ่ม กินสุกเป็นผลไม้ แปรรูปเป็นกล้วยตาก และกล้วยฉาบอบใบเตย

**กล้วยเพชร** หรือเรียกกันว่า กล้วยสั้นปลี หรือกล้วยปลีหาย เพราะเวลาตกเครือปลีจะหดหายไป กล้วยเพชรในหนึ่งเครือมี 5-7 หวี แต่ละหวีมีราว 11 ผล ลักษณะผลมีขนาดใหญ่ มีสันเหลี่ยมตามเปลือกผลชัดเจน ปลายผลทู่ก้านผลยาว ผลดิบสีเขียวหม่น เมื่อแก่จัดมีสีเขียวอมเทาผลสุกเปลือกสีเหลืองส้ม เนื้อในสีครีม นำไปฉาบ เชื่อม ต้ม หรือเผากิน เนื้อจะเหนียวและหวาน

**กล้วยน้ำไท** เป็นกล้วยที่ครั้งหนึ่งเคยใช้ในการ เช่น สรางเทพยดาฟ้าดินไหว้ครุร่วมกับขนมต้มแดง ขนมต้มขาว หัวหมู ส้มสุกลูกไม้อื่น ๆ แต่ความที่เป็นกล้วยหายาก ในปัจจุบันจึงใช้กล้วยน้ำว้าแทน กล้วยน้ำว้าไทยผลสั้นกว่ากล้วยหอม ผลสุกผิวสีเหลืองอร่าม เนื้อกล้วยเหนียวคล้ายกล้วยน้ำว้า รสหวาน เข้มคล้ายกล้วยหอม บางท้องถิ่นเรียกว่า กล้วยหอมน้อย

#### การปลูกกล้วยในจังหวัดต่างๆในประเทศไทย [11]

-กล้วยน้ำว้ามีการปลูกกันทั่วไปทั้งปลูกไว้เพื่อบริโภคเองและเชิงการค้า ปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 732,000 ไร่ ผลผลิต 1,185,000 ตัน แหล่งปลูก ได้แก่ เลย นครพนม หนองคาย ชุมพร ระนอง และ นครราชสีมา

-กล้วยหอม ส่วนใหญ่มีการปลูกเชิงการค้าแหล่งปลูกได้แก่ ชุมพร ระนอง สงขลา นราธิวาส และ กรุงเทพมหานคร ปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 53,560 ไร่ ผลผลิต 90,439 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,391 กิโลกรัม/ไร่

-กล้วยไข่ เป็นกล้วยที่ปลูกเชิงการค้าเป็นส่วนใหญ่ แหล่งปลูกสำคัญ จังหวัดกำแพงเพชร เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ นครสวรรค์ สุโขทัย ชลบุรี ตรัง นครศรีธรรมราช ปี 2538 มีพื้นที่ปลูก 93,000 ไร่ ผลผลิต 150,000 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,140 กิโลกรัม/ไร่

#### การปลูกกล้วยในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง

กลุ่มภาคเหนือตอนล่าง มีการปลูกกล้วยเพื่อการค้าเป็นจำนวนมาก โดยพันธุ์กล้วยที่นิยมปลูกส่วนใหญ่คือ กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่จำหน่ายในรูปกล้วยสด ส่วนกล้วยน้ำว้าจะ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากกรมส่งเสริมการเกษตร

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยในรูปแบบต่างๆ เพื่อส่งจำหน่ายในตลาดต่อไป โดยจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นพบว่ากลุ่มภาคเหนือตอนล่าง 3 จังหวัด คือ ตาก สุโขทัย และพิษณุโลก มีปริมาณผลผลิตกล้วยดังนี้

จังหวัดตาก อำเภอที่ปลูกกล้วยเพื่อจำหน่ายมี 2 อำเภอ ดังนี้

#### อำเภอสามเงา

เขตพื้นที่อำเภอสามเงามีการส่งออกกล้วยปริมาณสูง โดยมีเกษตรกรทั้งรายเล็กและรายใหญ่ เกษตรกรรายใหญ่ปัจจุบันได้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปยังอำเภออื่นๆ เกษตรกรในพื้นที่ปลูกกล้วย 2 พันธุ์ คือ

- 1) กล้วยไข่ มีพื้นที่เพาะปลูกในเขตอำเภอสามเงาทั้งหมด 6,000 ไร่ ให้ปริมาณผลผลิต 10,900 ตัน/ปี และมีช่องทางการจำหน่าย 2 ทาง คือ การจำหน่ายให้จตุรรับซื้อซึ่งมีทั้งหมด 6 จุด โดยมีลักษณะเป็นโรงงานรับซื้อและคัดเกรดกล้วยไข่เพื่อบรรจุลงกล่อง แล้วใส่ตู้คอนเทนเนอร์ส่งจำหน่ายยังประเทศจีน และได้หวั่น ส่วนอีกหนึ่งช่องทางการจำหน่าย คือ การรับซื้อกล้วยลาย (กล้วยที่ไม่ได้คุณภาพ) เพื่อส่งจำหน่ายภายในประเทศต่อไป
- 2) กล้วยน้ำว้ามีพื้นที่เพาะปลูก 500 ไร่ ให้ปริมาณผลผลิตทั้งหมด 1,400 ตัน/ปี โดยมีพ่อค้าคนกลางมารับซื้อถึงสวนและจำหน่ายในประเทศ

#### อำเภอพบพระ

เกษตรกรนิยมปลูกกล้วยไข่ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูก 1,280 ไร่ ปริมาณผลผลิต 2,560 ตัน/ปี ซึ่งมีบริษัทหรือโรงงานรับซื้อที่จังหวัดเชียงใหม่ และกรุงเทพฯ

จังหวัดสุโขทัย อำเภอที่ปลูกกล้วยเพื่อจำหน่ายมี 2 อำเภอ ดังนี้

#### อำเภอกงไกรลาศ

เกษตรกรมีการลดปริมาณการปลูกกล้วยน้ำว้า ซึ่งส่วนใหญ่จะเน้นเรื่องของการแปรรูปเป็นกล้วยอบเนยเพื่อการจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ มีกลุ่มเกษตรกรที่ทำการแปรรูปหลายกลุ่ม

มีพ่อค้าจากต่างชาติเข้ามารับซื้อเพื่อส่งออกจำหน่ายสู่ประเทศจีน โดยการบรรทุกใส่ตู้คอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทรนเนอร์ ซึ่งมีการส่งออกไปยังประเทศจีน ผู้ประกอบการบางรายมีความสามารถในการหาตลาด  
เอง

### อำเภอศีร์ษะเกษ

ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกกล้วยน้ำว้าประมาณ 6,000 ไร่ ซึ่งผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 1.2  
ตัน/ไร่ มีการจำหน่ายผ่านพ่อค้าคนกลาง

จังหวัดพิษณุโลก อำเภอที่ปลูกกล้วยเพื่อจำหน่ายมี 2 อำเภอ ดังนี้

### อำเภอชาติตระการ

เกษตรกรนิยมปลูกกล้วยน้ำว้า ซึ่งมีพื้นที่ปลูก 700 – 1,000 ไร่ โดยพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่  
อยู่ที่ตำบลท่าสะแก การจำหน่ายกล้วย มี 2 รูปแบบ คือ จำหน่ายกล้วยสดโดยผ่านพ่อค้าคนกลาง  
เพื่อไปจำหน่ายต่อที่ตลาดไท จำหน่ายผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปของกลุ่มแม่บ้านเพื่อจำหน่ายในพื้นที่  
และผ่านพ่อค้าคนกลาง

### อำเภอบางกระทุ่ม

เกษตรกรปลูกกล้วยน้ำว้ามาเป็นเวลานาน มีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 2,900 ไร่ ผลผลิตโดยเฉลี่ย  
ประมาณ 1.35 ตัน/ไร่ ช่องทางการจำหน่ายหลัก คือ จำหน่ายให้โรงงานแปรรูปในท้องถิ่นซึ่งมี  
หลายโรงงาน และจำหน่ายผ่านพ่อค้าคนกลาง โดยปัจจุบันมีพ่อค้าคนกลาง 2 ราย จากจังหวัดพิจิตร  
รับซื้อเพื่อทำกล้วยตาก หรือกล้วยเคลือบน้ำตาล กล้วยอบน้ำผึ้ง

*การปลูกกล้วยในกลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [13]*

ในจังหวัดจันทบุรี ในพื้นที่ตำบลทุ่งเบญจา อำเภอท่าใหม่ ที่ปลูกกล้วยไข่มากที่สุดใน  
ประเทศ รองลงมาได้แก่พื้นที่อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี

*การปลูกกล้วยในกลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [14]*

การผลิตและการตลาดสินค้าการเกษตรในพื้นที่ลาดเชิงเขาติดกับแม่น้ำโขง ในเขตอำเภอ  
เชียงคาน อำเภอท่าลี่ อำเภอเมืองของจังหวัดเลยและในเขตอำเภอสังคมของจังหวัดหนองคาย พบว่า  
เอกสารเป็นแหล่งเพาะปลูกกล้วยแหล่งใหญ่ของทั้งสองจังหวัดที่ทำรายได้ให้ญาติกับเกษตรกรมาเป็นระยะ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลานานกว่าสิบปี(2542-2552)โดยกล้วยที่เกษตรกรนิยมปลูกคือ กล้วยน้ำหว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ที่ปลูกจะเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขาตามแนวลำน้ำโขง มีสภาพอากาศร้อนชื้นซึ่งเหมาะแก่การเจริญเติบโตของกล้วย ต้นทุนการผลิตไม่สูงมากการดูแลรักษาง่าย แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของจังหวัดหนองคายอยู่ที่ อำเภอสังคัม ปีเพาะปลูก 2551/52 มีพื้นที่ปลูก จำนวน 5,532 ไร่ และแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของจังหวัดเลย อยู่ที่ อำเภอเชียงคาน อำเภอปากชม อำเภอท่าลี่และอำเภอเมืองเลย ปีเพาะปลูก 2551/52 มีพื้นที่ปลูกจำนวน 34,689 ไร่ มีผลผลิตจะออกสู่ตลาดมากในช่วงฤดูฝนราคาเฉลี่ยหวีละ 3.50 บาท ส่วนหน้าแล้งผลผลิตออกน้อยราคาที่เกษตรกรจำหน่ายได้ เฉลี่ยหวีละ 4.50 บาท โดยผลผลิต ร้อยละ 80 ส่งขายตลาดต่างจังหวัดในรูปของผลสด เช่นจังหวัดอุดรธานี สกลนคร โยธาธร ร้อยเอ็ดและจังหวัดอุบลราชธานี อีกร้อยละ 20 ทำการแปรรูปอยู่ในพื้นที่ปลูก แปรรูปเป็นกล้วยตากกล้วยฉาบโดยมีการรวมกลุ่มเป็นกลุ่มเกษตรกรแปรรูปกล้วยจัดจำหน่ายเพื่อเพิ่มมูลค่า

#### การปลูกกล้วยในกลุ่มจังหวัดภาคใต้ [15]

มีกล้วยอยู่ชนิดหนึ่ง ที่เป็นที่รู้จักเฉพาะในหมู่ชาวยะลาและจังหวัดใกล้เคียงเท่านั้นเพราะเป็นกล้วย ที่มีเฉพาะในแถบจังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดยะลา กล้วยชนิดนั้นคือ "กล้วยหิน" กล้วยหิน เป็นกล้วยป่าชนิดหนึ่ง ขึ้นเองตามธรรมชาติมานาน และไม่มีใครทราบแน่ชัด ว่านานเท่าไร มีมากในอำเภอบันนังสตา แถวหมู่บ้านโต บ้านคาโสด บ้านป่าหวัง บ้านตะบิงติงงี กล้วยหิน เป็นพืชเก่าแก่คู่สองฝั่งแม่น้ำปัตตานี พบครั้งแรกในเขตตำบลบาเจาะ บริเวณสองฝั่งลำธาร สายใหญ่ (แม่น้ำปัตตานี) ต่อมาชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงก็นำหน่อไปปลูกตามริมฝั่งลำธาร ดังกล่าว ในเขตท้องที่ตำบลอื่น ๆ ที่แม่น้ำปัตตานีไหลผ่าน ปัจจุบันกล้วยหินได้ปลูกกระจายไปตำบลต่าง ๆ หลายตำบล และที่หนาแน่นมากก็มีที่ตำบลบาเจาะ และบันนังสตา ส่วนใหญ่จะปลูกกันในกลุ่มสอง ฝั่งลำธารใหญ่ ที่ลุ่มอื่น ๆ และปลูกเป็นพืชร่วมเงาในสวนยางพารา และสวนผลไม้อื่น ๆ กล้วยหิน เป็นพืชที่ปลูกง่าย ไม่ต้องดูแลเอาใจใส่มากนัก อายุยืนยาวปลูกครั้งเดียวเก็บเกี่ยวได้ตลอดไป เนื่องจากมีหน่อทดแทนขึ้นมาเรื่อย ๆ อายุยืนยาวกว่ากล้วยน้ำหว่า กล้วยไข่และกล้วยหอม

ลักษณะ ต้นคล้ายคลึงกับกล้วยทั่ว ๆ ไป แต่ลักษณะหวีและผลค่อนข้างจะแตกต่างไปจากกล้วยชนิดอื่น ๆ ลักษณะของหวีจะมีผลถี่แน่นเรียงชิดติดกัน ผลสั้น เป็นลูกสี่เหลี่ยมแบน ๆ ขนาดเล็กกว่ากล้วย น้ำหว่าเล็กน้อยเปลือกหนา มีเนื้อน้อย เมื่อสุกจะเป็นสีเหลือง แต่จะเก็บในขณะที่ผลแก่ โดย

สังเกตได้จากลักษณะของใบเลี้ยง จะเป็นสีน้ำตาลไหม้ ไม่นิยมเก็บกันตอนผลสุก เพราะ จะเก็บไว้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ได้นาน และถ้าผลสุกอมแล้วจะใช้ดื่ม หรือทำเป็นขนมรับประทานไม่อร่อยเท่ากับ ผลที่พอสุก  
ไม่ว่ากรรมใดๆ พงสน์ อีกทั้งหมมเม็ดดแปลงเนื้อหาและตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้วยหินใช้ประโยชน์ได้เฉพาะผล ใบ ปลีหรือต้นนำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ เพราะมี รสขม และใบกรอบ ผลกล้วยหินเมื่อแก่จัดและตัดมาแล้วเก็บไว้ได้นานกว่ากล้วยอื่น ๆ เก็บไว้ได้ นานประมาณ 7 วันถึงจะงอมและผลกล้วยหินใช้ประกอบเป็นอาหารคาวหวานได้หลายชนิด เช่น กล้วยบวชชี กล้วยทับ กล้วยเชื่อม กล้วยทอด กล้วยฉาบ กล้วยตากและกล้วยต้ม จนทำให้อาชีพ การแปรรูปกล้วยหินประสบความสำเร็จแก่ผู้ประกอบอาหารหลายราย ตัวอย่างเช่น อาชีพในการ ต้มกล้วยหิน ซึ่งนักท่องเที่ยวและคนทั่วไปมักจะรู้จักในนาม กล้วยต้มสามแยกบ้านเนียง เป็น กล้วยต้มที่ลือชื่อ โดยใช้กล้วยหินต้ม รสชาติอร่อย มีรสและกลิ่นหอมเฉพาะตัว นักท่องเที่ยว ที่เดินทางเข้าสู่จังหวัดยะลา จะต้องแวะซื้อกล้วยหินที่สามแยกบ้านเนียง กล้วยหินเป็นส่วนหนึ่ง ของการท่องเที่ยวของจังหวัดยะลา และเป็นของดีอย่างหนึ่งของจังหวัดยะลา แม้ว่าปัจจุบัน กล้วยหิน จะไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายถึงขนาดต้องส่งออกตลาดต่างประเทศก็ตาม แต่สำหรับตลาด ภายในจังหวัดยะลาและจังหวัดใกล้เคียง ให้ความสนใจกับกล้วยหิน พ่อค้าแม่ค้าต่างก็ไปรับซื้อ ถึงแหล่งปลูก ผลผลิตมีเท่าไรก็ขายได้หมด ชาวบ้านแถบอำเภอบันนังสตา จึงได้นำกล้วยหิน มาปลูกกันเป็นอาชีพ เพิ่มรายได้ให้แก่ครอบครัว ในปัจจุบันมีปลูกกันมากแคว้นพัฒนา ภาคใต้ 5 (นิคมคือลอง) บ้านโต และเขื่อนบางลาง โดยปลูกกันเป็นสวน มีการบำรุงรักษา ตามหลักการเกษตร การทำสวนกล้วยหินจึงกลายเป็นอาชีพหนึ่งของเกษตรกรในบริเวณดังกล่าว และนับวันจะขยายตัวมากขึ้นเรื่อย ๆ ทดแทนกล้วยหินป่าที่ค่อย ๆ หดไปแนวโน้มที่กล้วยหิน จะมุ่งสู่ตลาดต่างประเทศ ก็คงจะใช้เวลาไม่นานนัก เนื่องจากกล้วยหินมีชื่อได้เปรียบหลายอย่าง เมื่อเทียบกับกล้วยอื่น ที่กำลังส่งออกกันอยู่ ในปัจจุบันเพียงแต่จะทำอย่างไรให้ประชาชน และ ผู้บริโภคทั่วไปรู้จักกล้วยหินให้มากกว่าที่เป็นอยู่

#### การตลาด [11]

การตลาดกล้วยส่วนใหญ่ปลูกเพื่อส่งขายตลาดภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุก กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหอม และกล้วยไข่

-กล้วยน้ำว้า ตลาดส่วนใหญ่เป็นตลาดกล้วยสดเพื่อการบริโภคได้แก่ ตลาดท้องถิ่น ตลาดประจำจังหวัด และตลาดกลางกรุงเทพฯ ได้แก่ ตลาด อดก. ตลาดสี่มุมเมือง ตลาดไท ฯลฯ ราคาที่เกษตรกรขายได้ในปี 2537 กิโลกรัมละ 3.22 บาท นอกจากนี้ กล้วยน้ำว้ายังสามารถส่งโรงงานแปรรูปต่าง ๆ เช่น โรงงานทำกล้วยตาก กล้วยกวน กล้วยทอด กล้วยฉาบ สำหรับการส่งออกไปจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างประเทศส่วนใหญ่อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์แปรรูปกล้วยกระป๋องในน้ำเชื่อม กล้วยบวชชี กล้วยผสมกับผลไม้อื่น (ฟรุ๊ตสลัด)

-กล้วยหอมทอง ตลาดภายในส่วนใหญ่เป็นกล้วยสดเพื่อการบริโภคผลสุก ตลาดนอกเป็นตลาดท้องถิ่น ตลาดประจำจังหวัด ตลาดกลาง ได้แก่ ตลาดสี่มุมเมือง ตลาดไท ปากคลองตลาด ฯลฯ ราคาที่เกษตรกรขายได้ ปี 2537 กิโลกรัมละ 9.30 บาท ส่วนตลาดส่งออก ปัจจุบันมีการผลิตกล้วยส่งไปยังประเทศญี่ปุ่น ของสหกรณ์การเกษตรท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี และที่สหกรณ์การเกษตรละแม จังหวัดชุมพร ปริมาณที่ได้ส่งออกปี 2539 จำนวน 878 ตัน มูลค่า 18.5 ล้านบาท

-กล้วยไข่ ตลาดภายในประเทศ ได้แก่ ตลาดท้องถิ่น เช่น ตลาดรับของกิโลเมตร 8 ถนนสายกำแพงเพชร จังหวัดพิจิตร ตลาดป่าอ่าว ริมถนนสายเอเชียระหว่างนครสวรรค์-กำแพงเพชร ตลาดประจำจังหวัด และตลาดกลางกรุงเทพฯ ได้แก่ ปากคลองตลาด ตลาดสี่มุมเมือง ตลาดไท เป็นต้น ราคาที่เกษตรกรขายได้ ในปี 2538 กิโลกรัมละ 4.27 บาท ตลาดส่งออก ได้แก่ ตลาดฮ่องกง ตลาดญี่ปุ่น ตลาดไต้หวัน ปริมาณที่ส่งออกปี 2540 จำนวน 1,300 ตัน มูลค่า 8.32 ล้านบาท

การส่งออก

กล้วยที่นิยมปลูกเพื่อการส่งออก ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า ซึ่งการส่งออกในรูปแบบของกล้วยสดแช่เย็น และผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญ มีดังนี้

กล้วยสดแช่เย็น

•กล้วยหอม โดยเฉพาะกล้วยหอมทองปลูกมากที่จังหวัดชุมพร ระนอง และสุโขทัย ตลาดส่งออกกล้วยหอม ที่สำคัญของไทย ได้แก่ ญี่ปุ่น จีน ฮ่องกง และไต้หวัน

•กล้วยอื่น ๆ เช่น กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า ตลาดส่งออกสำคัญ ได้แก่ ฮ่องกง จีน และญี่ปุ่น

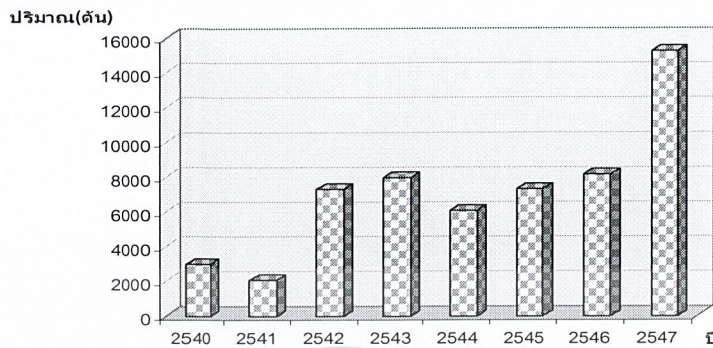
**ผลิตภัณฑ์กล้วยที่สำคัญ ได้แก่**

1. กล้วยแปรรูปอย่างง่าย เช่น กล้วยกวน กล้วยตาก และกล้วยอบกรอบ (Banana chip) ตลาดส่งออกกล้วยแปรรูปอย่างง่ายที่สำคัญของไทย ได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และออสเตรเลีย

2. กล้วยกระป๋อง ตลาดส่งออกกล้วยกระป๋องที่สำคัญของไทย ได้แก่ สหรัฐอเมริกา แคนาดา และฝรั่งเศส

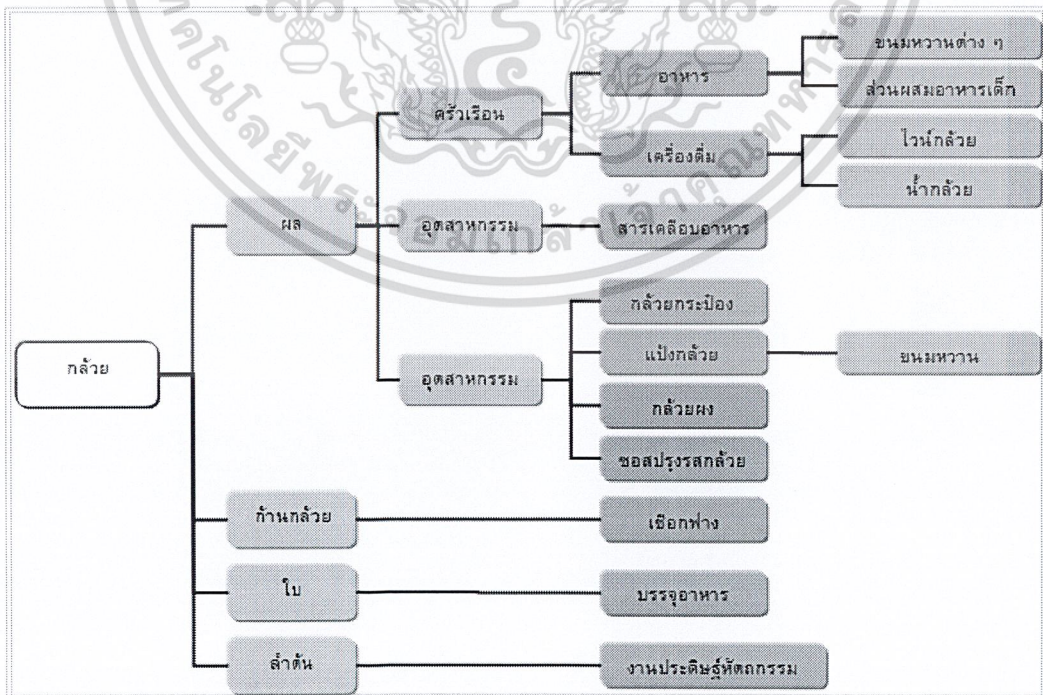
ไม่หวังผลใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารปรุงแต่งรสและกลิ่นกล้วยใช้สำหรับปรุงแต่งอาหาร ตลาดส่งออกสำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อิตาลี ออสเตรเลีย และญี่ปุ่น



รูปที่ 2.19 ปริมาณการส่งออกกล้วยของประเทศไทย [11]

จากภาพที่ 2.19 พบว่า ประเทศไทยมีแนวโน้มการส่งออกกล้วยเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งยังมีช่องทางในการขยายการส่งออกได้อีกมาก โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นเนื่องจากชาวญี่ปุ่นนิยมบริโภคกล้วยหอมของไทย อย่างไรก็ตามกล้วยและผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปของไทยสามารถแข่งขันได้ในตลาดโลกได้ ถ้าทั้งเกษตรกรและโรงงานแปรรูป มีระบบการจัดการการผลิตและการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสม เพื่อให้ได้มาตรฐานตามความต้องการของประเทศคู่ค้าที่กำหนดต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 2.20 การแปรรูปและการใช้ประโยชน์จากกล้วย** สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ปริมาณผลผลิตกล้วยของกลุ่มภาคเหนือตอนล่าง จำแนกตามจังหวัดต่างๆ [3]

จังหวัด	อำเภอ	พันธุ์	จำนวนพื้นที่ ปลูกทั้งปี (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	การแปรรูป	การจำหน่าย
ตาก	พบพระ	ไข่	1,280	2.00	2,560	กล้วยสด	จำหน่ายให้กับโรงงานและพ่อค้าคนกลาง
รวม			1,280		2,560		
สุโขทัย	คีรีมาศ	น้ำว่า	6,000	1.20	7,200	กล้วยสด,กล้วยฉาบ	จำหน่ายให้พ่อค้าคนกลาง
	กงไกร ลาส	น้ำว่า	ไม่มีการสำรวจ	ไม่มีการสำรวจ	ไม่มีการสำรวจ	กล้วยอบเนย	จำหน่ายให้พ่อค้าคนกลางเพื่อส่งประเทศ จีน
รวม							
พิษณุโลก	ชาติ ตระการ	น้ำว่า	850	5.00	4,250	กล้วยสด,กล้วยตาก ,กล้วยกวน	จำหน่ายให้พ่อค้าคนกลางหรือส่งตลาด ไท
	บาง กระทุ่ม	น้ำว่า	2,900	1.35	3,915	กล้วยตาก,กล้วยอบ น้ำผึ้ง	จำหน่ายให้พ่อค้าคนกลาง
รวม			3,750		8,165		

ตารางที่ 2.8 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกล้วยสดและผลิตภัณฑ์ ปี 2540-2547

ปริมาณ : ตัน    มูลค่า :

ล้านบาท

รายการ	2540		2541		2542		2543		2544		2545		2546		2547	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
กล้วยหอมสด	890	18.00	764	20.87	1,046	24.63	1,410	37.45	1,520	41.48	1,233	34.45	1,331	31.04	2,115	58.45
กล้วยไข่สด	1,300	8.32	1,026	9.37	5,593	63.43	5,801	77.11	3,533	48.39	2,671	33.75	3,684	34.45	8,466	77.42
กล้วยสดอื่นๆ	4	0.12	0.56	0.04	156	1.69	332	5.02	470	5.85	1,309	10.71	1,324	8.11	2,085	11.89
กล้วยกระป๋อง	642	5.73	192	5.92	192	6.26	169	5.79	198	6.70	143	4.41	172	5.03	170	5.57
กล้วยกวน	55	3.61	65	3.64	119	9.10	66	4.59	136	8.69	1,492	14.48	641	27.05	1,007	43.01
กล้วยตาก	99	27.34	89	22.28	225	43.10	202	24.65	237	32.37	511	31.85	990	61.88	1,370	163.36
รวม	2,990	63.13	2,136.56	62.11	7,331	148.21	7,980	154.61	6,094	143.47	7,359	130.05	8,142	167.56	15,213	359.70

ที่มา : กรมศุลกากร

### 2.3.6 แป้งกล้วย [16]

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผลกล้วยดิบ เพราะในกล้วยดิบจะมีปริมาณแป้งมาก แป้งกล้วยมีการทำและขายในตลาดท้องถิ่นมาก่อน และเริ่มทำเป็นอุตสาหกรรมเมื่อปี ค.ศ. 1982 ในประเทศเอกวาดอร์ด้วยกล้วยหอมกลุ่มคาเวนดิชและมีการผลิตแป้งกล้วยเพิ่มมากขึ้นเป็นอุตสาหกรรม ในประเทศเอกวาดอร์มีการผลิตปีละประมาณปีละ 850 ตัน และประเทศคอสตาริกามีการผลิตปีละประมาณ 2,700 ตัน เพื่อใช้เป็นอาหารของเด็กทารกและคนชรา ปัจจุบันการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นแป้งกล้วยนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจมีผู้นิยมทำกันมากในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะมีประชากรโลกจำนวนมากนิยมบริโภคแทนข้าว และล้วนเป็นประเทศที่มีปัญหาในด้านการผลิตซึ่งมีปริมาณการนำเข้าสูงมากเพื่อความมั่นคงทางอาหารของประเทศ [16]

#### ตารางที่ 2.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งกล้วยที่ได้จากตูบแห้ง [17]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

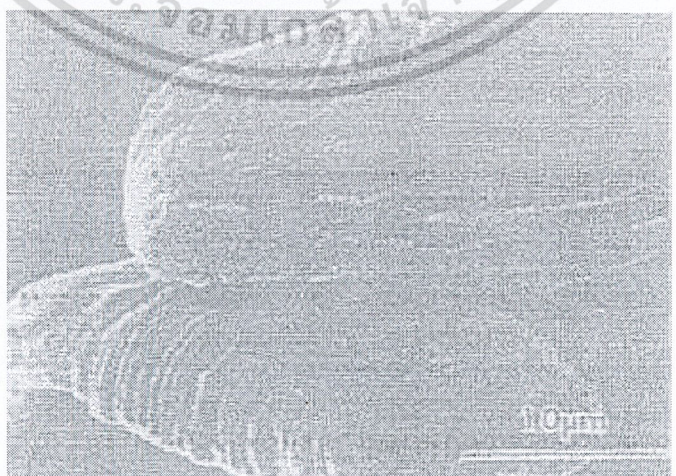
### 2.3.6.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย

Kayisu และคณะ [17] ศึกษาสมบัติของสตาร์ชจากกล้วย พบว่าแป้งจากกล้วยดิบ ประกอบด้วยสตาร์ช 78.0 เปอร์เซ็นต์ และแป้งจากกล้วยสุกประกอบด้วยสตาร์ช 16.1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อส่องดูด้วย SEM พบว่าสตาร์ชอยู่ในลักษณะที่เป็นเม็ด (Starch granule) มีรูปร่างทรงกลม (Spheroid) และแท่งยาว (Elongated) โดยรูปร่างทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-40 ไมโครเมตร มีความกว้าง 5-25 ไมโครเมตร และยาว 20-50 ไมโครเมตร (รูปที่ 2.21) พื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบมีลักษณะเรียบ ในขณะที่เม็ดสตาร์ชจากกล้วยสุกมีลักษณะเป็นริ้วๆ ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ในระหว่างการสุกของกล้วย (รูปที่ 2.22) ส่วนสมบัติด้านความหนืดของเม็ดสตาร์ชเมื่อตรวจสอบโดย Brabender viscoamylograph พบว่าการตรวจสอบของผสมสตาร์ชกับน้ำที่ความเข้มข้นต่ำไม่พบการเกิด Peak viscosity และมีความหนืดเกิดขึ้นเล็กน้อยในระหว่างให้ความร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวน้อย จึงมีความแข็งแรงมากพอที่จะต้านทานต่อการกวนได้ แต่เมื่อตรวจสอบของผสมสตาร์ชกับน้ำที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ กราฟความหนืดที่ได้ใกล้เคียงกับสตาร์ชจากธัญพืช โดยหลังจากเกิด Peak viscosity แล้วเมื่อให้ความร้อนและเวลาต่อไป ความหนืดจะลดลง หลังจากนั้น เมื่อลดอุณหภูมิลงความหนืดจะสูงขึ้น และพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ (Gelatinization temperature) อยู่ในช่วง 67-70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชจากกล้วยมีรูปแบบการพองตัว (Swelling pattern) เป็น 2 ชั้น (Two-stage swelling pattern)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 รูปร่างและขนาดเมล็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบ [17]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.22 ลักษณะเมล็ดสตาร์ชจากกล้วยสุก [17]  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

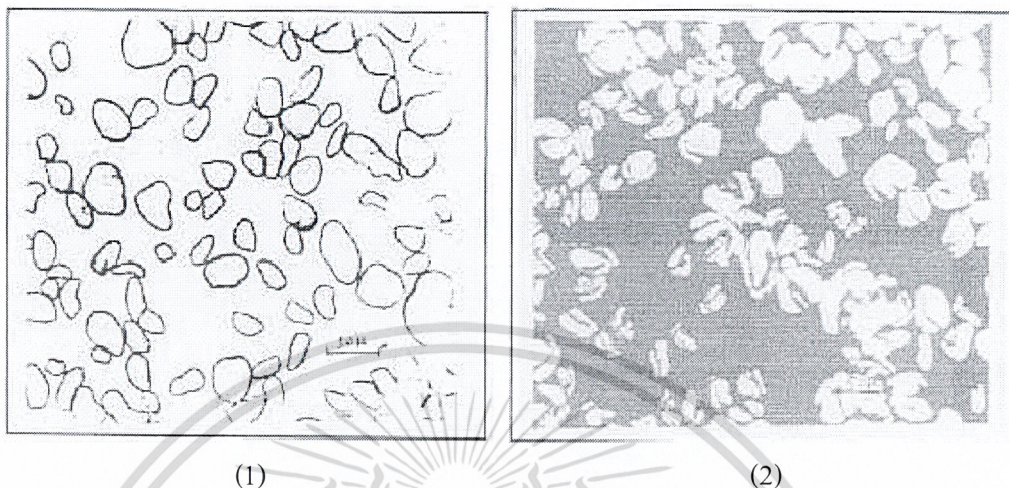
Lii และคณะ [18] ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสตาร์ชจากกล้วย (Musa sp.) ที่ระยะการสุกแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.11)

ตารางที่ 2.10 ลักษณะของกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ [18]

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

พบว่าเม็ดสตาร์ชเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงธรรมดา (Normal light) (รูปที่ 2.23) มีรูปร่างวงรี (Oval) และรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular) และเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์และแสงโพลาไรซ์ (Polarized light) พบการเกิดลักษณะการหักเหสองแนว (Birefringence) (ในรูปที่ 2.23 (2)) เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 6-80 ไมโครเมตร แต่ที่พบมากที่สุดอยู่ระหว่าง 20-60 ไมโครเมตร และเมื่อกล้วยมีระยะการสุกมากขึ้น พบเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น โดยจะไม่พบเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กกว่า 15 ไมโครเมตร เมื่อกกล้วยมีระยะการสุกมากกว่าระยะที่ 1 และจะไม่พบเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร เมื่อกกล้วยมีระยะการสุกมากกว่าระยะที่ 4 (ตารางที่ 2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วย (1) Normal light (2) Polarized light [18]

เมื่อตรวจสอบสมบัติการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกล้วยที่มีระยะการสุก 0 ถึง 3 ตรวจสอบที่อุณหภูมิ 65-95 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 2.13 พบว่าสตาร์ชจากกล้วยมีกำลังการพองตัวน้อยมาก (Fairly restricted swelling power) แต่สูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืช ส่วนความสามารถในการละลายน้ำก็เช่นเดียวกัน นอกจากนี้สมบัติด้านความหนืดของของผสมสตาร์ชจากกล้วยกับน้ำที่ความเข้มข้น 5, 7 และ 8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตรวจสอบด้วย Brabender viscoamylograph ที่อุณหภูมิ 35-95-35 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที พบว่าของผสมสตาร์ชที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบ Peak viscosity เนื่องจากสตาร์ชมีการพองตัวน้อย จึงมีความหนืดเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่การตรวจสอบของผสมสตาร์ชที่ความเข้มข้น 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 จึงทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวในระหว่างการให้

ความร้อนน้อย (Fairly restricted-swelling) ดังนั้นต้องให้ความร้อนสูงเพื่อทำลายพันธะภายในเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สตาร์ช เม็ดสตาร์ชจึงสามารถคูดน้ำและพองตัวได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 ปริมาณเม็คสตาร์ชขนาดต่างๆ(เปอร์เซ็นต์)ที่พบในกล้วยที่มีระยะการสุกต่างๆ [18]

ขนาด (ไมโครเมตร)	ระยะการสุก							
	0	1	2	3	4	5	6	
9	1.55	0.18	-	-	-	-	-	-
9-15	6.19	3.06	-	-	-	-	-	-
15-20	22.05	21.58	5.00	0.59	2.88	-	-	-
20-30	40.62	48.38	63.33	45.10	19.60	23.56	25.72	28.40
30-45	24.56	22.30	27.78	50.15	58.21	68.44	64.29	59.88
45-60	5.03	4.32	3.89	4.15	19.02	8.00	8.57	8.64
60	-	0.18	-	-	0.29	-	-	0.30

ตารางที่ 2.12 กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ชกล้วยที่มีระยะการสุกต่างๆ [18]

	ระยะการ สุก	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)			
		65	75	85	95
กำลังการพองตัว	0	2.08	17.58	24.05	31.60
	1	2.25	18.14	24.03	33.47
	2	2.19	16.19	24.63	35.29
	3	2.51	12.27	20.90	30.07
ความสามารถใน การละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	1	0.15	10.00	13.61	16.33
	2	0.33	10.88	14.25	20.33
	3	0.14	9.98	15.09	21.74
	4	0.77	8.75	13.20	18.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น [19] ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย ได้ผลสรุปว่า

1. กล้วยน้ำว้าที่มีความแก่ 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บเกี่ยว 15, 16, 17 และ 18 สัปดาห์หลังจากแทงปลี มีความยาวของเส้นรอบวง และอัตราส่วนเปลือกต่อเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยกล้วยน้ำว้าเมื่อมีความแก่เพิ่มขึ้น ความยาวเส้นรอบวงมากขึ้น แต่อัตราส่วนเปลือกต่อเนื้อลดลง

2. ในการคัดแยกกล้วยน้ำว้าที่มีระยะความแก่ต่างกันสามารถใช้วิธีการวัดความยาวเส้นรอบวงร่วมกับการพิจารณาเหลี่ยมของผล และจำนวนวันหลังจากแทงปลีจนกระทั่งเก็บเกี่ยวเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแป้งกล้วยได้

3. ผลของวิธีการทำให้แห้งในกระบวนการผลิตแป้งกล้วยโดยการใช้ตู้อบและการตากแดด ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแป้งกล้วยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แป้งกล้วยที่ทำให้แห้งโดยการตากแดดจะมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงกว่าแป้งกล้วยที่ทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบแห้ง

4. แป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยที่มีความแก่ต่างกัน มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย คาร์โบไฮเดรต อะไมโลส และน้ำตาลทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยที่มีความแก่มากขึ้น ปริมาณโปรตีน ไขมัน และน้ำตาลทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณเส้นใย คาร์โบไฮเดรตจะลดลง แป้งกล้วยจะมีปริมาณน้ำตาลและอะไมโลสมากที่สุดเมื่อกล้วยมีความแก่ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยประกอบด้วยสตาร์ชและอะไมโลส 66 และ 23 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

5. แป้งกล้วยมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล จากการศึกษาผลของวิธีการทำให้แห้งในกระบวนการผลิตแป้งกล้วยโดยการ ใช้ตู้อบและการตากแดด พบว่าค่า L (ค่าความสว่าง) ค่า a (ค่าสีแดง) และค่า b (ค่าสีเหลือง) ของแป้งกล้วยไม่มีการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาระยะความแก่ของกล้วยต่อค่าสีของแป้งกล้วยที่ผลิตได้ พบว่า ค่า L (ค่าความสว่าง) ค่า b (ค่าสีเหลือง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยค่า L (ค่าความสว่าง) ลดลงเมื่อกล้วยมีความแก่มากขึ้น ส่วนค่า b (ค่าสีเหลือง) เพิ่มขึ้นเมื่อกล้วยมีความแก่มากขึ้น

6. เม็ดแป้งกล้วยมีรูปร่างทั้งที่เป็นวงรีและรูปร่างไม่แน่นอน มีขนาดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง

27-45 ไมโครเมตร วิธีการทำให้ในการผลิตแป้งกล้วยไม่มีผลต่อรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง เมื่อไม่ผ่านการนึ่งใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาระยะความแก่ของกล้วยที่มีต่อขนาดเมล็ดแป้งพบว่ากล้วยที่มีความแก่ 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดเมล็ดแป้งโดยเฉลี่ยประมาณ 27, 30, 38 และ 45 ไมโครเมตร ตามลำดับ กล้วยที่มีความแก่มากขึ้นจะมีขนาดของเมล็ดแป้งใหญ่ขึ้น

ตารางที่ 2.13 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลกล้วยที่ระยะความแก่ต่างๆ [19]

ความแก่ (เปอร์เซ็นต์)	ความยาวเส้นรอบวง (cm)
70	3.14 ± 0.14
80	3.49 ± 0.28
90	3.70 ± 0.28
100	4.15 ± 0.35

ตารางที่ 2.14 ปริมาณผลผลิตแป้งกล้วยที่ผลิตจากกล้วยที่ความแก่ต่าง เมื่อทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบและการตากแดด [19]

วิธีทำให้แห้ง	ความแก่ (เปอร์เซ็นต์)	เปลือก (เปอร์เซ็นต์)*	ผลผลิต (เปอร์เซ็นต์)**
ตู้อบแห้ง	70	39.75 ± 0.85	22.20 ± 1.80
	80	35.02 ± 0.63	24.90 ± 2.52
	90	32.463 ± 0.55	21.90 ± 1.48
	100	30.56 ± 0.40	22.13 ± 0.85
ตากแดด	70	39.02 ± 0.70	20.90 ± 2.86
	80	36.31 ± 0.57	20.77 ± 2.31
	90	34.64 ± 0.55	22.37 ± 0.61
	100	29.08 ± 0.50	22.56 ± 0.76

หมายเหตุ \*เปลือก (เปอร์เซ็นต์) =  $\frac{\text{น้ำหนักเปลือก}}{\text{น้ำหนักกล้วยทั้งผล}} \times 100$

\*\*ผลผลิต (เปอร์เซ็นต์) =  $\frac{\text{น้ำหนักแป้งกล้วย}}{\text{น้ำหนักกล้วยทั้งหมด}} \times 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.6.2 การใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วย [20,21]

แป้งจากกล้วยน้ำว้าใช้ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยสามารถใช้แป้งกล้วยทดแทนได้ร้อยละ 10 - 50 ตามลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เป็นการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นให้มีบทบาทในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ขนมอบดังกล่าวนี้ได้แก่ คุกกี้เนยสด คุกกี้กล้วยกรอบ คุกกี้กล้วยตาก บราวนี่ เค้กเนยสด เค้กกล้วยหอม เค้กกล้วยน้ำว้า เค้กกล้วยตาก ขนมปัง แซนด์วิช ขนมปังปอนด์ ขนมปังขาไก่ ขนมปังซอฟต์บันน์ โดนัท ทาร์ตกล้วย ขนมเปียะกุหลาบ ขนมเปียะ ทานตะวันขนมไหว้พระจันทร์ เอแคลร์ครีมกล้วย แครกเกอร์ชนิดทอด และแครกเกอร์ชนิดอบ [20]

นอกจากนี้ผงแป้งกล้วยน้ำว้าดิบ ใช้แก้อาการท้องเสีย อาหารไม่ย่อย ลมในกระเพาะอาหาร ป้องกันการเกิดแผลกระเพาะอาหารและอาการกรดสะสมในร่างกาย โดยนำกล้วยดิบมาหั่นบางๆ ตากแดดให้แห้ง แล้วบดให้ละเอียดเป็นแป้ง ใช้ผงกล้วยนี้ปั้นลูกกลอนกับน้ำผึ้ง กิน 3 เม็ดก่อนอาหารและก่อนนอน รักษาอาการท้องเสีย ท้องเดิน แผลกระเพาะอาหาร [21]

### 2.4 แป้งในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) [22]

ในธรรมชาติโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินมีการจัดเรียงตัว โดยมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่ค่อนข้างแข็งแรงอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีคุณสมบัติการหลอมตัวที่สูงมาก โดยปกติอุณหภูมิการหลอมตัวของเม็ดแป้งสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัวทำให้แป้งไม่สามารถหลอมตัวได้ นั่นคือ ถ้าได้รับความร้อนสูง (มากกว่า 265°C) แป้งจะเกิดการเผาไหม้ก่อนการหลอมตัว

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) หมายถึง วัสดุที่สามารถหลอมตัวและนำไปขึ้นรูปเป็นแบบต่างๆได้ โดยการใช้ความร้อนและความดัน จากสมบัติของแป้งที่กล่าวข้างต้น จะเห็นว่าโดยธรรมชาติแล้ว แป้งไม่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกเลย ซึ่งเราสารรถทำให้แป้งมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกได้ โดยการใช้สารเติมแต่ง (Additive) คือ พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินเป็นอิสระมากขึ้น ดังนั้นเราจึงนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นแผ่นหรือขึ้นรูปเป็น

รูปแบบต่างๆได้ พลาสติกที่ผลิตได้จากวิธีนี้จึงเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) เส้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกที่ผลิตโดยวิธีนี้จะมีเป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งโมเลกุลของเป้งมีลักษณะเป็น Hydrophilic ทำให้พลาสติกที่ผลิตขึ้นมีความไวต่อความชื้น กล่าวคือถ้าเก็บไว้ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง โมเลกุลเป้งจะมีการดูดซับน้ำจากสิ่งแวดล้อม ทำให้พลาสติกมีลักษณะอ่อนตัวและมีคุณสมบัติการดึงยืด (Elongation) ได้มากขึ้น ในทางกลับกันหากเก็บไว้ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะมีการสูญเสียโมเลกุลน้ำให้กับสิ่งแวดล้อมสูง ทำให้พลาสติกมีลักษณะแห้งกรอบและเปราะ (Brittle) นอกจากนี้ Thermoplastic starch ยังมีคุณสมบัติไม่ทนน้ำอีกด้วย หากสัมผัสกับน้ำ จะเกิดการพองตัวและละลายของโมเลกุลเป้งได้

## 2.5 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) [23]

พลาสติกไซเซอร์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) ซึ่งการไหลแบบพลาสติก หมายถึง การไหลของวัสดุที่ต้องอาศัยความเค้นหรือแรงน้อยที่สุดขนาดหนึ่งมากระทำต่อวัสดุชิ้นนั้น ซึ่งความเค้นหรือแรงขนาดน้อยที่สุดที่ทำให้วัสดุเกิดการไหลนี้เรียกว่า Yield value

### 2.5.1 พลาสติกไซเซชันและพลาสติกไซเซอร์ (Plasticization and Plasticizer)

พลาสติกไซเซชัน หมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติก ซึ่งอาจทำได้โดยการให้ความร้อนหรือการใส่พลาสติกไซเซอร์โดยพลาสติกไซเซอร์จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้นเป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนรูป ได้ง่ายขึ้นซึ่งกระบวนการผสมพลาสติกไซเซอร์เข้าไปในพอลิเมอร์โดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างพลาสติกไซเซอร์และพอลิเมอร์ เรียกว่า “พลาสติกไซเซชันภายนอก” (External plasticization) และเรียกพลาสติกไซเซอร์ที่ผสมลงไปว่า “พลาสติกไซเซอร์ภายนอก” (External plasticizer) ซึ่งพลาสติกไซเซอร์ชนิดนี้ จะช่วยให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติกโดยอำนาจการทำลาย

ข้อดีของพลาสติกไซเซชันภายนอก คือ สามารถทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวน้อยหรือมากตามความต้องการในการทำงานได้โดยการปรับชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ลงไป แต่ก็มีจุดด้อยคือ พลาสติกไซเซอร์ ที่ใช้อาจถูกสกัดออกจากพอลิเมอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วพลาสติกไซเซออร์ภายนอกเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูง มีความดันไอต่ำ ระเหยยาก ละลายได้ในพอลิเมอร์ และมีอุณหภูมิ  $T_g$  ประมาณหรือใกล้เคียง  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ พลาสติกไซเซออร์แท้จริงหรือพลาสติกไซเซออร์ปฐมภูมิ (True plasticizer or Primary plasticizer) และพลาสติกไซเซออร์เสริมแรงหรือพลาสติกไซเซออร์ทุติยภูมิ (Secondary plasticizer) โดยพลาสติกไซเซออร์แท้จริงสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิขึ้นรูปได้ดี สามารถใช้เดี่ยวๆ ได้และไม่แยกออกมาจากพอลิเมอร์ ในขณะที่พลาสติกไซเซออร์เสริมแรงมีความสามารถในการเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้จำกัดจึงไม่สามารถใช้ตามลำพังได้ต้องใช้ควบคู่กับพลาสติกไซเซออร์แท้จริงและช่วยเสริมประสิทธิภาพของ พลาสติกไซเซออร์แท้จริง นอกจากนี้การใช้พลาสติกไซเซออร์เสริมแรงยังช่วยลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงสมบัติอื่นๆ ของพอลิเมอร์ด้วย

## 2.6 เส้นใย (Fibers) [24]

เส้นใย หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของวัสดุสิ่งทอ โดยปกติจะถูกจำแนกโดยความอ่อนตัว ความละเอียด อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความหนาต่างๆ

เส้นใยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. เส้นใยที่มาจากธรรมชาติ (Natural fibers)
2. เส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made fibers)

2.6.1 เส้นใยธรรมชาติ หมายถึง เส้นใยที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เช่น เส้นใยขนสัตว์ เส้นใยจากพืชหรือเส้นใยจากแร่ธาตุต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆตามแหล่งกำเนิดเส้นใย คือ เส้นใยที่ได้มาจากพืช เส้นใยที่ได้มาจากสัตว์ และเส้นใยที่ได้มาจากแร่ธาตุ

### 2.6.1.1 เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) [24]

เส้นใยฝ้าย คือ เส้นใยที่มีลักษณะนุ่มที่เกิดขึ้นรอบๆเมล็ดจากต้นฝ้ายซึ่งเป็นไม้พื้นเมืองชนิดต้นเตี้ยที่มีอยู่ทั่วโลก ทั้งในประเทศอเมริกา อินเดีย และแอฟริกาเป็นส่วนใหญ่ แต่เส้นใยฝ้ายในตลาดส่วนใหญ่ทั่วโลกเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีชื่อว่า กอสลีเปียม ฮิสซูตัม (*Gossipium hirsutum*) และกอสลีเปียม บาบาคเนสส์ (*Gossipium barbadense*) จากประเทศอเมริกา เส้นใยฝ้ายถูกทอเป็น

หลอด และใช้เป็นด้ายที่นุ่มและมีการระบายอากาศที่ดีนิยมใช้แปรรูปเป็นเครื่องนุ่งห่มอย่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแพร่หลาย ในปัจจุบันเส้นใยฝ้ายสามารถผลิตได้โดยการแยกเมล็ด ฝั่ฝั่และโปรตีนออก เป็นรูปไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Cellulose) หรือเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural polymer) ผลิตภัณฑ์จากเส้นใยฝ้ายมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง มีความแข็งแรงสูง คงทน และดูดซับได้ดี เพราะมีการเสียน้ำหนักน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างกระบวนการแปรรูปจากวัตถุดิบฝ้าย (Raw cotton balls) เป็นเส้นใยฝ้ายโดยเส้นใยหนึ่งเส้นเกิดจากเซลลูโลส 20-30 ชั้นเรียงตัวเป็นขดซึ่งยังช่วยให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นที่ดียิ่งขึ้นอีกด้วย เมื่อเมล็ดฝ้าย (Cotton balls) แรกออก เส้นใยแห้งจะถูกทำให้อยู่ในรูปแผ่นแบน เกลียว หรือมีลักษณะคล้ายริบบิ้น (Ribbon-like shapes) และจะขดเข้าด้วยกัน จากนั้นจะผูกติดกันไว้เพื่อความสะดวกในกระบวนการปั่น (Spinning) เป็นเส้นด้าย (Yarn) ต่อไป เส้นใยฝ้ายนั้นมีความละเอียดมาก มีความยาวเส้นใยตั้งแต่ 10-56 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเส้นใย เส้นใยฝ้ายจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11-12 ไมครอน เป็นเส้นใยที่มีความละเอียดมากๆ มีขนาดค่อนข้างละเอียดเสมอตลอดเส้นใย ซึ่งเส้นใยฝ้ายจะมีสีออกขาวจนถึงเทาอ่อน



รูปที่ 2.24 ต้นฝ้ายและเมล็ดฝ้าย [25]

#### 2.6.1.1.1 ลักษณะการจัดเรียงตัวภายในเส้นใย

1. บริเวณที่เป็นส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Amorphous regions) เป็นบริเวณที่สามารถรับน้ำและความชื้น ดังนั้นจะเป็นบริเวณที่สีซึมเข้าไปได้แต่จะเป็นส่วนที่ไม่แข็งแรง
2. บริเวณที่เป็นส่วนที่เป็นระเบียบ (Crystalline regions) เป็นบริเวณที่ไม่สามารถรับน้ำและความชื้น เป็นส่วนที่แข็งแรงของเส้นใยเนื่องจากโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันเป็นระเบียบ
3. การจัดเรียงตัวของส่วนที่เป็นระเบียบตามแนวแกนเส้นใย (Orientation) เป็นบริเวณที่มีส่วนที่เป็นระเบียบ เรียงตัวตามแนวแกนของเส้นใย ทำให้เพิ่มความแข็งแรงในด้านการทนแรงดึงตามแนวแกนเส้นใยได้

#### 2.6.1.1.2 องค์ประกอบทางเคมี [26]

เซลลูโลส ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่เกิดจากกลูโคส จำนวนประมาณ 50,000

โมเลกุล เชื่อมต่อกันเป็นโซ่ยาว และมีลักษณะคล้ายตาข่าย มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโซ่ เซลลูโลสจึงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีโครงสร้างเป็นเส้นใย มีไนไม้อะและลำต้นพืช ร้อยละ 50 มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ย่อยสลายยาก กระทบอาหารคนเราไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ ยกเว้นในสัตว์ประเภทกินพืช เช่น วัว ควาย ม้า ซึ่งมีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้

เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของเซลล์ (Structural carbohydrate) ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ โมเลกุลของกลูโคส (Glucose subunits) 1,000-10,000 โมเลกุล มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) 200,000-2,000,000 หน่วยย่อยพื้นฐาน (Basic subunit) คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล ต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -(1-4) ไกลโคซิดิก โดยที่ไม่มีการแตกแขนง

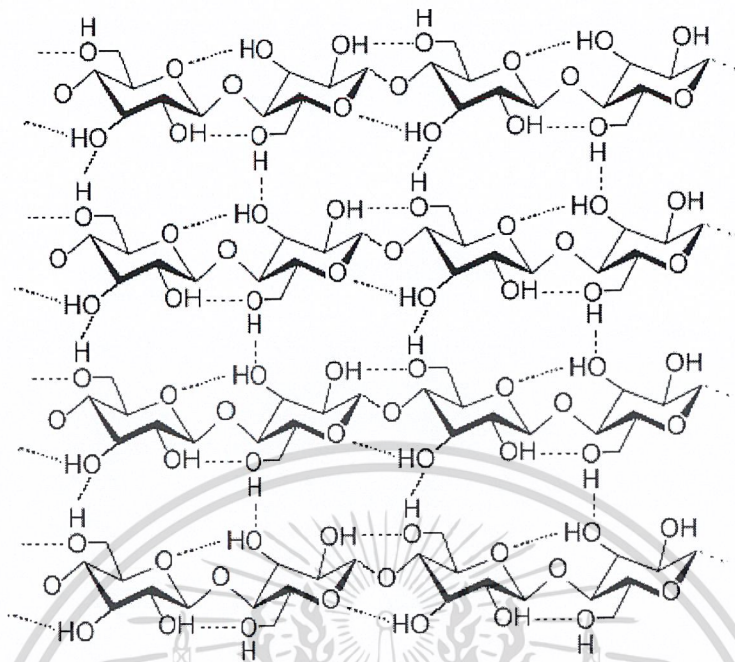
เซลลูโลสใน Primary cell wall ประกอบด้วยกลูโคสยาวประมาณ 2,000 โมเลกุล และอย่างน้อย 14,000 โมเลกุลใน Secondary cell wall โดยโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาว และเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า Microfibril ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช ปริมาณของเซลลูโลสอาจพบน้อยมากในส่วนที่สะสมอาหาร เช่น ในอินทผลัมมีเพียง 0.8% ขณะที่ในส่วนของเส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) มีมากถึง 98%

การสังเคราะห์เซลลูโลสยังไม่เป็นที่เข้าใจทั้งหมดแต่น่าจะเป็นการรวมตัวของ หน่วยย่อยพื้นฐานคือเซลโลไบโอสเข้าไปในลูกโซ่ของโมเลกุลมากกว่าที่จะเป็น การเติมโมเลกุลเดี่ยวๆ ของกลูโคส UDP-glucose และน้ำตาล Lipid-pyrophosphate มีความจำเป็นในขั้นตอนการสังเคราะห์ ส่วนในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวการสังเคราะห์เซลลูโลสค่อนข้างจำกัดเว้นแต่จะมีการเจริญเติบโตซึ่งนับว่าน้อยมาก

โมเลกุลของเซลลูโลสมีความเสถียรมาก แต่สามารถถูกทำลายได้ด้วยกรดแก่หรือ โดยการย่อยของเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) แต่เอนไซม์เซลลูเลสนี้พบปริมาณน้อยมากในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวและพบว่าไม่ มีความสำคัญในการอ่อนนุ่มของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของเซลลูโลสในผลไม้ที่กำลังสุกมีน้อยมากและระดับ ของปฏิกิริยาของเอนไซม์ก็ไม่มี

ความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการอ่อนนุ่มของ ผลไม้ในระหว่างการสุก เป็นที่ทราบกันว่าเซลลูเลสจะมีการทำงานในขณะที่มีการหลุดร่วงของใบไม้หรือ อวัยวะส่วนอื่นจากต้นพ่อแม่ แต่อย่างไรก็ตามปรากฏว่าเป็น Isoenzyme ซึ่งแตกต่างจากเอนไซม์ เซลลูเลสทั่วไปที่พบในเซลล์ส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 สายโมเลกุลเซลลูโลส (conformation), เส้นประแสดงพันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างโมเลกุล [27]

### 2.6.1.1.3 สมบัติทางกายภาพ

#### ความเหนียว (Tenacity)

ความแข็งแรงของผ้าเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวที่ดีของพอลิเมอร์ที่ยาว (มีค่าความเป็นผลึกประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์) มีการสร้างตัวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างพอลิเมอร์ที่ติดกัน

เส้นใยผ้าเป็นเส้นใยที่แข็งแรงกว่าเดิมเมื่อเปียกน้ำ เนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่อย่างชั่วคราวในส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ การจัดเรียงตัวที่ดี เมื่อเปียกน้ำมีผลต่อการเพิ่มของพันธะไฮโดรเจน ทำให้ค่าความเหนียว (Tenacity) เพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

#### ธรรมชาติของการยืดหยุ่นและความเป็นพลาสติก

เส้นใยผ้าไม่มีความยืดหยุ่นตัว เพราะว่าเป็นเส้นใยที่มีส่วนที่เป็นผลึกสูง เนื่องจากการที่มีส่วนที่เป็นระเบียบมาก ทำให้ไม่สามารถจะพับเพราะจะทำให้พอลิเมอร์ขาดออกจากกัน ทำให้ผ้าฉีกขาดง่าย เป็นจุดอ่อนของพอลิเมอร์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ธรรมชาติของการดูดซึมความชื้น

ฝ้ายเป็นเส้นใยที่ดูดซึมความชื้นได้ดี เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) มากภายในพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามน้ำจะสามารถซึมได้ที่บริเวณที่ไม่เป็นระเบียบเท่านั้น เพราะว่าช่องว่างภายในของส่วนที่เป็นผลึกมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าของน้ำ การพองตัวในน้ำก็จะเกิดบริเวณที่ไม่เป็นระเบียบเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.15 สมบัติของเส้นใยฝ้าย [24]

Property	Evaluation
รูปร่าง	ความกว้างสม่ำเสมอประมาณ 12-20 ไมครอน มีความยาวตั้งแต่ $\frac{1}{2}$ - 2 $\frac{1}{2}$ นิ้ว
ความเป็นเงา	ต่ำ
ความเหนียว (ความแข็งแรง)	
- แห้ง	3.0-5.0 g/d
- เปียก	3.3-6.0 g/d
ความยืดหยุ่น	ต่ำ
ความหนาแน่น	1.54-1.56 g/cm <sup>3</sup>
การดูดซับความชื้น	
- raw:conditioned	
Saturation mercerized:	8.5 %
- Conditioned	15-20 %
- Saturation	8.5-10.3 %
Dimensional stability	ดี
ความทนทานต่อ	
- กรด	เส้นใยจะถูกทำลาย ทำให้อ่อนลง
- ด่าง	ทนทาน ไม่มีอันตราย
- ตัวทำละลายอินทรีย์	ทนทานได้ดีเป็นส่วนใหญ่
- แสงแดด	เส้นใยจะอ่อนลงเมื่อตากแดดไว้เป็นเวลานาน
- จุลินทรีย์	เส้นใยจะถูกทำลายโดยแบคทีเรีย ทำให้เน่าเปื่อยและขึ้นรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาตรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่वारณโदिक्कं ढङ्गसुनं ओकङ्गहाम्महेठदढ्बलङ्गनेओहाम्मदोङ्गओङ्गङ्गเจओङ्गเอกสารทุคคङ्गห้ทุคคङ्गนำโค้

<ul style="list-style-type: none"> <li>- แมลง</li> </ul> <p>ปฏิกิริยาทางความร้อน</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความร้อน</li> <li>- เปลวไฟ</li> </ul>	<p>แมลงสามง่ามทำลายเส้นใย</p> <p>สลายตัวหลังจากได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลานานหรือถูกเผาไปเลย</p>
---	--

### อุณหภูมิวิกฤต (Critical temperatures)

- อุณหภูมิใช้งานทั่วไป ต้องไม่ต่ำกว่า 77 °F (25 °C)
- อุณหภูมิที่เหมาะสม 68 °F (20 °C)
- อุณหภูมิวาบไฟ 248 °F (120 °C)
- อุณหภูมิลุกไหม้ 401 °F (205 °C)
- อุณหภูมิเผาไหม้ 410 °F (210 °C)
- อุณหภูมิจุดติด 765 °F (407 °C)

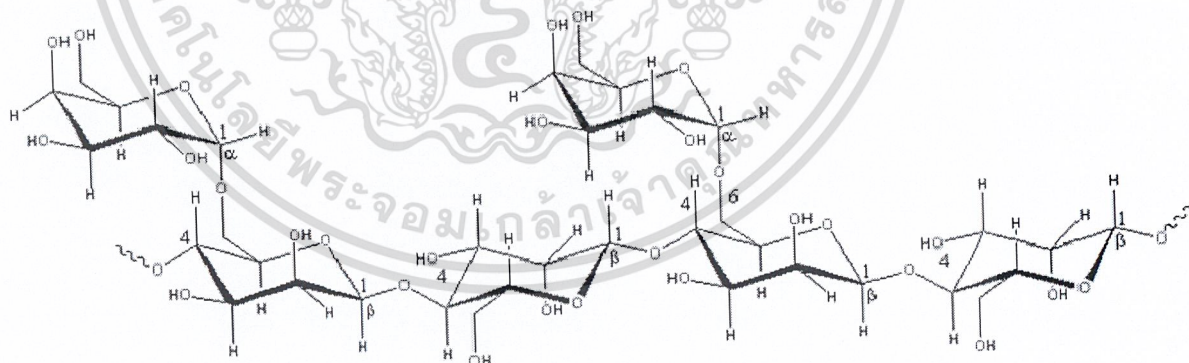
โดยเซลล์โลสที่แห้งจะแข็งกระด้างและเปราะ ไม่ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) และจะติดไฟได้งานในช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง 65 °C เป็นช่วงเวลาที่เหมาะแก่การขึ้นรูปเพื่อนำไปใช้งาน และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C จะช่วยหยุดการเน่าเสียของเส้นใยฝ้ายได้ จึงเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเซลล์โลสที่ใช้กันทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 กัวร์กัม (Guar gum) [28]

กัวร์กัม หรือ Guar gum ได้จาก Endosperm ของเมล็ดต้น Guar (*Cyamopsis tetragonolobus*) มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียและปากีสถาน ปัจจุบันมีปลูกในรัฐเทกซัส สหรัฐอเมริกา โครงสร้างของ Guar gum เป็น โพลิเมอร์สายยาวของ Mannose ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1,4 และมีกิ่งแขนงของ Galactose โดยทุก ๆ 2 โมเลกุลของ Mannose ต่อกับ 1 โมเลกุลของ Galactose ด้วยพันธะ 1,6 ทำให้อัตราส่วนของ Mannose ต่อ Galactose เป็น 2:1 ซึ่งแสดงว่า Guar gum มีกิ่งแขนงของ Galactose มากกว่า Locust bean gum

Guar gum มีสมบัติเป็น Non-gelling แต่กระจายตัวและอุ้มน้ำได้ดีในน้ำเย็น จึงใช้ทำหน้าที่หลักเป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัวและอุ้มน้ำ สามารถเกิดอันตรกิริยากับ Xanthan gum ทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลาย Guar gum ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ pH เวลา ความเข้มข้น และขนาดของอนุภาคด้วย Guar gum เป็น Non-ionic และทนต่อ pH ช่วงกว้างตั้งแต่ 4-10 ทำให้สามารถเติม อิเล็กโทรไลต์ได้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สูงกว่า 5% จะมีผลต่อการอุ้มน้ำและเกิดเจล Guar gum มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงสุดที่ pH 7.5-9.0



รูปที่ 2.26 โครงสร้างของกัวร์กัม [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

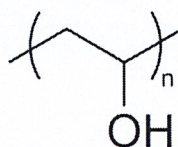
## 2.8 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol) , PVA) [29]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพและติดไฟได้คล้ายกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ จะละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง แต่ความแข็งแรง การดึงยึด ความทนต่อการฉีกขาด และอ่อนงอดีขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. อาศัยคุณสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชัน และแขวนลอยต่างๆข้นขึ้น (ใช้เป็น Thickening agent) และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใสเหนียว และทนต่อการขีดข่วน

2. นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีให้ไม่สามารถละลายแล้วจึงนำมาใช้งาน ซึ่ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำนี้สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนผ้าได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้สวมใส่สบาย ชักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี

ในระดับคุณภาพเภสัชภัณฑ์ [30] พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เหมาะที่สุดสำหรับการใช้ในเชิงพาณิชย์ในปริมาณมาก โดยเป็นสารเพิ่มปริมาณ (Excipient) ในผลิตภัณฑ์ยาต่างๆ เช่น สารเคลือบยาเม็ด ยาหยอดตา การหมักบ่มทางชีวภาพ และยาใช้เฉพาะที่ PVA เป็นสารที่เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในร่างกาย ปลอดภัยจากความเป็นพิษ ละลายได้ในน้ำ และเหมาะสำหรับใช้ในการจำลองเนื้อเยื่อตามธรรมชาติ มีคุณสมบัติที่ออกซิเจนซึมผ่านได้ดี ไม่มีผลกระทบบที่กระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน (Immunogenic effects) และสร้างแผ่นฟิล์มเคลือบผิวชั้นเยี่ยม เป็นตัวกระทำอิมัลชัน และมีฤทธิ์เมื่อสัมผัสกับน้ำ (Remoistable)



รูปที่ 2.27 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ [32] ทดลองผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ผสมกลีเซอรอลหรือกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (Glycerol monostearate) ร้อยละ 0.2, 5 และ 10 ทำการผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว หรือเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่สามารถผลิตวัสดุใช้ทำฟิล์มที่ดี คือ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำสูง ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้ผิวแผ่นฟิล์มเรียบขึ้น แต่ทำให้คุณภาพด้านความทนต่อการแตกเมื่อพับลดลง การผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (Glycerol monostearate) ในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ไม่ทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะดีขึ้น ลักษณะของแป้งมันสำปะหลังผสม กลีเซอรอล คือ ใส ยืดหยุ่นดี ส่วนแผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าผสมกลีเซอรอลมีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ ปร่าบางกว่า แผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง

มณฑาทิพย์ ยูนฉลาด [33] ได้เตรียมแผ่นฟิล์มจากอะไมโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว แบ่งเป็นสามชนิด ได้แก่ ฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชและวุ้น สตาร์ช อะไมโลสและวุ้น อะไมโลส และวุ้น ใช้ กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ร้อยละ 0-0.5 ฟิล์มที่ได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.472-0.594 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพบว่า ฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชและวุ้นให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาด 4.65 กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การใช้งานเช่นเดียวกับเซโลโฟนที่ทำภาชนะบรรจุฟิล์มชนิดนี้ เมื่อผสมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ร้อยละ 0-0.5 ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือ 8.15 กรัม และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซสูงสุด เนื่องจากการละลายอะไมโลสไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ฟิล์มทุกชนิดต้านทานไขมันสูงถึง 36 ชั่วโมง เช่นเดียวกับฟิล์มอะไมโลส จึงเหมาะแก่การไปห่อหุ้มอาหารที่มีไขมันสูง

วัลย์ หุตะโกวิท และคณะ [34] ได้นำแป้งกล้วยมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เค้ก คุกกี้ โดนัท ขนมเปียะไหว้พระจันทร์ ในอัตรา 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถนำแป้งกล้วยมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เค้ก คุกกี้ โดนัท และขนมเปียะไหว้พระจันทร์ได้โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีลักษณะดีตามลักษณะของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ และหากเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยมากกว่านี้ พบว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะร่วนซุย สีคล้ำ และนอกจากนี้ยังมีการทดลอง

เอกสารเสริมแป้งกล้วยในผลิตภัณฑ์ขนมไทยบางชนิด เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและลดปริมาณการใช้สารเคมี ไม่ว่าจะเป็นขนมใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งชนิดอื่น และพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยจากแป้งกล้วย พบว่า สามารถนำแป้งกล้วยเสริมในผลิตภัณฑ์ขนมลูกชุบและเม็ดขนุนได้ 10 เปอร์เซ็นต์ ขนมดอกจอก 20 เปอร์เซ็นต์ ขนมดอกคำหวาน 30 เปอร์เซ็นต์ ขนมกง 25 เปอร์เซ็นต์ ข้าวเกรียบ 25 เปอร์เซ็นต์และทำผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่แป้งกล้วยและเสริมในขนมหม้อแกงกล้วยทองได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่ดีขึ้น มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น มีลักษณะเฉพาะโดยให้กลิ่นหอมของกล้วย

**รววิทย์ โพนนิกร [35]** ศึกษาพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable polymer) โดยการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) จากขวดน้ำดื่ม มาผสมกับสารตัวเติมอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic fillers) ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งสาทิ และแป้งท้าวยายม่อม เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของแป้งที่ส่งผลต่อการย่อยสลายของพอลิเมอร์ ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล สมบัติทางความร้อน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก และสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ก่อนและหลังการฝังกลบในดินธรรมชาติกับดินที่มีการเติมเหล็ก ( $Fe^{3+}$ ) เป็นระยะเวลา 4 เดือน ผลการทดลองพบว่าชนิดและปริมาณของแป้งมีผลต่อค่าความทนแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัส กล่าวคือ เมื่อ พอลิเมอร์มีปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้น ค่าความทนแรงดึงกับค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ส่วนค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพอลิเมอร์ที่มีการเติมแป้งสาทิ 30% หลังการฝังกลบมีค่าลดลงมากที่สุด ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน พอลิเมอร์ที่มีการเติมแป้งสามารถทนความร้อนได้สูงกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้มีการเติมแป้ง และพอลิเมอร์ทุกสูตรไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก ( $T_m$ ) และอุณหภูมิในการตกผลึก ( $T_c$ ) เมื่อทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกโดย XRD พบว่าพอลิเมอร์ทุกสูตรไม่มีการเปลี่ยนแปลง ผลการศึกษาโดย SEM หลังการฝังกลบพบว่า พื้นผิวหน้าของพอลิเมอร์ที่ผสมแป้งทุกสูตรเกิดรูพรุนกระจายไปทั่ว จากผลการทดลองทั้งหมดทำให้สรุปได้ว่า หลังการฝังกลบ พอลิเมอร์ที่มีการเติมแป้งชนิดต่างๆเกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมแป้ง และพอลิเมอร์ที่มีการเติมแป้งสาทิเกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีการเติมแป้งข้าวเจ้าและแป้งท้าวยายม่อม ตามลำดับ ส่วนพอลิเมอร์ที่มีการฝังกลบในดินที่มีการเติมเหล็กจะเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าดินธรรมชาติเล็กน้อย

**รัตนา รุจิรวนิช [36]** ศึกษาผลการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิแลคติก แอซิดและพอลิคาโพรแลคโตนที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกล และความสามารถในการต้านทานความชื้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของ คอมพอลิโตนที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลัก งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมคอมพอลิโตนที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลัก งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมคอมพอลิโตนที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลัก งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมคอมพอลิโตนที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลัก

พอลิโพรพิลีนโดยวิธีการอบจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลาย ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิแลคติก แอซิด และพอลิคาโพรแลคโตน โดยเครื่อง Compression molding ที่อุณหภูมิ 220 °C นาน 2 นาที และปล่อยให้แม่พิมพ์เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็ว 20 °C ต่อนาที ทำให้ได้แผ่นคอมพอสิตโพรพิลีนของแป้ง มันสำปะหลังที่มีการเติมพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าขอบบนและล่างของโพรพิลีนมีความหนาแน่นสูง ในขณะที่ส่วนกลางของโพรพิลีนมีความหนาแน่นต่ำ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์เวลาในการเก็บโพรพิลีน การเติมพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ และการเติมพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าค่าการทนต่อแรงดึงและค่าการทนต่อแรงโค้งงอให้ค่าสูงที่สุดที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 42 เปอร์เซ็นต์นาน 2 วัน และการเติมพอลิเมอร์สังเคราะห์สามารถปรับปรุงค่าการทนต่อแรงดึง ค่าการทนต่อแรงโค้งงอและค่าการยืดตัวของโพรพิลีนได้ ในขณะที่การเติมพลาสติกไซเซออร์ทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงและค่าการทนต่อแรงโค้งงอของโพรพิลีนลดลงแต่เพิ่มการยืดตัวของโพรพิลีน นอกจากนี้การศึกษาศสมบัติการดูดซับน้ำแสดงให้เห็นว่า การเติมพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้สามารถลดการดูดซับน้ำของโพรพิลีนได้ และจากการศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อะไมเลส พบว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่มีผลต่อการย่อยสลายของแป้งมากนัก

**ไพลาภา นิมสังข์ และคณะ [37]** ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี, สัณฐานวิทยาและสมบัติทางความร้อนของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยดิบ ได้แก่ AA group (กล้วยไข่; KH), AAA group (กล้วยหอมทอง; HT) และ ABB group (กล้วยน้ำว้า; NW) การผลิตแป้งกล้วย ทำได้โดยการอบแห้งผล บด และร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นนำแป้งที่ได้มาสกัดเป็นสตาร์ช โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล แป้งกล้วยไข่ (KHF), กล้วยหอมทอง (HTF) และกล้วยน้ำว้า (NWF) ที่ผลิตมีร้อยละของผลได้จากน้ำหนักผลสดเท่ากับ 48.12%, 56.50%, และ 54.50% ตามลำดับ ส่วนสตาร์ชของกล้วยทั้งสามชนิด มีค่าร้อยละผลได้จากแป้งเท่ากับ 30.37% (KHS; AA group), 29.67% (HTS; AAA group) และ 33.18% (NWS; ABB group) ( $p>0.05$ ) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วย (โปรตีน ไขมัน และเถ้า) พบว่ามีค่ามากกว่าสตาร์ชจากกล้วย และมีค่าแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ เมื่อตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสามชนิดมีผิวเรียบ และมีลักษณะกลม กลมยาว และยาวรีตามลำดับ กราฟความหนืดของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยที่ได้

จากเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA) พบว่ามีลักษณะคล้ายกราฟความหนืดของสตาร์ชกล้วย เคียว โดยแป้งกล้วยทุกสายพันธุ์มีค่าความหนืดสูงสุด, Break down, Set back และความหนืดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายต่ำกว่าสตาร์ชกล้วย ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชันวิเคราะห์ด้วย DSC เท่ากับ 73.96-86.18°C สำหรับแป้งและเท่ากับ 70.70-81.50°C สำหรับสตาร์ช

**ชุตินันท์ เพชรทอง และคณะ [38]** ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายจากแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งข้าวเจ้า พัฒนาขึ้น โดยนำกล้วยน้ำว้ามาผลิตแป้งและขึ้นรูปเฟรนช์ฟราย แป้งกล้วยน้ำว้าที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดมีสีขาวออกเหลือง และมีกลิ่นหอมของกล้วย นำไปผลิตเฟรนช์ฟรายที่อัตราส่วนแป้งกล้วยน้ำว้าต่อแป้งข้าวเจ้าเท่ากับ 70:30 80:20 และ 90:10 จากการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยการให้คะแนนความชอบ (Hedonic scaling test) ของผู้ทดสอบจำนวน 20 คน พบว่าผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายจากแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งข้าวเจ้า พัฒนาขึ้น โดยนำกล้วยน้ำว้ามาผลิตแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งกล้วยน้ำว้า 80 กรัม แป้งข้าวเจ้า 20 กรัม ได้การยอมรับมากที่สุด หลังจากนั้นนำสูตรนี้มาพัฒนาวิธีการผลิตเพื่อพัฒนาลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าวิธีการแช่แข็ง และทอดที่อุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์นี้

**สุวีรยา ส่องแก้ว และคณะ [39]** ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติของคอมโพสิตย่อยสลายทางชีวภาพระหว่างแป้งข้าวเจ้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์ งานวิจัยนี้เตรียมคอมโพสิตย่อยสลายทางชีวภาพของแป้งข้าวเจ้า ซึ่งใช้กัทธิเซอร์อลเป็นพลาสติกไซเซอร์และเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ชนิดสั้น ด้วยการอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว หลังจากนั้นศึกษาผลของปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ต่อสมบัติเชิงกล การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ผลการศึกษาพบว่า การเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ชนิดสั้นในพลาสติกแป้ง ทำให้คอมโพสิตแสดงสมบัติเชิงกลดีขึ้นและดูดซับน้ำลดลง และพบว่าสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการดูดซับน้ำของคอมโพสิตเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ผลการศึกษาการย่อยสลายของคอมโพสิตด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส พบว่าค่าร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของคอมโพสิตมากกว่ากรณีพลาสติกแป้งและเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์

**K. Kayisu และคณะ [40]** ศึกษาหาสมบัติของสตาร์ชและเส้นใยจากกล้วย โดยนำกล้วยสุกมาวิเคราะห์หาความชื้น, โปรตีน, สตาร์ช, น้ำตาล, ไขมัน และเส้นใย กล้วยสุกประกอบด้วยอาหาร 1.27% หาได้จากวิธีการวิเคราะห์เส้นใยแบบดีเทอร์เจนต์ (Detergent method) พบว่ามีปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) สูงกว่าผลไม้และผักทั่วไปที่มีปริมาณ Cellulose และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lignin น้อยกว่า ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาและสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสตาร์ชที่แยกออกมาได้ เม็ดสตาร์ชมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนมากเป็นแบบทรงกลมและแบบเรียวยาว

**F.S.Kittur และคณะ [41]** ได้ศึกษาการใช้สารเคลือบที่เป็นคอมโพสิตของพอลิแซคคาไรด์เพื่อยืดอายุการเก็บกล้วยและมะม่วงสด ผลของคุณภาพจากการใช้สารเคลือบที่แตกต่างกันและการยืดอายุของกล้วยกับมะม่วงที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  °C ถูกเปรียบเทียบกับผลไม้ที่เคลือบด้วย Waxol และไม่ได้เคลือบ สูตรต่างๆ ที่ใช้ประกอบด้วยสตาร์ช, เซลลูโลส และไคโตซานที่ผสมเข้ากับไขมันที่เหมาะสมและสารเคมีที่ใช้เคลือบ (Wetting agent) ตัวแปรทางคุณภาพที่ทำการวัดได้แก่ ความตึงตึงและค่าความเป็นกรด ตัวแปรทางกายภาพที่ทำการวัด คือ ปริมาณ  $\text{CO}_2$  และน้ำหนักที่หายไป เนื่องจากการหายใจและการคายน้ำ จากผลการทดลองพบว่า สารเคลือบที่ทำจากพอลิแซคคาไรด์ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีช้า มีค่าความเป็นกรดต่ำกว่า และให้ค่าความตึงตึงดีกว่าเมื่อเทียบกับผลไม้ที่เคลือบด้วย Waxol และที่ไม่ได้ถูกเคลือบ อีกทั้งปริมาณ  $\text{CO}_2$  และน้ำหนักที่หายไปมีการลดลงอย่างชัดเจน โดยสารเคลือบที่ทำจากไคโตซานสามารถยืดเวลาในการเก็บและมีคุณภาพของกล้วยกับมะม่วงดีที่สุด

**X. Ma และคณะ [42]** การศึกษาสมบัติของเส้นใยเสริมแรงธรรมชาติบนสารประกอบเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยมีแบ่งเป็นวัสดุพื้นฐานถูกผสมรวมกับกลีเซอรอล ยูเรียและฟอร์มัลดีไฮด์เป็น พลาสติกไซเซอร์และเส้นใยผ้าสักหลาดเป็นเส้นใยเสริมแรงธรรมชาติ โดยใช้ปริมาณเส้นใยแตกต่างกัน ของผสมถูกเตรียมจากแป้งข้าวโพด ปริมาณเส้นใยผ้าสักหลาด 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนของพลาสติกไซเซอร์:แป้ง เท่ากับ 30:100 ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติโดยใช้เทคนิคการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สมบัติเชิงกล การดูดซับน้ำและเสถียรภาพทางความร้อน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาณเส้นใย 15-20 เปอร์เซ็นต์ เห็นส่วนของเม็ดแป้งได้ชัดเจนกว่าและจากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของยังสูงขึ้นแต่ค่าการดึงยืดและ Energy break ต่ำลงและมีการดูดซับน้ำได้จำกัด นอกจากนี้ เทอร์โมพลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปริมาณมากมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**R. Shi และคณะ [43]** ได้ศึกษาถึงการยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ที่ทำจาก แป้งข้าวโพดที่มีน้ำอยู่ 12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยการหลอมใช้เครื่อง Internal Mixer (Rheomix) ในการผสม ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 80 rpm เป็นเวลา 25 นาที จนกระทั่งความหนืดเริ่มคงที่ ของผสมเข้ากับ กลีเซอรอลในปริมาณแตกต่างกันที่ 30, 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายใต้อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 5$  เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการทดลองในระยะเวลา 3 เดือน จากการทดสอบ XRD พบว่า เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นช่วยให้โครงสร้างแบบเกลียวเดี่ยว (Single helix structure) เกิดได้มากขึ้นด้วย แต่จำกัดการเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ (Double helix structure) และผลการทดสอบทางความร้อน DMTA พบว่าอุณหภูมิเหนือสถานะทรานซิชัน (Onset temperature of upper transition) ของ เทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลไม่มากนัก และสมบัติเชิงกลเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลจากการวัด FTIR ยังสามารถแสดงถึงความเร็วของการเคลื่อนที่ของพีด Hydroxyl group stretching ที่เกิดได้ช้าลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นสามารถยืดอายุการใช้งานของพอลิเมอร์ได้นานขึ้น

**R. Sothornvit และ N. Pitak [44]** งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่มีผลต่อฟิล์มแป้งกล้วยที่เตรียมมาจากการหล่อแบบ (Casting) โดยใช้ น้ำ 100 มิลลิลิตร แป้งกล้วยปริมาณต่างๆ กัน คือ 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลีเซอรอล 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพคติน 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิการเกิดเจลที่ในเซชัน  $75-80^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ  $50-80^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าแป้งกล้วยมีลักษณะแข็ง สีเหลืองจาง แป้งกล้วยที่ส่วนผสมของเพคตินมีค่าความแข็งแรงดึงสูงและแป้งกล้วยที่มีส่วนผสมของกลีเซอรอล 50 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึดมีค่าสูงสุด และยังพบว่าเมื่อกลีเซอรอลและเพคตินมีปริมาณมากขึ้น ทำให้การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนในแป้งกล้วยลดลง นอกจากนี้วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารแห้งยังสามารถย่อยสลายได้เองโดยการฝังดิน

**H.G Xiong และคณะ [45]** ฟิล์มผสมของแป้งข้าวโพดกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่ไม่นิยมใช้แพร่หลายเพราะมีความต้านทานน้ำต่ำและมีสมบัติ

เชิงกลไม่ดี งานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงสมบัติฟิล์มผสมของแป้งข้าวโพดกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยการเติมนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้แป้งข้าวโพดสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามมีข้อดีและข้อเสียของเอกสารที่ควรพิจารณาไปใช้

ลิโวนิลแอลกอฮอล์ พิล์มที่ได้จึงมีสมบัติเชิงกลและมีความต้านทานน้ำดีขึ้น ในการทดลองนี้เตรียมฟิล์มขึ้นโดยวิธีเคลือบบนแผ่นกระจก โดยทำการเตรียมฟิล์มขึ้น 2 แบบ แบบแรกผสมแป้งกับพอลิโวนิลแอลกอฮอล์ (SP film) แบบที่สองผสมแป้ง พอลิโวนิลแอลกอฮอล์และนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (NSP film) จากนั้นวิเคราะห์ทางโครงสร้างของฟิล์มและนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและความสามารถในการย่อยสลาย จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง SP film และ NSP film เห็นได้ว่า NSP film มีความเป็นผลึกลดลง แต่ความแข็งแรงดึง การดึงยืด ณ จุดขาดและเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของ NSP film มีค่าเพิ่มขึ้นและ NSP film มีการดูดซับน้ำลดลง แสดงให้เห็นว่าการเติมนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ลงไปทำให้ความต้านทานน้ำและสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมของแป้งข้าวโพดกับพอลิโวนิลแอลกอฮอล์ดีขึ้น

**C.M.O. Muller และคณะ [46]** ได้ศึกษาผลกระทบของเส้นใยเซลลูโลสที่มีผลต่อฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง เส้นใยมีความยาว 1.2 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร ใช้ปริมาณเส้นใย 0.1, 0.3 และ 0.5 ต่อแป้ง 1 กรัม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นพลาสติกไซเซออร์เพื่อยับยั้งการคิ่นรูปของแป้งและใส่กำมะถันเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของเส้นใย ผลการตรวจสอบด้วยกล้องอิเล็กตรอนจุลทรรศน์แบบส่องกราด เส้นใยมีการกระจายตัวดีในแป้งมันสำปะหลังและผลกระทบของเส้นใยฝ้ายที่มีผลต่อสมบัติฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง คือ ช่วง 2-3 นาทีขึ้นไป ความชื้นสัมพัทธ์ 0-33, 33-64 และ 64-90 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์การละลายน้ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 64-90 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ 33-64 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด ค่าน้ำซึมผ่านของแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมเส้นใยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 64-90 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด และปริมาณเส้นใย 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด แต่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่ำสุด และมีค่ามอดุลัสสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

3.1.1 ก๊วยน้ำว้าดิบระยะสุกเท่ากับศูนย์

3.1.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) BF 17 W จากบริษัท Lab system (ตารางที่3.1)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

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

3.1.3 กัวร์กัม จากบริษัท SIGMA (ตารางที่3.2)

ตารางที่ 3.2 สมบัติของกัวร์กัม

สมบัติ	ค่าที่วัดได้
Total impurities	6-12 wt. %
Particle size	< 300 $\mu$ m
pH	5-7 (1.0 wt. % in H <sub>2</sub> O)
Viscosity	32 poise, 1 wt. % in H <sub>2</sub> O (25 °C, Brookfield RV, spindle #3)(20 rpm) (lit.)
Density	> 300 °C (lit.) 1.3 g/mL at 25 °C (lit.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจนำไปใช้เพื่อการค้า  
โดยไม่ขออนุญาตใดๆ ทั้งสิ้น อีก Density ให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง 1.3 g/mL at 25 °C (lit.) ที่มีการนำไปใช้

3.1.4 น้ำมันพืชตราโอลีน

3.1.5 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system

3.1.6 เส้นใยฝ้าย (Cotton fibers) ความยาว 1-2 มิลลิเมตร

3.1.7 เกลีโอปรุงทิพย์

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 ตู้อบ

3.2.2 บีกเกอร์

3.2.3 เครื่องให้ความร้อน

3.2.4 แท่งแก้วคน

3.2.5 เครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.2.6 เครื่องปั่น

3.2.7 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.8 น้ำกลั่น

3.2.9 ถาด (ขนาดกว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร)

3.2.10 เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์

3.2.11 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing Machine) : Llyod Instrument รุ่น

LR 5k

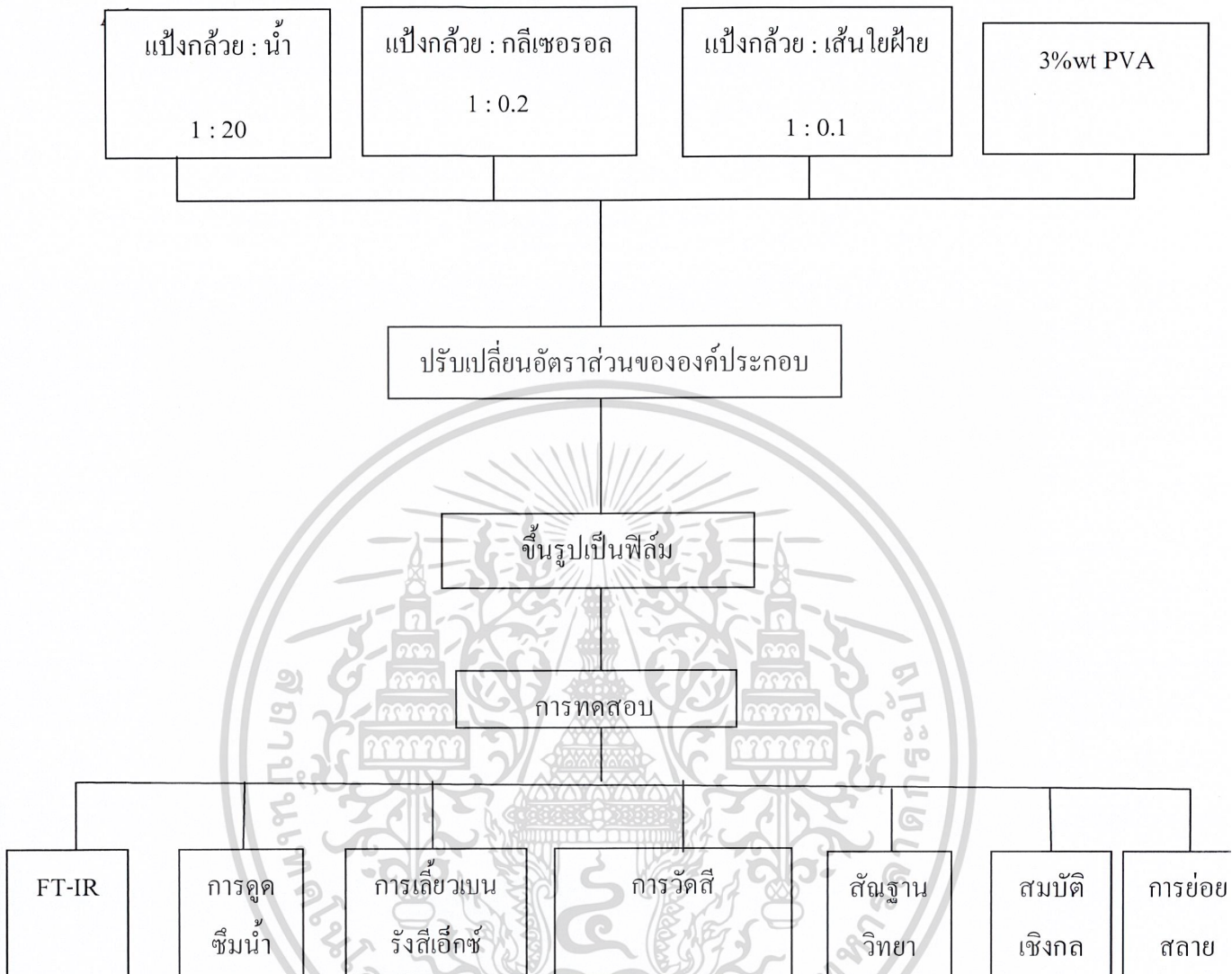
3.2.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

LEO รุ่น 1455 VP

3.2.13 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) : Hunterlab, Miniscan XE plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.14 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer) : XRD รุ่น D8



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดลอง

แผนภาพขั้นตอนการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งในการทดลองจะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

#### ตอนที่ 1 การเตรียมแป้งกล้วย

1.1 เลือกกล้วยดิบที่มีระยะการสุกเท่ากับศูนย์ จากนั้นทำการปอกเปลือก แล้วนำไปแช่ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.6 %w/v เป็นเวลา 30 นาที เพื่อล้างยางออกจากกล้วย

1.2 ทำการชั่งน้ำหนักกล้วยดิบ แล้วนำมาหั่นและสับให้ละเอียดใส่ภาชนะที่มีลักษณะแบนราบเพื่อการกระจายความร้อนที่สม่ำเสมอ

1.3 นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลานำออกจากตู้อบแล้วรอให้เย็น

1.4 จากนั้นนำไปปั่น โดยเครื่องปั่น ที่ความเร็วรอบเบอร์หนึ่ง โดยหนึ่งรอบใช้เวลาปั่นเจ็ดวินาที จำนวนเจ็ดรอบ

1.5 จากนั้นนำแป้งกล้วยที่เตรียมได้ไปร่อน ให้มีขนาดอนุภาคเล็กกลงโดยใช้เครื่องร่อน ซึ่งใช้ขนาดของตะแกรงที่มีขนาด 100-200 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวประมาณ 0.075 มิลลิเมตร-0.15 มิลลิเมตร

1.6 นำกล้วยที่ปั่นเรียบร้อยแล้วมาชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักของแป้งกล้วยที่เตรียมได้

1.7 นำแป้งกล้วยมาเก็บบรรจุไว้ในภาชนะที่เป็นถุงพลาสติกปิดปากถุงให้แน่น เพื่อป้องกันการดูดซับความชื้นของแป้งกล้วย

#### ตอนที่ 2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งกล้วย

2.1 ชั่งน้ำหนักแป้งกล้วย กลิเซอรอล และน้ำใส่ลงในบีกเกอร์ ดังอัตราส่วนดังกล่าว คือ ใช้สารละลายแป้ง 5% และใช้กลีเซอรอล 20% ค่อน้ำหนักแป้งกล้วย แป้งกล้วย:กลีเซอรอล:น้ำ เป็น 3 กรัม :0.6 กรัม :60 มิลลิลิตร

2.2 นำแป้งกล้วย กลิเซอรอล และน้ำในอัตราส่วนดังกล่าวผสมกันในบีกเกอร์ แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน ซึ่งจะทำให้การคนสารละลายดังกล่าวตลอดระยะเวลาที่ให้ความร้อน

2.3 ให้ความร้อนกับส่วนผสมจนถึงอุณหภูมิ 80-90 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แป้งกล้วยเกิดเจลาทีไนเซชันสังเกตได้จาก คือ ส่วนผสมของน้ำแป้งมีลักษณะหนืดมากขึ้นและใสขึ้น

2.4 จากนั้นเตรียมภาควลาสติกโดยทาด้วยน้ำมันพืชไว้น้ำแป้งที่เกิดเจลาทีไนเซชัน ออกจากเครื่องให้ความร้อน

2.5 นำแป้งกล้วยที่มีลักษณะเป็นเจลาทีไนเซชันเทใส่กระบอบอกตวงปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นเทใส่ถาดทาน้ำมันที่เตรียมไว้

2.6 จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.7 เมื่อครบกำหนดเวลา นำออกจากตู้อบปล่อยให้เกิดการเย็นตัว แล้วจึงทำการลอกฟิล์มออกจากถาด

### ตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วย โดยใช้ PVA

3.1 ชั่ง PVA 3 กรัม และน้ำ 100 ml ลงในบีกเกอร์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C ทำการปั่นกวนตลอดเวลาเป็นเวลา 45 นาที

3.2 ชั่งน้ำหนักแป้งกล้วย กลีเซอรอล น้ำ และ PVA ใส่ลงในบีกเกอร์ดังอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.1

3.3 นำของผสมที่เตรียมได้ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน โดยขณะที่ให้ความร้อนทำการคนโดยแท่งแก้วตลอดเวลา จนสารละลายเริ่มแสดงความเป็นเจลาทีไนเซชัน คือ อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส

3.4 เตรียมถาดสำหรับเทสาร โดยการทาด้วยน้ำมันพืช

3.5 นำแป้งกล้วยที่มีลักษณะที่เป็นเจลาทีไนเซชัน ออกจากเครื่องให้ความร้อน

3.6 นำแป้งกล้วยที่มีลักษณะที่เป็นเจลาทีไนเซชัน เทใส่ลงกระบอบอกตวงปริมาตร 50 ml จากนั้น เทใส่ถาดทาน้ำมันที่เตรียมไว้

3.7 จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 เมื่อครบตามกำหนดเวลาแข็งก๊วยแห้งเกิดเป็นฟิล์ม นำออกจากตู้อบวางทิ้งไว้จนเย็นแล้วจึงทำการลอกแผ่นฟิล์มออกจากภาชนะ

**ตารางที่ 3.3** อัตราส่วนแป้งก๊วย กลิเซอรอล น้ำ และPVA ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งก๊วยด้วย PVA

แป้งก๊วย (g)	กลีเซอรอล (g)	PVA		น้ำ (g)
		ml	g	
3.00	0.60	0	0.00	60
2.85	0.57	5	0.15	57
2.70	0.54	10	0.30	54
2.55	0.51	15	0.45	51
2.40	0.48	20	0.60	48

หมายเหตุ -แป้งก๊วย : น้ำ = 1 : 20 , แป้งก๊วย : กลีเซอรอล = 1 : 0.2

-ทำให้น้ำหนักรวมของแป้งก๊วยและ PVA เป็น 3 กรัม

#### ตอนที่ 4 การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งก๊วยโดยใช้ PVA และเส้นใยฝ้าย

4.1 ชั่ง PVA 3 กรัม และน้ำ 100 ml ลงในบีกเกอร์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C ทำการปั่นกวนตลอดเวลาเป็นเวลา 45 นาที

4.2 ทำการชั่งแป้งก๊วย กลีเซอรอล น้ำ PVA และกัวกัม (Guar Gum) ใส่ลงในบีกเกอร์ดังอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.2

4.3 นำของผสมที่เตรียมได้ไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนโดยขณะที่ให้ความร้อนทำการคนโดยแท่งแก้วตลอดเวลา เมื่อสารละลายเริ่มอุ่นโดยอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส จึงค่อยๆ ใส่ เส้นใยฝ้ายตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.2

4.4 จากนั้นทำการคนต่อไปจนสารละลายเริ่มแสดงความเป็นเจลาทีนในเซชัน คือ อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส

4.5 เตรียมถาดสำหรับเทสาร โดยทาด้วยน้ำมันพืชบางๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 นำแป้งกล้วยที่มีลักษณะที่เป็นเจลาตินในเซชัน ออกจากเครื่องให้ความร้อน

4.7 นำแป้งกล้วยที่มีลักษณะที่เป็นเจลาตินในเซชัน เทใส่ลงกระบอบกวดวงปริมาตร 50 ml จากนั้น เทใส่ถาดทาน้ำมันที่เตรียมไว้

4.8 จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

4.9 เมื่อครบตามกำหนดเวลาแป้งกล้วยแห้งเกิดเป็นแผ่นฟิล์ม นำออกจากตู้อบวางทิ้งไว้จนเย็นแล้ว จึงทำการลอกออกจากถาด

**ตารางที่ 3.4** อัตราส่วนแป้งกล้วย กลิเซอรอล น้ำ เส้นใยฝ้าย PVA และกั้วร์กัม ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากแป้งกล้วยด้วย PVA และเส้นใยฝ้าย

แป้งกล้วย(g)	กลีเซอรอล(g)	น้ำ (g)	PVA		กั้วร์กัม(g)	เส้นใยฝ้าย(g)
			ml	g		
3.00	0.60	60	0	0.00	0.0300	0.300
2.85	0.57	57	5	0.15	0.0285	0.285
2.70	0.54	54	10	0.30	0.0270	0.270
2.55	0.51	51	15	0.45	0.0255	0.255
2.40	0.48	48	20	0.60	0.0240	0.240

หมายเหตุ -แป้งกล้วย : น้ำ = 1 : 20 , แป้งกล้วย : กั้วร์กัม = 1 : 0.01 , แป้งกล้วย : เส้นใยฝ้าย = 1 : 0.1

-ทำให้น้ำหนักแป้งกล้วยและ PVA เป็น 3 กรัม

### 3.4 การทดสอบ

#### 3.4.1 การตรวจหาหมู่ฟังก์ชันโดย FT-IR

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทำได้โดยการใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยใช้ฟิล์มจากแป้งกล้วยในสูตรต่างๆ ทำได้โดยการนำฟิล์มจากแป้งกล้วยมาบดรวมกับ KBr แล้วนำไปอัดให้เป็นแผ่น สภาวะที่ใช้ คือ ที่เลขคลื่น 4000

#### 3.4.2 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการอบฟิล์มที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเป็งมาชั่งน้ำหนัก (ภายใต้สภาวะนี้การระเหยของพลาสติกไซเซอร์จะยังไม่เกิดขึ้น) จากนั้นนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างในภาชนะปิดที่บรรจุด้วยซิลิกาเจล (Silica gel) แมกนีเซียมคลอไรด์ ( $MgCl_2$ ) แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) โซเดียมคลอไรด์ ( $NaCl$ ) และน้ำกลั่น (Distillated water) ซึ่งให้ความสัมพันธ์ 0% , 33% , 50% , 75% และ 100% ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ASTM E 104 แล้วทำการชั่งน้ำหนักภายหลังการดูดซับน้ำทุกวัน โดยสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำได้สมการนี้

$$W_a = ((W_c - W_0)/W_0)*100$$

เมื่อ  $W_a$  คือ เปอร์เซนต์การดูดซับน้ำ

$W_c$  คือ น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ

$W_0$  คือ น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ

### 3.4.3 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction)

วิเคราะห์หาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ขนาดของอนุภาคและองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆ เพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer โดยใช้  $CuK\alpha$  ( $\lambda = 0.154$  อังสตรอม) โดยเตรียมสารตัวอย่างที่ความหนา 200 ไมโครเมตร และขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ ( $2\theta$ ) ในช่วง 3-60 ด้วยอัตราเร็ว  $1^\circ$ /นาที

### 3.4.4 สัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ได้นำมาใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มตัวอย่าง โดยนำฟิล์มมาเคลือบด้วยทองและนำไปเข้าเครื่อง SEM ต่อไปโดยการศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มของเป็งกั้วก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วย PVA และเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง(Tensile strength)	D 882-02	MPa
มอดุลัส(Young's modulus)	D 882-02	MPa
%การดึงยืด ณ จุดขาด(%elongation at break)	D 882-02	%

ความแข็งแรงดึง มอดุลัสและเปอร์เซ็นต์ การดึงยืด ณ จุดขาด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 882-02 ซึ่งงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 100x15 mm. จำนวน 5 ชิ้นในของแต่ละสูตร โดยทำการควบคุมสถานะของชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์ 60 % ทดสอบตามตามสถานะดังนี้

Test speed : 10 mm./min

Gauge length : 50 mm.

Load cell : 100 N

ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัสและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) =  $F/A$

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

% การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) =  $(L-L_0)/L_0 \times 100$

เมื่อ  $F$  คือ แรงที่ใช้ดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง ( $\text{mm}^2$ )
L	คือ	ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังจากทำการดัดชิ้นงานตัวอย่าง (mm.)
$L_0$	คือ	ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm.)

### 3.4.6 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ

ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Rate of water vaportransmission ; WVT) คือ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ผ่านหนึ่งหน่วยของพื้นที่หรือความหนาของตัวอย่างต่อเวลา วัดจากค่าความแตกต่างของน้ำหนัก ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน มีหน่วยเป็น grains/h.ft<sup>2</sup> ทดสอบโดยใช้วิธี Desiccant Method โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 691 ทำการทดสอบโดยตัดฟิล์มเป็นวงกลมให้มีพื้นที่ประมาณ 5 ตารางฟุต ให้พอดีกับปากถ้วย ปิดผนึกฟิล์มลงบนถ้วยที่บรรจุด้วยซิลิกาเจล 10 กรัม ด้วยพาราฟิน และนำไปวางไว้ใน desiccators คือ  $\text{CaCl}_2$  ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 90 % ที่อุณหภูมิ 38 °C ชั่งน้ำหนักถ้วยทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (Rate of water vaportransmission ; WVT) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{WVT} = G/tA = (G/t)A$$

เมื่อ G = ความแตกต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังการซึมผ่านไอน้ำ (grains)

t = เวลาที่น้ำหนักเกิดการเปลี่ยนแปลง (hour)

A = พื้นที่ของปากถ้วย (ft<sup>2</sup>)

G/t = ความชันของเส้นกราฟระหว่างค่า G กับ t

WVT = อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (grains/h.ft<sup>2</sup>)

### 3.4.7 การทดสอบด้วยไอโอดีน

ตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2x2 นิ้ว จุ่มลงไปในสารละลายไอโอดีน 0.01 โมลาร์ เป็นเวลาประมาณ 5 วินาที หลังจากนั้นนำมาเก็บไว้ในกล่องที่มีฝาปิด เพื่อกันไอโอดีนระเหยเปื้อน เมื่อเวลาผ่านไป 1- 2 วัน สังเกตความเปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.8 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5x7 เซนติเมตรฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 9-10 % การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างอาจจะกระจายไปกับดิน ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ภายในระยะเวลา 63 วัน

### 3.4.9 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา ได้แก่ การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว ( Degradation temperature ) ของฟิล์มจากแป้งกล้วย ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ ( Thermogravimetric analyzer, TGA ) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และใช้สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ให้อยู่ในช่วง 50 - 600 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมทดสอบสมบัติของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พร้อมทั้งเลือกศึกษาปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม โดยศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ การดูดซับน้ำ ลักษณะวิทยา สมบัติเชิงกล การซึมผ่านไอน้ำ สมบัติทางความร้อน การย่อยสลายโดยการฝังดินและการกระจายตัวของแป้งกล้วยและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้สารละลายไอโอดีน

จากการศึกษาผลของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่เตรียมได้ ให้ผลดังนี้

#### 4.1 การหาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย

##### 4.1.1 การหาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ น้ำ:แป้งกล้วย:กลีเซอรอล:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์:เส้นใย โดยมีการเตรียมฟิล์มในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

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

หมายเหตุ - แป้งกล้วย : น้ำ = 1 : 20 , แป้งกล้วย : กลีเซอรอล = 1 : 0.2

- ทำให้น้ำหนักรวมของแป้งกล้วยและ PVA เป็น 3 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 ใช้แท่งแก้วคนสารผสมให้เข้ากันด้วยมือ ในช่วงแรกเป็งก้วยกับน้ำแยกชั้นกันอยู่ แต่เมื่อให้ความร้อนและคนไปเรื่อยๆ เป็งเริ่มกระจายตัวในน้ำได้มากขึ้น ทำให้สารละลายผสมที่ได้มีความหนืดมากขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะคล้ายเจล ในสูตรที่มี PVA ต้องเตรียม PVA เป็นสารละลายก่อนนำมาผสมเพื่อให้ PVA ละลายได้อย่างสมบูรณ์ หากใช้ PVA เป็นเม็ดผสมขณะเตรียมสารละลายผสม PVA ละลายได้ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นก้อนใสๆ ซึ่งเมื่อเทลงจานและนำไปอบ ทำให้ฟิล์มที่ได้มีรูพรุน โดยสูตรที่เติม PVA สารละลายผสมมีความหนืดมากกว่าสูตรที่ไม่มีการเติม PVA

ตารางที่ 4.2 ส่วนผสมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากเป็งก้วยที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย

เป็งก้วย (g)	กลีเซอรอล (g)	น้ำ (g)	PVA		กั้วร้กั้ม (g)	เส้นใยฝ้าย (g)
			(ml)	(g)		
3.00	0.60	60	0	0.00	0.0300	0.300
2.85	0.57	57	5	0.15	0.0285	0.285
2.70	0.54	54	10	0.30	0.0270	0.270
2.55	0.51	51	15	0.45	0.0255	0.255
2.40	0.48	48	20	0.60	0.0240	0.240

หมายเหตุ -เป็งก้วย : น้ำ = 1 : 20 , เป็งก้วย : กั้วร้กั้ม = 1 : 0.01 , เป็งก้วย : เส้นใยฝ้าย = 1 : 0.1

-ทำให้น้ำหนักเป็งก้วยและ PVA เป็น 3 กรัม

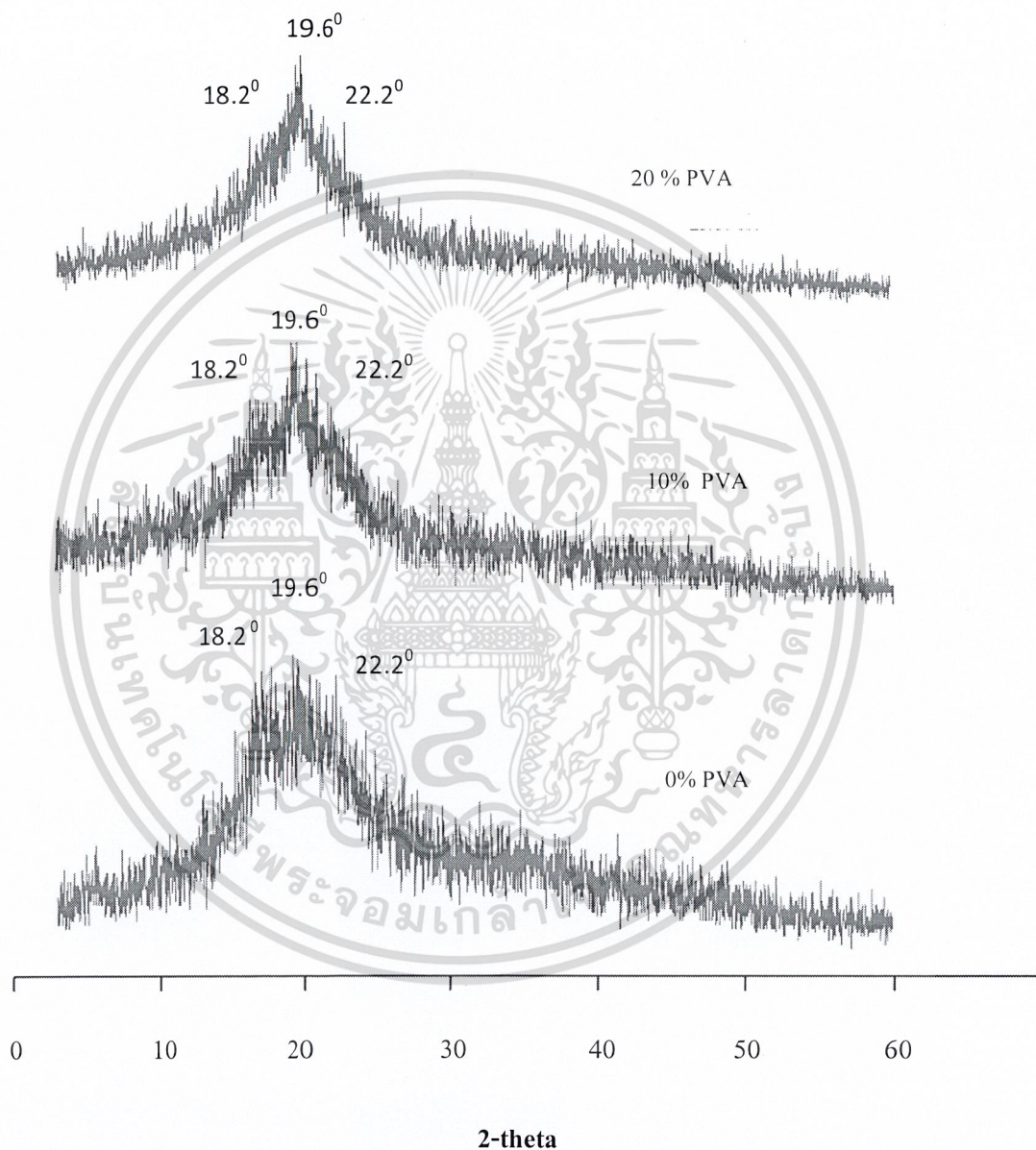
จากตารางที่ 4.2 พบว่าเส้นใยฝ้ายที่ใช้ควรมีความยาวไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เพื่อให้เส้นใยสามารถกระจายในสารผสมได้ทั่วถึง มีการเติมกั้วร้กั้มเพื่อช่วยในการกระจายตัวของเส้นใย โดยเติมกั้วร้กั้ม 0.01 กรัมต่อเป็งก้วย 1 กรัม หากปริมาณกั้วร้กั้มมากกว่านี้ ทำให้สารละลายผสมที่ได้มีความหนืดมากเกินไป

ในการเตรียมสารละลายผสม ขณะผสมต้องทำการคนสารละลายผสมตลอดเพื่อป้องกันไม่ให้เป็งตกตะกอน และในสูตรที่เติมเส้นใย หลังจากใส่เส้นใยแล้วต้องคนอยู่ตลอด เพื่อให้เส้นใยกระจายตัวได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

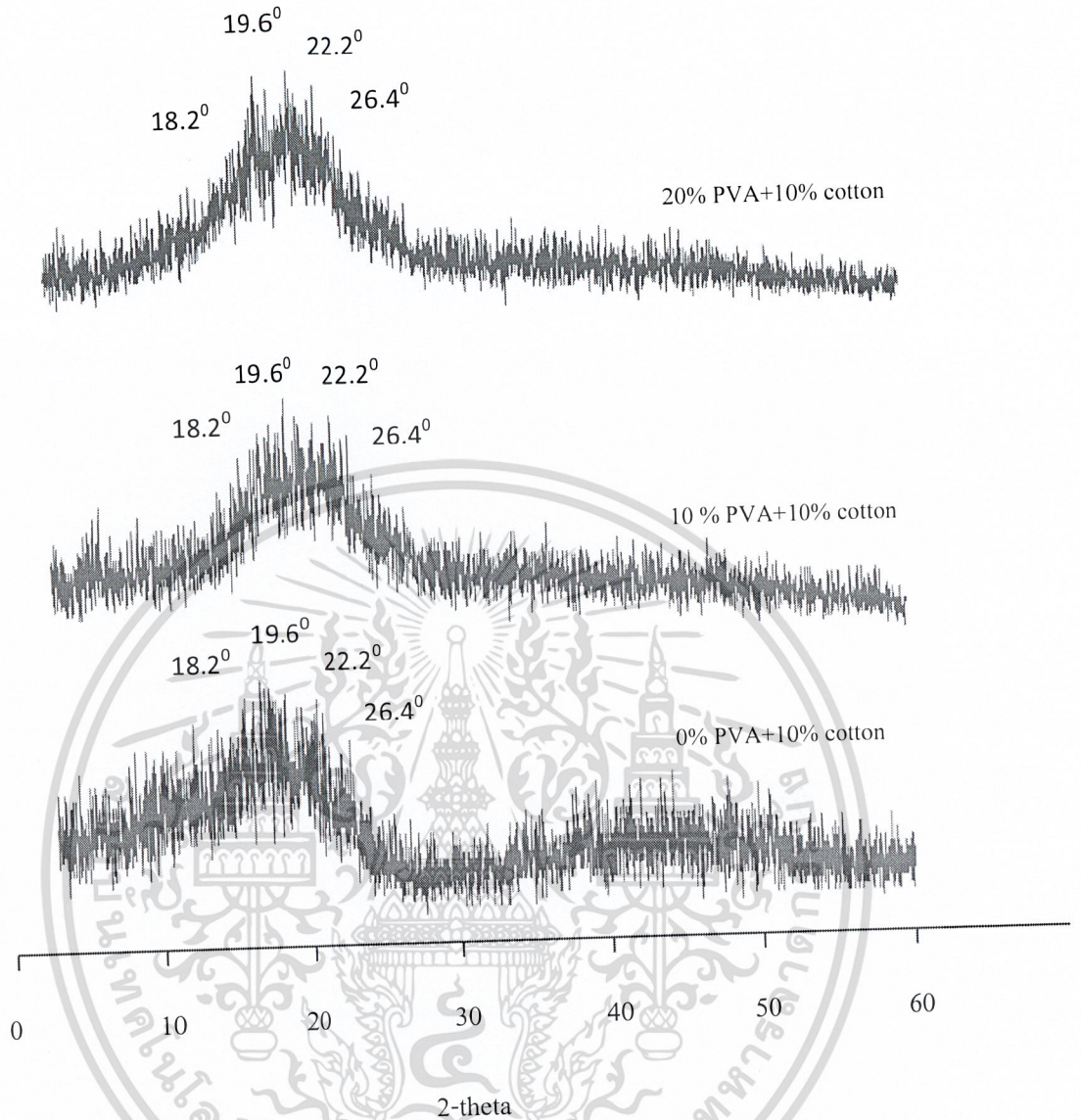
## 4.2 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การศึกษาผลึกของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ทำได้โดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction) ซึ่งให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1-4.2



รูปที่ 4.1 ดิฟแฟรกโตแกรมของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ดิฟแฟร็กโตแกรมของฟิล์มที่ขยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

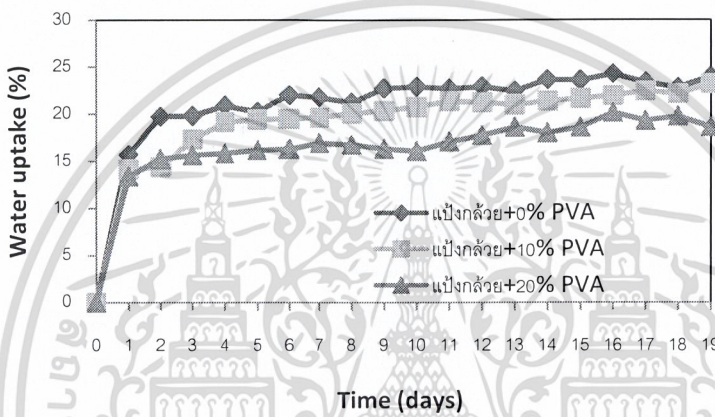
จากรูปที่ 4.1-4.2 แสดงผลึกของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่ผสมด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ เส้นใยฝ้ายปริมาณต่าง ๆ พบว่าจาก โครงสร้างผลึกของแป้งกล้วยมีผลึกแบบ C-type [47] จากนั้นนำแป้งกล้วยมาเติมพลาสติกไซเซออร์ และผ่านการให้ความร้อนและแรงเฉือน ผลึกของแป้งถูกทำลายลักษณะผลึกเป็นแบบ V-type [53] โดยให้พิกที่มุม 2 $\theta$  เท่ากับ 18.2 $^{\circ}$ , 19.6 $^{\circ}$  และ 22.2 $^{\circ}$  สำหรับฟิล์มจากแป้งกล้วยผสม 10% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่ใหม่ ทำให้เกิดการตกผลึกแบบใหม่ โดยให้พิกที่มุม 2 $\theta$  เท่ากับ 18.2 $^{\circ}$ , 19.6 $^{\circ}$  และ 22.2 $^{\circ}$  และพิกที่ 19.6 $^{\circ}$  มีความเข้มมากขึ้น และฟิล์มจากแป้งกล้วยผสม 20% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยให้พิกที่มุม 2 $\theta$  เท่ากับ 18.2 $^{\circ}$ , 19.6 $^{\circ}$  และ 22.2 $^{\circ}$  แต่ที่พิก 19.6 $^{\circ}$  มีความเข้มกว่าพิกของปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10% แสดงว่า ฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีแนวโน้มพิกที่มุม 18.2 $^{\circ}$ , 19.6 $^{\circ}$  และ 22.2 $^{\circ}$  มีความเข้มเพิ่มขึ้น มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น

โดยทั่วไปแล้ว เส้นใยฝ้ายให้พิกที่มุม 2 $\theta$  เท่ากับ 17.7 $^{\circ}$ , 23.3 $^{\circ}$  และ 26.4 $^{\circ}$  [48] จากรูปที่ 4.2 เมื่อนำแป้งกล้วยมาผ่านกระบวนการเป็นฟิล์มที่ย่อยสลายได้ ที่มีปริมาณเส้นใยฝ้ายเป็น 10% และปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0%, 10% และ 20% ให้พิกที่มุม 2 $\theta$  เท่ากับ 18.2 $^{\circ}$ , 19.6 $^{\circ}$ , 22.2 $^{\circ}$  และ 26.4 $^{\circ}$  ฟิล์มจากแป้งกล้วยผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีแนวโน้มพิกที่มุม 18.2 $^{\circ}$ , 19.6 $^{\circ}$  และ 22.2 $^{\circ}$  มีความเข้มเพิ่มขึ้น ซึ่งพิกที่ 26.4 $^{\circ}$  ที่เพิ่มขึ้น เกิดขึ้นจากผลึกของเส้นใยฝ้าย แสดงให้เห็นว่า การเติมเส้นใยฝ้ายลงไปทำให้ความเป็นผลึกของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

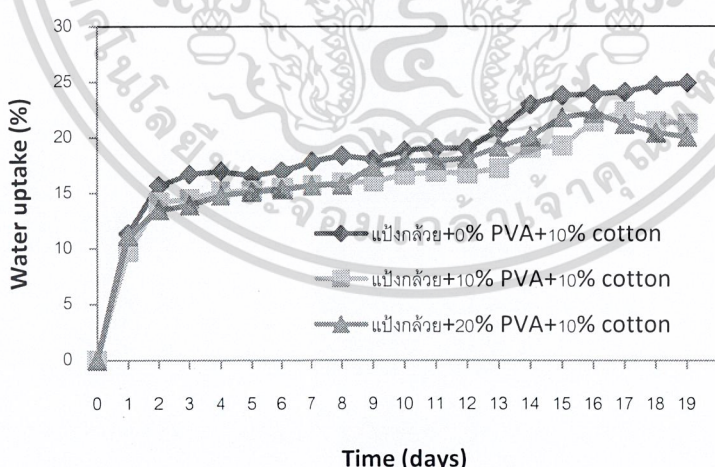
### 4.3 การดูดซับน้ำ

การศึกษาการดูดซับน้ำของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ชจากแป้งกล้วยที่มีเปอร์เซ็นต์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆกัน คือ 0% ,10% และ 20% และเปอร์เซ็นต์เส้นใยฝ้ายที่แตกต่างกัน คือ 0% และ 10% ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

#### 4.3.1 การเปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลง เมื่อทำการทดสอบการดูดซับน้ำเป็นเวลา 10 วัน ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 50%



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่มีปริมาณพอลิไวนิล

แอลกอฮอล์ต่างๆกัน ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 50% (ก) ไม่มีเส้นใยฝ้าย (ข) มีเส้นใย

ฝ้าย 10% (ค) มีเส้นใยฝ้าย 20% (ด) มีเส้นใยฝ้าย 30% (ข) มีเส้นใยฝ้าย 10% (ค) มีเส้นใยฝ้าย 20% (ด) มีเส้นใยฝ้าย 30%

จากรูปที่ 4.3 (ก) แสดงน้ำหนักของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการทดสอบการดูดซับน้ำเป็นเวลา 20 วัน ภายใต้อัตราความชื้นสัมพัทธ์ 50% พบว่า % การดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเติมปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น กล่าว คือ % การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมา คือ แป้งกล้วยที่มี 10% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ แป้งกล้วยที่มี 20 %พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าการดูดซับน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความสามารถในการดูดความชื้นน้อยกว่าแป้ง [36]

จากรูปที่ 4.3 (ข) แสดงน้ำหนักของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการทดสอบการดูดซับน้ำเป็นเวลา 20 วัน ภายใต้อัตราความชื้นสัมพัทธ์ 50% สำหรับฟิล์มที่มีการเติมเส้นใยฝ้ายคงที่ที่ 10% พบว่า % การดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเติมปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย กล่าวคือ % การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย มีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมา คือ แป้งกล้วยที่มี 10% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมเส้นใยฝ้าย และแป้งกล้วยที่มี 20% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมเส้นใยฝ้าย มีค่าการดูดซับน้ำน้อยที่สุด

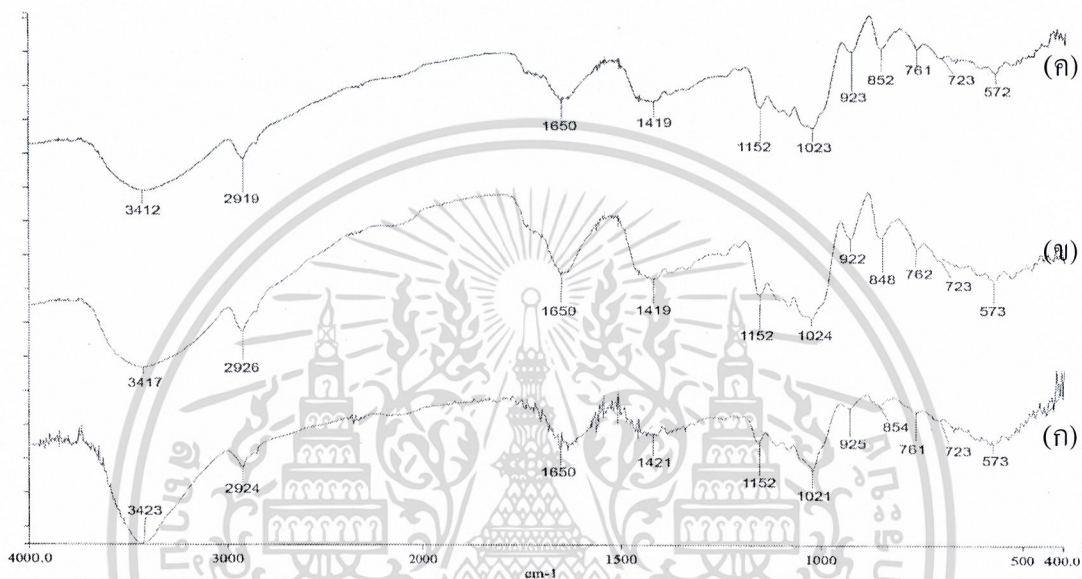
การดูดซับน้ำของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้ายมีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด เนื่องจากในแป้งมีองค์ประกอบเป็นอะไมโลสและอะไมโลเพกตินซึ่งมีสมบัติชอบน้ำจึงมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดี และเมื่อเติมเส้นใยฝ้ายและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำได้ลดลง ทั้งนี้เพราะเส้นใยฝ้ายและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสภาพขั้วที่น้อยกว่าแป้ง โดยทั่วไปแล้วแป้งสามารถดูดความชื้นได้ 7-8% [6] และเส้นใยฝ้ายสามารถดูดความชื้นได้ 11.5-13% [24] และเนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุล 77,000-82,000 กรัมต่อโมล ทำให้คาดได้ว่าส่วนที่มีขั้วของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์น้อยกว่าส่วนที่ไม่มีขั้วจึงทำให้การดูดซับน้ำของฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 Fourier-transform Infrared spectroscopy (FT-IR)

ผลจากการศึกษาโดยเทคนิค Fourier-Transform Infrared Spectroscopy ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย โดยศึกษาถึงผลของการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายลงในฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

##### 4.4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PVA



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย (ก) 0% PVA (ข) 10% PVA และ (ค) 20% PVA

จากรูปที่ 4.4 พบว่าฟิล์มจากแป้งกล้วย (รูปที่ 4.4 (ก)) ให้พีกที่เลขคลื่น  $3423\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นของ O-H stretching พีกที่เลขคลื่น  $2924\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ  $\text{CH}_2$  และ/หรือ  $\text{CH}_3$  ของแป้ง พีกที่เลขคลื่น  $1650\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ในโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในแป้ง [49-52] พีกที่เลขคลื่น  $1421\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending พีกที่เลขคลื่น  $1152\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending ของแป้ง พีกที่เลขคลื่น  $1021\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O stretching พีกที่ช่วงเลขคลื่น  $800\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H bending และพีกที่เลขคลื่น  $723\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ  $\text{CH}_2$ -rocking [53]

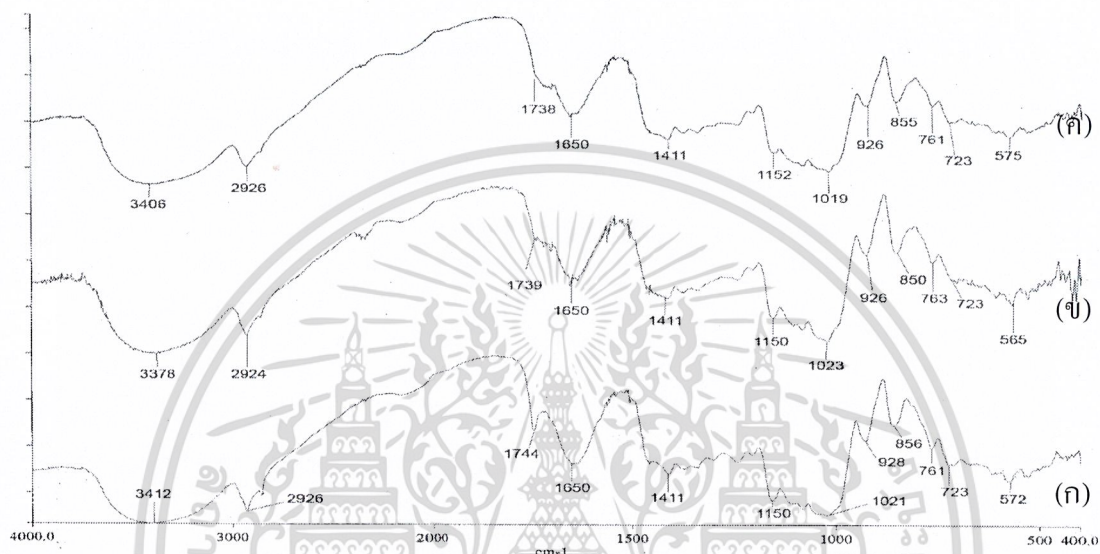
เมื่อเติม PVA ลงไป (รูปที่ 4.4 (ข)-(ค)) พบว่าพีกที่เลขคลื่น  $3423\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching และพีกที่เลขคลื่น  $1421\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending Shift

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การคัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปที่เลขคลื่นลดลง แสดงให้เห็นว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างโมเลกุลของแป้งและ PVA และพีกในช่วงเลขคลื่น  $800\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H bending มีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้น

#### 4.4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PVA และเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและ PVA (ก) 0% PVA (ข) 10% PVA และ (ค) 20% PVA

จากการเติมเส้นใยฝ้ายลงในฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย พบว่าพีกที่เลขคลื่น  $3423\text{ cm}^{-1}$  (รูปที่ 4.4 (ก)) ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นของ O-H stretching Shift ไปที่เลขคลื่น  $3412\text{ cm}^{-1}$  (รูปที่ 4.5 (ก)) แสดงให้เห็นว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างโมเลกุลของแป้งและเส้นใยฝ้าย พบพีกที่เลขคลื่น  $1744\text{ cm}^{-1}$  เกิดขึ้นใหม่เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายลงในแป้งกล้วย ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในเส้นใยฝ้าย พีกที่เลขคลื่น  $1411\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH wagging [53] นอกจากนั้นรูปที่ 4.5 ((ข)-(ค)) พบว่าพีกที่เลขคลื่น  $3412\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching Shift ไปที่ตำแหน่งเลขคลื่นลดลง แสดงให้เห็นว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่เมื่อมีการเติม PVA และเส้นใยฝ้ายลงไปในแป้งกล้วย เนื่องจากความเข้ากันได้ขององค์ประกอบที่ผสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

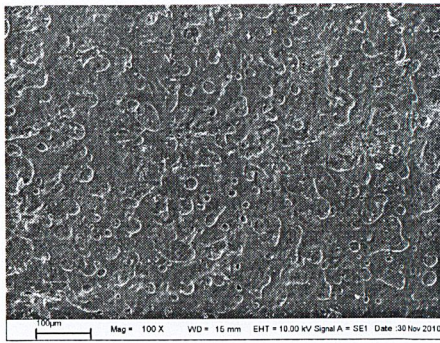
#### 4.5 ฐานวิทยา

การศึกษาฐานวิทยาของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยสูตรต่างๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาค (Interfacial surface) ของฟิล์มที่ได้ ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

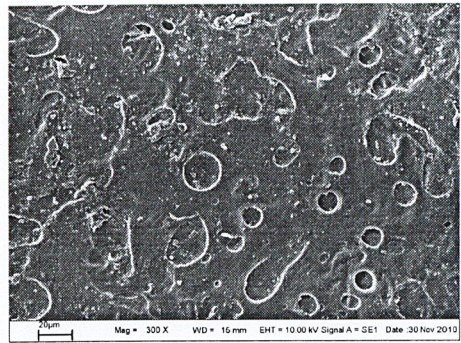
จากรูปที่ 4.6 - 4.7 แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของฟิล์มด้านหน้า (ด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับแม่พิมพ์) พบว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติม PVA (รูปที่ 4.6 (ก) และ (ข)) ผิวหน้าของฟิล์มมีรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นขณะผสมและเกิดจากการระเหยของน้ำขณะอบแห้ง แต่เมื่อเติม PVA ลงไป (รูปที่ 4.6 (ค) - (ง)) พบว่ารูพรุนที่ผิวหน้าของฟิล์มมีจำนวนน้อยลง แต่มีขนาดใหญ่ขึ้น ฟิล์มที่ได้มีลักษณะไม่เรียบเช่นเดิม แต่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกวัฏภาค ซึ่งเกิดจาก PVA มีความหนืดแตกต่างจากแป้งกล้วย ทำให้เกิดฟองอากาศขณะผสม เกิดเป็นช่องว่างในฟิล์มมากขึ้น เมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเติมเส้นใยฝ้าย (รูปที่ 4.7 (ก) และ (ข)) ผิวหน้าของฟิล์มมีลักษณะขรุขระมากขึ้นเพราะมีเส้นใยฝ้ายฝังตัวอยู่ในฟิล์ม พบช่องว่างระหว่างเส้นใยและแป้งพื้นผิวบางส่วนมีลักษณะเรียบ บางส่วนมีลักษณะขรุขระและพบฟิล์มแป้งกล้วยปกคลุมผิวเส้นใยฝ้าย (Surface wetting) แสดงว่าแป้งกล้วยและเส้นใยฝ้ายมีความเข้ากันได้เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เหมือนกัน และในสูตรที่มีการเติม PVA และเส้นใยฝ้าย (รูปที่ 4.7 (ค) - (ง)) พบว่ามีการแยกตัวระหว่างเส้นใยและแป้งมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากมีช่องว่างหรือรูพรุนมากยิ่งขึ้น อาจเกิดขึ้นจากความหนืดที่แตกต่างกันระหว่างแป้งกล้วยและ PVA และยังพบฟิล์มแป้งกล้วยที่เติม PVA ปกคลุมพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายเช่นเดียวกัน

เมื่อทำการส่องดูพื้นผิวด้านหลังของฟิล์ม (ด้านที่สัมผัสกับแม่พิมพ์) พบว่า พื้นผิวของฟิล์มที่เติม PVA ในปริมาณต่างๆ มีลักษณะเรียบ (รูปที่ 4.8) แต่เมื่อเติม PVA ลงไปในปริมาณที่มากขึ้นทำให้พื้นผิวของฟิล์มมีรูพรุนมากขึ้น มีความขรุขระเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมเส้นใยฝ้ายลงไป ในสูตรที่มีการเติม PVA (รูปที่ 4.9 (ค)-(ง)) มีลักษณะขรุขระมากกว่าสูตรที่ไม่มีการเติม PVA เนื่องจากความหนืดที่แตกต่างกันระหว่างแป้งกล้วยและ PVA ทำให้ในสูตรที่มีการเติม PVA เกิดช่องว่างหรือรูพรุนมากขึ้น และพบฟิล์มแป้งกล้วยปกคลุมผิวเส้นใยฝ้าย แสดงว่าแป้งกล้วย PVA และเส้นใยฝ้ายมีความเข้ากันได้เนื่องจากในโครงสร้างมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เหมือนกันและพบ

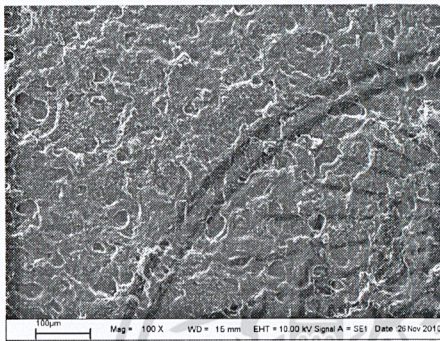
ลักษณะของ Surface wetting ในทุกตัวอย่าง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



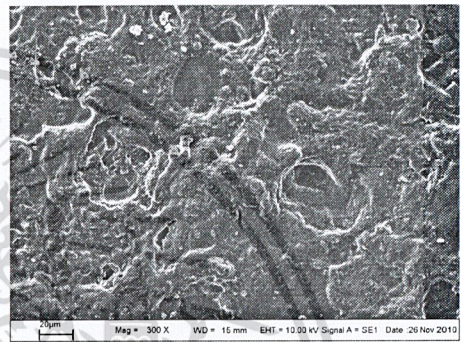
(ก)



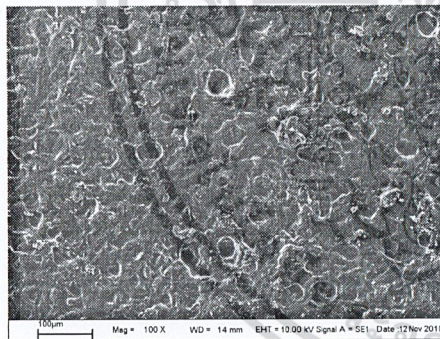
(ข)



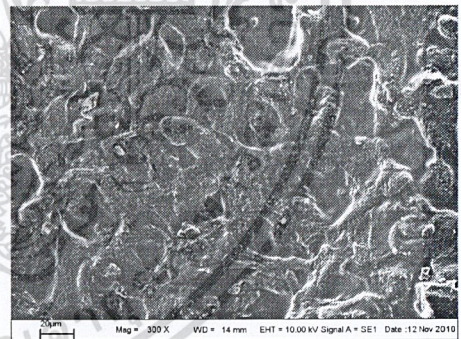
(ค)



(ง)



(จ)

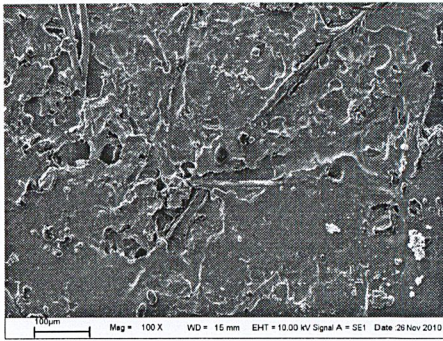


(ฉ)

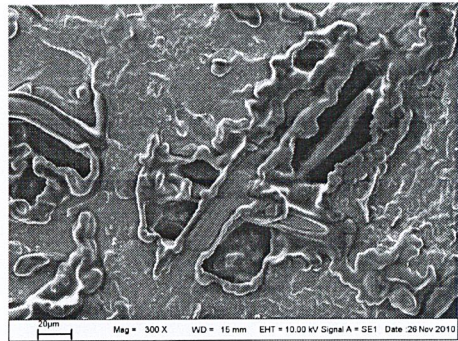
#### รูปที่ 4.6

สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหน้า) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จาก (ก) – (ข) แป้งกล้วย (ค) – (ง) แป้งกล้วย + 10% PVA และ (จ) – (ฉ) แป้งกล้วย + 20% PVA ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

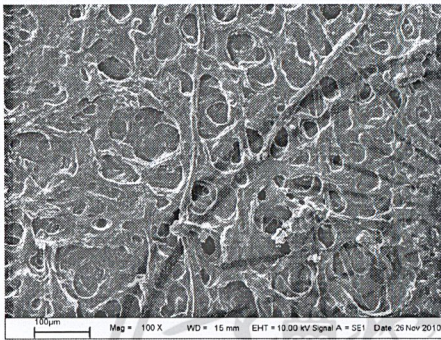
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



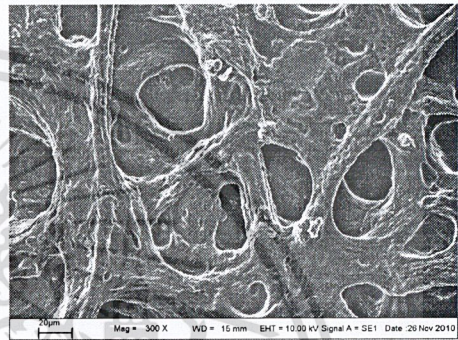
(ก)



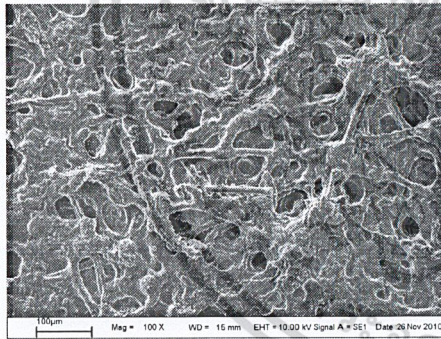
(ข)



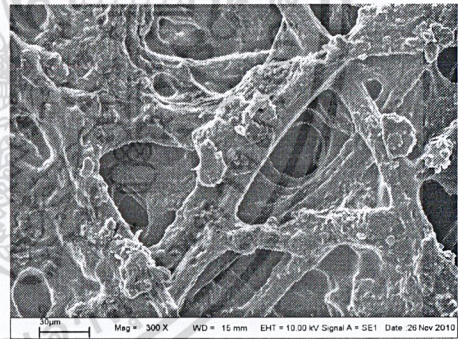
(ค)



(ง)



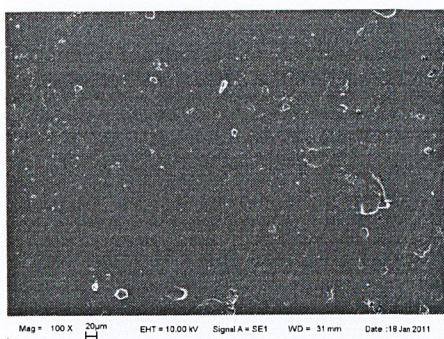
(จ)



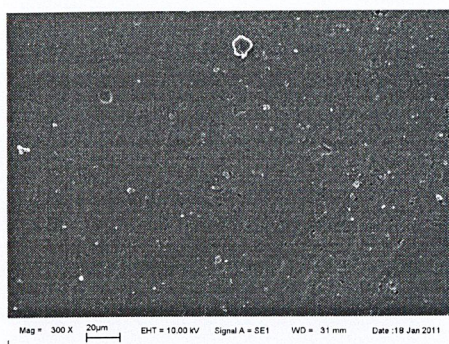
(ฉ)

**รูปที่ 4.7** สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหน้า) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จาก (ก) – (ข) แป้งกล้วย + 10% cotton (ค) – (ง) แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% cotton และ (จ) – (ฉ) แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% cotton ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

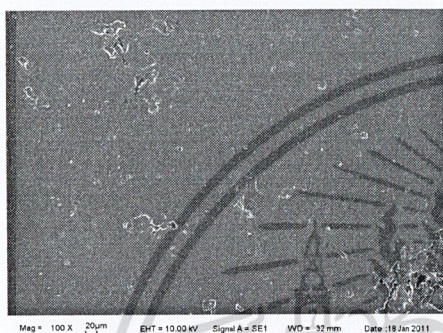
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



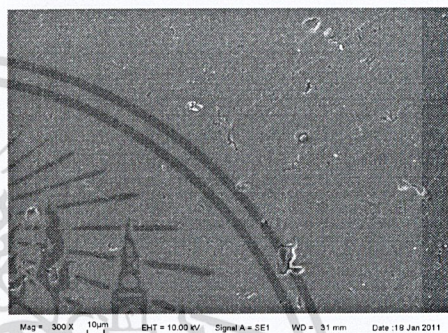
(ก)



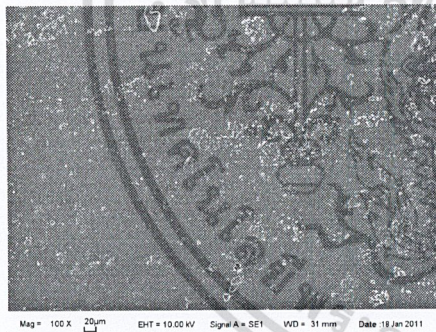
(ข)



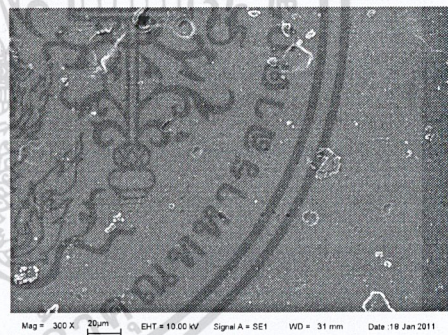
(ค)



(ง)



(จ)

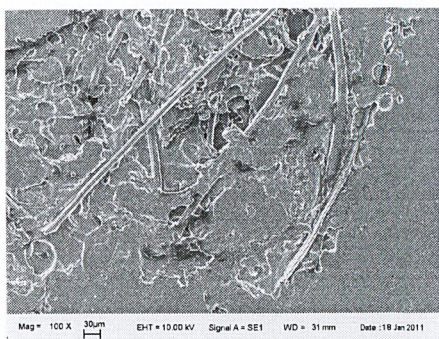


(ฉ)

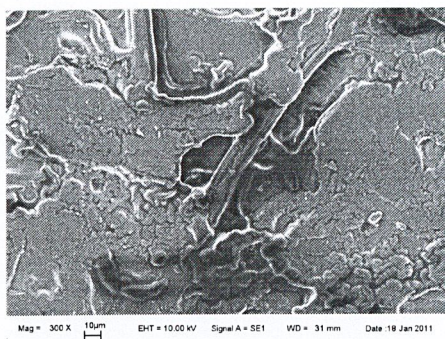
#### รูปที่ 4.8

สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหลัง) ของฟิล์มที่ทยอยสลายได้จากจาก (ก) – (ข) แป้งกล้วย (ค) – (ง) แป้งกล้วย + 10% PVA และ (จ) – (ฉ) แป้งกล้วย + 20% PVA ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

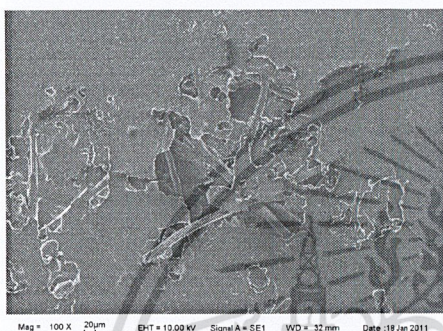
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



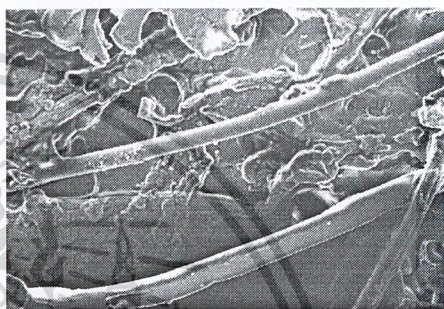
(ก)



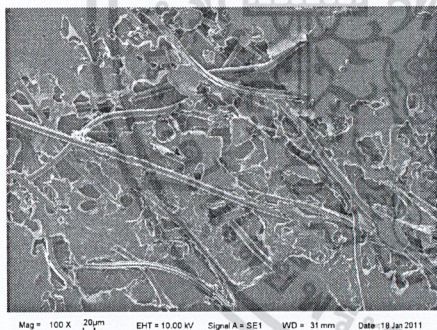
(ข)



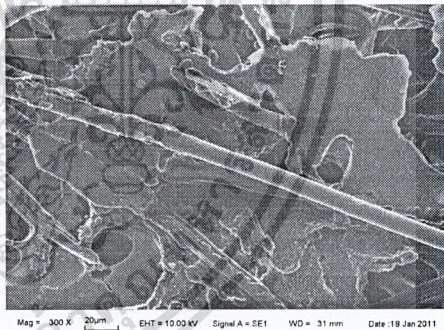
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

**รูปที่ 4.9**

สัณฐานวิทยา (พื้นผิวด้านหลัง) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จาก (ก) – (ข) แป้งกล้วย + 10% cotton (ค) – (ง) แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% cotton และ (จ) – (ฉ) แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% cotton ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ แรงดึง ความแข็งแรงดึง การดึงยืด เปอร์เซ็นต์การดึงยืด และมอดุลัส

### 4.6.1 การศึกษาผลของปริมาณ PVA ที่มีผลต่อการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณ PVA ต่างกันที่ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

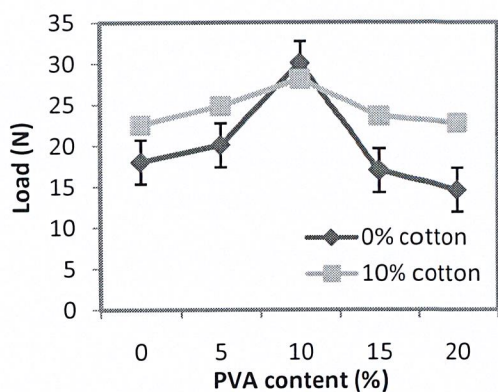
#### 4.6.1.1 ผลของปริมาณ PVA

จากรูปที่ 4.10 แสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเติม PVA ที่ปริมาณแตกต่างกัน โดยมีการเติมเส้นใยฝ้ายและไม่เติมเส้นใยฝ้าย เมื่อพิจารณาผลของการเติม PVA ที่ไม่มีเส้นใยฝ้าย พบว่าแรงดึง (รูปที่ 4.10 (ก)) ความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4.10 (ข)) และมอดุลัส (รูปที่ 4.10 (ค)) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยมีแนวโน้มสูงขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ PVA 10% เนื่องจากโครงสร้างของแป้งกล้วยและ PVA มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโครงสร้างเหมือนกัน ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของแป้งกล้วยและ PVA ซึ่งสอดคล้องกับพีกของสเปกตรัมที่วิเคราะห์จากเทคนิค FT-IR (รูปที่ 4.4) พีกที่ตำแหน่ง O-H Stretching Shift ไปที่ตำแหน่งเลขคลื่นลดลงเมื่อเติม PVA แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ PVA มากขึ้นที่ 20% พบว่าแรงดึง ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 และ 4.8 พบว่าฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณ PVA 20% พื้นผิวมีความขรุขระและมีรูพรุนมากกว่าฟิล์มที่มีปริมาณ PVA 10% ส่งผลให้แรงดึง ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสลดลง สำหรับการดึงยืด (รูปที่ 4.10 (ง)) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (รูปที่ 4.10 (จ)) พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส

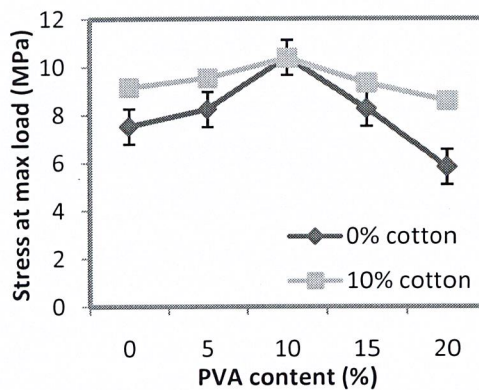
#### 4.6.1.2 ผลของการเติม PVA และเส้นใยฝ้าย

จากรูปที่ 4.10 แสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเติม PVA ที่ปริมาณแตกต่างกัน โดยมีการเติมเส้นใยฝ้ายในปริมาณคงที่ที่ 10% พบว่าแรงดึง (รูปที่ 4.10 (ก)) ความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4.10 (ข)) และมอดูลัส (รูปที่ 4.10 (ค)) ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เติมเส้นใยฝ้ายมีแนวโน้มสูงกว่าฟิล์มจากแป้งกล้วยที่ไม่เติมเส้นใยฝ้ายและมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ PVA 10% เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรง มีมอดูลัสสูงกว่าแป้งกล้วยและ PVA จึงสามารถทนแรงดึงตามแนวแกนเส้นใยได้ดี นอกจากนี้เส้นใยฝ้ายสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของแป้งกล้วยและ PVA ได้ ซึ่งสอดคล้องกับพิกของสเปกตรัมที่วิเคราะห์จากเทคนิค FT-IR (รูปที่ 4.5) พิกที่ตำแหน่ง OH-Stretching Shift ไปที่ตำแหน่งเลขคลื่นลดลงเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นและจากรูปที่ 4.7 และ 4.9 พบว่าเส้นใยฝ้ายถูกปกคลุมด้วยเมทริกซ์ของแป้งกล้วย อีกทั้งการเติมเส้นใยฝ้ายทำให้ความสามารถในการรับและส่งผ่านแรงมากขึ้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้เมทริกซ์ [39] จึงทำให้ฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เติมเส้นใยฝ้ายมีแนวโน้มให้สมบัติเชิงกลสูงกว่าฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่เติมเส้นใยฝ้ายในทุกปริมาณ PVA

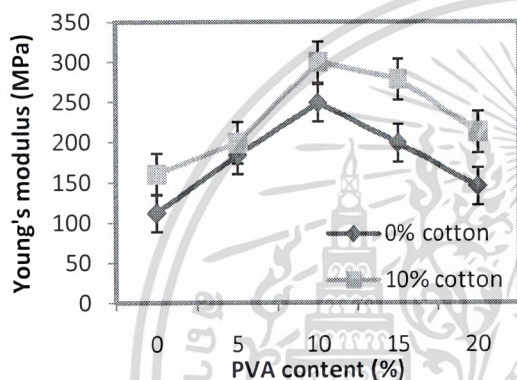
เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PVA และ เส้นใยฝ้ายพบว่าปริมาณ PVA 10% ให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยดีที่สุด โดยสูตรที่มีการเติมเส้นใยฝ้ายให้สมบัติเชิงกลดีกว่าสูตรที่ไม่มีมีการเติมเส้นใยฝ้าย และฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เติม PVA ในปริมาณ 10% และเส้นใยฝ้ายในปริมาณ 10% ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด



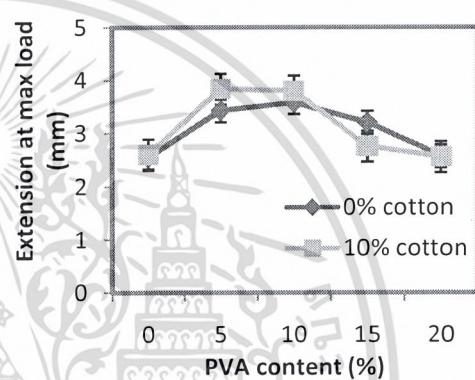
(ก)



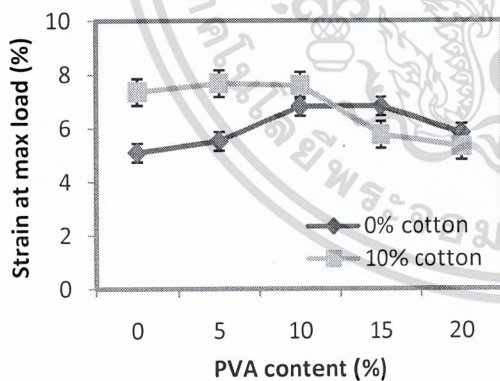
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

**รูปที่ 4.10** สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเติม PVA ที่ปริมาณแตกต่างกัน โดยมีการเติมเส้นใยฝ้าย และไม่เติมเส้นใยฝ้าย

(ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
(จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 การซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission)

จากผลการทดสอบโดยวิธีดูดความชื้น (Desiccant method) ที่อุณหภูมิ 38 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

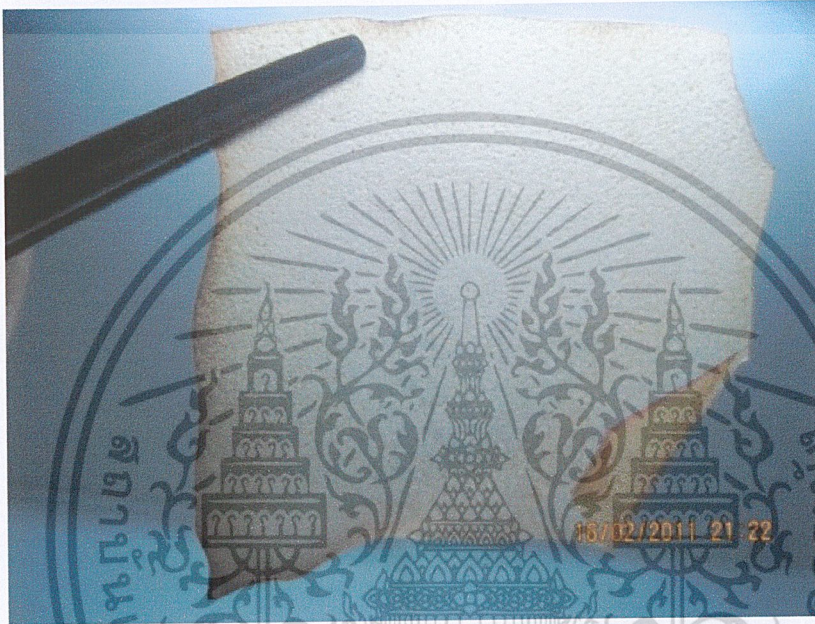
สูตร	ความหนา (Micron)	การซึมผ่านของไอน้ำ (กรัม/ตารางเมตร/วัน)
แป้งกล้วย	188	1668
แป้งกล้วย + 10% PVA	168	1408
แป้งกล้วย + 20% PVA	185	1339
แป้งกล้วย + 10% Cotton	200	1453
แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% Cotton	203	1594
แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% Cotton	210	1347

จากตารางที่ 4.3 พบว่าฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีสารเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายมีการซึมผ่านของไอน้ำสูงสุด การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ช่วยเพิ่มความต้านทานความชื้นของฟิล์มได้ เพราะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยกว่าแป้ง [36] โดยในฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 20% ให้การซึมผ่านของไอน้ำน้อยกว่าฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 10% นอกจากนี้ฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการเติมเส้นใยฝ้ายมีการซึมผ่านของไอน้ำน้อยกว่าสูตรที่ไม่มีสารเติมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากเส้นใยฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลส มีสภาพขั้วน้อยกว่าแป้งมาก นอกจากนี้เส้นใยเซลลูโลสสามารถดูดซับ กลิเซอรอลได้บางส่วน ทำให้เมทริกซ์มีสภาพขั้วลดลง จึงดูดซับน้ำได้น้อยลง [39]

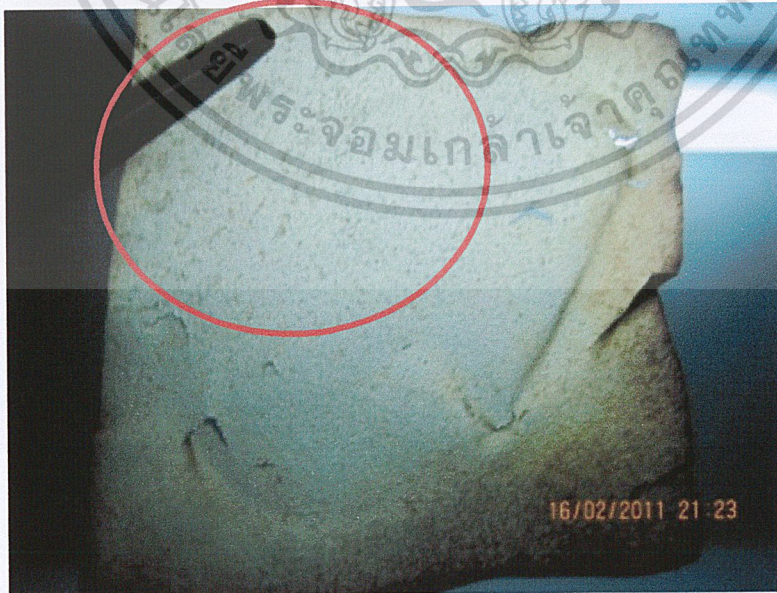
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 การทดสอบด้วยไอโอดีน

การศึกษาบริเวณที่มีแป้ง หรือ บริเวณที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ให้ลักษณะแตกต่างกัน สามารถทดสอบได้โดยนำฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วย ที่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ กัน คือ 0% , 10% และ 20% ตามลำดับ จุ่มลงในสารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นเวลาประมาณ 1 นาที



(ก)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 (ข)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.11 การทดสอบไอโอดีนของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ต่างกัน

(ก) 0%

(ข) 10%

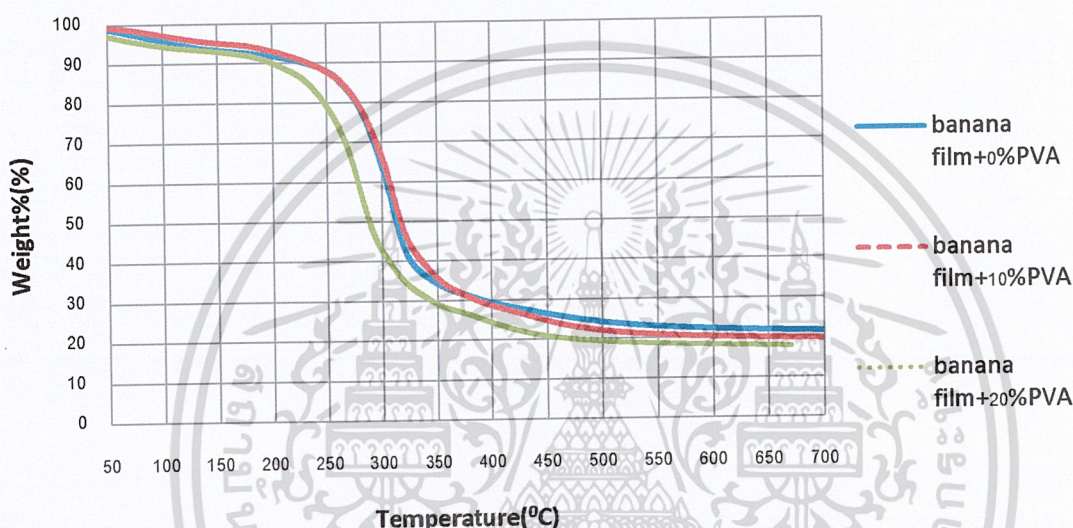
และ (ค) 20%

จากรูปที่ 4.11 พบว่า มีบริเวณที่เกาะกันเป็นวงเล็กๆสีขาวๆ ซึ่งบริเวณนั้น คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอในเมทริกซ์ที่เป็นแป้งกล้วย และบริเวณที่เป็นแป้งเห็นเป็นสีน้ำเงิน

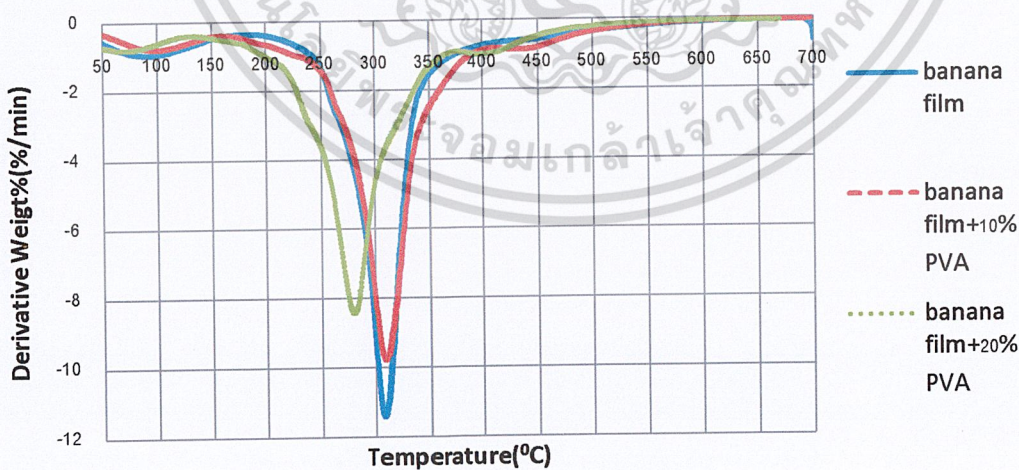
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.9 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา ได้แก่ การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) ของฟิล์มจากแป้งกล้วยด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และใช้สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ให้อยู่ในช่วง 50-600 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

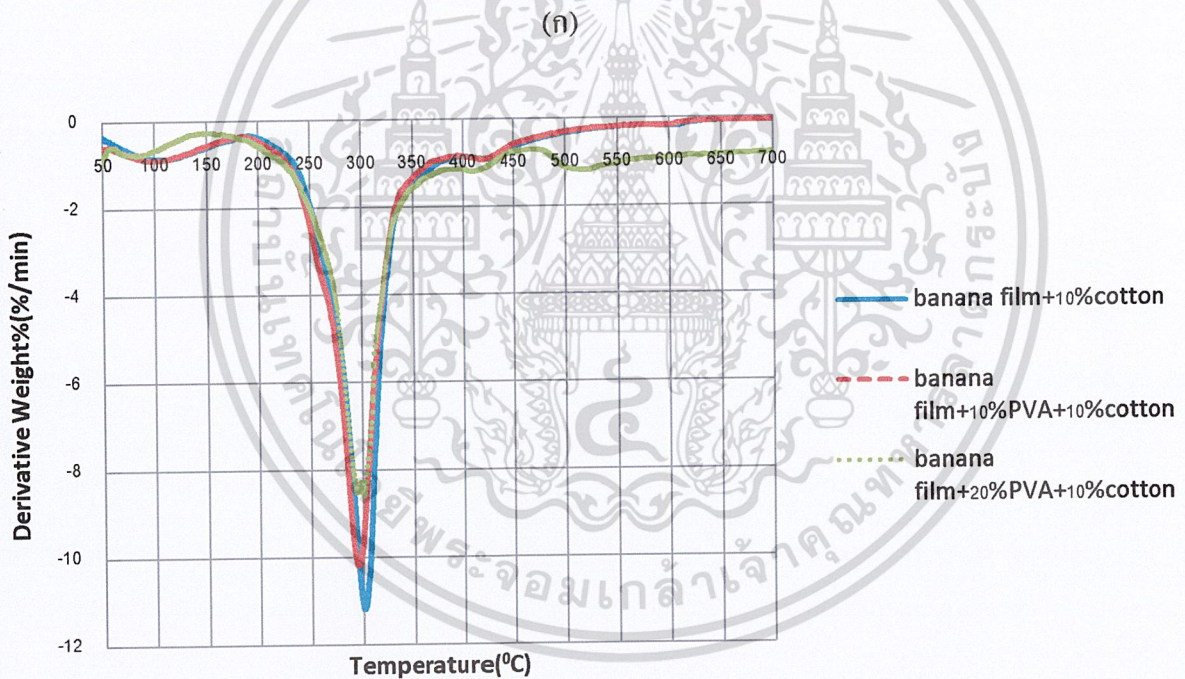
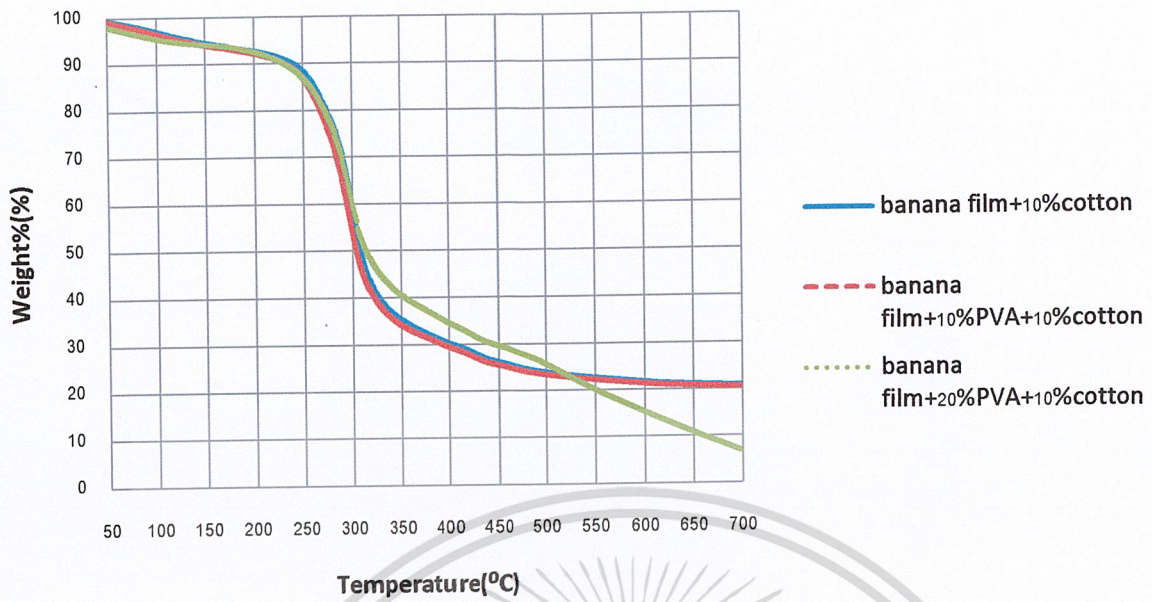


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 (ก) TGA และ (ข) DTG ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงต่างๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) TGA และ (ข) DTG ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณ

ต่างๆและ 10% เส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย เมื่อผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณต่างๆ และ เส้นใยฝ้าย

ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย	อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว	
	ช่วงที่1 (แป้งกล้วยและPVA)	ช่วงที่2 (เส้นใยฝ้าย)
แป้งกล้วย	275.7	-
แป้งกล้วย+10% PVA	267.0	-
แป้งกล้วย+20% PVA	262.0	-
แป้งกล้วย +เส้นใยฝ้าย 10 %	272.5	410.7
แป้งกล้วย+10% PVA+เส้นใยฝ้าย 10 %	278.9	390.3
แป้งกล้วย+20% PVA+เส้นใยฝ้าย 10 %	276.4	397.8

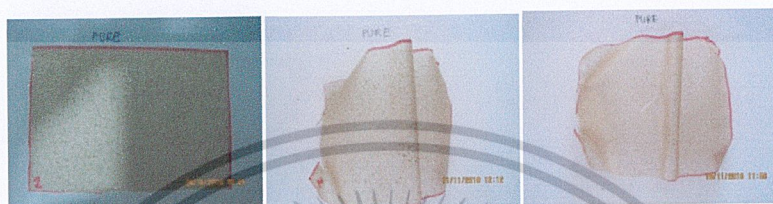
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.12-4.13 พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 275.7 °C เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในฟิล์มแป้งกล้วย พบว่า ทำให้แป้งกล้วยมีแนวโน้มอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวลดลง ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าประมาณ 260 °C [55] และการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในฟิล์มแป้งกล้วยพบอุณหภูมิการสลายตัวเพียง 1 ช่วงเท่านั้น แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกล้วยและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายลงในฟิล์มแป้งกล้วยสูตรต่างๆ พบว่า ทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นสลายตัวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และพบอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเส้นใยฝ้ายอยู่ในช่วง 390.3-410.7 °C [56]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.10 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน โดยนำฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีเปอร์เซ็นต์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน คือ 0%, 10% และ 20% และเปอร์เซ็นต์เส้นใยฝ้ายที่แตกต่างกัน คือ 0% และ 10% มาทำการทดสอบโดยการฝังดินที่มีการควบคุมความชื้นของดินในหลุมที่เป็นเวลา 63 วัน ฟิล์มที่ได้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.18 - 4.23 และตารางที่ 4.4



0 วัน

12 วัน

16 วัน



27 วัน

40 วัน

63 วัน

รูปที่ 4.14 ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 0% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์



0 วัน

12 วัน

16 วัน



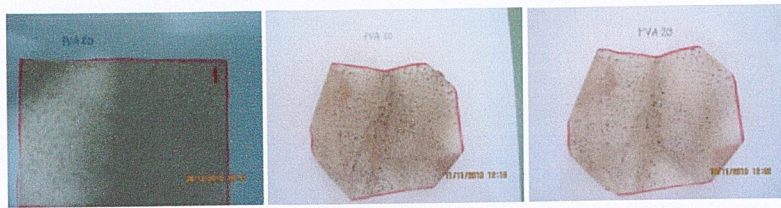
27 วัน

40 วัน

63 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก

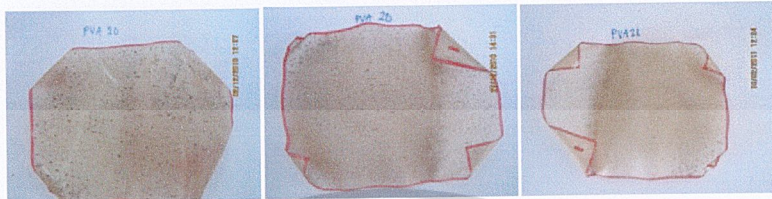
รูปที่ 4.15 ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 10% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์



0 วัน

12 วัน

16 วัน



27 วัน

40 วัน

63 วัน

รูปที่ 4.16 फिल्मแป้งกล้วย ที่มี 20% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์



0 วัน

12 วัน

16 วัน



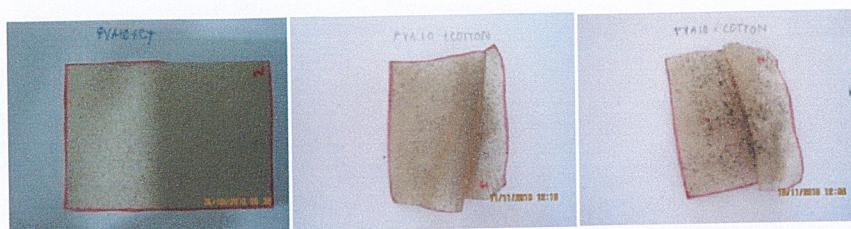
27 วัน

40 วัน

63 วัน

รูปที่ 4.17 फिल्मแป้งกล้วย ที่มี 0% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย 10 %

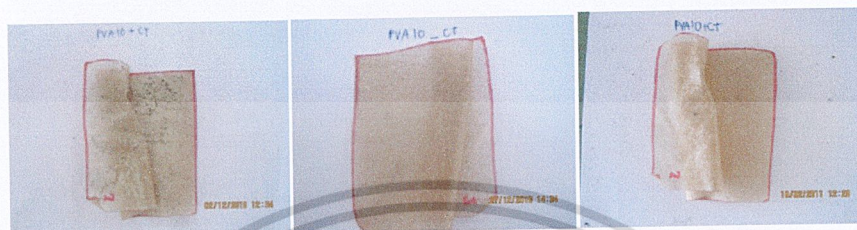
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



0 วัน

12 วัน

16 วัน



27 วัน

40 วัน

63 วัน

รูปที่ 4.18 ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 10% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย 10 %



0 วัน

12 วัน

16 วัน



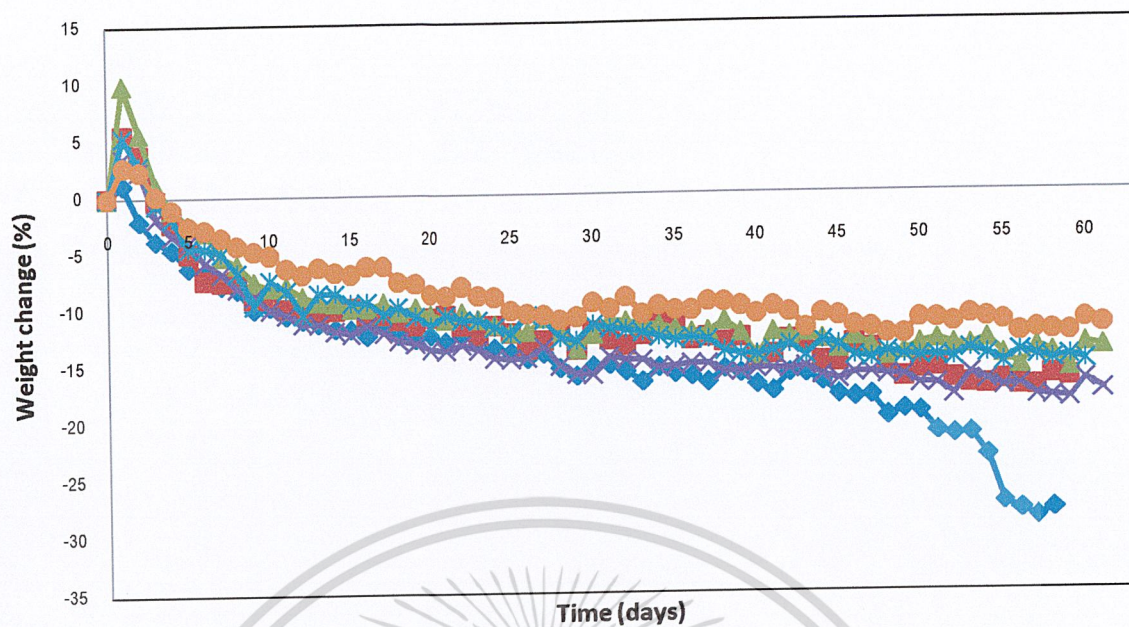
27 วัน

40 วัน

63 วัน

รูปที่ 4.19 ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 20% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 %น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยเมื่อผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ เส้นใยฝ้าย

ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายต่างๆ	ลักษณะฟิล์ม
ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 0% PVA และ เส้นใยฝ้าย 0 %	เมื่อผ่านไป 1 วันชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้นการย่อยสลายยังไม่ชัดเจน น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการย่อยสลายขึ้น เกิดเป็นรูเล็กๆในชิ้นงาน ผ่านไป 60 วันมีการขาดออกจากกัน
ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 10% PVA และเส้นใยฝ้าย 0 %	เมื่อผ่านไป 1 วันชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้นการย่อยสลายยังไม่ชัดเจน น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการย่อยสลายขึ้น เกิดเป็นรูเล็กๆในชิ้นงาน มีดินเกาะที่ชิ้นงานมากขึ้นการย่อยสลายยังเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ
ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 20% PVA และเส้นใยฝ้าย 0 %	เมื่อผ่านไป 1 วันชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้นการย่อยสลายยังไม่ชัดเจน น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการย่อยสลายขึ้น เกิดเป็นรูเล็กๆในชิ้นงาน
ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 0% PVA และ เส้นใยฝ้าย 10 %	เมื่อผ่านไป 1 วันชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้นการย่อยสลายยังไม่ชัดเจน น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการย่อยสลายขึ้น เกิดเป็นรูเล็กๆในชิ้นงาน ชิ้นงานมีความเปราะมากขึ้น
ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 10% PVA และเส้นใยฝ้าย 10 %	เมื่อผ่านไป 1 วันชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้นการย่อยสลายยังไม่ชัดเจน น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการย่อยสลายขึ้น เกิดเป็นรูเล็กๆในชิ้นงาน มีดินเกาะที่ชิ้นงานมากขึ้นการย่อยสลายยังเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ชิ้นงานมีความเปราะมากขึ้น
ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มี 20% PVA และเส้นใยฝ้าย 10 %	เมื่อผ่านไป 1 วันชิ้นงานเริ่มมีความชื้นมากขึ้นการย่อยสลายยังไม่ชัดเจน น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปเกิดการย่อยสลายขึ้น เกิดเป็นรูเล็กๆในชิ้นงาน มีดินเกาะชิ้นงานมากขึ้นการย่อยสลายยังเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ ชิ้นงานเริ่มมีความเปราะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดินในรูปที่ 4.17 พบว่าฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยทุกสูตรมีแนวโน้มการย่อยสลายที่เหมือนกัน กล่าวคือ มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในช่วงวันแรกของการฝังดิน เนื่องจากการดูดความชื้นจากดินมาที่ฟิล์มแป้งกล้วย หลังจากนั้นพบว่า จากนั้นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเริ่มมีแนวโน้มที่ลดลง ฟิล์มเริ่มเกิดการย่อยสลาย เนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีในดิน ซึ่งพบว่าฟิล์มแป้งกล้วย ที่ไม่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้าย สามารถย่อยสลายได้เร็วที่สุด รองลงมา คือ ฟิล์มแป้งกล้วย ที่ไม่มี พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แต่ผสมเส้นใยฝ้าย 10 % และฟิล์มที่ย่อยสลายยากที่สุด คือ ฟิล์มแป้งกล้วย ที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20% และเส้นใยฝ้าย 10 %



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 फिल्मที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยสามารถเตรียมได้โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส เวลา 10-15 นาที จากการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย พบว่าเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น สารละลายผสมมีความหนืดมากขึ้น

5.1.2 จากการศึกษาสมบัติความเป็นผลึก (X-ray diffraction) พบว่าแป้งกล้วยเมื่อผ่านกระบวนการเป็นฟิล์มแล้ว สายโซ่เรียงตัวกันเป็นผลึกแบบ V-type เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย ทำให้ความเป็นผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

5.1.3 จากการศึกษาการดูดซึมน้ำ พบว่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย โดยฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีการปรับปรุงด้วย PVA และเส้นใยฝ้ายมีการดูดซึมน้ำมากที่สุด ส่วนฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย 20% PVA และเส้นใยฝ้ายมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด

5.1.4 จากการศึกษาโดยเทคนิค FT-IR พบว่าเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเส้นใยฝ้ายลงในฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย พิกซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching และ O-H bending Shift ไปที่เลขคลื่นลดลง และในสูตรที่มีการเติมเส้นใยฝ้าย พบพิกเกิดขึ้นใหม่เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายลงในแป้งกล้วย ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในเส้นใยฝ้าย

5.1.5 จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าพื้นผิวของฟิล์มด้านหน้า (ด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับแม่พิมพ์) ของฟิล์มที่ไม่มีการเติม PVA พื้นผิวของฟิล์มมีรูพรุนจำนวนมาก แต่เมื่อเติม PVA รูพรุนที่พื้นผิวของฟิล์มมีจำนวนน้อยลง แต่มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อทำการเติมเส้นใยฝ้าย พบว่าพื้นผิวของ

ฟิล์มมีลักษณะขรุขระมากขึ้น และในสูตรที่มีการเติม PVA และเส้นใยฝ้าย พื้นผิวของฟิล์มมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ช่องว่างหรือรูพรุนมากยิ่งขึ้น สำหรับพื้นผิวด้านหลังของฟิล์ม (ด้านที่สัมผัสกับแม่พิมพ์) ที่เติม ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

PVA ในปริมาณต่างๆ มีลักษณะเรียบ แต่เมื่อเติม PVA ลงไปในปริมาณที่มากขึ้นทำให้พื้นผิวของฟิล์มมีรูพรุนมากขึ้น มีความขรุขระเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมเส้นใยฝ้ายลงไป ในสูตรที่มีการเติม PVA มีลักษณะขรุขระมากกว่าสูตรที่ไม่มีการเติม PVA

5.1.6 จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PVA และ เส้นใยฝ้ายพบว่าปริมาณ PVA 10% ให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยดีที่สุด โดยสูตรที่มีการเติมเส้นใยฝ้ายให้สมบัติเชิงกลดีกว่าสูตรที่ไม่มีการเติมเส้นใยฝ้าย

5.1.7 จากการศึกษาการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่าฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายมีการซึมผ่านของไอน้ำสูงสุด และฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่เติม PVA 20% มีการซึมผ่านของไอน้ำน้อยที่สุด

5.1.8 จากการศึกษาการทดสอบด้วยไอโอดีน พบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งแสดงด้วยจุดสีขาวกระจายตัวไม่สม่ำเสมอในเมทริกซ์ที่เป็นแป้งกล้วยซึ่งให้สีน้ำเงิน

5.1.9 จากการศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์ม พบว่าฟิล์มแป้งกล้วยและ PVA มีอุณหภูมิการสลายตัวเพียง 1 ช่วง และการเติมเส้นใยฝ้ายลงในฟิล์มแป้งกล้วยสูตรต่างๆทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.1.10 จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายด้วยการฝังดิน พบว่าฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ไม่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายสามารถย่อยสลายได้เร็วที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้ายมากขึ้น ทำให้ฟิล์มย่อยสลายได้ยากมากขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อานำสารละลายที่เตรียมได้เข้าเครื่องอัลตราโซนิกและตู้บ่มสุญญากาศเพื่อลดฟองอากาศที่เกิดขึ้น

5.2.2 ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 3 %wt เพื่อลดความหนืดของสารละลายผสมและโอกาสการเกิดช่องว่างภายในฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ใช้เส้นใยชนิดอื่นในการเสริมแรง เช่น เส้นใยปานศรนารายณ์ เส้นใยปอ เส้นใย สัตปประด เส้นใยลินิน เส้นใยมะพร้าว เป็นต้น เนื่องจากเส้นใยแต่ละชนิดจะมีปริมาณ Cellulose แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เบญจมาศ ศิลาน้อย. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ประชาชน, 2538.
- [2] [http://www.chainat.go.th/sub/moac/main\\_menu/poc/moac\\_chainat\\_datailand.htm](http://www.chainat.go.th/sub/moac/main_menu/poc/moac_chainat_datailand.htm)
- [3] [http://www.dft.moc.go.th/the\\_files/16/level4/สถานการณ์การค้ากล้วยไตรมาส3ปี2552.doc](http://www.dft.moc.go.th/the_files/16/level4/สถานการณ์การค้ากล้วยไตรมาส3ปี2552.doc)
- [4] <http://www.chemtrack.org/Board-Detail.asp?TID=0&ID=841>
- [5] พัทรินทร์ โศตรสุวรรณ พินทุอร พวงมาลี และ พนิดา เจริญสุข. พลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย. โครงการพิเศษ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552.
- [6] กล้านรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์, 2543.
- [7] [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)
- [8] <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/index.html>
- [9] R.F. Tester, J Karkalas, X. Qi. “Starch—composition, fine structure and architecture”, *Journal of Cereal Science*, 39 (2004) 151–165.
- [10] [http://www.foodindustrythai.com/v17/index.php?option=com\\_content&view=article&id=391&Itemid=131](http://www.foodindustrythai.com/v17/index.php?option=com_content&view=article&id=391&Itemid=131)
- [11] [http://gotoknow.org/file/wuddy\\_dip/ข้อมูลกล้วย.doc](http://gotoknow.org/file/wuddy_dip/ข้อมูลกล้วย.doc)
- [12] <http://www.itmstrade.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=5382910&Ntype=31>
- [13] <http://76.nationchannel.com/playvideo.php?id=99164>
- [14] <http://www.sakon-nakhon.com/forum/index.php?topic=474.0>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] <http://www.yala.go.th/perft/goodyala6.htm>
- [16] เศษ วัฒนชัยยิ่งเจริญ. **กล้วยไทยสุปี 2000**. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร.เอกสารประกอบการสัมมนา, 2542.
- [17] K.Kayisu and L.F. Hood. **"Molecular structure of banana starch."** Journal of Food Science, 46 (1998) 1894-1897.
- [18] C.K.Lii, S.M.Chang and Y.L.Young. **"Investigation of the physical and chemical properties of banana starch."** Journal of Food Science, 47 (1982) 1493-1497.
- [19] สุชาติพิทย์ อินทร์ชั้น. **การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [20] จุฑา พิระพัชระ. **ผลิตภัณฑ์ขนมอบจากแป้งกล้วย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2547.
- [21] สุชาติพิทย์ ภมรประวัตติ. **"เรื่องเด่นจากปก : กล้วยกับโรคระบบทางเดินอาหาร"** หมอชาวบ้าน. (329); ตุลาคม 2549
- [22] ศุภชัย อมรกันทรากกร และ เพ็ญศิริ ศรีบุรี. **"ท่องโลกกับคุณแป้ง : การใช้แป้งในรูปแบบของเทอร์โมพลาสติก"** ข่าวสารในวงการแป้ง. 3(2) : 6 ; เมษายน-มิถุนายน 2546.
- [23] อรุษา สรวารี. **สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1**. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2546.
- [24] มณฑา จันทร์เกตุเสียด. **วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น**. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, 2541.
- [25] <http://www.suankhlang.com/ipb//index.php?showtopic=988&mode=threaded&pid=14795>

[26] <https://sites.google.com/site/witchuda2535/home/kharbohidert>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่า [27] โดย [http://th.wikipedia.org/wiki/ไฟล์:Cellulose\\_strand.jpg](http://th.wikipedia.org/wiki/ไฟล์:Cellulose_strand.jpg) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [28] [http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap4/chapter4\\_4.html](http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap4/chapter4_4.html)
- [29] <http://www.mtec.or.th/laboratory/mech/index.php/knowledge/43-2009-06-25-03-17-43>
- [30] [http://www.merck-chemicals.co.th/pharmaceutical-ingredients/polyvinyl-alcohol-pva/thai/c\\_EsCb.s1OCXwAAAEdYEwMDnIV](http://www.merck-chemicals.co.th/pharmaceutical-ingredients/polyvinyl-alcohol-pva/thai/c_EsCb.s1OCXwAAAEdYEwMDnIV)
- [31] <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pva.png>
- [32] เกศศิณี ตรีภูทิวากร, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญศิริกุล และ สมยศ จรรยาวิลาศ. “การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง” วารสารอาหาร. 26 (4) : 249-262 ; 2529.
- [33] มณฑาทิพย์ ชุ่มฉลาด. การเตรียมฟิล์มอะไมโลสจากสตาร์ชมันเทศที่แยกส่วนแล้ว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2534.
- [34] วลัย หุตะโกวิท, นุชรา สร้อยระย้า, ดวงแข สุขโข, เพ็ญฟ้า เมฆเกรียงไกร, รัมภา สุวรรณพฤกษ์, จุฑา วิริยะ และ วิไลลักษณ์ สุทธธา. **กล้วยไทยสู้ปี 2000**. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร.เอกสารประกอบการสัมมนา, 2542.
- [35] วรวิทย์ โปชนิก. ผลของแป้งชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในสภาวะฝักกลบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [36] รัตนา รุจิรวนิช. การศึกษาผลการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิแลคติก แอซิดและพอลิคาโพรแลคโตนที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลและความสามารถในการต้านทานความชื้นของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลัก. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. รายงานผลการวิจัย, 2547
- [37] ไพลาภา นิมสังข์, มาศอุบล ทองงาม และ อรอนงค์ นัยวิกุล. **องค์ประกอบทางเคมี, สัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงอุณหภูมิจากแป้ง และสตาร์ชจากกล้วยดิบ**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. รายงานผลการวิจัย, 2550.

- [38] ชุตินันท์ เพชรทอง, วาสนา กันโสม และ วิไลพร โหมงแก้ว. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟ้นซ์ฟรายจากแป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งข้าวเจ้า.** ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 2551.
- [39] สุวีรยา ส่งแก้ว, แวอาแซ แวหามะ, วิริยะ ทองเรือง และณัฐินี โล่ห์พัฒนานนท์. **ผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติของคอมโพสิทที่ย่อยสลายทางชีวภาพระหว่างแป้งข้าวเจ้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6 8-9 พฤษภาคม 2551 สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2551.
- [40] K. Kayisu, L.F. Hood, and P.J. Van Soest. **“Characterization of starch and fiber of banana fruit.”** Journal of Food Science, 46 (1981) 1885–1890.
- [41] F.S. Kittur, N. Saroja, R.N. Tharanathan and Habibunnisa. **“Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango.”** European Food Research and Technology, 213 (2001) 306-311.
- [42] X. Ma, J. Yua and J.F. Kennedy. **“Studies on the properties of natural fibers-reinforced thermoplastic starch composites.”** Carbohydrate Polymers, 62 (2005) 19-24.
- [43] 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.
- [44] R. Sothornvit and N. Pitak. **“Oxygen permeability and mechanical properties of banana films.”** Food Research International, 40 (2007) 365-370.
- [45] H.G. Xiong, S.W. Tang, H.L. Tang and P. Zou. **“The structure and properties of a starch-based biodegradable film.”** Carbohydrate Polymers, 71 (2008) 263-268.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [46] C.M.O. Muller, J.B. Laurindo and F. Yamashita. **“Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films.”** Food Hydrocolloids, 23 (2009) 1328-1333.
- [47] J.N. BeMiller and R.L. Whistler, in **“Starch : Chemistry and Technology.”**, 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press, New York, 2009.
- [48] U.S. Elesini, A.P. Cuden and A.F. Richerds. **“Study of green cotton fiber.”** Acta Stov, 49 (2002) 815-853.
- [49] X.Ma, P.R. Cheng, J.Yo and M.Stumborg. **“Properties of biodegradable citric acid-modified granular starch/thermoplastic pea starch composites.”** Carbohydrate Polymers, 75 (2009) 1-8.
- [50] J.M. Fang, P.A. Fowler, J. Tomikinson and C.A.S. Hill. **“The preparation and characterization of a series of chemistry modified potato starches.”** Carbohydrate Polymers, 47 (2002) 245-252.
- [51] D. Najgebaver, T. Grega, M. Sady and P. Tomasik. **“Polymeric Complexes of cornstarch and waxy cornstarch phosphates with Milk Casein and their performance as Biodegradable Materials.”** Molecules, 9 (2002) 550-567.
- [52] J. Yong, J. Yu and X. Ma. **“Study on the properties of ethylene bisformation and sorbitol plasticized corn starch (ESPTPS).”** Carbohydrate Polymers, 66 (2006) 110-116.
- [53] K.Frost, D.Kaminski, E.Lascaris and R.Shank. **“Crystallinity and structure of starch using wide-angle x-ray scattering.”** Carbohydrate Polymers, 78 (2009) 543-548.
- [54] D.I. Bower, & Maddams, W. F. (1989) **“The vibrational spectroscopy of polymers.”** Cambridge : Cambridge University Press.

[55] J.M. Yang, W.Y. Su, T.L. Leu and M.C. Yang. **“Evaluation of chitosan/PVA blend hydrogel membranes.”** Membrane Science, 236 (2004) 39-51.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [56] L. Dohroau, P.A. Sreekumar, R. satsh, N.Lebanc, C.Terrie, R.Gattin and, J.M. Saiter.  
"Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fiber : Agro-green  
composites ." Applied Science and Manufacture, 40 329-339.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ตารางแสดงอัตราส่วนของ แป้งกล้วย:กลีเซอรอล:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์:น้ำ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม ที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

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

หมายเหตุ – แป้งกล้วย : น้ำ = 1 : 20 , แป้งกล้วย : กลีเซอรอล = 1 : 0.2

– ทำให้น้ำหนักแป้งกล้วยและ PVA เป็น 3 กรัม

ตารางแสดงอัตราส่วนของ แป้งกล้วย:กลีเซอรอล:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์:น้ำ:กัวยักัม:เส้นใยฝ้าย ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

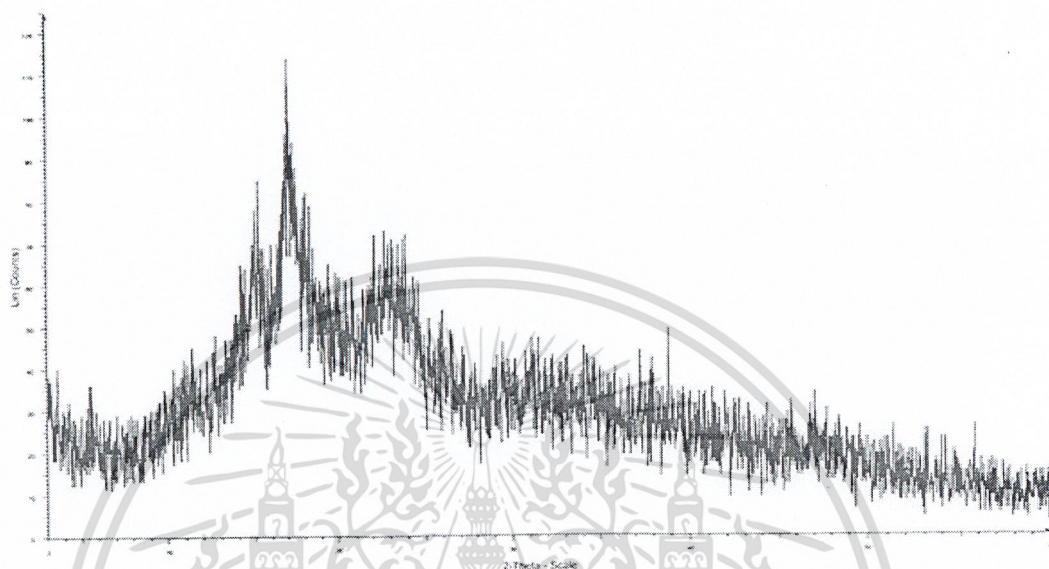
แป้งกล้วย (g)	กลีเซอรอล (g)	น้ำ (g)	PVA		กัวยักัม (g)	เส้นใยฝ้าย (g)
			(ml)	(g)		
3.00	0.60	60	0	0.00	0.0300	0.300
2.85	0.57	57	5	0.15	0.0285	0.285
2.70	0.54	54	10	0.30	0.0270	0.270
2.55	0.51	51	15	0.45	0.0255	0.255
2.40	0.48	48	20	0.60	0.0240	0.240

หมายเหตุ – แป้งกล้วย : น้ำ = 1 : 20 , แป้งกล้วย : กัวยักัม = 1 : 0.01 ,

แป้งกล้วย : เส้นใยฝ้าย = 1 : 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

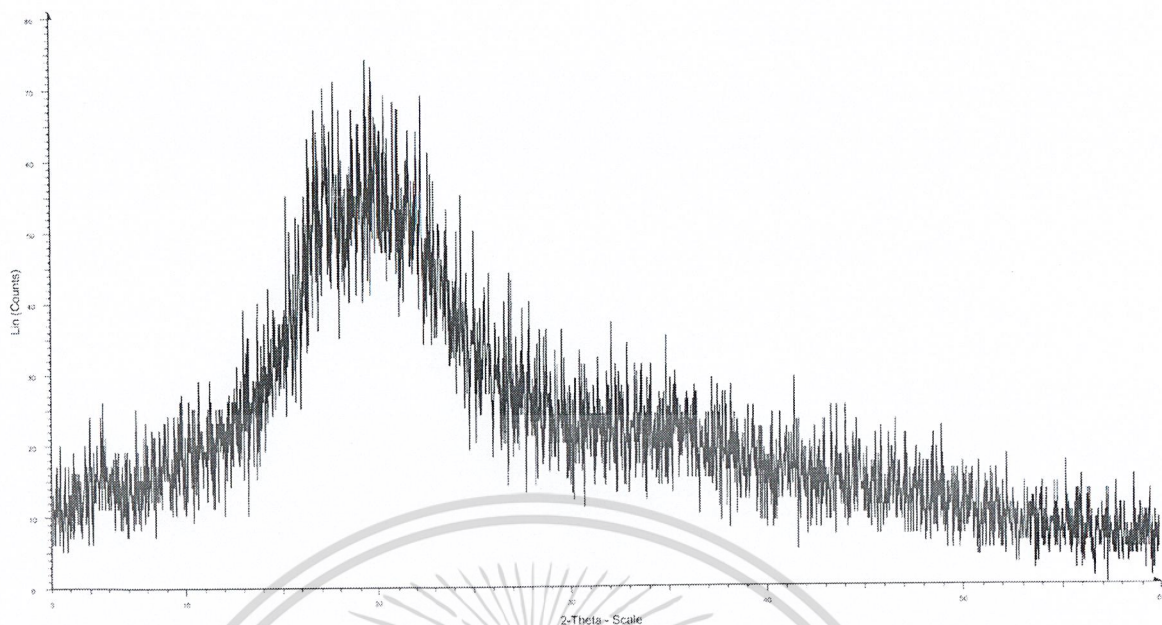


รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของแบ็งกั่วด้วย

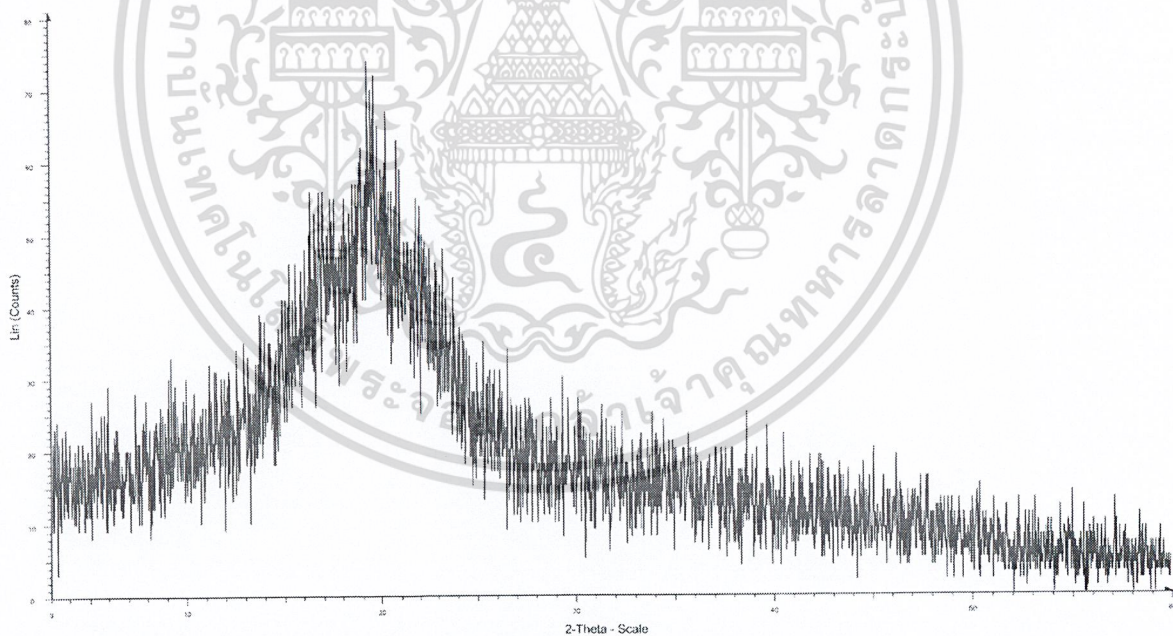


รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



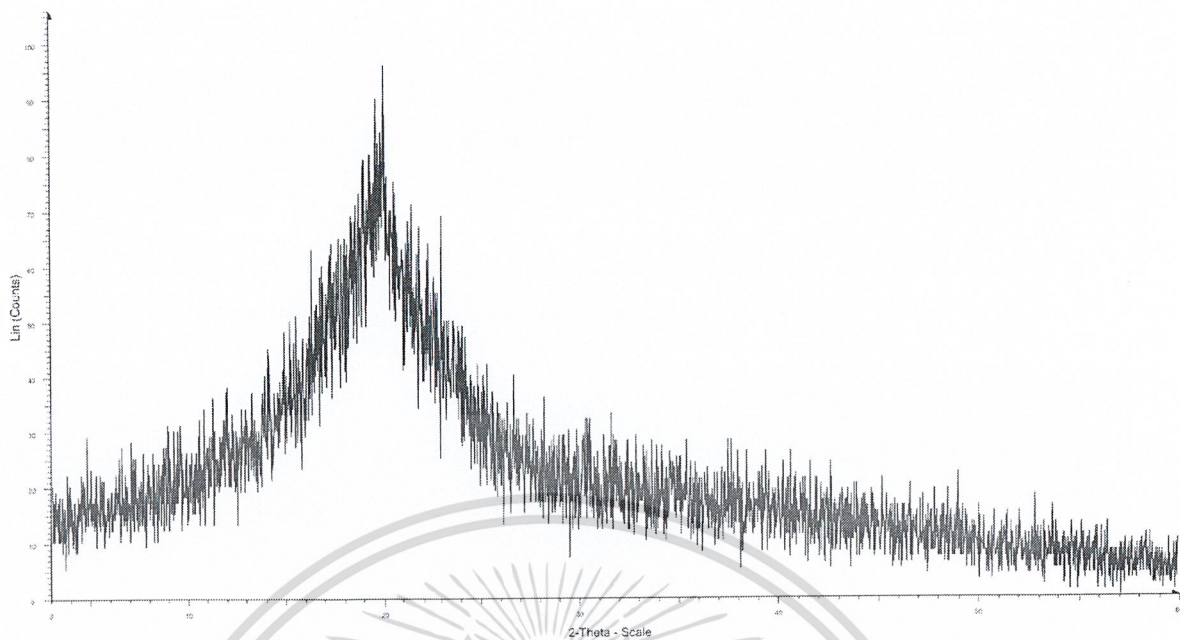
รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของฟิล์มที่ขยอยสลวยได้จากเบงกกล้วย



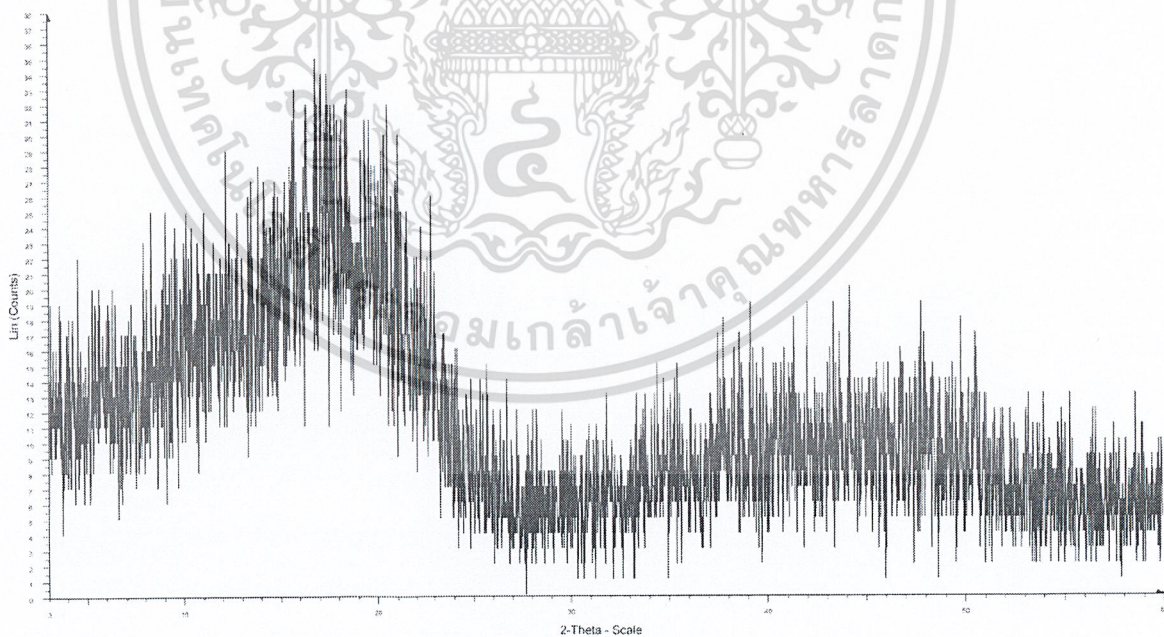
รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของฟิล์มที่ขยอยสลวยได้จากเบงกกล้วย และ 10% พอลิไวนิล

#### แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

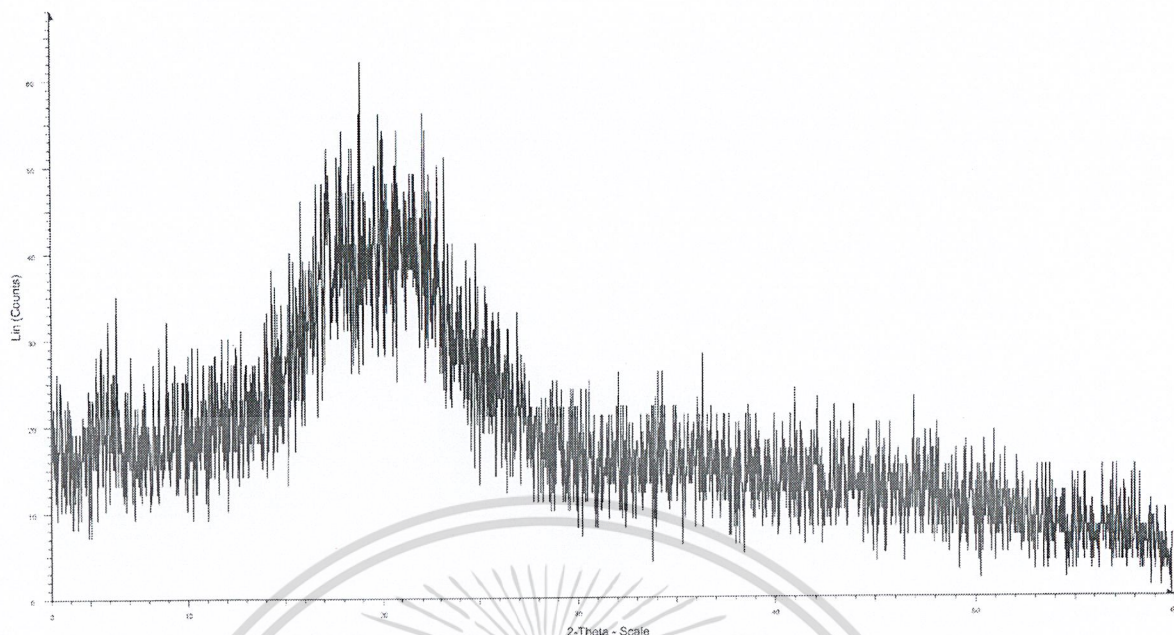


รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วย และ 20% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

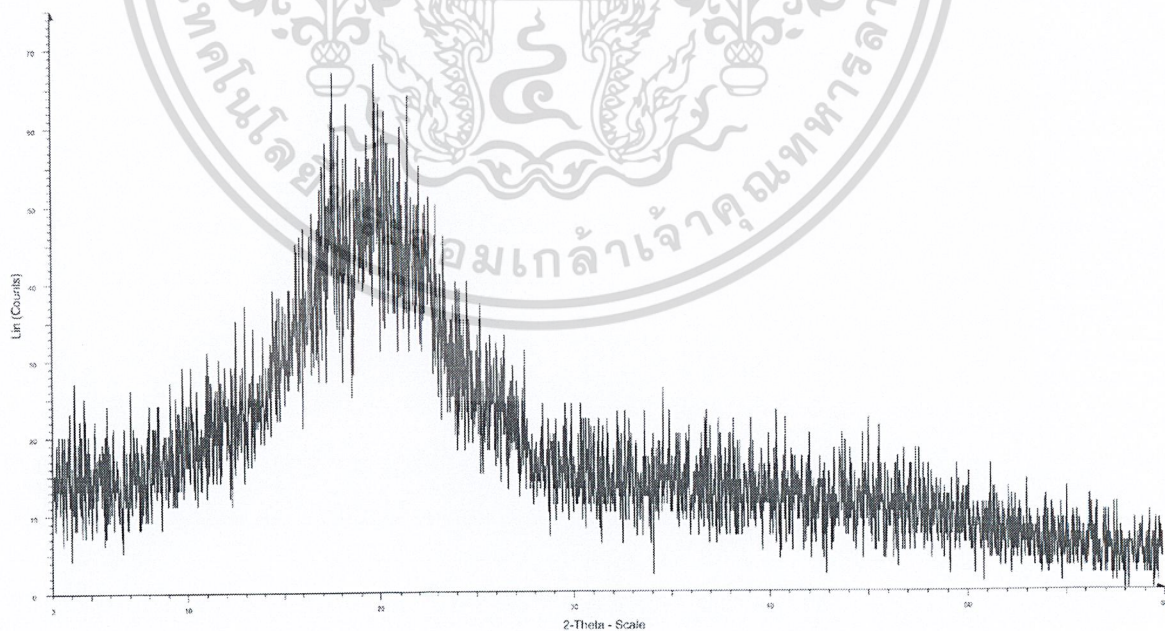


รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วย และ 10% เส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของฟิล์มที่ขย่ยสลายได้จากแป้งกล้วย 10% พอลิไวนิล  
แอลกอฮอล์ และ 10% เส้นใยฝ้าย



รูปภาพผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD ของฟิล์มที่ขย่ยสลายได้จากแป้งกล้วย 20% พอลิไวนิล  
เอทิลแอลกอฮอล์ และ 10% เส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

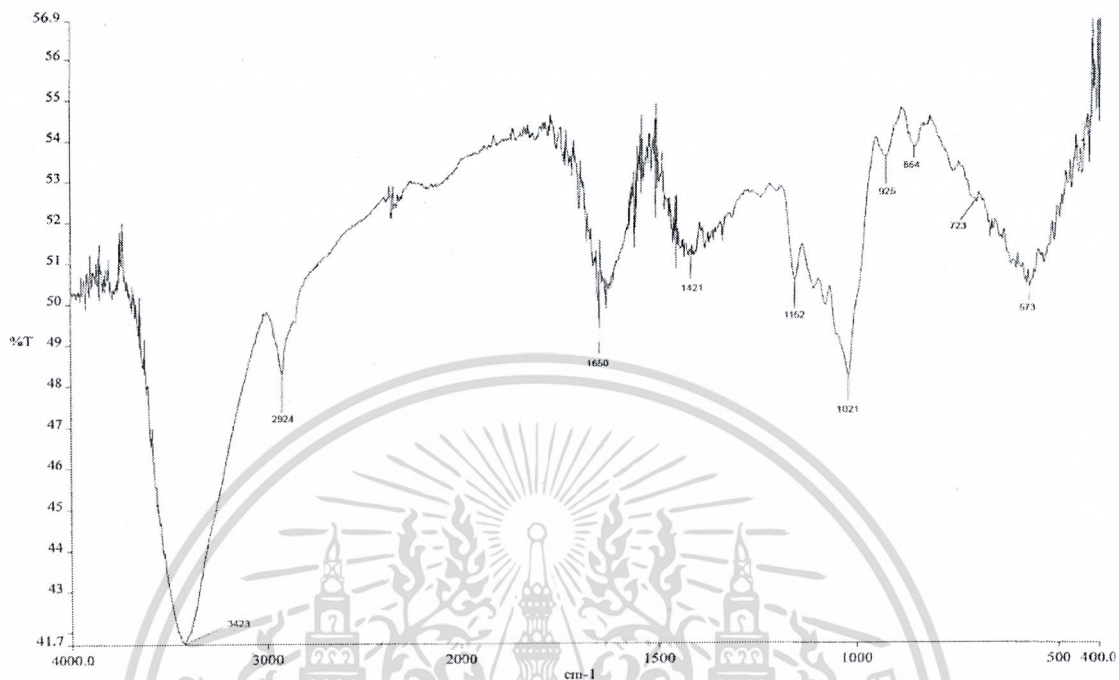
## ภาคผนวก ก

ตารางแสดง เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 50% ของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้ง  
กล้วยที่อัตราส่วน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้ายต่างๆ กันเป็นเวลา 19 วัน

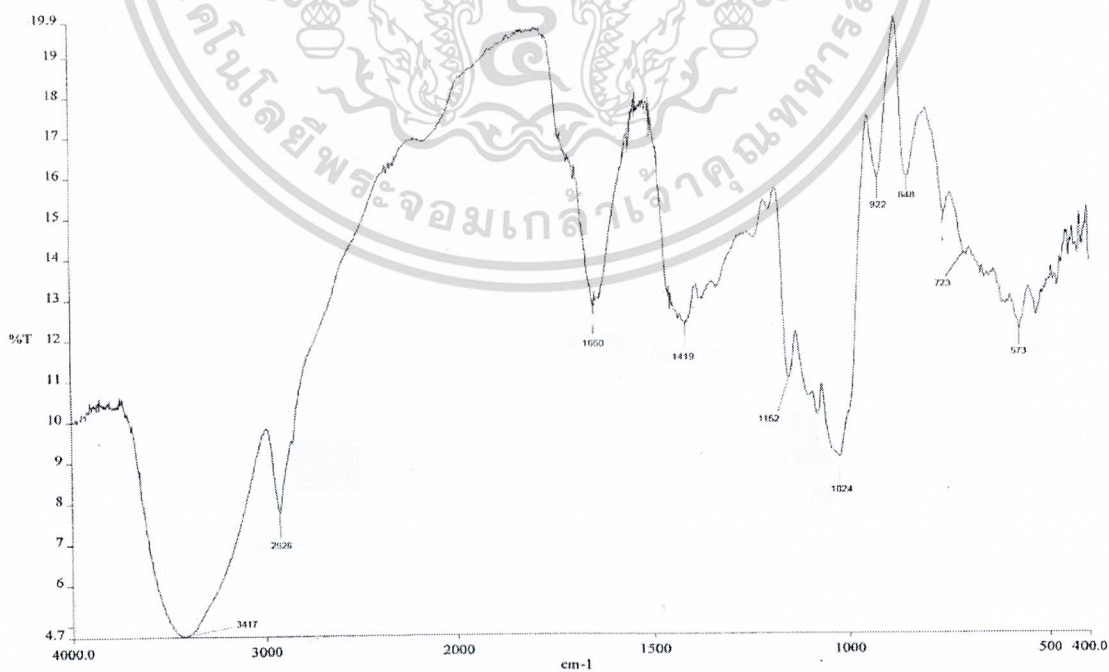
วันที่	0% PVAและ 0%เส้นใยฝ้าย	10% PVAและ 0%เส้นใยฝ้าย	20% PVAและ 0%เส้นใยฝ้าย	0% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	10% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	20% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย
1	15.695 ±1.32	14.16±5.44	13.4±1.63	11.355±1.03	9.725±2.38	11.155±0.63
2	19.725±2.95	14.395±0.90	15.24±1.16	15.665±0.08	14.21±3.48	13.495±1.34
3	19.805±0.84	17.32±0.42	15.65±0.18	16.715±1.03	14.47±3.48	13.91±0.82
4	20.915±1.36	19.175±0.53	15.85±0.01	16.99±0.3	15.175± 5.39	14.8±0.01
5	20.215±0.69	19.39±0.28	16.17±0.35	16.565±1.72	15.195± 3.7	15.125±0.04
6	21.995±0.39	19.495±0.26	16.295±0.11	17.01±0.79	15.485±6.65	15.355±0.42
7	21.8±0.06	19.68±2.53	16.945±0.62	17.85±0.52	15.715±3.49	15.7±0.10
8	21.23±0.10	20.085±1.15	16.77±0.91	18.39±1.07	15.935±2.02	15.735±0.42
9	22.725±1.35	20.365±0.63	16.33±0.52	18.05±0.01	16.035±3.68	17.365±0.69
10	22.91±1.56	20.765±0.33	16.095±0.63	18.86±0.55	16.675±1.07	17.915±1.22
11	22.7±0.68	21.4±1.65	17.09±0.23	19.09±0.62	16.915±3.40	17.94±1.16
12	22.92±1.12	21.24±0.51	17.765±0.18	19.025±0.37	16.75±0.78	18.15±0.75
13	22.445±1.39	21±0.78	18.61±0.03	20.7±0.92	17.255±2.72	19.175±0.43
14	23.64±1.54	21.4±1.13	18.015±1.68	22.995±0.69	19.09±3.32	20.095±0.28
15	23.57±0.62	21.67±4.14	18.605±1.97	23.82±1.44	19.275±2.28	21.815±0.56
16	24.26±1.79	21.965±1.73	20.145±0.99	23.9±0.65	21.445±2.26	22.215±1.07
17	23.365±0.62	22.445±3.08	19.285±0.25	24.13±0.55	22.33±2.42	21.21±0.75
18	22.795±0.25	22.165±3.60	19.745±0.86	24.715±0.08	21.47±3.05	20.435±0.18
19	23.94±0.72	23.21±3.66	18.63±5.59	24.94±0.14	21.27±1.15	20.045±0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

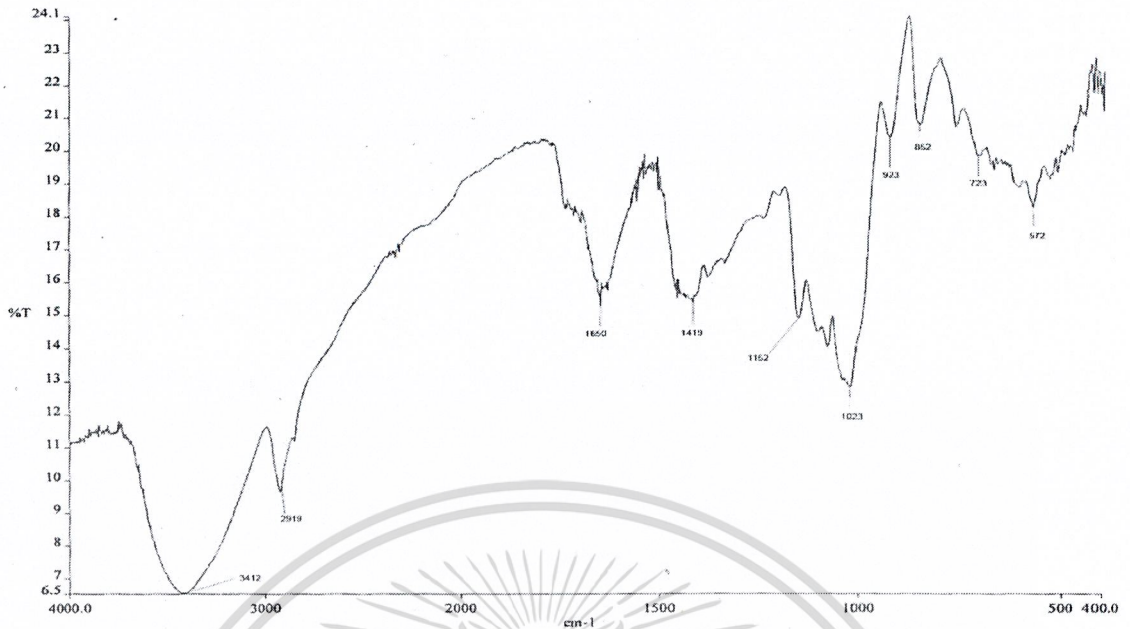
## ภาคผนวก ง



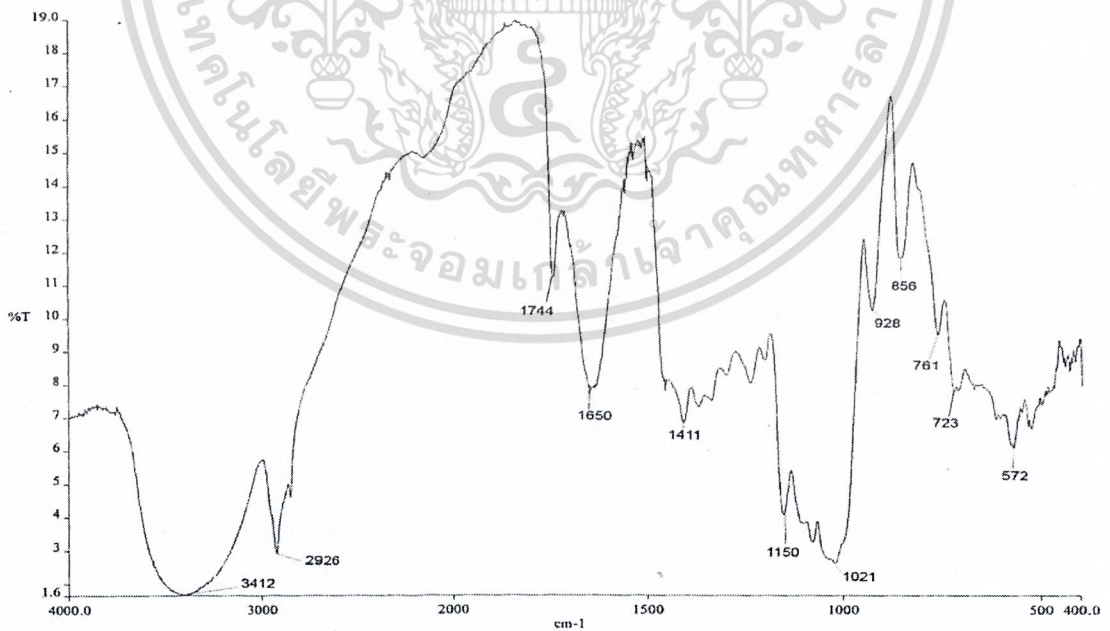
รูปแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย 10% PVA  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ หวังสน อักทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

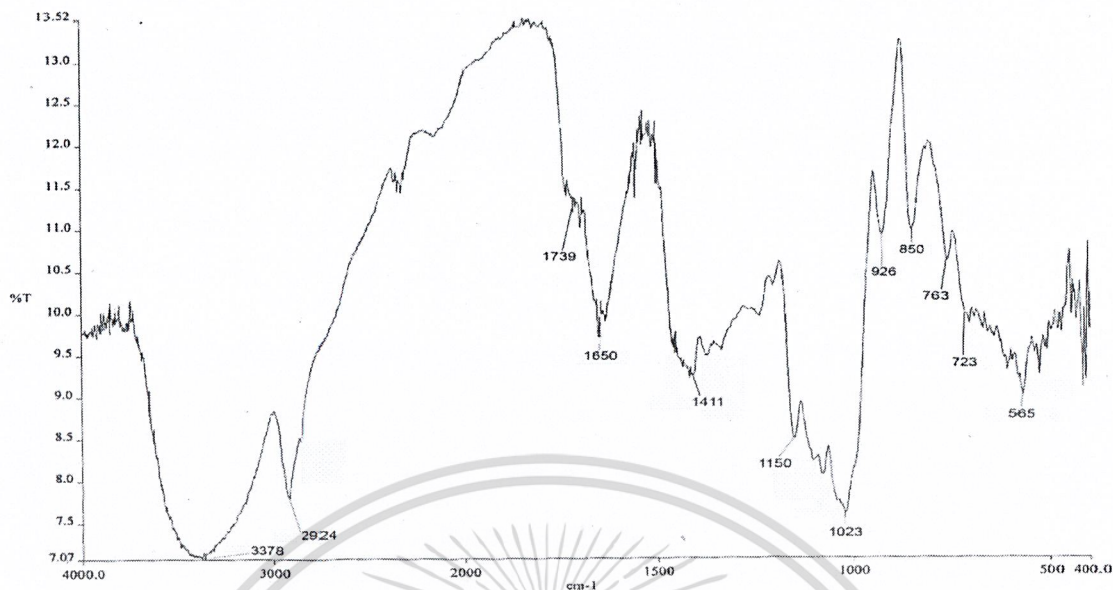


รูปแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย 20% PVA

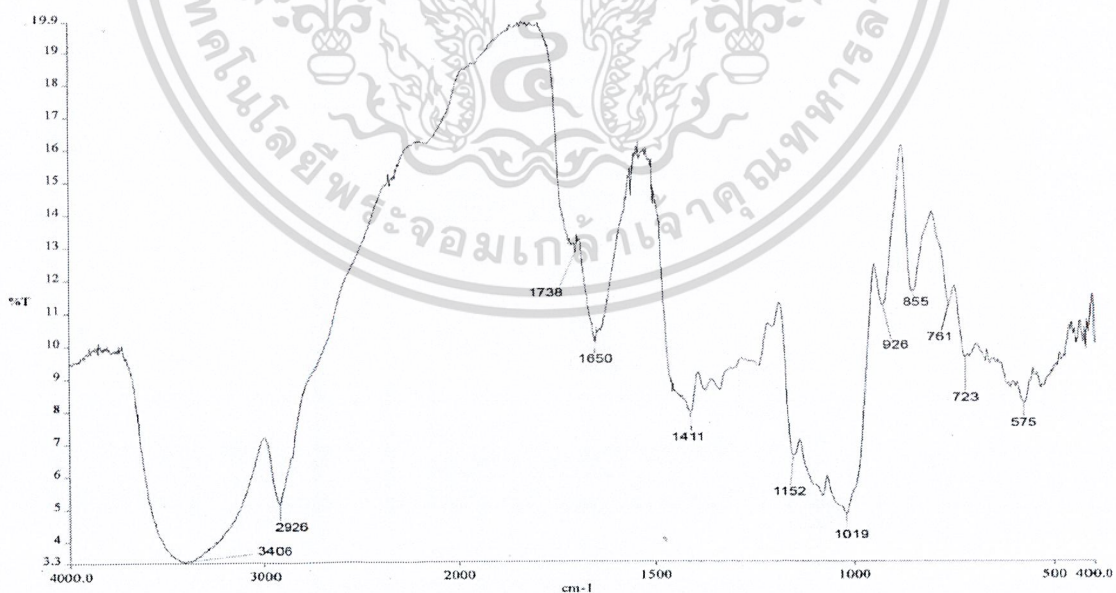


รูปแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีนไกลคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย และ 10% PVA



รูปแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน และ 20% PVA เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

แรงดึง

สูตร	Load (N)
แป้งกล้วย	5.10 ± 1.07
แป้งกล้วย + 5% PVA	5.52 ± 1.80
แป้งกล้วย + 10% PVA	6.81 ± 3.60
แป้งกล้วย + 15% PVA	6.82 ± 2.00
แป้งกล้วย + 20% PVA	5.82 ± 1.86

ความแข็งแรงดึง

สูตร	Stress at max load (MPa)
แป้งกล้วย	2.55 ± 1.31
แป้งกล้วย + 5% PVA	3.43 ± 1.45
แป้งกล้วย + 10% PVA	3.58 ± 1.31
แป้งกล้วย + 15% PVA	3.21 ± 0.74
แป้งกล้วย + 20% PVA	2.57 ± 0.89

มอดุลัส

สูตร	Young's modulus (MPa)
แป้งกล้วย	112.11 ± 17.57
แป้งกล้วย + 5% PVA	183.80 ± 62.46
แป้งกล้วย + 10% PVA	248.55 ± 56.58
แป้งกล้วย + 15% PVA	198.75 ± 17.30
แป้งกล้วย + 20% PVA	145.46 ± 18.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การดึงยืด

สูตร	Extension at max load (mm)
แป้งกล้วย	$2.55 \pm 3.84$
แป้งกล้วย + 5% PVA	$3.43 \pm 4.36$
แป้งกล้วย + 10% PVA	$3.58 \pm 0.56$
แป้งกล้วย + 15% PVA	$3.21 \pm 0.60$
แป้งกล้วย + 20% PVA	$2.57 \pm 1.04$

## เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

สูตร	Strain at max load (%)
แป้งกล้วย	$5.10 \pm 5.83$
แป้งกล้วย + 5% PVA	$5.52 \pm 1.69$
แป้งกล้วย + 10% PVA	$6.81 \pm 0.61$
แป้งกล้วย + 15% PVA	$6.82 \pm 0.52$
แป้งกล้วย + 20% PVA	$5.82 \pm 1.90$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นใยฝ้าย

แรงดึง

สูตร	Load (N)
แป้งกล้วย + 10% cotton	22.54 ± 9.68
แป้งกล้วย + 5% PVA + 10% cotton	24.83 ± 3.04
แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% cotton	28.06 ± 4.16
แป้งกล้วย + 15% PVA + 10% cotton	23.60 ± 4.00
แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% cotton	22.72 ± 2.66

ความแข็งแรงดึง

สูตร	Stress at max load (MPa)
แป้งกล้วย + 10% cotton	9.14 ± 1.37
แป้งกล้วย + 5% PVA + 10% cotton	9.54 ± 3.26
แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% cotton	10.37 ± 2.03
แป้งกล้วย + 15% PVA + 10% cotton	9.33 ± 1.32
แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% cotton	8.58 ± 0.97

มอดุลัส

สูตร	Young's modulus (MPa)
แป้งกล้วย + 10% cotton	160.32 ± 69.94
แป้งกล้วย + 5% PVA + 10% cotton	199.26 ± 97.31
แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% cotton	299.48 ± 48.44
แป้งกล้วย + 15% PVA + 10% cotton	277.93 ± 17.08
แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% cotton	212.68 ± 51.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การดึงยืด

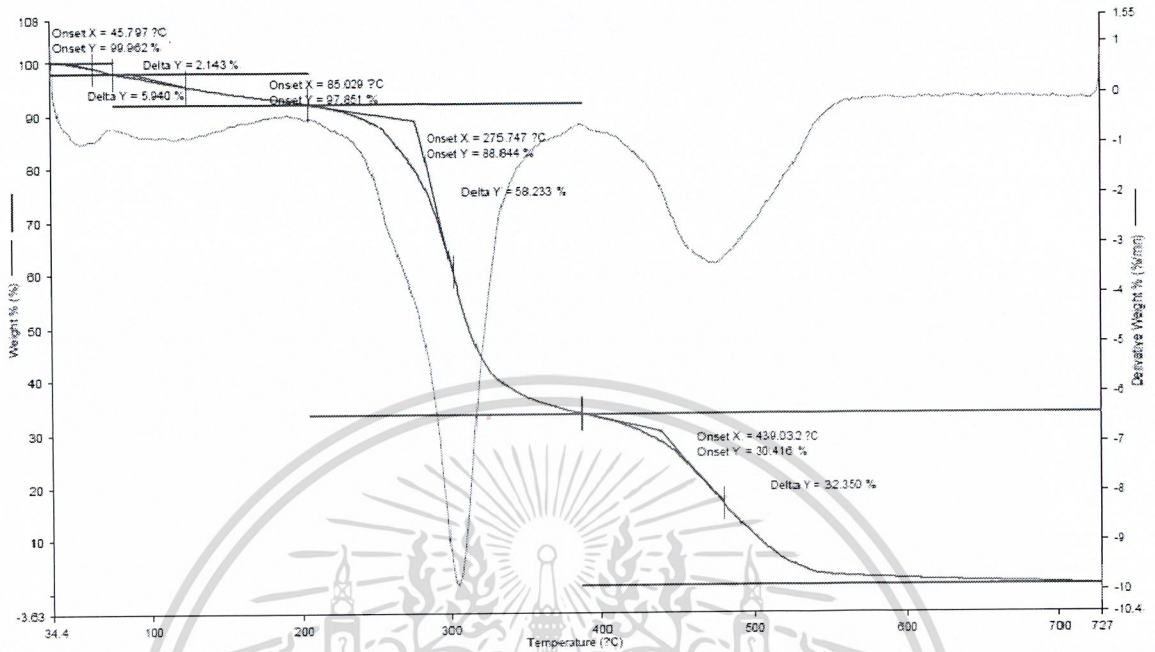
สูตร	Extension at max load (mm)
แป้งกล้วย + 10% cotton	2.60 ± 0.55
แป้งกล้วย + 5% PVA + 10% cotton	3.83 ± 2.85
แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% cotton	3.80 ± 1.71
แป้งกล้วย + 15% PVA + 10% cotton	2.76 ± 0.44
แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% cotton	2.56 ± 0.66

## เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

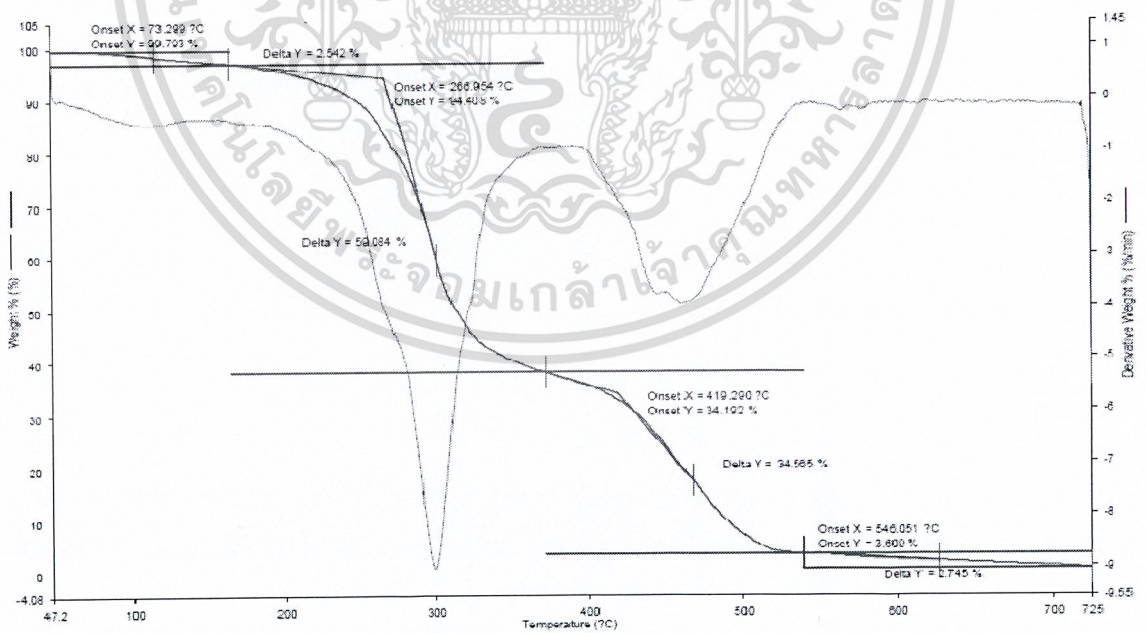
สูตร	Strain at max load (%)
แป้งกล้วย + 10% cotton	7.36 ± 2.46
แป้งกล้วย + 5% PVA + 10% cotton	7.67 ± 5.69
แป้งกล้วย + 10% PVA + 10% cotton	7.60 ± 3.41
แป้งกล้วย + 15% PVA + 10% cotton	5.76 ± 0.82
แป้งกล้วย + 20% PVA + 10% cotton	5.32 ± 1.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ฉ

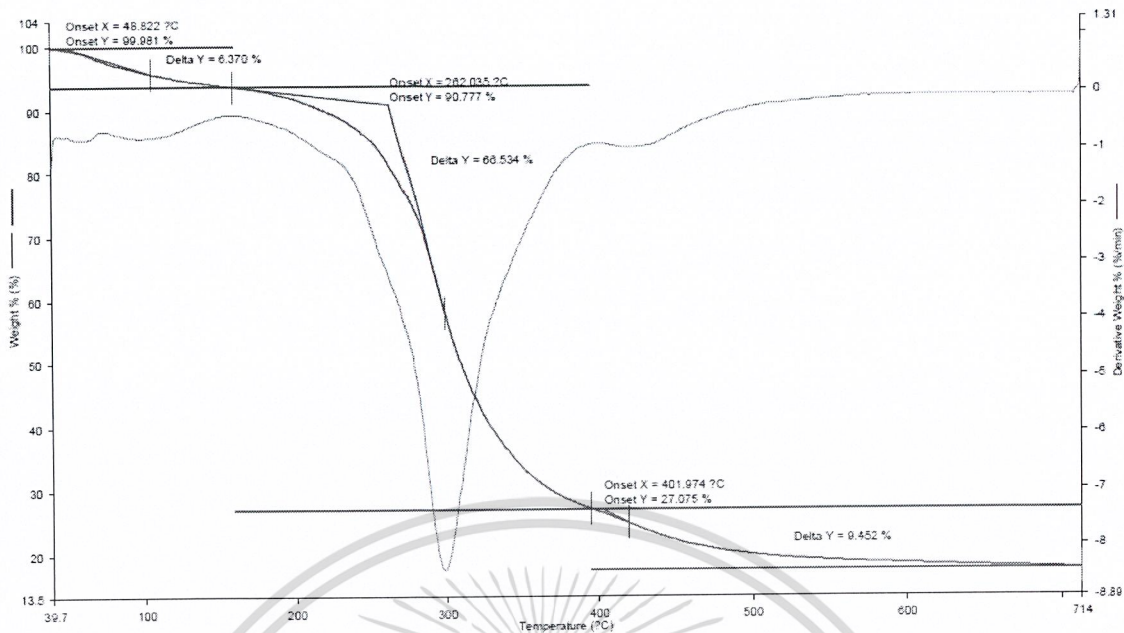


กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วย

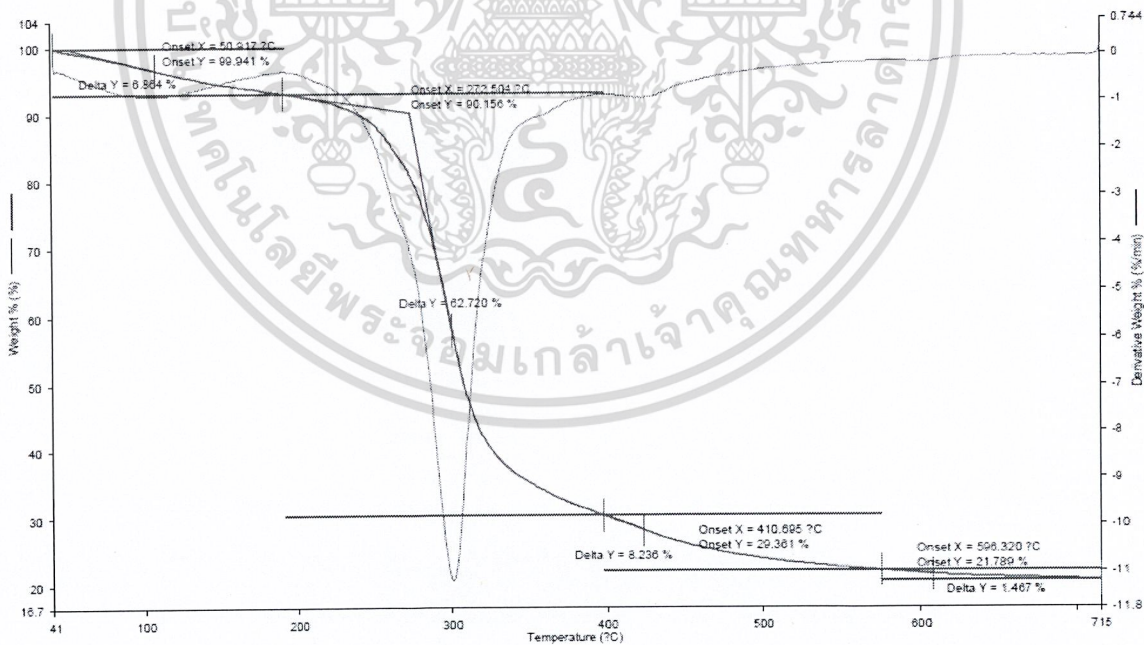


กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

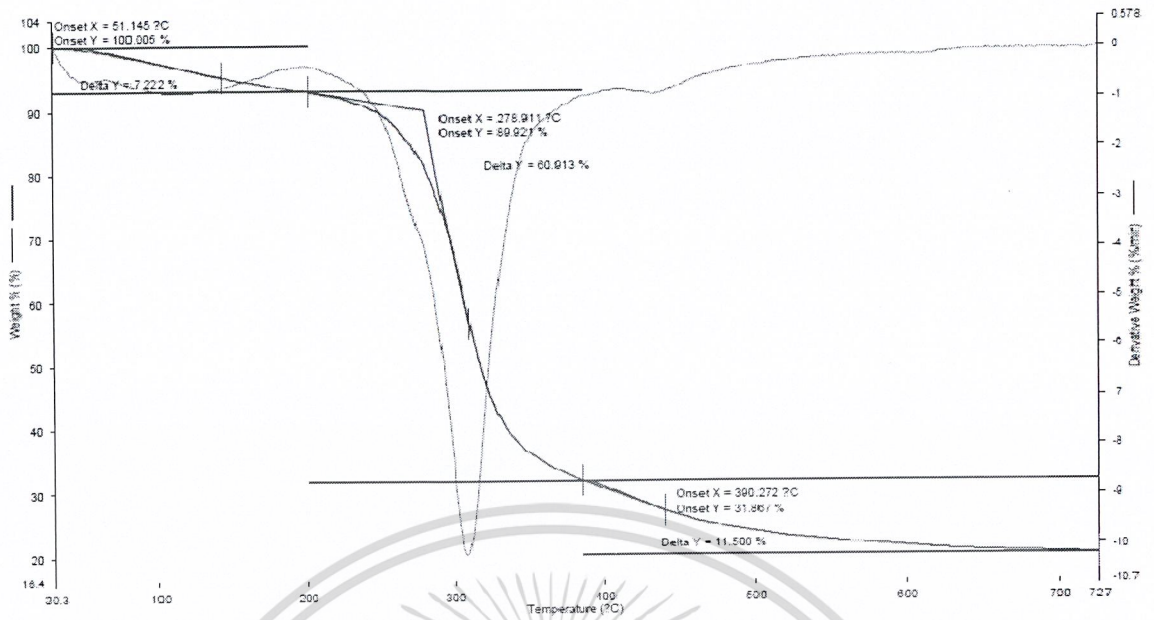


กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย 20% PVA

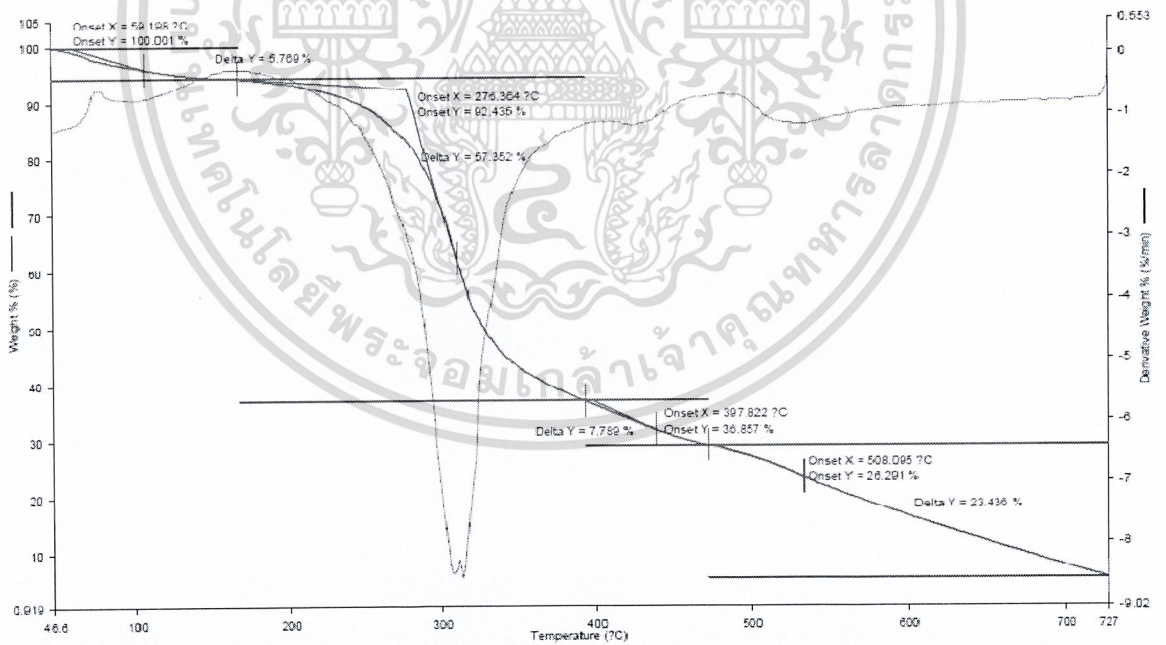


กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ข่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วย เส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและ 10% PVA



กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและ 20% PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ตาราง% น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบโดยการฝังดินของฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยที่  
อัตราส่วน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยฝ้ายต่างๆ กันเป็นเวลา 60 วัน

วันที่	0% PVAและ 0%เส้นใยฝ้าย	10% PVA และ0%เส้นใย ฝ้าย	20% PVA และ0%เส้นใย ฝ้าย	0% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	10% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	20% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย
1	1.145±1.83	5.525±3.88	9.91±1.59	3.55±1.28	5.335±0.02	2.75±1.55
2	-2.03±0.41	3.76±5.21	5.65±3.23	2.415±1.22	2.87±4.24	2.38±1.59
3	-3.765±0.51	-0.215±4.75	1.13±2.72	-1.79±0.80	-0.54±1.83	0.245±0.28
4	-4.565±1.29	-2.205±2.10	-0.495±0.01	-3.325±0.26	-1.8±2.67	-1.015±0.30
5	-6.165±1.13	-4.89±0.55	-2.365±1.02	-3.935±0.26	-4.415±0.81	-2.495±0.54
6	-6.855±0.07	-7.285±0.34	-2.975±0.16	-5.72±0.50	-4.455±1.11	-2.82±0.26
7	-7.72±0.87	-7.46±0.53	-5.16±0.15	-6.675±1.76	-4.865±1.19	-3.475±0.04
8	-8.135±0.37	-7.275±1.08	-5.86±0.01	-7.955±0.43	-6.61±0.48	-4.19±0.84
9	-9.89±1.04	-8.975±1.80	-7.46±0.87	-8.685±2.39	-9.505±0.62	-4.81±0.07
10	-9.765±1.59	-8.78±0.74	-7.945±0.36	-9.865±2.12	-7.325±0.03	-5.07±0.67
11	-10.415±0.74	-9.785±0.10	-7.85±0.12	-10.325±1.63	-8.18±0	-6.235±0.67
12	-10.855±0.81	-9.905±0.51	-8.73±0.08	-11.09±1.82	-10.315±1.98	-6.76±0.24
13	-11.195±0.67	-10.135±0.94	-9.23±0.71	-11.17±2.77	-8.475±0.48	-6.175±1.09
14	-11.63±0.50	-9.985±1.50	-9.34±0.57	-11.8±2.31	-8.515±0.75	-6.625±1.67
15	-11.695±0.54	-9.78±1.24	-9.825±0.73	-12.09±2.60	-9.39±0.04	-6.805±0.96
16	-12.28±0.25	-10.635±1.08	-9.83±0.04	-11.36±2.20	-9.295±0.04	-6.1±0.21
17	-11.425±0.20	-10.44±2.24	-9.335±0.70	-12.025±1.83	-10.39±0.05	-6.085±0.51
18	-12.22±0.42	-10.9±1.07	-10.2±0.42	-12.69±2.40	-9.76±0.73	-7.52±0.80
19	-12.63±0.09	-11.39±1.45	-9.87±0.30	-12.985±2.43	-10.595±0.50	-7.7±1.24
20	-12.295±0.03	-10.74±1.21	-10.415±0.52	-13.53±2.84	-11.43±0.11	-8.625±1.85
21	-12.885±0.03	-10.52±0.02	-10.885±0.99	-13.615±2.76	-10.54±0.60	-8.82±1.64
22	-12.25±0.07	-11.465±0.85	-10.29±0.26	-13.12±2.43	-10.96±0.07	-7.985±1.02
23	-12.98±0.01	-12.295±0.48	-10.905±0.47	-13.51±2.46	-11.015±0.04	-8.8±1.00
24	-13.47±0.12	-11.765±2.25	-11.43±0.05	-14.3±1.55	-11.615±0.53	-8.94±1.01
25	-13.86±0.57	-12.155±1.70	-12.075±0.31	-14.45±1.66	-12.2±0.49	-10.16±1.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างใช้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
หากมีข้อผิดพลาด กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อปรับปรุงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	0% PVA และ 0%เส้นใยฝ้าย	10% PVA และ0%เส้นใย ฝ้าย	20% PVA และ0%เส้นใย ฝ้าย	0% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	10% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	20% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย
26	-14.43±1.24	-13.58 ±1.48	-12.055±0.23	-14.295±2.05	-10.61±0.73	-10.43±1.24
27	-13.975±1.36	-12.805±1.09	-10.83±0.84	-13.36±0.83	-10.99±0.76	-10.54±0.91
28	-15.255±1.44	-11.925±1.30	-12.075±0.68	-15.05±2.27	-12.65±0.33	-11.01±1.13
29	-15.955±0.77	-13.67±3.26	-13.605±1.36	-15.8±1.66	-12.865±1.32	-10.735±1.67
30	-15.125±2.00	-12.065±0.99	-12.29±0.42	-15.82±4.36	-11.44±1.10	-9.46±0.84
31	-15.01±1.34	-12.82±1.86	-11.035±0.43	-14.275±1.35	-11.795±0.62	-10.045±1.06
32	-15.595±0.85	-13.295±1.59	-11.19±0.43	-14.55±1.51	-11.9±0.57	-9.02±0.98
33	-16.508±2.01	-12.44±0.91	-11.495±0.62	-14.62±1.49	-12.195±0.31	-10.52±0.45
34	-15.285±2.48	-11.33±1.83	-11.525±0.61	-15.295±1.84	-12.555±0.50	-9.83±1.03
35	-15.81±1.86	-11.255±2.96	-11.895±0.41	-15.135±2.43	-12.84±0.72	-10.22±0.79
36	-16.07±2.05	-12.85±1.73	-12.21±0.90	-14.92±2.92	-12.65±0.36	-10.23±3.42
37	-16.595±1.46	-12.64±0.11	-12.085±0.53	-15.01±1.89	-12.865±0.75	-9.465±1.49
38	-15.455±1.57	-13.1±1.58	-11.22±0.97	-15.73±1.40	-13.84±2.10	-9.515±1.44
39	-15.84±1.20	-12.72±1.21	-12.25±0.93	-15.73±1.40	-14.135±1.91	-9.895±1.52
40	-16.85±1.21	-14.52±1.01	-14.31±0.49	-15.415±3.10	-14.18±0.08	-10.6±1.34
41	-17.43±0.21	-14.225±1.57	-12.205±0.04	-15.415±2.79	-13.88±0.04	-9.94±1.06
42	-15.83±1.99	-12.955±1.23	-12.61±0.02	-15.51±2.36	-13.335±0.40	-10.495±0.88
43	-15.91±2.03	-13.145±1.37	-12.3±0.60	-15.26±2.67	-14.305±0.31	-11.9±1.85
44	-16.63±1.23	-14.825±0.27	-12.875±0.19	-16.075±2.42	-13.02±0.05	-10.585±1.67
45	-17.775±2.24	-14.93±1.59	-13.65±0.12	-16.43±2.51	-13.435±0.44	-10.85±1.41
46	-18±3.60	-13.32±1.18	-12.68±0.66	-15.88±1.34	-14.35±0.94	-11.705±2.12
47	-17.89±4.03	-13.765±0.95	-13.515±0.88	-15.845±2.70	-14.605±1.36	-11.895±2.15
48	-19.685±4.34	-15.345±2.22	-14.46±0.08	-16.07±2.54	-14.04±0.02	-12.435±2.12
49	-19.14±3.86	-16.295±4.81	-14.02±0.83	-16.12±2.55	-14.365±0.10	-12.495±2.15
50	-19.305±4.54	-15.63±3.40	-13.335±0.38	-16.905±1.94	-14.475±0.23	-11.095±0.30
51	-21.07±4.18	-15.45±3.95	-13.015±1.23	-16.89±2.60	-14.405±0.20	-11.145±1.2
52	-21.355±4.03	-16.475±2.97	-13.44±1.27	-17.835±2.32	-14.585±0.10	-11.49±1.64
53	-21.25±2.34	-16.92±3.06	-13.51±1.58	-15.975±2.11	-13.86±0.63	-10.815±1.16
54	-23.205±2.28	-17.03±4.41	-12.98±0.76	-16.62±2.46	-14.33±0.15	-11.11±1.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	0% PVAและ 0%เส้นใยฝ้าย	10% PVA และ0%เส้นใย ฝ้าย	20% PVA และ0%เส้นใย ฝ้าย	0% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	10% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย	20% PVAและ 10%เส้นใยฝ้าย
55	-27.31±3.73	-16.635±3.23	-14.335±0.20	-17.145±2.69	-15.04±0.09	-11.4±0.03
56	-27.97±3.59	-17.17±3.14	-15.35±1.11	-17.04±3.69	-14.1±2.20	-12.41±0.95
57	-28.61±4.46	-16.185±2.56	-13.61±0.56	-17.995±2.67	-14.485±2.25	-12.09±1.85
58	-27.905±4.08	-16.405±3.44	-14.215±0.45	-18.095±2.69	-14.84±0	-12.255±1.01
59			-15.57±0.94	-18.25±2.88	-14.555±0.40	-12.35±1.06
60			-13.46±0.35	-16.625±2.62	-14.905±0.09	-11.285±0.98
61			-13.705±0.73	-17.515±1.93		-11.72±1.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้