

ฟิล์มผสมจากแป้งมันสำปะหลังตัดแปรไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง
DIALDEHYDE CASSAVA STARCH AND CASSAVA STARCH BLENDED
FILMS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-SC-M-014-012

ฟิล์มผสมจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง

DIALDEHYDE CASSAVA STARCH AND CASSAVA STARCH BLENDED
FILMS

นางสาวปรารธนา คำใส

PRATANA KOMSAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-SC-M-014-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIALDEHYDE CASSAVA STARCH AND CASSAVA STARCH BLENDED FILMS



PRATANA KOMSAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER IN TECHNOLOGY POLYMER

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

KMITL-2016-SC-M-014-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชื่อเรื่อง: การศึกษาผลของสารสกัดจากเปลือกส้มเขียวหวานต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
ชื่อผู้ศึกษา: นางสาวกัญญากร นามะกุล
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร. อรุณรัตน์ นามะกุล
ชื่อสาขาวิชา: วิทยาศาสตร์
ชื่อหลักสูตร: หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
ชื่อสถาบัน: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



COPYRIGHT 2016
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “ฟิล์มผสมจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง”
“DIALDEHYDE CASSAVA STARCH AND CASSAVA STARCH BLENDED FILMS”
ชื่อนักศึกษา นางสาวปรารถนา คำใส
รหัสประจำตัว 57605059
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์)
ภาควิชา เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
ผศ.ดร.สุปราณี แก้วภริมย์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ	
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ อังคารที่ 27 ธันวาคม พ.ศ.2559 เวลา 09.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมภาควิชาเคมี ชั้น 5 อาคารจุฬารกรณ์วลัยลักษณ์ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุขนิ จันะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่...16...เดือน...1พ...พ.ศ....68...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฟิล์มผสมจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง
นักศึกษา	นางสาวปรารถนา คำใส
รหัสประจำตัว	57605059
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีเตเป็นสารออกซิไดส์ โดยมีอัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอดีเต เป็น 1:0.25, 1:0.50, และ 1:1 พบว่ามีจำนวนหมู่แทนที่อยู่ในช่วง 17.10 ± 0.65 , 37.32 ± 0.55 และ 63.26 ± 0.77 ตามลำดับ ผลจากการศึกษาสัญญาณวิทยาพบว่าลักษณะของเม็ดแป้งที่เตรียมได้นั้นเปลี่ยนแปลงไป จากการศึกษา FTIR ของแป้งไดอัลดีไฮด์พบพีคในช่วง $1730-1750 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิลของหมู่อัลดีไฮด์ จากการศึกษา TGA พบว่าแป้งที่มีหมู่แทนที่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งลดลง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลง นอกจากนี้ความหนืดของสารละลายแป้งไดอัลดีไฮด์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ทำการดัดแปร

จากนั้นนำแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตรมาเตรียมฟิล์มด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบเทหล่อโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้แป้งไดอัลดีไฮด์ร้อยละ 15, 30, 50 และ 70 ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง โดยผลจาก FTIR ของฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่เตรียมได้พบว่าฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์ในแต่ละสูตรนั้น และพบพีคใหม่ในช่วง $1730-1750 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิล พบการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่นที่ต่ำลงของ พีคที่ $3300-3500 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นของ O-H stretching ของพันธะไฮโดรเจนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์ นอกจากนี้พบว่าแป้งที่มีหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้อุณหภูมิการบวมตัวและการดูดซับน้ำต่ำลงมากยิ่งขึ้น เมื่อปริมาณแป้งที่มีหมู่

ได้อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น พบว่าฟิล์มผสมนั้นรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดียิ่งขึ้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมได้แก่ ความเค้น และ โมดูลัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ในการดึงยืดลดต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มที่ผสมแป้งได้อัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นและมีเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น นั้นทำให้มีอุณหภูมิการสลายตัวลดลงและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลง

คำสำคัญ : แป้งได้อัลดีไฮด์, ฟิล์มผสม, ฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Dialdehyde cassava starch and cassava starch blended films
Student	Pratana Komsai
Student ID	57605059
Degree	Master of Science
Program	Polymer technology
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

This research studied preparation of dialdehyde starches from cassava starch using sodium periodate (NaIO_4) as an oxidizing agent. The mole ratios between starch and NaIO_4 were varied at 1:0.25, 1:0.50, and 1:1. The results from titration revealed that the percentage of aldehyde substitution were in the range of 17.10 ± 0.65 , 37.32 ± 0.55 and 63.26 ± 0.77 , respectively. Morphological study showed that the shape of the products was different from the unmodified starch. FTIR spectra of the dialdehyde starches showed the new peak at $1730\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$, assigned for the C=O stretching of aldehyde group. The TGA results showed the decrease in degradation temperature and weight loss percentage when products contained higher amount of aldehyde group. In addition, viscosity of the dialdehyde starches at different temperatures decreased significantly comparing to the unmodified starch.

Different blended films from dialdehyde starch and non-modified starch were, then, prepared by casting method using glycerol as a plasticizer. The dialdehyde starches were used at 15, 30, 50, and 70% of the weight of cassava starch. The results from FTIR of the blended films showed the new peak, related to C=O stretching of carbonyl group at $1730\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$. In addition, the peak shift of O-H stretching, attributed to hydrogen bonds between cassava starch and dialdehyde starch at $3300\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ was observed. Moreover, the films prepared by dialdehyde starch with high content of aldehyde group

showed lower swelling percentage and water absorption values than the other films. When the content of the dialdehyde starch increased, better phase morphology, higher values of stress and modulus and lower elongation percentage of the film were observed. Furthermore, the results from TGA showed that the film containing dialdehyde starch with high aldehyde content and high percentage of dialdehyde cassava starch presented lower degradation temperature and weight loss percentage.

Keywords : Dialdehyde starch, Blened Films, Biodegradable film



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ที่เป็นที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับโครงการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย และผศ.ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์ ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษตลอดจนกรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์และเจ้าหน้าที่รักษาความสะอาด ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นายมงคล ประวัตติบริสุทธิ และ นางสาวจิรวรรณ ตุ่มศรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำรูปเล่ม และให้คำปรึกษาตลอดการดำเนินงานวิจัย

นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อน บุคคลท่านอื่น ๆ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวปรารถนา คำใส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	XII
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	4
2.1.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้.....	6
2.1.2 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	8
2.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้.....	9
2.3 แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร.....	11
2.3.1 ความเป็นมา.....	12
2.3.2 พลาสติกย่อยสลายได้จากแป้ง.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย.....	17
2.4.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน.....	17
2.4.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักที่หายไป.....	17
2.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์.....	18
2.4.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด.....	18
2.4.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน.....	19
2.4.6 การทดสอบโดยการฝังดิน.....	19
2.5 แป้ง (Starch).....	19
2.5.1 องค์ประกอบภายในแป้ง.....	19
2.5.1.1 อะไมโลส (Amylose).....	20
2.5.1.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin).....	20
2.5.1.3 สารตัวกลาง.....	21
2.5.1.4 ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง.....	21
2.5.1.5 ความชื้น (Moisture).....	22
2.6 สมบัติของแป้ง.....	22
2.6.1 การพองตัว และการละลาย (Swelling and solubility).....	22
2.6.2 กลไกการเกิดเจลลาตินเซชัน.....	23
2.6.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation).....	24
2.7 แป้งดัดแปร (Modified starch).....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.1 แป้งตัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยใช้สารเคมี.....	26
2.7.2 แป้งตัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยวิธีทางกายภาพ.....	27
2.7.3 แป้งตัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งหรือ/และโครงสร้างภายนอกโดยวิธีทางชีวภาพ.....	27
2.7.4 การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของแป้งกลุ่มต่าง ๆ.....	28
2.7.5 คำศัพท์ที่พบบ่อยในการตัดแปรแป้ง.....	32
2.8 แป้งไดอัลดีไฮด์ (Dialdehyde starch)	35
2.9 फिल्मแป้ง.....	38
2.9.1 สมบัติของฟิล์มแป้ง.....	38
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	44
3.1 สารเคมี.....	44
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	45
3.3 วิธีการทดลอง.....	46
3.3.1 การเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันสำปะหลัง.....	47
3.3.2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง.....	47
3.3.3 การเตรียมฟิล์มผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งไดอัลดีไฮด์สตาร์ช.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งไดอัลดีไฮด์.....	63
4.2 สมบัติของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง.....	65
4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง.....	65
4.2.2 การทดสอบการบวมตัวของของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง.....	69
4.2.3 การทดสอบการดูดซับความชื้นของของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง	71
4.2.4 สัณฐานวิทยาของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง.....	74
4.2.5 สมบัติเชิงกลของของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง.....	79
4.2.6 การทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง.....	81
4.2.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลัง.....	86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	91
5.1.1 สมบัติของแป้งไดอัลดีไฮด์.....	91
5.1.2 สมบัติของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง.....	92
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	99
ประวัติผู้ทำวิจัย.....	123



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของฟิล์มแบ่งแต่ละชนิด.....	39
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง.....	44
3.2 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง.....	48
3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้.....	50
4.1 อักษรย่อของแป้งไดอัลดีไฮด์และฟิล์มผสมของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	53
4.2 จำนวนหมู่อัลดีไฮด์.....	55
4.3 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏของแป้งไดอัลดีไฮด์.....	57
4.4 สัดส่วนพื้นที่ได้กราฟของพีคที่สนใจวิเคราะห์เชิงปริมาณ.....	58
4.5 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ	64
4.6 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้.....	65
4.7 สัดส่วนพื้นที่ได้กราฟของพีคที่สนใจวิเคราะห์เชิงปริมาณ.....	68
4.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมหลังทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 10 วัน....	85
4.9 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป ของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ.....	89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	9
2.2 ลักษณะของแกรนูลแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติม หรือ Filler ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก.....	13
2.3 เม็ดพลาสติกผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch หรือ TPS).....	14
2.4 เม็ดโพนกันกระแทกใช้เพื่อป้องกันการแตกหักของสินค้าที่บรรจุในกล่องระหว่างการขนส่ง.....	15
2.5 โครงสร้างของอะไมโลส.....	20
2.6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	21
2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง.....	23
2.8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน.....	24
2.9 การคืนตัวของแป้ง.....	25
2.10 ปฏิกิริยาการสุมตัดพันธะ อัลฟา 1, 4 ไนโมเลกุลของแป้ง.....	31
2.11 ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมหรือไฮดรอกซิลกรุ๊ป.....	32
2.12 ปฏิกิริยาการเกิดแป้งไดอัลดีไฮด์.....	35
2.13 ปฏิกิริยาแคนนิชซาโรของแป้งไดอัลดีไฮด์ในสภาวะเบส.....	36
2.14 การเกิดหมู่เอมิอะซีทัลและหมู่เอซีทัลในแป้ง.....	36
2.15 โครงสร้างทางเคมีของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่คาดว่าเกิดพันธะเชื่อมโยง.....	36
2.16 แบบจำลองการบวมตัวของแป้งมันฝรั่งและแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีพันธะเชื่อมโยงต่างกัน.....	37
2.17 ดิฟแฟรกโตแกรมของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์ต่างกัน.....	34
3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำงานวิจัย.....	46
4.1 ปฏิกิริยาที่คาดว่าเกิดขึ้นของแป้งไดอัลดีไฮด์.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งไดอัลดีไฮด์โดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดต ในอัตราส่วนต่างๆ	57
4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ.....	59
4.4 สันฐานวิทยาแสดงลักษณะเม็ดแป้งมันสำปะหลัง.....	62
4.5 เทอร์โมแกรมของแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตรที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้ง ต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดตต่างกัน.....	63
4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.25DAS ผสมกับ แป้งมันสำปะหลังในปริมาณต่าง ๆ.....	66
4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS ผสมกับ แป้งมันสำปะหลังในปริมาณต่าง ๆ	66
4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS ผสมกับ แป้งมันสำปะหลังในปริมาณต่าง ๆ.....	67
4.9 เพอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.25DAS	69
4.10 เพอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS	69
4.11 เพอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS.....	70
4.12 เพอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.25DAS.....	71
4.13 เพอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS.....	72
4.14 เพอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS.....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 สันฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับ (ก) ODASO และฟิล์มผสมแข็งไดอัลทีไฮด์สูตรต่าง ๆ (ข)-(ญ) ที่กำลังขยาย 4,000 เท่า	75
4.16 สันฐานวิทยาแสดงพื้นผิวของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับ (ก) ODASO และฟิล์มผสมแข็งไดอัลทีไฮด์สูตรต่าง ๆ (ข)-(ญ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า.....	77
4.17 ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับและฟิล์มผสมระหว่าง แข็งไดอัลทีไฮด์และแข็งน้ำมันสำหรับสูตรต่าง ๆ	77
4.18 มอดูลัส ของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับและฟิล์มผสมระหว่างแข็งไดอัลทีไฮด์ และแข็งน้ำมันสำหรับสูตรต่าง ๆ.....	79
4.19 เปอร์เซ็นต์ดัดงอ ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับและฟิล์มผสมระหว่าง แข็งไดอัลทีไฮด์ และแข็งน้ำมันสำหรับสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการฝังดิน	80
4.20 ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับและฟิล์มผสมระหว่าง แข็งไดอัลทีไฮด์และแข็งน้ำมันสำหรับสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการฝังดิน.....	82
4.21 มอดูลัสของฟิล์มผสมระหว่างแข็งไดอัลทีไฮด์และแข็งน้ำมันสำหรับสูตรต่าง ๆ ที่ผ่านการฝังดิน.....	83
4.22 เปอร์เซ็นต์การดัดงอ ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มผสมระหว่าง แข็งไดอัลทีไฮด์และแข็งน้ำมันสำหรับสูตรต่าง ๆ.....	84
4.23 เทอร์โมแกรมของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับผสมแข็งไดอัลทีไฮด์สูตร 0.25DAS ในปริมาณต่างกัน.....	86
4.24 เทอร์โมแกรมของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับผสมแข็งไดอัลทีไฮด์สูตร 0.5DAS ในปริมาณต่างกัน...	87
4.25 เทอร์โมแกรมของฟิล์มแข็งน้ำมันสำหรับผสมแข็งไดอัลทีไฮด์สูตร 1DAS ในปริมาณต่างกัน.....	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

พลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันจำนวนมาก เนื่องจากเป็นวัสดุที่ขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา และราคาถูก จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่ปัญหาสำคัญที่ตามมา คือ ปัญหาขยะพลาสติกที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้งาน ซึ่งเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากพลาสติกนั้นใช้ระยะเวลายาวนานในการย่อยสลาย หรือหากนำไปกำจัดโดยการเผาจะทำให้เกิดมลพิษในอากาศ และก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนตามมาด้วย

มีหลากหลายงานวิจัยที่พยายามคิด ทดลอง และพัฒนาพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อไขผลเป็นการลดปัญหามลพิษจากขยะพลาสติก แป้ง (Starch) เป็นวัตถุดิบสำคัญที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ทางธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกได้ เป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม และยังสามารถปลูกทดแทนได้ แต่ข้อด้อยประการสำคัญของพลาสติกที่ทำจากแป้งนั้นคือ มีสมบัติเชิงกลไม่ดี ดูดความชื้นสูง และไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง [1]

แป้งดัดแปร (Modified starch) เป็นแป้งที่ได้รับการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้สมบัติแตกต่างออกไปจากแป้งธรรมดา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งทางกายภาพหรือทางเคมีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้ง เป็นเหตุให้สมบัติของแป้งเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความหนืด ความคงตัวต่อความร้อน ความชื้น และแรงเฉือน โดยมีกระบวนการหรือวิธีต่าง ๆ ในการดัดแปรหลากหลายวิธี [2]

แป้งไดอัลดีไฮด์ (Dialdehyde starch) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไกลคอลลที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 2 และ 3 ในอัตรา 1 โมลของแป้ง ต่อ 1 โมลของเปอร์ไอโอดेट พร้อมกับเกิดการแตกพันธะของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ในโครงสร้างของกลูโคสในโมเลกุลของแป้ง โดยแป้งไดอัลดีไฮด์ มีสมบัติไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายโดยไม่ผ่านสภาวะเจลเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานาน เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ทำให้ฟิล์มมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และดูดซับน้ำ ความชื้นลดลง [2]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) เป็นวัสดุที่เตรียมได้จากแป้งผสมพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งสามารถไหลและขึ้นรูปได้เมื่อผ่านความร้อน ความดัน และแรงเฉือนที่สูง เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจัดเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ข้อเสียประการสำคัญของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช คือ มีสมบัติเชิงกลไม่ดี ไม่ทนต่อความร้อน และความชื้น [1]

จากงานวิจัยของ L. Zhang และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมแปงไดอัลดีไฮด์ โดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแปงข้าวโพดด้วยเปอร์ไอโอเดตในอัตราส่วนโดยโมลของแปงต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดต ด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยมีร้อยละจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (% Aldehyde content) เป็น 8, 34, 52, 77, 90 และ 93 ตามลำดับ จากการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาพบว่าลักษณะของเม็ดแปงเปลี่ยนไป มีความขรุขระมากขึ้นมีรอยยุบตรงกลาง เนื่องจากส่วนที่เป็นอสัณฐานถูกทำลาย และยังพบว่าเมื่อแปงไดอัลดีไฮด์มีหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ความเป็นผลึกของแปงนั้นลดลง [3] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ J. Yu และคณะ ได้ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มแปงไดอัลดีไฮด์จากแปงมันฝรั่งโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดตเป็นสารออกซิไดส์ ในอัตราส่วนโดยโมลของแปงต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดต ด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยมีร้อยละจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (% Aldehyde content) เป็น 15, 30, 50, 60, 80 และ 90 ตามลำดับขึ้นรูปโดยการกดอัด (Compression molding) พบว่า ฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้นั้นมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และสมบัติการดูดซับน้ำลดลง [4]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีการศึกษาถึงสมบัติทางความร้อนของแปงไดอัลดีไฮด์รวมถึงสมบัติอื่น ๆ เช่น การบวมตัว สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน รวมถึงสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มผสมระหว่างแปงไดอัลดีไฮด์และแปงที่ไม่ได้ทำการดัดแปร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการเตรียมแปงไดอัลดีไฮด์จากแปงมันสำปะหลัง โดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดตเป็นสารออกซิไดส์ และการเตรียมฟิล์มผสมระหว่างแปงมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร และแปงไดอัลดีไฮด์ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบเทหล่อโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ แล้วนำมาทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มที่เตรียมได้ ได้แก่ การทดสอบสมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางความร้อน สมบัติการบวมตัว การวัดความหนืด สมบัติการดูดซับน้ำ และสมบัติการย่อยสลายของฟิล์ม ซึ่งคาดว่าจะฟิล์มที่เตรียมได้จะมีสมบัติเชิงกล และสมบัติการดูดซับน้ำที่ดีขึ้นและคาดว่าสามารถนำมาประยุกต์และพัฒนาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ และฟิล์มที่ใช้ในการเกษตร เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมแบง์ไดอัลตีไฮด์จากแบง์มันสำปะหลังโดยการใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีเป็นสารออกซีไดส์

1.2.2 เพื่อเตรียมฟิล์มผสมจากแบง์มันสำปะหลังโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และปรับปรุงสมบัติด้วยแบง์ไดอัลตีไฮด์จากแบง์มันสำปะหลัง

1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มจากแบง์มันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแบง์ไดอัลตีไฮด์จากแบง์มันสำปะหลัง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 เตรียมแบง์ไดอัลตีไฮด์จากแบง์มันสำปะหลังโดยการใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีในอัตราส่วนโดยโมลต่างกัน เป็นสารออกซีไดส์

1.3.2 ศึกษาแนวทางในการขึ้นรูปและปรับปรุงสมบัติของฟิล์มผสม โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของแบง์ไดอัลตีไฮด์ต่อแบง์ที่ไม่ได้ทำการดัดแปร

1.3.3 ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สันฐานวิทยา สมบัติการดูดซับน้ำ สมบัติทางความร้อน การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน และสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มที่เตรียมได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเตรียมแบง์ไดอัลตีไฮด์จากแบง์มันสำปะหลัง

1.4.2 สามารถเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแบง์มันสำปะหลัง ที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้แบง์ไดอัลตีไฮด์จากแบง์มันสำปะหลัง

1.4.3 ช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในยุคปัจจุบันรวมไปถึงอนาคตได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ในอนาคตมีแนวโน้มการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น มีการค้นพบ และพัฒนากระบวนการผลิตใหม่ ๆ ทำให้พลาสติกมีราคาที่ต่ำลง และมีสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น มีกฎข้อบังคับรวมถึงการที่มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะที่สูงขึ้น ทำให้บริษัทต่าง ๆ ทำการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่มีสมบัติที่หลากหลายแตกต่างกันบางครั้งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่เกิดการย่อยสลายผ่านกระบวนการทางชีวภาพอย่างแท้จริง เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวปัจจุบันจึงมีหลายองค์กรทั่วโลกได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics) ขึ้นและให้คำจำกัดความของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยไว้ดังนี้

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

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย รา และสาหร่าย

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

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ เป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก และการใช้งานผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น

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

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ วัสดุพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลงได้โดยมีอย่างน้อย 1 ขั้นตอนในกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ

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

วัสดุพลาสติก จะได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ก็ต่อเมื่อสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมและมีอัตราการย่อยสลายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน

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

วัสดุย่อยสลายได้ คือ วัสดุที่การย่อยสลายเป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ/หรือ แก๊สมีเทนและมวลชีวภาพใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย

สำหรับคำว่า Biodegradation (หรือการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ) ย่อมาจาก Biotic degradation ในมาตรฐานต่าง ๆ มีคำจำกัดความที่ใช้พื้นฐานแนวคิดเดียวกัน คือเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีต่อชิ้นวัสดุเป็นผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สมีเทน และน้ำ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้

โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรงแตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้างเมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียรจึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้อาจไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีดี หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิวเนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง [5]

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ [5]

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้า ๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวีหรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็วแต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินส์เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในเวลาที่กำหนดโดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชันซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น [5]

4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดริค พอลิคาร์บอเนต และ

พอลิยูรีเทนผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่าง ๆ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมีสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของ พอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส [5]

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอนเนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่ และไม่ละลายน้ำในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งที่แบบใช้เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ (Endo-enzyme) และแบบเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ (Exo-enzyme) เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สมีเทน น้ำ กลีโอะแร่ ธาตุต่าง ๆ และมวลชีวภาพ (Biomass) [5]

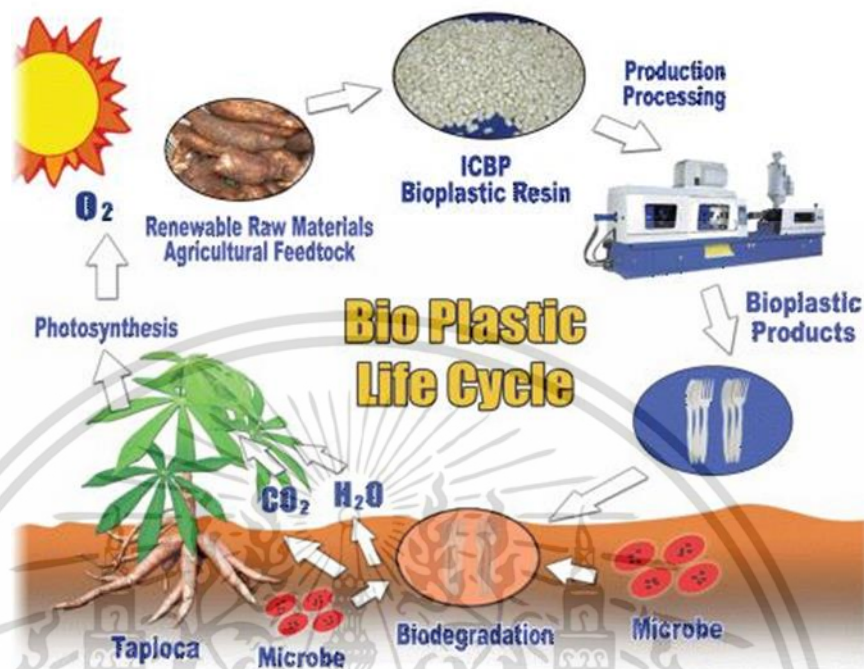
*มวลชีวภาพ หมายถึง มวลรวมของสสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในการดำรงชีวิตและเติบโตของสิ่งมีชีวิตซึ่งรวมถึงพืชสัตว์และจุลินทรีย์ [5]

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้คำว่าพลาสติกย่อยสลายได้ ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ด่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสงจากดวง

อาทิตย์แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝน และแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีกลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ได้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายโดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อมและคำว่า พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental friendly plastics) หรือพลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึงพลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน [5]

2.1.2 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นตัวแทนวัสดุประเภทใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติการใช้งานเหมือนพลาสติกทั่วไป แต่สิ่งที่แตกต่างกัน คือ สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพหรือถูกหมักเป็นปุ๋ยได้ในสภาวะที่เหมาะสม การพัฒนาการของระบบในธรรมชาตินั้นเริ่มจากมวลชีวภาพหลายพันล้านตันถูกผลิตขึ้นโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชตามธรรมชาติ ซึ่งมวลชีวภาพจำนวนที่เท่ากันนี้ถูกย่อยสลายกลับสู่ธรรมชาติกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำรวมทั้งมวลชีวภาพ และแร่ธาตุ การเกิดขึ้นในวัฏจักรนี้ผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ซึ่งวัฏจักรของธรรมชาตินี้มีเกิดขึ้นและย่อยสลายไปอย่างครบวงจรโดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้อง พร้อมทั้งไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและไม่มีค่าใช้จ่ายสูง วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีจุดประสงค์ที่จะเลียนแบบวงจรการย่อยสลายของธรรมชาติ หลังจากผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพถูกนำไปใช้งานโดยผู้บริโภค และถูกนำไปกำจัดโดยการย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัฏจักรนี้ทำให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้เป็นการใช้ทรัพยากรแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายใต้ทรัพยากรที่ปลูกทดแทนได้ [6]



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [6]

2.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้

1.การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์เช่น ผิวน้ำเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้า ๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรูและแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย [6]

2. สารเคลือบกระดาษ หรือโฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแอมเบอร์เกอร์หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง [6]

3. फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืชและรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บ และกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตรวัสดุกันน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า [6]

4. ถุงสำหรับใส่ของ

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบันส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาดรวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส [6]

5. ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่น ๆ ทำให้เกิดความสะอาดไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงชันอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลีได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ.1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรปทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000

ต้นต่อปิณฑ์ที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม [6]

6. บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไป มักไม่ได้รับความนิยมนักกลับมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากมีการปนเปื้อนสูงทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้ [6]

7. โฟมเม็ดกันกระแทก

โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill) โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า ข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้สะดวก และประหยัดเชื้อเพลิงแต่ปัญหา คือ พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก และใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมากแม้ว่านำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนักปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้ง และพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำ และย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้นทำให้ง่ายต่อการใช้งาน และสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว [6]

2.3 แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร

ในอดีตหากกล่าวถึงแป้ง คนส่วนใหญ่คงคิดถึงผลิตภัณฑ์จากอาหารนานาชนิดที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว พาสต้าขนมปัง ขนมอบประเภทเบเกอรี่ต่าง ๆ ดูเหมือนว่าแป้งจะเป็นส่วนประกอบที่สมบูรณ์แบบสำหรับอาหารหลาย ๆ ประเภท อย่างไรก็ตามก็ยังมีมีการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับอาหารอีกด้วย เช่น ใช้ทำกาว (Adhesive) หรือเป็นสารเชื่อมประสานสำหรับสารเคลือบกระดาษ (Coating binder) ในอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก และอุตสาหกรรมกระดาษใช้เป็นสารเคลือบเส้นด้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) หรือ เป็นสารช่วยแตกตัว (Disintegrant) ในอุตสาหกรรมยา ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรวดเร็ว นวัตกรรมทางด้านแปงเกิดขึ้นอย่างมากมาย การประยุกต์ใช้แปงในอุตสาหกรรมที่แปลกใหม่ที่เราอาจไม่เคยคาดคิดมาก่อน ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงขับเคลื่อนรถยนต์ที่ผลิตจากแปง (แก๊สโซฮอลล์) ไฮโดรเจลหรือเจลที่สามารถดูดซับน้ำได้อย่างมหาศาล (Superabsorbable gel) ที่ผลิตจากแปงหรือแม้กระทั่งพลาสติกที่ผลิตจากแปง [7]

2.3.1 ความเป็นมา

งานวิจัยเพื่อพัฒนาการนำแปงมาใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ เกิดขึ้นครั้งแรกในราว 40 ปีที่แล้ว (ในช่วงต้นทศวรรษ 1970's) ซึ่งในระยะแรกงานวิจัยด้านนี้ยังไม่ได้รับความสนใจมากนัก อย่างไรก็ตามด้วยภาวะโลกร้อนและปัญหามลพิษเกี่ยวกับภาวะการขาดแคลนเชื้อเพลิง และวัตถุดิบจากแหล่งปิโตรเคมีที่เกิดขึ้นในโลกขณะนี้ ทำให้ระยะหลังงานวิจัยในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ เพื่อทดแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ได้รับความสนใจ และมีความก้าวหน้าอย่างมาก ทั้งในแง่ของการวิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิต และการพัฒนาด้านการตลาด ซึ่งถึงแม้จะมีราคาที่สูงกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปอย่างมาก แต่เนื่องจากความตื่นตัวของผู้บริโภคที่มีต่อสิ่งแวดล้อมการยอมรับของผู้บริโภคต่อพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพจึงมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพนั้นหมายถึงพลาสติกที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความแข็งแรง ทนทาน และสมบัติการใช้ประโยชน์ที่ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป (Conventional plastics) แต่มีโครงสร้างทางเคมีที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยน้ำย่อย (Enzymes) จากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติดังนั้นเมื่อสิ้นอายุการใช้งานของพลาสติกแล้วถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ในกองปุ๋ยหมักก็จะถูกย่อยสลายกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และวัตถุดิบที่กลับคืนสู่ธรรมชาติโดยไม่ทิ้งสารพิษใด ๆ ที่จะเป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อมในภายหลัง

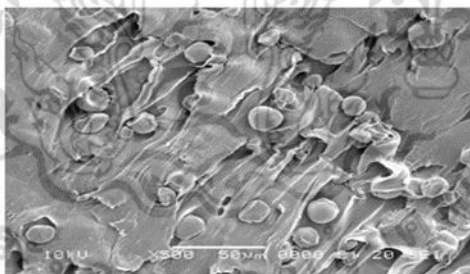
ถึงแม้ว่าพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพอาจผลิตได้จากวัตถุดิบกลุ่มปิโตรเคมี (Petroleum-based resource) แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการพัฒนาการผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลจากธรรมชาติ (Bio-based materials) เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ (Renewable) และถือเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าในบรรดาชีวมวลจากธรรมชาติทั้งหลาย แปงจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงและได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีปริมาณมาก หาง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้ [7]

2.3.2 พลาสติกสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง

แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลส และ อะไมโลเพกทิน ในธรรมชาติโมเลกุลแป้งจะมีการจัดเรียงตัวเกิดเป็นโครงสร้างกิ่งผลึกที่เป็นระเบียบในแกรนูลแป้ง (Starch granule) โครงสร้างระดับแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมาก สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงถึง 220 องศาเซลเซียส แนวทางการนำแป้งมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การใช้แป้งเป็นฟิลเลอร์ (filler) หรือสารตัวเติมในพลาสติก

การใช้แป้งในลักษณะนี้จะเป็นการผสมแป้งเข้ากับพลาสติกในเครื่องอัดรีด (Extruder) ภายใต้ อุณหภูมิและความดันสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะมีลักษณะเป็นเนื้อพลาสติกที่มีเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ (รูปที่ 2.2) การผสมแป้งกับพลาสติกในลักษณะนี้จะเติมแป้งลงไปได้ในปริมาณไม่มากนัก โดยเฉพาะการผลิตฟิล์มบางมักจะผสมแป้งได้ไม่เกิน 10% ในช่วงแรกการผสมแป้งในพลาสติกส่วนใหญ่ มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้ของพลาสติกผสม อย่างไรก็ตามวิธีการที่ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตขึ้นจะย่อยสลายได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกับแป้งด้วย หากเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายไม่ได้ เช่น พอลิเอทิลีนพลาสติกผสมที่ผลิตได้จะเกิดการย่อยสลายเฉพาะในส่วนของแป้งเท่านั้น แต่แป้งไม่ได้ช่วยให้พอลิเอทิลีนเกิดการย่อยสลายได้แต่อย่างใด



รูปที่ 2.2 ลักษณะของแกรนูลแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติม หรือ ฟิลเลอร์ ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก [7]

เนื่องจากแป้งเป็นสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่พลาสติกส่วนใหญ่เป็นสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สารทั้งสองชนิดจึงผสมเข้ากันได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างพลาสติกกับแกรนูลแป้งจึงมีค่าต่ำทำให้พลาสติกผสมที่ได้มีความแข็งแรงและ สมบัติเชิงกลต่ำด้วยแนวทางการแก้ปัญหานี้ อาจทำได้โดยการดัดแปรโครงสร้างแป้งให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากขึ้น หรืออาจใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) เติมลงไประหว่างกระบวนการหลอมผสม นอกจากนี้การ

ผลิตฟิล์มบางยังถือเป็นอีกข้อจำกัดของวิธีนี้เนื่องจากแกรนูลแป้งโดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 5-100 ไมโครเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นการผลิตฟิล์มที่มีความหนาน้อยกว่าขนาดแกรนูลแป้งจึงเป็นไปได้ยาก [7]

2. การผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch)

เทอร์โมพลาสติกหมายถึงพอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัว และหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำให้เย็นลงจะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้พลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ภาชนะ และชิ้นส่วนรูปทรงต่าง ๆ ได้การนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติก มีข้อจำกัดคือโครงสร้างผลึกในแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมาก แกรนูลแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกจึงไม่สามารถหลอมละลายได้ หากเราให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้นแทนที่จะหลอมเหลว แกรนูลแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลายอย่างไรก็ดีหากมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ที่เรียกว่า พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) จะช่วยทำให้แกรนูลแป้งเกิดการหลอมละลายได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและแรงกล (Mechanical energy) ได้สารที่เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) เม็ดพลาสติก TPS (รูปที่ 2.3) ที่ผลิตได้สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือและกระบวนการผลิตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพลาสติกทั่วไป เช่น เครื่องอัดรีด เครื่องฉีด และเครื่องเป่าฟิล์ม เป็นต้น [7]



รูปที่ 2.3 เม็ดพลาสติกผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) [7]

ถึงแม้ว่าจะทำหน้าที่เป็น พลาสติไซเซอร์ ของแป้งได้ดี แต่เนื่องจากน้ำระเหยได้ง่ายทำให้พลาสติกที่ได้มีลักษณะเปราะจึงไม่นิยมใช้น้ำในการผลิต TPS สารที่นิยมใช้เป็น พลาสติไซเซอร์ ในการผลิต TPS ได้แก่ กลีเซอรอล เนื่องจาก TPS สามารถหลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อน และแรงกลที่เหมาะสม จึง

สามารถใช้ TPS เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตพลาสติก อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจาก TPS มีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ คือ มีสมบัติเชิงกลต่ำ (Poor mechanical properties) และไม่ทนน้ำ งานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงสมบัติทั้งสองด้านของ TPS ให้ดีขึ้น ซึ่งแนวทางที่นิยมได้แก่ การดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วยกระบวนการทางเคมี และการผสม TPS กับพลาสติกสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ บริษัทที่เป็นผู้นำในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งที่สำคัญได้แก่ บริษัท Novamont (Italy), Biotec (Germany), Rodenburg (Netherlands) เป็นต้น [7]

3. โฟมจากแป้ง (Starch-based foams)

โฟมจากแป้งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนโฟมที่ผลิตจากพอลิสไตรีน ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โฟม หลายชนิด เช่น เม็ดโฟมกันกระแทก (Losse-fill) ภาชนะบรรจุโฟม และผลิตภัณฑ์โฟมอื่น ๆ โฟมที่ผลิตจากแป้งนอกจากจะสามารถย่อยสลายได้แล้ว ยังมีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้เพียงน้ำเป็นสารช่วยให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างโฟม (Blowing agent) เนื่องจากองค์ประกอบหลัก คือแป้ง ทำให้โฟมที่ผลิตได้ไม่ทนน้ำ และยังมีสมบัติบางประการที่ดีกว่าโฟมจากพอลิสไตรีน การนำพลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, พอลิคาร์โปแลคโตน และ พอลิแลคติกแอซิด มาผสมกับแป้งเป็นแนวทางที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้ง [7]



รูปที่ 2.4 เม็ดโฟมกันกระแทกใช้เพื่อป้องกันการแตกหักของสินค้าที่บรรจุในกล่องระหว่างการขนส่ง [7]

อาจกล่าวได้ว่าเม็ดโฟมกันกระแทกจากแป้ง (รูปที่ 2.4) เป็นผลิตภัณฑ์กลุ่มแรก ๆ ของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพที่ประสบความสำเร็จทางการตลาด และได้รับการตอบรับจากผู้บริโภคเป็นอย่างดี โดย Messias de Braganca and Fowler (2004) ได้รายงานไว้ว่าในประเทศอเมริกาประมาณ 25% ของโฟมที่ผลิตจากพอลิสไตรีนถูกแทนที่ด้วยโฟมจากแป้งในขณะที่ในประเทศอังกฤษเม็ดโฟมกันกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแป้งมีส่วนแบ่งทางการตลาดประมาณ 20% นอกจากนี้สัดส่วนทางการตลาดของโฟมแป้งจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะเมื่อมีการวิจัย และพัฒนาเพื่อปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้งให้ดีขึ้นตัวอย่างของโฟมแป้งที่มีการผลิตทางการค้า เช่น ECO-FOAM จากบริษัท National Starch and Chemical (USA), Green Cell Foam จากบริษัท KTM Industries, Inc. (USA) และ EcoFlo จากบริษัท Green Light Products Ltd. (UK) เป็นต้น [7]

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

เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส จึงเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับกระบวนการหมักเพื่อผลิตสารหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ เอสเทอร์ และกรด เป็นต้น ในบรรดาสารต่าง ๆ ที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแป้งกรดแลคติกได้รับความสนใจ และมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ เนื่องจากกรดแลคติกเป็นมอนอเมอร์สำหรับใช้ในการผลิต พอลิแลคติกแอซิด หรือ ที่เรียกว่า PLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพที่มีศักยภาพสูง และมีการวิจัยและพัฒนามากที่สุดตัวหนึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้มีความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วจนในปัจจุบันมีการผลิต PLA ในระดับอุตสาหกรรมแพร่หลายมากขึ้น โดยผู้นำทางการผลิต PLA ที่ใหญ่ที่สุดในโลก ได้แก่ NatureWorks LLC (USA) ซึ่งทำการผลิต PLA จากแป้งข้าวโพด PLA เป็นพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงกับพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไป สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น ภาชนะบรรจุอาหารแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งฟิล์มสำหรับห่ออาหารของเล่น และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งชิ้นส่วนในรถยนต์ด้วยการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ PLA เป็นพลาสติกทางเลือกที่มีบทบาทสำคัญในการทดแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ดังนั้นจึงคาดการณ์ได้ว่าปริมาณความต้องการใช้ PLA น่าจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งย่อมส่งผลให้มีความต้องการใช้แป้งเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิต PLA มากขึ้นด้วยเช่นกัน [7]

2.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย

2.4.1 การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสภาวะก๊าซ ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสภาวะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้ในการคำนวณหาหน้าหนักแห้ง สมดุลของคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

เมื่อ C_g คือ คาร์บอนในสภาวะก๊าซ

C_s คือ คาร์บอนที่ละลายได้

C_m คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้นร้อยละการย่อยสลายได้ของพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$\%f = C_d / C_i \times 100$$

เมื่อ C_i คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย [8]

2.4.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวล หรือ เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (Mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักพอลิเมอร์ที่หายไป ทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งในปริมาณสูงจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้ง ในปริมาณต่ำนอกจากนี้ วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน [8]

2.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

ก. การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง ที่ฝังดินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้าง นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์ และเมื่อนำมาล้าง สังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบรูเล็ก ๆ ในพอลิเมอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

ข. การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก โดยจะได้ภาพในลักษณะสามมิติ ซึ่งจะพบว่า พอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งที่ฝังในดิน มีสีที่เปลี่ยนแปลงไป และมีขนาดเล็กกล เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ ยังพบว่าชั้นพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายเหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีนนอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูงยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโลนิของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ฝังดินไว้ 6 เดือนมาตรวจสอบปริมาณไนโตรเจน พบว่าปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งมาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ นั่นคือ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและสร้างโคโลนิบนพอลิเมอร์ และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย [8]

2.4.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าว ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรดใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไปในระหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้จุลินทรีย์ย่อยสลายแป้งจะเกิดรูที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ ที่รูเหล่านี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด [8]

2.4.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

- วิเคราะห์ด้วยความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียโดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA)

- การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะออสัญฐาน ของพอลิเมอร์จะลดลง โดยที่ส่วนอสัญฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก

- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้การศึกษาการย่อยสลายแบ่งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย [8]

2.4.6 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลาย ๆ ตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมามาดูการทดลองใช้เวลาประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดินทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่าง ๆ [8]

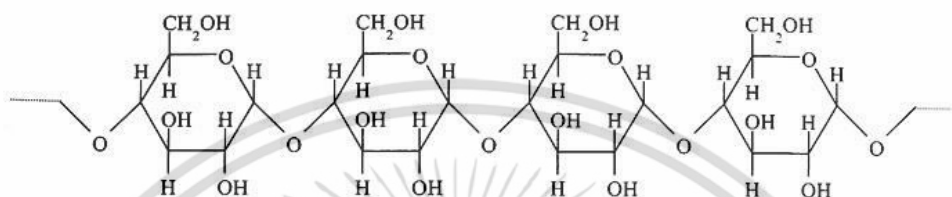
2.5 แป้ง (Starch)

2.5.1 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟาไกลูโคซิดิก (α -glycosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมีคาร์บอนตำแหน่งที่หนึ่ง (Anomeric carbon : C_1) ซึ่งวางอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่น ๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่งหมู่ปลาย 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ ตามขนาดโมเลกุล และลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสเล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า “Intermediate material” แต่พบในปริมาณไม่มากนัก [8]

2.5.1.1 อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 กลูโคซิดิก (α -1, 4 –glycosidic linkage) ดังรูปที่ 2.6 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย

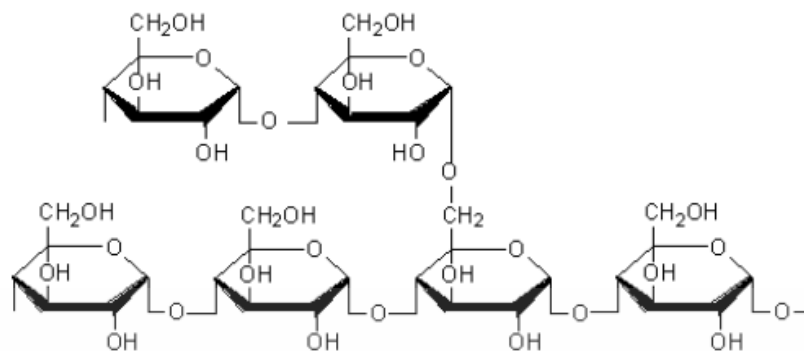


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะไมโลส [9]

โดยทั่วไปแบ่งจากธัญพืชเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 22-30% ส่วนแบ่งจากราก และหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาकुจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วง 18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีองศาการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization : DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลังมี DP ของ อะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพด และแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ลดลง

2.5.1.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α -1, 4-กลูโคซิดิก และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6- กลูโคซิดิก ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [10]

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1, 6 กลูโคซิดิก มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือ ประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตัน และมีการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งอะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้

2.5.1.3 สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิดองค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะไมโลเพคตินทั้งหมดแต่ใหญ่กว่าอะไมโลสและสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่งเช่นเดียวกับอะไมโลเพคติน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณสัดส่วนของอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินและสารตัวกลางในเม็ดแป้งไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูก และปริมาณน้ำในการเพาะปลูก เป็นต้น [8]

2.5.1.4 ส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดแป้ง

แป้งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particular material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ทำลายแป้ง
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal component) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันจากแป้งในธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

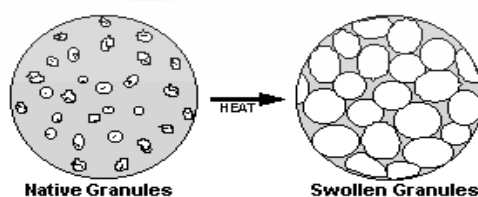
2.5.1.5 ความชื้น (Moisture)

ปริมาณความชื้นของแป้งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity; RH) ของอากาศขณะที่เก็บผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแป้งจะมีความชื้นต่ำด้วยถ้าความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้มาก ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ภายใต้สภาวะอากาศปกติแป้งโดยทั่วไปจะมีความชื้น 10-20% (w/w) [8]

2.6 สมบัติของแป้ง

2.6.1 การพองตัว และการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินภายในเม็ดแป้ง ในส่วนที่เป็นผลึก โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่น และเป็นระเบียบช่วยป้องกันการกระจายตัว และทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็นส่วนของอสัณฐาน ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวม ๆ ไม่เป็นระเบียบ และมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากสามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (Hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไปส่วนอสัณฐาน จับกับน้ำได้มากขึ้น และการจับกันของโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึก เริ่มคลายความหนาแน่นลงโมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.7) โมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึก ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแห (Micelle network) ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งมีขนาดเล็ก และอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วนที่เป็นผลึก ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้น และโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น [11]



รูปที่ 2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง [12]

2.6.2 กลไกการเกิดเจลลิตไนเซชัน

เมื่อนำแป้งใสในน้ำเย็นเม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่งแต่จะยังไม่พองตัว หรือพองตัวได้จำกัดมาก และสังเกตได้ยากสังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาลิในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่า แป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (Reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะ และคุณสมบัติดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลส และอะไมโลเพกตินในส่วนที่เป็นที่เป็นผลึก จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็นแต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบ และมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 °C หรือใช้สารเคมีเช่นให้ความร้อน 60 °C แก่แป้งสาลิ จะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วนที่เป็นผลึก ลดลงเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้ง ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้นกระบวนการนี้เรียกว่า “เจลลิตไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้ง และเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ภายในเม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้งเนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึก ที่แตกต่างกันทั้งระดับการจับกัน (Degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลลิตไนเซชันไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 °C [11]



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [13]

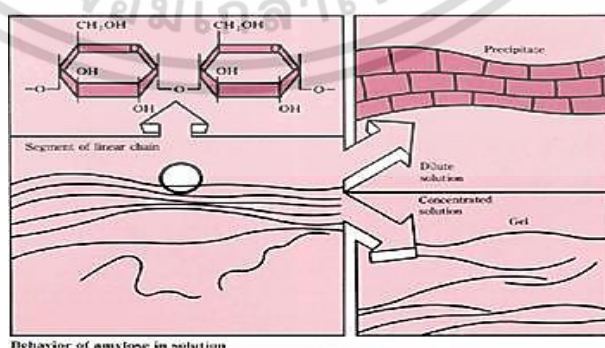
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงมีการเกิดขึ้นตามลำดับดังนี้

- แป้งเริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุดก่อนเสมอ คือ ในส่วนอสัณฐาน (Amorphous)
- การพองตัวจะทำให้เกิดแรงดึง ต่อส่วนที่เป็นผลึก ที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเสียหาย
- การให้ความร้อนต่อไปจะเกิดการคลายเกลียว (Uncoiling) เกิดการแตกออกของโครงสร้างผลึกสายโซ่ข้างเคียงของอะไมโลเพคตินที่แยกตัวออกมาจะดูดซับน้ำ และมีการพองตัวไปในแนวรอบ ๆ ดังนั้นจะเกิดความเค้น ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่
- การเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (Hydration) ต่อไปจะเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลทำให้เกิดการกระจายตัวของโมเลกุล
- โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจากโครงสร้างเม็ดแป้งที่บวมตัว
- การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งแตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย [11]

2.6.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลงขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน และจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (ดังรูปที่ 2.9) ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่โดยเปลี่ยนจากการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็นที่ เป็นผลึก ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาวแต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม



รูปที่ 2.9 การคืนตัวของแป้ง [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดี เมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูงและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงแตกต่างกันโดยทั่วไปแป้งจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่า แป้งจากธัญพืชทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากรากหรือหัวเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่ายทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้งยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่าเม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กันหรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็นเมตริก ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขา ทำให้เกาะเกาะยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท Waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิด มีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสูงด้วยโมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกันคือในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน [11]

2.7 แป้งดัดแปร (Modified starch)

แป้งดัดแปร (Modified starch) คือ แป้งธรรมชาติ (Native starch) ที่ได้รับการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติให้แตกต่างออกไปจากแป้งธรรมชาติ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งทางกายภาพหรือทางเคมีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลของแป้งภายในเม็ดแป้ง วิธีการในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลภายในของเม็ดแป้งมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมี ความแตกต่างกันตามความต้องการในการที่จะนำไปใช้งาน ปัจจุบัน สามารถจำแนกออกเป็นหมวดหลัก ๆ ได้ ดังนี้ [8]

1. แป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยใช้สารเคมี (Chemicals modified starches)
2. แป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยวิธีทางกายภาพ (Physicals modified starch)
3. แป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งหรือโครงสร้างภายนอกโดยวิธีทางชีวภาพ (Biological modified starch)

2.7.1 แป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยใช้สารเคมี (Chemical modified starches)

การจัดแบ่งกลุ่มของแป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยใช้สารเคมี (Chemicals modified starches) มีการจัดแบ่งออกเป็นหลายวิธี

2.7.1.1 กลุ่มที่ 1 แป้งประเภทต่อเติม (Derivertization)

แป้งกลุ่มนี้เป็นแป้งที่สารเคมีเข้าไปจับกับใน โมเลกุลแป้งทั้งในรูปโมกุลเดี่ยวหรือ มากกว่าซึ่ง ทำให้โมเลกุลแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้น ได้แก่

- ปฏิกิริยาประเภทเอสเทอร์ฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเมทิล (Hydroxymethylated starch), แป้งไฮดรอกซีโพรพิล (Hydroxypropylated starch) และ แป้งไซยาโนเอทิล (Cyanoeethyl starch)
- แป้งประจุลบ (Carboxymethyl starch)
- แป้งประจุบวก (Cationic Starches) ได้แก่ แป้งเทอร์เชียรีแอมมีโนแอลคิลสตาร์ชอีเทอร์ (Tertiary aminoalkyl starch ether) และ แป้งควอนเทอร์นารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (Quaternary ammonium starch ether)
- แป้งที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ แป้งแอสีเทท (Starch acetate) และ แป้งฟอสเฟตโมโนเอทเทอร์ (Starch phosphate monoester)
- แป้งครอสลิงค์ (Cross linking type reaction) ได้แก่ ไดสตาร์ชอะดิเปต (Di-starch adipate), ไดสตาร์ชฟอสเฟต (Di-starch phosphate) และไดสตาร์ชกลีเซอรอล (Di-starch glycerol)

2.7.1.2 กลุ่มที่ 2 แป้งประเภทตัด – แรก (Converted starch)

แป้งกลุ่มนี้เป็นการทำให้ขนาดของโมเลกุลแป้งเล็กลงทั้งโดยการตัดระหว่างหน่วยกลูโคส หรือทำให้หน่วยกลูโคสแตกออก ได้แก่ แป้งย่อยสลายด้วยกรด (Acid Conversion) หรือแป้งที่ถูกดัดแปรด้วยกรด (Acid Modified Starch), แป้งที่ถูกออกซิไดส์ด้วยไฮโปคลอไรท์ (Oxidized Hypochlorite - Modified Starch) และ แป้งที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (Enzyme conversion starch)

2.7.1.3 กลุ่มที่ 3 Combination Starch

จากหลักการและเทคโนโลยีในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ภายในโมเลกุลของเม็ดแป้งในกลุ่มหลัก ๆ เหล่านี้สามารถที่จะนำเข้ามารวมกัน เกิดเป็นแป้งดัดแปรชนิดใหม่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการใช้งานกว้างขึ้น ดังนี้ แป้งไฮดรอกซีโพรพิลรวมกับแป้งครอสลิงค์, แป้งไฮดรอกซีโพรพิลรวมกับแป้งออกซิไดส์, แป้งครอสลิงค์รวมกับแป้งออกซิไดส์, แป้งย่อยสลายด้วยกรดรวมกับแป้งไฮดรอกซีโพรพิล และ แป้งออกซิไดส์รวมกับแป้งแอสีเทท [15]

2.7.2 แป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยวิธีทางกายภาพ (Physical modified starch)

ในการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งโดยวิธีทางกายภาพ (Physical modified starch) นี้เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยไม่ได้ใช้สารเคมีเป็นตัวหลัก ที่ทำให้โครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ใช้พลังงานความร้อนหรือพลังงานจลหรือทั้งสองอย่างประกอบกัน ซึ่งเมื่อโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปคุณสมบัติของแป้งเปลี่ยนไปเช่นกัน แป้งในกลุ่มนี้ ได้แก่ แป้งพรีเจล (Pregelatinized starch), แป้งที่ละลายได้ในน้ำเย็น (Granular cold water soluble starch), แป้งที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat treatment starch) และ แป้งที่ถูกบดให้มีขนาดเล็กด้วยแรงเชิงกล (Mechanical milling starch)

2.7.3 แป้งดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งหรือโครงสร้างภายนอกโดยวิธีทางชีวภาพ (Biological modified starch)

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางชีวภาพและพันธุวิศวกรรมได้ มีการพัฒนาขึ้นมามากมายและนี้เป็นปัจจัยหลักที่จะทำให้เกิดการพัฒนาในเชิง อุตสาหกรรมเพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติที่ตรงตามความต้องการในการใช้งานโดยอาศัยเทคโนโลยีทางชีวภาพ และ ในปัจจุบันนี้ได้มีการใช้ผลผลิตจากเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (High amylose starch Hylon V, VII) และ แป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง (High Amylopectin in Waxy corn) การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้ง ทำให้สมบัติของแป้งเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม [8]

2.7.4 สมบัติและการนำไปใช้ของแป้งดัดแปรประเภทต่างๆ

2.7.4.1 แป้งประเภทต่อเติม (Derivertization)

- แป้งไฮดรอกซีลโปรพิล (Hydroxypropyl Starch)

แป้งไฮดรอกซีลโปรพิลสตาร์ช หรือแป้ง (HPS) เป็นแป้งในกลุ่มไฮดรอกซีแอลคิลสตาร์ช ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮดรอกซีลโปรพิลเลชันโดยทำปฏิกิริยาระหว่างสตาร์ชกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อน จากนั้นจึงค่อยทำปฏิกิริยากับโปรพิลีนออกไซด์การดำเนินปฏิกิริยาจะทำในสภาวะเบส และเกิดการแทนที่ตรงหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ด้วยหมู่ไฮดรอกซีลโปรพิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติในการจับกับน้ำ จะขัดขวางการเกาะจับกันของโมเลกุลสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้โครงสร้างอ่อนแอลง อุณหภูมิการเกิดเจลลาคติในเซชันลดลง ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น ความใสเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง สามารถพองตัวได้ในน้ำเย็น สตาร์ชสุกมีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย และการเก็บรักษาในที่เย็นจึงเหมาะจะใช้ใน อาหารที่ต้องมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ คือ อาหารแช่เย็น และอาหารแช่เยือกแข็ง หมู่ไฮดรอกซีลโปรพิลสามารถเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนทั้งภายใน และภายนอกเม็ดสตาร์ช ทำให้โครงสร้างเม็ดสตาร์ชอ่อนตัวลง และสายสตาร์ชในบริเวณออสชันฐานเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระมากขึ้น สมบัติของแป้งไฮดรอกซีลโปรพิลอุณหภูมิการเริ่มพองตัวลดลง ความหนืดสูงขึ้น มีความคงตัวต่อการแช่แข็ง การละลาย และการเก็บรักษาในที่เย็น [16]

- แป้งคาร์บอกซีเมทิล (Carboxymethyl starch)

แป้งคาร์บอกซีเมทิลเป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการทำปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิลเลชัน (Carboxymethylation) ระหว่างแป้งกับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตต หรือ กรดโมโนคลอโรอะซิติก ในสภาวะเบส การผลิตแป้งชนิดนี้มีได้หลากหลายวิธี ได้แก่

1. การทำปฏิกิริยากับแป้งในส่วนผสมของน้ำกับแอลกอฮอล์ และทำให้บริสุทธิ์โดยการกรองล้าง แล้วทำให้แห้ง
2. การทำปฏิกิริยากับแป้งเปียกและกำจัดผลพลอยได้ โดยการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ หรือ ไดอะไลซิส (Dialysis) แล้วทำให้แห้ง
3. การทำปฏิกิริยากึ่งแห้ง โดยผสมแป้งที่มีความชื้น 10-20% กับเบส และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตต ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง หรือสูงกว่า หลังจากนั้นทำให้บริสุทธิ์โดยการสกัดด้วยแอลกอฮอล์

สมบัติของแป้งคาร์บอกซีเมทิลนั้นสามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างสมบูรณ์ แป้งเปียกมีความใสและเหนียว มีแนวโน้มในการเกิดเจล และคืนตัวน้อยลง มีความหนืดสูง ทนต่อสารเคมีต่าง ๆ फिल्मมีลักษณะใส ละลายน้ำได้ง่าย และไวต่อความชื้น ในด้านเภสัชกรรมใช้เป็นสารยึดเกาะ (Binder) หรือ สารแตกตัว (Disintegrant) ในการผลิตเม็ดยา ในอุตสาหกรรมกระดาษใช้สำหรับพอกเยื่อหรือเป็นการเคลือบกระดาษ ในอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้สำหรับพิมพ์สิ่งทอ ใช้ในอุตสาหกรรมกาว ใช้เป็นสารตกตะกอน (Flocculant) และใช้ผลิตยาสีฟัน [17]

- แป้งแคทไอออนิก (Cationic starch หรือ Quaternary ammonium starch ether)

แป้งแคทไอออนิกเป็นแป้งที่มีประจุบวกโดยการเติมหมู่ควอนเทอนารีแอมโมเนียม Quaternary ammonium เข้าไปในสภาวะเบส ทำให้แป้งมี ลักษณะเป็น Polyelectrolyte แป้งแคทไอออนิกมีความเสถียรมากขึ้น มีอัตราการคืนตัวลดลง สามารถละลายน้ำได้สูง พองตัวได้ในน้ำเย็น สามารถนำไปใช้ในการตกตะกอน (Flocculation) สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีประจุลบ และใช้กำจัดโลหะหนักที่มีประจุลบจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในการกระจาย (Dispersion) และการดูดซับ (Adsorption) ตัวอย่างเช่น ใช้เติมลงในถังตีเยื่อกระดาษในกระบวนการทำกระดาษ ใช้เป็นตัวช่วยให้โททาเนียมไดออกไซด์จับตัวกัน หรือดูดซับบนกระดาษที่มีประจุลบ สมบัติของแป้งแคทไอออนิกสตาร์ช คือ ความหนืดสูงขึ้น มีประจุบวกสามารถเกิดพันธะไอออนิกกับประจุลบของเซลลูโลสที่ใช้ทำกระดาษ [18]

- แป้งแอซีเทท (Starch acetate)

แป้งแอซีเททเกิดจากการแทนที่ด้วยหมู่แอซิลในโมเลกุลของเม็ดแป้งซึ่งเกิดผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยเกิดการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งด้วยหมู่แอซิล (CO-R) ดังนั้น แป้งดัดแปรที่ได้จึงมีหมู่ฟังก์ชันแบบเอสเทอร์ และสารที่ทำให้เกิดหมู่เอสเทอร์ (Esterifying agent) ได้แก่ กรดคาร์บอกซิลิก หรือแอนไฮไดรต์ หรือไวนิลอะซีเทท เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วกลูโคสซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโมเลกุลแป้งจะมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถถูกแทนที่ได้ 3 ตำแหน่งคือที่คาร์บอน ตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ดังนั้นระดับการแทนที่สูงที่สุดที่จะเกิดได้ต่อหนึ่งหน่วยกลูโคสจึงมีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งอาจจะเรียกค่าดังกล่าวว่าองศาการแทนที่ (Degree of substitution) สมบัติของแป้งแอซีเทท ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มพองตัวลดลง ความหนืดสูงขึ้น อัตราการคืนตัวลดลง และ ไม่มีการบีบตัวของน้ำออกมานอกเจล (Syneresis) ทำให้สีของแป้งไม่ขุ่น फिल्मจากแป้งอะซีเททมีความใส มันเงา และยืดหยุ่น ละลายน้ำได้มาก และมีแนวโน้มที่จะแตกตัวน้อยลง

ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้แป้งอะซีเททเป็นส่วนประกอบ ในอาหารแช่แข็ง เนื่องจากคุณสมบัติละลายน้ำได้มาก แป้งอะซีเททดัดแปรร่วมกับการครอสลิงค์ใช้เป็นสารเพิ่มความข้นในอาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง อาหารแห้ง เบเกอรี่ อาหารเด็กอ่อน

ในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ผลิตกระดาษกาวที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และนิยมนำมาเคลือบกระดาษซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการพิมพ์ดีขึ้น

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้แป้งอะซีเททเคลือบเส้นด้าย ทำให้เส้นได้แข็งแรง ยืดหยุ่น ยืดเกาะกันได้ดี และแยกออกได้ง่าย เนื่องจากละลายน้ำได้ดี [19]

- แป้งครอสลิงค์ (Cross linking type reaction)

ไดสตาร์ชฟอสเฟต (Di-starch phosphate)

แป้งครอสลิงค์โดยทั่วไปได้จากการทำปฏิกิริยาของเม็ดแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunctional reagents) ซึ่งสามารถสร้างพันธะอีเทอร์หรือเอสเทอร์ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง พันธะโควาเลนต์ที่เติมเข้าไปจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างโมเลกุลของแป้งทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรงมากขึ้น สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมแป้งครอสลิงค์เพื่อใช้ในอาหารมีหลายประเภท เช่น โมโนโซเดียมฟอสเฟต (monosodium phosphate), โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate : STPP), โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (Sodium trimetaphosphate : STMP), อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin : EPI), ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ (Phosphorus oxychloride : $POCl_3$), ของผสมระหว่าง ซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (Succinic anhydride) และ ไวนิลอะซิเตท (Vinyl acetate), ของผสมระหว่างกรดอะดิปิก (Adipic acid) และ อะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) เป็นต้น สมบัติของแป้งครอสลิงค์ ได้แก่ มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ทนต่ออุณหภูมิ และความชื้น

2.7.4.2 แป้งประเภทดัด – แดก (Converted starch)

- แป้งย่อยสลายด้วยกรด (Acid Conversion หรือ Acid Modified Starch)

แป้งย่อยสลายด้วยกรดเตรียมโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งหรือเม็ดแป้งกับกรดอินทรีย์ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน เพื่อทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดเล็กลง โดยกรดจะเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ตำแหน่งกลูโคซิดิก (Glucosidic linkages) เกิดการย่อยสลายพันธะทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง โดยส่วนที่เป็นอสัญฐานจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายที่สุด ซึ่งกรดจะเข้าไปทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะใช้กรดตัดโมเลกุลของแป้งทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง

สมบัติของแป้งย่อยสลายด้วยกรด ได้แก่ ความหนืดลดลง และแป้งเมื่อเกิดเจลทิ้งไว้ให้เย็นจะได้เจลแข็งทึบแสง

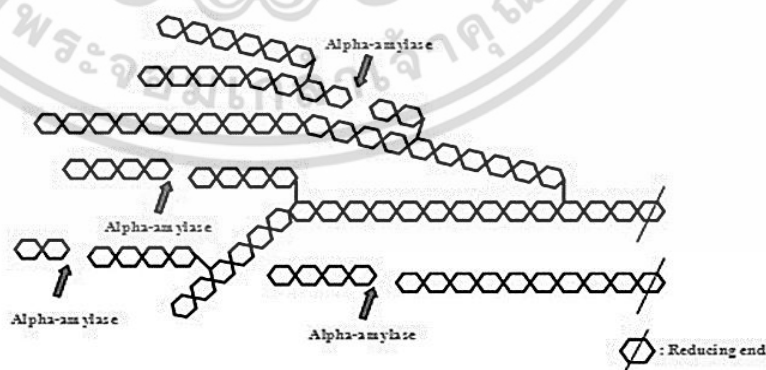
- แป้งออกซิไดส์ (Oxidized Hypochlorite - Modified Starch)

การเกิดปฏิกิริยา โดยการเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลให้เป็นหมู่คีโตน หมู่อัลดีไฮด์ หรือ หมู่คาร์บอกซิล และมีการตัดโมเลกุลของแป้ง การผลิตสตาร์ชออกซิไดส์ ผลิตโดยการนำสตาร์ชธรรมชาติ (Native starch) มาเตรียมเป็นสารละลายสตาร์ช แล้วให้ความร้อนเพื่อให้สุก (Gelatinization) แล้วเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยเติมหมู่คาร์บอกซิล และคาร์บอนิลเข้าไป เช่น สารละลายสตาร์ชทำปฏิกิริยากับคลอรีน ซึ่งเป็นสารออกซิไดส์คลอรีนที่ใช้เป็นไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite) ในสถานะที่เป็นต่าง เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite) ทำให้พันธะภายในเม็ดสตาร์ช (Starch granule) มีความแข็งแรงลดลงมาก สตาร์ชออกซิไดส์ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) มีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลไม่เกินร้อยละ 1.1 มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) สมบัติของแป้งออกซิไดส์ ได้แก่ แป้งมีความหนืดลดลง แป้งเมื่อเกิดเจลจะมีความคงตัวสูง แป้งออกซิไดส์มีสมบัติการนำไฟฟ้า เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิล จำนวนมาก ดังนั้นจึงอาจใช้เพื่อช่วยในการกระจายตัวของสารได้ [20]

- แป้งย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Enzyme conversion starch)

มอลโท เด็กซ์ตริน (Maltodextrin)

การเกิดปฏิกิริยานั้นเกิดจากการสุมตัดพันธะ อัลฟา 1,4 ในโมเลกุลของแป้ง ด้วยเอนไซม์ ชนิดต่างๆ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาการสุมตัดพันธะ α -1,4 ในโมเลกุลของแป้ง [15]

สมบัติของแป้งมอลโตเดรีกซ์ทริน

1. ความหนืดลดลง
2. สามารถละลายได้ในน้ำเย็น [15]

2.7.5 คำศัพท์ที่พบบ่อยในการตัดแปรรูปแป้ง

1. ตำแหน่งของคาร์บอน (C) ในหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose Units)



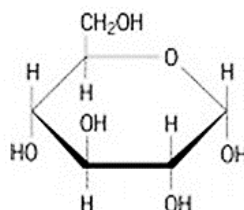
รูปที่ 2.11 ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมหรือไฮดรอกซิลในหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส [15]

ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมหรือหมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ได้ถูกจัดตำแหน่งหมายเลขลงไป โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อใช้ประกอบการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ต่อหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ยูนิต โดยการนับหรือระบุตำแหน่งคาร์บอนที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่งแรก Primary Hydroxyl คือตำแหน่งที่ 6 ตามรูปที่ 2.11

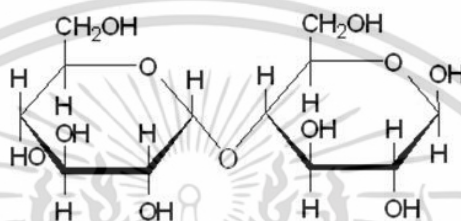
2. องศาการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization ; DP)

ค่า DP ของผลิตภัณฑ์ คือการแสดงถึงจำนวนของหน่วย Monomer ในโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในหัวข้อเรื่องเกี่ยวกับแป้งก็สามารถอธิบายได้ว่า DP คือ จำนวนโดยเฉลี่ยของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ต่อ 1 สายโมเลกุล เช่น

Dextrose DP = 1



Maltose DP = 2



อะไมโลสจะประกอบด้วย 200 หน่วยแอนไฮโดรกลูโคส DP = 200

3. สมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose Equivalent (DE) or Reducing Value)

DE คือ การอธิบายหรือแสดงค่าปริมาณซึ่งจะทำการคำนวณเปรียบเทียบกับออกมาในหน่วยของเด็กซ์โทรส (Dextrose) และแสดงเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เช่น

DEXTROSE : DE = 100

MALTOSE : DE = 50

ส่วน 1 โมเลกุลของอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส 100 หน่วยซึ่งอาจประกอบด้วย 1 หมู่รีดิวซ์ที่ตำแหน่งปลาย (Reducing end group) ก็จะทำให้มีค่า DE = 1 เช่นกัน ค่า DE โดยทั่วไปจะใช้มากกับพวกแป้งที่ถูกละลายด้วยเอนไซม์ เช่น เด็กซ์ทริน (Dextrin) หรือ น้ำเชื่อม (Syrups) และ น้ำตาล

4. ระดับการแทนที่ (Percent Substitution)

คือ ระดับการแทนที่ของสารที่เข้าไปจับในเม็ดแป้ง ซึ่งจะแสดงในรูปของน้ำหนักของสารที่เข้าไปจับหรือแทนที่ในเม็ดแป้ง เป็นหน่วย เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแป้งแห้ง

5. องศาการแทนที่ (Degree of substitution : DS)

คือ จำนวนเฉลี่ยของสารที่เข้าไปจับที่ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ของแต่ละหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ตัวอย่าง เช่น

- การ Esterified ด้วย Acetyl group

ถ้า DS = 1 หมายความว่า ในทุกหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส จะมี หมู่อะซิetyl (Acetyl group) จับอยู่ที่ตำแหน่ง C หนึ่งตำแหน่ง

ถ้า DS = 3 หมายความว่า ในทุกหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส จะมีหมู่อะซิetyl จับอยู่ที่ตำแหน่ง C สามตำแหน่ง

ถ้า DS = 0.1 หมายความว่า ในทุก 10 หน่วยแอนไฮโดรกลูโคส โดยเฉลี่ยจะมีหมู่อะซิetyl จับอยู่ที่ตำแหน่ง C หนึ่งตำแหน่ง

6. การย่อยเบต้าอะไมโลส (Beta Amylose Digestibility)

- Beta Amylose : คือ เอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีในพืช

- Beta Amylose Digestibility คือการแสดงความสามารถของเอนไซม์ ในการย่อยสลาย แป้ง, อะไมโลส, อะไมโลเปคติน หรือ แป้งดัดแปร

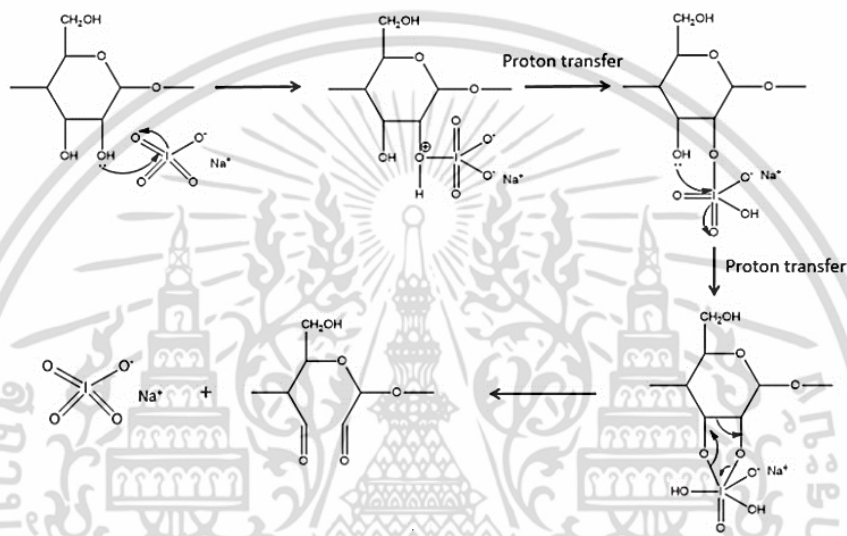
จุดที่ เบต้า-อะไมเลส เอนไซม์ สามารถทำการย่อยได้ คือ ตำแหน่ง -D-(1 - 4) ของพันธะกลูโคซิติก และจะหยุดทำการย่อยเมื่อถึงตำแหน่ง -D-(1 6) ของพันธะกลูโคซิติก

7. ค่าสมมูลของอัลคาไลน์ (Alkali Number)

อัลคาไลน์ นัมเบอร์ คือ ค่าสมมูลโมลของ อัลคาไลน์ ที่ถูกใช้ไปต่อ 10 กรัมของแป้งแห้ง ในการย่อยแป้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสารละลาย 0.1 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ อัลคาไลน์จะถูกใช้ไปโดยกรดที่เกิดจากหมูรีดิวซ์ที่ตำแหน่งปลาย (Reducing ends) ของสายพอลิเมอร์และจากวิธีนี้ เชื่อกันว่าสามารถนำมาหาค่าความยาวของสายพอลิเมอร์ ของแป้งที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส (Hydrolysis) ได้ดีกว่าวิธีการวิเคราะห์ทางปริมาณโดยการหาจำนวนส่วนประกอบ อัลดีไฮด์ อัลคาไลน์ นัมเบอร์ สัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหนืด ที่แท้จริงและความสามารถในการไหล (Fluidities) [15]

2.8 แป้งไดอัลดีไฮด์ (Dialdehyde starch)

แป้งไดอัลดีไฮด์ (Dialdehyde starch) เป็นแป้งที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไกลคอลล ที่หมู่ไฮดรอกซิล ที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 2 และ 3 ในอัตรา 1 โมลของแป้ง ต่อ 1 โมลของเปอร์ไอโอดีต พร้อมกับเกิดการแตกพันธะของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ในโครงสร้างของกลูโคสในโมเลกุลของแป้ง [2] โดยแป้งไดอัลดีไฮด์ มีสมบัติ ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะละลายโดยไม่ผ่านสภาวะเจลเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานาน



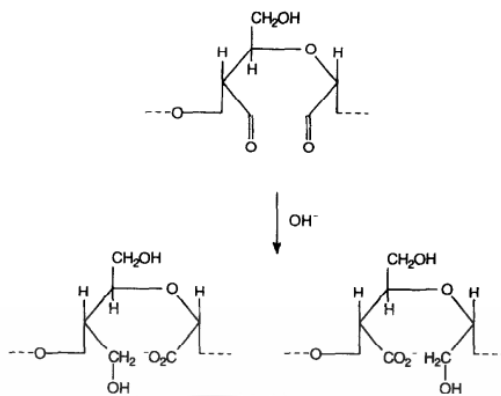
รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาการเกิดแป้งไดอัลดีไฮด์ [16]

สมบัติของแป้งไดอัลดีไฮด์

โครงสร้างหลักของแป้งไดอัลดีไฮด์ เป็นไฮเดรตเฮมิอัลดอล (Hydrated hemialdal) กับ Inter- และ Intramolecular hemiacetals โดยมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเหมือนกับอัลดีไฮด์อื่นๆ แป้งไดอัลดีไฮด์ ไม่ละลายน้ำเย็น ละลายโดยไม่ผ่านสภาวะเจลเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานาน ไม่ติดสีกับไอโอดีน สามารถรีดิวซ์สารละลายเฟห์ริง (Fehling) และเกิดเป็นตะกอนอัสสัมฐานเมื่อทำปฏิกิริยากับฟีนิลไฮดราซีน (Phenyl hydrazine) ที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อระเหยสารละลายแป้งไดอัลดีไฮด์จะเกิดเป็นฟิล์มใสเปราะ

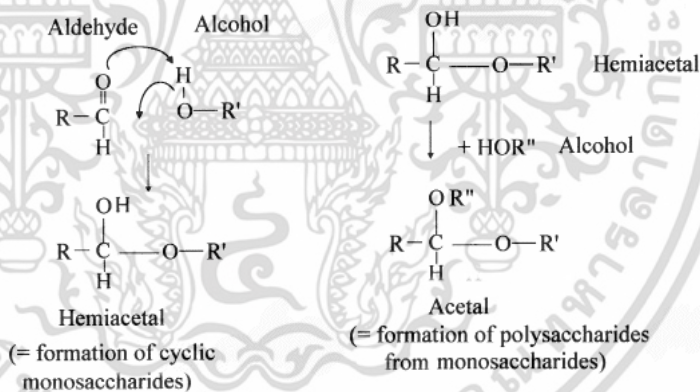
จากงานวิจัยของ S. Veelaert และ คณะ ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพของแป้งมันฝรั่งออกซิไดส์ด้วยเปอร์ไอโอดีตในน้ำ ได้กล่าวว่า กลไกการสลายตัวของแป้งไดอัลดีไฮด์สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะเบส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาแคนนิซซาโร (Cannizzaro reaction) เป็นปฏิกิริยาของอัลดีไฮด์กับเบสแก่ ได้ผลผลิตภัณฑที่เป็นของผสมระหว่างแอลกอฮอล์และกรดคาร์บอกซิลิก [23] ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

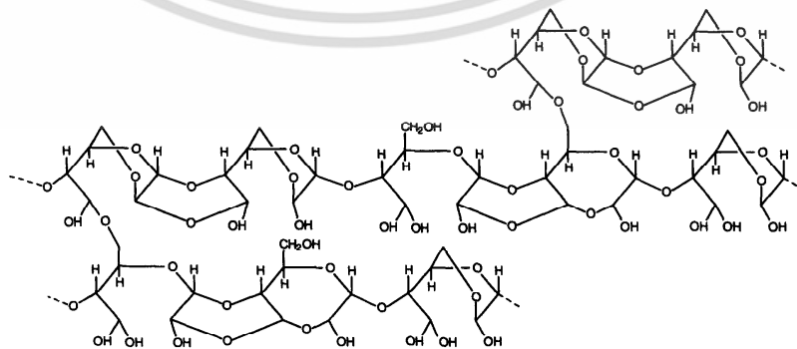


รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาแคนนิชซาโรของแป้งไดอัลดีไฮด์ในสภาวะเบส [23]

จากการศึกษาความหนืดและการเกิดเจลของสารละลายแป้งไดอัลดีไฮด์พร้อมกันให้ความร้อนนั้นพบว่าแป้งไดอัลดีไฮด์เกิดการพองตัวช้า และพองตัวได้น้อย ไม่สามารถเกิดเจล เนื่องมาจากการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเฮมิอะซิทัล และ อะซิทัล (Intermolecular hemiacetal and acetal crosslinking) ดังรูปที่ 2.14-16

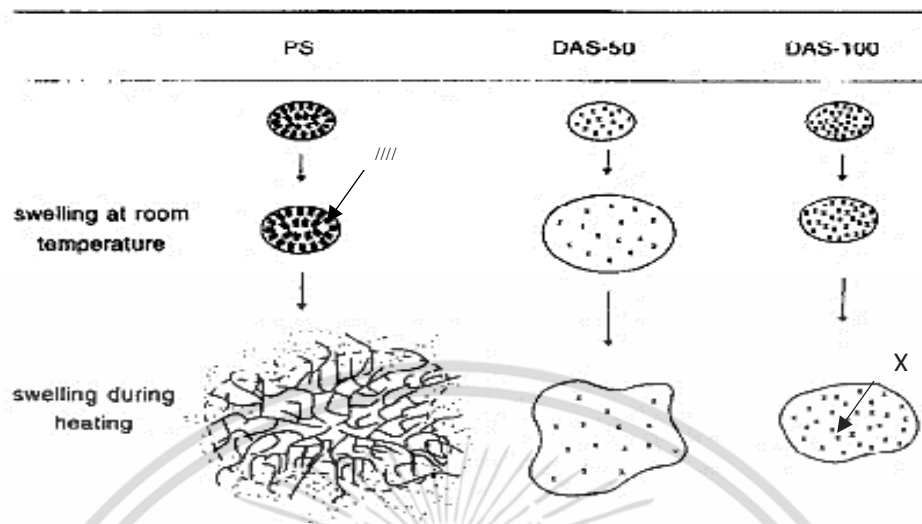


รูปที่ 2.14 การเกิดหมู่เฮมิอะซิทัลและหมู่อะซิทัลในแป้ง [16]



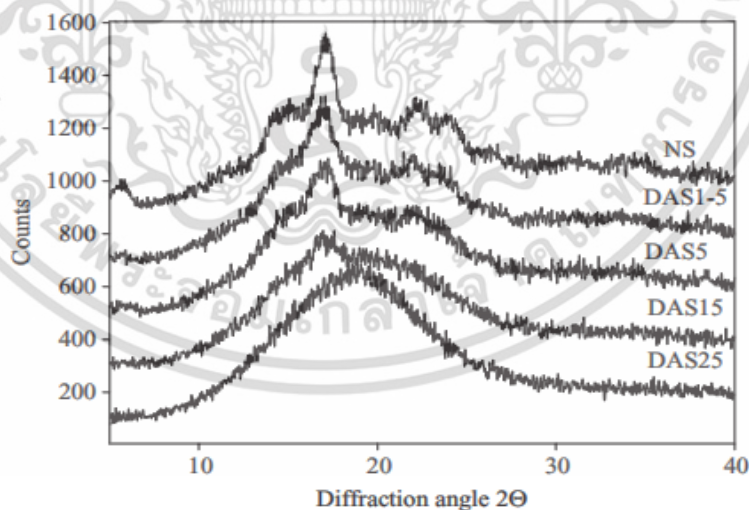
รูปที่ 2.15 พันธะเชื่อมโยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในแป้งไดอัลดีไฮด์ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แบบจำลองการบวมตัวของแป้งมันฝรั่ง และแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีหมู่จำนวนพันธะเชื่อมโยงต่างกันขณะให้ความร้อน โดย (//) แทนส่วนที่เป็นผลึก และ (X) แทนพันธะเชื่อมโยง [24]

จากรูปที่ 2.17 นั้นสังเกตเห็นว่าแป้งไดอัลดีไฮด์นั้น มีความเป็นผลึกลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maciej งานวิจัยของ Jiugao Yu พบว่า เมื่อแป้งไดอัลดีไฮด์มีหมู่อัลดีไฮด์ (Aldehyde content) มากขึ้น ความเป็นผลึกของเม็ดแป้งนั้นลดลง เนื่องจากเกิดพันธะเชื่อมโยงในเม็ดแป้งทำให้ความเป็นระเบียบในเม็ดแป้งลดลง [25]



รูปที่ 2.17 ดิฟแฟรกโตแกรมของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่แทนที่อัลดีไฮด์ต่างกัน NS คือแป้งที่ไม่มีการดัดแปร DAS1-5, DAS5, DAS15 และ DAS25 คือ แป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีหมู่แทนที่ 1.5%, 5%, 15% และ 25% ตามลำดับ [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปใช้ประโยชน์

ใช้เป็นสารช่วยในการทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Cross-linking agent) สำหรับสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล อะมิโน (Amino group) และ อิมิโน (Imino group) เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงสามารถเป็นสารกันเปียก (Wet strength) ในกระดาษทั้งแบบชั่วคราว และถาวร อนุพันธ์ของไดอัลดีไฮด์หลายชนิดสามารถนำไปใช้ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายกับพอลิเมอร์ธรรมชาติ และพอลิเมอร์สังเคราะห์หลายชนิด แต่ส่วนมากใช้ผลิตกระดาษที่ทนน้ำ

2.9 फिल्मแบ่ง

แบ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ง่าย มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม หรือขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์ได้ และมีราคาถูก จึงมีแนวโน้มในการนำมาใช้เพื่อนำมาเป็นวัสดุทดแทนพลาสติกสังเคราะห์ได้ พบว่าฟิล์มจากแบ่งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้เตรียมได้จากแบ่งเข้มข้นร้อยละ 5 และเติมซอลบิทอลร้อยละ 30 เพื่อเป็นพลาสติกไซเซออร์ แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส ผิวเรียบ ความหนาเฉลี่ย 0.06 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงขาด 1.77 กิโลกรัมต่อตารางเมตร การยืดตัวร้อยละ 10.13 ความทนต่อการพับ 45 ครั้ง และสามารถนำมาขึ้นรูปของที่ปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ด้วยข้อจำกัดทางสมบัติบางประการของฟิล์มแบ่งมันสำปะหลัง อันได้แก่ มีความว่องไวต่อความชื้น และดูดซับน้ำได้มาก จึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน [26]

2.9.1 สมบัติของฟิล์มแบ่ง

ในอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการทำแบ่งแห้งเพื่อจุดประสงค์ในการเคลือบกระดาษ หรือเส้นใย หรือเพื่อใช้เป็นกาว สำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ ฟิล์มแบ่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะได้แก่ ความเป็นพลาสติก ความแข็งแรง การละลายน้ำ การทนต่อความชื้น ความโปร่งใสของฟิล์ม และความมันเงา

แบ่งมันสำปะหลัง แบ่งมันฝรั่ง และแบ่งข้าวโพดเหนียว มีความยืดหยุ่นสูงกว่าแบ่งสาลีจึงเหมาะสมในการอบแห้งมากกว่าแบ่งข้าวโพด และแบ่งสาลี

ฟิล์มแบ่งที่ได้จากแหล่งที่ต่างกัันนั้นมีความสามารถในการละลายน้ำได้แตกต่างกันและมีอัตราในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่างกัน แบ่งธัญพืชมีอะไมโลสและไขมันในปริมาณสูง ทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันในระหว่างการทำให้แห้ง ทำให้ส่วนนั้นไม่ละลายและเกิดเป็นร่างแห ก่อให้เกิดการไม่ละลายในส่วนของอะไมเพคตินอีกด้วย ในขณะที่แบ่งมันฝรั่ง แบ่งมันสำปะหลัง และแบ่งข้าวโพดเหนียวมี

แนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำ จึงสามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างสมบูรณ์ การเกิดฟิล์ม จะมีองค์ประกอบหลัก คือ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งมีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์ม ตัวทำละลาย และสารเติมแต่งที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม เมื่อนำองค์ประกอบมาทำให้ละลายและกระจายตัวแล้วแยกตัวทำละลายออกจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวสองชนิด ได้แก่ แรงโคฮีชัน (Cohesion) และแรงแอดฮีชัน (Adhesion) โดยแรงโคฮีชันเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ที่สัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความยาว และการกระจายตัวของกลุ่มที่มีขั้วในสายโซ่พอลิเมอร์ ระบบการละลายและสภาวะในการเตรียมฟิล์ม นั้นทำได้โดยเตรียมในสารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งด้วยอัตราการระเหยของตัวทำละลายที่เหมาะสม ส่วนแรงแอดฮีชันจะเป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องในการเตรียมฟิล์ม เช่น พลาสติกไซเซออร์ เป็นต้น ทั้งแรงโคฮีชัน (Cohesion) และแรงแอดฮีชัน (Adhesion) มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม เช่น ความหนา ความสามารถในการซึมผ่าน ความเปราะและความยืดหยุ่น เป็นต้น [27]

ตารางที่ 2.1 สมบัติของฟิล์มแบ่งแต่ละชนิด [27]

ลักษณะ	แป้งมัน สำปะหลัง	แป้งข้าวโพด	แป้งสาลี	แป้งข้าวโพดเหนียว	แป้งมันฝรั่ง
ความใส	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
การละลาย	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความเรียบ- ยืดหยุ่น	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความแข็งแรงและ เหนียว	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภัศรา มณีศรีรัชฎ์ [2] ศึกษาสมบัติทางการบรรจุของวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้แป้งที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ได้แก่ แป้งอะซีเทท และแป้งไดอัลดีไฮด์ แทนแป้งมันสำปะหลัง ในปริมาณที่เหมาะสม และใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอาหาร ได้แก่ กากมะพร้าว กากถั่วเหลือง และคัพพะข้าวโพดด้วยวิธีอัดขึ้นรูป โดยศึกษาองค์ประกอบหลัก ขนาด และปริมาณการใช้ที่เหมาะสม จากผลการศึกษาพบว่า แป้งไดอัลดีไฮด์ไม่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้ การศึกษาการใช้แป้งอะซีเททแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 50 ของน้ำหนักแป้ง พบว่าภาชนะดังกล่าวมีสมบัติดีที่สุด โดยมีการทนทานน้ำมากกว่า 480 นาที มีการต้านทานแรงกดด้านข้าง และการทนทานไขมันดีที่สุด ผลของการใช้ของเหลือทิ้งจากโรงงานอาหารทั้งสามชนิดพบว่า กากมะพร้าวเมื่อนำมาใช้แทนแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนร้อยละ 30 ของน้ำหนักแป้งให้สมบัติของภาชนะดีที่สุด ทนทานต่อน้ำ และไขมันได้นานที่สุด

J. Yu และคณะ [4] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันฝรั่ง โดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีเตเป็นสารออกซิไดส์ ในอัตราส่วนโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอดีเต เป็น 0.1:1.0, 0.3:1.0, 0.5:1.0, 0.7:1.0, 0.9:1.0 และ 1.1:1.0 โดยมีร้อยละจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (% Aldehyde content) เป็น 15, 30, 50, 60, 80 และ 90 ตามลำดับ จากการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาพบว่า ลักษณะของเม็ดแป้งเปลี่ยนไป มีความขรุขระมากขึ้นมีรอยยุบตรงกลาง เนื่องจากส่วนที่เป็นอสัณฐานถูกทำลาย ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาความเป็นผลึก ด้วยเทคนิค XRD พบว่าเมื่อแป้งที่มีจำนวนหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นความเป็นผลึกนั้นลดลง จากนั้นนำแป้งแต่ละสูตรมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคการเทหล่อพบว่า แป้งที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น การดัดงอ การดูดซับน้ำ และการซึมผ่านของไอน้ำลดต่ำลง

สุธารัตน์ จิรัชยมงคล และคณะ [28] ได้ศึกษาเกี่ยวกับแป้งมันสำปะหลังที่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม และการดัดแปรทางเคมีด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยสมบัติของแป้งเอสเทอร์ขึ้นอยู่กับสมบัติของหมู่เอสเทอร์และระดับการแทนที่ของแป้งเอสเทอร์ที่ได้งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาผลของความยาวสายโซ่ของหมู่เอสเทอร์ (C2 ถึง C4) และระดับการแทนที่ของแป้งเอสเทอร์ต่อสมบัติของฟิล์ม จากการศึกษาทดลองพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากแป้งเอสเทอร์ความเข้มข้นร้อยละ 4 และเติมซอร์บิทอลร้อยละ 30 เป็นพลาสติกใสเซอร์มีความต้านทานแรงดึงและการยืดตัวอยู่ในช่วง 2-3 kg/mm² และร้อยละ 2-3 ตามลำดับ ค่าการดูดซับน้ำ และค่าการละลายน้ำของฟิล์มขึ้นอยู่กับความยาวสายโซ่ และระดับการแทนที่ของหมู่เอสเทอร์ โดยค่าการดูดซับน้ำ และค่าการละลายน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวสายโซ่ และระดับการแทนที่

เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าแป้งดัดแปรจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถลดความไวต่อความชื้นของฟิล์มที่เตรียมได้

L. Zhang และคณะ [3] ได้ศึกษาการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์สตาร์ช โดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน แป้งข้าวโพดด้วยเปอร์ไอโอเดตในอัตราส่วนโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดต เป็น 0.1:1.0, 0.2:1.0, 0.4:1.0, 0.6:1.0, 0.8:1.0 และ 1.0:1.0 โดยมีร้อยละจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (% Aldehyde content) เป็น 8, 34, 52, 77, 90 และ 93 ตามลำดับ จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR พบว่ามีพีคของหมู่อัลดีไฮด์ เกิดขึ้นที่เลขคลื่น (Wave number) 1740 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นหมู่คาร์บอนิลของอัลดีไฮด์ สมบัติทาง สันฐานวิทยาพบว่าลักษณะของเม็ดแป้งเปลี่ยนไป พื้นผิวของเม็ดแป้งมีความขรุขระมากขึ้นมีรอยยุบตรง กลางเมื่อปริมาณของหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาความเป็นผลึก ด้วย เทคนิค XRD พบว่าเมื่อแป้งที่มีจำนวนหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นความเป็นผลึกนั้นลดลง และจากการศึกษา ความคงทนต่อการย่อยของแป้งพบว่า แป้งทนต่อการย่อยได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น

J.Q. Mei และคณะ [29] ทำการศึกษาผลของสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งมัน สำปะหลังที่ถูกเชื่อมโยงด้วยกรดซิตริก โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยทำการทดลองที่ปริมาณของ กรดซิตริก 10% 20% 30% 40% และ 50% โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของแป้งแห้งจากนั้น นำแป้งที่ดัดแปรแล้วไปอบและบดให้เป็นผง ก่อนนำไปทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การบวมตัว (Swelling) โดยศึกษาการบวมตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ได้แก่ 55, 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส ศึกษา การละลาย และการเสีรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็ง (Freeze-thaw) จากผล การทดลองพบว่า แป้งดัดแปรมีการบวมตัวมากขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิในการทดสอบมากขึ้น และแป้งที่มีการ ดัดแปรด้วยกรดซิตริกในปริมาณมากมีการบวมตัวลดลง อันเนื่องมาจากความหนาแน่นเชื่อมโยงของ โมเลกุลแป้ง ผลเป็นไปในทางเดียวกันกับความสามารถในการละลายของแป้งดัดแปรที่ลดลง เมื่อมีการใช้ สัดส่วนของกรดซิตริกมากขึ้นนอกจากนี้การเชื่อมโยงด้วยกรดซิตริกยังทำให้แป้งมีการเสีรูปเนื่องจาก กระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็งลดลงอีกด้วย

V.D. Alves และคณะ [30] ได้ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลและปริมาณอะไมโลสจากแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เตรียมได้ โดยเตรียมฟิล์มด้วยเทคนิคเทหล่อ (Casting) ปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้ คือ 5, 20, 32.5 และ 45 กรัมต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม และเตรียมสารละลายอะไมโลสโดยผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำในเครื่องผสม (Brabender) โดยทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส เพื่อให้แป้งเกิดการเจลาไทไนซ์ จากการศึกษาเมื่อปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดึงยึด ณ จุดขาด และ ค่าการทนต่อการเสียรูปร่าง เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเค้น ณ จุดขาด, โมดูลัส และค่าความแข็งแรงกด ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติมกลีเซอรอลให้สมบัติเชิงกลที่ตรงกันข้ามกับสูตรที่ผสมกลีเซอรอล เนื่องจากโครงสร้างของแป้งมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอล โดยที่กลีเซอรอลเข้าไปอยู่บริเวณโครงสร้างตาข่ายของโมเลกุลของแป้ง ทำให้เมทริกซ์ของฟิล์มมีช่องว่างมากขึ้น เมื่อมีแรงมากกระทำจึงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น สำหรับปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ ค่าความเค้น ณ จุดขาด, โมดูลัส และ ค่าความแข็งแรงกด มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ ค่าดึงยึด ณ จุดขาด และค่าการทนต่อการสูญเสียรูปร่าง ไม่มีผลต่อสมบัติที่ได้ เนื่องจากปริมาณอะไมโลสมีปริมาณน้อยเกินไป แต่ถ้ามีปริมาณอะไมโลสที่มากเกินไปส่งผลให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีความแข็งแรงมากขึ้นเนื่องจากโครงสร้างตาข่ายของอะไมโลสมีความเสถียรมาก จึงทำให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความแข็งแรง สมบูรณ์ และจากการศึกษา ปริมาณกลีเซอรอลที่ใช้เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำออกน้อยลง เนื่องจากกลีเซอรอลทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งมีช่องว่างมากขึ้น และมีสมบัติชอบน้ำมากขึ้น จึงดูดซับความชื้นไว้ภายในโมเลกุล แต่เมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นปริมาณการระเหยออกของน้ำลดลง เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างอะไมโลสมากขึ้นทำให้เกิด การยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ

K. Kaewtatip และ J. Thongmee [31] ทำการศึกษาผลของการเชื่อมโยงแป้งที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยใช้แป้งมันสำปะหลังบริสุทธิ์ที่ยังไม่ได้ตัดแปรผสมกับ Distarch phosphate ซึ่งเป็นแป้งตัดแปรชนิดเชื่อมโยง และกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ศึกษาโดยใช้แป้ง ตัดแปรที่สัดส่วนต่างๆ คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 wt% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังบริสุทธิ์ ทำการขึ้นรูปโดยวิธีกดอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ไปศึกษาอุณหภูมิในการสลายตัวโดยเครื่อง TGA ภายใต้สภาวะไนโตรเจน ศึกษาสมบัติเชิงกล และการดูดซับน้ำจากผลการทดลองพบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งกับแป้งตัดแปร มีค่าอุณหภูมิในการสลายตัวสูงกว่าแป้งบริสุทธิ์ และผลของการดูดซับน้ำเมื่อทำการทดสอบที่ 7 และ 45 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแป้งตัดแปรมากขึ้น ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลงในทุกช่วงเวลาทดสอบสำหรับในส่วน

ของสมบัติเชิงกลที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% พบว่า ความแข็งแรงดึงของแป้งมีค่าสูงขึ้น เมื่อ พอลิเมอร์ผสมมี สัดส่วนของแป้งดัดแปรมากขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 1.48 MPa เมื่อใช้ปริมาณของแป้งดัดแปรมากที่สุด คือ 20 wt% นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของแป้งสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งดัดแปรมากขึ้น จนถึง 5 wt% แต่เมื่อปริมาณของแป้งดัดแปรมากกว่านี้ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง

S. Veelart และคณะ [23] ได้ศึกษาการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันฝรั่ง และสมบัติการเกิด เจลของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์ (% Aldehyde content) ต่างกัน คือ 30%, 50% และ 100% ในการเตรียมนั้นใช้สารโซเดียมเปอร์ไอโอดेटเป็นสารออกซิไดส์ จากการศึกษาการเกิดเจลพบว่า เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-90 องศาเซลเซียส สารละลายแป้งไดอัลดีไฮด์มีความเข้มข้นน้อย ๆ นั้นมี ความหนืดน้อย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นสารละลายมีสมบัติวิสโคอิลาสติกเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อ ต้องการให้เกิดเจลจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิและแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้นเพื่อทำให้เม็ดแป้งแตก โดยแป้งที่มี ปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดเจลได้ยากขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งมีความแข็งแรง อันเนื่องมาจาก หมู่อัลดีไฮด์ในโครงสร้างของแป้งเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดแป้ง (Intragranular hemiacetalization) จึงทำให้เกิดเจลได้ยาก หากต้องการนำมาขึ้นรูป โดยผ่านสภาวะเจลต้องเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดเจล และ แรงเฉือน พร้อมทั้งเติมแป้งที่ไม่มีการปรับปรุงเพื่อช่วยในการเกิดเจล

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกร จากห้างหุ้นส่วนสามัญนิติบุคคล ตงจิ้น องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
ไขมัน	0.25
ความชื้น	< 13
โปรตีน	6.50 - 7.50
คาร์โบไฮเดรต	87
-อะไมโลส	17
-อะไมโลเพคติน	83
เถ้า	0.23
ขนาด	< 160 ไมโครเมตร
ความเป็นกรด-ด่าง	6 - 7

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.1.2 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System จำกัด

3.1.3 โซเดียมเปอร์ไอโอเดต (NaIO_4) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo erba จำกัด

3.1.4 น้ำกลั่น (Distilled water)

3.1.5 กรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo erba จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo erba จำกัด

3.1.7 ฟีนอล์ฟทาลีน เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo erba จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 ปีกเกอร์ (Beaker)

3.2.2 แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)

3.2.3 เครื่องปั่นกวน (Over-head stirrer)

3.2.4 เครื่องกวนและให้ความร้อน (Hot plate)

3.2.5 ถาดพลาสติก (Polypropylene tray)

3.2.6 เครื่องชั่ง (Digital balance 4 digits)

3.2.7 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.2.8 กระบอกตวง (Cylinder)

3.2.9 บิวเรต (Burette)

3.2.10 เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing machine) Lloyd Instrument รุ่น LR 5k, INTRO ENTERPRISE

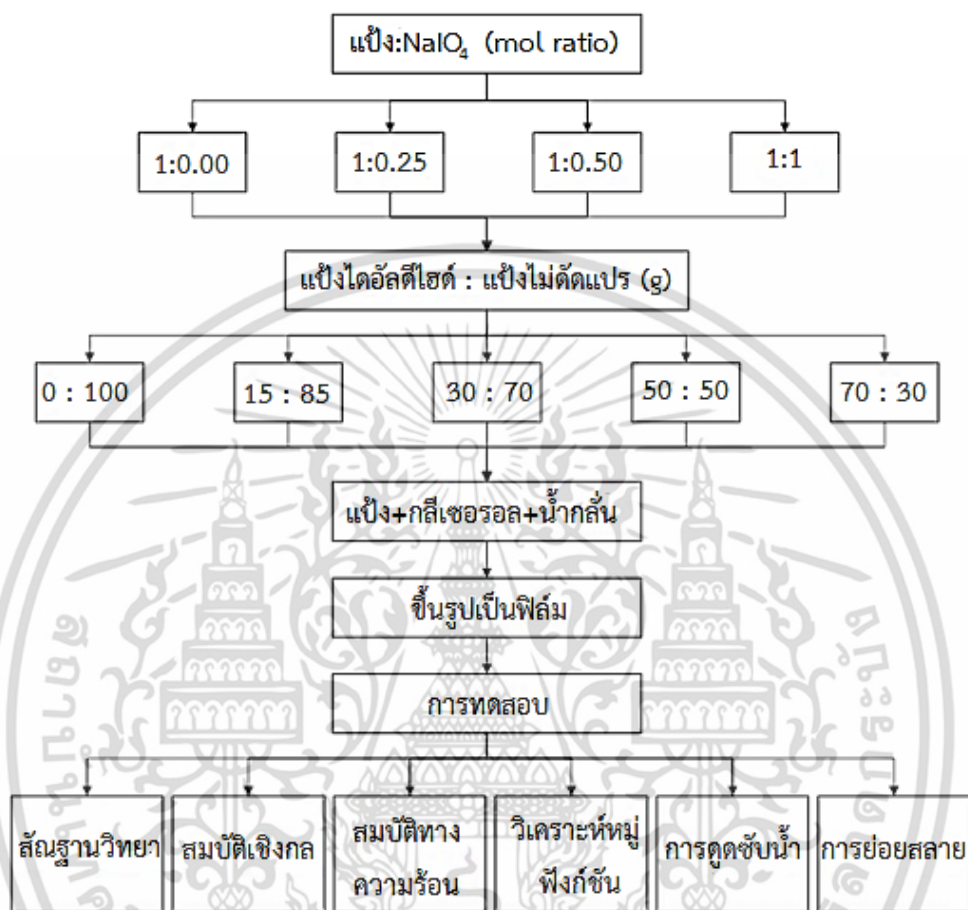
3.2.11 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer) รุ่น SPECTRUM GX, Perkin Elmer

3.2.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

3.2.13 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) : รุ่น LV 2000, Cannan instrument Company. Co.,Ltd

3.3 วิธีการทดลอง

แผนการดำเนินงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันสำปะหลัง

1. อบแป้งมันสำปะหลังเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. เตรียมสารละลายชั้น (Slurry) ระหว่างแป้งกับน้ำกลั่น และ สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอเดต โดยอัตราส่วนโมลของแป้งต่อโซเดียมไอโอเดตเป็น 1:0.00, 1:0.25, 1:0.50 และ 1:1 [4]
3. นำสารละลายทั้งสองผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นกวนแบบใบพัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส สารละลายมี pH เท่ากับ 4 ใช้เวลาในการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง [21]
4. นำสารละลายแป้งมากรองแบบลดความดัน ใช้น้ำกลั่นในการล้างตะกอน ประมาณ 500 ml และล้างด้วยเอทานอล 100 ml [21]
5. นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

3.3.2 การเตรียมฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล ในอัตราส่วน 20% โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นเติมน้ำ 100 ml คนให้เข้ากัน
2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศา เป็นเวลา 45 นาที ด้วยเครื่องให้ความร้อนซึ่งมีการปั่นกวนตลอดเวลา ได้ของผสมที่มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แป้งมันสำปะหลังเกิดเจลลาคีโนเซชันสังเกตได้จากส่วนของน้ำแป้งมีลักษณะเหนียวและใสขึ้น
3. นำภาดพลาสติกมาวางบนเครื่องชั่งจากนั้นเทแป้งมันสำปะหลังที่มีลักษณะเป็นเจลลงบนภาดพลาสติกให้มีน้ำหนัก 47 ± 2 กรัม
4. จากนั้นนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
5. เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำออกจากตู้อบรอให้เย็น แล้วจึงลอกแผ่นฟิล์มออกจากภาด

3.3.3 การเตรียมฟิล์มผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งไดอัลดีไฮด์สตาร์ช

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลัง และแป้งไดอัลดีไฮด์ ในอัตราส่วนตามตารางที่ 3.2 โดยชั่งแยกกัน แต่ละบีกเกอร์เติมน้ำกลั่น 50 ml

2. นำแป้งไดอัลติไฮด์ที่ผสมน้ำกลับไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยความเร็วสูง จนแป้งเกิดการบวมตัว
3. ลดอุณหภูมิลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมสารละลายแป้งมันสำปะหลังลงไป ปั่นกวนอย่างต่อเนื่องจนสารละลายเกิดเจลาตีโนเซชัน
4. นำสภาพพลาสติกมาวางบนเครื่องชั่งจากนั้นเทแป้งมันสำปะหลังที่มีลักษณะเป็นเจลลงบนสภาพพลาสติกให้มีน้ำหนัก 47 ± 2 กรัมจากนั้นนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	น้ำ (g)	แป้ง (g)	กลีเซอรอล(g)	แป้งไดอัลติไฮด์ (g)		
				แป้ง : NaIO ₄		
				1:0.25	1:0.5	1:1
0DAS0	100	10	2	-	-	-
0.25DAS15	100	8.5	2	1.5	-	-
0.25DAS30	100	7	2	3	-	-
0.25DAS50	100	5	2	5	-	-
0.25DAS70	100	3	2	7	-	-
0.5DAS15	100	8.5	2	-	1.5	-
0.5DAS30	100	7	2	-	3	-
0.5DAS50	100	5	2	-	5	-
0.5DAS70	100	3	2	-	7	-
1DAS15	100	8.5	2	-	-	1.5
1DAS30	100	7	2	-	-	3
1DAS50	100	5	2	-	-	5
1DAS70	100	3	2	-	-	7

หมายเหตุ *DAS**

* อัตราส่วนโดยโมลของ แป้ง:NaIO₄ ของแป้งไดอัลติไฮด์แต่ละสูตร

** เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแป้งไดอัลติไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบ

3.4.1 การหาจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (Aldehyde content)

1). จากงานวิจัยของ L. Zhang และคณะ [3]

การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อัลดีไฮด์ทำได้โดยการชั่งแบ่งอัลดีไฮด์ 2 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 mol/L จำนวน 10 ml นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมน้ำสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.2 mol/L จำนวน 10 ml พร้อมกับเติมน้ำ 10 ml การหาหมู่อัลดีไฮด์นั้นทำได้โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิลทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายกรดซัลฟูริก ที่มากเกินไป จากนั้นทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 mol/L จนถึงจุดยุติ โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้งแล้วนำมาคำนวณตามสมการ

$$CHO(\%) = \frac{V_1 C_1 - 2V_2 C_2}{W / 161 \times 1000} \times 100$$

โดยที่ V_1 และ C_1 คือ ปริมาตร และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

V_2 และ C_2 คือ ปริมาตร และความเข้มข้นสารละลายกรดซัลฟูริก

W คือ น้ำหนักของแบ่งในหน่วยกรัม

161 คือ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของหน่วยซ้ำในแบ่ง

2). จากงานวิจัยของ A. R. G. Dias และคณะ [17]

การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อัลดีไฮด์ทำได้โดยการชั่งแบ่งอัลดีไฮด์ 4 g ลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 100 ml แล้วนำไปให้ความร้อนที่อ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นลดอุณหภูมิลงให้เหลือ 40 องศาเซลเซียสเพื่อให้แบ่งเกิดเจลและแตกตัวออกพร้อมทำปฏิกิริยา จากนั้นเติมไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์รีเอเจนท์ 15 ml (เตรียมจาก 25 กรัมของสารละลายไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ผสมกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 mol/L จำนวน 100 ml จากนั้นปรับปริมาตรให้ถึง 500 ml) จากนั้นปั่นจนอย่างต่อเนืองในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 mol/L จนถึงจุดยุติโดยใช้เมทิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณตามสมการ

$$CHO(\%) = \frac{(V_1 - V_2) \times C_{HCl} \times 0.028 \times 100}{W}$$

โดยที่ V_1 คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตแบ่งที่ไม่ได้ทำการตัดแปร

V_2 คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตแบ่งไดอัลตีไฮด์

C คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

0.028 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนหน่วยของหมู่คาร์บอนิล

W คือ ค่าน้ำหนักของแบ่งแห้ง

3.4.2 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันโดย FTIR

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Infrared spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างไปให้ความร้อนจนอ่อนตัวกระทั่งเป็นฟิล์มแผ่นบาง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2 – 0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์และนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10^{-4} kg/cm² เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ และนำไปวิเคราะห์จะได้สเปกตรัมของสารตัวอย่าง พร้อมทั้งวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยการหาสัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟของสเปกตรัมที่เลขคลื่น 1735 cm⁻¹, 1155 cm⁻¹ และ 860 cm⁻¹

3.4.3 การดูดซับความชื้น

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E104 นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปวางในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น (Distilled Water) ซึ่งให้ความชื้นสัมพัทธ์ 98±2% โดยนำชิ้นงานขึ้นมาบันทึกน้ำหนักทุกวัน เป็นเวลา 21 วัน สามารถคำนวณได้

$$\text{จาก } M_t (\%) = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น, W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ และ W_w คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังแช่น้ำ

3.4.4 การศึกษาความหนืด

เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) ใช้ในการวัดความหนืด โดยนำแบ่งไดอัลตีไฮด์หนัก 5 กรัม ละลายในน้ำ 100 ml จากนั้นนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 40 °C และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง บันทึกค่าความหนืดที่ได้จากเครื่อง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10 °C จนถึงอุณหภูมิ 100 °C โดยใช้ความเร็วรอบ 100 rpm และใช้เข็มเบอร์ 3 ในการวัด

3.4.5 สัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาหักหลังจากแช่ไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM

3.4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D882-02	MPa
มอดุลัส (Young's modulus, E)	ASTM D882-02	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด	ASTM D882-02	%

3.4.6.1 ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D882 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 100 x 15 mm จำนวน 15 ชิ้นงานต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสถานะของชิ้นงาน ที่ใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % ทดสอบตามสภาวะดังนี้

- Test speed : 50 mm./min - Gauge length : 50 mm.

- Load cell : 1 kN

ค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)} = F/A$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (%Strain at maximum load) = $[(L-L_0)/L_0] \times 100$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ขึ้นงานดึงยืดขึ้นงานตัวอย่าง (N)

N คือ พื้นที่หน้าตัดของขึ้นงานตัวอย่าง (mm^2)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยืดขึ้นงานตัวอย่าง (mm)

L_0 คือ ระยะที่ขึ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

3.4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาอุณหภูมิการสลายทางความร้อน (Degradation temperature) ของพอลิเมอร์ ผสมด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer : TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 10-12 มิลลิกรัม และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศ ไนโตรเจน (N_2) ที่ภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ให้อยู่ในช่วง 50-600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อได้ TGA เทอร์โมแกรมแล้วจึงนำมาทำอนุพันธ์ของเทอร์โมแกรม (Derivative Thermogram) ได้เป็น DTA

3.4.8 การศึกษาการบวมตัว

1. ตัดฟิล์มเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1×1 นิ้ว
2. ชั่งน้ำหนักตะแกรงลวดเปล่าด้วยเครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง และบันทึกผล
3. ชั่งน้ำหนักฟิล์มด้วยเครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง และบันทึกผล
4. นำไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องจนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมงจึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

เปอร์เซ็นต์การบวมตัวคำนวณได้จาก

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

เมื่อ M_f คือ เปอร์เซ็นต์การบวมตัว, W_d คือ น้ำหนักของขึ้นงานก่อนแช่น้ำ และ W_w คือ น้ำหนักขึ้นงานหลังแช่น้ำ

3.4.9 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดขึ้นงานตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20×50 มิลลิเมตร ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 10-15% เป็นระยะเวลา 5 และ 10 วัน จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไปเพื่อเทียบกับสมบัติเชิงกลของขึ้นงานที่ไม่ได้ทำการฝังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดต (NaIO_4) เป็นสารออกซิไดส์โดยการทดลองแบ่งออกเป็นสองตอน ตอนที่ 1 ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์ โดยมีอัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดต เป็น 1:0.25, 1:0.5 และ 1:1 แล้วนำแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตรที่เตรียมได้มาศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การหาจำนวนหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde content) การศึกษาสัณฐานวิทยา การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การศึกษาสมบัติทางความร้อน การวัดความหนืด ตอนที่ 2 เป็นการนำแป้งแต่ละสูตรที่เตรียมได้มาเตรียมเป็นฟิล์มด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบเทหล่อ โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยผสมกับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ทำการตัดแปรโดยใช้แป้งไดอัลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 15, 30, 50 และ 70 ของน้ำหนักแป้งจากนั้นนำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มที่เตรียมได้ ได้แก่ สมบัติเชิงกล การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา การบวมตัว การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อของแป้งไดอัลดีไฮด์และฟิล์มผสมของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ลำดับ	อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
1	0DAS	แป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปร
2	0.25DAS	แป้งมันสำปะหลังตัดแปรด้วย NaIO_4 ในอัตราส่วนโดยโมลของแป้ง: NaIO_4 เป็น 1:0.25
3	0.5DAS	แป้งมันสำปะหลังตัดแปรด้วย NaIO_4 ในอัตราส่วนโดยโมลของแป้ง: NaIO_4 เป็น 1:0.5
4	1DAS	แป้งมันสำปะหลังตัดแปรด้วย NaIO_4 ในอัตราส่วนโดยโมลของแป้ง: NaIO_4 เป็น 1:1
5	0DAS0	ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์
6	0.25DAS30	ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ผสมกับแป้งไดอัลดีไฮด์ ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแป้ง: NaIO_4 เป็น 1:0.25 ที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 30%
7	0.25DAS50	ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ผสมกับแป้งไดอัลดีไฮด์ ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแป้ง: NaIO_4 เป็น 1:0.25 ที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 50%
8	0.25DAS70	ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ผสมกับแป้งไดอัลดีไฮด์ ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแป้ง: NaIO_4 เป็น 1:0.25 ที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 70%

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) อักษรย่อของแบ่งไดอัลดีไฮด์และฟิล์มผสมของแบ่งไดอัลดีไฮด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ลำดับ	อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
9	0.5DAS30	ฟิล์มแบ่งมันสำปะหลังที่ผสมกับแบ่งไดอัลดีไฮด์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแบ่ง:NaIO ₄ เป็น 1:0.5 ที่ผสมแบ่งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 30%
10	0.5DAS50	ฟิล์มแบ่งมันสำปะหลังที่ผสมกับแบ่งไดอัลดีไฮด์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแบ่ง:NaIO ₄ เป็น 1:0.5 ที่ผสมแบ่งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 50%
11	0.5DAS70	ฟิล์มแบ่งมันสำปะหลังที่ผสมกับแบ่งไดอัลดีไฮด์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแบ่ง:NaIO ₄ เป็น 1:0.5 ที่ผสมแบ่งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 70%
12	1DAS30	ฟิล์มแบ่งมันสำปะหลังที่ผสมกับแบ่งไดอัลดีไฮด์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแบ่ง:NaIO ₄ เป็น 1:1 ที่ผสมแบ่งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 30%
13	1DAS50	ฟิล์มแบ่งมันสำปะหลังที่ผสมกับแบ่งไดอัลดีไฮด์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแบ่ง:NaIO ₄ เป็น 1:1 ที่ผสมแบ่งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 50%
14	1DA70	ฟิล์มแบ่งมันสำปะหลังที่ผสมกับแบ่งไดอัลดีไฮด์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของแบ่ง:NaIO ₄ เป็น 1:1 ที่ผสมแบ่งไดอัลดีไฮด์ปริมาณ 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 สมบัติของแป้งอัลดีไฮด์

การศึกษาการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดตเป็น (NaIO₄) สารออกซิไดส์ ได้มีการใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดตต่างกัน ได้แก่ 1:0.25, 1:0.5 และ 1:1 จากนั้นนำแป้งที่เตรียมได้ในแต่ละสูตรมาศึกษาสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ การหาจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (Aldehyde content) การศึกษาหมู่ฟังก์ชัน การหาความหนืด การศึกษาสัณฐานวิทยา และการศึกษาสมบัติทางความร้อน

4.1.1 การหาจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (Aldehyde content)

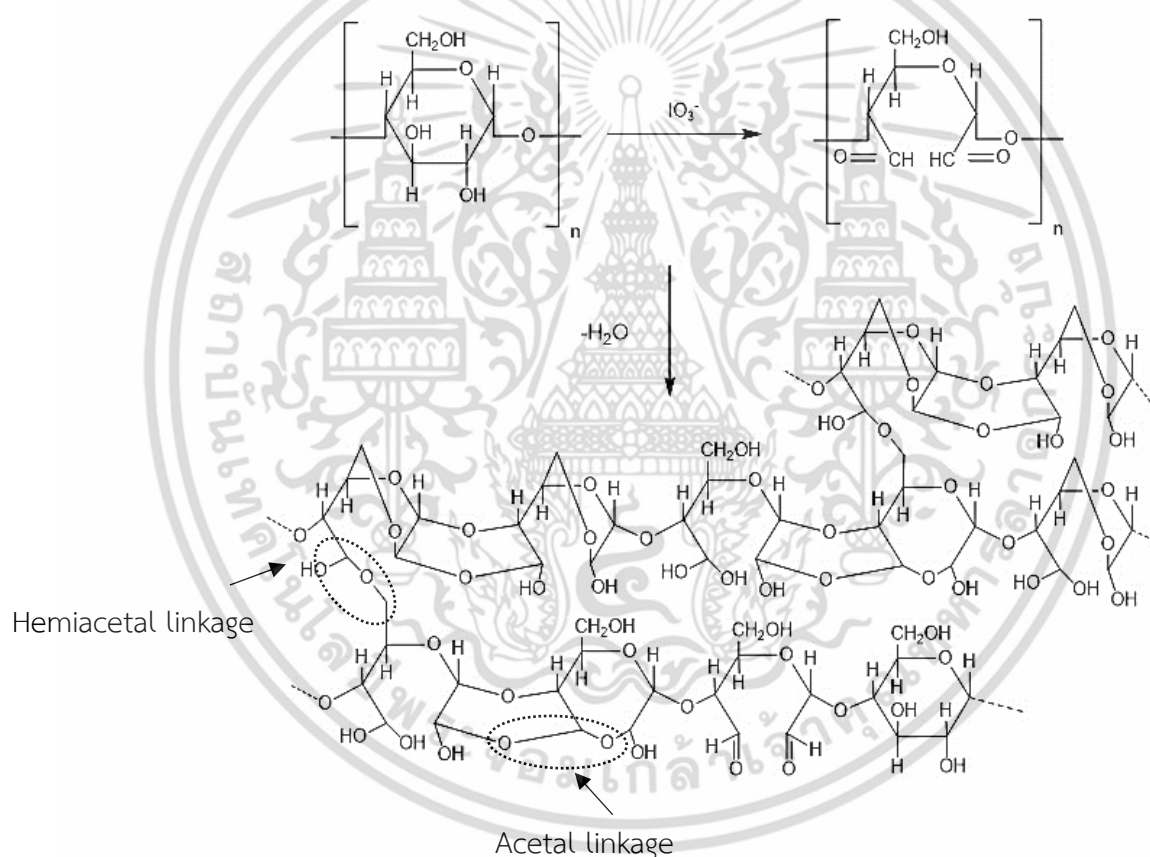
ในการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์นั้นได้ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดตต่างกัน ได้แก่ 1:0.25, 1:0.5 และ 1:1 ทำให้มีหมู่อัลดีไฮด์ในสายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งจำนวนแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.2 ในการวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อัลดีไฮด์นั้นใช้วิธีการทดสอบจากงานวิจัยของ L. Zhang และคณะ [3] ทำได้โดยการทำปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิลทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 mol/l และสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.2 mol/l จากนั้นทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนถึงจุดยุติ โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใส่เข้าไปในขั้นต้นนั้น สามารถเข้าไปเกิดปฏิกิริยาแคนนิซซาโรกับแป้งไดอัลดีไฮด์เปลี่ยนหมู่อัลดีไฮด์เป็นกรดและแอลกอฮอล์ จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้าไปเพื่อเปลี่ยน -COO⁻ ไปเป็น -COOH จากนั้นนำไปไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อหาปริมาณกรดซัลฟูริกที่เหลืออยู่จนถึงจุดยุติ และนอกจากนี้ยังพบว่าการหาจำนวนหมู่อัลดีไฮด์โดยใช้วิธีการทดสอบจากงานวิจัย A. R. G. Dias และคณะ [17] โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิลกับไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์รีเอเจนท์แสดงได้ดังสมการ และให้ค่าจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ใกล้เคียงกันกับวิธีของ L. Zhang [3] ดังตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 จำนวนหมู่อัลดีไฮด์

สูตรแป้งไดอัลดีไฮด์	อัตราส่วนโดยโมลของ แป้ง : NaIO ₄	จำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (%) (L. Zhang)	จำนวนหมู่อัลดีไฮด์ (%) (A. R. G. Dias)
0.25DAS	1:0.25	17.10±0.65	14.78±0.23
0.5DAS	1:0.5	37.32±0.55	30.87±0.42
1DAS	1:1	63.26±0.77	69.32±0.98

จากตารางที่ 4.2 พบว่าแป้งไดอัลดีไฮด์ 0.25DAS, 0.5DAS และ 1DAS มีจำนวนหมู่แทนที่ร้อยละ 17.10 ± 0.65 , 37.32 ± 0.55 และ 63.26 ± 0.77 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนของโซเดียมเปอร์ไอโอดีเตนนั้น ทำให้มีจำนวนหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นมากขึ้น เนื่องจากโซเดียมเปอร์ไอโอดีเตนเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณหมู่ไกลคอลทำให้พันธะที่อยู่ระหว่าง C-2 และ C-3 แตกออก เกิดการเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลไปเป็นหมู่อัลดีไฮด์ 2 หมู่ในหนึ่งหน่วยกลูโคส เกิดเป็นแป้งไดอัลดีไฮด์ จากนั้นหมู่อัลดีไฮด์บางส่วนสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างกันได้ เกิดเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลและพันธะภายในโมเลกุลของหมู่เอมีอะซิทัลดและหมู่อะซิทัลด ซึ่งคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาจัดน้ำของแป้งไดอัลดีไฮด์ ดังแสดงในงานวิจัยของ S.Veelaert และคณะ [23] ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในแป้งไดอัลดีไฮด์ [23]

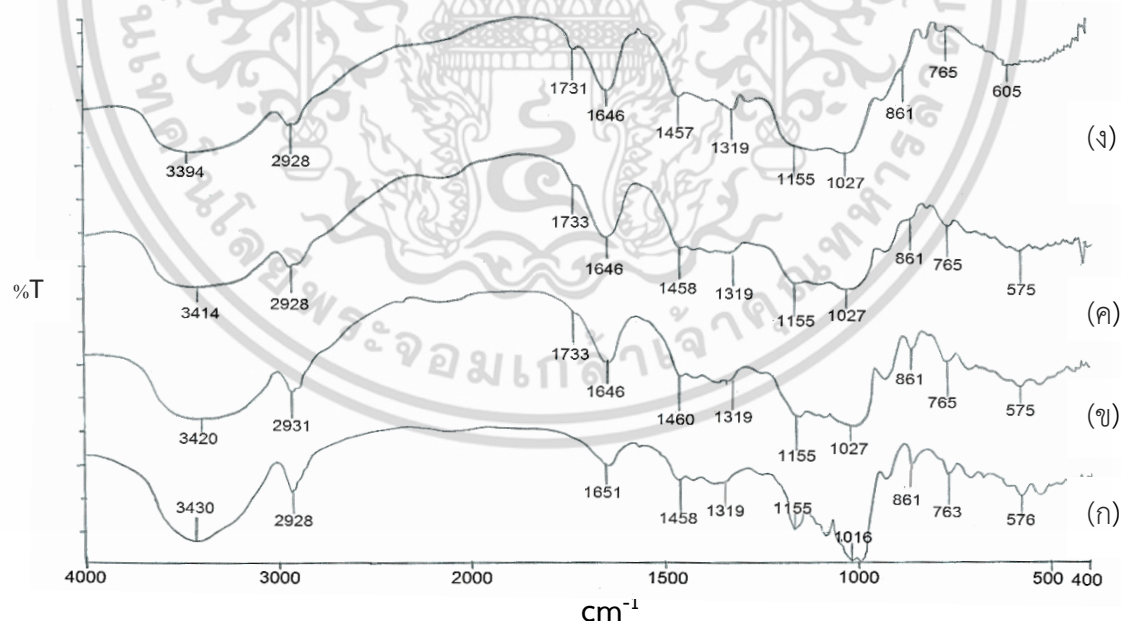
4.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ของแป้งไดอัลดีไฮด์

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทำได้โดยการใช้เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปรและแป้งไดอัลดีไฮด์ในแต่ละสูตรที่ใช้ปริมาณโซเดียมเปอร์ไอโอดेटเป็นตัวออกซิไดส์ในปริมาณที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏของแป้งไดอัลดีไฮด์

เลขคลื่น (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น
3200-3600 (v)	O-H stretching
2800-3000 (m--->s)	Alkane C-H stretching
1730-1750 (s)	Ester C=O stretching
1600-1630 (s)	Bounded water
1445-1485 (m)	O-H bending
1000-1400 (s)	C-O-C stretching
1000-1200 (s)	C-O-H bending

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์ในสูตรต่าง ๆ ได้ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งไดอัลดีไฮด์โดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดेटในอัตราส่วนต่าง ๆ

(ก) ODAS (ข) 0.25DAS (ค) 0.5DAS และ (ง) 1DAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 และภาคผนวก ก พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากการตัดแปรแบ่งมันสำปะหลัง โดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดตให้เป็นแบงไดอัลดีไฮด์ทุกอัตราส่วนนั้น มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน ซึ่งเป็นโครงสร้างของแบงตามลักษณะดังนี้ สเปกตรัมในช่วง $3500-3300\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching ของแบง พิคในช่วง $3000-2800\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของแบง สำหรับพิกที่ 1641 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในแบง พิคในช่วง $1445-1485\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะของการสั่นแบบ O-H bending พิคช่วง $1000-1400\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching และพิกช่วง $1000-1200\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending ของแบง [3]

สำหรับความแตกต่างของแบงไดอัลดีไฮด์ในแต่ละสูตรนั้น พบพิกในช่วง $1730-1750\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิลที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณหมู่ไกลคอลของแบง ด้วยโซเดียมเปอร์ไอโอเดตทำให้พันธะที่ตำแหน่ง C-2 และ C-3 ในหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสยูนิตของแบงแตกออก เกิดเป็นหมู่อัลดีไฮด์ 2 หมู่ในหนึ่งหน่วยกลูโคส เกิดเป็นแบงไดอัลดีไฮด์ จากการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมเชิงปริมาณโดยทำการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของพิกที่สนใจเทียบกับพิกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ความเข้มของพิกจากการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของโซเดียมเปอร์ไอโอเดตต่อแบงมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟพิกนี้มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอนิล และยังพบว่าความเข้มของพิกในช่วง $1730-1735\text{ cm}^{-1}$ นั้นมีความเข้มต่ำเนื่องจากหมู่อัลดีไฮด์บางส่วนสามารถเกิดอันตรกิริยาเคมีกับสายโซ่ข้างเคียง เกิดเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลและพันธะภายในโมเลกุลของหมู่เอมิอะซิทิลและหมู่อะซิทิล [4] ซึ่งอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเกิดจากการขจัดน้ำออกจากแบงไดอัลดีไฮด์เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงทำให้หมู่ คาร์บอนิลลดลง นอกจากนี้พิกที่ประมาณ 1155 cm^{-1} มีสัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟลดลงซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในแบงมีจำนวนลดลงจากการถูกออกซิไดส์กลายเป็นหมู่ อัลดีไฮด์ ดังตารางที่ 4.4

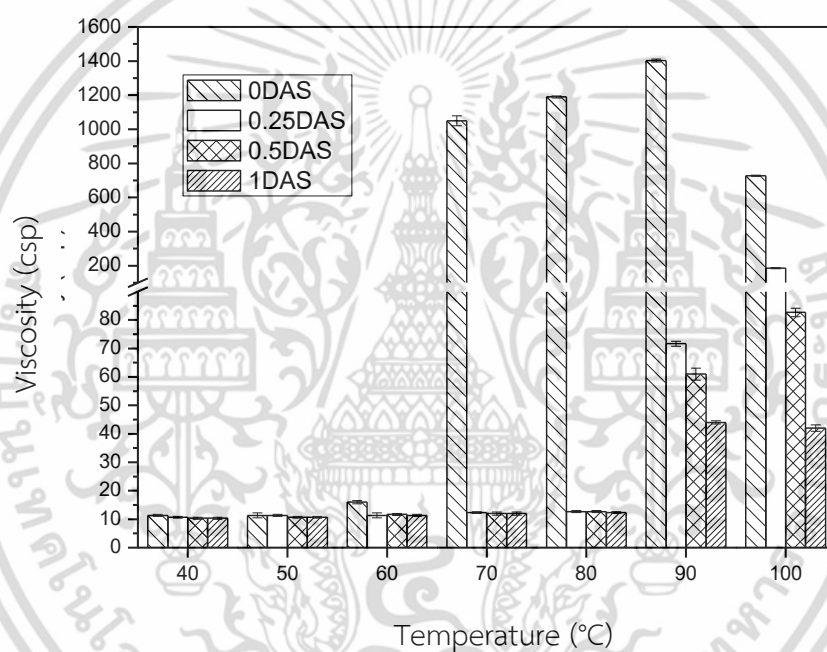
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟของพิกที่สนใจวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ตัวอย่าง	พื้นที่ใต้กราฟของพิก ($\text{A}\cdot\text{cm}^{-1}$)			สัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟของพิก*	
	1735 cm^{-1}	1155 cm^{-1}	860 cm^{-1}	1735 cm^{-1}	1155 cm^{-1}
0DAS	0	6.92	1.30	0	5.32
1DAS	1.58	4.88	1.03	0.15	4.34
0.25DAS	3.01	4.02	1.59	0.89	2.52
0.5DAS	4.21	2.12	1.23	3.42	1.79

*หมายเหตุ สัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟ = พื้นที่ใต้กราฟพิกที่สนใจ / พื้นที่ใต้กราฟพิกที่ 860 cm^{-1}

4.1.3 การศึกษาความหนืดของแป้งไดอัลดีไฮด์

การศึกษาความหนืดของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตรที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อไซโตเดียมเปอร์ไอโอเดตต่างกัน ได้แก่ 1:1, 1:0.5 และ 1:0.25 นั้นสามารถศึกษาได้จากการใช้เครื่อง Brookfield viscometer วัดความหนืดของสารละลายแป้งที่อุณหภูมิ 40-100 องศาเซลเซียส การทำงานของเครื่องเกิดจากการหมุนของแผ่นจานในสารละลายด้วยอัตราเร็วคงที่ ความหนืดของสารละลายวัดได้จากค่าต้านทานการหมุน และอ่านค่าความหนืดของสารละลายในหน่วยเซนติพอยส์ (Centipoise) ดังรูปที่ 4.3



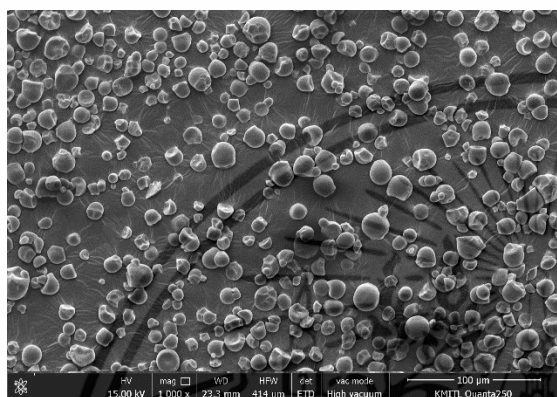
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแป้ง เมื่อพิจารณาความหนืดของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้มีการตัดแปรร ความหนืดของสารละลายมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิการเกิดเจล ซึ่งเกิดจากแป้งได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งลดลง ทำให้น้ำสามารถเข้าไปในเม็ดแป้ง และพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้แป้งเคลื่อนไหวได้ยาก ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ให้มีค่าความหนืดสูงที่สุด เมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียสและมีการปั่นกววนอย่างต่อเนื่องนั้น ทำให้โครงสร้างในเม็ดแป้งแตกออก ความหนืดจึงลดลง [8]

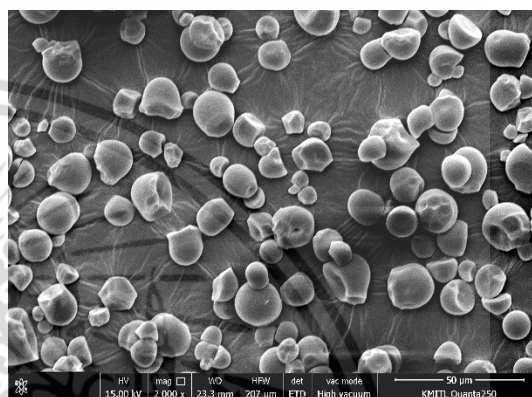
ในส่วนของแป้งไดอัลติไฮด์นั้นมีค่าความหนืดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ทำการตัดแปรร และความหนืดมีแนวโน้มลดลงเมื่อแป้งมีหมู่อัลติไฮด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งไดอัลติไฮด์นั้น เกิดเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลและพันธะภายในโมเลกุลของหมู่เอมิอะซิทิลและหมู่อะซิทิล เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลของแป้งทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ทำให้การพองตัวและการละลายของแป้งลดลง [22] และเมื่อให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส แป้งสามารถเกิดการบวมตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ [2] และเม็ดแป้งที่พองตัวนั้นมีเสถียรภาพมากขึ้น เมื่อให้ความร้อนไปเรื่อย ๆ นั้น ความหนืดจะไม่ลดลง [8]

4.1.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของแป้งไดอัลดีไฮด์

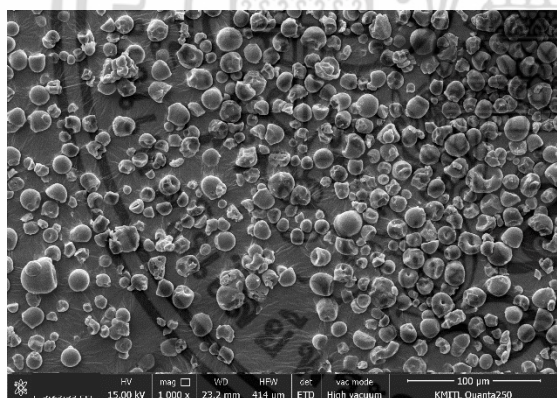
การศึกษาสัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ตัดแปรร และแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ ทำได้ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ที่ กำลังขยาย 1,000 และ 2,000 เท่า เพื่อดูลักษณะของเม็ดแป้งที่เตรียมได้



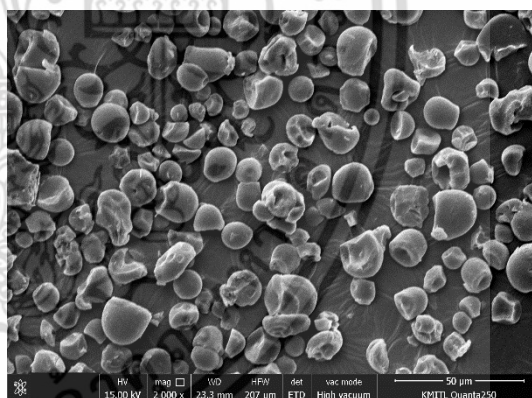
(ก) ODAS, 1,000X



(ข) ODAS, 2,000X

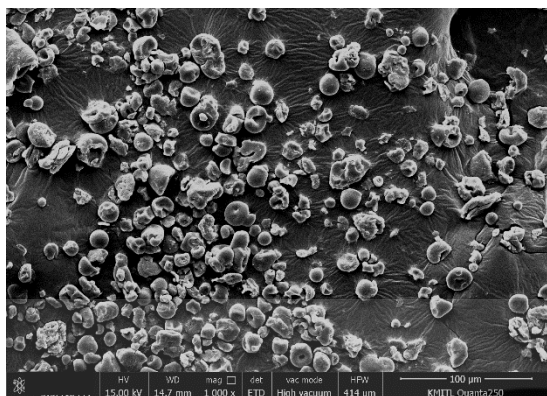


(ค) 0.25DAS, 1,000X

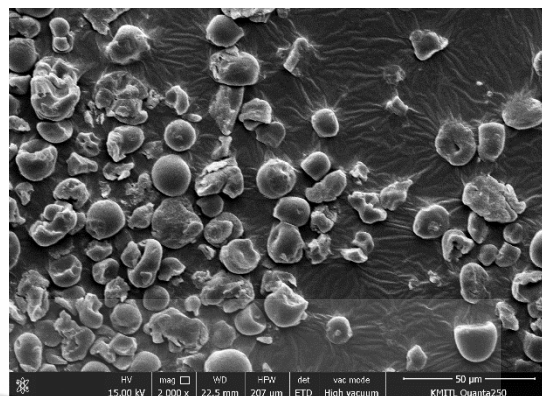


(ง) 0.25DAS, 2,000X

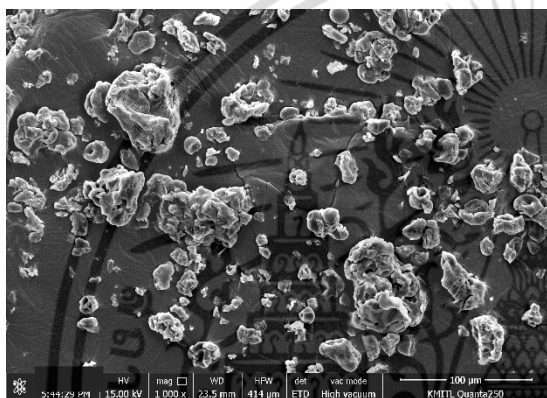
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



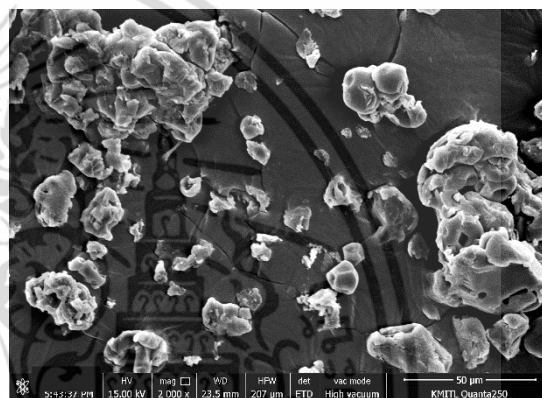
(จ) 0.5DAS, 1,000X



(ข) 0.5DAS, 2,000X



(ค) 1DAS, 1,000X



(ง) 1DAS, 2,000X

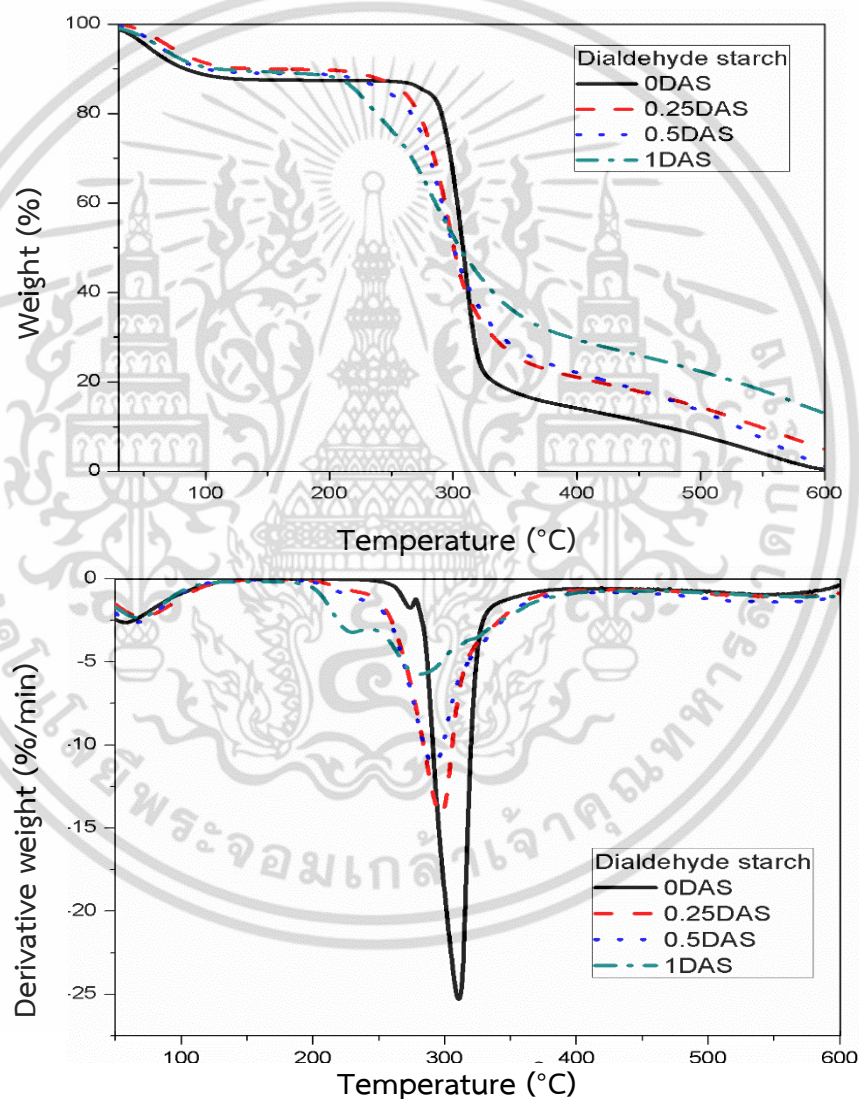
รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาแสดงลักษณะเม็ดแป้งมันสำปะหลัง (ก)-(ข) ODAS และ (ค)-(ง) แสดงลักษณะของแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.25DAS, 0.5DAS และ 1DAS ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ 2,000 เท่า

จากรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังและเม็ดแป้งไดอัลดีไฮด์ในแต่ละสูตร พบว่าแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโซเดียมเปอร์ไอโอดेटในอัตราส่วนที่แตกต่างกันนั้น แป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.25DAS และ 0.5DAS นั้นเม็ดแป้งมีรูปร่างคงเดิมและมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้แป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS เม็ดแป้งมีรูปร่างเปลี่ยนไป เนื่องจากเกิดการแตกพันธะบริเวณหมู่ไกลคอลเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลไปเป็นหมู่อัลดีไฮด์ เกิดพันธะเชื่อมโยงทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลของแป้ง ผลึกในโครงสร้างของแป้งถูกทำลาย [4] และเมื่อแป้งมีหมู่อัลดีไฮด์มากขึ้นจึงเกิดพันธะเชื่อมโยงได้มากขึ้นทำให้เม็ดแป้งไดอัลดีไฮด์เกิดการรวมตัวทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งไดอัลดีไฮด์

สมบัติทางความร้อนของแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตรที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดตต่างกัน ได้แก่ 1:1, 1:0.5 และ 1:0.25 โดยพิจารณาถึงอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (Decomposition temperature) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป (Weight loss) ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาลิเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน (N_2) และใช้สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ให้อยู่ในช่วง 50-600 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.5 เทอร์โมแกรมของแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตรที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอเดตต่างกัน (ก) TGA และ (ข) DTG

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) และ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ

แป้งไดอัลดีไฮด์	อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$)			น้ำหนักที่หายไป (%) (ช่วงที่ 3)
	ช่วงที่ 1 (น้ำ)	ช่วงที่ 2 (โมเลกุลแป้งที่มีหมู่อัลดีไฮด์)	ช่วงที่ 3 (แป้ง)	
0DAS	67.9	-	310.2	70.7
0.25DAS	70.2	244.2	296.3	68.5
0.5DAS	64.0	233.5	291.5	63.3
1DAS	66.9	229.8	280.2	51.2

จากรูปที่ 4.5 ตารางที่ 4.4 และภาคผนวก ข แสดงถึงเทอร์โมแกรม อุณหภูมิการสลายตัว และ เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป ของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 พบอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำที่อุณหภูมิ 67.9°C และที่อุณหภูมิ 310.2°C เป็นการสลายตัวของแป้ง [8] และมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป 70.7% ส่วนแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตร มีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัว 3 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงการสลายตัวของน้ำที่อุณหภูมิประมาณ $57-70^{\circ}\text{C}$ ช่วงที่ 2 คาดว่าเป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของโมเลกุลของแป้งที่มีหมู่อัลดีไฮด์ที่ประมาณ $229-244^{\circ}\text{C}$ [32-35] ช่วงที่ 3 ที่อุณหภูมิประมาณ 280°C ขึ้นไปเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง [36-38] และพบว่า แป้งที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้น ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่ 2 และ 3 มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากแป้งไดอัลดีไฮด์นั้นเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นผลทำให้เกิดเป็นหมู่อัลดีไฮด์ พร้อมทั้งยังเกิดพันธะเชื่อมโยงทำให้ทำลายความเป็นระเบียบภายในโมเลกุลของแป้ง ทำให้แป้งมีความเป็นผลึกน้อยลง [3] ส่งผลให้อุณหภูมิในการสลายตัวลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารออกซิไดส์ และยังพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปนั้นลดต่ำลงเมื่อปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากหมู่ อัลดีไฮด์สามารถเกิดเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลและพันธะภายในโมเลกุลของหมู่เฮมิอะซิทัลดและหมู่อะซิทัลด เกิดขึ้น แสดงถึงพันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิ 600°C แป้งที่มีหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นนั้นมี เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของถ่าน (% Char yield) [39] เพิ่มมากขึ้น คาดว่าเป็นส่วนของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงส่งผลให้เม็ดแป้งมีขนาดใหญ่และมีความแข็งแรงขึ้น ทำให้บางส่วนเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์กลายเป็นถ่านเหลืออยู่

4.2 สมบัติของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลตีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษาการเตรียมฟิล์มผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งไดอัลตีไฮด์นั้นทำได้โดยการนำแป้งไดอัลตีไฮด์สูตรต่าง ๆ ที่เตรียมได้นั้นมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปรในปริมาณต่างกัน ได้แก่ 0%, 30%, 50% และ 70% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้กลีเซอรอลเป็น พลาสติไซเซอร์ และทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการเทหล่อ จากนั้นนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติ ต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การทดสอบการบวมตัว การศึกษาการดูดซับน้ำ การศึกษาสัณฐานวิทยา การทดสอบสมบัติเชิงกล การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน และสมบัติทางความร้อน

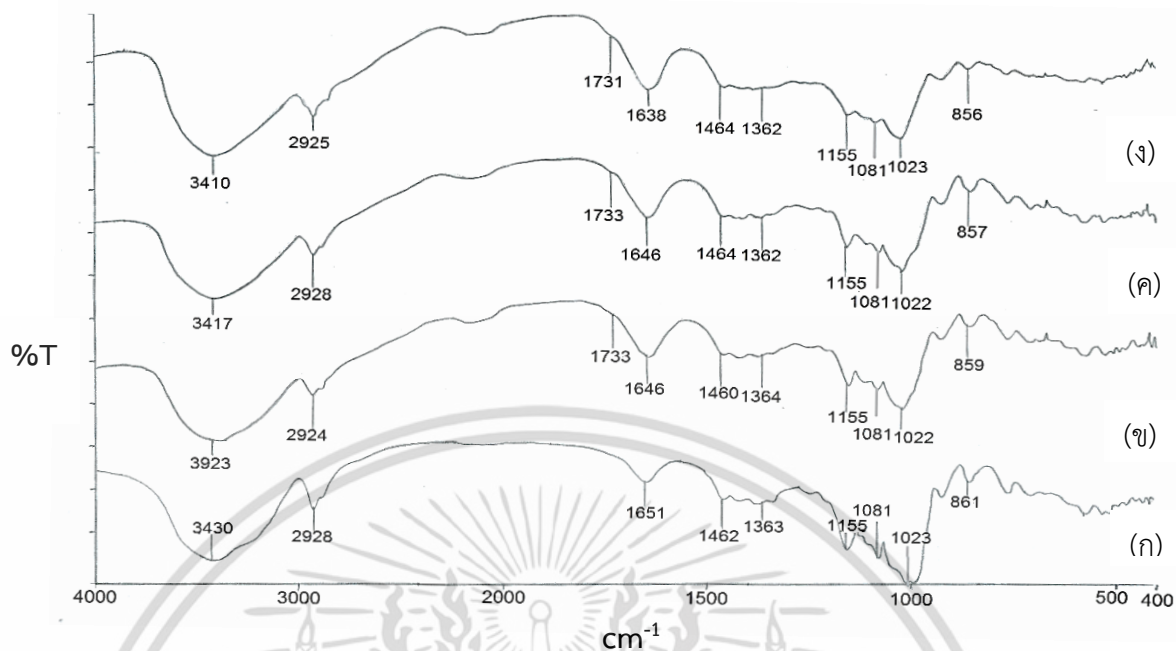
4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลตีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทำได้โดยการใช้เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปรผสมกับแป้งไดอัลตีไฮด์ในแต่ละสูตรในปริมาณที่แตกต่างกัน

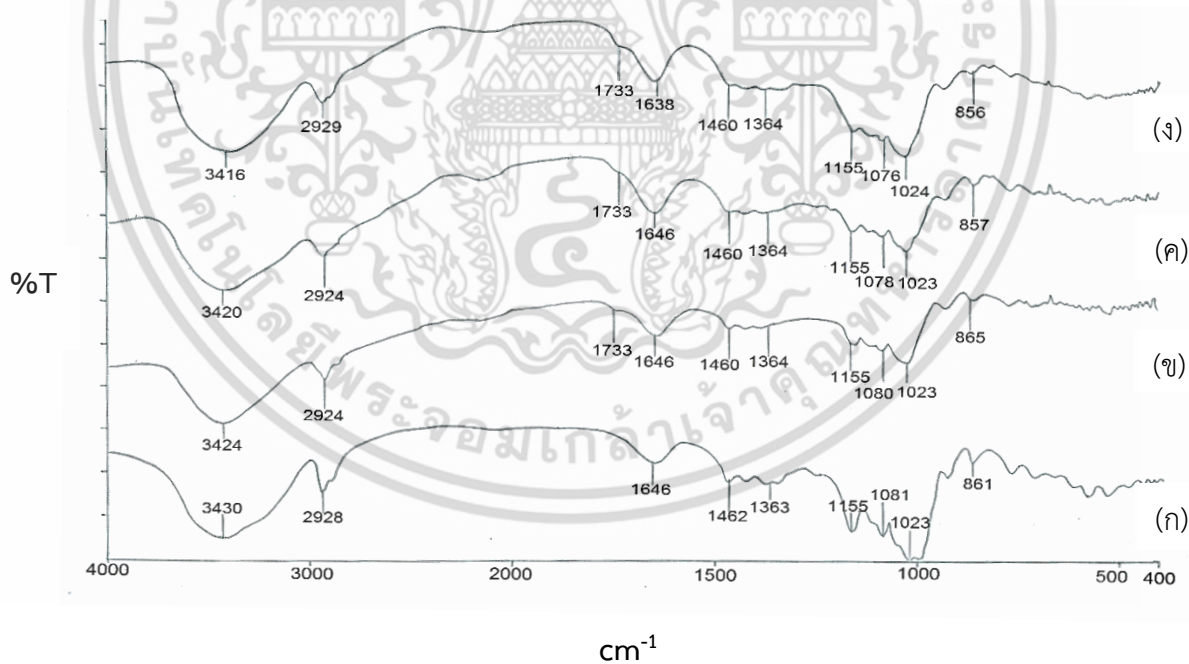
ตารางที่ 4.6 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้

เลขคลื่น (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น
3200-3600 (v)	O-H stretching
2800-3000 (m---s)	Alkane C-H stretching
1730-1750 (s)	Ester C=O stretching
1600-1630 (s)	Bounded water
1445-1485 (m)	O-H blending
1000-1350 (s)	C-O-C stretching
1000-1200 (s)	C-O-H blending

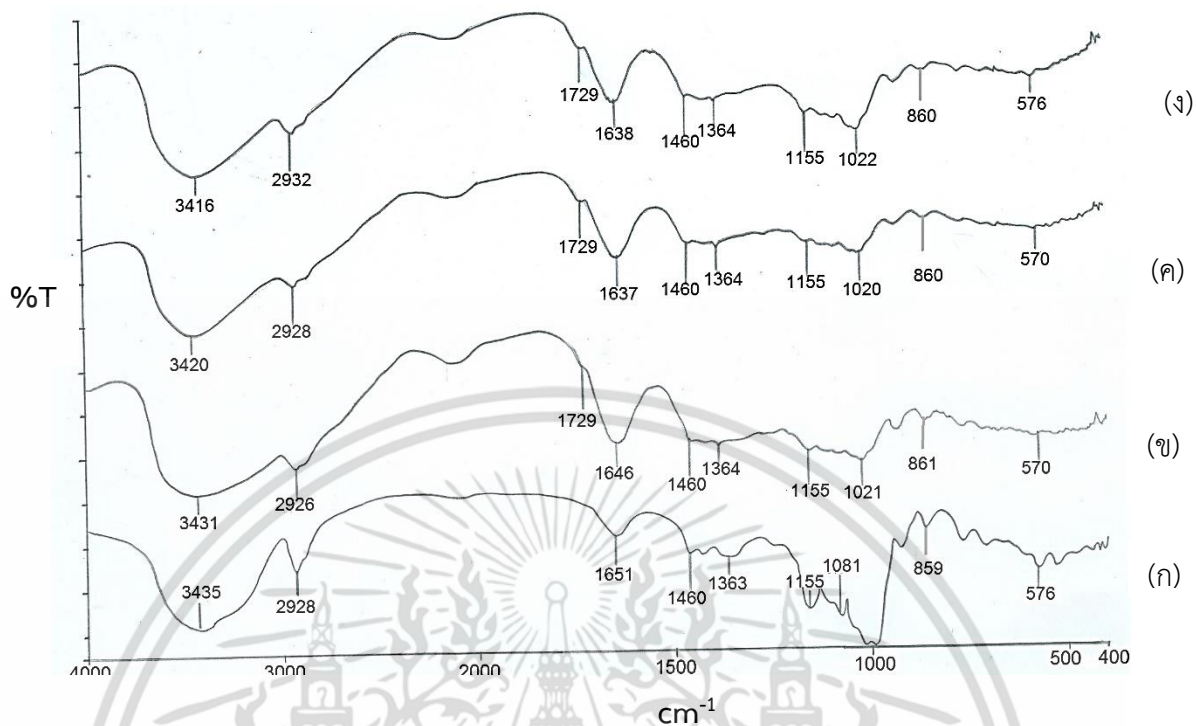
การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มแป้งไดอัลตีไฮด์ในสูตรต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มแป้งไดอัลตีไฮด์สเตร 0.25DAS ผสมกับแป้งมันสำปะหลังในปริมาณต่าง ๆ (ก) 0DAS0 (ข) 0.25DAS30 (ค) 0.25DAS50 และ (ง) 0.25DAS70



รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มแป้งไดอัลตีไฮด์สเตร 0.5DAS ผสมกับแป้งมันสำปะหลังในปริมาณต่าง ๆ (ก) 0DAS0 (ข) 0.5DAS30 (ค) 0.5DAS50 และ (ง) 0.5DAS70



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มแข็งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS ผสมกับน้ำมันสำปะหลังในปริมาณต่าง ๆ (ก) 0DAS (ข) 1DAS30 (ค) 1DAS50 และ (ง) 1DAS70

จากรูปที่ 4.6-4.8 และภาคผนวก ก พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมระหว่างแข็งไดอัลดีไฮด์กับน้ำมันสำปะหลัง มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน

สำหรับความแตกต่างของฟิล์มแข็งไดอัลดีไฮด์ ซึ่งตัดแปรโดยใช้ไซเตียมเปอร์ไอโอดีเตนในสูตรต่าง ๆ แล้วนำมาผสมกับแข็งที่ไม่ได้ทำการตัดแปรที่เปอร์เซ็นต์แตกต่างกัน พบพิคช่วง $1730-1750\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิลของแข็งไดอัลดีไฮด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณหมู่ไกลคอลของแข็งด้วยไซเตียมเปอร์ไอโอดีเตนทำให้เกิดเป็นหมู่อัลดีไฮด์ 2 หมู่ในหนึ่งหน่วยกลูโคส เกิดเป็นแข็งไดอัลดีไฮด์ ซึ่งคาดว่าบางส่วนสามารถเกิดอันตรกิริยาเคมีกับสายโซ่ข้างเคียงเกิดเป็นพันธะเชื่อมโยง [4] นอกจากนี้จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณพบว่าฟิล์มที่เติมแข็งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น และ เปอร์เซ็นต์ของแข็งไดอัลดีไฮด์ในฟิล์มเพิ่มขึ้น นั้นทำให้สัดส่วนพื้นที่ใต้กราฟของพิคที่ $1730-1750\text{ cm}^{-1}$ มีพื้นที่ของพิคมากขึ้นตามแนวโน้มเดียวกันกับจำนวนของหมู่คาร์บอนิลในแข็งไดอัลดีไฮด์ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจากการตัดแปรแข็งน้ำมันสำปะหลังให้เป็นแข็งไดอัลดีไฮด์เป็นผลให้พิคที่ 1155 cm^{-1} มี

สัดส่วนพื้นที่ได้กราฟลดลงซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งอัลดีไฮด์นั้นลดลง เปลี่ยนไปเป็นหมู่อัลดีไฮด์บางส่วนดังตารางที่ 4.7 และยังพบการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่นที่ลดต่ำลงของพีคที่ $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นของหมู่ O-H stretching เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาขึ้นใหม่ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Pawluk และ M. Mucha [40] ซึ่งกล่าวไว้ว่าพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสององค์ประกอบที่ผสมกันสามารถศึกษาได้จาก เทคนิค FTIR โดยเมื่อองค์ประกอบมีความเข้ากันได้ ทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยาเคมี (พันธะไฮโดรเจน) ขององค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2

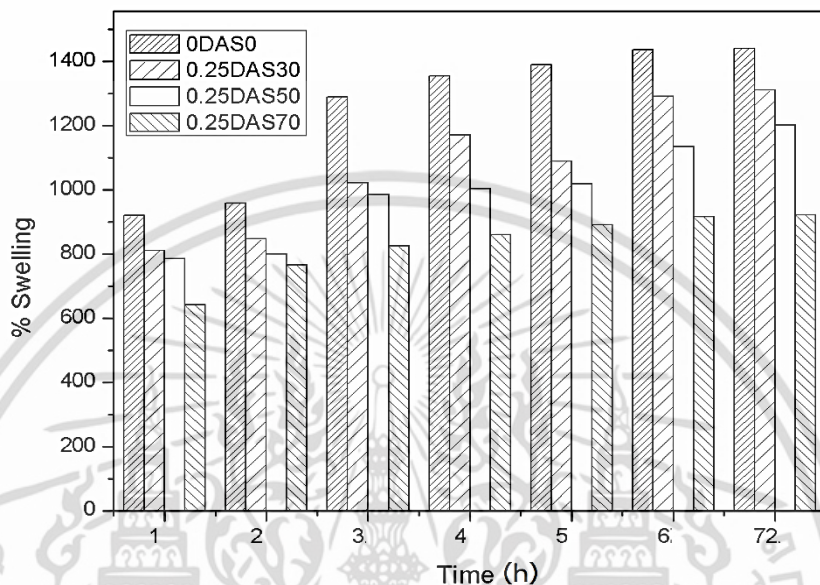
ตารางที่ 4.7 สัดส่วนพื้นที่ได้กราฟของพีคที่สนใจวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ตัวอย่าง	พื้นที่ได้กราฟของพีค ($\text{A}\cdot\text{cm}^{-1}$)			สัดส่วนพื้นที่ได้กราฟของพีค*	
	1735 cm^{-1}	1155 cm^{-1}	860 cm^{-1}	1735 cm^{-1}	1155 cm^{-1}
0DAS0	0	7.55	1.43	0	5.27
0.25DAS30	1.93	7.61	1.50	1.28	5.07
0.25DAS50	2.24	7.66	1.66	1.34	4.61
0.25DAS70	1.85	5.93	1.33	1.39	4.45
0.5DAS30	2.25	4.99	1.35	1.66	3.69
0.5DAS50	2.89	4.82	1.42	2.03	3.39
0.5DAS70	2.94	3.02	1.29	2.27	2.34
1DAS30	3.98	2.89	1.56	2.55	1.85
1DAS50	4.45	3.31	1.68	2.64	1.89
1DAS70	3.56	2.22	1.26	2.82	1.76

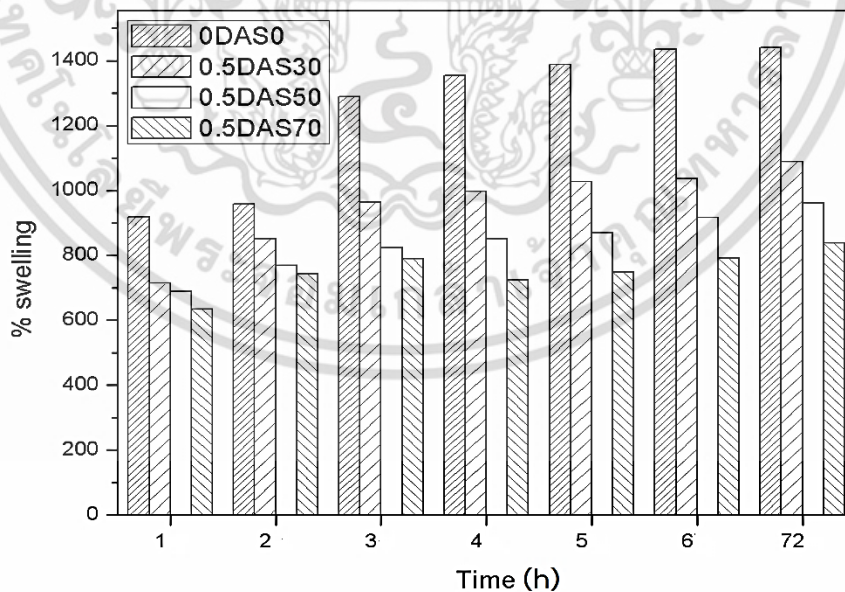
*หมายเหตุ สัดส่วนพื้นที่ได้กราฟ = พื้นที่ได้กราฟพีคที่สนใจ / พื้นที่ได้กราฟพีคที่ 860 cm^{-1}

4.2.2 การทดสอบการบวมตัวของของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง

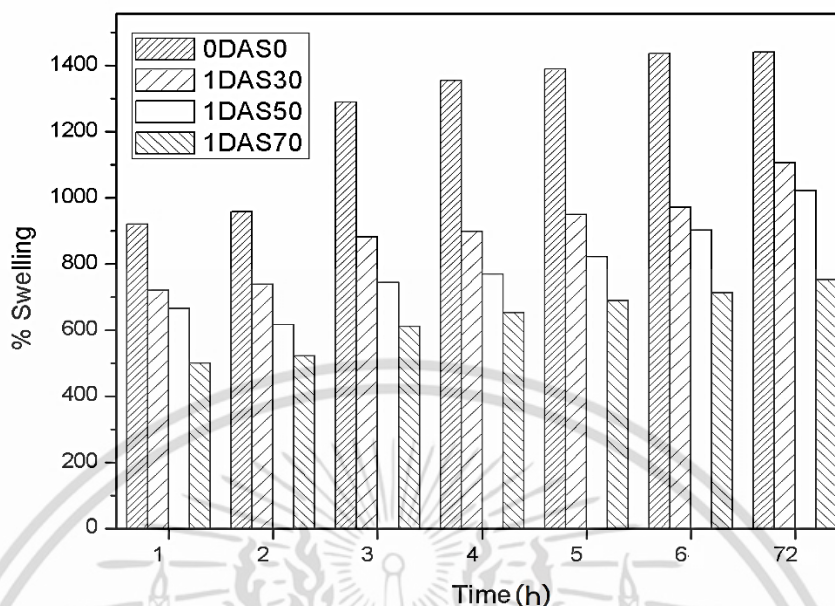
การทดสอบการบวมตัวเป็นการศึกษาความหนาแน่นของปริมาณพันธะเชื่อมโยงโดยนำฟิล์มที่เตรียมได้มาแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 72 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.9 เปรอ์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.25DAS ในปริมาณแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ต่างกันคือ 0%, 30%, 50% และ 70%



รูปที่ 4.10 เปรอ์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS ในปริมาณแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ต่างกันคือ 0%, 30%, 50% และ 70%



รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS ใน ปริมาณแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ต่างกันคือ 0%, 30%, 50% และ 70%

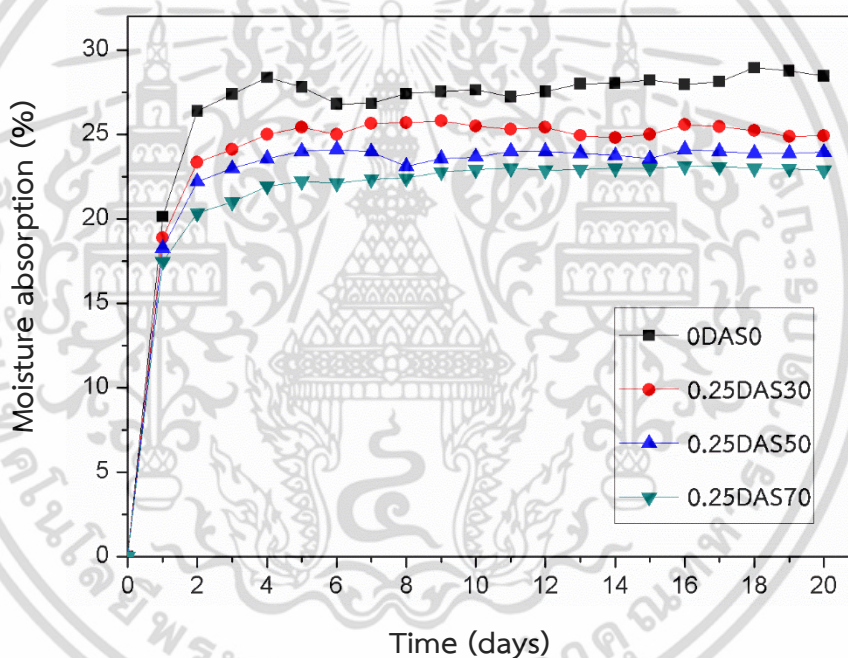
จากรูปที่ 4.9-4.11 และ ภาคผนวก ค แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์ในปริมาณต่าง ๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวมีผล คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การบวมตัวมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าลง และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร มีเปอร์เซ็นต์การบวมตัวมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างแป้งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความป็นขั้ว ซึ่งมีสมบัติการชอบน้ำจึงสามารถกักเก็บความน้ำ ไว้ในโครงสร้างได้ดี [41]

และพบว่าเมื่อเพิ่มแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์ของแป้งไดอัลดี ไฮด์ต่อน้ำหนักของแป้งเพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากหมู่ไฮ ดรอกซิลในโมเลกุลของแป้งมันสำปะหลังลดลง เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไดอัลดีไฮด์ เกิดเป็น พันธะระหว่างโมเลกุลและพันธะภายในโมเลกุลของหมู่เอมีอะซิทิลและหมู่อะซิทิล ซึ่งเป็นพันธะเชื่อมโยง เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FT-IR รูปที่ 4.6-4.8 โดยพีคบริเวณ 1155 cm^{-1} แสดงการสั่นแบบ C-O-H bending ของแป้งนั้นมีความเข้มพีคลดต่ำลงเนื่องจากจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งลดลง ทำให้แป้งมี สมบัติในการชอบน้ำลดลง และฟิล์มแป้งที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีพันธะ เชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น [23] ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของแป้งเคลื่อนที่ให้น้ำเข้ามาในโครงสร้างโมเลกุลของ แป้งได้ยาก จึงมีค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จินตภา เต็มสีคราม ที่ ทำการศึกษาฟิล์มมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงด้วยกรดต่าง ๆ พบว่าเมื่อฟิล์มมีความหนาแน่นของพันธะ

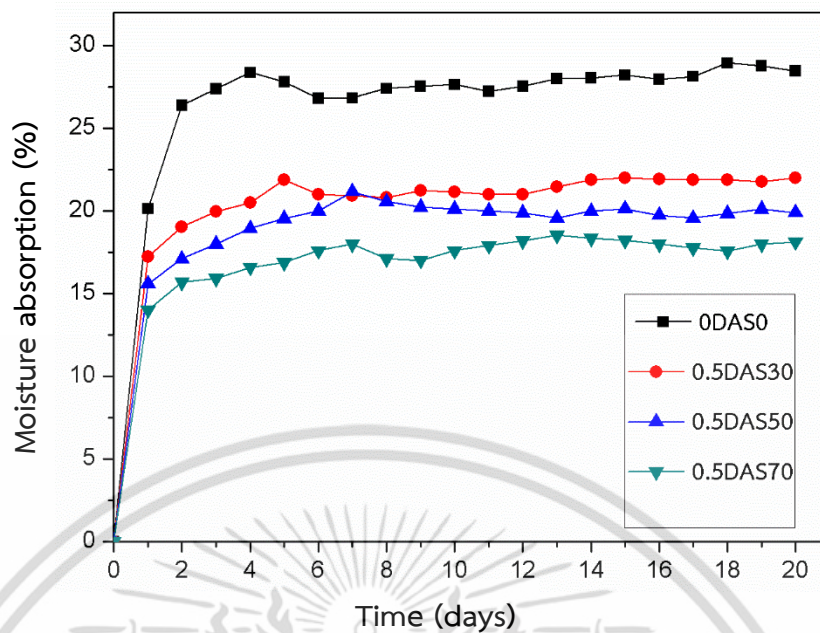
เชื่อมโยงมากขึ้น ทำให้น้ำเข้ามาภายในโครงสร้างของแป้งได้ยากขึ้น จึงมีเปอร์เซ็นต์ค่าการบวมตัวลดลง [34]

4.2.3 การทดสอบการดูดซับความชื้นของของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลตีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง

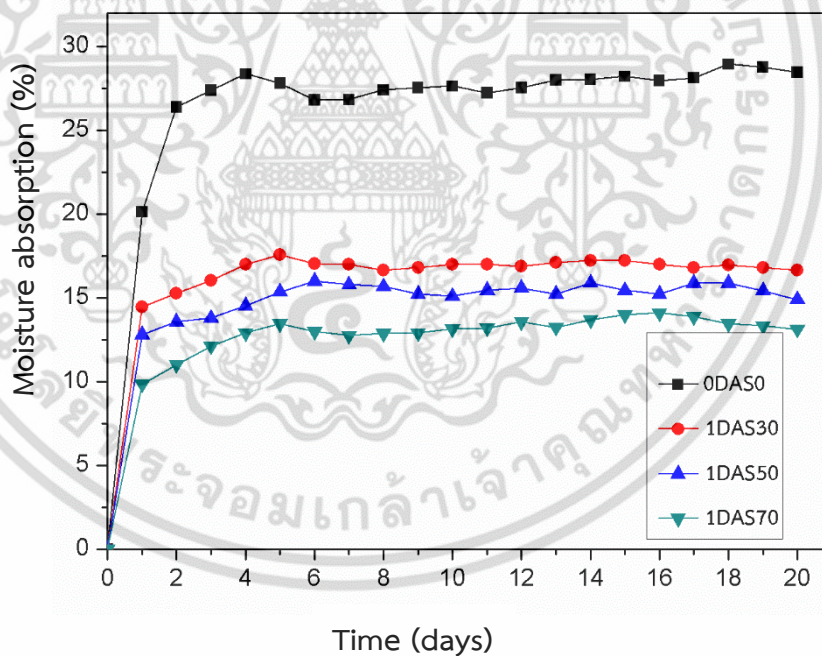
จากการทดสอบการหาปริมาณการดูดซับความชื้นโดยนำฟิล์มแป้งไดอัลตีไฮด์ที่ผสมแป้งมันสำปะหลังในสูตรต่าง ๆ มาทำการทดสอบโดยการวางในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ $98 \pm 2\%$ ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.12 เปอร์เซนต์การดูดซับความชื้นของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลตีไฮด์สูตร 0.25DAS ในปริมาณต่างกัน คือ 0%, 30%, 50% และ 70%



รูปที่ 4.13 เปรอ์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS ในปริมาณต่างกันคือ 0%, 30%, 50% และ 70%



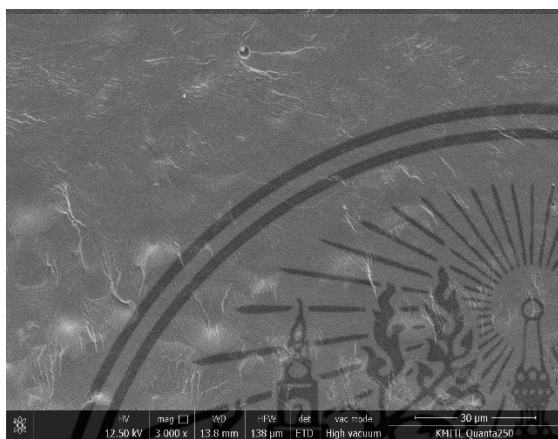
รูปที่ 4.14 เปรอ์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS ในปริมาณต่างกัน คือ 0%, 30%, 50% และ 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

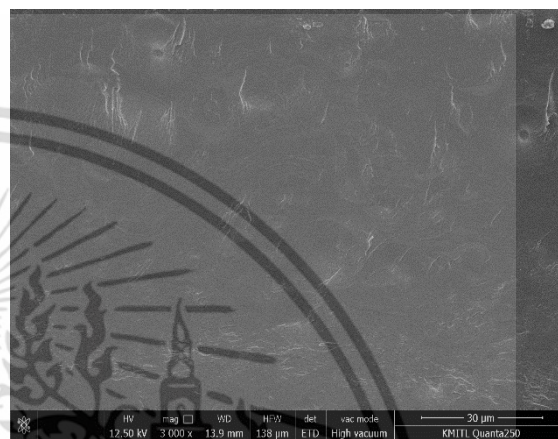
จากรูปที่ 4.12-4.14 และ ภาคผนวก ง แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์ปริมาณต่าง ๆ ในแต่ละสูตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีผลคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรก หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งงานมีความอึดตัวไม่สามารถดูดซับความชื้นเข้าไปได้อีก และเมื่อพิจารณาฟิล์มที่เพิ่มแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์แป้งไดอัลดีไฮด์ต่อน้ำหนักของแป้งเพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มลดต่ำลง เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของแป้งมันสำปะหลังลดลงเนื่องจากเปลี่ยนไปเป็นหมู่อัลดีไฮด์ แล้วเกิดพันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FT-IR รูปที่ 4.6-4.8 โดยพีกบริเวณ 1155 cm^{-1} แสดงการสั่นแบบ C-O-H bending ของแป้งมีความเข้มพีก ลดต่ำลงเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งลดลง ทำให้แป้งมีสมบัติในการชอบน้ำลดลง และฟิล์มแป้งที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีพันธะเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น [23] ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของแป้งเคลื่อนที่ให้น้ำเข้ามาในโครงสร้างโมเลกุลของแป้งได้ยาก จึงมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นลดน้อยลง และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างแป้งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความเป็นขั้ว ซึ่งมีสมบัติการชอบน้ำ จึงสามารถกักเก็บความน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดี [41] ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบการบวมตัวในหัวข้อที่ 4.2.2 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Yu และคณะ ได้ทำการเตรียมฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันฝรั่ง พบว่าเมื่อฟิล์มจากแป้งที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้น ทำให้ฟิล์มมีการดูดซับความชื้นได้ลดลง [4]

4.2.4 สัณฐานวิทยาของฟิล์มผสมจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์

การศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ ทำได้โดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า เพื่อศึกษาบริเวณภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์ม



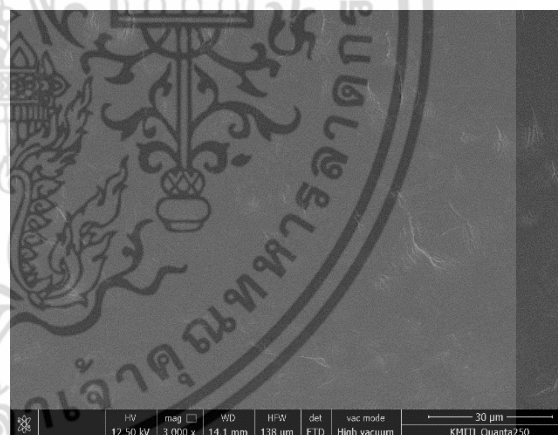
(ก) 0DAS0, 3,000X



(ข) 0.25DAS30, 3,000X

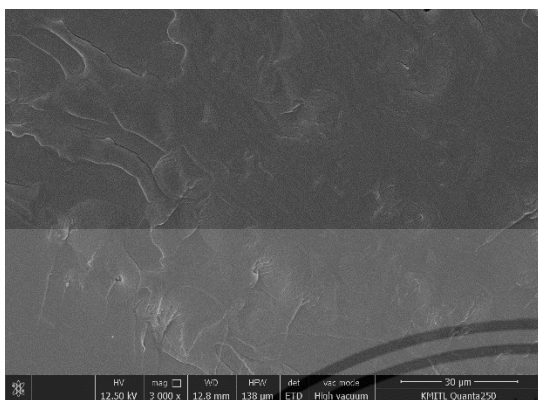


(ค) 0.25DAS50, 3,000X

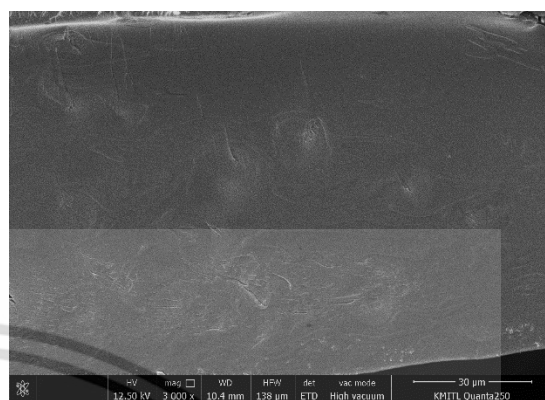


(ง) 0.25DAS70, 3,000X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) 0.5DAS30, 3,000X



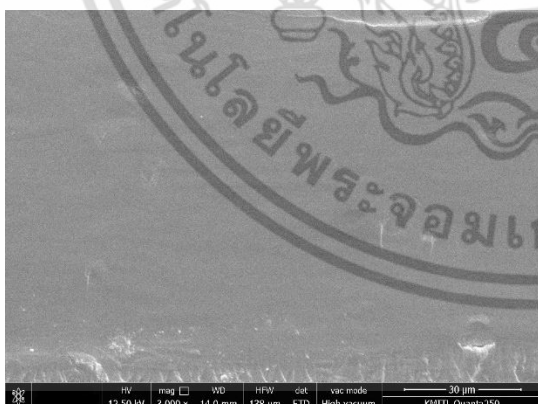
(ฉ) 0.5DAS50, 3,000X



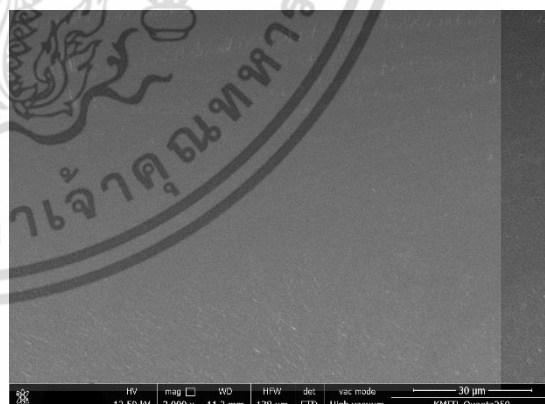
(ช) 0.5DAS70, 3,000X



(ซ) 1DAS30, 3,000X



(ณ) 1DAS50, 3,000X

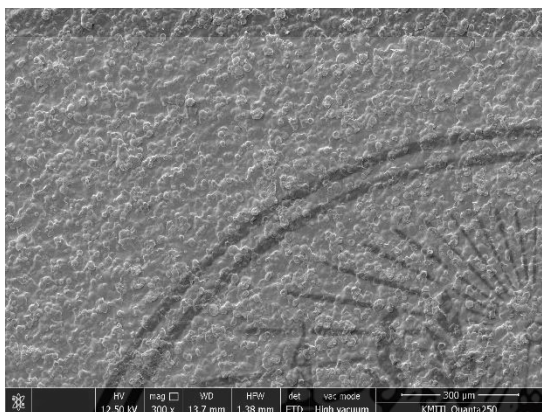


(ญ) 1DAS70, 3,000X

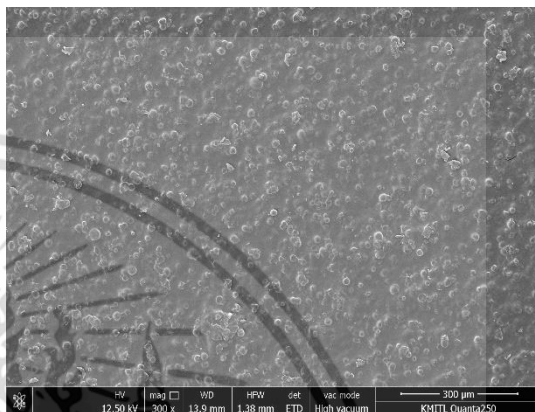
รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง (ก) ODAS0 และฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ (ข)-(ญ) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

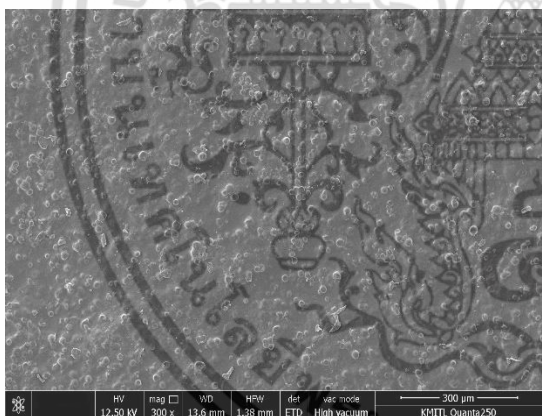
การศึกษาสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง โดยใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงได้ดังนี้



(ก) ODAS0, 300X



(ข) 0.25DAS30, 300X

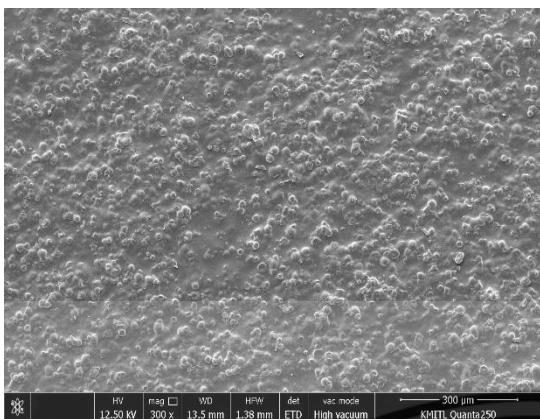


(ค) 0.25DAS50, 300X

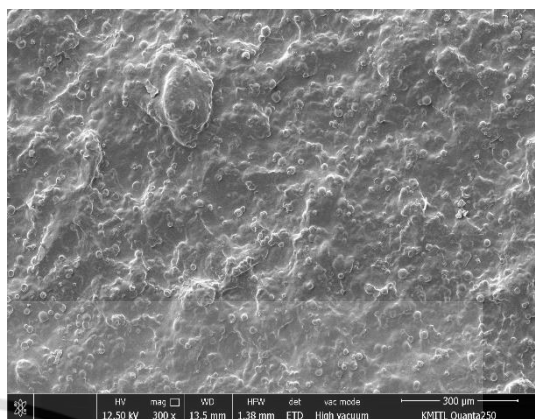


(ง) 0.25DAS70, 300X

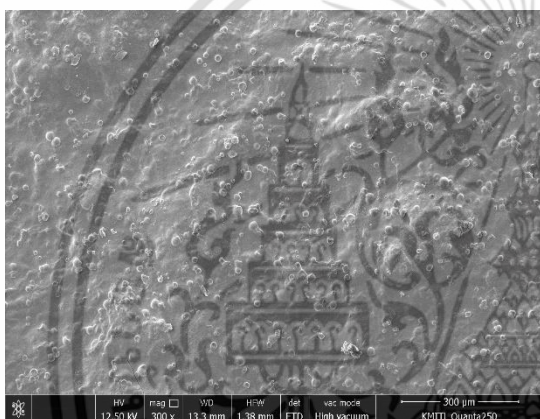
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



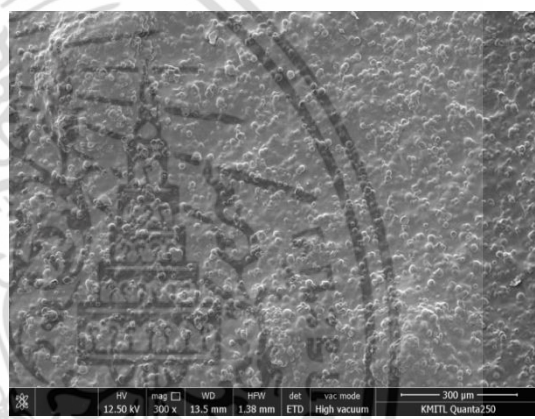
(จ) 0.5DAS30, 300X



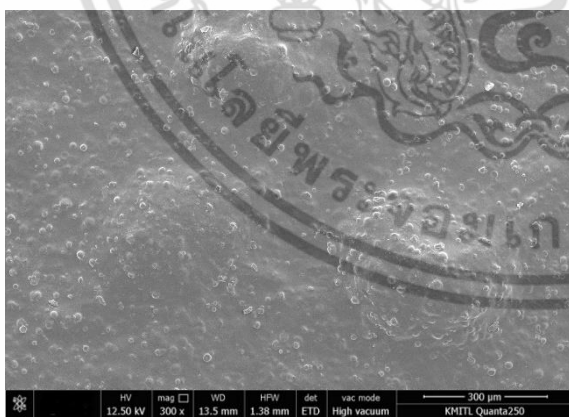
(ฉ) 0.5DAS50, 300X



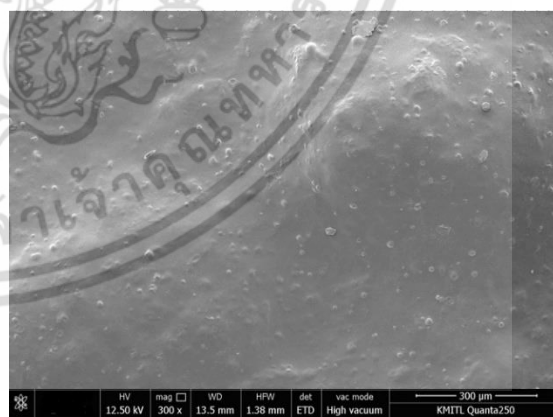
(ช) 0.5DAS70, 300X



(ซ) 1DAS30, 300X



(ณ) 1DAS50, 300X



(ญ) 1DAS70, 300X

รูปที่ 4.16 สันฐานวิทยาแสดงพื้นผิวของฟิล์มแข็งน้ำมันสำปะหลัง (ก) ODASO และฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ สูตรต่าง ๆ (ข)-(ญ) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

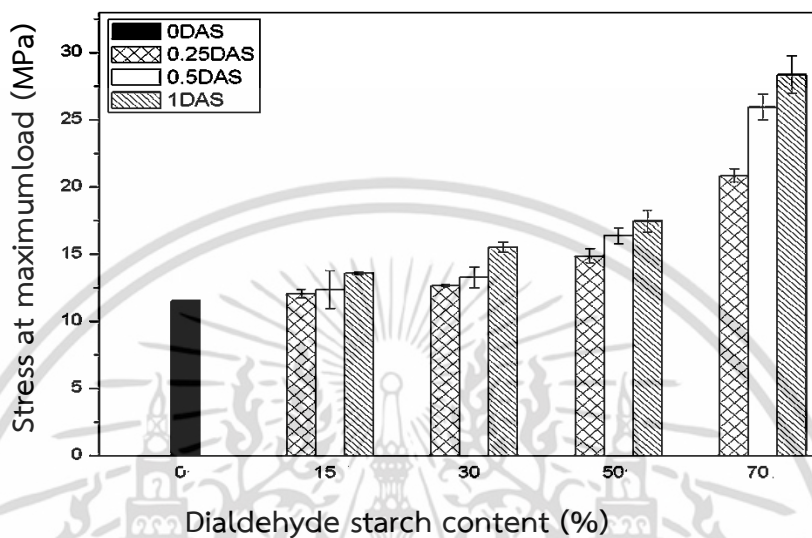
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 (ก)-(ญ) แสดงลักษณะภาคตัดขวางและพื้นผิวของฟิล์มที่กำลังขยาย 3,000 เท่า เปรียบเทียบระหว่างฟิล์มแข็งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ พบว่าลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มแข็งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์นั้น มีลักษณะขรุขระเนื่องจากมีเม็ดแป้งบางส่วนหลอมไม่สมบูรณ์ เนื่องจากขั้นตอนในการขึ้นรูปฟิล์มใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่ำ ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) และน้ำไม่สามารถเข้าไปทำลายบริเวณที่เป็นผลึกของเม็ดแป้งบางส่วน จึงทำให้เหลือเม็ดแป้งที่ไม่หลอมกระจายตัวอยู่ในเนื้อฟิล์ม ส่วนบริเวณที่เป็นเนื้อเดียวกันนั้นเกิดจากการให้ความร้อนแก่แป้งในสภาพที่มีน้ำเพียงพอที่สามารถเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ภายในโมเลกุลของแป้งทำให้น้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปในเม็ดแป้งแล้วเกิดการพองตัวทำให้โครงสร้างภายในแป้งแตกออกทำให้ฟิล์มบางส่วนเป็นเนื้อเดียวกัน [8] จากงานวิจัยของ J. Yu และคณะได้ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาเรชแป้งไดอัลดีไฮด์จากแป้งมันฝรั่งพบว่า ฟิล์มมีลักษณะเรียบเหมือนกันทุกสูตร เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูง ถึง 90 องศาเซลเซียส ทำให้เม็ดแป้งหลอมได้อย่างสมบูรณ์ [4] และจากรูปที่ 4.16 (ก)-(ญ) แสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มพบว่ามีความขรุขระ ไม่เรียบ เนื่องจากแป้งไดอัลดีไฮด์เมื่อให้ความร้อนเพื่อทำการขึ้นรูปนั้นเกิดการบวมตัวเป็นก้อนเจลกระจายตัวอยู่ทั่วแผ่นฟิล์มและมีขนาดใหญ่ขึ้นตามการขนาดของเม็ดแป้งไดอัลดีไฮด์ที่เตรียมได้

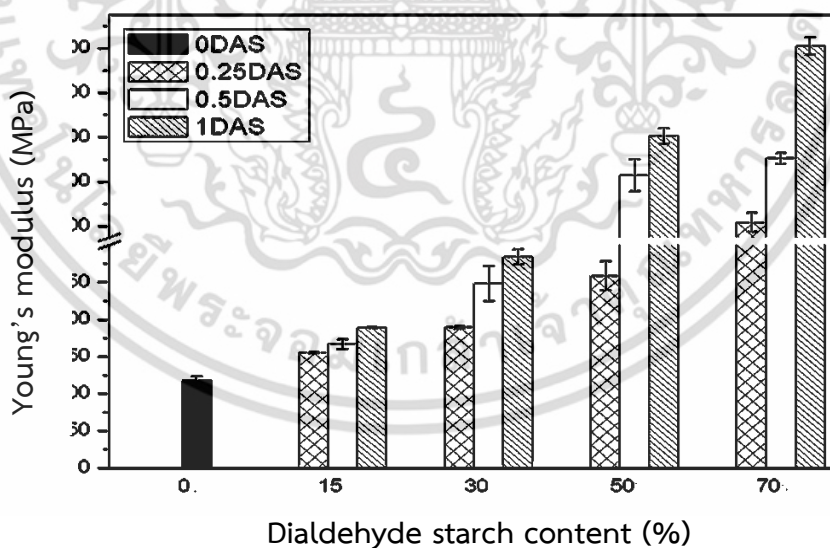
ฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีหมู่อัลดีไฮด์มากขึ้น และเปอร์เซ็นต์ที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลังมากขึ้นนั้น ทำให้ฟิล์มเรียบเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น เนื่องจากเมื่อแป้งมันสำปะหลังเปลี่ยนไปเป็นแป้งไดอัลดีไฮด์ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 4.1.4 อีกทั้งในกระบวนการขึ้นรูปนั้น ได้มีการให้ความร้อนแก่แป้งไดอัลดีไฮด์อุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส เพื่อให้แป้งไดอัลดีไฮด์เกิดการบวมตัวทำให้เม็ดแป้งบางส่วนที่ปนอยู่กับแป้งไดอัลดีไฮด์หลอมอย่างสมบูรณ์พร้อมทั้งแป้งไดอัลดีไฮด์นั้นกักเก็บน้ำไว้ในโมเลกุลได้น้อยจึงไม่เกิดเจล [2] ดังผลการศึกษาคความหนืดในหัวข้อที่ 4.1.3 ทำให้น้ำในระบบเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ตัดแปรได้มากขึ้นทำให้เม็ดแป้งหลอมได้มากขึ้นทำให้ฟิล์มเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเรียบเพิ่มขึ้น และสังเกตได้ว่าในฟิล์มผสมนั้นแป้งมันสำปะหลังกับแป้งไดอัลดีไฮด์สามารถเข้ากันได้ดี ไม่มีรอยต่อของวัฏภาคระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และแป้งไดอัลดีไฮด์ เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งและแป้งไดอัลดีไฮด์สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FTIR รูปที่ 4.6-4.8

4.2.5 สมบัติเชิงกลของของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง

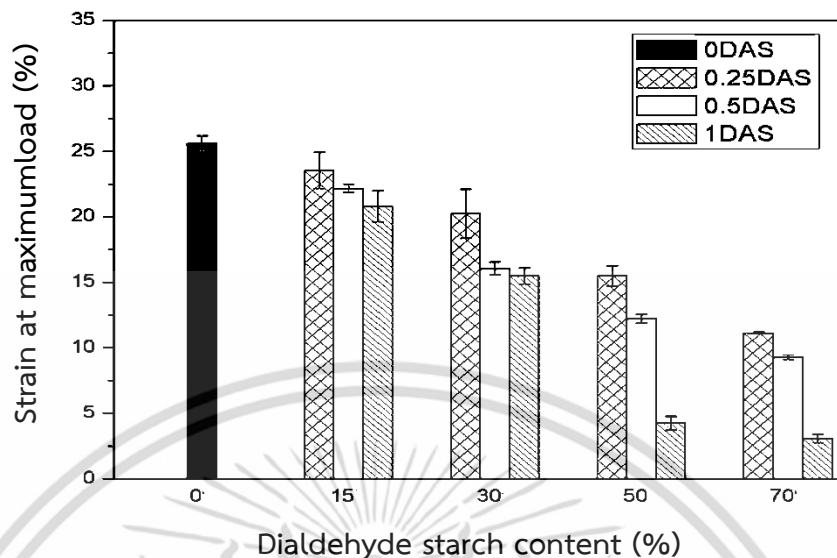
สมบัติเชิงกลที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่ ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส เเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด ของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ โดยมีผลการทดลอง ดังนี้



รูปที่ 4.17 ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ



รูปที่ 4.18 มอดุลัส ของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ



รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์ดิงยัด ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมระหว่าง แป้งไดอัลดีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ

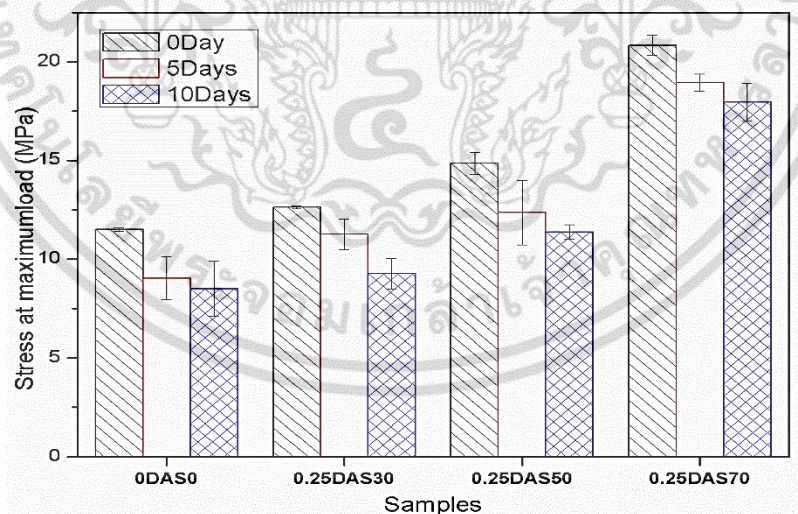
จากรูปที่ 4.17-4.19 และภาคผนวก จ แสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ทำการตัดแปรร และฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์กับแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ ที่ควบคุมสภาวะก่อนการทดสอบ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปรรมีค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสน้อยที่สุด แต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดมากที่สุด เนื่องจากฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งเป็นหมู่มีขั้ว มีสมบัติในการชอบน้ำ ทำให้ฟิล์มสามารถดูดความชื้นไว้ในโครงสร้างได้มาก ซึ่งความชื้นทำหน้าที่เสมือนพลาสติกไซเซอร์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งเคลื่อนที่ได้ง่าย ฟิล์มจึงมีความแข็งแรงน้อยและสามารถดึงยืดได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์กับแป้งมันสำปะหลัง พบว่า ฟิล์มที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งไดอัลดีไฮด์ในการผสมต่อน้ำหนักของแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด และค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดต่ำลง เนื่องจากแป้งไดอัลดีไฮด์มีการดูดซับความชื้นลดลง ซึ่งสอดคล้องจากผลของการดูดซับน้ำในหัวข้อที่ 4.2.3 เพราะโครงสร้างของแป้งไดอัลดีไฮด์มีหมู่ไฮดรอกซิลลดลง เนื่องจากมีพันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้น เมื่อนำสารละลายแป้งไปให้ความร้อนเพื่อทำการขึ้นรูป ส่วนที่เป็นแป้งไดอัลดีไฮด์ จะเกิดการบวมหรือพองตัวเป็นเม็ดเจลที่มีความแข็งแรง และมีเสถียรภาพของเจลมากกว่าเจลของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้มีการตัดแปรรกระจายอยู่ในฟิล์มแป้ง กลายเป็นส่วนเสริมแรงในฟิล์มทำให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

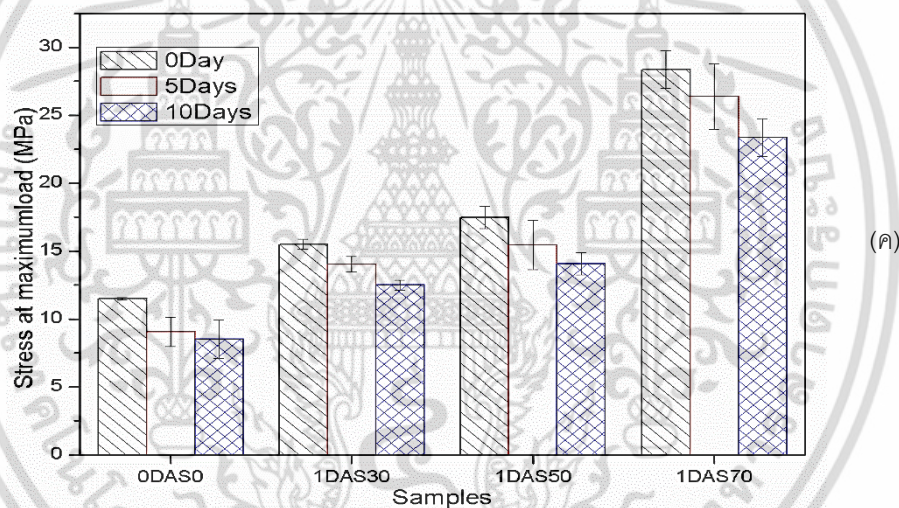
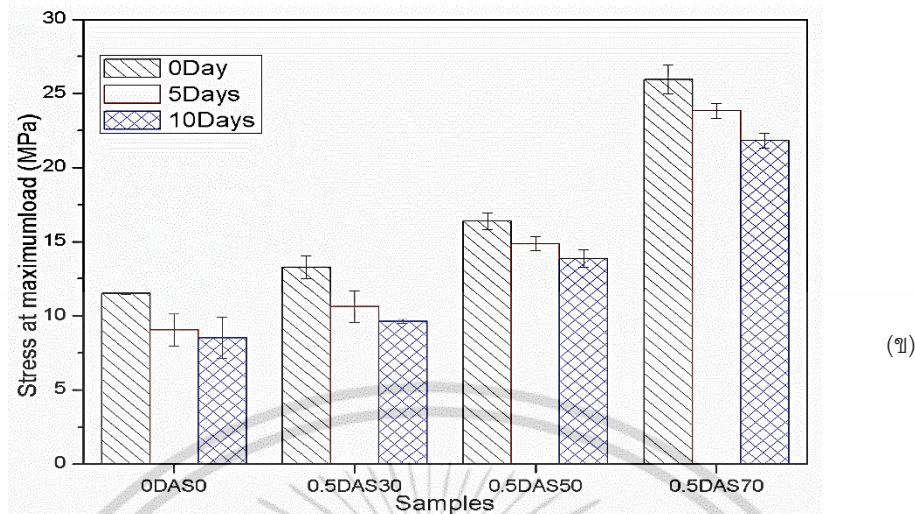
เมื่อพิจารณาแปงไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์ไม่เท่ากันนั้น พบว่า แปงไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS ซึ่งมีหมู่แทนที่อัลดีไฮด์มากที่สุดมีความแข็งแรงมากที่สุด เนื่องจากแปงที่มีหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้นสามารถเกิดการเชื่อมโยงได้มากขึ้นซึ่งเป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์ม รองลงมา คือ แปงไดอัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS และแปงสูตร 0.25DAS มีสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ ค่ามอดุลัสน้อยลง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของแปงไดอัลดีไฮด์ต่อน้ำหนักของแปงที่เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Yu และคณะ ที่ได้ทำการศึกษาค่าการเตรียมฟิล์มแปงไดอัลดีไฮด์จาก แปงมันฝรั่งซึ่งฟิล์มที่มีหมู่อัลดีไฮด์แตกต่างกัน พบว่าฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมจากแปงไดอัลดีไฮด์ที่มีหมู่อัลดีไฮด์มากขึ้นนั้น เป็นผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มมากขึ้น มอดุลัสสูงขึ้น และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดต่ำลง [4] และจากผลการทดสอบสัณฐานวิทยาของฟิล์มแปงที่เตรียมได้สูตรต่าง ๆ ในหัวข้อที่ 4.2.4 พบว่าฟิล์มที่ผสมระหว่างแปงมันสำปะหลังกับแปงไดอัลดีไฮด์ที่มีหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น และเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของแปงมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปรเพิ่มขึ้นนั้น ทำให้ฟิล์มเรียบเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มมากขึ้นฟิล์มจึงมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

4.2.6 การทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มผสมจากแปงไดอัลดีไฮด์และแปงมันสำปะหลัง

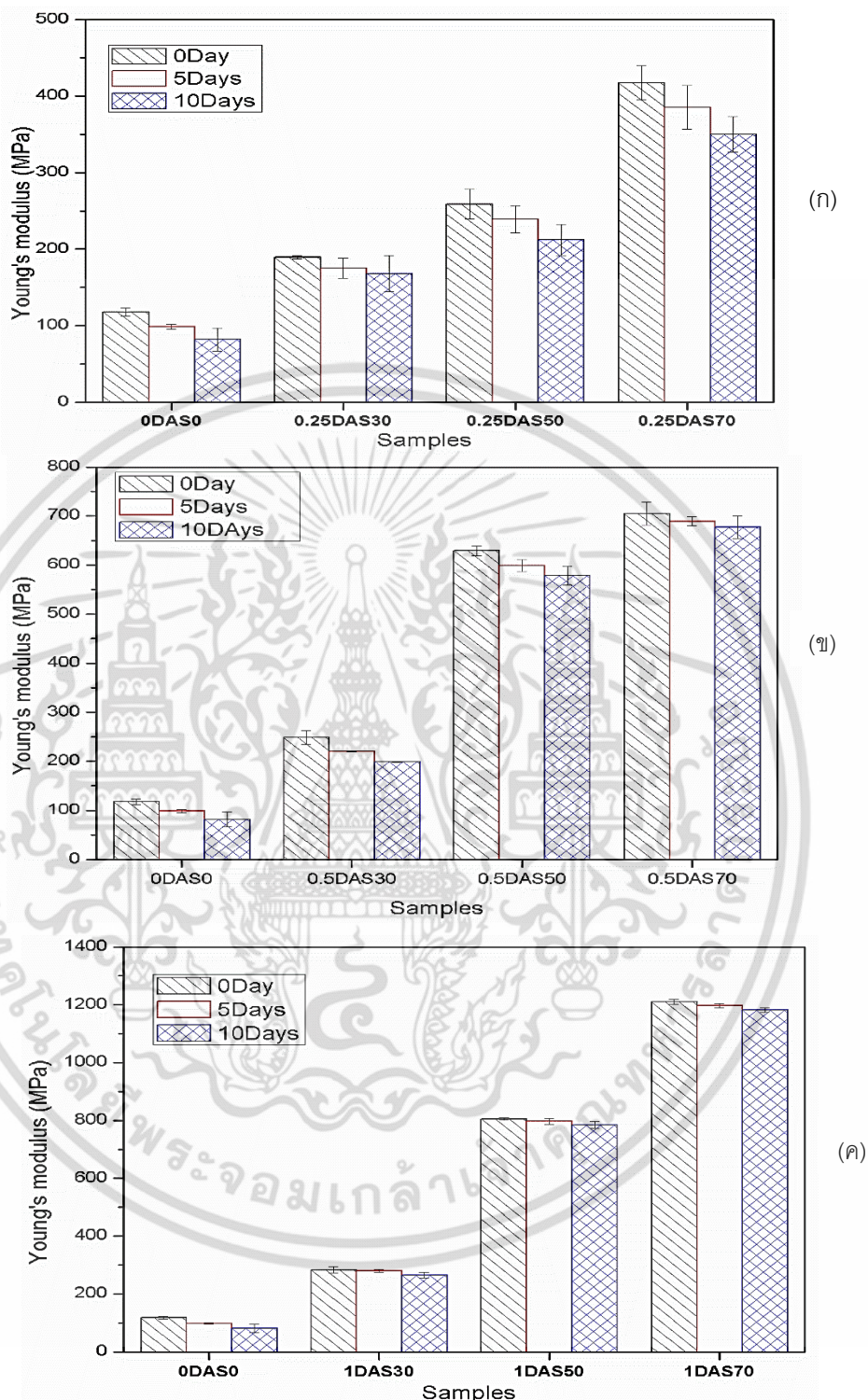
การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน เป็นการนำฟิล์มแปงไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตร ที่เตรียมได้มาฝังดินเป็นระยะเวลา 5 และ 10 วัน ที่มีการควบคุมความชื้นของดินคงที่อยู่ที่ 10-15% แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล อันได้แก่ ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด ค่ามอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด



(ก)



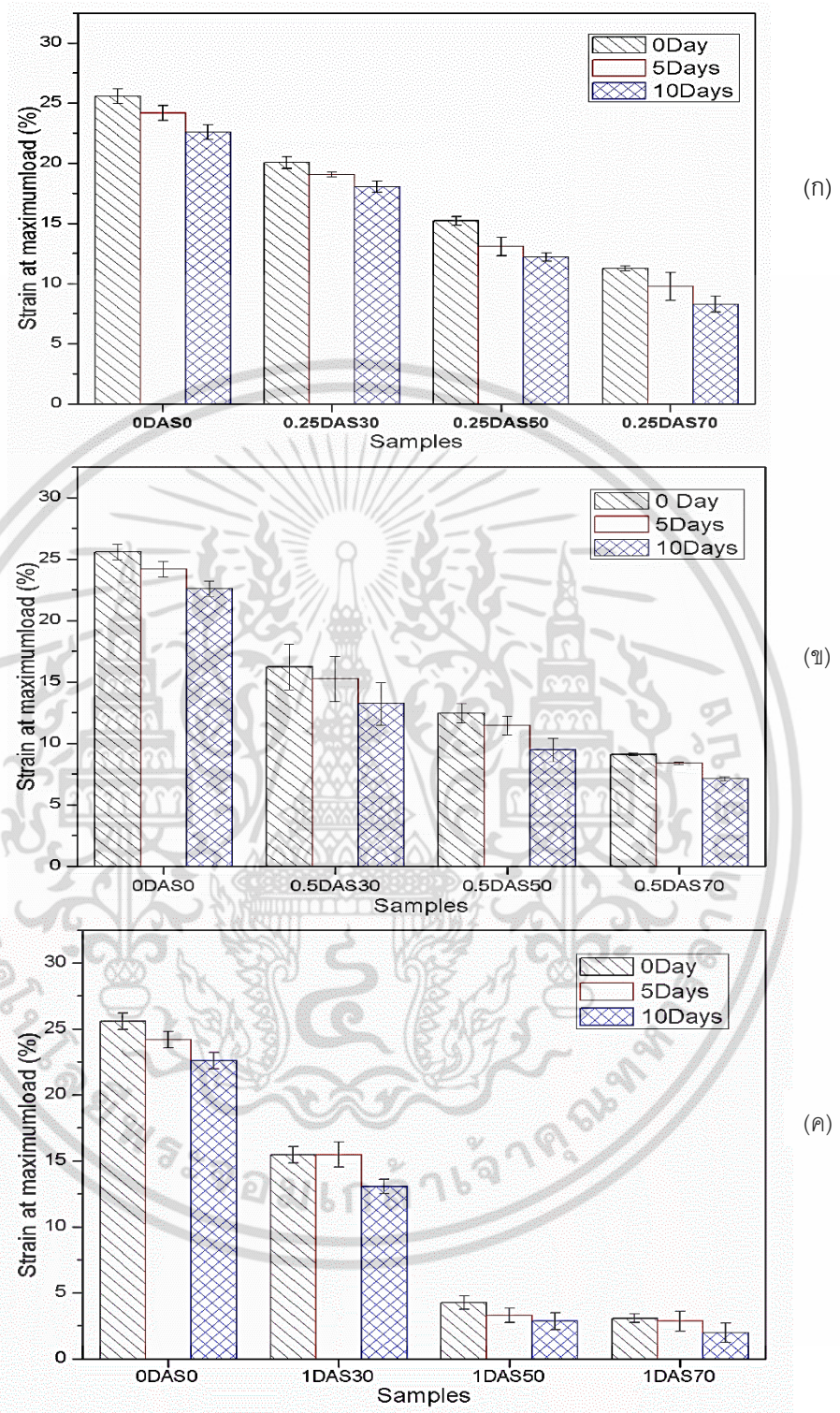
รูปที่ 4.20 ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลตีไฮด์ และแป้งมันสำปะหลังสุตรต่าง ๆ (ก) 0.25DAS (ข) 0.5DAS และ (ค) 1DAS



รูปที่ 4.21 มอดุลัสของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่างๆ

(ก) 0.25DAS (ข) 0.5DAS และ (ค) 1DAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุดของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลตีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ (ก) 0.25DAS (ข) 0.5DAS และ (ค) 1DAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมหลังทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 10 วัน

ตัวอย่าง	การลดลงของสมบัติเชิงกล (%)		
	ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด	ค่ามอดุลัส	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด
0DAS0	30.4	30.5	20.7
0.25DAS30	26.5	20.6	17.5
0.25DAS50	23.5	17.9	15.7
0.25DAS70	20.6	16.0	14.2
0.5DAS30	19.6	14.5	12.5
0.5DAS50	15.3	8.1	12.0
0.5DAS70	15.0	6.3	11.1
1DAS30	13.3	4.5	8.7
1DAS50	12.3	3.1	7.1
1DAS70	10.5	2.8	5.2

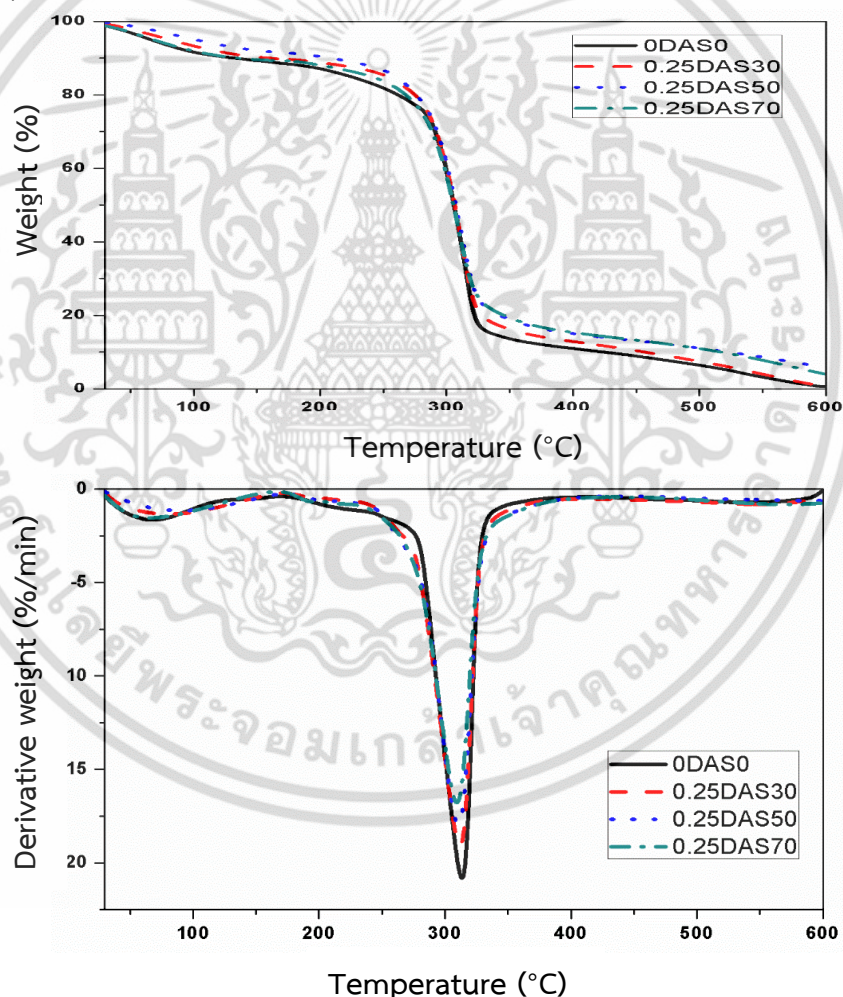
เมื่อพิจารณาการทดสอบสมบัติเชิงกลหลังการย่อยสลายด้วยการฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการฝังดิน จากรูปที่ 4.20-4.22 และ ภาคผนวก ฉ พบว่าสมบัติเชิงกลหลังการย่อยสลายด้วยการฝังดินเป็นระยะเวลา 5 และ 10 วัน มีแนวโน้มลดลงทุกสมบัติ กล่าวคือ ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด โดยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงมีแนวโน้มลดลงมากกว่าฟิล์มที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแป้งไดอัลตีไฮด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 เนื่องจากภายในดินมีความชื้นโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่มีความเป็นขั้ว ซึ่งมีสมบัติชอบดูดซับน้ำและสามารถกักเก็บความชื้นไว้ในโครงสร้างแล้วเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับโมเลกุลของแป้ง ทำให้สายโซ่โมเลกุลมีขนาดสั้นลงจึงเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้นจึงเกิดการขาดง่ายขึ้น นอกจากนี้ทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในดินสามารถเข้าไปในโครงสร้างของพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้นทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น [42-43]

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลหลังฝังดินของฟิล์มแป้งที่ผสมแป้งไดอัลตีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่แทนที่อัลตีไฮด์เพิ่มมากขึ้น และปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติในการย่อยสลายลดลง เนื่องจากฟิล์มแป้งไดอัลตีไฮด์ยังมีหมู่อัลตีไฮด์มากหมู่ไฮดรอกซิลยิ่งลดลง ทำให้ดูดซับน้ำได้น้อยลง จึงทำให้เกิดการ

ย่อยสลายได้ช้าลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการบวมตัวและการดูดซับความชื้นในหัวข้อที่ 4.2.2-4.2.3

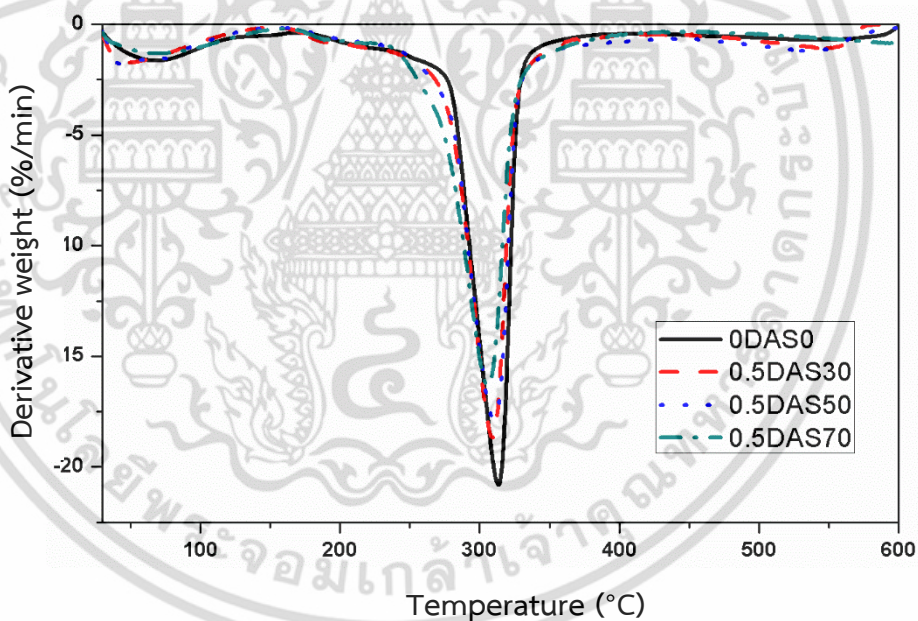
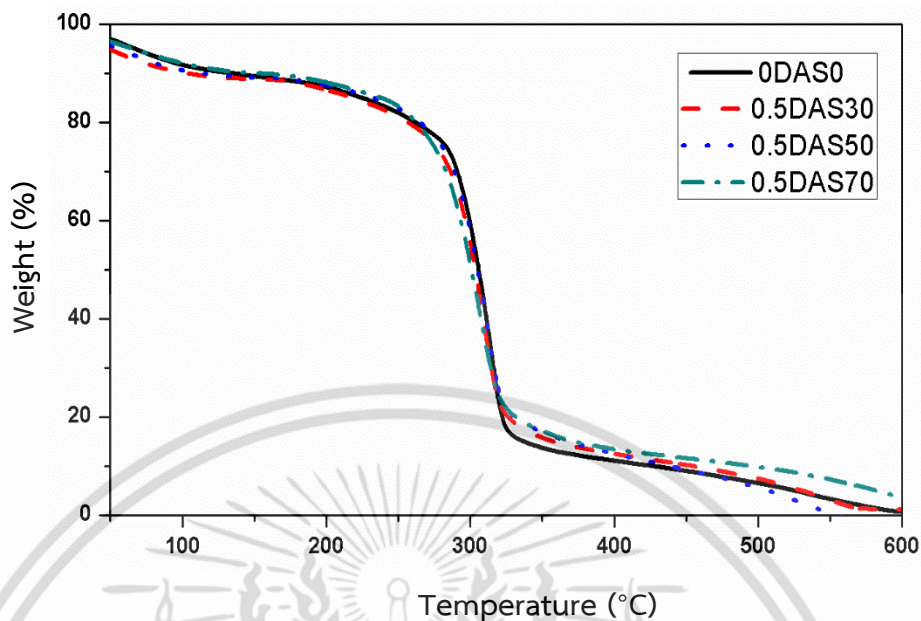
4.2.7 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมจากแป้งไดอัลตีไฮด์และแป้งมันสำปะหลัง

สมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมแป้งไดอัลตีไฮด์สูตรต่าง ๆ ที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอดีตต่างกัน ได้แก่ 1:1, 1:0.5 และ 1:0.25 แล้วนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปรในเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้งแตกต่างกัน คือ 30%, 50% และ 70% ศึกษาด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน (N_2) และใช้สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในช่วง $50-600\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$

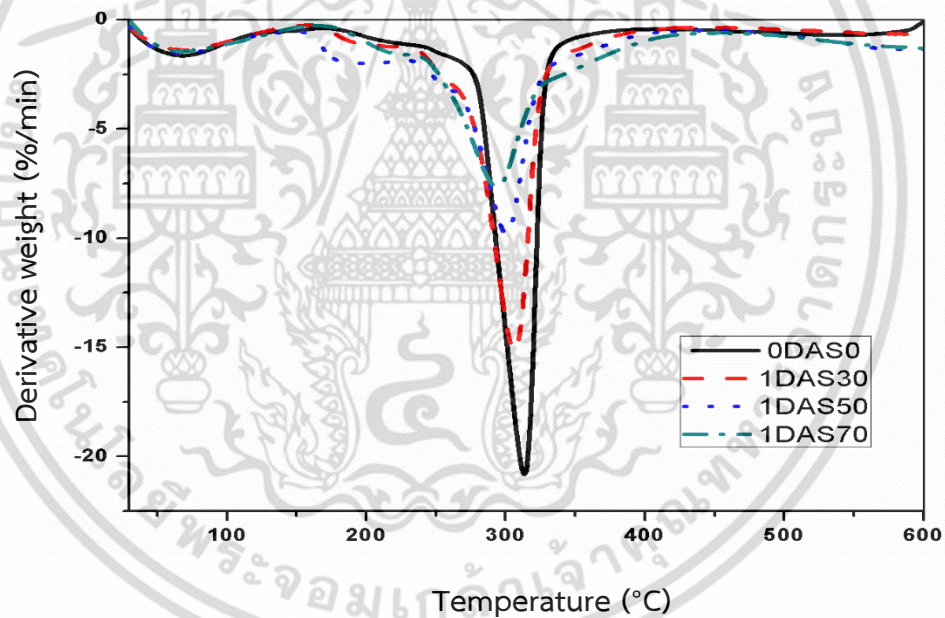
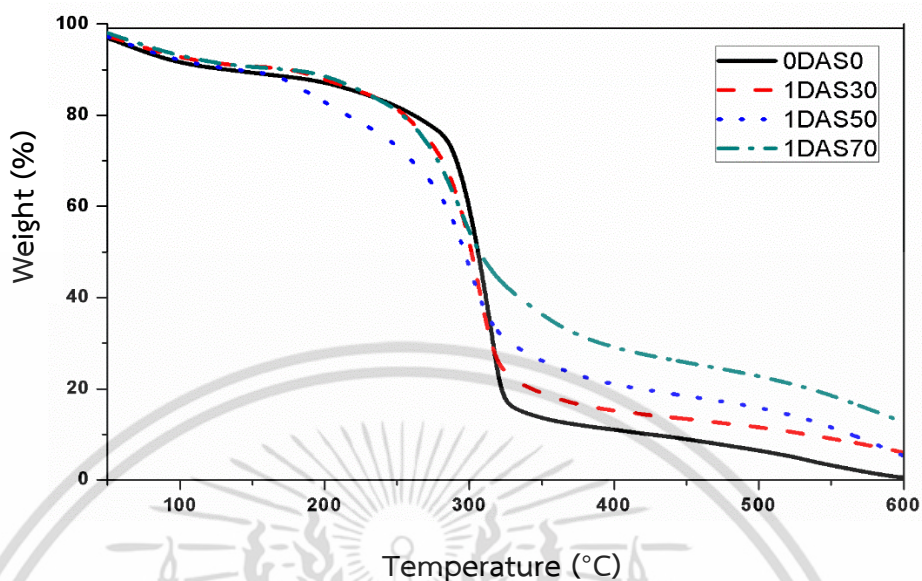


รูปที่ 4.23 เทอร์โมแกรมของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลตีไฮด์สูตร 0.25DAS ในปริมาณต่างกันคือ 0%, 30%, 50% และ 70% (ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 เทอร์โมแกรมของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลติไฮด์สูตร 0.5DAS ในปริมาณต่างกันคือ 0%, 30%, 50% และ 70% (ก) TGA และ (ข) DTG



รูปที่ 4.25 เทอร์โมแกรมของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS ในปริมาณต่างกันคือ 0%, 30%, 50% และ 70% (ก) TGA และ (ข) DTG

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป ของฟิล์มผสมระหว่าง

แป้งไดอัลตีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด (°C)				น้ำหนักที่หายไป (%) (ช่วงที่ 4)
	ช่วงที่ 1 (น้ำ)	ช่วงที่ 2 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 3 (แป้งที่มีหมู่อัลดีไฮด์)	ช่วงที่ 4 (แป้ง)	
0DAS0	67.4	223.1	-	313.6	81.5
0.25DAS30	81.1	212.9	268.4	311.6	79.7
0.25DAS50	90.3	209.9	268.4	310.2	75.4
0.25DAS70	65.3	199.1	260.7	309.4	73.9
0.5DAS30	66.3	200.3	262.2	309.4	78.6
0.5DAS50	47.9	193.0	255.5	309.1	67.5
0.5DAS70	68.5	203.6	253.3	305.7	77.6
1DAS30	68.1	204.4	258.3	306.0	70.7
1DAS50	65.6	194.5	259.2	300.5	63.4
1DAS70	67.5	220.7	261.7	293.7	50.4

จากรูปที่ 4.23-4.25 ตารางที่ 4.9 และภาคผนวก ข แสดงถึงเทอร์โมแกรม อุณหภูมิการสลายตัว และเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป ของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปรรูป พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำที่อุณหภูมิ 67.4 °C ช่วงที่ 2 พบอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอล ที่อุณหภูมิ 223 °C และช่วงที่ 3 ที่อุณหภูมิ 313.6 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง [32] และมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป 79.7% ส่วนฟิล์มแป้งไดอัลตีไฮด์แต่ละสูตร มีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัว 4 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงการสลายตัวของน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 67-90 °C ช่วงที่ 2 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอล ที่อุณหภูมิประมาณ 195-220 °C ช่วงที่ 3 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของโมเลกุลของแป้งที่มีหมู่อัลดีไฮด์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงที่อุณหภูมิประมาณ 250-270 °C [32-35] และพบว่าแป้งที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้น ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่ 4 ที่อุณหภูมิประมาณ 290-315 °C [36-39] ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งลดน้อยลง เนื่องจากแป้งไดอัลตีไฮด์นั้นเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสแตกออกแล้ว เกิดเป็นหมู่อัลดีไฮด์ ซึ่งสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงขึ้น ทำให้ทำลายความเป็นระเบียบภายในโมเลกุลของ

แป้ง ทำให้แป้งมีความเป็นผลึกน้อยลง [3] ส่งผลให้มีอุณหภูมิในการสลายตัวลดต่ำลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารออกซิไดส์ และยังพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปนั้นลดต่ำลงเมื่อปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากหมู่อัลดีไฮด์สามารถเกิดเป็นพันธะระหว่างโมเลกุลและพันธะภายในโมเลกุลของหมู่เฮมิอะซิทัลและหมู่อะซิทัล ซึ่งเป็นพันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้น เป็นผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ N. Reddy และ Y. Yang [32] ที่ได้ศึกษาฟิล์มแป้งข้าวโพดที่เชื่อมโยงด้วยกรดซิตริกขึ้นรูปด้วยเทคนิคการเทหล่อ พบว่าแป้งที่มีการเชื่อมโยงมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้มีการเชื่อมโยง แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่มีการเชื่อมโยงที่เสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมแป้งไดอัลดีไฮด์และสมบัติของฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์กับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร หลังจากทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้สรุปการทำวิจัยดังนี้

5.1.1 สมบัติของแป้งไดอัลดีไฮด์

5.1.1.1 จากการศึกษาจำนวนหมู่อัลดีไฮด์ พบว่าแป้งไดอัลดีไฮด์ 0.25DAS, 0.5DAS และ 1DAS ซึ่งในแต่ละสูตรใช้อัตราส่วนโดยโมลของแป้งต่อโซเดียมเปอร์ไอโอดेटเท่ากับ 1:0.25, 1:0.5 และ 1:1 มีจำนวนหมู่อัลดีไฮด์อยู่ในช่วง 17.10 ± 0.65 , 37.32 ± 0.55 และ 63.26 ± 0.77 ตามลำดับ

5.1.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทำได้โดยการใช้เครื่อง FTIR ของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่เตรียมได้พบว่าแป้งไดอัลดีไฮด์ในแต่ละสูตรนั้น พบพีคใหม่ในช่วง $1730-1750 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิลของหมู่อัลดีไฮด์

5.1.1.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตร พบว่า แป้งที่หมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งลดลง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลง

5.1.1.4 จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโซเดียมเปอร์ไอโอดेट นั้น พบว่าเม็ดแป้งมีรูปร่างเปลี่ยนไป ผลึกในโครงสร้างของแป้งถูกทำลาย และเมื่อแป้งมีหมู่ไดอัลดีไฮด์มากขึ้นจึงเกิดพันธะเชื่อมโยงได้มากขึ้นทำให้เม็ดแป้งไดอัลดีไฮด์เกิดการรวมตัวทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร

5.1.1.5 จากการศึกษาความหนืดของแป้งไดอัลดีไฮด์นั้นมีค่าความหนืดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ทำการดัดแปร และความหนืดมีแนวโน้มลดลงลงเมื่อแป้งมีหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น

5.1.2 สมบัติของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดอัลดีไฮด์กับแป้งมันสำปะหลัง

5.1.2.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทำได้โดยการใช้เครื่อง FTIR ของฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่เตรียมได้ พบว่าฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์ในแต่ละสูตรนั้น พบพีคใหม่ในช่วง $1730-1750\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิล และพบการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่นที่ต่ำลงของ พีคที่ $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่น ของ O-H stretching ของพันธะไฮโดรเจนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์

5.1.2.2 จากการศึกษาการบวมตัว พบว่าแป้งที่หมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้เปอร์เซ็นต์การบวมตัวต่ำลงมากยิ่งขึ้น โดยฟิล์มที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ในปริมาณมากที่สุดและมีหมู่อัลดีไฮด์มากที่สุด มีการบวมตัวลดน้อยที่สุด ได้แก่ ฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS70 และฟิล์มแป้งที่ไม่ได้ทำการตัดแปรมีการบวมตัวมากที่สุด

5.1.2.3 จากการศึกษาการหาปริมาณการดูดซับความชื้น พบว่า ฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์ที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ในแต่ละสูตรเพิ่มมากขึ้นทำให้การดูดซับความชื้นลงต่ำลง และฟิล์มที่มีแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์มากขึ้น ฟิล์มนั้นมีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้น้อยลงเช่นกัน ซึ่งฟิล์มที่ดูดซับความชื้นได้น้อยที่สุด คือ ฟิล์มสูตร 1DAS70 และฟิล์มที่ซับความชื้นมากที่สุด ได้แก่ ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปรสูตร ODAS0

5.1.2.4 จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ พบว่าฟิล์มที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มรวมเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มมากขึ้นโดยฟิล์มที่รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้มากที่สุด คือ ฟิล์มสูตร 1DAS70

5.1.2.5 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ พบว่า ฟิล์มที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด โมดูลัส เพิ่มมากขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์ในการดึงยืดลดต่ำลง

5.1.2.6 จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดินของฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ พบว่าฟิล์มที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น มีความสามารถในการย่อยสลายได้ลดต่ำลง และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปรสามารถย่อยสลายได้เร็วที่สุด

5.1.2.7 จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มแป้งไดอัลดีไฮด์แต่ละสูตรพบว่า ฟิล์มที่ผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ที่มีปริมาณหมู่อัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น นั้นทำให้มีอุณหภูมิการสลายตัวลดลงและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลง นอกจากนี้พบว่าแป้งไดอัลดีไฮด์สูตร 1DAS70 มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลงน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาวิธีการขึ้นรูปแบบอื่น เช่น การใช้เครื่องกดอัด หรือการฉีดขึ้นรูป เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหลากหลายในการใช้งานในชีวิตประจำวัน
2. ศึกษาชนิดของพลาสติกไฮเซอรัลที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกัน เช่น น้ำมันจากพืช ต่าง ๆ เพื่อศึกษาสมบัติที่ต่างกันของฟิล์มแปงผสม
3. ศึกษาการผสมสารเติมแต่ง อื่น ๆ เช่น สารเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ผงสี เพื่อความสวยงาม สารตัวเติมที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต เป็นต้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] Smith, P.S. 1982. "Starch derivatives and their use in foods." AVI Publishing Company Inc, Westport Connecticut. pp. : 237-269
- [2] ภัสสร่า มณีศรีรัชฎ์. 2542. "การปรับปรุงคุณสมบัติทางการบรรจุของวัสดุขึ้นรูปจากแป้งมันสำปะหลัง." วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [3] Zhang, L. Zhang, S. Dong, F. Cai, W. Shan, J. Zhang, X. and Man, S. 2014. "Antioxidant activity and in vitro digestibility of dialdehyde starches as influenced by their physical and structural properties." *Carbohydrate Polymers*, 149 : 296-301.
- [4] Yu, J. Peter, R. and Ma, X. 2010. "The preparation of dialdehyde starch and Thermoplastic dialdehyde starch." *Carbohydrate polymers*, 79 : 296-300.
- [5] พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [Online]. Available : http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/bio_de_plas.html
- [6] วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [Online]. Available : <http://en.european-bioplastics.org/environment/lcelca/>
- [7] แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร [Online]. Available : http://www.thaitapiocastarch.org/article26_th.asp
- [8] กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ 2543. เทคโนโลยีของแป้ง พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ
- [9] โครงสร้างของอะไมโลส [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/lesson/.php?id=1468>
- [10] โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [Online]. Available : http://www.thaigoodview.com/library/contest_2552/type2/science04/28/P_Untitled-10.html

- [11] สมบัติของแป้ง [Online]. Available : http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap2/chapter2_5.html
- [12] การพองตัวของเม็ดแป้ง [Online]. Available : [www.opta-food.com/ access/starch2.html](http://www.opta-food.com/access/starch2.html)
- [13] การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [Online]. Available: www.engin.umich.edu/.../potato/starch3.htm
- [14] การคืนตัวของแป้ง [Online]. Available : <http://www.nationalstarch.com> [15] สตาร์ชตัดแปรร [Online]. Available : <http://www.tapiocathai.org/D.html>
- [16] Dialdehyde starch reaction [Online]. Available : <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/nr/c4nr01756k>
- [17] Dais, A. R. G. Rosa, E. D. and Helbig, E. 2011. "Oxidation of fermented cassava starch using hydrogen peroxide." *Carbohydrate Polymers*, 86 : 185-191
- [18] Zhang, L. Wang, Y. Lui, H. Yu, L. Chen, L. and Zhang, N. 2013. "Developing hydroxypropyl methylcellulose/hydroxypropyl starch blends for use as capsule materials." *Carbohydrate Polymers*, 98 : 73-79
- [19] Magdalena, Z. Tadeusz, S. and Sofia, L. 2014. "Crosslink carboxymethyl starch : One step synthesis and sorption characteristics." *International journal of biological macromolecule*, 71 : 87-93
- [20] Zahra, L. P. Pooyan, M. and Mousa, G. 2015. "Performance properties and antibacterial activity of crosslinked films of quaternary ammonium modified starch and poly (vinyl alcohol)." *International journal of biological macromolecule* 80 : 596-604
- [21] Yixiang, X. Vesselin, M. and Milford, A. H. 2010. "Synthesis and characterization of starch acetate with high substitution." *Cereal Chemistry*. 81 (6) : 735-740
- [22] Zhang, Y. R. Zhang, S. D. Wang, X. l. Chen, R. Y. and Wang, Y. Z. 2009. "Effect of carbonyl content on the properties of thermoplastic oxidized starch." *Carbohydrate Polymers*, 78 : 175-161.

- [23] Veelaert, S. de Wit, D. Gotlieb, K.F. and Verhe, R. 1997. "Chemical and physical transitions of periodate oxidized potato starch in water." *Carbohydrate Polymers*, 33 : 153-162.
- [24] Veelaert, S. de Wit, D. Gotlieb, K.F. and Verhe, R. 1997. "The gelation of dialdehyde starch." *Carbohydrate Polymers*, 32 : 131-139.
- [25] Maciej, F. and Andrzej, P. 2006. "Structural and molecular properties of dialdehyde starch." *Carbohydrate Polymers*, 63 : 360-366
- [26] ปนัดดา พวงเกษม. 2540. "การเตรียมฟิล์มบริโกลด์ได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้ประโยชน์." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [27] ณัฐยา บุญจินต์, พัชราภรณ์ ขำเจริญ และ ยุทธศิลป์ บุญมัน. "พลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังผสมวุ้นแมงลักโดยมีโลหะไอออนเป็นสารก่อพันธะเชื่อมโยง." วิทยานิพนธ์ สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [28] สุภารัตน์ จีระมงคลชัย, งามทิพย์ ภู่วโรดม, วาณี ชนเห็นชอบ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2549. "การดัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและสมบัติของฟิล์มเอสเทอร์จากสตาร์ชมันสำปะหลัง." .โครงการพิเศษภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [29] Mei, J.Q. Zhou, D.N. Jin, Z.Y. Xu, X.M. and Chen, H.Q. 2015. "Effects of citric acid esterification on digestibility, structural and physicochemical properties of cassava starch." *Food Chemistry*, 187 : 378-384.
- [30] Alves, V.D. Mali, S. Beleia, A. Victoria, M. and Grossmann, E. 2007. "Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties." *Food engineering*, 78 : 941-946
- [31] Kaewtatip, K. and Thongmee, J. 2013. "The effects of cross-linked starch on the properties of thermoplastic starch." *Materials and Design*, 45 : 586-589.

[32] Reddy, N. and Yang, Y. 2010. "citric acid cross-linking of starch films." *Food Chemistry*, 118 : 702-711

[33] Labchem.2559. Citric Acid , Anhydrous [Online]. Available: www.labchem.com/tools/masds/pdf.

[34] จินตภา แต้มนสีคราม. 2558. "สมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงด้วยกรดซิตริก กรดแลคติก และกรดมาลิก." วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[35] Zhang, Y. R. Wang, X. Li Zhao, G. M. and Wang, Y. Z. 2012. "Preparation and properties of oxidized starch with high degree of oxidation." *Carbohydrate Polymers*, 87 : 2554-2562

[36] Pornsuksomboon, K. Hollo, B. B. Szeesenyi, M. and Kaewtatip, K. 2016. "Properties of baked foam citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends." *Carbohydrate Polymers*. 136 : 107-112

[37] Carbinatto, F. M. de Castro, A. D. Cury, B. S. F. and Magalhaes, A. 2012. "Physical properties of pectin-high amylose starch mixtures cross-linked with sodium trimetaphosphate." *International Journal of Phamaceutics*. 423 : 281-288

[38] Winker, H. Vorwery, W. and Rihm, R. 2014. "Thermal and mechanical properties of fatty acid starch ester." *Carbohydrate Polymers*. 102 : 941-949

[39] Thermogravimetric analyser [Online]. Available : <http://www0.tint.or.th/nkc/RD-web/instrument/instru-004.html>

[40] Pawlak, A. Mucha, M. and Aoi, K. 2006. "Retrogration of Ethylrneisformamide and Sorbital. Starch," 58 : 580-586

[41] Hizukuri, S. 1985. "Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystallite structure of starch grannules." *Carbohydrate Polymers*. 141 : 295-306.

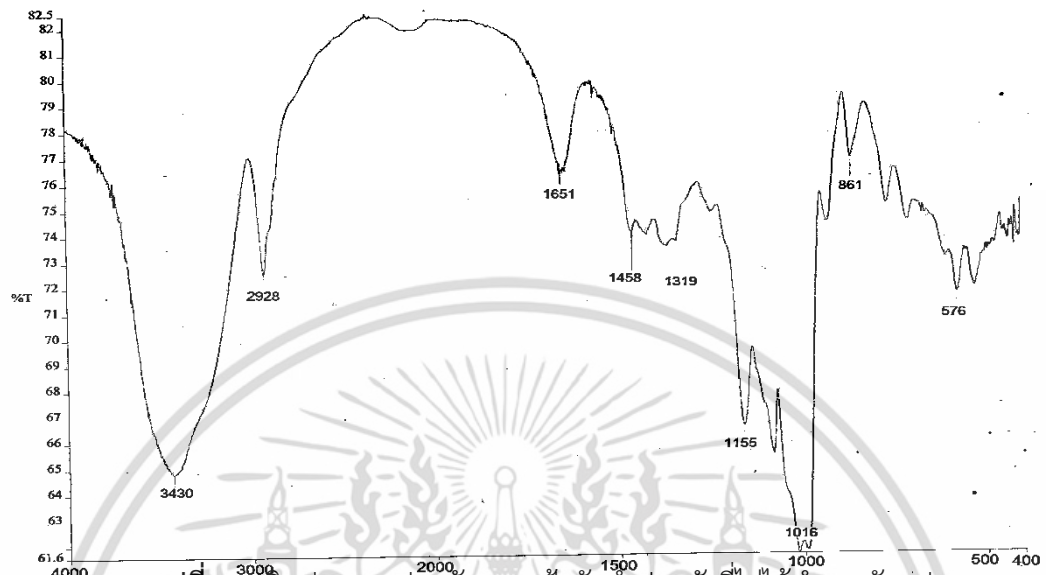
[42] Du, Y. L. Cao, Y. Lu, F. Li, F. Cao, Y. Wang, X. L. and Wang, Y. Z. 2008. “Biodegradation behaviors of thermoplastic starch (TPS) and thermoplastic dialdehyde starch (TPDAS) under controlled composting conditions.” *Carbohydrate Polymers*. 27 : 924-930

[43] ชยามา วีระโพธิ์ประสิทธิ์. 2556. “ผลของสารก่อเจลที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังและพอลิเมอร์เอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยมีเทอร์โมพลาสติกสตา์ชเป็นองค์ประกอบหลัก.” วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

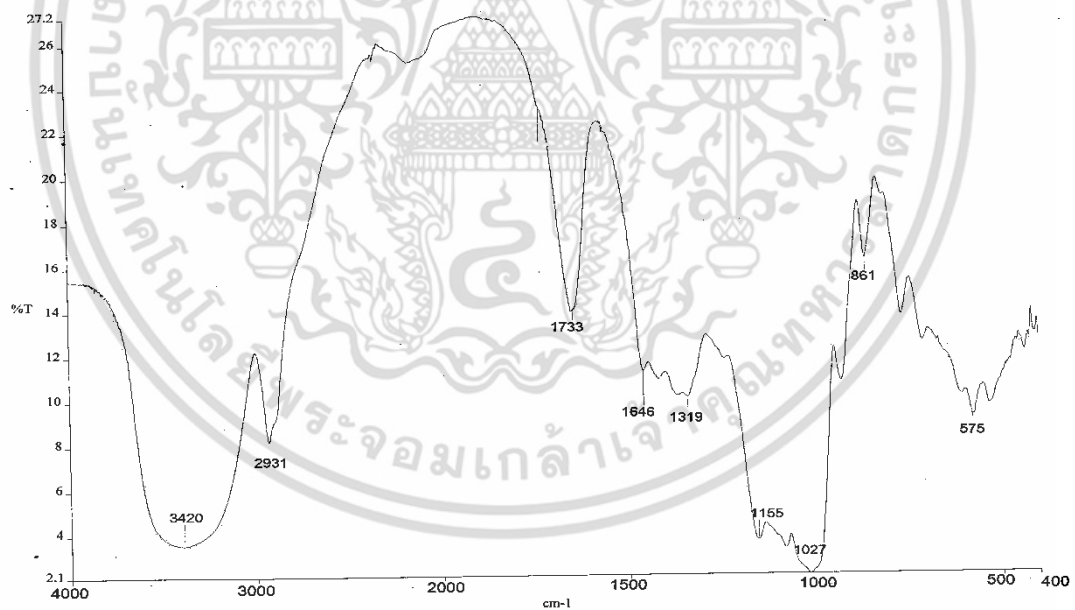


ภาคผนวก ก

อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ

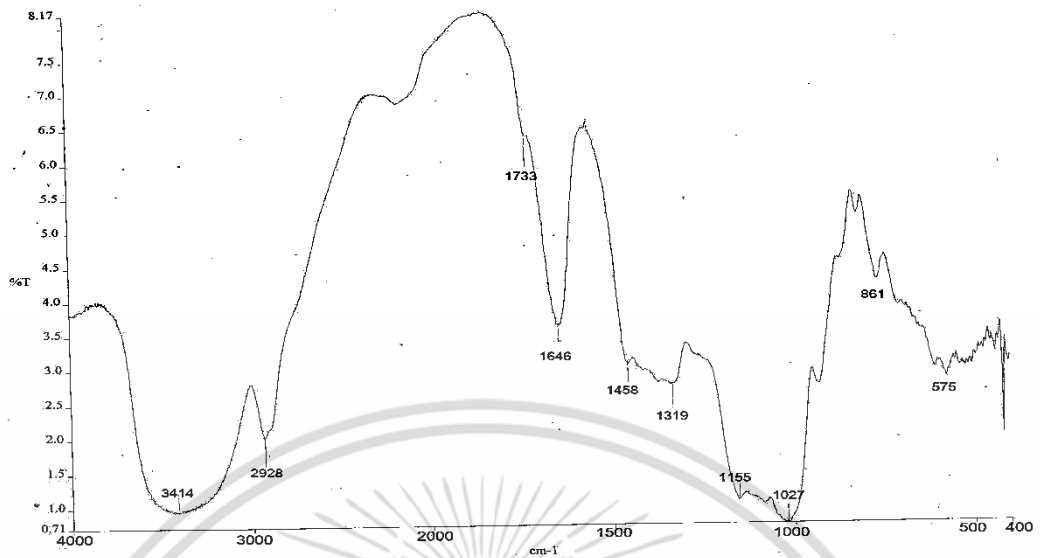


รูปที่ ก.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการดัดแปร

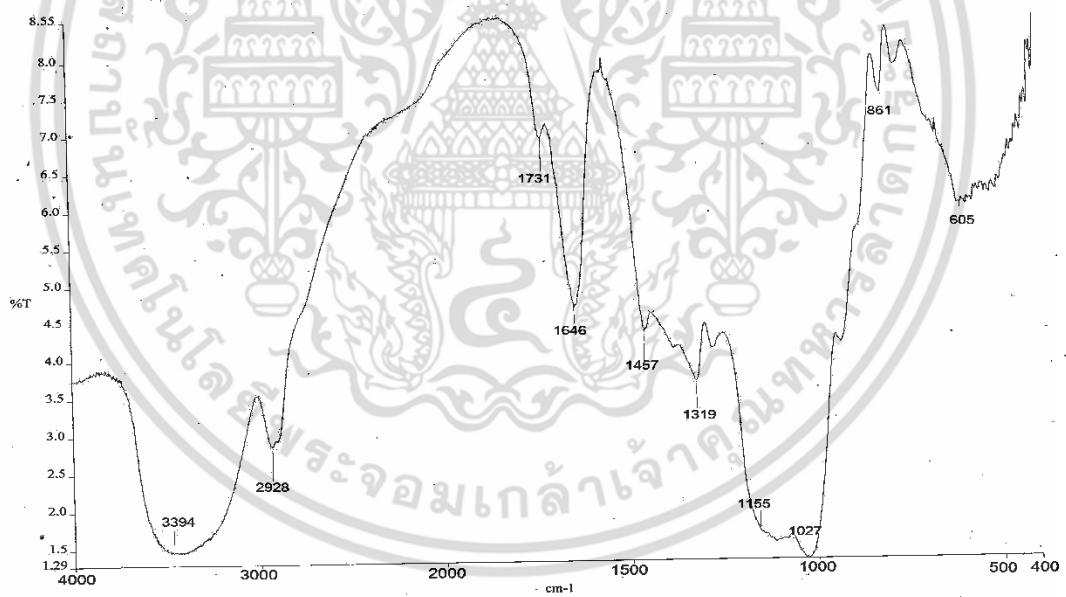


รูปที่ ก.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรโดยใช้ไซโตเดียมเปอร์ไอออกไซด์ในอัตราส่วน 1:0.25 (0.25DAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

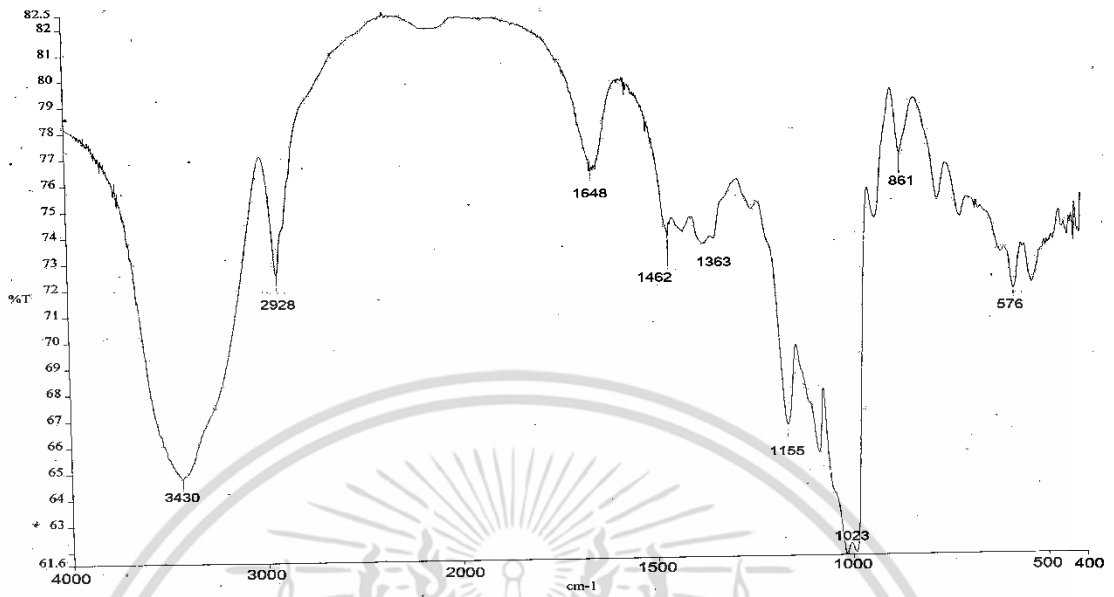


รูปที่ ก.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียมเปอร์โอไซด์ในอัตราส่วน 1:0.50 (0.5DAS)

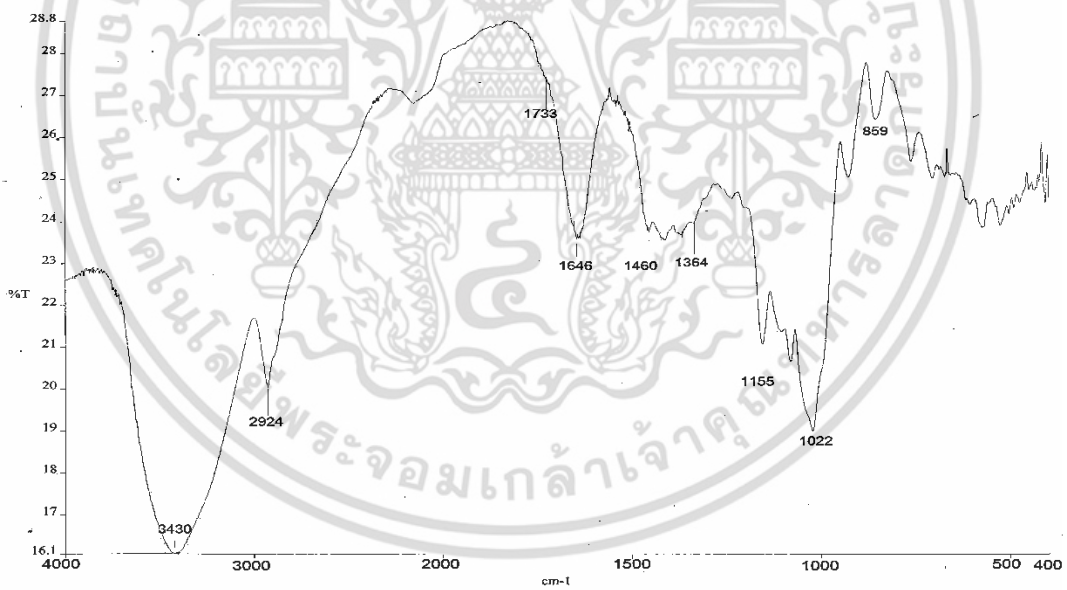


รูปที่ ก.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียมเปอร์โอไซด์ในอัตราส่วน 1:1 (1DAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

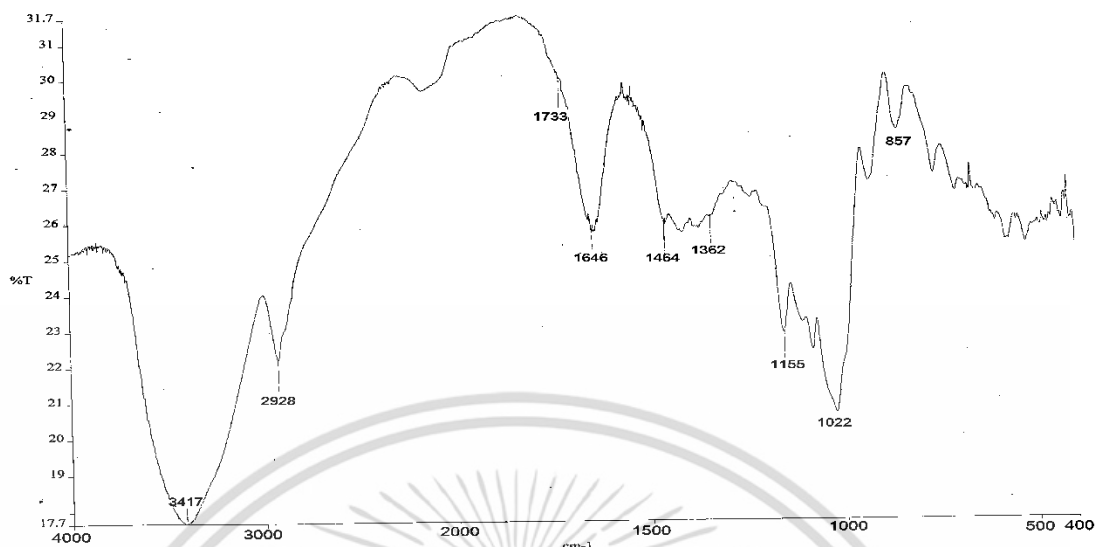


รูปที่ ก.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มแข็งน้ำมันสำปะหลังที่ไม่มีการผสมแบงไดอัลดีไฮด์ (ODAS0)

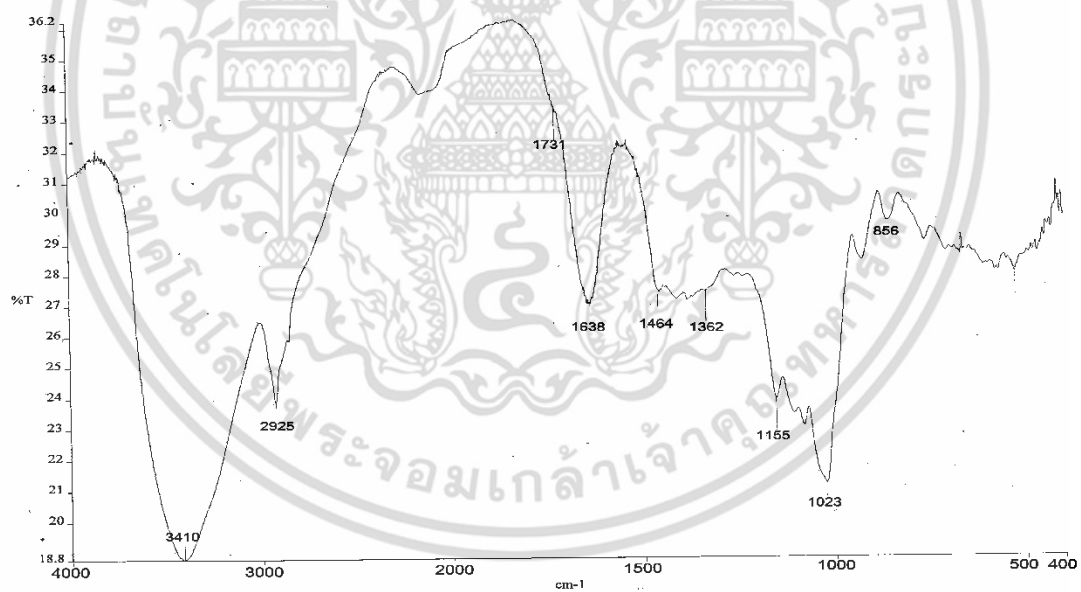


รูปที่ ก.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแข็งน้ำมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียมเปอร์ไอโอดีตในอัตราส่วน 1:0.25 ปริมาณ 30% (0.25DAS30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

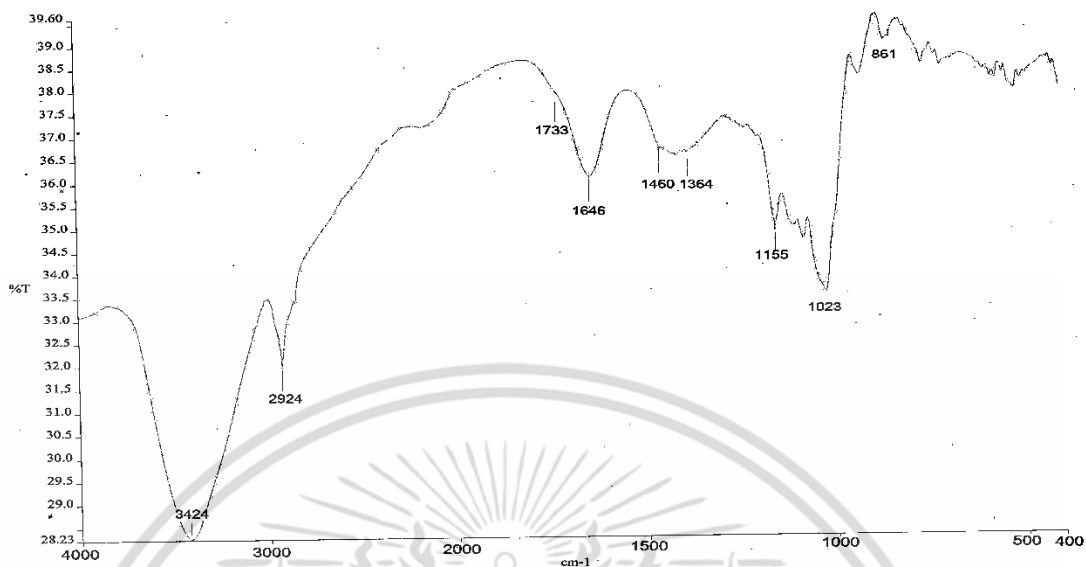


รูปที่ ก.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียม
เปอร์ไอโอเตตในอัตราส่วน 1:0.25 ปริมาณ 50% (0.25DAS50)

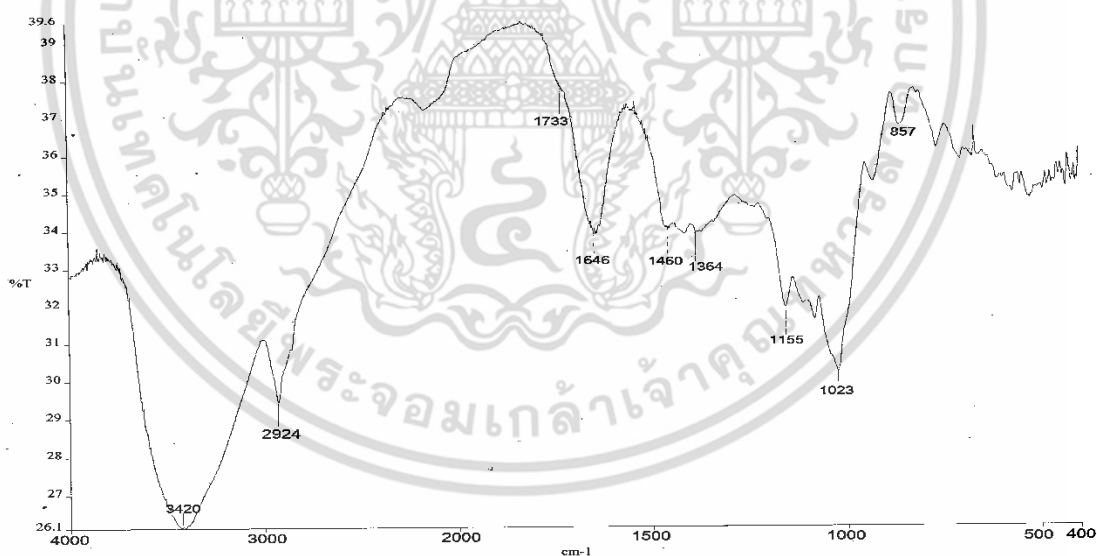


รูปที่ ก.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียม
เปอร์ไอโอเตตในอัตราส่วน 1:0.25 ปริมาณ 70% (0.25DAS70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

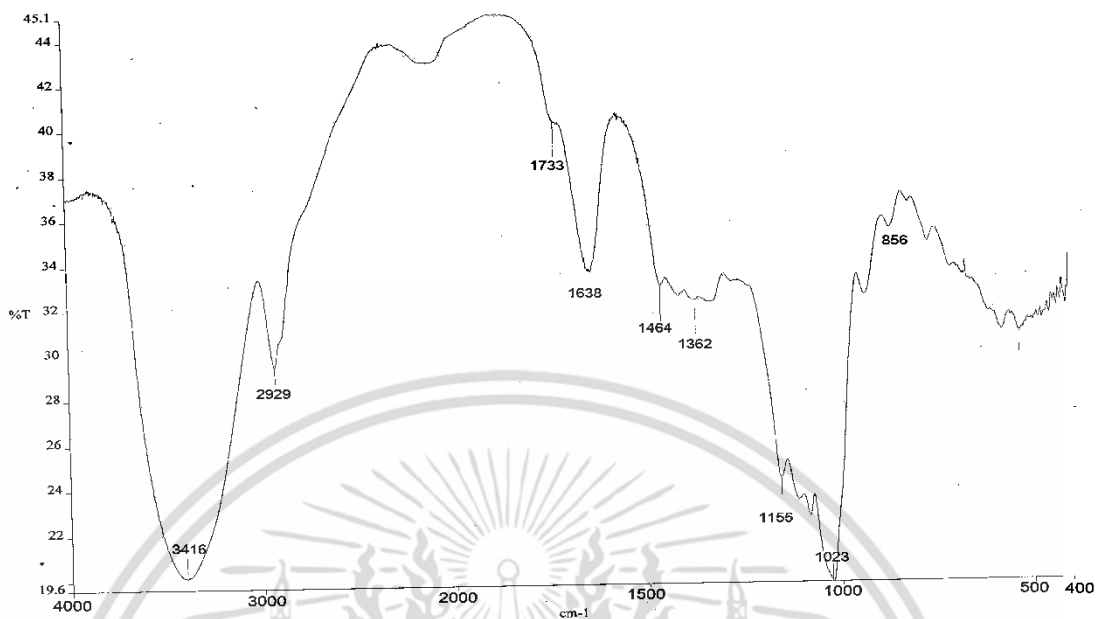


รูปที่ ก.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียม
เปอร์ไอโอเดตในอัตราส่วน 1:0.50 ปริมาณ 30% (0.5DAS30)

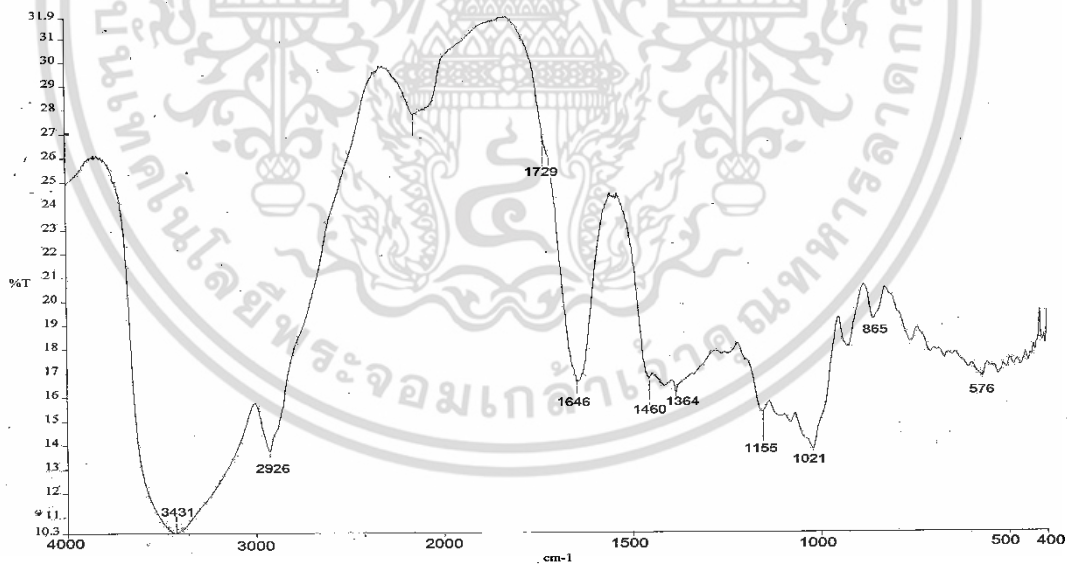


รูปที่ ก.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียม
เปอร์ไอโอเดตในอัตราส่วน 1:0.50 ปริมาณ 50% (0.5DAS50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

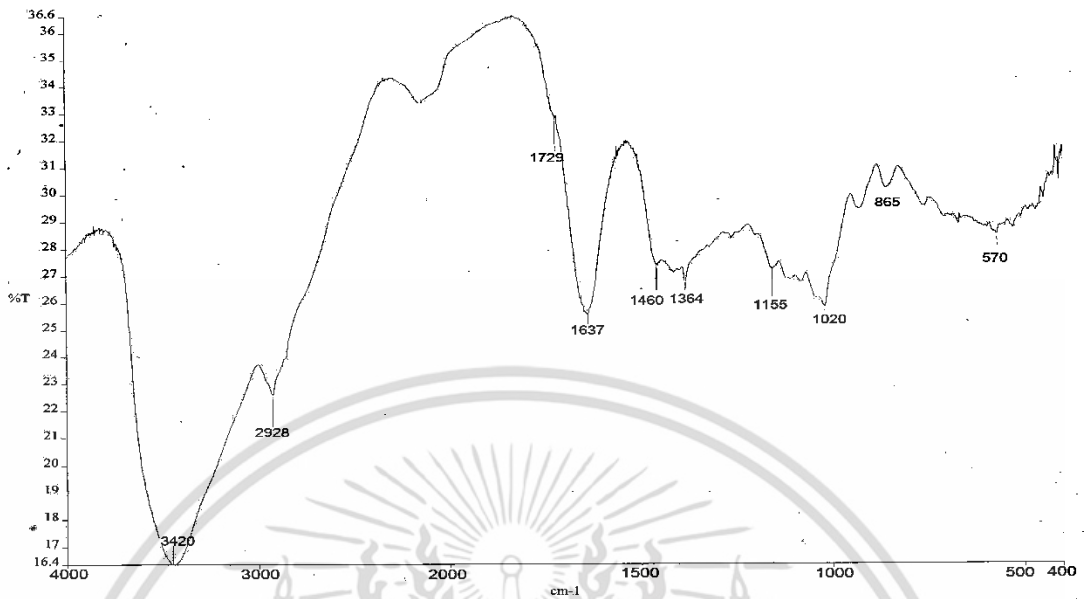


รูปที่ ก.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียม
เปอร์ไอโอเดตในอัตราส่วน 1:0.50 ปริมาณ 70% (0.5DAS70)

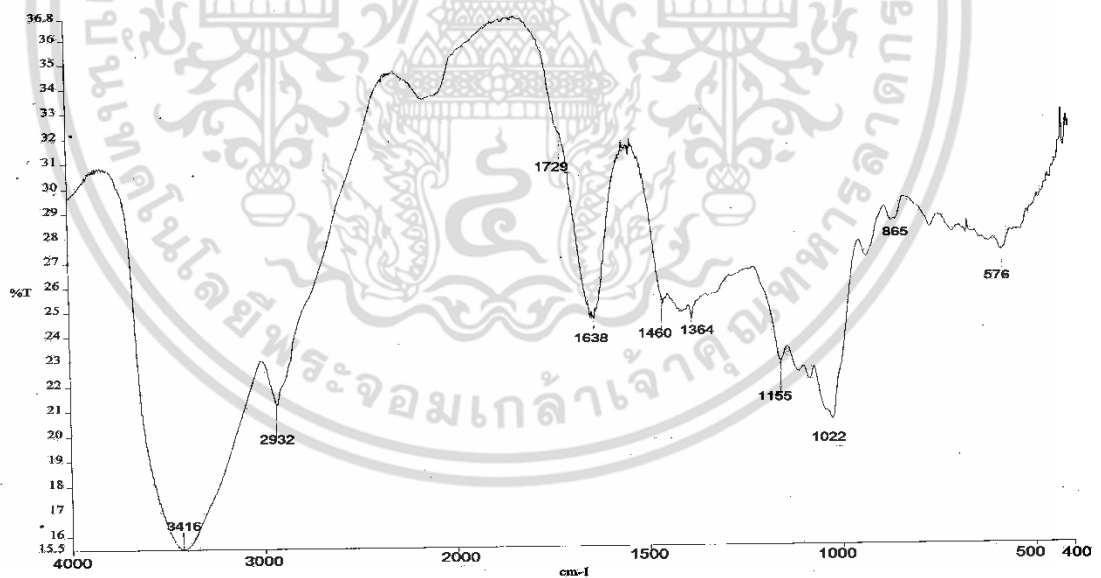


รูปที่ ก.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียม
เปอร์ไอโอเดตในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 30% (1DAS30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียม
เปอร์ไอโอดีตในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 50% (1DAS50)

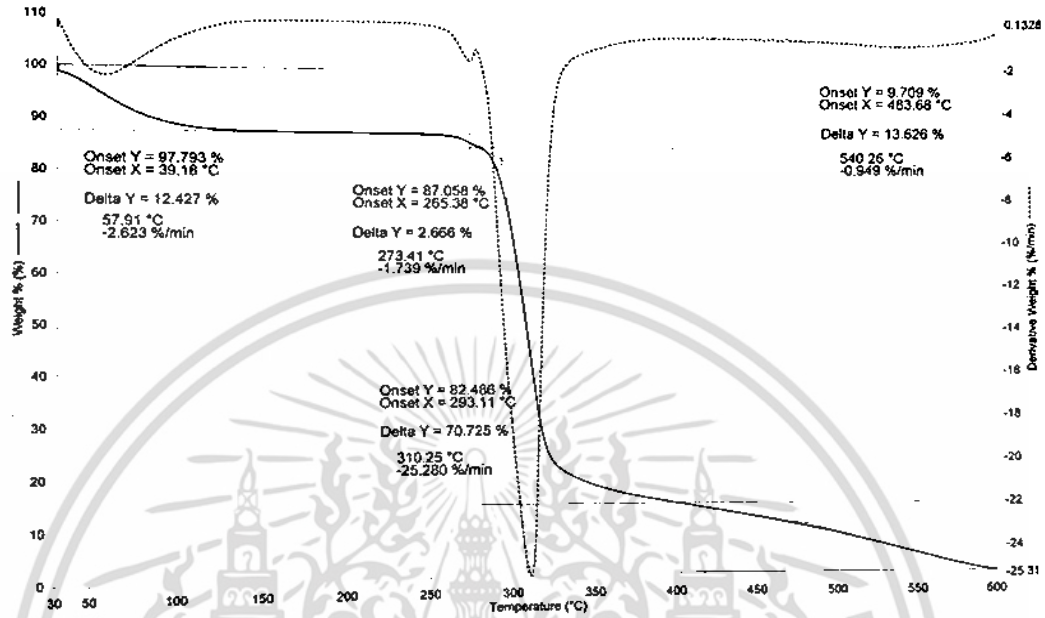


รูปที่ ก.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียม
เปอร์ไอโอดีตในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 70% (1DAS70)

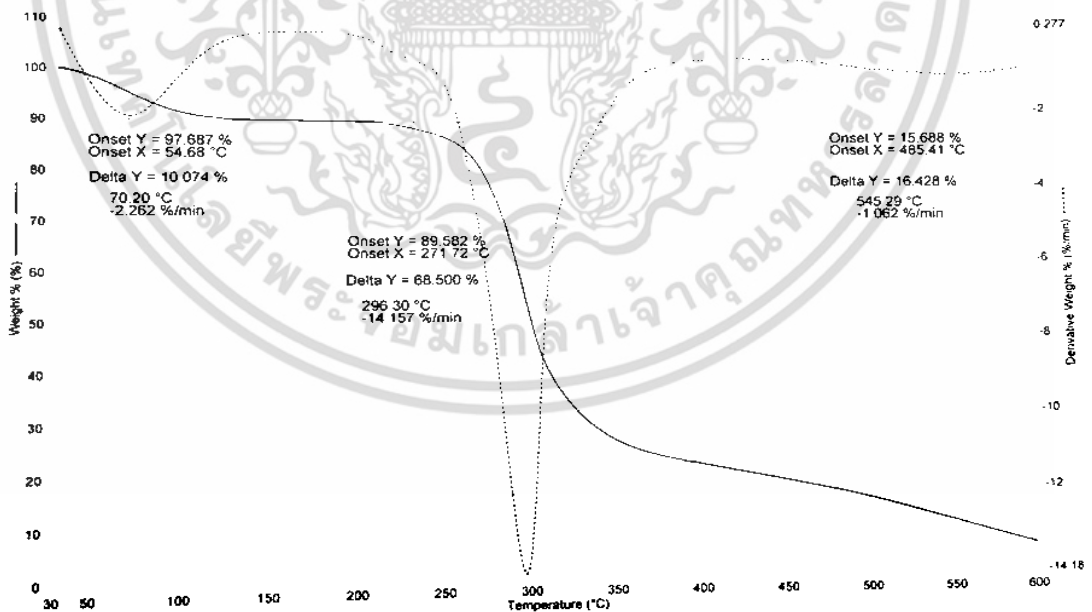
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เทอร์โมแกรมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ

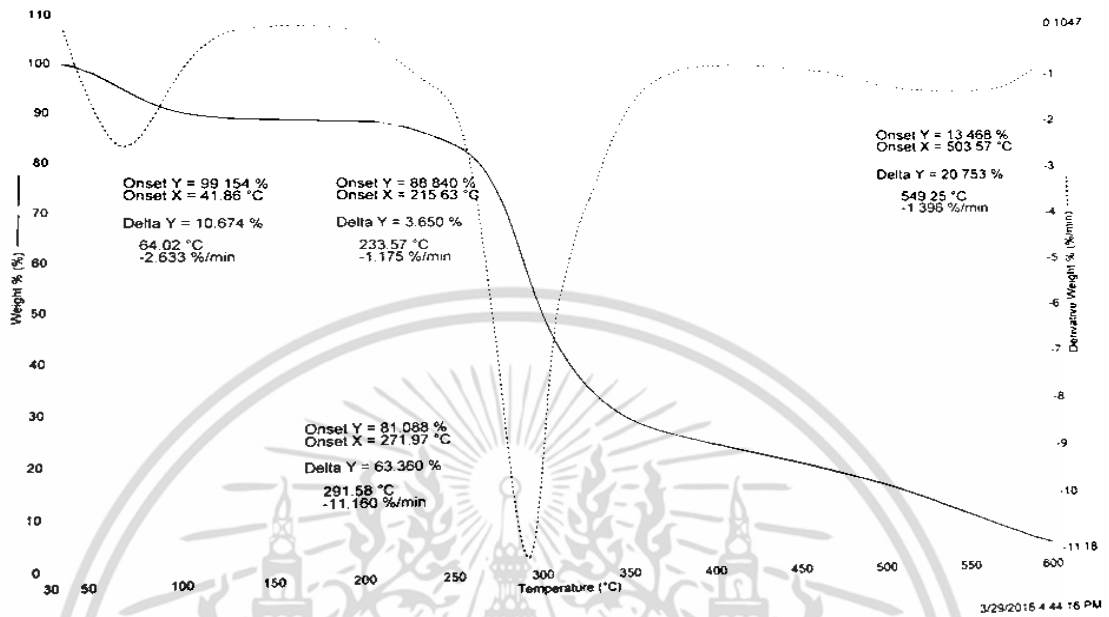


รูปที่ ข.1 เทอร์โมแกรมของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการตัดแปร

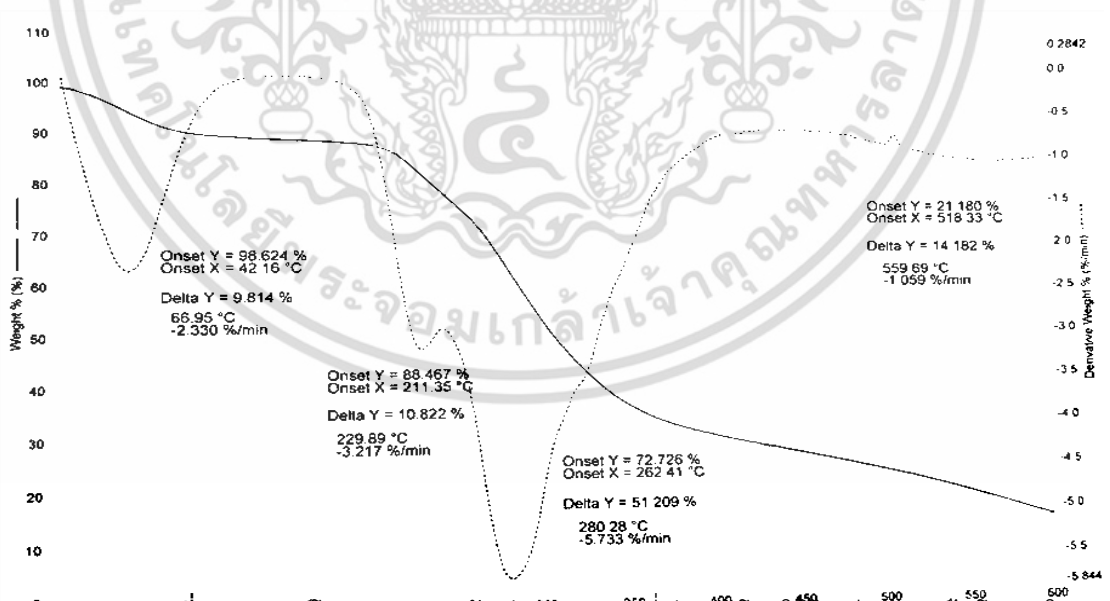


รูปที่ ข.2 เทอร์โมแกรมของแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดेटในอัตราส่วน 1:0.25 (0.25DAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 เทอร์โมแกรมของแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียมเปอร์ไอโอดีติน อัตราส่วน 1:0.5 (0.5DAS)

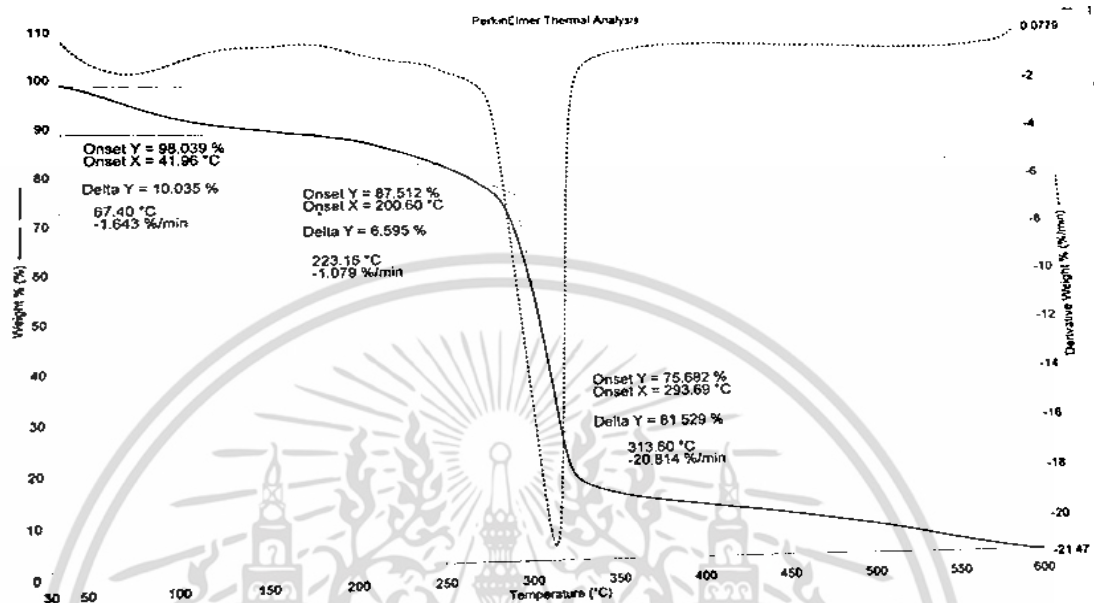


รูปที่ ข.4 เทอร์โมแกรมของแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียมเปอร์ไอโอดีติน อัตราส่วน 1:1 (1DAS)

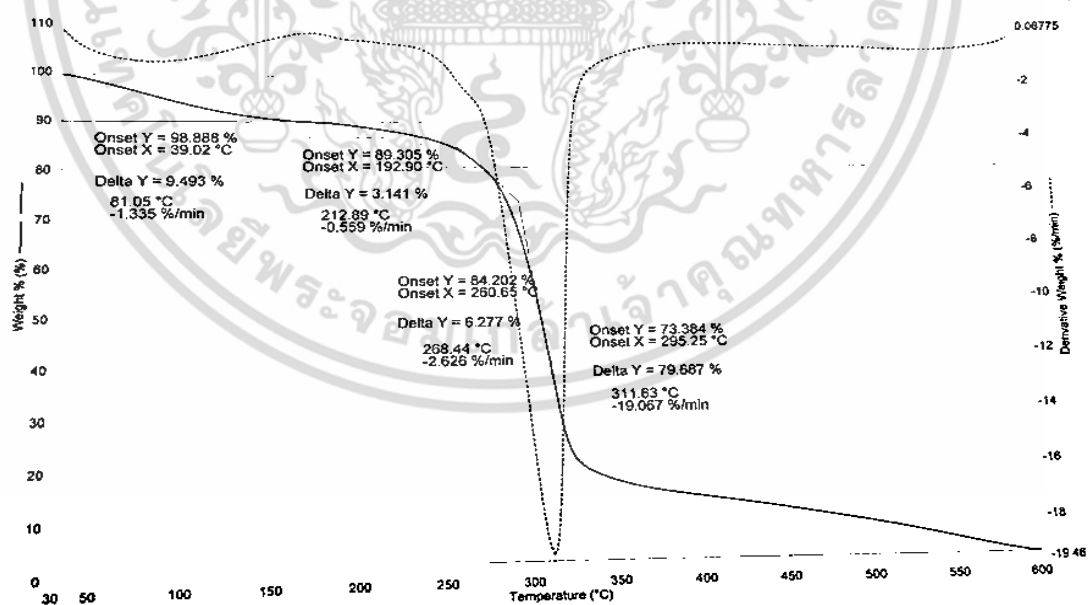
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เทอร์โมแกรมของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ

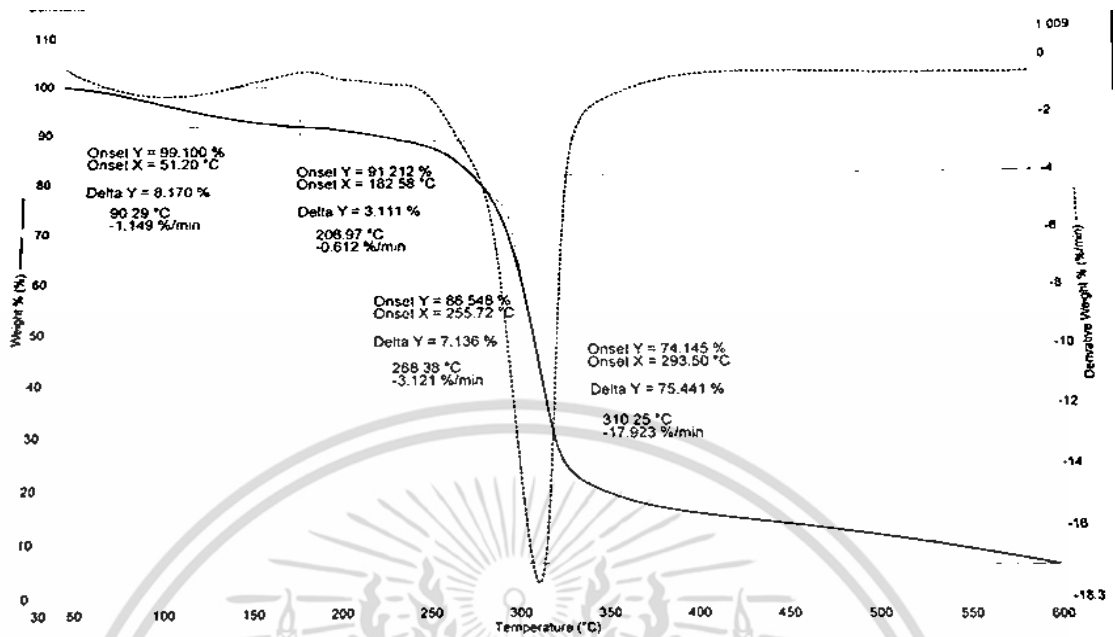


รูปที่ ข.5 เทอร์โมแกรมของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีการผสมแป้งไดอัลดีไฮด์ (ODAS0)

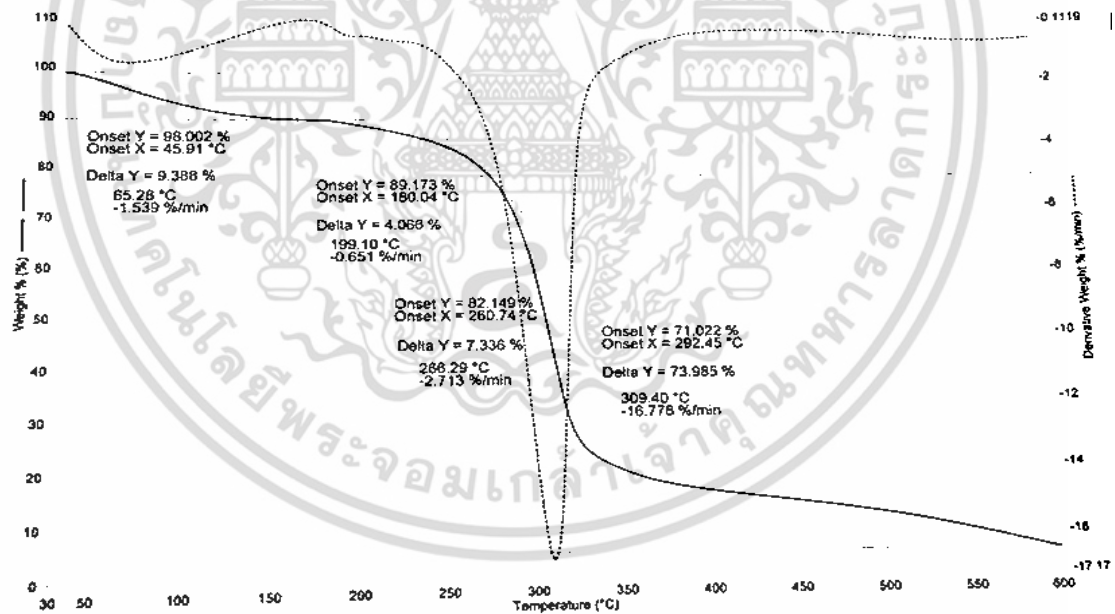


รูปที่ ข.6 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้ไซโตเดียมเปอร์ไอโอเดต ในอัตราส่วน 1:0.25 ปริมาณ 30% (0.25DAS30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

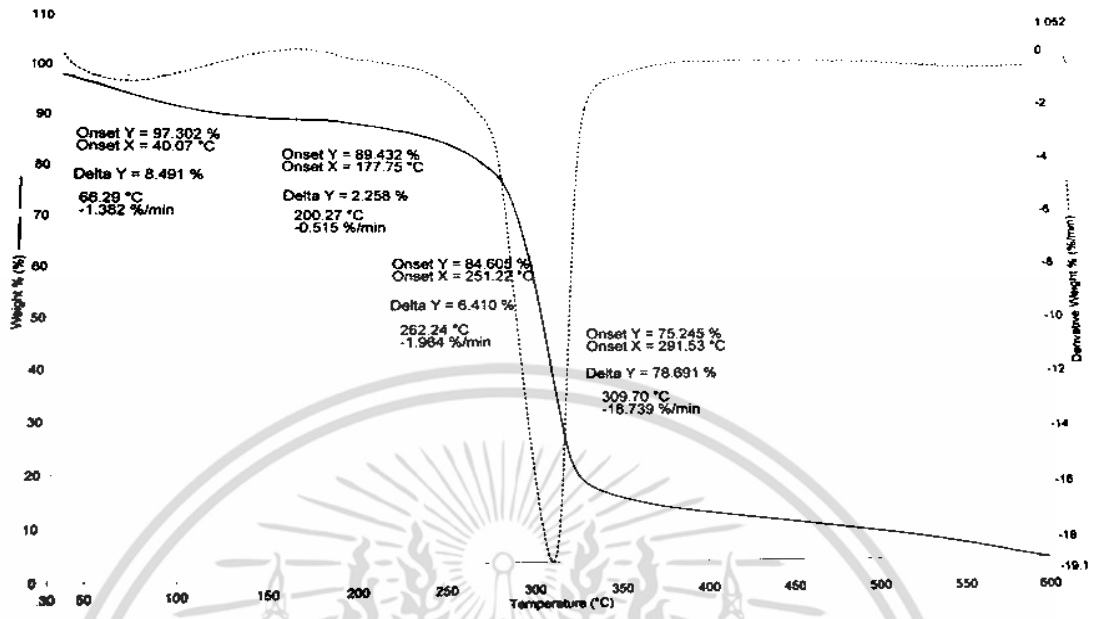


รูปที่ ข.7 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดต ในอัตราส่วน 1:0.25 ปริมาณ 50% (0.25DAS50)

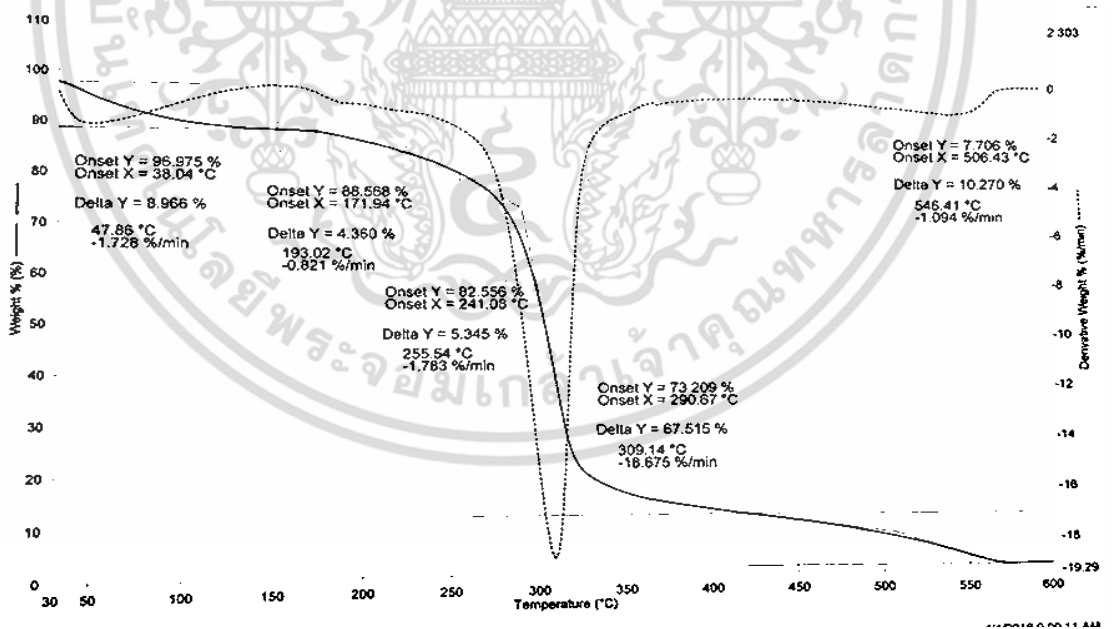


รูปที่ ข.8 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอเดต ในอัตราส่วน 1:0.25 ปริมาณ 70% (0.25DAS70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

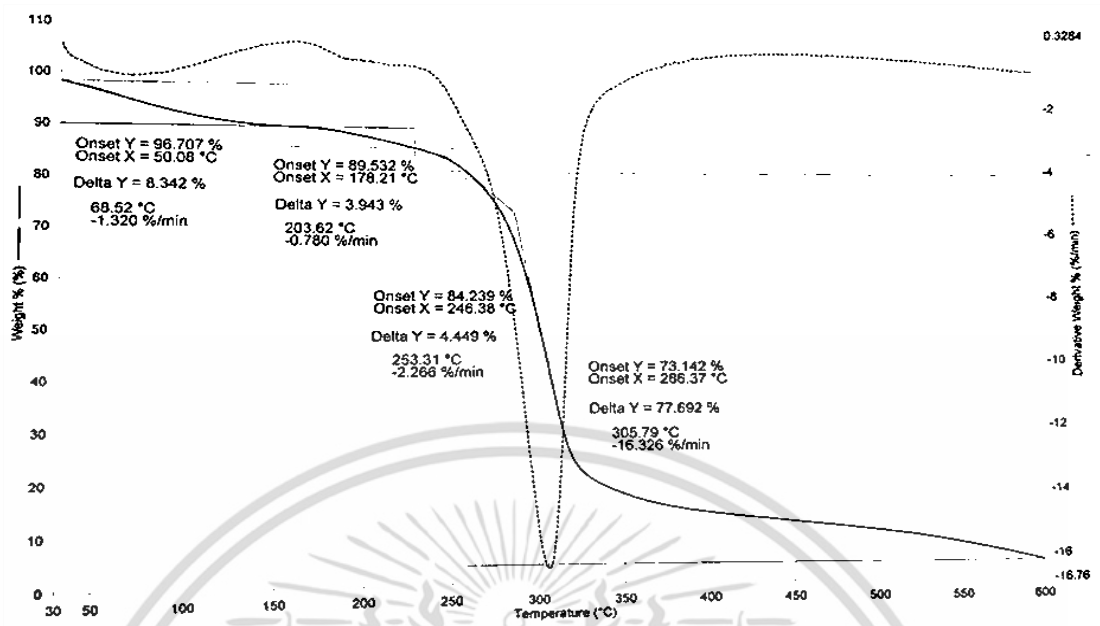


รูปที่ ข.9 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดेट ในอัตราส่วน 1:0.5 ปริมาณ 30% (0.5DAS30)

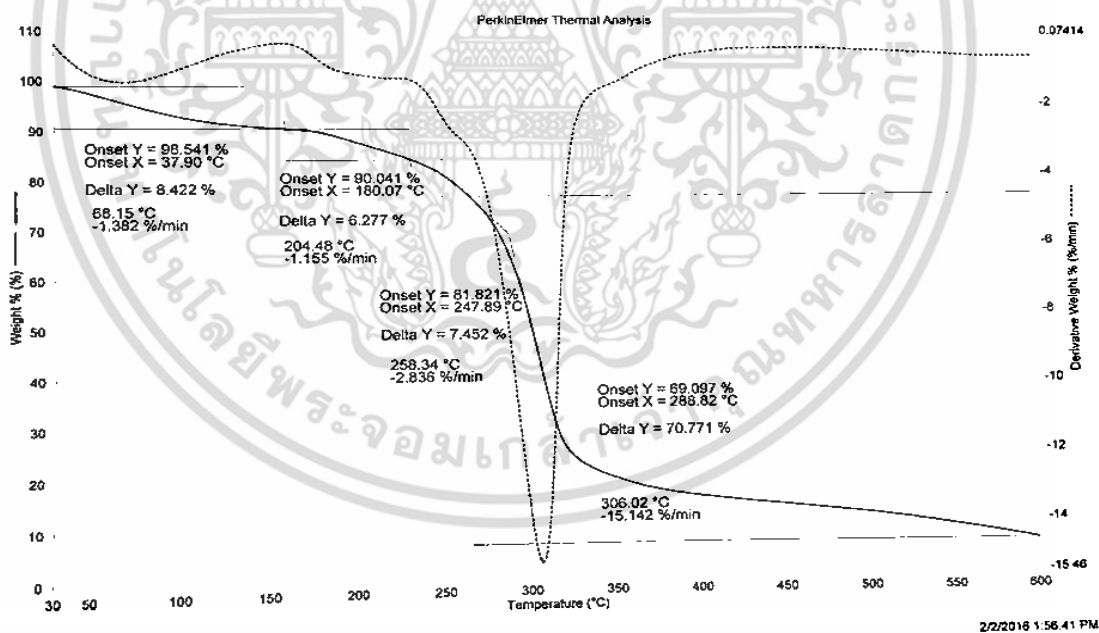


รูปที่ ข.10 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดेटในอัตราส่วน 1:0.5 ปริมาณ 50% (0.5DAS50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

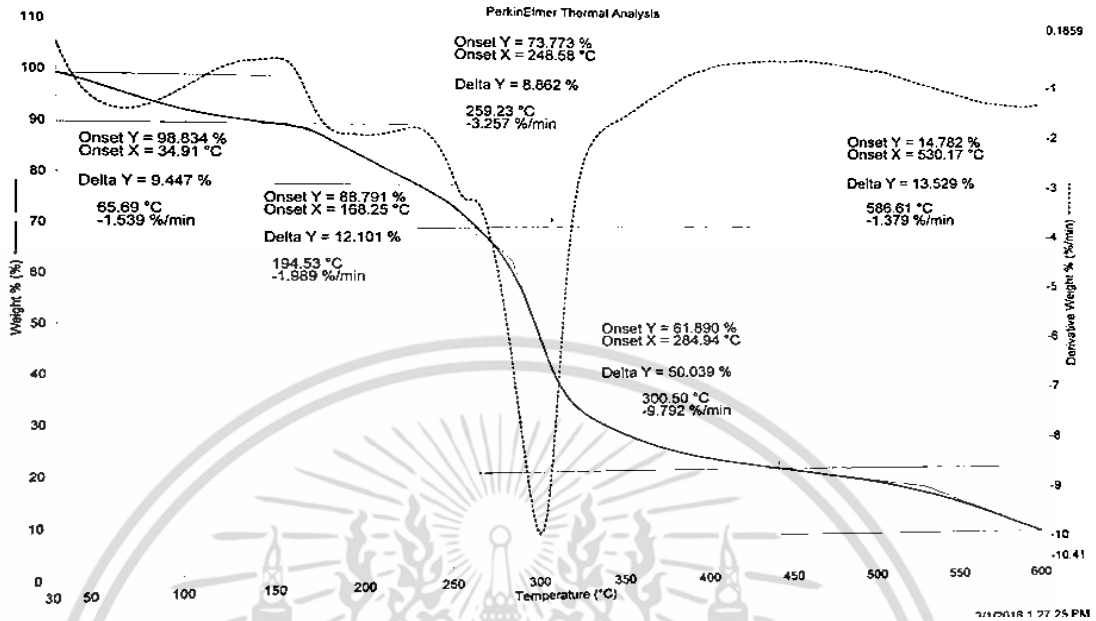


รูปที่ ข.11 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีในอัตราส่วน 1:0.5 ปริมาณ 70% (0.5DAS70)

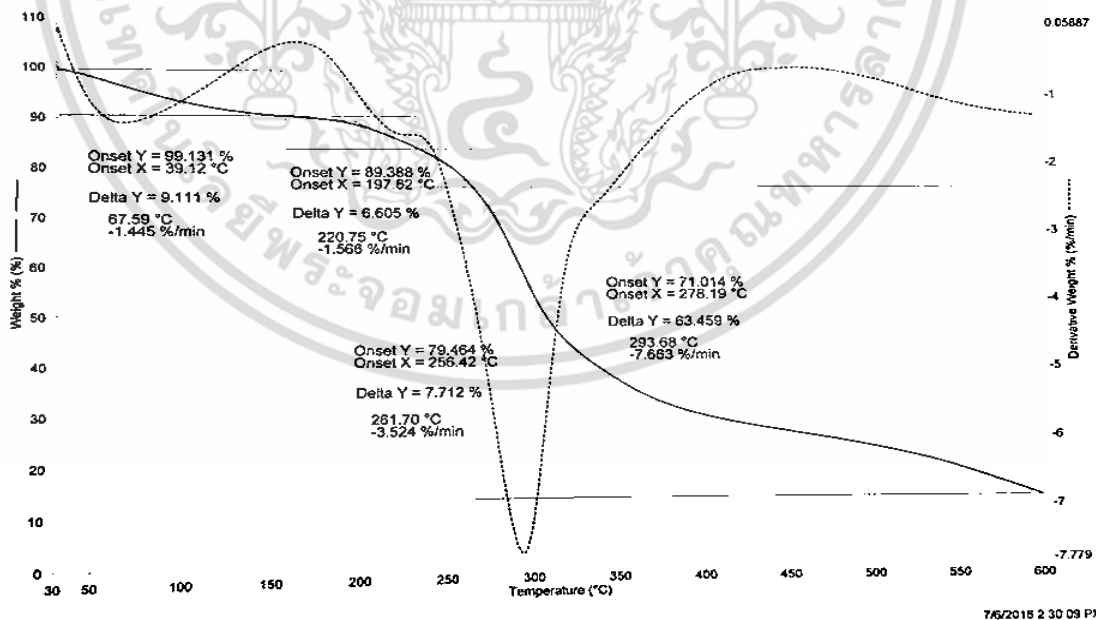


รูปที่ ข.12 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 30% (1DAS30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.13 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีตในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 50% (1DAS50)



รูปที่ ข.14 เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรโดยใช้โซเดียมเปอร์ไอโอดีตในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 70% (1DAS70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดออกไซด์และแป้งมันสำปะหลังสูตรต่าง ๆ โดยการแช่ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง

ชั่วโมง	เปอร์เซ็นต์การบวมตัว(%)											
	0DAS0	0.25DAS30	0.25DAS50	0.25DAS70	0.5DAS30	0.5DAS50	0.5DAS70	1DAS30	1DAS50	1DAS70		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	918.72	810.76	784.56	641.33	713.87	688.65	719.67	665.89	498.56			
2	957.83	846.32	799.43	764.56	851.54	768.32	737.38	615.09	520.65			
3	1289.48	1020.54	985.9	824.52	864.09	824	880.56	743.78	610.67			
4	1354.76	1170.63	1003.78	859.55	897.89	851.45	897.67	768.7	652.45			
5	1388.54	1089.45	1018.54	890.56	926.87	869.89	947.89	821.54	687.98			
6	1435.72	1291.56	1134.67	915.56	936.09	916.23	971.23	901.34	713.23			
72	1440.23	1310.09	1201.8	920.76	989	1061.77	1105.89	1022.23	752.35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มผสมระหว่างแป้งไดออกไซด์และแป้งมันสำปะหลัง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %

วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)												
	0DAS0	0.25DAS30	0.25DAS50	0.25DAS70	0.5DAS30	0.5DAS50	0.5DAS70	1DAS30	1DAS50	1DAS70			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1	20.13	18.8825	18.27	17.47	17.21	15.5897	14.01	14.45	12.79	9.82			
2	26.39	23.3452	22.21	20.34	19.03	17.0981	15.68	15.27	13.57	11.01			
3	27.38	24.1123	22.99	21.00	19.97	18.0013	15.97	16.02	13.78	12.12			
4	28.37	24.997	23.58	21.94	20.51	18.9567	16.58	16.98	14.54	12.90			
5	29.82	25.435	24.015	22.23	21.89	19.5345	16.87	17.56	15.35	13.45			
6	26.81	25.0234	24.12	22.12	21.01	20.0012	17.59	17.04	16.00	12.97			
7	26.84	25.6789	23.98	22.34	20.92	21.1786	17.98	16.98	15.78	12.74			
8	27.42	25.7001	23.12	22.41	20.82	20.5646	17.12	16.67	15.67	12.87			
9	27.55	25.7965	23.57	22.78	21.23	20.2345	17.00	16.79	15.23	12.96			
10	27.64	25.5123	23.67	22.91	21.14	20.123	17.59	17.01	15.10	13.13			
11	27.23	25.321	24.00	23.00	21.01	20.01235	17.90	16.98	15.46	13.20			
12	27.54	25.4445	24.01	22.87	21.00	19.8796	18.18	16.87	15.58	13.56			
13	28.00	24.9453	23.89	22.94	21.45	19.5678	18.54	17.12	15.23	13.23			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของฟิล์มสมระหว่างแป้งเดอลิตไฮต์และแป้งมันสำปะหลัง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % (ต่อ)

วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)									
	0DAS0	0.25DAS30	0.25DAS50	0.25DAS70	0.5DAS30	0.5DAS50	0.5DAS70	1DAS30	1DAS50	1DAS70
14	28.04	24.82	23.75	22.99	21.87	19.99	18.34	17.23	15.89	13.67
15	28.22	25.04	23.56	23.01	22.01	20.13	18.23	17.23	15.44	13.99
16	27.97	25.54	24.12	23.11	21.91	19.75	17.98	16.99	15.23	14.09
17	28.14	25.41	24.00	23.09	21.89	19.56	17.76	16.81	15.89	13.86
18	28.95	25.21	23.89	23.00	21.90	19.84	17.56	16.97	15.89	13.45
19	28.77	24.87	23.90	22.97	21.78	20.12	17.99	16.812	15.43	13.32
20	28.46	24.91	23.95	22.87	22.00	19.89	18.13	16.66	14.89	13.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

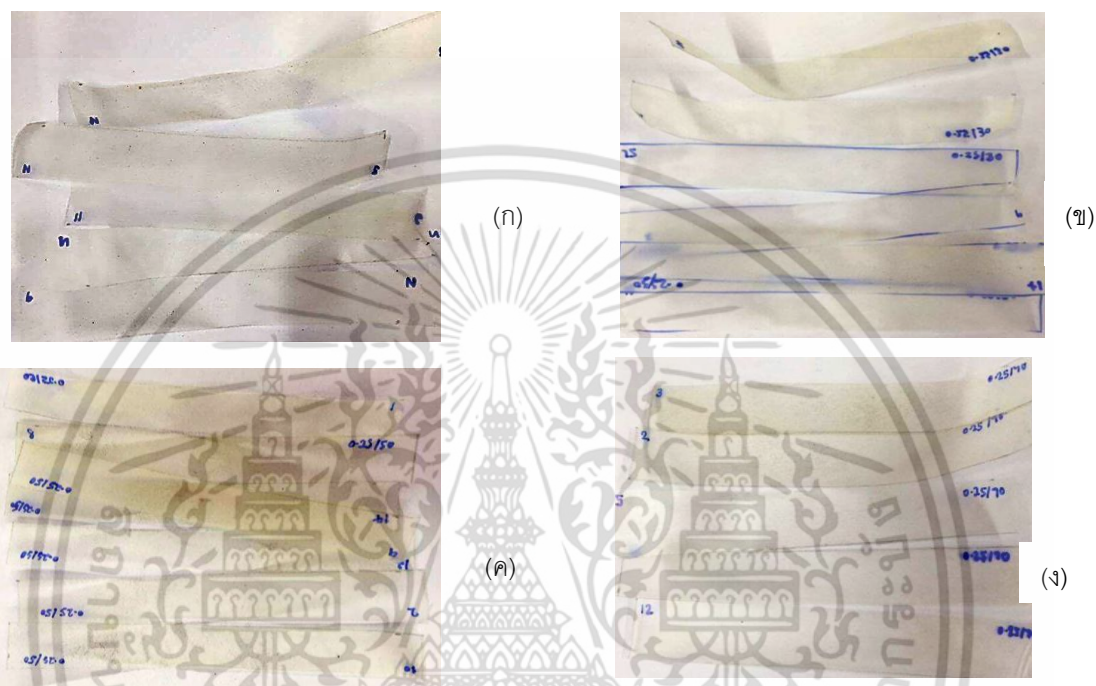
ภาคผนวก จ

สมบัติเชิงกลของฟิล์มแม่พิมพ์ในสภาพแห้งและฟิล์มผสมแม่พิมพ์ได้อัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ

ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
	ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (MPa)	ความอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (%)
0DAS0	11.50±0.08	117.86±5.37	25.5814±4.62
0.25DAS15	12.03±0.29	154.84±0.68	23.53±3.40
0.25DAS30	12.62±0.08	189.22±1.85	20.23±1.87
0.25DAS50	14.85±0.54	258.77±19.39	15.471±0.77
0.25DAS70	20.82±0.50	417.13±42.57	11.11±0.09
0.5DAS15	12.35±1.39	166.71±36.31	22.16±0.30
0.5DAS30	13.27±0.77	248.32±23.57	16.05±0.48
0.5DAS50	16.37±0.58	629.22±70.03	12.21±0.35
0.5DAS70	25.94±0.96	705±23.51	9.27±0.17
1DAS15	13.56±0.08	188.59±0.57	20.78±1.19
1DAS30	15.50±0.36	283.96±10.48	15.46±0.62
1DAS50	17.46±0.82	805.17±33.51	4.24±0.51
1DAS70	28.36±1.40	1209.95±38.44	3.06±0.31

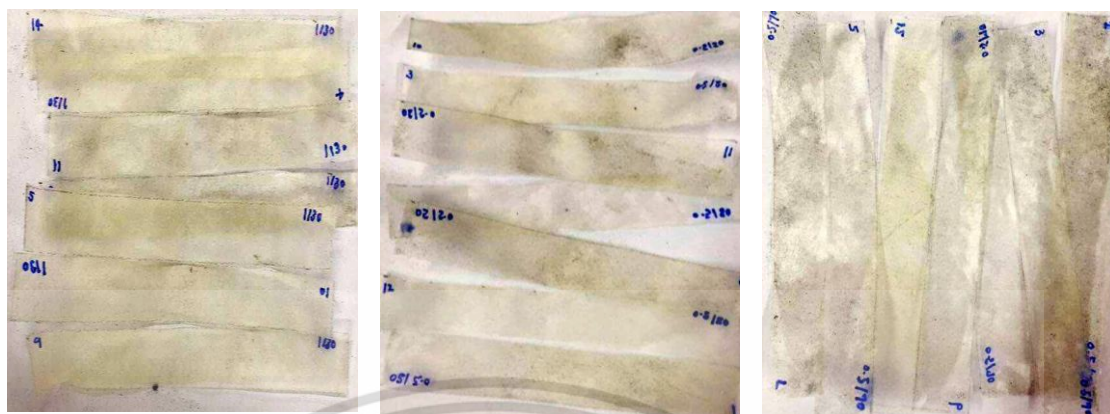
ภาคผนวก ฉ

ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมแป้งไดอัลติไฮด์สูตรต่าง ๆ ที่ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 5 วัน และ 10 วัน



รูปที่ ฉ.1 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลติไฮด์สูตร 0.25DAS ในปริมาณต่างกัน ๆ (ก) ODAS0 (ข) 0.25DAS30 (ค) 0.25DAS50 และ (ง) 0.25DAS70 ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ๒.2 พิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลตีไฮด์ซุตร 0.5DAS ในปริมาณต่างกัน ๆ
(ก) 05DAS30 (ข) 0.25DAS50 และ (ค) 0.5DAS70 ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 5 วัน



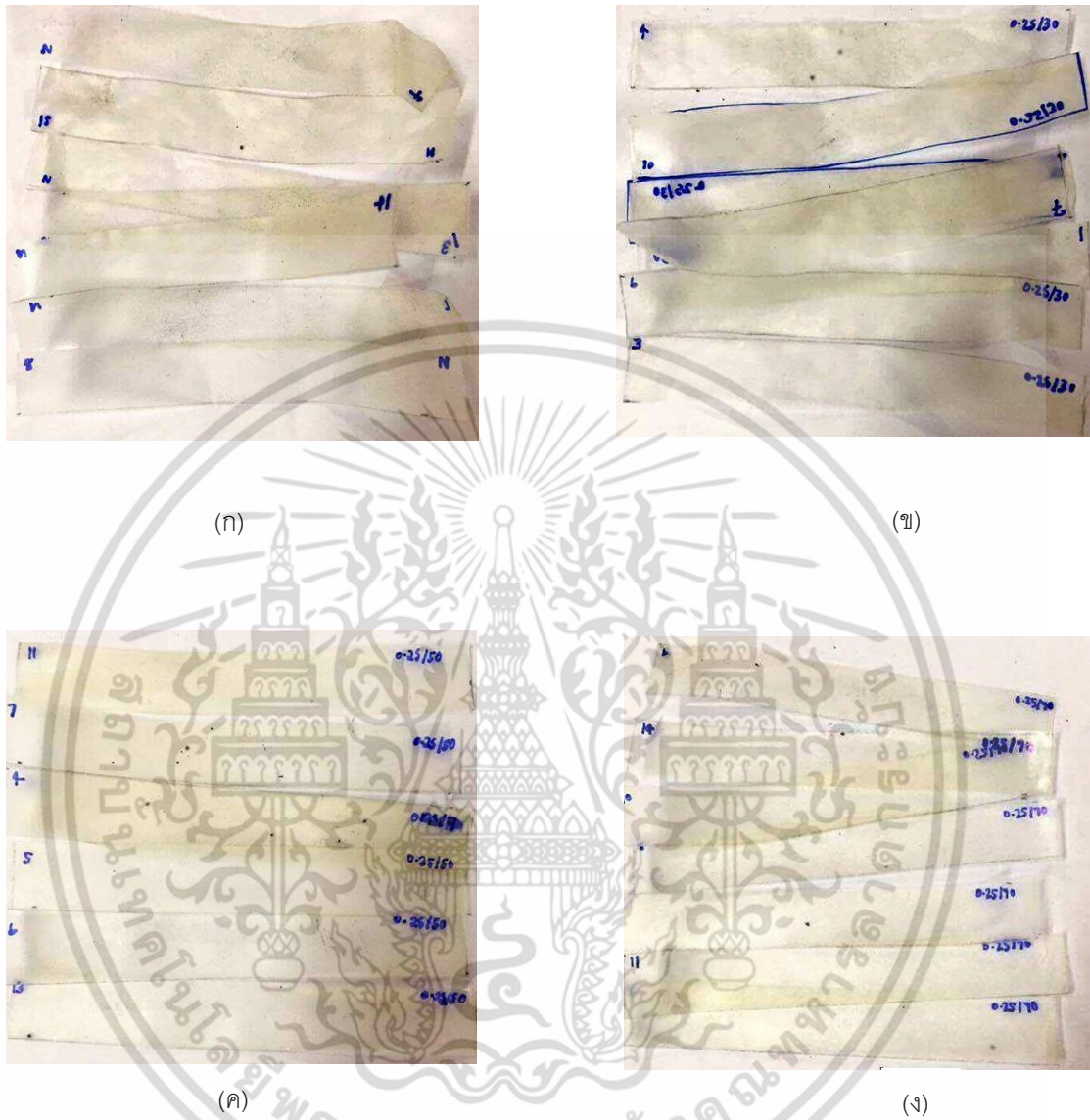
(ก)

(ข)

(ค)

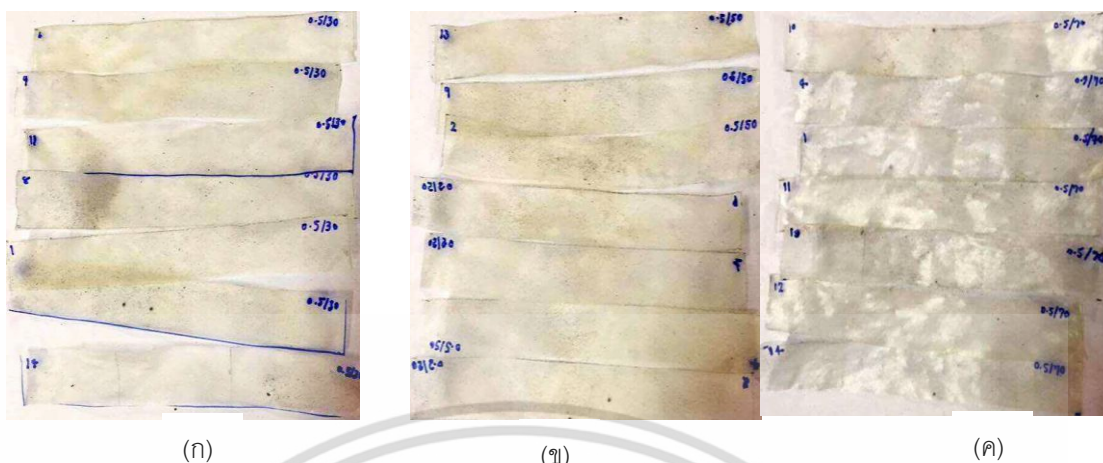
รูปที่ ๒.3 พิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งไดอัลตีไฮด์ซุตร 0.5DAS ในปริมาณต่างกัน ๆ
(ก) 1DAS30 (ข) 1DAS50 และ (ค) 1DAS70 ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

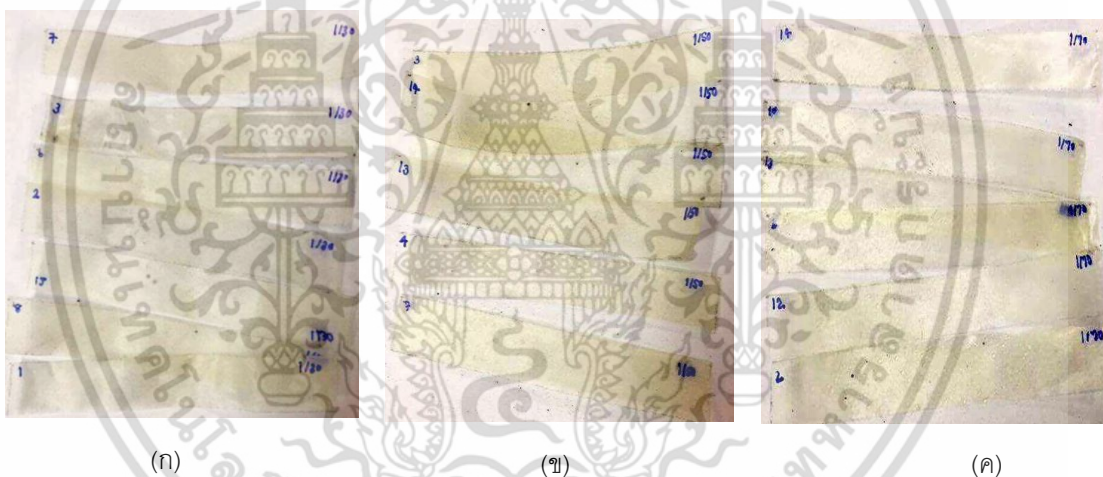


รูปที่ ๔.4 ฟิล์มแก๊งมันสำหรับหลังผสมแก๊งได้อลดีไฮด์สูตร 0.25DAS ในปริมาณต่างกัน ๆ (ก) 0DAS0 (ข) 0.25DAS30 (ค) 0.25DAS50 และ (ง) 0.25DAS70 ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๕.5 फिल्मแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งได้อัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS ในปริมาณต่างกัน ๆ
 (ก) 05DAS30 (ข) 0.25DAS50 และ (ค) 0.5DAS70 ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 10 วัน



รูปที่ ๕.6 फिल्मแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งได้อัลดีไฮด์สูตร 0.5DAS ในปริมาณต่างกัน ๆ
 (ก) 1DAS30 (ข) 1DAS50 และ (ค) 1DAS70 ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 10 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ หลังจากทำการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน เป็นระยะเวลา 0, 5 และ 10 วัน

วัน	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (MPa)	คามอดูลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%)
0	0DAS0	11.50±0.08	117.86±5.37	25.58±4.62
	0.25DAS30	12.62±0.08	189.22±1.85	20.05±0.48
	0.25DAS50	14.85±0.54	258.77±19.39	15.21±0.35
	0.25DAS70	20.84±0.50	417.17±42.57	11.22±0.17
	0.5DAS30	13.27±0.77	248.32±23.57	16.23±1.87
	0.5DAS50	16.37±0.58	629.26±70.03	12.47±0.77
	0.5DAS70	25.94±0.96	705±23.51	9.11±0.09
	1DAS30	15.50±0.36	283.96±10.48	15.47±0.62
	1DAS50	17.06±0.82	805.17±33.54	4.24±0.51
	1DAS70	28.36±1.40	1209.95±38.44	3.06±0.31
5	0DAS0	9.04±1.081	98.63±3.164	24.18±3.62
	0.25DAS30	11.27±1.77	175.32±13.15	19.08±0.17
	0.25DAS50	12.37±3.63	239.2±57.99	13.07±0.74
	0.25DAS70	18.94±2.43	385±28.69	9.763±1.17
	0.5DAS30	10.62±3.08	220.22±1.29	15.24±1.83
	0.5DAS50	14.85±0.48	598.77±12.27	11.47±0.71
	0.5DAS70	23.82±0.50	689.13±39.00	8.38±0.09
	1DAS30	14.04±0.56	279.76±5.48	15.47±0.95
	1DAS50	15.46±1.82	797.23±10.51	4.07±0.54
	1DAS70	26.38±2.40	1196.91±27.44	2.98±0.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและฟิล์มผสมแป้งไดอัลดีไฮด์สูตรต่าง ๆ หลังจากทำการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน เป็นระยะเวลา 0, 5 และ 10 วัน (ต่อ)

วัน	ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
		ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (MPa)	ค่ามอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%)
10	0DAS0	8.09±1.39	81.86±15.34	22.58±4.62
	0.25DAS30	9.27±0.77	150.32±23.57	16.05±0.48
	0.25DAS50	11.37±0.36	212.2±70.03	12.81±0.35
	0.25DAS70	16.94±0.96	350±23.51	8.27±0.65
	0.5DAS30	10.62±0.11	212.22±1.32	13.23±1.73
	0.5DAS50	13.85±0.57	578.77±19.39	9.471±0.95
	0.5DAS70	21.82±0.50	660.13±42.80	7.11±0.16
	1DAS30	13.50±0.36	270.99±10.71	13.06±0.53
	1DAS50	14.96±0.81	780.17±31.54	3.84±0.64
	1DAS70	25.36±1.42	1181.95±38.50	2.96±0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้ทำงานวิจัย

- ชื่อ ปรารธนา คำใส
- วันเกิด 1 ธันวาคม 2534
- ภูมิลำเนา เพชรบุรี
- ที่อยู่ 9/1 หมู่ที่ 3 ตำบลห้วยซ้อง อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี 76150
- การศึกษา -ระดับมัธยมต้น โรงเรียนบ้านลาดวิทยา
 -ระดับมัธยมปลาย โรงเรียนบ้านลาดวิทยา
 -ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 -ระดับปริญญาโท (วท.ม. เทคโนโลยีพอลิเมอร์)
 ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้