สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมและศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์ด้วยรังสีแกมมาผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

PREPARATION AND STUDY OF BIODEGRADABLE FILM FROM OXIDIZED CASSAVA STARCH BY GAMMA RAY WITH NANO ZnO

T117350

จิรารัตน์ หนูน้อย
ชุติมา ลิขิตสุภิณ
ฐิติพรรณ ชูจรรยา

สรพ.
เลขทะเบียน 117350
วัน เดือน ปี 20 ก.ค. 2554
b 12340583
i

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION AND STUDY OF BIODEGRADABLE FILM FROM OXIDIZED CASSAVA STARCH BY GAMMA RAY WITH NANO ZnO

JIRARAT NOONOI

CHUTIMA LIKITSUPIN

THITIPHAN CHOOCHANYA

SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACEDEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเตรียมและศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์ด้วยรังสีแกมมาผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิรารัตน์ หนูน้อย
นางสาวชุติมา ลิขิตสุภิณ
นางสาวฐิติพรรณ ชูจรรยา

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปรารถนา คิ้วสุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวราคร	
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	
ดร.ปรารถนา คิ้วสุวรรณ	
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเตรียมและศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์ด้วยรังสีแกมมาผสมนาโนซิงค์ออกไซด์

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิรารัตน์ หนูน้อย
นางสาวชุติมา ลิขิตสุภิณ
นางสาวฐิติพรรณ ชูจรรยา

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปรารถนา คิ้วสุวรรณ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมและศึกษาสมบัติของฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์ (Oxidized Cassava Starch , OCS) ด้วยรังสีแกมมาที่ความเข้มข้นต่ำช่วง 3 , 5 และ 10 kGy และที่ความเข้มรังสีสูงช่วง 40 , 80 และ 120 kGy นาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano ZnO) 0.1 กรัมเป็นสารตัวเติมและมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ อุณหภูมิผสมเท่ากับ 85 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปฟิล์มโดยเทพิมพ์ (Casting) อบฟิล์มที่ 60 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้นำมาทดสอบการดูดซับน้ำ ความคงตัวในกรดและด่าง ความคงตัวในน้ำมันพืช และพอลิเอทิลีนไกลคอล วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มด้วยเทคนิคอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Fourier transform IR spectroscopy,FTIR)ทดสอบสมบัติเชิงกลและตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการทดลองพบว่า แป้งออกซิไดซ์ด้วยรังสีแกมมาในช่วง 10-40 kGy และมีปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.1 กรัม ให้ฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดมีค่าความแข็งแรงดึง 8.83 MPa และมีเปอร์เซนต์การดึงยืด 48% มีความคงตัวในกรดและน้ำมันพืชดี มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project	Preparation and Study of Biodegradable Film from Oxidized Cassava Starch by Gamma Ray with Nano ZnO	
Name	Miss.Jirarat	Noonoi
	Miss.Chutima	Likitsupin
	Miss.Thitiphan	Choochanya
Department	Chemistry	
Program	Industrial chemistry	
Academic Year	2010	
Special Project Advisor	Asso.Prof.Dr.Malinee Chaisupakitsin	

Abstact

Preparation and study on film made from oxidized cassava starch by Gamma ray at low radiation dose in the range of 3, 5 and 10 kGy and at high radiation dose in the range of 40, 80 and 120 kGy. ZnO 0.1 g was used as filler and glycerol was used as plasticizer. The mixing temperature 85 $^{\circ}$C. Casting film was prepared at 60 $^{\circ}$C. Water absorbency,stability of film under acid,base,vegetable oil and polyethylene glycol were investigated. Films were characterized by Fourier transform IR spectroscopy,tensile testing and scanning electron microscopy.

The experimental results found that film made from oxidized cassava starch by Gamma ray in the range of 10-40 kGy and mixed with ZnO 0.1 g showed the best mechanical properties,tensile strength 8.83 MPa and % elongation at break 48%. This oxidize cassava starch film provided good dimentional stability in acid and vegetable oil and showed possibility to develop for packaging film.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับโครงงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ตลอดจนดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ดร.ปรารถนา คิ้วสุวรรณ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานพิเศษนี้ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและความรู้ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่โครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร และ ดร.ปานไพลิน สีหาราช ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ โดยช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบบนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร. พิริยาธร สุวรรณมาลา ดร. เกศินี เหมวิเชียร และนางสาว ธีรนันท์ แตงทอง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องฉายรังสีแกมมา

ขอขอบพระคุณหน่วยงานสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการฉายรังสีแกมมา

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับทุนสนับสนุนโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ และครอบครัว สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจอันเป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษฉบับนี้

จิรารัตน์ หนูน้อย
ชุติมา ลิขิตสุภิณ
ฐิติพรรณ ชูจรรยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตงานวิจัย	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 พลาสติกย่อยสลายได้	3
.2.2 แป้ง	3
2.2.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง	4
2.2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง	4
2.2.1.2 อะไมโลส	5
2.2.1.3 อะไมโลเพคติน	6
2.2.2 โครงสร้างของเม็ดแป้ง	7
2.2.3 สมบัติของแป้ง	9
2.2.3.1 การพองตัวและการละลาย	9
2.2.3.2 การเกิดเจลาติไนเซชัน	10
2.2.4 การคืนตัวของแป้งสุก	12
2.2.5 มันสำปะหลัง	14
2.2.6 แป้งถูกออกซิไดซ์	17
2.3 รังสี	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.1 ความหมายของรังสี	18
2.3.1.1 รังสีนิวเคลียร์	19
2.3.2 หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี	20
2.3.2.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสี	20
2.3.2.2 ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน	21
2.3.2.3 ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว	21
2.3.2.4 ปริมาณรังสีสมมูล	21
2.3.3 แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา	22
2.3.3.1 โคบอลท์	22
2.3.4 การใช้ประโยชน์พลังงานนิวเคลียร์ในด้านอุตสาหกรรม	25
2.4 กลีเซอรอล	26
2.4.1 คุณสมบัติของกลีเซอรอล	26
2.4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ	26
2.4.1.2 คุณสมบัติทางเคมี	28
2.4.2 กลีเซอไรด์	28
2.4.3 ประโยชน์ของกลีเซอรอล	29
2.5 ซิงค์ออกไซด์	29
2.5.1 ข้อมูลทั่วไป	29
2.5.2 ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์	30
2.5.2.1 ด้านอุตสาหกรรม	30
2.5.2.2 ด้านเกษตรกรรม	32
2.5.2.3 ด้านเภสัชกรรม	32
2.5.2.4 ด้านเครื่องสำอาง	33
2.5.2.5 ด้านสิ่งแวดล้อม	34
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	41
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	41
3.3 วิธีการทดลอง	43
3.4 วิธีทดสอบ	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	46
4.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง	46
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี	48
4.3 การดูดซับน้ำ	49
4.3.1 ปริมาณของแข็งที่เหลือ	51
4.4 การคงตัวในกรดและด่าง	52
4.5 การคงตัวในน้ำมันพืชและพอลิเอทิลีนไกลคอล	53
4.6 สมบัติเชิงกล	57
4.7 สมบัติทางความร้อน	59
4.8 สัณฐานวิทยา	62
4.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัย	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 5

ตารางที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด 6

ตารางที่ 2.3 หน่วยของรังสี 20

ตารางที่ 2.4 ค่า radiation weighting factors (W_R) 22

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับอุณหภูมิของกลีเซอรอล 27

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล 27

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมที่ใช้ในการทดลอง 43

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการขึ้นรูปจากสูตรต่างๆ 46

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้นในกรดและด่าง เมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ 52

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวและอุณหภูมิการสลายตัว 61

ตารางที่ 4.4 ผลการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอะไมโลส	5
2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	7
2.3 Diagrammatic representation of the lamellar structure of a starch granule	8
2.4 A-and B-type polymorphs of amylase	8
2.5 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน	9
2.6 ภาพการพองตัวของเม็ดแป้ง	10
2.7 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน	11
2.8 DSC thermogram ของเม็ดแป้ง	12
2.9 การคืนตัวของแป้ง	13
2.10 โครงสร้างกลีเซอรอล	26
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย	42
4.1 อินฟาเรด สเปกตราของแป้งมันสำปะหลังก่อนและหลังการฉายรังสี	48
4.2 กราฟแสดง % การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง	49
4.3 กลไลการดูดซับน้ำ	50
4.4 กราฟแสดง %ปริมาณของแข็งที่เหลือ	51
4.5 อินฟาเรด สเปกตราของน้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล	53
4.6 อินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลบริสุทธิ์ พอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล	55
4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด	57
4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งกด (Shore D)	58
4.9 TGA thermogram	59
4.10 ภาพจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า	62
4.11 แสดงการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

สภาวะโลกร้อน (Global Warming) กำลังทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องการคิดค้นวิธีการแก้ปัญหาสภาวะโลกร้อนจึงเป็นสิ่งที่ควรตระหนักอย่างมากในปัจจุบัน และการคิดค้นสิ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเพื่อให้เกิดประโยชน์สุดต่อโลกของเรานั้นก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจอยู่ในขณะนี้ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) แต่การนำเทอร์โมพลาสติกกลับมาใช้ใหม่จำเป็นต้องใช้กรรมวิธียุ่งยาก อีกทั้งเทอร์โมพลาสติกยังเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้เวลาในการย่อยสลายค่อนข้างนานอันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดขยะพอลิเมอร์ที่ใช้เวลาในการย่อยสลายค่อนข้างนานอันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดขยะพอลิเมอร์ในปริมาณที่สูงขึ้นเรื่อยๆ

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหามลภาวะจากพลาสติก คือ การใช้พลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระบวนการทางชีวภาพ พอลิเมอร์ชีวภาพที่ย่อยสลายได้(Biodegradable polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์มาจากวัสดุธรรมชาติ(Natural materials) ซึ่งสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติโดยใช้เวลาในการย่อยสลายสั้นกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆทั่วไป ความสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ย่อยสลายได้เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับความสนใจในการศึกษาอย่างมาก คือ แป้ง (Starch)ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร แป้งจึงเป็นวัสดุที่มีราคาถูก หาได้ง่ายและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2544 มีการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรวมทั้งสิ้น ประมาณ 5.57 ล้านตันคิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 18,150 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของมันเส้น มันอัดเม็ดและแป้งมันสำปะหลัง โดยเฉพาะแป้งมันสำปะหลังนั้นมีความบริสุทธ์สูง ราคาถูกและมีปริมาณมากจึงถูกนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายและในปัจจุบันยังนิยมนำมาผลิตเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ซึ่งมีเทคโนโลยีและลักษณะการผลิตที่แตกต่างกัน[1]

ในโครงงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมแผ่นฟิล์มและการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งย่อยสลายได้ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังออกซิไดซ์ด้วยรังสีแกมมาโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์และมีนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารตัวเติม โดยศึกษาปริมาณรังสีที่มีผลต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลังและปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังถูกออกซิไดซ์ โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์และใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารตัวเติม ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ (casting)

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังถูกออกซิไดซ์ ในการทำเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ออกซิไดซ์แป้งมันสำปะหลังด้วยการฉายรังสีแกมมา

1.3.3 เตรียมตัวอย่างวัตถุดิบและทำการผสมและขึ้นรูปตัวอย่าง

1.3.4 ศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังถูกออกซิไดซ์

1.3.5 ศึกษาผลของปริมาณรังสี ปริมาณกลีเซอรอลและปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังถูกออกซิไดซ์

1.3.6 ทดสอบสมบัติต่างๆของตัวอย่างที่เตรียมได้

- สมบัติทางกายภาพ
- สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation), ความแข็งกด (Hardness)
- สมบัติทางความร้อน
- สัณฐานวิทยา
- การย่อยสลาย เช่น การฝังกลบ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเตรียมแผ่นฟิล์มที่ย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังถูกออกซิไดซ์

1.4.2 ทราบปริมาณรังสีแกมมาที่มีต่อแป้งมันสำปะหลังแห้ง

1.4.3 ทราบปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อแป้งมันสำปะหลังถูกออกซิไดซ์

1.4.4 ช่วยลดปัญหาสภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบันและอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้

ปัจจุบันปัญหาของการใช้พลาสติกมีมากขึ้น ทั้งนี้เพราะพลาสติกส่วนใหญ่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย ใช้เวลานับร้อยปีจนกว่าจะมีการสูญเสียน้ำหนักบางส่วน การนำไปทำลายสามารถทำได้โดยการเผาซึ่งจะให้ก๊าซที่เป็นพิษและมีความร้อนสูง และถ้านำไปทิ้งในมหาสมุทรจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมและค่าขนส่งซึ่งปริมาณการใช้พลาสติกมีตัวเลขเพิ่มขึ้นอย่างมาก ถ้าไม่มีการใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้มาทดแทน พลาสติกที่ใช้ในโลกประมาณว่าจะมีจำนวนกว่า 100 ล้านตัน จะเห็นได้ว่าถ้าหากมีการใช้วัสดุอื่นทดแทนการใช้พลาสติกเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ก็จะลดการใช้พลาสติกลงได้ถึง 1 ล้านตัน แป้งจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำมาเป็นวัสดุใช้ทดแทนพลาสติกในบางส่วนของการใช้งาน เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ย่อยสลายได้ง่าย มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส สามารถพองตัวขึ้นแผ่นฟิล์มรวมทั้งมีลักษณะที่เปลี่ยนรูปและนำมาขึ้นรูปในแม่พิมพ์ได้ ราคาถูก มีความบริสุทธิ์สูง ปัจจุบันจึงมีการนำแป้งมาใช้ในการผลิตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้

2.2 แป้ง

แป้งซึ่งเป็นอาหารสะสมในพืชนั้นประกอบด้วย polymer 2 ชนิดคือ อะไมโลส (amylose) กับอะไมโลเพกติน (amylopectin) อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันแบบ α -1,4 เป็นสายยาวมากจนขดเป็นเกลียว (helix) ส่วนอะไมโลเพกติน (amylopectin) คือ พอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันแบบ α -1,4 และมีการแตกกิ่งแบบ α -1,6 ทำให้มีโครงสร้างเป็นกิ่ง ความแตกต่างกันของอะไมโลเพกติน(amylopectin) กับ glycogen อยู่ที่ glycogen มีการแตกกิ่ง α -1,6 มากกว่าอะไมโลเพกติน (amylopectin) ในการทดสอบแป้งโดยให้แป้งทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนแล้วเกิดสีม่วงนั้น การเกิดสีม่วงเกิดจากการที่โมเลกุลของไอโอดีนแทรก (intercalate) เข้าไประหว่างเกลียวของอะไมโลส (amylose) แล้วทำให้เกิดสี คล้ายกับการที่ethidium bromide แทรกเข้าไประหว่างเกลียว double helix ของ DNA แล้วเกิดการดูดกลืน UV

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope ; SEM) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมันฝรั่งและแป้งพุทธรักษามีลักษณะเป็นรูปขนาดใหญ่ ถือได้ว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งอื่นๆ เม็ดแป้งสาลี บาร์เลย์และ ข้าวไรน์มี 2 แบบ คือ แบบ A มีรูปร่างแบบ lenticular ขนาด 10-30 ไมครอน และแบบ B รูปร่างกลม มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เม็ดแป้งแบบ B มีจำนวนมากกว่าคือประมาณ 95% ของจำนวนเม็ดแป้งทั้งหมด แต่ถ้าเทียบเป็นน้ำหนักแล้วจะคิดเป็นเพียง 20-30% เท่านั้น ส่วนเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีขนาดปานกลาง (20 ไมครอน) ขนาดใกล้เคียง กับเม็ดแป้งข้าวโพด ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด

เม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวน เรียกว่า growth ring ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์หรือ scanning electron microscopy เม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็น growth ring ได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้นพุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็น growth ring ได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบ growth ring สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์และแป้งข้าวเจ้าจะสังเกตได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่าน ปฏิกิริยาเคมีหรือย่อยด้วยเอนไซม์และศึกษาด้วย SEM โครงสร้างของ growth ring แสดงถึงลักษณะ การเจริญของเม็ดแป้งโดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญมาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (hilum) ซึ่งส่วนนี้ ประกอบด้วยส่วน reducing end ของโมเลกุลแป้ง มีด้าน non-reducing end ของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน แผ่กระจายออกไป จุดเชื่อมกิ่ง (branch point) ของอะไมโลเพคตินอยู่ในส่วนอสัณฐานและสายโซ่อยู่ในส่วนผลึก

ถ้าส่องด้วยกล้อง โพลาไรซ์ (polarized microscope) จะมองเห็นวงแหวนและไฮลัม เป็นเครื่องหมายกากบาทสีดำชัดเจน (birefringence หรือ polarization cross) โดยจุดตัดของกากบาทจะเป็นตำแหน่งของไฮลัมและบริเวณอื่นจะเห็นเป็นแสงสว่างวาว ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันถึงลักษณะ ที่โมเลกุลของแป้งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ [2]

2.2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง

โดยทั่วไปเม็ดแป้ง (starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมี โปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่นๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

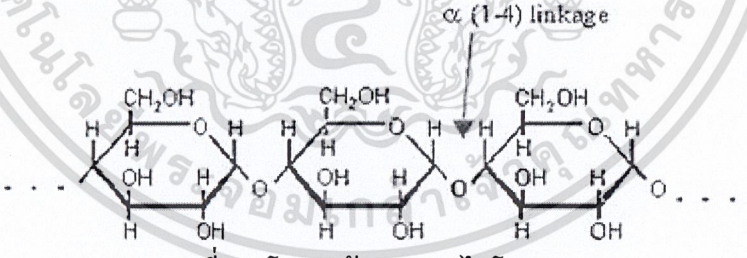
สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ a-1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ a-1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะa-1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

2.2.1.2อะไมโลส (amylose)

อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ a-1, 4 –glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.1 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส [2]

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูจะมีปริมาณ อะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วง18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น butanol, fatty acid, surfactant, phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ อะไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 หน่วยกลูโคสเมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินม่วง ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ และใช้ในการตรวจสอบปริมาณอะไมโลสในแป้ง[2]

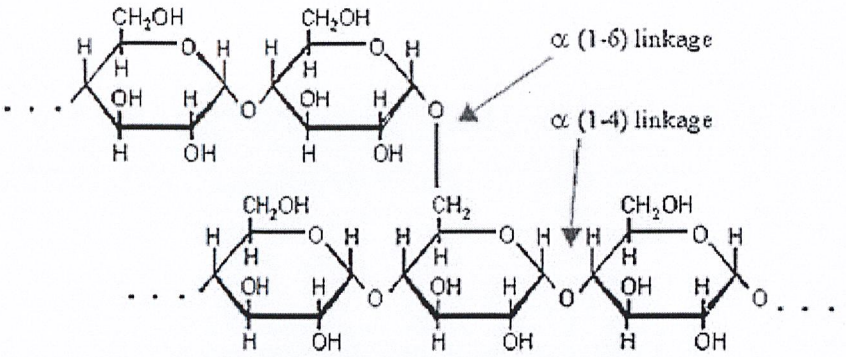
ตารางที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดแป้ง	ความเป็นผลึก (%)	อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน ($^{\circ}C$)	ปริมาณอะไมโลส (%)
ข้าวโอ๊ต	33	60.7	23
ข้าวสาลี	36	63.5	23
ข้าวเหนียว	37	64.5	-
ข้าวฟ่าง	37	72.2	25
ข้าวเจ้า	38	70.0	17
ข้าวโพด	40	71.3	27
สาคู	26	70.5	28
มันฝรั่ง	28	67.3	22
มันเทศ	38	70.0	20
มันสำปะหลัง	38	66.0	18

2.2.1.3 อะไมโลเพคติน (amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ a-1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ a-1, 6-glycosidic linkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างอะไมโลเพคติน [2]

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ a-1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสใน อะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสคือ ประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตัน และมีการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง อะไมโล เพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ อะไมโลเพคตินประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด คือ

1) สาย A (A–chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่า สายโซ่แบบ B นี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 ซึ่งมีความยาวคร่อมหนึ่ง สอง สามและสี่คลัสเตอร์ (cluster) ตามลำดับ

3) สาย C (C–chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพคติน แต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

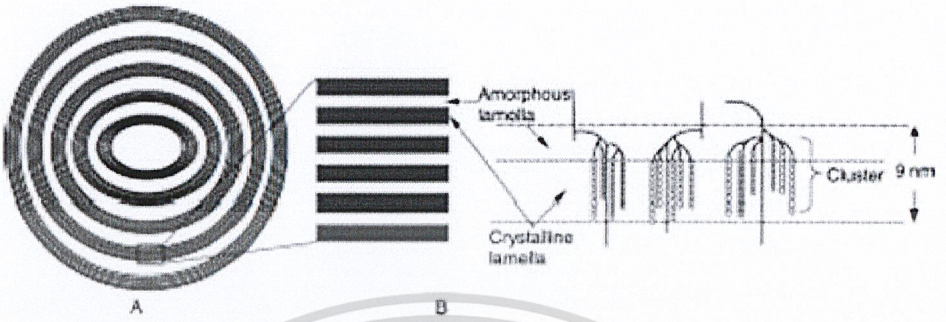
ความยาวของสายกิ่งอะไมโลเพคตินมีตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45-60 หน่วย ประกอบด้วยสาย B สายยาว สายโซ่เหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไปในหัวข้อโครงสร้างของเม็ดแป้ง [2]

2.2.2โครงสร้างของเม็ดแป้ง

ความรู้ที่ได้จากลักษณะของ growth ring สมบัติ birefringence cross ของเม็ดแป้ง และการใช้เทคนิคX-ray scattering ในการวิเคราะห์เม็ดแป้ง นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่าเม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยลักษณะความเป็นผลึก เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่ในโมเลกุลของอะไมโลเพค ตินในแนวรัศมีเป็นชั้นๆ ในรูปของคลัสเตอร์ (series of stacked amylopectin clusters) ซึ่งในแต่ละคลัสเตอร์ ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นส่วนรวมของจุดที่แตกกิ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่า amor- phous lamellar และบริเวณที่มีสายโซ่กิ่งของอะ

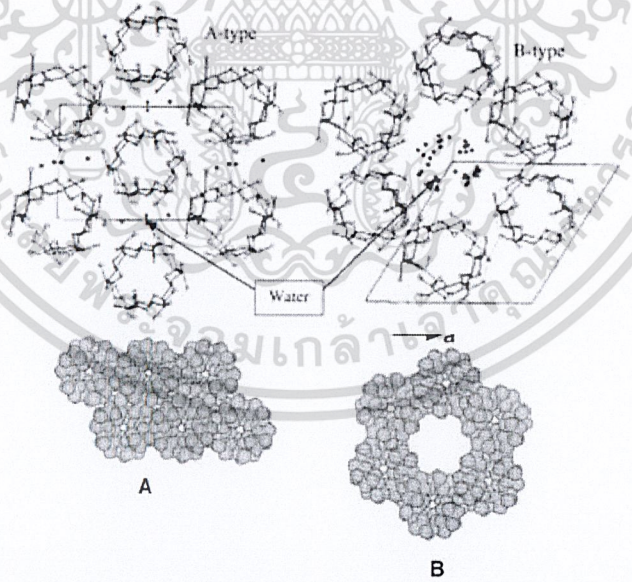
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโลเพคตินที่จัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ ที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกบริเวณส่วนนี้ว่า crystalline lamellar หนึ่งคลัสเตอร์มีขนาด 9 nm [2]



ภาพที่ 2.3 Diagrammatic representation of the lamellar structure of a starch granule according to Donald et al.[2]

เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ดังภาพที่9 ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) สารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วมีรูปแบบผลึกเป็นแบบ V

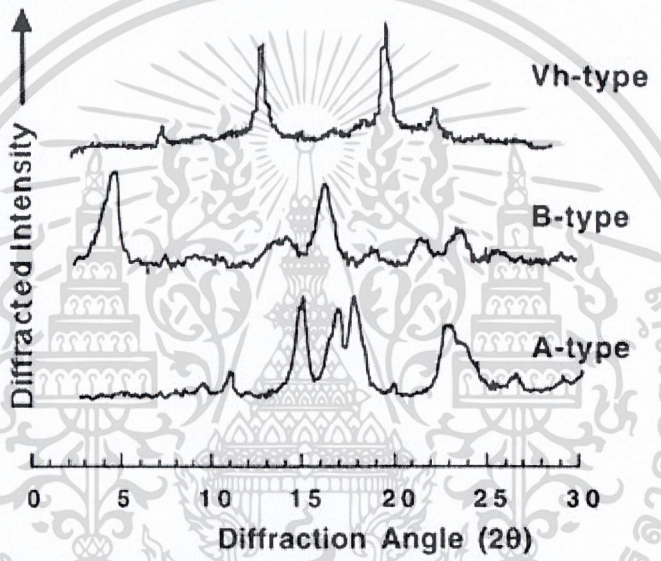


ภาพที่ 2.4 A- and B-type polymorphs of amylose. Adapted from Wu and Sarko (1978b) [2]

โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิค wild angle x-ray diffraction (WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันให้รูปแบบของ x-ray diffraction ต่างกันดังภาพที่ 10 แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A ให้พีคที่ 17 และ 18 และพีคเดี่ยวที่ 23 องศาเซลเซียส แต่ไม่มีพีคที่ 5.6 แป้งจากธัญพืช เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวโพด ข้าวเจ้า มีลักษณะผลึกแบบ A แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B ให้พีคที่ 5.6 และ 17 แต่ไม่มีพีคที่ 18 และมีพีคคู่ (doublet) ที่ 22 และ 24 ซึ่งได้แก่ แป้งจากพืชหัวและแป้งที่มีอะไมโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C ให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A และ B กล่าวคือ มีพีคที่ 5.6 และ 17.9 ตัวอย่างเช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว ราก ลำต้นและแป้งผลไม้บางชนิด แป้งบางชนิดอาจให้ลักษณะของผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A และ C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติ (treatment) ต่อเม็ดแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่งชื้นที่ถูกบ่มไว้นานที่อุณหภูมิสูง (110 องศาเซลเซียส, 30 นาที : heat moisture treatment) มีชนิดของผลึกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นชนิด B ไปเป็นชนิด A ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.2 [2]



ภาพที่ 2.5 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน [2]

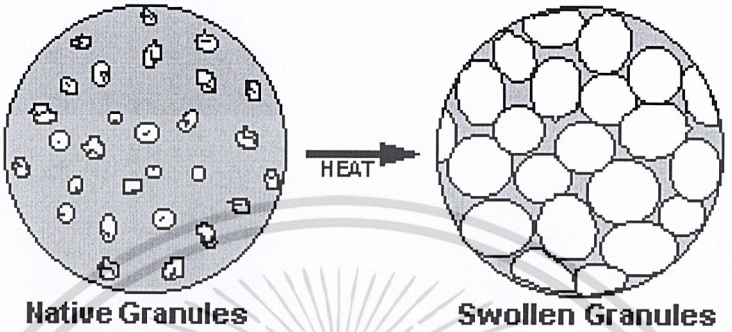
2.2.3 สมบัติของแป้ง

2.2.3.1การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วน amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้น โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น [2]



ภาพที่ 2.6 การพองตัวของเม็ดแป้ง [2]

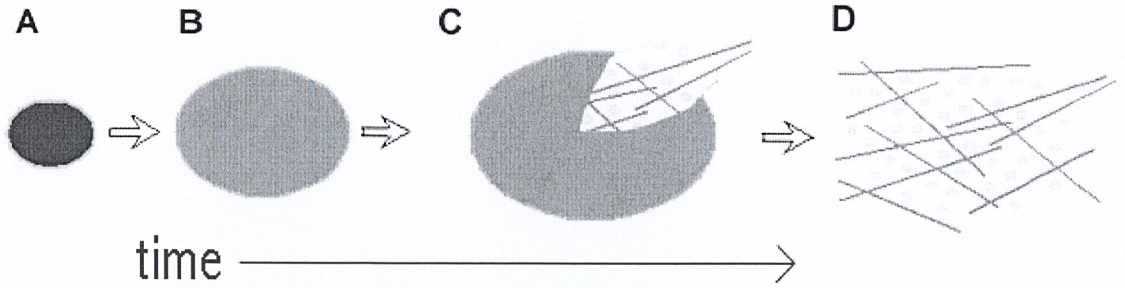
2.2.3.2 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

-1-กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก สังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาลีในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็น crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 องศาเซลเซียสหรือใช้สารเคมี เช่นให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียสแก่แป้งสาลีจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท(maltese cross)ภายในเม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก แต่เมื่อใช้ SEM ส่องดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณ 30% พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน แป้งอาจเกิด gelatinized ได้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการละลายใน Solvent เช่น alkali, liquid ammonia, DMSO [2]



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [2]

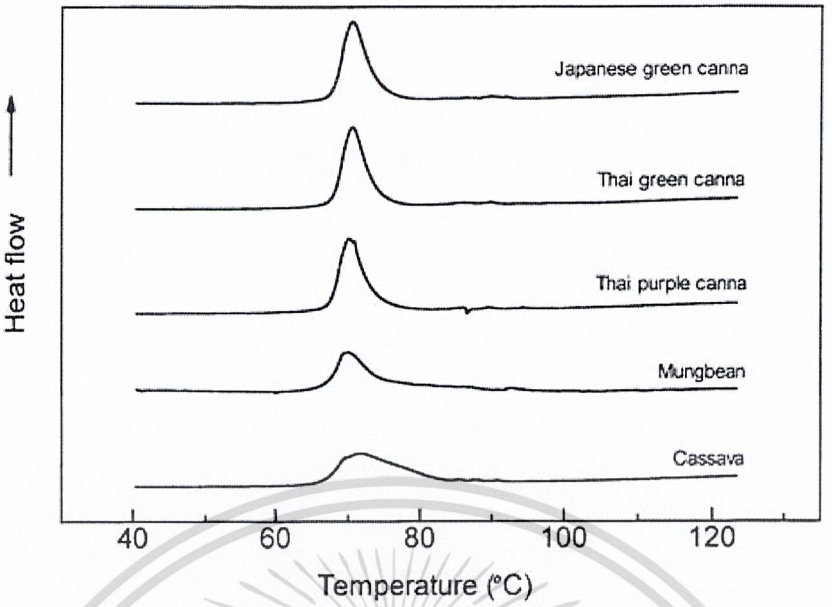
-2-ลำดับการเปลี่ยนแปลงเป็นดังนี้

- เริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุดคือในส่วน Amorphous
- การพองตัวจะทำให้เกิด tension ต่อ crystallites ที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างเสียหาย
- การให้ความร้อนต่อไปจะเกิด Uncoiling หรือการแตกตัวของ double helical region เกิด break up ของโครงสร้างผลึก side chain ของอะไมโลเพคตินที่แยกตัวออกมาจะถูก hydrate และมีการพองตัวไปในแนวรอบๆ ดังนั้นจะเกิด stress ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่
- การเกิด hydration ต่อไปจะเพิ่ม mobility ของโมเลกุลทำให้เกิดการกระจายตัวของโมเลกุล
- โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจาก swollen granule
- การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ granule แตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย [2]

-3-การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง

วิธีที่ง่ายและแม่นยำ คือ วัดอุณหภูมิที่เม็ดแป้งสูญเสียเครื่องหมายกากบาทเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler (Kofler hot stage microscope) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีระบบการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำแป้งบนแผ่นสไลด์อย่างต่อเนื่องในอัตรา2องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อมองผ่านแสงโพลาไรซ์ พบว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงที่เห็นคือเม็ดแป้งประมาณ2%เริ่มพองตัวและสูญเสียเครื่องหมายกากบาท ที่จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน(initial of gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายกากบาทไป50%จะเรียกเป็นจุดกลางของ เจลาติไนเซชัน(midpoint of gelatinization) และเมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายไปประมาณ98%จะเรียกเป็นจุดสุดท้ายของเจลาติไนเซชัน(final of gelatinization หรือ completion point) ดังนั้นส่วนใหญ่มักแสดงช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งเป็นตัวเลขชุด แต่ถ้าระบุเป็นอุณหภูมิเดียวมักเป็นจุดสุดท้ายของ เจลาติไนเซชันหรือที่เรียกกันว่า Birefringence end point temperature (BEPT) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 DSC thermogram ของแป้ง [2]

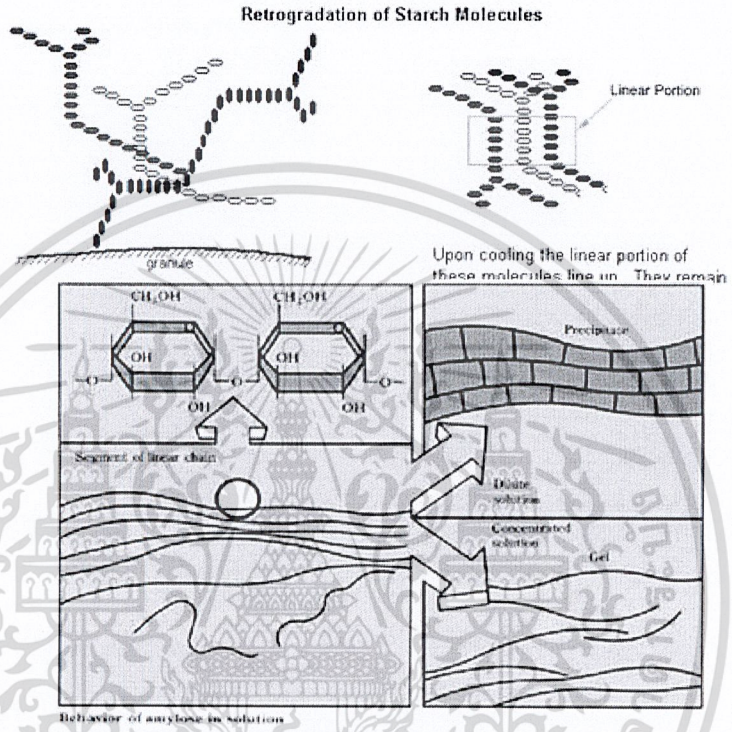
นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์โดยใช้เครื่องมือที่วัด และบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยน แปลงระหว่างกระบวนการ เช่น เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) ซึ่งใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ปกติโพลิเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70% แป้งจะเกิดเจลาติไนเซชัน โดยทั่วไปจะถือว่าอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทราลปีสูงสุด (peak temperature) คืออุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน สำหรับการตรวจสอบการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC ทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแป้งกับน้ำในอัตรา 30/70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะได้ thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน (DH, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง [2]

2.2.4 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (ดังรูปที่ 2.9) ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น crystalline ซึ่งสามารถตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้โดยใช้ X-ray diffraction ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลอ่อนนุ่ม



ภาพที่ 2.9 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำแป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากราก หัวเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้ง ยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึดติดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกะกะ ยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้จึงพบว่าแป้งประเภท waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วยโมเลกุล อะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไฟล์ไปเผยแพร่ต่อ ไม่ว่าจะเป็นการเผยแพร่ฟรีหรือขายก็ตาม

ไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน [2]

2.2.5 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ในปี 2544 มีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรวมทั้งสิ้นประมาณ 5.57 ล้านตันคิดเป็นมูลค่าการส่งอออกประมาณ 18,150 ล้านบาทแต่ผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของมันเส้น มันอัดเม็ดและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีราคาต่ำและยังขึ้นอยู่กับปัจจัยจากตลาดต่างประเทศทั้งในเรื่องราคาและปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอน ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าจึงควรใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังในรูปแบบที่เป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะแป้งมันสำปะหลังที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบทางอุตสาหกรรมได้อย่างมากมาย

การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆดังนี้

1. อุตสาหกรรมสารให้ความหวาน

อุตสาหกรรมผลิตสารให้ความหวานที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมี 3 ประเภท คือ

-กลูโคส (glucose)

ผลิตภัณฑ์กลูโคสที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ

1) กลูโคสไซรับ (glucose syrub) หรือกลูโคสเหลวเป็นสารละลายแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยแป้งโดยผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้น

2)กลูโคสผงเป็นกลูโคสไซรับที่ทำให้แห้งเป็นผงทั้งนี้ปริมาณการผลิตกลูโคสเหลวมีมากกว่ากลูโคสผงเนื่องจากความต้องการของตลาดมีมากกว่าโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตน้ำหวานทอฟฟี่หรือลูกกวาด ไอศกรีมสำหรับกลูโคสผงส่วนมากจะใช้ในอุตสาหกรรมยา

- ไฮฟรุกโตส (high fructose)

ไฮฟรุกโตสเป็นสารให้ความหวานที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมากกว่าสารให้ความหวานชนิดอื่นๆเนื่องจากมีความหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลและอยู่ในสภาวะค่อนข้างบริสุทธิ์จึงเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ เช่นน้ำอัดลม (ใช้ร้อยละ 80 ของไฮฟรุกโตสที่ผลิตได้ทั้งหมด) น้ำผลไม้ นมเปรี้ยว โยเกิร์ต ผลไม้ อาหารกระป๋อง เป็นต้น

- ซอร์บิทอล (sorbitol)

ซอร์บิทอลหรือดี–กลูซิทอลเป็นสารให้ความหวานที่มีการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งการทำลูกชิ้นเพื่อช่วยไม่ให้โปรตีนในอาหารแปรสภาพและยังคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสดใหม่ให้กับอาหาร นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเพื่อใช้เป็นตัวรักษาความชุ่มชื้นทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แข็งตัวเป็นก้อน

2. อุตสาหกรรมผงชูรส

การผลิตผงชูรสสามารถใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบโดยแป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์ จากนั้นจะหมักน้ำตาลกลูโคสโดยใช้แบคทีเรียเพื่อให้ได้กรดกลูตามิก (glutamic acid) แล้วทำให้เข้มข้นและตกผลึกก็จะได้ผงชูรส โดยมีอัตราการแปรสภาพจากมันสำปะหลังเป็นผงชูรสประมาณ 1.8 : 1

3. อุตสาหกรรมผลิตแอล-ไลซีน (L-lysine)

แอล-ไลซีน เป็นกรดอะมิโนที่จำ เป็นต่อร่างกายที่คนและสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ ต้องรับจากอาหารเท่านั้นในอาหารสัตว์ตามธรรมชาติมีแอล-ไลซีนน้อยมากไม่เพียงพอต่อความต้องการซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตช้า จึงได้มีการผลิตแอล-ไลซีนขึ้นเพื่อนำ มาปรับปรุงคุณภาพของอาหารสัตว์ โดยจะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตกระบวนการผลิตจะใช้เอนไซม์เปลี่ยนแป้งมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตแอล-ไลซีนโดยวิธีการหมักแล้วทำให้เข้มข้นและตกผลึกก็จะได้แอล-ไลซีน

4. อุตสาหกรรมแป้งดัดแปร(modified starch)

แป้งดัดแปรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก.1073-2535หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (starch) เช่นแป้งมันสำ ปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีหรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อนหรือเอนไซม์หรือสารเคมีชนิดต่างๆเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ซึ่งคุณลักษณะเกณฑ์ชี้บ่งต่างๆ ของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2535) เนื่องจากแป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตทางอุตสาหกรรม ได้แก่ ไม่สามารถรักษาสภาพความหนืดที่คงที่ตลอดกระบวนการผลิต เป็นต้น ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำจึงต้องนำแป้งมาผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน

การดัดแปรแป้งมี 3 วิธี คือ วิธีทางเคมี(chemical modification) วิธีทางกายภาพ (physical modification) และวิธีทางชีวภาพ(biologicalmodification)แป้งดัดแปรที่ผลิตได้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆเช่นอุตสาหกรรมอาหาร กระดาษ กาว อุตสาหกรรมทอผ้า และบางส่วนส่งออกจำหน่ายต่างประเทศ

จากที่กล่าวมาแม้ว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งแปรรูปจะสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทั้งที่เป็นอาหารและที่มิใช่อาหารได้อย่างหลากหลาย แต่การที่จะขยายขอบข่ายความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมของแป้งมันสำปะหลังให้มากขึ้นจำเป็นต้องอาศัยงานวิจัยและพัฒนามาสนับสนุน สำหรับงานวิจัยและพัฒนาที่จะนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆที่สำคัญได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สารพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ (Water Absorbing Polymer)

สารพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังคือสารที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลของแป้งมันสำปะหลังที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ anhydroglucose unit โดยการนำ สารที่เป็น โมโนเมอร์ (monomer) มาต่อลงบนสายโมเลกุลของแป้ง โมโนเมอร์ที่ใช้จะเป็นไวนิลโมโนเมอร์ที่มีหมู่แทน 3ที่ ที่มีสมบัติชอบน้ำเช่นหมู่คาร์บอกซิเลท (carboxylate) และหมู่เอไมด์ (amide) ได้แก่ เมทาอะคริลิก (methaacrylic) อะคริลาไมด์ (acrylamide) อะคริโลไนไตรล์ (acrylonitrile) เป็นต้น ปฏิกิริยาที่ใช้ในการต่อโมโนเมอร์ลงบนโมเลกุลของแป้งเรียกว่า free radical graft copolymerisation องค์ประกอบของปฏิกิริยาประกอบด้วยแป้งมันสำ ปะหลัง ตัวเริ่ม(initiator) และโมโนเมอร์

ในแต่ละปีประเทศไทยนำเข้าสารเคมีที่มีสมบัติในการดูดซึมน้ำเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเช่น ผ้าอ้อม ผ้าอนามัย ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ผลิตสารประเภทนี้ในต่างประเทศจะใช้สารเคมีและงานวิจัยในต่างประเทศที่ได้นำ ผลิตผลจำ พวกแป้งมาเตรียมสารประเภทนี้พบว่าใช้แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีเป็นส่วนใหญ่สำ หรับประเทศไทยที่มีผลผลิตมันสำ ปะหลัง ข้าว และข้าวโพดอันเป็นแหล่งแป้งที่สำ คัญ ก็น่าที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำ หรับผลิตสารประเภทนี้ได้ สารพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางดังนี้

ก. ด้านการเกษตร ใช้เคลือบเมล็ด ย้ายต้นกล้า ป้องกันความแห้งแล้งโดยเก็บความชุ่มชื้นทำให้พืชไม่เหี่ยวเฉา เป็นสารปรับแต่งดินโดยนำพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำผสมกับดิน ทำให้ดินมีสมบัติดังต่อไปนี้ เพิ่มรูพรุนภายในดิน ทำให้ดินร่วนซุย การผ่านของอากาศดีขึ้น เพิ่มการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในดิน ป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของดิน ป้องกันการชะล้างหน้าดิน

ข. อุตสาหกรรม ในอุตสาหกรรมผ้าอนามัย ผ้าอ้อมเด็ก

ค. กระบวนการผลิตถ่านหิน ช่วยกำ จัดความชื้นที่ทำ ให้ถ่านหินจับตัวเป็นก้อน

ง. กระบวนการพิมพ์ผ้า ใช้เป็นสารข้น (thickener)ของหมึกพิมพ์ที่ใช้พิมพ์ผ้าทำให้สมบัติในการติดสีเพิ่มขึ้นและอายุการใช้งานนานขึ้น

จ. ชีววิทยา ใช้แทนวุ้น ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและต้นอ่อนของพืช

ฉ.เวชภัณฑ์ใช้ในการดูดซับของเหลวที่ขับถ่ายออกมาจากร่างกายจากร่างกายเช่นดูดซับน้ำเหลืองจากบาดแผล ทำให้แผลแห้งเร็วขึ้น

2) พลาสติกที่ย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลัง

การให้ความสนใจเกี่ยวกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้เกิดขึ้นเนื่องจากปัญหาการใช้พลาสติกเพราะพลาสติกเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก แม้จะกำ จัดได้โดยวิธีการเผาแต่ก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรง จึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำ วัสดุที่มีสมบัติเหมือนหรือใกล้เคียงกับพลาสติกแต่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติมาใช้ทดแทน ซึ่งเป็นที่มาของวัสดุที่เรียกว่าพลาสติกที่ย่อยสลายได้ โดยพลาสติกที่ย่อยสลายได้อาจเตรียมมาจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ พอลิเมอร์สังเคราะห์หรือการผสมระหว่างพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์แป้งซึ่งถือเป็นพอลิเมอร์ธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชาติที่ย่อยสลายได้จึงได้รับความสนใจเนื่องจากข้อเด่นของแป้งโดยเฉพาะแป้งมันสำปะหลังคือมีความบริสุทธิ์สูง ราคาถูกและมีปริมาณมาก ปัจจุบันนี้จึงนิยมใช้แป้งมาผลิตเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ ซึ่งมีเทคโนโลยีและลักษณะการผลิตต่างๆกัน สามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.1 การผลิตพลาสติกจากแป้งโดยตรง

เป็นกระบวนการที่ให้แป้งเกิดการพองตัวขึ้น เนื่องจากแรงดันของน้ำในตัวแป้งที่กลายเป็นไอเมื่อถูกความร้อนสูงขณะที่ผ่านแรงอัดจากเครื่องเอกทรูดเดอร์(extruder)ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่าโฟมแป้งนำไปใช้ประโยชน์เพื่อรองรับกันการกระแทกในภาชนะบรรจุภัณฑ์

2.2 แป้งผสมพลาสติกที่ย่อยสลายได้

เป็นการนำ แป้งมาผสมกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ จากนั้นนำ มาขึ้นรูปหรือผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มีสมบัติตามต้องการ แต่ราคาของพลาสติกที่ย่อยสลายได้นั้นยังสูงกว่าพลาสติกทั่วๆไปหลายเท่าตัวสำหรับการผสมนั้น จำ เป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงสูง เช่น extruder หรือเครื่องผสม high speed ชนิดพิเศษที่ควบคุมความร้อนได้และปริมาณการใช้แป้งที่ผสมกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการถ้าต้องการให้มีความยืดหยุ่น (สมบัติของพอลิเมอร์) มากก็ต้องมีสัดส่วนของพลาสติกที่ย่อยสลายได้อยูมาก ถ้าใส่แป้งมากขึ้นความแข็งของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มมากขึ้นแต่ความยืดหยุ่นจะลดลงแป้งผสมพลาสติกที่ย่อยสลายได้ในกลุ่มนี้ที่มีการวิจัยและพัฒนาแล้ว มีดังนี้

1. แป้งผสมโพลิคาโพรแลกโทน สมบัติเด่น คือ ไม่เป็นพิษ จุดหลอมเหลวต่ำ ย่อยสลายในธรรมชาติได้เร็วนิยมนำมาทำภาชนะบรรจุต่างๆ

2. แป้งผสมโพลิแลกติก จุดเด่น คือความปลอดภัยในการใช้เป็นภาชนะที่สัมผัสกับอาหาร ทั้งนี้เพราะกรดแลกติก (lactic acid) ได้มาจากกระบวนการหมัก (แป้ง) และกระบวนการควบแน่น (condensation) ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารและยา จึงเป็นที่ยอมรับมากกว่าพลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น

3. แป้งผสมโพลิเอสเทอร์อื่นๆ กำ ลังอยู่ในความสนใจ และมีผู้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาแล้วเช่น โพลิบิวทิลีนซัคซิเนท (polybutylene succinate, PBS), โพลิเอสเทอร์คาร์บอเนต (polyester carbonate, PEC) แม้ประเทศไทยจะมีการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำ ปะหลังในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องต่างๆ ในระดับหนึ่งแล้วก็ตาม แต่ก็ควรมีการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังให้มากขึ้นอันจะเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจของประเทศโดยรวม [2]

2.2.6 แป้งถูกออกซิไดซ์

การออกซิเดชัน(Oxidation) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ดัดแปลงแป้ง กระบวนการออกซิเดชันแป้งสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยวิธีต่างๆขึ้นกับสารออกซิเดชันที่ใช้(Oxidation agent) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochlorite),โพแทสเซียมไฮโปคลอไรด์(Potassium hypochlorite),ไฮโดรเจนเปอร์

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

117350

ออกไซด์ (Hydrogen peroxide),โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต(Potassium permanganate),เปอร์ออกซิเดส(Periodate)โดยพยายามที่จะออกซิไดซ์แป้งโดยใช้ อากาศ(Air),ออกซิเจน(Oxygen),โอโซน (Ozone) และโลหะทรานซิชันจากหมู่ 8 (Transition metals from VIII series) แป้งที่ผ่านการออกซิไดซ์ จะมีจำนวนฟอสฟอรัส(Phosphorus) ลดลงและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณอะไมโลส(Amylose) ในแป้ง ผลจากกระบวนการออกซิเดชัน(Oxidation) พบว่าปริมาณหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxyl group) และหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) เพิ่มขึ้น โดยจะสามารถไปรวมตัวกับตัวอื่นได้ แป้งออกซิไดซ์ที่มีแคตตาไลท์(Catalyte) จะมีความหนืดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์ ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการออกซิดชัน(Oxidation) นั้นจะทำให้แป้งถูกทำลายสายโซ่พอลิเมอร์(Depolymerization) ตัวออกซิไดซ์มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (Physicochemical) ของแป้งมันสำปะหลัง ผลของการออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochlorite) และ ไฮโดรเจนออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ที่ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ และ pHที่ 3%ของตัวออกซิไดซ์ ผลปรากฏว่า แป้งที่ผ่านการออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ มีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxyl group) ประมาณ 0.32-0.63 % ซึ่งมากกว่าการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีประมาณ 0.06-0.1 % อย่างไรก็ตามแป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะมีหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) ประมาณ 0.67-0.71% ซึ่งมากกว่าแป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ซึ่งมีประมาณ 0.11-0.13% จะเห็นได้ว่าแป้งที่ออกซิไดซ์จากตัวออกซิไดซ์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีความหนืด แสดงให้เห็นว่าขนาดโมเลกุลของแป้งออกซิไดซ์ทั้งสองมีขนาดลดลง แป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีแนวโน้มที่จะเป็นเจลเร็วขึ้น แต่เมื่อปริมาณการถูกออกซิไดซ์มากขึ้น แนวโน้มและการเป็นเจลและความคงตัวจะลดลง (ดูได้จากค่ามอดูลัสสะสม) ในทางตรงข้ามแป้งที่ออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (30 นาที) จะได้เจลที่ไม่แข็งแรง แต่เมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยานาน จะไม่มีแนวโน้มที่จะเป็นเจล แป้งจะยังคงเป็นของเหลวช่วงเวลาหนึ่งจนกระทั่งหล่อเย็นลงถึง 20°C เมื่อเปรียบเทียบแป้งที่ออกซิไดซ์กับแป้งที่ยังไม่ถูกออกซิไดซ์พบว่าแป้งที่ออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์จะมีอุณหภูมิเจลลาตินไนซ์ (T0)ลดลง แต่แป้งที่ออกซิไดซ์โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีอุณหภูมิเจลลาตินไนซ์ (T0) เพิ่มขึ้นและเอลทาลปีของการเจลลาตินไนซ์จะลดลงเมื่อออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [12]

2.3 รังสี

2.3.1 ความหมายของรังสี

คำว่า "รังสี" เป็นคำที่ใช้ทั่วไปโดยอาจจะมีสองความหมายคือคือ หมายถึงกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) หรือใช้ในอีกความหมายหนึ่งคือรังสี (Radiation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 กัมมันตภาพรังสี คือจำนวนของไอโซโทปรังสีซึ่งอยู่ในสถานะไม่คงตัว และมีการสลายตัวให้รังสีออกมาในช่วง เวลา หนึ่งวินาที

1.2 รังสีคืออนุภาคซึ่งมีพลังงาน มีที่มาจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสี จากรังสีคอสมิค และจากเครื่องเร่งอนุภาค พลังงานของรังสีขึ้นอยู่กับ แหล่งกำเนิด เช่น รังสีเบตา จาก สตรอนเชียม-90 มีพลังงานสูงสุดเท่ากับ 546 keV รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 มีพลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV เป็นต้น [3]

รังสีที่เกิดขึ้นได้ทั้งจาก ธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์โดย แหล่งที่ก่อให้เกิดรังสีมากที่สุด ได้แก่ รังสีจากธรรมชาติ อาทิเช่น จากสารกัมมันตรังสีที่มีในพื้นดินสินแร่ และสิ่งแวดล้อมจากอากาศที่เราหายใจ แม้กระทั่งในร่างกายและในอาหารที่ เราบริโภคซึ่งมีการเจือปนด้วยสารกัมมันตรังสี ตามธรรมชาติ นอกจากนั้นในห้วงอวกาศก็มีรังสีซึ่งนอกจากรังสีของแสงอาทิตย์ แล้วก็ยังมีรังสีคอสมิกที่แผ่กระจายอยู่ทั่วจักวาลแหล่ง กำเนิดรังสีที่ มาจากการกระทำของมนุษย์มีหลายรูปแบบ อาทิเช่น จากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู การระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์รวม ทั้งการผลิตสารกัมมันตรังสีจาก ปฏิกิริยา นิวเคลียร์ต่างๆ

2.3.1.1 รังสีนิวเคลียร์

รังสีแอลฟา (α) แอลฟาเป็นอนุภาคที่มีคุณสมบัติเหมือนนิวเคลียสของธาตุฮีเลียม ($_2He^4$) ในแต่ละอนุภาคแอลฟาจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกสอง หน่วย (ประกอบด้วยโปรตอน 2 อนุภาค และนิวตรอน 2 อนุภาค)

รังสีเบต้า (β) เบต้าเป็นอนุภาคที่มีมวลและค่าประจุไฟฟ้าเท่ากับอิเลคตรอน ในแต่ละอนุภาคมีประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วย ถ้าประจุเป็นบวก เรียกว่า อนุภาคเบต้าบวก (β^+) หรือ โปสิตรอน หากประจุเป็นลบ เรียกว่าอนุภาคเบตาลบ (β^-) โดยทั่วๆไปหากเรียกแต่เพียง เบตา จะหมายถึง อนุภาค เบตาลบ ทำให้เกิดรังสีในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า Bremsstrahlung หรือ Braking Radiation ซึ่งมีพลังงานตั้งแต่ 0 ถึงพลังงานสูงสุดของรังสีเบตา และมีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีเบตา (วัตถุที่ขวางกั้นรังสีเบตาที่มี Atomic number ต่ำกว่า)

รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียส มีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 10^{18} ถึง 10^{21} Hz และมีพลังงานสูง

รังสีเอ็กซ์ (x-rays) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับรังสีแกมมา แต่แผ่ออกมาจากวงโคจรของอิเลคตรอน รังสีเอ็กซ์ มีพลังงานต่ำกว่า รังสีแกมมา และมีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 10^{15} ถึง 10^{22} Hz รังสีเอ็กซ์มีอยู่สองชนิด ได้แก่ Continuous X-rays หรือ Bremsstrahlung และ Characteristic X-rays

รังสีนิวตรอน (n) เป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุไฟฟ้า มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง นิวตรอนไม่อาจอยู่อย่างอิสระ จะสลายตัวไปเป็น โปรตอน อิเลคตรอน และแอนตินิวตริโนภายในเวลาประมาณสิบสองนาที [4]

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี

หน่วย คือชื่อเฉพาะที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้บอก ขนาดและปริมาณของสิ่งต่างๆ หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี มีดังต่อไปนี้

ตารางที่2.3 หน่วยของรังสี

ปริมาณ	หน่วยเดิม	หน่วยใหม่ (SI unit)
กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)	คูรี (Ci)	เบคเคอเรล (Bq)
รังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose)	แรด (Rad)	เกรย์ (Gy)
รังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (Exposure)	เรินท์เกน (R)	คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg)
รังสีสมมูล (Dose Equivalent)	เรม (Rem)	ซีเวิร์ต (Sv)

จากการกำหนดหน่วยของปริมาณต่างๆดังกล่าวมาในข้างต้น การวัดรังสีเพื่อกำหนดปริมาณซึ่งเป็นที่ยอมรับ และเปรียบเทียบผลกันได้ โดยอาศัย การวัดค่าพื้นฐานตามคำจำกัดความของแต่ละหน่วย เช่น [3]

2.3.2.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

การเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ ยังผลให้เกิดการแผ่รังสี หรือมีอนุภาคที่มีพลังงานเกิดขึ้น ไอโซโทป รังสีหรือนิวไคลด์รังสี (Radionuclide) จึงเป็นแหล่งกำเนิดรังสีชนิดหนึ่งในหลายชนิด การวัดจำนวนไอโซโทปรังสี หรือนิวไคลด์รังสี ไม่อาจทำได้โดยการชั่งน้ำหนัก หรือ ตวง วัดได้ เพราะไอโซโทปรังสีจะปนอยู่กับไอโซโทปอื่นๆเสมอ แม้แต่เมื่อทำการแยกให้บริสุทธิ์แล้ว เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็จะทำให้เกิด ธาตุใหม่ขึ้นปะปน ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีในขณะใดขณะหนึ่งจึงวัดได้โดยวัดรังสีที่เกิดขึ้น ในขณะนั้น ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงทาง นิว เคลียร์ที่เกิดขึ้น หน่วยของปริมาณกัมมันตภาพรังสี เดิมอาศัยการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ ของธาตุเรเดียมหนัก 1 กรัม ซึ่งเท่ากับ

$$3.7\text{x}10^{10} \text{ disintegration per second และเรียกว่า 1 คูรี (Ci)}$$

$$1 \text{ คูรี (Ci)} = 3.7\text{x}10^{10} \text{ครั้งต่อวินาที } (s^{-1})$$

ต่อมาใช้ SIunit หน่วยของกัมมันตรังสี ควรจะเป็น s^{-1} แต่ให้ใช้ชื่อเฉพาะว่า เบคเคอเรล (Bq) ดังนั้น

$$1 \text{ (Bq)} = 1s^{-1} \text{ และ } 1 \text{ Ci} = 3.7\text{x}10^{10}\text{Bq}$$

ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจะมีผลเมื่อเข้าสู่ร่างกาย เพราะรังสีที่เกิดขึ้นจะถูกดูดกลืนในอวัยวะและเนื้อเยื่อของร่างกายมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อการ เปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์นั้นให้อนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลฟา หรือ เบตา เพราะอนุภาคทั้งสองเป็นอนุภาคที่มีพิสัยต่ำ แน่นอนว่าจะต้องถ่ายทอด พลังงานทั้งหมด ให้อวัยวะ และ เนื้อเยื่อในร่างกาย ทำให้เกิดอันตรายมากที่สุด [3]

2.3.2.2 ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose)

ผลของรังสีต่อวัตถุต่างๆบางอย่างที่สามารถสังเกตเห็นได้ เช่น การที่แก้วหรือพลาสติกเปลี่ยนสีเมื่อนำไปฉายรังสี เป็นเพราะเนื้อแก้ว ดูดกลืน พลังงานของรังสีเข้าไว้ เนื่องจากรังสีแต่ละชนิดมีความสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ไม่เท่ากัน และถ่ายเทพลังงานให้กับวัตถุแต่ละ ชนิดได้ไม่เท่ากันดังนั้น ผลของรังสีต่อวัตถุ จึงแปรผันตามปริมาณพลังงานรังสีที่วัตถุนั้นดูดกลืนไว้ ตัวอย่าง เช่น รังสีแอลฟาและรังสีเบตา จะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับ วัตถุ ในระยะทางจากผิวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โฟตอนพลังงานต่ำๆ ก็เช่นกัน ผลก็คือจะทำให้เกิดรอยไหม้ที่ผิวหนัง ถ้าเป็นโฟตอนพลังงานสูงหรือนิวตรอน พลังงานบางส่วนอาจทะลุออกไปจากวัตถุ บางส่วนของพลังงาน ถูกดูดกลืนไว้ หน่วยของ Absorbed dose เดิมใช้ rad (radiation absorbed dose) ซึ่งเท่ากับพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืน 100 ergs ในวัตถุมวล 1 gm

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ ergs/gm}$$

ในปัจจุบันหน่วย SI unit ซึ่งใช้หน่วยใหญ่คือ MKS เป็นมาตรฐาน ให้หน่วยของ absorbed dose จากหน่วยของพลังงานเป็นจูล (Joule) และหน่วยของมวลเป็นกิโลกรัม (kg) โดยใช้ชื่อเฉพาะว่าเกรย์ (Gy) [3]

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1} = 100 \text{ rads}$$

2.3.2.3 ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (Exposure)

Exposure เป็นปริมาณรังสีที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของรังสีเพราะเพียงแต่วัดว่า มีการแตกตัวของอากาศมากน้อยเพียงใด การวัด Exposure เป็นที่นิยมเพราะเป็นวิธีที่มีความไวสูง และสามารถวัดค่าได้ถูกต้องมากด้วยเทคนิคในปัจจุบัน

หน่วยเดิมของ Exposure คือ เรินเกนท์ (R) ซึ่งเท่ากับปริมาณรังสี ที่ทำให้อากาศแตกตัวให้ประจุ 1 e.s.u. ในอากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ที่ NTP หรืออากาศมวล 1.293×10^{-3} กรัม ปัจจุบันหน่วย SI ใช้เป็นคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) โดยที่ [3]

$$1 \text{ เรินท์เกน} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม}$$

$$\text{ประจุ 1 e.s.u. มีค่าเท่ากับ } 3.335 \times 10^{-10} \text{ คูลอมบ์}$$

2.3.2.4 ปริมาณรังสีสมมูล (Dose Equivalent)

Dose equivalent เป็นหน่วยที่นำเอาผลทางชีววิทยาของรังสีเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยโดยอาศัยค่า absorbed dose เฉลี่ยทั่ว กลุ่ม ของเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะร่วมกับ radiation weighting factor (W_R) ตามชนิดและพลังงานของรังสี ในการหาค่า dose equivalent (H_T) ของกลุ่ม เนื้อเยื่อ และอวัยวะต่างๆ ดังสูตรต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_T = S_R W_R x D_{TxR}$$

เมื่อ D_{TxR} เท่ากับ absorbed dose เฉลี่ยทั่วกลุ่มเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะ (T) เนื่องจากรังสี (R) ค่า W_Rนี้มีความสัมพันธ์กับค่า relative biological effectiveness (RBE) ซึ่งอาศัยการเปรียบเทียบความเสียหายของเนื้อเยื่อ เมื่อได้รับ absorbed dose จากรังสีต่างชนิด และ ต่างพลังงาน

ตารางที่ 2.4 ค่า radiation weighting factors (W_R)

Type and energy range	Radiation weighting factor,W_R
Photons, all energies	1
Electrons and muons, all energies	1
Neutrons, energy < 10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
< 100 keV to 2 MeV	20
> 2 MeV to 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons, other than recoil protons, energy > 2 MeV	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20

หน่วยเดิมของ dose equivalent เรียกว่า rem มีค่าเท่ากับ Absorbed dose (rad) x W_R ในปัจจุบันหน่วย equivalent dose ใน SI unit ใช้ว่า ซีเวิร์ต (Sv) และมีค่าเท่ากับ Absorbed dose (Gy) x W_R ดังนั้น

1 ซีเวิร์ต (Sv) = 100 เรม (rem)

แต่หน่วย ซีเวิร์ต (Sv) เป็นหน่วยใหญ่ ค่าปริมาณรังสีส่วนมากจะเป็นมิลลิซีเวิร์ต [3]

2.3.3 แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

2.3.3.1 โคบอลท์ (Cobalt)

โคบอลท์ เป็นชื่อทางเคมีของธาตุหนึ่ง มีสัญลักษณ์เป็น "Co" น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 59 มีไอโซโทปเดียว คือ โคบอลท์-59 ค้นพบโดยนักเคมีชาวสวีเดน จอร์จ แบรนท์ (George Brandt) ประมาณปี พ.ศ. 2278 ชื่อของธาตุนี้ได้ตั้งจากคำว่า "Kobold" ซึ่งเป็นชื่อผี ที่ชอบขโมยเงินในนิทานพื้นบ้านของเยอรมนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคบอลท์-60 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของโคบอลท์-59 โดยมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 60 ไม่มีปรากฏอยู่ในธรรมชาติ แต่ผลิตขึ้นได้โดยการนำเอานิวไคลด์ที่เสถียร คือ โคบอลท์-59 ไปอาบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (ปรมาณู) สามารถเขียนเป็นสมการนิวเคลียร์ได้ดังนี้

โคบอลท์ + นิวตรอน -----โคบอลท์-60 + รังสีแกมมาฉับพลัน

โคบอลท์-60 ที่เกิดจะเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี มีครึ่งชีวิต 5.26 ปี และสลายตัวไปเป็นนิเกิล-60 โดยการปลดปล่อยอนุภาคเบตาพลังงาน 0.318 Mev (ล้านอิเล็กตรอนโวลท์) รังสีแกมมาพลังงาน 1.33 mev และ 1.17 Mev ซึ่งเราสามารถใช้ประโยชน์จากรังสีแกมมานี้ได้ในการฉายรังสีอาหาร โดยใช้โคบอลท์-60จะไม่ทำให้อาหาร กลายเป็น สารกัมมันตรังสีได้ ทั้งนี้เพราะว่า รังสีแกมมา จากโคบอลท์-60 มีพลังงานไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการกระตุ้น (Activation) จนกลายเป็นสารกัมมันตรังสี

โคบอลท์-60 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ได้ถูกเลือกให้ใช้งานในด้านต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อมนุษยชาติ โคบอลท์-60 ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการรักษามะเร็งมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 และเป็นที่รู้จักดีที่สุดในการใช้ประโยชน์ในด้านนี้

ในปัจจุบันได้มีการใช้โคบอลท์-60 ในการทำผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ปลอดจากเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อให้ศัลยแพทย์ที่ทำการผ่าตัดคนไข้แน่ใจได้ว่าคน ไข้จะไม่มีติดเชื้อ จากถุงมือ รอยเย็บแผล ชุดใส่ผ่าตัด หรืออุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ผลิตภัณฑ์ยาและเครื่องสำอางบางชนิดถูกทำให้มีความสะอาดถูกหลักอนามัย และ ปลอดเชื้อ โดยใช้โคบอลท์-60 โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ที่อาจสูญเสีย คุณภาพได้ถ้าใช้ ความร้อน หรือขบวนการอื่น

การฉายรังสีอาหาร เป็นการใช้ประโยชน์อย่างหนึ่งจากโคบอลท์-60 ขณะนี้ได้รับการยอมรับจากอุตสาหกรรมอาหารและสาธารณชน อาหารฉายรังสีไม่ได้เป็นสารกัมมันตรังสี และในปัจจุบันนี้ ได้มีการพิสูจน์แล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ขบวนการฉายรังสีอาหารช่วยให้ไม่ต้องใช้สารเคมีในการยืดอายุอาหาร และยังช่วยกำจัดเชื้อโรคที่ติด มากับ อาหารได้อีกด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างใหญ่หลวงต่อประเทศกำลังพัฒนาที่มีปัญหาอาหารเสีย ก่อนถึงมือผู้บริโภคหรือส่งออก เนื่องจากความร้อนและระยะเวลาของการขนส่ง การฉายรังสีอาหารสามารถช่วยผ่อนคลายปัญหาเหล่านี้ลงได้ และทำให้เศรษฐกิจของประเทศดีขึ้นจากผลผลิตที่สามารถส่งออกได้มากขึ้นในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น แคนาดา การฉายรังสีอาหารก็ให้ประโยชน์ที่เห็นได้ เช่น ลดการสูญเสียยืดอายุ และทำให้อาหารมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากขึ้น

ในปัจจุบันได้มีการใช้โคบอลท์-60 ในอุตสาหกรรมพลาสติก โดยนำมาใช้เร่งการบ่มตัวของวัสดุและเพิ่มความทนทานให้แก่แผ่นพลาสติกโดยทำให้เกิดครอส-ลิงกิ้ง (Cross Linking) ของโมเลกุล งานวิจัยเพื่อหาวิธีการใช้ประโยชน์ของโคบอลท์-60 ในสาขาอื่นๆ ได้กระทำมาอย่างต่อเนื่อง เช่นพยายามพัฒนาไปใช้ในอุตสาหกรรมทำไม้และกระดาษ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตผลของโคบอลท์-60 : แคนาดาเป็นผู้ผลิตโคบอลท์-60 รายใหญ่ที่สุดในโลก โดยสามารถผลิตได้ประมาณร้อยละ 80 ของความต้องการของทั้งโลก

แหล่งแร่โคบอลท์ : แร่ที่มีโคบอลท์-59 ปะปนอยู่จำนวนมากนั้นหายาก ทั้งนี้เพราะว่าโลหะโคบอลท์มีอยู่เพียงร้อยละ 0.001 ของเปลือกโลก ในปัจจุบันประเทศซาอีร์และแซมเบีย ในทวีปแอฟริกา สามารถผลิตแร่โคบอลท์-59 ได้มากที่สุดในโลก นอกจากนี้ยังมีประเทศแคนาดา รัสเซีย โมร็อกโก ซิมบับเว และนิวคาลิโดเนีย ที่มีแหล่งแร่โคบอลท์-59 ผลิตผลรวม ของโคบอลท์-59 ทั้งโลกต่อปีมีประมาณ 30 ล้านกิโลกรัม

การเตรียมโคบอลท์-60 : มีหลายบริษัททั้งในอเมริกาและแคนาดาที่มีความเชี่ยวชาญในการทำโคบอลท์-59 แบบเป็นเม็ดเล็กๆ และแบบเป็นแท่ง โดยใช้โคบอลท์ที่ทำเป็นผง และ มี ความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.9 เคลือบเม็ดและแท่งเหล่านั้นด้วยนิเกิล เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโคบอลท์-59 กับออกซิเจนในอากาศ

แท่งโคบอลท์ที่ใช้ใน ทางอุตสาหกรรม จะถูกบรรจุเข้าไปในท่อที่ทำด้วยโลหะผสมของเซอร์โคเนียม เรียกว่าเซอร์คัลลอย (Xircaloy) หลังจากบรรจุเรียบร้อยแล้วปลายทั้งสองจะถูกผนึกโดยการเชื่อม เพื่อใช้เป็นแท่งต้น กำเนิด แท่งต้นกำเนิดเหล่านี้จะถูกนำมารวมกันให้เป็นมัด มัดของแท่งต้นกำเนิดเหล่านี้จะถูกนำไปใส่ลงในช่องอาบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อที่จะเปลี่ยนโคบอลท์-59 ให้เป็นโค บอลท์-60 ตามมาตรฐานการประกันคุณภาพ และตามข้อกำหนดเฉพาะเดียวกัน

การก่อกัมมันต์ (Activation) : ปัจจุบันแคนาดาเป็นประเทศผู้ผลิตโคบอลท์-60 ที่ใหญ่ที่สุดในโลก บริษัทที่ทำโคบอลท์-60 เพื่อการพาณิชย์จะส่งมัดแท่งต้นกำเนิด ไปอาบนิวตรอน ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ผลิตไฟฟ้าแบบแคนดู (CANDU) โคบอลท์-59 จะถูกเปลี่ยนให้เป็นโคบอลท์-60 เพื่อจะผลิตโคบอลต์-60 ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยกับแท่งควบคุม Adjuster rod ซึ่งปกติทำด้วยเหล็กปลอดสนิม โดยการเปลี่ยนไปใช้แท่งที่บรรจุด้วยโคบอลท์-59 Adjuster rod เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมการเดินเครื่องปฏิกรณ์ ให้อยู่ในสภาวะวิกฤตตลอดเวลา แท่งเหล่านี้จะถูกดึงเข้าและออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์โดยอัตโนมัติ โคบอลท์-59 ที่ถูกบรรจุอยู่ภายในแท่งเหล็กปลอดสนิม คือดูดกลืนนิวตรอน แต่โคบอลท์-59 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารกัมมันตรังสี โคบอลท์-60 เมื่อได้ค่าความแรงตามต้องการแล้วก็จะทำการเคลื่อนย้ายออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อ ไปตามปกติในเชิงพาณิชย์จะใช้เวลาประมาณ 1 ปี ในการเปลี่ยนโคบอลท์-59 ให้เป็นโคบอลท์-60 ดังนั้น โคบอลท์-60 จึงไม่ใช่กากกัมมันตรังสีจากโรงงานไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ และไม่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชัน แต่โคบอลท์-60 คือไอโซโทปที่ผลิตขึ้นด้วยความจงใจของมนุษย์ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การใช้ประโยชน์พลังงานนิวเคลียร์ในด้านอุตสาหกรรม

ได้มีการพัฒนาและนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย และสามารถจำแนกออกเป็น 3 แบบ ตามวิธีการของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ดังนี้
อุตสาหกรรมด้านพลังงาน

ก. อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการผลิตเรือสินค้า เรือเดินสมุทร เรือตัดน้ำแข็ง เรือดำน้ำที่ใช้พลังงานนิวเคลียร์

ข. อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
อุตสาหกรรมการฉายรังสี
การใช้รังสีพลังงานสูงมาฉายรังสีวัสดุ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางชีววิทยา และทางกายภาพ เพื่อประโยชน์ในด้านการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ การกำจัดจุลินทรีย์บางชนิดในอาหาร โดยมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

ก. การฉายรังสีอาหาร ประเทศไทยมีศูนย์ฉายรังสีอาหารและผลิตผลการเกษตร ซึ่งขึ้นอยู่กับสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยเปิดเป็นทางการตั้งแต่ พ.ศ. 2532 ใช้ไอโซโทปโคบอลต์-60 มีกัมมันตภาพรังสีตอนเริ่มต้น 44,000 คูรี สามารถให้บริการฉายรังสีอาหารและผลิตผลการเกษตรที่สำคัญ คือ เครื่องเทศ สมุนไพร ผลไม้ กุ้งแช่แข็ง หอมหัวใหญ่ กระเทียม แหนมถั่วเขียว และมะขามหวาน

ข. อุตสาหกรรมการปลอดเชื้อจุลินทรีย์ รังสีแกมมาจากไอโซโทปโคบอลต์-60 ได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการปลอดเชื้อโรค ในผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ได้แก่ เวชภัณฑ์ เภสัชภัณฑ์ และเนื้อเยื่อ โดยมีจำนวนมากกว่า 140 โรงงาน ใน 40 ประเทศ สำหรับประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมปลอดเชื้อ จำนวน 5 แห่ง

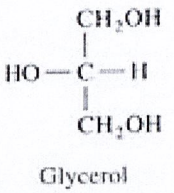
ค. อุตสาหกรรมพอลิเมอร์ รังสีแกมมาหรืออิเล็กตรอนสามารถไปช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาในการผลิตสารพวกพอลิเมอร์ต่างๆเช่น

- การฉายรังสีไม้เนื้ออ่อนที่ถูกอัดด้วยสารมอนอเมอร์ จะทำให้กลายเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีความแข็งมากขึ้นใช้สำหรับทำพื้นปาร์เกต์หรือท่อนไม้ที่ต้องการให้มีความแข็งสูง
- การฉายรังสีเพื่อไปช่วยให้มอนอเมอร์จับตัวกับพอลิเมอร์เรียกว่า การต่อกิ่ง (grafting) เช่น การนำน้ำยางธรรมชาติมาฉายรังสีเพื่อทำกาวให้เหนียวขึ้นหรือทำยางพลาสติก
- การฉายรังสีเพื่อไปทำให้พอลิเมอร์ จับตัวกันเป็นร่างแหสามมิติ และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนต่อความร้อนเช่นใช้ในการผลิตฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าผลิตภัณฑ์พลาสติกและโฟม
- การฉายรังสีน้ำยางธรรมชาติที่ผสมกับสารเคมีเพื่อให้มีการจับตัวกันของพอลิเมอร์เป็นแผ่นยาง (rubber vulcanization) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือที่เรียกว่า กลีเซอรีน (Glycerine หรือ Glycerin) หมายถึงสารจำพวก โพลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ มีสูตรเคมี $C_3H_8O_3$ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-Propantriol) และมีสูตรโครงสร้าง ดังรูป



รูปที่ 2.10 โครงสร้างกลีเซอรอล

กลีเซอรอลถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1779 โดย Scheele ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากปฏิกิริยาการผลิตสบู่ (Saponification) ระหว่างน้ำมันมะกอกกับ Lead oxide ต่อมาในปี ค. ศ. 1813 Chevreul ได้พบว่ากลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบของไขมัน โดยอยู่ในรูปของกลีเซอรอลเอสเทอร์ (Glycerol ester) ของกรดไขมัน (Fatty acid) และได้ตั้งชื่อว่า "กลีเซอรอล" ซึ่งมาจากภาษากรีกที่มีความหมายว่า "มีรสหวาน" กลีเซอรอลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกในปี ค.ศ. 1866 เมื่อ Nobel ได้ทำการผลิตระเบิดไดนาไมต์ในรูปไตรไนเตรตของกลีเซอรอลหรือไนโตรกลีเซอรีน (Nitroglycerin) และในปี ค.ศ. 1949 สามารถสังเคราะห์กลีเซอรอล โดยใช้โพรพีนเป็นสารตั้งต้น ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมการสังเคราะห์กลีเซอรอลที่มีความสำคัญมาก

ในปัจจุบันกลีเซอรอลถูกนำมาไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีที่ไม่เป็นอันตราย โดยในปี ค.ศ. 1986 มีปริมาณการผลิตโดยรวมประมาณ 550,000 ตัน/ปี โดยเป็นการผลิตจากการแตกตัว (Splittin) น้ำมันที่ได้จากธรรมชาติ 75% และการสังเคราะห์จากโพรพีน 25% [7]

2.4.1 คุณสมบัติของกลีเซอรอล

2.4.1.1คุณสมบัติทางกายภาพ

กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และมีโครงสร้างที่คล้ายน้ำตาล จึงทำให้กลีเซอรอลมีรสหวาน และเนื่องจากในโมเลกุลมีพันธะไฮโดรเจนจึงทำให้กลีเซอรอลเป็นของเหลวหนืด กลีเซอรอลมีจุดเดือด 290 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ (101.3 kPa) และจุดเดือดจะลดลงตามความดันที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และมีคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 2.5 [7]

กลีเซอรอลสามารถละลายได้ดีกับน้ำ, เมทานอล, เอทานอล, และไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล และเพนทานอล รวมทั้งฟีนอล, ไกลคอล, โพรเพนไดออล, เอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซคลิกที่ประกอบด้วยอะตอมไนโตรเจนในวงแหวน (เช่น ไพริดีน,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควิโนลีน) กลีเซอรอลไม่สามารถละลายได้ในไฮโดรคาร์บอนเกือบทั้งหมด แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว น้ำมันพืชและสัตว์ และตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม ดังนั้นกลีเซอรอลจึงเป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์ต่อสารหลายชนิด ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น [7]

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอกับอุณหภูมิของกลีเซอรอล

อุณหภูมิ (^{o}c)	ความดันไอ (kPa)
290	101.3
266	53.3
222	13.3
204	6.67
175	2.00
152	0.67
130	0.18
100	0.03
20	<0.0001

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล

Property	Value
Molecular weight	92.09
Melting point	18.0^{o}c
Boiling point (101.3 kPa)	290.0^{o}c
Density (20^{o}c)	1.261 g/cm^{3}
Reflaxtive index , nD^{20}	1.4740
Dynamic viscosity (20^{o}c)	1.410 Pa*s
Compressibility (28.5^{o}c)	2.1 * 10^{-4} Mpa^{-1}
Gravity coefficient of thermal expansion (15-20^{o}c)	0.000615 K^{-1}
Surface tension (20^{o}c)	63.4 mN/m
Heat of formation	669 kJ/mol
Heat of combustion	1662 kJ/mol
Heat of vaporization (55^{o}c)	88.2 kJ/mol
Heat of fusion (18^{o}c)	18.3 kJ/mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heat of solution (infinite dilution)	5.8 kJ/mol
Heat capacity (26°c)	2. 41kJ kg^{-1} K^{-1}
Thermal conductivity (0°c)	0. 29kJ kg^{-1} K^{-1}
Diffusion coefficient of water into glycerol (20°c)	1.336 * 10^{-11} m^2/s
Specific electrical conductivity (20°c)	0.1µs/cm
Relative dielectric constant (25°c)	42.48
Flash point	177°c
Fire point	204°c
Auto ignition temperature	429°c

2.4.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วๆไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซีด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากว่าหมู่ไฮดรอกซีตรงกลาง ภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง กลีเซอรอลสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดเป็นอะโครลีนในทางตรงข้ามในสภาวะกรดเล็กน้อยพบว่าที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะมีกลิ่นของอะโครลีน (อยู่ในช่วง0.2-0.4 ppm) โดยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อะโครลีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ปฏิกิริยากลีเซอรอล จึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง และที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรอลจะดูดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ กลีเซอรอลยังถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยที่อะตอมคาร์บอนด้านนอก จะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่คาร์บอกซิล และอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล [7]

2.4.2 กลีเซอไรด์ (Glyceride)

กลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน โดยหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลที่มีอยู่ 3 หมู่ จะรวมตัวกับกรดไขมัน โดยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน เกิดเป็น โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์

ในธรรมชาติพบไตรกลีเซอไรด์มากกว่าโมโนกลีเซอไรด์หรือไดกลีเซอไรด์ โดยหมู่ของกรดไขมันที่ต่อกับกลีเซอรอลอาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ และจะเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ ถ้านำไตรกลีเซอไรด์ไปทำปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งเป็นการย่อยสลายพันธะของเอสเทอร์ด้วยด่างจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมันที่อุณหภูมิห้อง ไตรกลีเซอไรด์จะมีสถานะเป็นของเหลวหรือของแข็งขึ้นอยู่กับชนิดและธรรมชาติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ส่วนโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายได้ทั้งในสารที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ด้านที่มีขั้วจะมีหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนด้านที่ไม่มีขั้วจะจับกับโมเลกุลจากกรดไขมัน จึงจัดเป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดหนึ่ง [7]

2.4.3 ประโยชน์ของกลีเซอรอล

เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีที่หลากหลาย จึงทำให้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งคือ เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น การใช้กลีเซอรอลมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และอาหารเนื่องจากไม่เป็นพิษและมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีต่อสารประกอบหลายชนิด ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ นอกจากนี้ กลีเซอรอลยังเป็นสารฮิวเมคเทนท์ ประเภทสารอินทรีย์ (Organic humectant) จำพวกโพลิไฮดริกแอลกอฮอล์ คือสารมารถดูดเก็บความชื้นจากบรรยากาศเก็บไว้ได้ภายใต้ความชื้นปกติของบรรรยากาศและมีความหนืด ทำให้สารละลายมีลักษณะเป็นไซรับ

การทำปฏิกิริยาได้หลากหลายของกลีเซอรอล จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังต่อไปนี้

-ด้านอาหาร เนื่องจากไม่มีพิษจึงใช้แทนคาร์โบไฮเดรตได้ เป็นสารประกอบของน้ำเชื่อม (Syrup) ในลูกอมและไอซิ่ง (Icing) ในการแช่แข็งอาหาร ใช้เป็นสารหล่อลื่นเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารและหีบห่อ

-ด้านยาและเครื่องสำอาง เป็นส่วนผสมของยาหลายชนิด สารละลายกลีเซอรีนและฟีนอล(Glycerol-phenol) ใช้ในการล้างหู ในเครื่องสำอางจะผสมในครีมและโลชั่นทำให้ผิวนุ่มและชุ่มชื้น ทำยาสีฟันให้เรียบ มีความหนืด และมันวาว

-บุหรี่เป็นส่วนสำคัญในการขึ้นรูปบุหรี่ ทำให้บุหรี่ติดไฟช้า

-วัสดุหีบห่อ ห่อเนื้อ และทำกระดาษชนิดพิเศษ

-สารหล่อลื่น ใช้เป็นสารหล่อลื่นเมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นไม่ได้ นิยมใช้ในงานอัดออกซิเจนเพราะทนออกซิเดชันได้ดีกว่ามิเนอรอลออยล์ (Mineral oil) ใช้หล่อลื่นปั๊มและลูกปืนที่ต้องใช้กับก๊าซโซลีนและเบนซีนซึ่งละลายในน้ำมัน ใช้หล่อลื่นแทนน้ำมันในงานที่ต้องสัมผัสกับสารหล่อลื่น เช่น อาหาร ยา และเครื่องสำอาง กลีเซอรีนใช้เป็นสารหล่อลื่น เพราะมีความหนืดสูงและไม่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำๆ ความหนืดจะลดลงเมื่อผสมกับน้ำ แอลกอฮอล์ไกลคอล และมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อผสมแป้งหรือเมื่อเกิดการโพลิเมอไรเซชัน ใช้ในความดันเกจสูงๆ (High-pressure gauge) และวาล์ว [7]

2.5 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

2.5.1 ข้อมูลทั่วไป

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวปุย ละลายน้ำได้น้อยมาก มีความเป็นเบสเล็กน้อย มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปหกเหลี่ยม เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500 องศาเซลเซียส สีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและจะกลับเป็นสีเดิมอีกเมื่อเย็นลง ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะที่ดีหลายประการ เช่น อนุภาคเล็ก อนุภาคเรียงตัวหนาแน่นจึงทึบแสง สามารถป้องกันแสงอัลตราไวโอเลต (UV) ได้ มีความจุความร้อนสูง จุดหลอมเหลวสูง สัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ การนำความร้อนสูง สามารถกระทำให้มีความต้านทานต่อไฟฟ้าได้ จากสมบัติข้อนี้จึงได้มีการนำเอาซิงค์ออกไซด์มาผลิตเป็นสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ยังเป็นสารแอมโฟเทอริค (Amphoteric) คือ สามารถละลายได้ทั้งในกรดและเบสทำปฏิกิริยาได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ดังนั้น ซิงค์ออกไซด์จึงเหมาะที่ใช้เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดและเบส [8]

2.5.2 ประโยชน์ของซิงคออกไซด์

2.5.2.1 ด้านอุตสาหกรรม

-1- ยาง

การผลิตจะต้องนำยางมาทำปฏิกิริยากับกำมะถัน (Vulcanization) เพื่อให้ยางแข็งและเหนียวมากขึ้น มีความทนทานมากยิ่งขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นยากหรือเกิดไม่สมบูรณ์ถ้าหากไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งที่ดีสำหรับปฏิกิริยานี้ โดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน Zn-accelerator เร่งให้เกิด Sulfer Crosslinks ในโมเลกุลยางเร็วขึ้นจนปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ใช้เกิดสมบูรณ์ใช้เป็นตัวเติม (Filler) อีก เพื่อปรับปรุงการนำความร้อนและการทนทานต่อแสงแดดได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanize process) เมื่อทิ้งไว้นานจะมีการสลายตัว ปล่อยกรดออกมา เรียกว่า aging ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ซิงค์ออกไซด์สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น โดยการทำปฏิกิริยากับกรดที่ปล่อยออกมา

อุตสาหกรรมยางเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ซิงค์ออกไซด์มากที่สุด คือประมาณร้อยละ 50 ของซิงค์ออกไซด์ทั้งหมด ปริมาณที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 3-5 ส่วนต่อยางร้อยส่วน ในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้งานมากขึ้นตามปริมาณการผลิตรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นทุกปี

-2- สี

ในการผลิตสีจะใช้ปริมาณซิงค์ออกไซด์มากรองลงมาจากอุตสาหกรรมยางโดยทำหน้าที่เป็นรงควัตถุสีขาว (White pigment) ปรับปรุงลักษณะการไหลให้ดีขึ้น คือ ลื่นและเรียบ ไวต่อแสง ยืดอายุการเคลือบให้นานขึ้น โดยป้องกันแสงอัลตราไวโอเลตและทำปฏิกิริยากับกรดที่เกิดจากการสลายตัวของวัตถุประสาน (Binder) ให้เป็นกลาง ซิงค์ออกไซด์ชนิดที่มีตะกั่วปนอยู่จะทำให้สีทนต่อ ลม ฟ้า อากาศได้ดีกว่า แต่ไม่ไวต่อแสงและสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทาเร็ว นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังสามารถฆ่าเชื้อราได้อีกด้วย

อุตสาหกรรมสีแบ่งออกเป็นสีเคลือบภายนอก สีรองพื้นโลหะ สีเคลือบภายใน ล้วนแต่ใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนผสมทั้งสิ้น ปริมาณที่ใช้อาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ต้องการให้ทำหน้าที่อะไร ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบโลหะเพื่อป้องกันการกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กร่อนและเพิ่มความเสถียร ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-เบส ปริมาณที่ใช้ประมาณร้อยละ 50-90 โดยน้ำหนัก [8]

-3- เซรามิกและแก้ว

จัดเป็นตลาดที่สำคัญของซิงค์ออกไซด์ โดยจัดอยู่อันดับ 3 รองจาก อุตสาหกรรมยางและอุตสาหกรรมสี ผลิตภัณฑ์เซรามิกต่างๆและแก้ว ได้แก่

-แก้ว

ในการผลิตแก้ว ซิงค์ออกไซด์ช่วยลดเวลาหลอมให้สั้นลง ลดความหนืด เพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีและดัชนีการหักเห ลดอุณหภูมิจุดอ่อนตัว เพิ่มความยืดหยุ่นลดสัมประสิทธิ์การขยายตัว ลดการแตกร้าวเนื่องจากเครื่องจักรและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของแก้ว เช่น แก้วสำหรับผลิตเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือแก้วทนความร้อน ใช้ซิงค์ออกไซด์ประมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ส่วนแก้วที่มนต่อกรดกัดแก้ว (HF) ใช้ซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

-สารเคลือบ

สารเคลือบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องดินเผานั้นมักจะมีซิงค์ออกไซด์ผสมอยู่ด้วย ซิงค์ออกไซด์ช่วยเพิ่มการหลอมละลาย (Fluxing agent) ลดการขยายตัวเพิ่มความเป็นมันเงา ความขาว ความยืดหยุ่น ช่วยให้สีสุกใสยิ่งขึ้น ป้องกันการเกิดรอยย่นหยักเป็นชั้นๆ ซิงค์ออกไซด์จะเกิดเป็นซิงค์ซิลิเกตในเคลือบผลึก ทำให้เกิดลวดลายผลึกขณะเย็นตัวลงผลิตภัณฑ์เครื่องดินเผาชนิดนี้จะมีลวดลายสวยงาม แปลกตา ราคาแพง ได้แก่ แจกัน เครื่องประดับของตกแต่งต่างๆเป็นต้น

-โลหะเคลือบ

ซิงค์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทโลหะเคลือบทำหน้าที่เหมือนกับในสารเคลือบโลหะที่ใช้จะเป็นพวกเหล็กและอะลูมิเนียม ตัวอย่างเช่น เครื่องสุขภัณฑ์ อ่างอาบน้ำ เครื่องซักผ้า ตู้เย็น เป็นต้น

-4- สิ่งทอ

ได้มีการใช้ประโยชน์ของซิงค์ออกไซด์มานานแล้ว เพราะความขาวโดยธรรมชาติและความสามารถเข้ากันได้กับเส้นใย ไม่ว่าจะเป็นเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ใช้ในกระบวนการปั่นด้าย การย้อมสี และการขัดผิวขั้นสุดท้าย หน้าที่ของซิงค์ออกไซด์ คือ

- เป็น Fixing agent โดยรวมตัวกับ Surface-active agent เกิดเป็น Zn-acetate หรือ Zn-formate ช่วยให้สีติดเส้นใยดีขึ้น

-อนุพันธุ์ของซิงค์ออกไซด์โดยเฉพาะซิงค์คลอไรด์ใช้เติมลงไปในผ้า เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราเป็นจุดต่างๆ และการเน่าเสียซึ่งเกิดจากเชื้อราและแบคทีเรีย

- ทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มน้ำหนัก หรือตัวเติม ทำให้ผ้านุ่มมีน้ำหนักและ ทนต่อน้ำ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นส่วนผสมสำคัญของสารกันน้ำ (Water proofing agent) สารกันไฟ (Flame proofing agent) โดยผสมกับ Chlorinated wax หรือ Resin เมื่อถูกเผาซิงค์ออกไซด์จะแตกออกเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็นซิงค์ออกไซด์ที่สามารถป้องกันไฟได้

-5- สารหล่อลื่น

ใช้ในน้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil) และจาระบี (Grease) ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุ ตัวเติม และสารเคมี เพื่อปรับปรุงการหล่อลื่นให้ดีขึ้น ป้องกันการกัดกร่อน ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของจาระบีและตัวทำลายกรด

-6- เคมี

ตลาดของซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมเคมีกำลังเพิ่มขึ้นเพราะว่าซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ในกระบวนการผลิตสารเคมีหลายปฏิกิริยา เช่น Alkylation, Oxidation,Dehydrogenation และ Hydrogenation เป็นต้น การผลิตเมทานอลก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซิงค์ออกไซด์นอกจากจะมีประโยชน์มากมายในตัวเองแล้วยังเป็นสารเริ่มต้นในการผลิตสารประกอบสังกะสีตัวอื่น เช่น [$ZnCrO_4$] , [$ZnSO_4$] , [$ZnCl_2$] , [$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$] , Zinc resinate และ Zinc stearate เป็นต้น [8]

2.5.2.2 ด้านเกษตรกรรม

สังกะสีเป็นธาตุที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่า คน สัตว์ หรือพืช สังกะสีจะก่อตัวกับเอนไซม์เป็น Metallo-enzyme ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเมทาบอลิซึมของร่างกายหลายชนิด เช่น เร่งปฏิกิริยาสร้างเซลล์ใหม่ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนในร่างกาย ถ้าขาดสังกะสีจะมีอาการผิดปกติมากมายหลายประการ ทำให้เจริญเติบโตช้า ตัวเล็ก ระบบการทำงานของตับและม้ามผิดปกติ ไม่มีการพัฒนาทางเพศ เกิดโรคผิวหนังง่าย แผลหายช้า เบื่ออาหาร

คนที่ขาดสังกะสีต้องกินอาหารที่มีธาตุสังกะสีสูง เช่น อาหารทะเล พืชสีเขียว ถ้าหากยังไม่เพียงพอ ต้องกินธาตุสังกะสีเสริม องค์การอนามัยโรค (WHO) ได้ประกาศว่า ในผู้ใหญ่ปกติต้องการธาตุสังกะสี 15 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับผู้หญิงที่กำลังตั้งครรภ์ต้องการเพิ่มอีกเท่าตัวซิงค์ออกไซด์ใช้เติมในอาหารเสริมสุขภาพ เพื่อเป็นแหล่งธาตุสังกะสี

ซิงค์ออกไซด์ใช้เติมลงในอาหารสัตว์เพื่อป้องกันการขาดธาตุสังกะสี นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังมีบทบาทที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ธาตุสังกะสีแก่พืช พืชที่ขาดธาตุสังกะสีจะมีลักษณะผิดปกติ คือ มีใบน้อยใบเป็นจุดด่างๆ โตช้าและให้ผลผลิตน้อย ลักษณะการนำไปใช้จะทำให้อยู่ในรูปสารละลายแล้วพ่นไปบนใบ แต่ปัจจุบันได้พัฒนาลักษณะการใช้ให้ได้ผลมากยิ่งขึ้นโดยการเติมลงในปุ๋ย [8]

2.5.2.3 ด้านเภสัชกรรม

การนำเอาซิงค์ออกไซด์มาใช้ประโยชน์ทางด้านนี้ยังมีน้อย แต่พอสรุปหน้าที่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-1-เป็นการดับกลิ่นตัว (mild deodorant) โดยทำปฏิกิริยากับเหงื่อที่ออกมาหลังจากที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ให้เป็นระดับนาโน ซึ่งอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์สามารถระงับกลิ่นตัวด้วยกลไกต่อไปนี้

-นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ทั้งกับสารที่เป็นกรดและเบสสามารถกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์โดยการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับโมเลกุลของแอมโมเนียจากร่างกายหรือสิ่งแวดล้อม

-ป้องกันการก่อตัวของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยนาโนซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิยากับโมเลกุลไทออล ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นกลายเป็นซิงค์ซัลไฟด์

-ป้องกันการหมักของโปรตีนซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้น

-2-เป็นส่วนผสมของน้ำยาแก้ผดผื่นคัน (calamine lotoon) และในยาหลายชนิด โดยที่ซิงค์ออกไซด์เป็นยาสมานแผล ลดการอักแสบ และยับยั้งแบคทีเรียได้ดี นำมาใช้เป็นยาสมานผิวและรักษาโรคติดเชื้อที่ผิวหนังบางชนิด เช่น โรคเรื้อนกวาง โรคผิวหนังเป็นตุ่มพุพองจากเชื้อแบคทีเรีย โรคกลากเกลื้อน ฝี อาการคันตามผิวหนังและผิวระคายเคือง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 10-20 นาโนเมตร จากการสังเกตภายใต้กล้องกำลังขยายสูงพบว่ามีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาว และไม่เปลี่ยนสี

-3- เป็นสารผสมของสารต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial)ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนและลมฟ้าอากาศได้ในช่วงอุณหภูมิ 100-500 องศาเซลเซียส

-4-ทำหน้าที่เป็นสารฆ่าเชื้อ (fungicide) ในสารสำหรับเคลือบอุปกรณ์เก็บอากาศ [8]

2.5.2.4 ด้านเครื่องสำอาง

ด้วยสมบัติพิเศษที่ดีหลายประการของซิงค์ออกไซด์จึงได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเครื่องสำอางหลายชนิดต่างๆ เช่น แป้งฝุ่นทาหน้า แป้งน้ำ ลิปสติก น้ำยาทาเล็บ เป็นต้น โดยทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้แป้งติดหน้า เรียบ เนียนสวย ทำให้กลิ่นหอมของน้ำหอมติดทนทานเป็นตัวเติมในเครื่องสำอางแต่งหน้า ปริมาณที่ใช้ร้อยละ 13-15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังใช้เป็นส่วนผสมของรงในวัตถุป้องกันแสงอัลตราไวโอเลตที่นำมาผลิตเป็นเครื่องสำอาง โดยเคลือบที่ผิวของอนุภาคสารอนินทรีย์ตัวอื่น ที่ทำหน้าที่ป้องกันแสง UV ซึ่งมีความปลอดภัยและอ่อนโยนโดยได้รับต่อร่างกายการยืนยันจาก Food and Drug Administration (FDA) ว่าเป็น1 ใน 2 ชนิดของสารกันแดดที่เป็นส่วนประสมในประเภทผลิตภัณฑ์ดูแลผิว ซึ่งสามารถป้องกันได้ทั้ง UVA และUVB แต่อนุภาคปกติของซิงค์ออกไซด์จะมีสีขาวเมื่อทาลงบนผิว ดังนั้น ซิงค์ออกไซด์จึงไม่นิยมนำมาใช้ในการเป็นครีมหรือผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผิว อย่างไรก็ตาม นาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับการทดสอบโดย Australia Commonwealth Science & Industrial Research Organization (CSIRO) พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของครีมหรือโลชันกันแดดจะให้สัมผัสนุ่มลื่น

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปร่งใส และไม่มีสีหลังจากที่ทาลงบนผิว นาโนซิงค์ออกไซด์จึงจะเหมาะสมที่นำมาผสมเป็นสารกันแดดในเครื่องสำอางค์ [8]

2.5.2.5 ด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ กำลังเป็นปัญหาที่เป็นบ่อนทำลายสุขภาพจิตของคนในสังคมเมือง เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าด้านอุตสาหกรรมมีมากขึ้น จำนวนโรงงานมีมากขึ้น ปริมาณของเสียที่เป็นพิษจึงเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ดังนั้น เราจำเป็นต้องหาทางกำจัดสารผิดเหล่านี้ให้ลดน้อยลงไป

มลภาวะทางอากาศเกิดจากในอากาศมีแก๊สพิษปนอยู่มากเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดแก๊สพิษเหล่านี้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น ซิงค์ออกไซด์ได้เข้ามามีส่วนช่วยกำจัดแก๊สพิษเหล่านี้ โดยทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับด้วยปฏิกิริยาดังนี้

$$2SO_2(g) + 2ZnO(s) \longrightarrow 2ZnS + 3O_2(aq)$$

$$CO_2(g) + ZnO(s) \longrightarrow ZnCO_3(aq)$$

นอกจากนี้ ซิงค์ออกไซด์ต้องทำหน้าที่เป็น Solid oxidation catalyst ในกระบวนการกำจัดน้ำเสียได้อีกด้วย [8]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Guifang Hu , Jingyuan Chen , Jianping Gao งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแผ่นฟิล์มแป้งมันฝรั่งถูกออกซิไดซ์(Oxidized potato starch films , OPS films) เพื่อใช้ในการเป็นบรรจุภัณฑ์ห่ออาหารจากแป้งมันฝรั่งที่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidized potato starch , OPS) โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ปริมาณต่างๆกัน ทำการผสมแป้งด้วยวิธีเจลาทิไนเซชัน(gelatinization)ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งโดยการหล่อแบบบนแผ่นสแตนเลสสตีล แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะได้แผ่นฟิล์มแป้งที่มีลักษณะใสและยืดหยุ่น จากนั้นศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งมันฝรั่งถูกออกซิไดซ์โดยการทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง(tensile strength)และค่าการดึงยืด ณ จุดขาด(elongation at break) พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งซึ่งมีปริมาณกลีเซอรอลผสมอยู่เท่ากับ 19.4 % มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 12.82 MPa และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 31.95 % ศึกษาความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มแป้งมันฝรั่งถูกออกซิไดซ์ที่ปริมาณกลีเซอรอลสูงขึ้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรโดยการวิเคราะห์เอ็กซเรย์ ดิฟแฟรกชัน(X-ray diffraction analysis)และศึกษาการซึมผ่านของน้ำมัน การเกิดพันธะเชื่อมโยงกับไอของฟอร์มัลดีไฮด์ การคงสภาพของแผ่นฟิล์ม การละลายของโมเลกุลขนาดเล็กของแผ่นฟิล์มแป้งในพอลิเอทิลีนไกลคอลและในน้ำมัน โดยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์(Infrared spectrometer)และการคงสภาพของแผ่นฟิล์มในสารละลายกรดและสารละลายเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มแป้งลดลงเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลสูงขึ้น มีความสามารถในป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันและการเกิดพันธะเชื่อมโยงกับไอของฟอร์มัลดีไฮด์ โมเลกุลขนาดเล็กสามารถละลายในพอลิเอทิลีนไกลคอลแต่ไม่ละลายในน้ำมัน และสามารถคงสภาพแผ่นฟิล์มในสารละลายกรดเข้มข้นปานกลางได้แต่ไม่คงสภาพแผ่นฟิล์มในสารละลายเบส จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆจึงสรุปได้ว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันฝรั่งถูกออกซิไดซ์มีความเหมาะสมในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ห่ออาหารที่ประกอบด้วยน้ำมันที่มีสภาวะเป็นกลางหรือกรดได้รวมทั้งมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและยังเป็นการลดการใช้พลาสติกห่ออาหารในอีกทางหนึ่ง [9]

Thawien Bourtoom การศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเตรียมฟิล์มจากแป้ง เช่น อุณหภูมิการให้ความร้อน, เวลาในการให้ความร้อนแก่สารละลาย, ปริมาณแป้งและชนิดของแป้ง, ปริมาณพลาสติไซเซอร์ เป็นต้น โดยขึ้นกับสมบัติของฟิล์มที่ได้จากแป้งในแต่ละชนิด ขึ้นกับอุณหภูมิการให้ความร้อนและเวลาในการให้ความร้อนที่ดีที่สุดสำหรับแป้งสาคู, แป้งมันสำปะหลัง, แป้งข้าวโพดและแป้งข้าว คือ 90, 95, 90, และ 85 °C สำหรับ 10, 5, 10, และ 15 นาที ตามลำดับ โดยสมบัติของฟิล์มที่ได้นั้นจะมีค่า tensile strength (TS) ที่สูงแต่มี elongation at break (%E) และwater vapor permeability(WVP) ที่ต่ำ การเพิ่มปริมาณของพลาสติไซเซอร์จะทำให้ค่า tensile strength (TS) ลดลงแต่จะเพิ่มค่า elongation at break (%E), water vapor permeability(WVP) และ film solubility (FS). การใช้ Sorbitol(SOR) เป็นพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความเปราะแต่ก็ยังมีค่า tensile strength (TS) ที่สูงกว่าการใช้ glycerol เป็นพลาสติไซเซอร์ โดยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า polyethylene glycol (PEG)ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์สำหรับฟิล์มที่ทำจากแป้งทุกชนิดเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ “antiplasticizing phenomenon.” [10]

E.M. Teixeira , A.L. Da Roz , A.J.F. Carvalho , A.A.S. Curvelo การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch, TPS) จากหัวมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้สารละลายน้ำตาลและสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลและกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยใช้เครื่อง Internal mixer ผสมและขึ้นรูปโดยใช้วิธีกดอัดด้วยความร้อน เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ TPS ที่เตรียมจากแป้งมันสำหลังและเตรียมจากหัวมันสำปะหลัง โดย TPS ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังมีทั้งหมด 6 สูตร สูตรที่ 1 เติมกลี- เซอรอลเพียงอย่างเดียว (TPSG30) สูตรที่ 2 เติมกลีเซอรอลและน้ำตาลกลูโคส (TPSG30 – glu) สูตรที่ 3 เติมกลี เซอรอลและน้ำตาลฟรุคโตส (TPSG30–fru) สูตรที่ 4 เติมกลีเซอรอลและน้ำตาลซูโครส (TPSG30 – suc) สูตรที่ 5 เติมกลีเซอรอล น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตสและซูโครส (TPSG30 – sugar) และสูตรที่ 6 ไม่เติมกลีเซอรอลแต่เติมน้ำตาล 3 ชนิดรวมกัน (TPSG0 – Sugar) ส่วน TPS ที่เตรียมจากหัวมันสำปะหลังจะเติมกลีเซอรอลเพียงอย่างเดียว (TPSG30 – root) จากนั้นนำ TPS ทั้งหมดมาวิเคราะห์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) เพื่อตรวจดูลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้ง เทคนิค Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA) และทดสอบการดูดซึมน้ำ ผลการทดลองพบว่า TPS ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังซึ่งเติมน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดลงไปเปรียบเสมือนน้ำตาลธรรมชาติที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลัง การเติมน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดลงไปใน TPS ที่มีกลีเซอรอลและน้ำ จะทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg)และค่ามอดูลัสสะสมมีค่าลดลง ส่วนTPS ที่ไม่เติมกลีเซอรอลจะมีโครงสร้างผลึกแบบ VH ลดลง และการดูดซึมน้ำลดลง สรุปได้ว่าน้ำตาลในธรรมชาติที่อยู่ในหัวมันสำปะหลัง เพียงปริมาณน้อยๆ สามารถส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้และสามารถทำหน้าที่เป็นสารพลาสติไซเซอร์ได้ [11]

Kunruedee Sangseethonga, Niti Termvejsayanona, Klanarong Srirothb ตัวออกซิไดซ์มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (Physicochemical) ของแป้งมันสำปะหลัง ผลของการออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochlorite) และ ไฮโดรเจนออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ที่ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ และ pHที่ 3%ของตัวออกซิไดซ์ เป็นเวลา 30-300 นาที ผลปรากฏว่า แป้งที่ผ่านการออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ มีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxyl group) ประมาณ 0.32-0.63 % ซึ่งมากกว่าการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีประมาณ 0.06-0.1 % อย่างไรก็ตามแป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะมีหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) ประมาณ 0.67-0.71% ซึ่งมากกว่าแป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ซึ่งมีประมาณ 0.11-0.13% จะเห็นได้ว่าแป้งที่ออกซิไดซ์จากตัวออกซิไดซ์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีความหนืดลดลง และผลจาก High Performance Size Extrusion แสดงให้เห็นว่าขนาดโมเลกุลของแป้งออกซิไดซ์ทั้งสองมีขนาดลดลง การวัดการไหล (Rheological measurement) ภายใต้สภาวะการหล่อเย็นแสดงให้เห็นว่าแป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีแนวโน้มที่จะเป็นเจลเร็วขึ้น แต่เมื่อปริมาณการถูกออกซิไดซ์มากขึ้น แนวโน้มและการเป็นเจลและความคงตัวจะลดลง (ดูได้จากค่ามอดูลัสสะสม) ในทางตรงข้ามแป้งที่ออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (30 นาที) จะได้เจลที่ไม่แข็งแรง และเมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยานาน จะไม่มีแนวโน้มที่จะเป็นเจล แป้งจะยังคงเป็นของเหลวช่วงเวลาหนึ่งจนกระทั่งหล่อเย็นลงถึง 20°C เมื่อเปรียบเทียบแป้งที่ออกซิไดซ์กับแป้งที่ยังไม่ถูกออกซิไดซ์พบว่าแป้งที่ออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์จะมีอุณหภูมิเจลลาตินไนซ์ (T_0)ลดลง แต่แป้งที่ออกซิไดซ์โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีอุณหภูมิเจลลาตินไนซ์ (T_0) เพิ่มขึ้นและเอลทาลปีของการเจลลาตินไนซ์จะลดลงเมื่อออกซิไดซ์โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [12]

Mats Thunwall , Vanda Kuthanova , Antal Boldizar , Mikael Rigdahl การออกซิเดชัน (Oxidation) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ดัดแปลงแป้ง กระบวนการออกซิเดชันแป้งสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆขึ้นกับสารออกซิเดชันที่ใช้(Oxidation agent) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochlorite),โพแทสเซียมไฮโปคลอไรด์(Potassium hypochlorite),ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide),โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต(Potassium permanganate),เปอร์ออกซิเดส (Periodate)โดยพยายามที่จะออกซิไดซ์แป้งโดยใช้ อากาศ(Air),ออกซิเจน(Oxygen),โอโซน(Ozone) และโลหะทรานซิชันจากหมู่ 8 (Transition metals from VIII series) ความตั้งใจในการทดลองนี้คือต้องการได้แป้งที่ออกซิไดซ์โดยอากาศโดยมี Zn(II) เป็นแคตตาไลท์(Catalyte) และต้องการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ได้จากแป้งที่ผ่านการออกซิไดซ์กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) นั้นทำให้จำนวนฟอสฟอรัส(Phosphorus) ลดลงและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณอะไมโลส(Amylose) ในแป้ง ผลจากกระบวนการออกซิเดชัน(Oxidation) พบว่าปริมาณหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxyl group) และหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) เพิ่มขึ้น โดยจะสามารถไปรวมตัวกับตัวอื่นได้ แป้งออกซิไดซ์ที่มีแคตตาไลท์(Catalyte) จะมีความหนืดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์ ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการออกซิเดชัน(Oxidation) นั้นจะทำให้แป้งถูกทำลายสายโซ่พอลิเมอร์(Depolymerization) ซึ่งมันก็ขัดแย้งกับปริมาณของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) แป้งเปียก(Paste)เสถียรที่ 96 °C ซึ่งเตรียมได้จากแป้งออกซิไดซ์และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแป้งที่เตรียมได้โดยไม่ออกซิไดซ์พบว่ามีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxyl group) และหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group)มากกว่า [13]

กุลฤดี แสงสีทอง แป้งออกซิไดซ์เป็นแป้งดัดแปรที่มีการนำไปใช้ประโยชน์แพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมกระดาษ แป้งออกซิไดซ์ผลิตได้โดยการทำปฏิกิริยาของแป้งกับสารออกซิไดซ์ ชนิดของสารออกซิไดซ์ตลอดจนสภาวะของกระบวนการดัดแปรแป้งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติของแป้งออกซิไดซ์ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะที่ใช้ในกระบวนการดัดแปรแป้งต่อสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังที่ออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเปรียบเทียบสมบัติของแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตด้วยสารออกซิไดซ์ทั้งสองชนิดนี้ สภาวะของกระบวนการดัดแปรแป้งที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 7 – 11), ความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์ (1, 3 และ 5% ของน้ำหนักแป้ง), อุณหภูมิ (30 – 50 องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (30 – 300 นาที) โดยจากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดิบแล้ว แป้งที่ผ่านการออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีปริมาณหมู่คาร์บอนิล ปริมาณหมู่คาร์บอกซิล และมีความขาวสูงขึ้น แต่มีความหนืดลดลง เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง High Performance Size Exclusion Chromatography พบว่าแป้งออกซิไดซ์มีขนาดโมเลกุลลดลง นอกจากนี้จากการส่องดูลักษณะเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนพบว่ามีรอยกร่อนและรอยกัดเซาะเกิดขึ้นบนพื้นผิวของเม็ดแป้งออกซิไดซ์ ทั้งนี้ระดับของการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการดัดแปรแป้ง โดยสำหรับการออกซิไดซ์แป้งด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ พบว่าที่ pH เท่ากับ 7 จะให้แป้งดัดแปรที่มีหมู่คาร์บอนิลสูงสุด ในขณะที่หมู่คาร์บอกซิลจะเกิดได้ดีที่สุดที่ pH 8 และ 9 ส่วนในการออกซิไดซ์แป้งด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีการสร้างหมู่คาร์บอกซิลสูงขึ้นตามค่า pH แต่ปริมาณหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นในแป้งดัดแปรจะไม่ขึ้นอยู่กับค่า pH ในช่วงของ pH ที่ใช้ในการทดลองนี้ การเพิ่มความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์จะเพิ่มระดับการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้ง ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาจะช่วยเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะมีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลสูงกว่าแต่มีปริมาณหมู่คาร์บอนิลต่ำกว่าแป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การออกซิไดซ์แป้งด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีอัตราเร็วในการลดความหนืดของแป้งมากกว่าการออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ แต่ถ้าให้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานพอ สารออกซิไดซ์ทั้งสองชนิดสามารถผลิตแป้งออกซิไดซ์ที่มีความหนืดในระดับที่ใกล้เคียงกันได้ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดิบ พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของแป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่แป้งที่ออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มสูงขึ้น แป้งเปียกจากแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มในการเกิดเจลสูงกว่าแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตจากโซเดียมไฮโปคลอไรท์ หมู่คาร์บอกซิลในแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตจากโซเดียมไฮโปคลอไรท์อาจเป็นสาเหตุหลักที่ช่วยลดการเกิดเจลของแป้งได้ แต่สมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของโมเลกุลอะมิโลเพกทินในแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตด้วยสารเคมีทั้งสองชนิดนี้ดูเหมือนจะไม่แตกต่างจากแป้งมันสำปะหลังดิบอย่างชัดเจนนัก [14]

Yeon-Hum Yun, Soon-Do Yoon งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสในแป้ง ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผสมระหว่างแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่หนึ่ง ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสในแป้ง ส่วนกลุ่มที่สอง ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ ซึ่งการทดลองทั้งสองกลุ่มมีน้ำเป็นตัวทำละลาย และขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากทั้งสองกลุ่มไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การบวมตัวในน้ำ การละลายน้ำ และการย่อยสลายโดยการฝังดิน จากผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และการบวมตัวของฟิล์มจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณอะไมโลสในแป้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด การละลายน้ำ และเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายเมื่อฝังดินมีค่าลดลง สำหรับฟิล์มที่เติมสารเติมแต่งพบว่า สมบัติเชิงกลและการบวมตัวของฟิล์มที่เติมสารเติมแต่งที่มีทั้งหมู่ฟังก์ชัน ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิล จะมีค่าสูงกว่าฟิล์มที่เติมสารเติมแต่งที่มีเฉพาะหมู่ไฮดรอกซิล และเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของฟิล์มที่ใช้กรดซิตริกเป็นสารเติมแต่งจะมีค่าสูงกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล อย่างไรก็ตามฟิล์มส่วนใหญ่เมื่อนำไปฝังดินเป็นเวลา 6 เดือนจะเกิดการย่อยสลาย 50-80% จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณอะไมโลสในแป้งและชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้มีอิทธิพลต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผสมระหว่างแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากอะไมโลส ส่งผลให้ฟิล์มมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และชนิดของหมู่ฟังก์ชันในสารเติมแต่งที่ต่างกันสามารถเกิดพันธะที่มีความแข็งแรงแตกต่างกันกับแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [15]

รัตนา จินดาพรรณ และ วิไลลักษณ์ ไฝเพชร งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว โดยใช้ พลาสติไซเซอร์ 3 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และโพลีเอทธิลีนไกลคอล และแปรอัตราส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเขียวต่อปริมาณพลาสติไซเซอร์เป็น 3 ระดับ คือ 70:30, 60:40 และ 50:50 พบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้ โพลีเอทธิลีนไกลคอลไม่สามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วน ฟิล์มมีลักษณะเปราะแตกเป็นชิ้นเล็กๆ ขณะที่ฟิล์มซึ่งผลิตโดยใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ทุกอัตราส่วน เมื่อนำไปวัดความหนา การต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมัน และความสามารถในการละลาย พบว่าฟิล์มมีความหนาไม่แตกต่างกัน ค่าการต้านแรงดึงลดลงเมื่อปริมาณพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น สามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้มากกว่า 90 วัน ยกเว้นฟิล์มที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมของโปรตีน ถั่วเขียวต่อซอร์บิทอลที่ระดับ 50:50 สำหรับความสามารถในการละลายน้ำนั้น เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ พลาสติไซเซอร์ [16]

Il-Jun Kanga, Myung-Woo Byunb, Hong-Sun Yookb, Chun-Ho Baec, Hyun-Soo Leec, Joong-Ho Kwond, Cha-Kwon Chunga งานวิจัยนี้ศึกษาการฉายรังสีแกมมาซึ่งเป็นกระบวนการใหม่สำหรับการปรับปรุงแป้ง ในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณรังสีแกมมา 30 – 50 kGy ส่งผลให้แป้งที่ผ่านการฉายรังสีมีความหนืดลดลงแต่มีเสถียรภาพทางความหนืดต่ำ จึงได้มีการใช้รังสีแกมมาร่วมกับการเติมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ซึ่งผลที่ได้คือแป้งมีความหนืดต่ำลงและมีเสถียรภาพทางความหนืดมากขึ้น ขั้นตอนการผสมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตโดยวิธีการหมักจะให้ผลดีกว่าการผสมแบบแห้งและการสเปรย์ ดังนั้นการปรับปรุงแป้งให้มีปริมาณความหนืดต่ำลงและมีเสถียรภาพทางความหนืดอยู่ได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีแกมมาและปริมาณแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตที่เติมลงไปในแป้งที่เราต้องการปรับปรุงคุณสมบัติ [17]

Xiaofei Ma , Peter R. Chang , Jingwen Yang , Jiugao Yu งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมและศึกษาสมบัติของแป้งถั่วที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ วัสดุประกอบชีวภาพสามารถเตรียมได้โดยวิธีการเทแบบและมีนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารคงความเสถียรโดยทำการเติมลงในแป้งถั่วเขียวที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ จากการศึกษาสมบัติของนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์ ขนาด 10 นาโนเมตร (70%wt) สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวได้ในแป้งถั่ว (30%wt) การใส่นาโนซิงค์ออกไซด์ในระดับต่ำจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางความหนืด มอดุลัสสะสม อุณหภูมิการ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ไม่ให้ประโยชน์ด้านการค้า ... ครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตดีขึ้น โดยทำการใส่นาโนซิงค์ออกไซด์ที่ปริมาณ 0-4%wt พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 3.94 เป็น 10.80 MPa และค่ามอดุลัสของยังเพิ่มขึ้น จาก 49.80 เป็น 137.00 MPa และการซึมผ่านของไอน้ำลดลงจาก 4.76 x 1010 เป็น 2.18 x1010 g m s Pa ซึ่งเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างนาโนซิงค์ ออกไซด์และสารละลายผสมของแป้งถั่วที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ [18]

Paivi Myllarinen , Riitta Partanen , Jukka Seppala , Pirkko Forssell การศึกษาสมบัติของฟิล์มโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกลีเซอรอลเมื่ออุณหภูมิคงที่โดยสังเกตการดูดซับและค่าความแข็งแรงดึงของกลีเซอรอลซึ่งส่งผลกับฟิล์ม แม้ว่าน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ดีกว่ากลีเซอรอล แต่การใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ก็มีผลต่อค่า Tg โดยเมื่อใส่กลีเซอรอลในปริมาณที่น้อยเกินไปก็จะมีผลเสียโดยจะทำให้ Tg มีค่าลดลงและฟิล์มก็จะเปราะมากขึ้นการใส่กลีเซอรอลที่ประมาณ 20% ในฟิล์มอะไมโลสจะทำให้คุณสมบัติของฟิล์มดีขึ้นโดยจะทำให้ความแข็งแรงดึงของฟิล์มมากขึ้นแต่ในฟิล์มอะไมโลเพกตินจะทำให้ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นลดลง [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 แป้งมันสำปะหลัง ยี่ห้อนิวเกรด ความชื้น 13%

3.1.2 กลีเซอรอล บริษัท Fluka Glycerol Hydrate Assay 86-88% MW 92.10+aq

3.1.3 นาโนซิงค์ออกไซด์ บริษัทนาโน แมทีเรียลส์ เทคโนโลยี จำกัด Zonop 40 nm.

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 บริภัณฑ์เครื่องแก้ว

3.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

3.2.3 เครื่องฉายรังสีแกมมา (Gamma Irradiation):Gamma-cell 220 ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

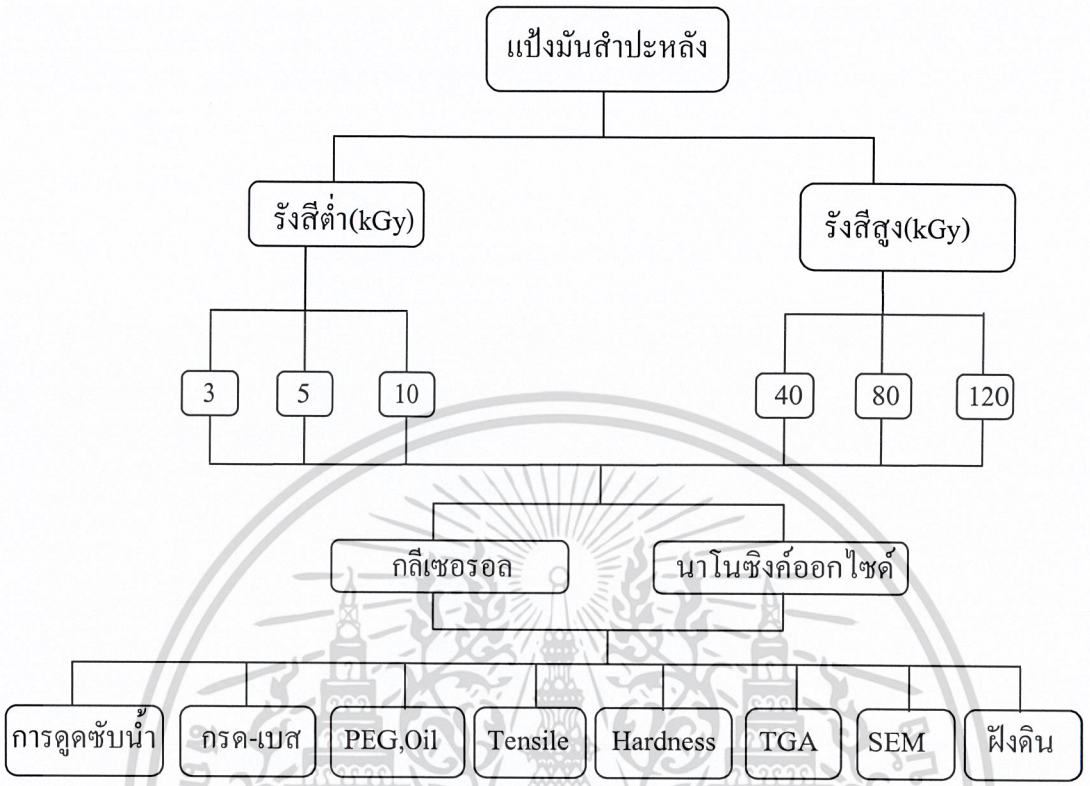
3.2.4 ตู้อบ (Oven) รุ่น 7200 Tuttlingen/Germany บริษัท WTC binder

3.2.5 เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

3.2.6 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine,UTM) รุ่น LRM 110 บริษัท Lab Tech

3.2.7 เครื่องทดสอบความแข็งกด (Universal Testing Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมแป้งมันสำปะหลังถูกออกซิไดซ์ด้วยการฉายรังสีแกมมา

1.นำแป้งมันสำปะหลังที่บรรจุสำเร็จปริมาณ 400 g บรรจุลงในถุงพลาสติก LDPE ใส่ในเครื่องฉายรังสีแกมมา (Gamma Irradiation):Gamma-cell 220 โดยใช้ปริมาณรังสีแกมมาที่ 3,5,10,40,80 และ 120 kGy ตามลำดับ

2. นำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการฉายรังสีแล้วไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Fourier transform IR spectroscopy,FTIR)

3.3.2 การเตรียมน้ำแป้ง

-ผสมตามสูตรในตารางที่ 3.1 จากนั้นให้ความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียล และทำการปั่นกวนด้วยเครื่องผสมความเร็วสูงเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในระบบปิด จะได้น้ำแป้งที่มีลักษณะคล้ายเจลใส

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมที่ใช้ในการทดลอง

แป้ง (g)	น้ำ (ml)	ความเข้มรังสี (kGy)	กลีเซอรอล(g/100 g แป้ง)	นาโนซิงค์ออกไซด์ (g)
10	50	3	20,30	0,0.1
10	50	5	20,30	0,0.1
10	50	10	20,30	0,0.1
10	50	40	20,30	0,0.1
10	50	80	20,30	0,0.1
10	50	120	20,30	0,0.1

3.3.3 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

1. เตรียมแผ่นฟิล์มโดยนำน้ำแป้งแต่ละสูตรเทลงพิมพ์(Casting)ที่ทำจากพลาสติกฟิวเจอร์บอร์ด ขนาด 23.5x15.5 เซนติเมตร

2. นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ถ้าอบ 3 ชั่วโมง ฟิล์มจะแตก)

3. นำแผ่นฟิล์มแป้งที่ผ่านการอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ออกมาตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน

4. นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังแผนภาพที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีทดสอบ

3.4.1 การทดสอบทางกายภาพ

3.4.1.1 การดูดซับน้ำ

-ตัดชิ้นงาน ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น ทศนิยม 4 ตำแหน่ง แช่ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ปิดฝา บีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์มให้แน่น นำขึ้นมาซับน้ำส่วนเกินและชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง

$$\%\text{การดูดซับ} = (M-M_0) \times 100 / M_0$$

M_0 = น้ำหนักแห้งก่อนแช่

M = น้ำหนักหลังแช่

3.4.1.2 ปริมาณของแข็งที่เหลือ

-นำชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบการดูดซับน้ำมาแช่ในน้ำกลั่นต่อไป เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในบีกเกอร์ที่ปิดด้วยพาราฟิล์มเพื่อไม่ให้ฝุ่นเข้าไปหรือน้ำระเหยออกมา เมื่อครบเวลานำมาอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียลจนแห้ง

$$\%\text{ปริมาณของแข็ง} = (M_0-M) \times 100 / M_0$$

M_0 = น้ำหนักแห้งก่อนแช่

M = น้ำหนักหลังอบ

3.4.1.3 การคงตัวในกรดและด่าง[9]

-ตัดชิ้นงานขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว แช่ในสารละลายด่าง 0.1 mol/L NaOH และสารละลายกรด 0.1 mol/L HCl ปิดฝาภาชนะ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้น

3.4.1.4 การคงตัวในน้ำมันพืชและพอลิเอทิลีนไกลคอล[9]

-ตัดชิ้นงานขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว แช่ในน้ำมันพืชและพอลิเอทิลีนไกลคอล ปิดฝาภาชนะตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นนำน้ำมันพืชและพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบแล้วมาทดสอบด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโทรมิเตอร์เปรียบเทียบกับน้ำมันพืชและพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.2.1 ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

-โดยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile testing Machine) จะได้ค่าความแข็งแรงดึงและค่าการดึงยืด ณ จุดขาด ใช้ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้น ขนาด 10x100 มิลลิเมตร ตัวอย่างก่อนดึงต้องเก็บในสารละลายอิ่มตัว NaCl ซึ่งมีความชื้นสัมพันธ์เท่ากับ 75% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้ load cell 100 N ตามมาตรฐาน ASTM d882-88 cross-head speed 5 mm/min

3.4.2.2 ความแข็งกด

-วัดความแข็งของชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D638 ด้วย Durometer Hardness ชนิด shore D โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความหนาอย่างน้อย ¼ นิ้ว หรือ 0.25 นิ้ว ทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงกดตัวอย่าง ละ 5 จุด สเกลสำหรับอ่านค่าความแข็งกดอยู่ในช่วง 0-100 โดยค่าความแข็งกด 0 คือความแข็งกดของของเหลว และค่าความแข็งกด 100 คือค่าความแข็งกดของวัสดุที่แข็งมากไม่ยุบ เช่น กระจก

3.4.3 สัณฐานวิทยา

-กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope,SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ โดยนำตัวอย่างมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM เพื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของนาโนซิงค์ออกไซด์

3.4.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

-ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Onset temperture) ของชิ้นงานด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลซีส (Thermogravimetric analysis, TGA) ทำโดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศไนโตรเจน(N_2) สภาวะในการทดสอบ คืออุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50-900 องศาเซลเซียส และมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินในกระถาง

-ตัดชิ้นงาน 20x50 มิลลิเมตร ใส่ลงในถ้วยที่มีดินอยู่จากนั้นนำถ้วยใส่ลงในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร และนำดินกลบปากหลุม รดน้ำทุกวันวันละ 1 ลิตร เป็นเวลา 7,14 และ30 วัน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดินทำการถ่ายรูปเพื่อบันทึกลักษณะของชิ้นงานตัวอย่างที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำผงแป้งมันสำปะหลังมาฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มต่างๆ จากนั้นละลายน้ำเติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ และนาโนซิงค์ออกไซด์ วัตถุประสงค์เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ย่อยสลายได้โดยการฝังดิน แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้นำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา และการย่อยสลายโดยการฝังดิน

4.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการขึ้นรูปจากสูตรต่างๆ

แป้ง(g)+น้ำ(ml)	ความเข้มรังสี (kGy)	กลีเซอรอล (กรัม)	นาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	หมายเหตุ
10+50	0	2	0	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
			0.1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
10+50	0	3	0	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
			0.1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
10+50	3	2	0	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา
			0.1	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา
10+50	3	3	0	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา
			0.1	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น มีสีขาวขุ่น ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา
10+50	5	2	0	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา
			0.1	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น มีสีขาวขุ่น ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา
10+50	5	3	0	ขึ้นรูปไม่ได้เป็นแผ่น ใส ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา
			0.1	ขึ้นรูปไม่ได้เป็นแผ่น มีสีขาวขุ่น ไม่ค่อยแห้ง และขึ้นรา

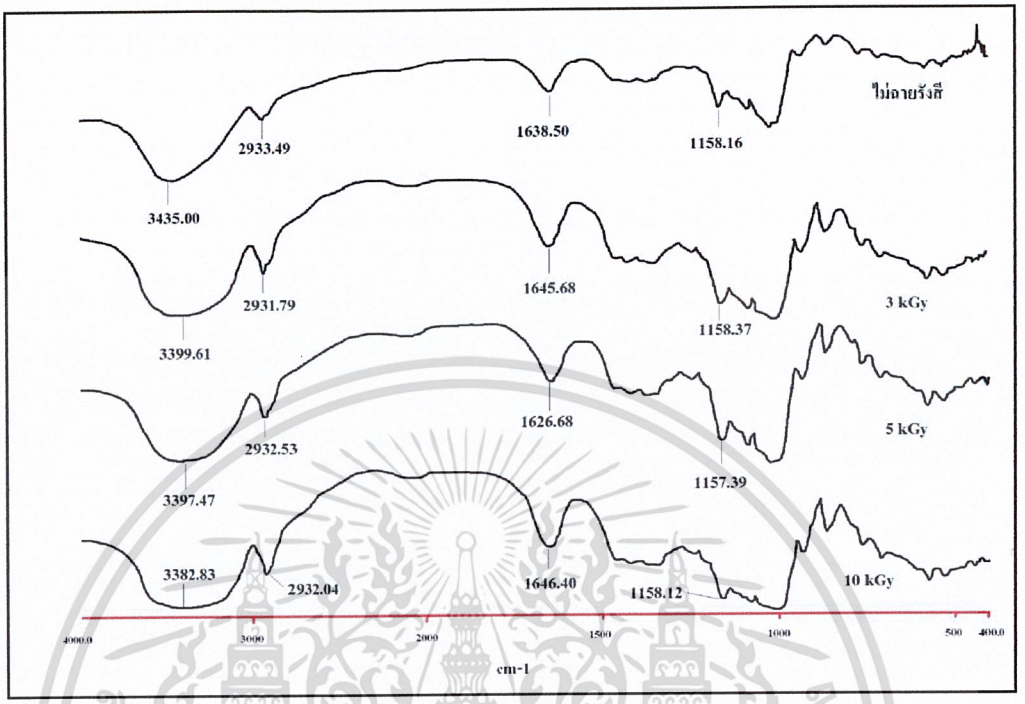
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้ง(g)+น้ำ(ml)	ความเข้มรังสี (kGy)	กลีเซอรอล (กรัม)	นาโนซิงค์ออกไซด์ (กรัม)	หมายเหตุ
10+50	10	2	0	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส บีบฟิล์มด้วยมือเมื่อคลายมือออกฟิล์มคืนตัวได้แต่มีรอยยับ ถ้าฉีกด้วยมือฟิล์มเหนียวมาก แต่ถ้าดึงด้วยมือใช้แรงดึงมากจึงจะขาด
			0.1	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น มีสีขาวขุ่น บีบฟิล์มด้วยมือเมื่อคลายมือออกฟิล์มคืนตัวได้แต่มีรอยยับ ฉีกด้วยมือเหนียว ดึงด้วยมือออกแรงดึงเล็กน้อย ก็สามารถยืดได้
10+50	10	3	0	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส บีบด้วยมือ นิ่ม ดึงด้วยมือยืดได้เล็กน้อย
			0.1	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น มีสีขาวขุ่น บีบด้วยมือ คืนตัวได้แต่มีรอยยับ ฉีกด้วยมือ เหนียว ดึงด้วยมือ ใช้แรงดึงเล็กน้อย แต่สามารถยืดได้
10+50	40	2	0	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส บีบด้วยมือคืนตัวได้แต่มีรอยยับ ฉีกด้วยมือ ฉีกขาดได้ง่าย ไม่เหนียว ดึงด้วยมือใช้แรงดึงมากกว่าจะขาด
			0.1	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น มีสีขาวขุ่น บีบด้วยมือแข็งฉีกด้วยมือฉีกขาดได้ง่าย ไม่เหนียว ดึงด้วยมือใช้แรงดึงมากกว่าจะขาด
10+50	40	3	0	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น ใส บีบด้วยมือนิ่ม ดึงด้วยมื ยืดได้เล็กน้อย
			0.1	ขึ้นรูปได้เป็นแผ่น มีสีน้ำตาล ใส บีบด้วยมือนิ่ม ดึงด้วยมือยืดได้เล็กน้อย
10+50	80	2	0	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
			0.1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
10+50	80	3	0	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
			0.1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
10+50	120	2	0	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
			0.1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
10+50	120	3	0	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
			0.1	ไม่สามารถขึ้นรูปได้

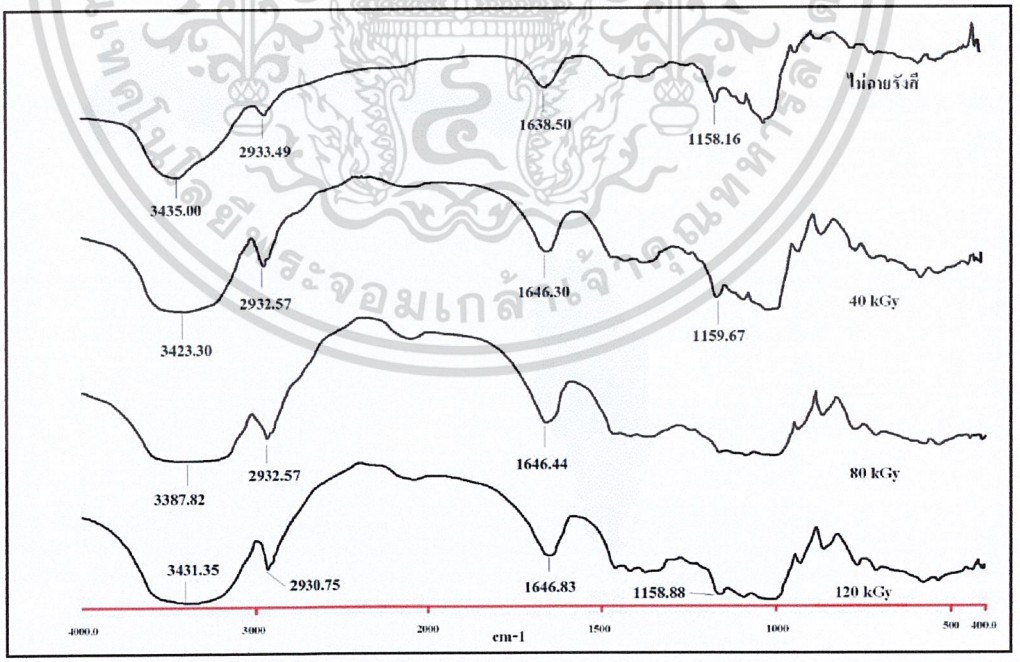
หมายเหตุ ผลการทดลองการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง จากตารางที่ 4.1 จึงเลือกทำการทดสอบแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ปริมารรังสี 10 kGy และ 40 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี



ก



ข

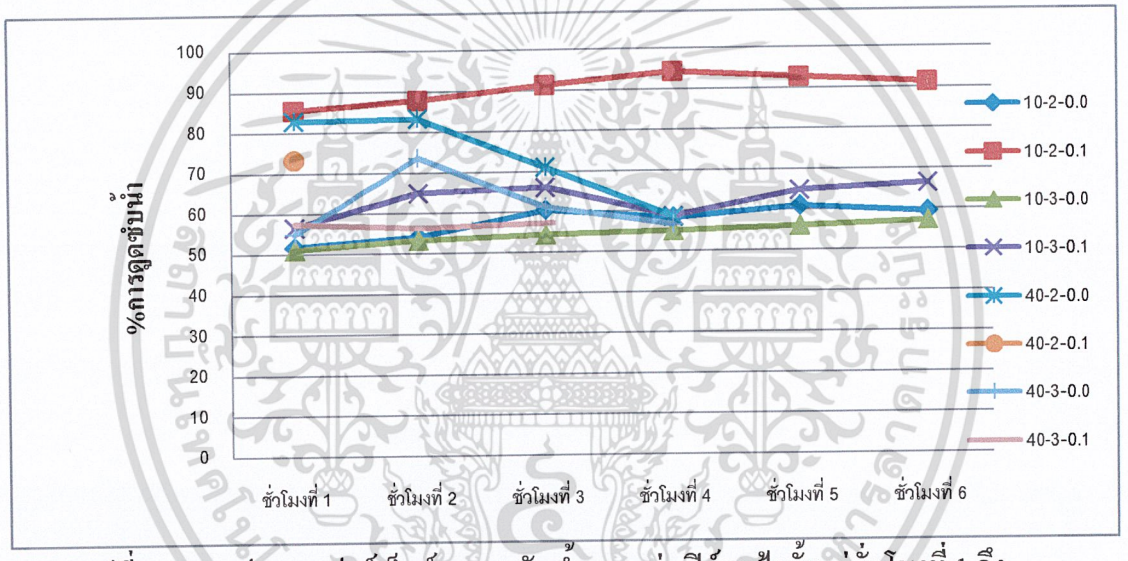
รูปที่ 4.1 (ก)-(ข) แสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังก่อนการฉายรังสีและหลังจากการฉายรังสี 3,5,10,40,80 และ120 kGy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 (ก) เป็นการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังช่วงความเข้มรังสีต่ำ และ(ข) เป็นการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังช่วงความเข้มรังสีสูง พบว่าเลขคลื่นที่สำคัญคือ3300cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ OH-Stretching 2900 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ CH-Stretching 1600 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิล 1100 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ C-O-C เมื่อทำการฉายรังสีที่ปริมาณความเข้มรังสีสูงขึ้น จะพบว่าที่พีค OH-Stretching จะมีความกว้างมากขึ้น พีค CH-Stretching และพีคคาร์บอนิลจะแหลมขึ้นและพีค C-O-C จะหายไป เนื่องจากเมื่อฉายรังสีสายโซ่โมโลกุลของแป้งถูกตัดขาดสายโซ่ให้สั้นลง ส่งผลให้มีหมู่คาร์บอนิลเพิ่มมากขึ้น

4.3 การดูดซับน้ำ

การศึกษาการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง



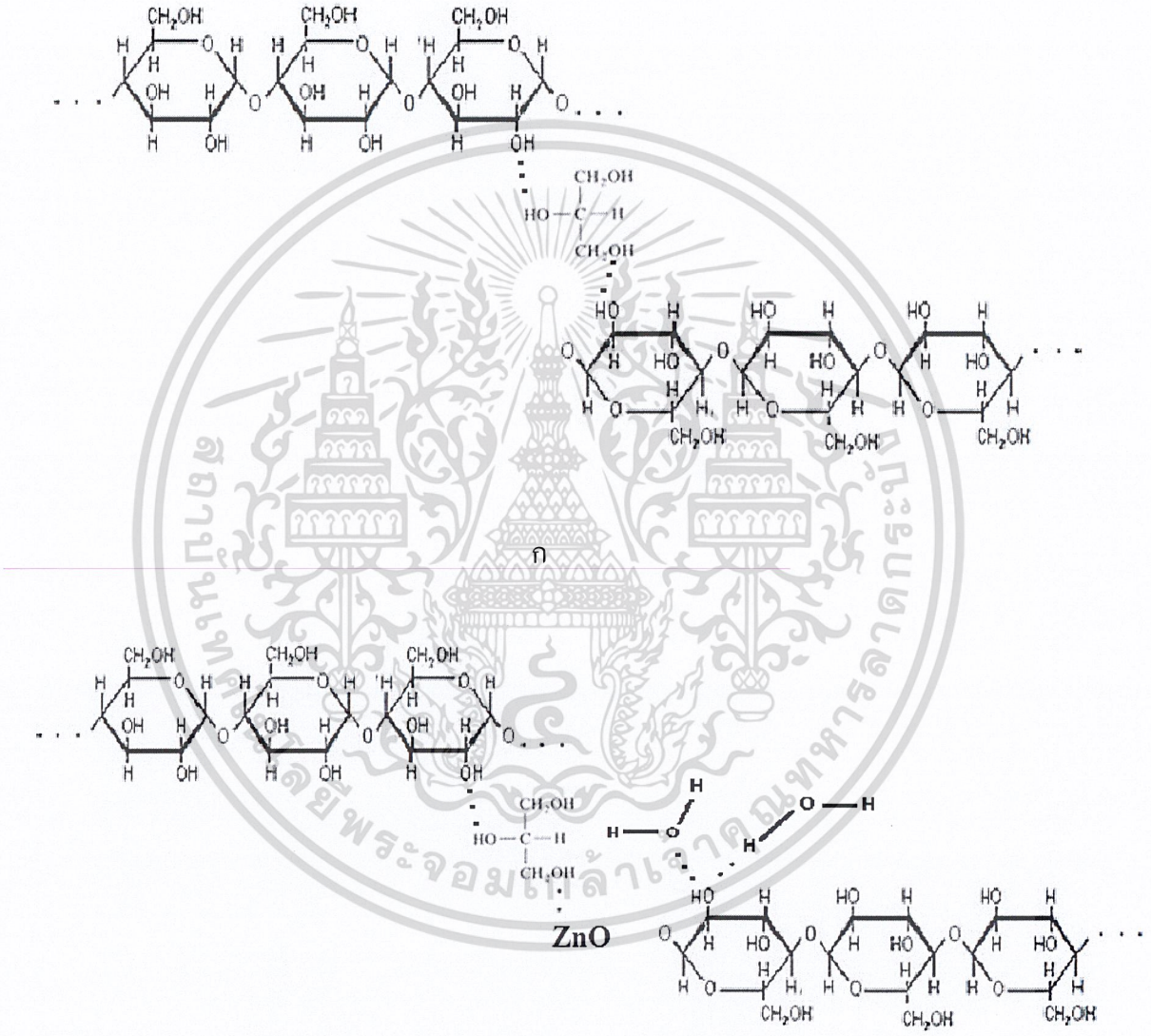
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มแป้งตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 6

จากรูปที่4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มแข็งตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 6 พบว่าสูตรแป้งที่ฉายรังสี 40 kGy จะละลายน้ำภายใน 4 ชั่วโมง เมื่อเวลาครบ 6 ชั่วโมง สูตรแป้งที่ฉายรังสี 10 kGy ยังคงสภาพเป็นแผ่นฟิล์ม เนื่องจากแป้งที่ฉายรังสีปริมาณสูงจะถูกตัดสายโซ่มากกว่าแป้งที่ฉายรังสีปริมาณต่ำทำให้เมื่อเรานำไปแช่น้ำแป้งที่ฉายรังสีสูงจึงไม่สามารถคงสภาพเป็นแผ่นฟิล์มอยู่ได้

พิจารณาผลเนื่องจากปริมาณกลีเซอรอล เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรแป้งมันสำปะหลังฉายรังสีต่อปริมาณกลีเซอรอลต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ สูตร 10:2:0 และ 10:3:0 พบว่า สูตร 10:2:0 มีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าสูตร 10:3:0 เนื่องจากเมื่อมีปริมาณโมเลกุลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น โมเลกุลกลีเซอรอลเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลแป้งแล้วเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลแป้งทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งลดลงส่งผลให้แป้งมีการดูดซับน้ำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาผลเนื่องจากปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรแป้งมันสำปะหลังฉายรังสีต่อปริมาณกลีเซอรอลต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ 10:2:0 และ10:2:0.1 พบว่าสูตร10:2:0.1มีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าสูตร10:2:0 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อาจเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างกลีเซอรอลและสายโซ่โมเลกุลแป้งลดลง ทำให้มีการดูดซับน้ำได้มากขึ้น



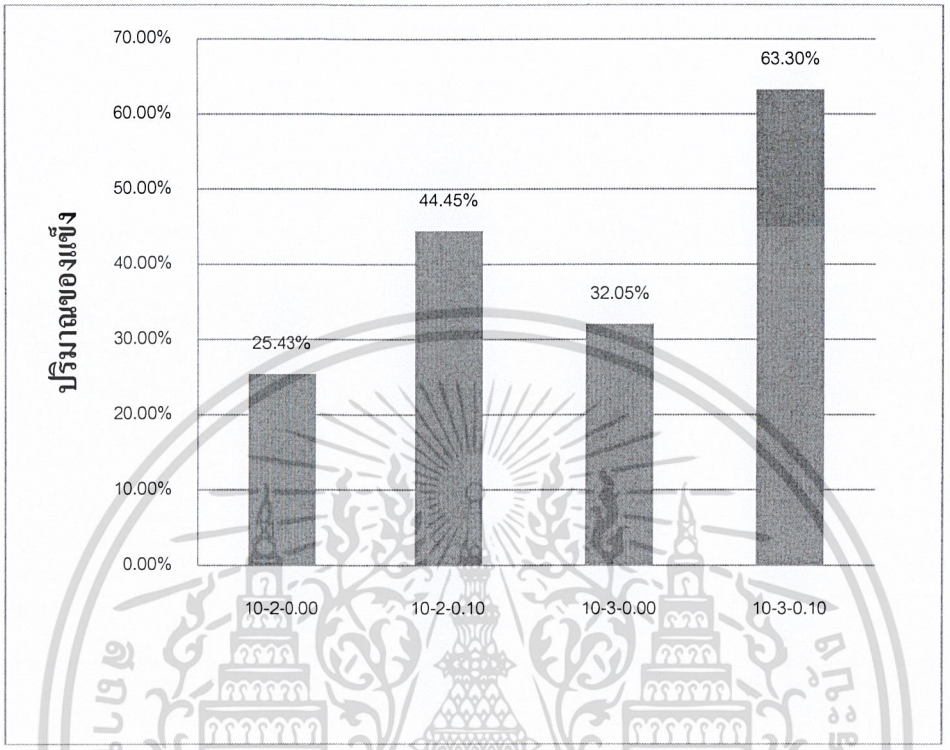
ก

ข

รูปที่ 4.3 แสดงกลไกการดูดซับน้ำ (ก) กลไกการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลีเซอรอลกับโมเลกุลแป้ง (ข) กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับนาโนซิงค์ออกไซด์ และการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลแป้งกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1ปริมาณของแข็งที่เหลือ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่เหลือ

จากรูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เหลือ พบว่า สูตรที่ใส่นาโนซิงค์ออกไซด์จะมีเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่เหลือมากกว่าสูตรที่ไม่ใส่นาโนซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากนาโนซิงค์ออกไซด์ไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การคงตัวในกรดและด่าง

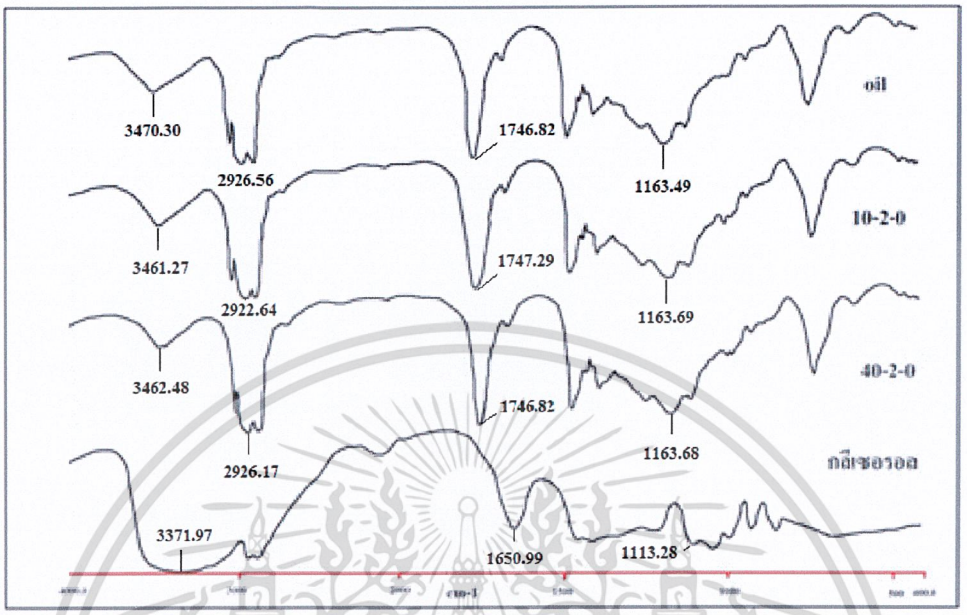
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้นในกรดและด่างเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์

สูตร (kGy-glycerol-ZnO)	การคงตัวในกรด	การคงตัวในเบส
10-2-0	เมื่อคีบชิ้นงานเกิดการขาดเล็กน้อย	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานละลายในด่าง
10-2-0.1	เมื่อคีบชิ้นงานไม่เกิดการขาดชิ้นงานยังคงรูปและมีความยืดหยุ่นดี	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงว่าให้เห็นชิ้นงานละลายในด่าง
10-3-0	เมื่อคีบชิ้นงานไม่เกิดการขาดชิ้นงานยังคงรูปและมีความยืดหยุ่นดีที่สุด	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงว่าให้เห็นชิ้นงานละลายในด่าง
10-3-0.1	เมื่อคีบชิ้นงานเกิดการขาดเล็กน้อย	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานละลายในด่าง
40-2-0	เมื่อคีบชิ้นงานเกิดการขาดเล็กน้อยและชิ้นงานเกิดการเสียรูป	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานละลายในด่าง
40-2-0.1	ชิ้นงานเกิดการขาดตั้งแต่ยังไม่ได้คีบ	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานละลายในด่าง
40-3-0	เมื่อคีบชิ้นงานเกิดการขาดเล็กน้อยและชิ้นงานเกิดการเสียรูป	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานละลายในด่าง
40-3-0.1	เมื่อคีบชิ้นงานเกิดการขาดเล็กน้อยแต่ไม่เสียรูปเหมือนสูตรอื่น	ไม่สามารถคีบชิ้นงานได้แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานละลายในด่าง

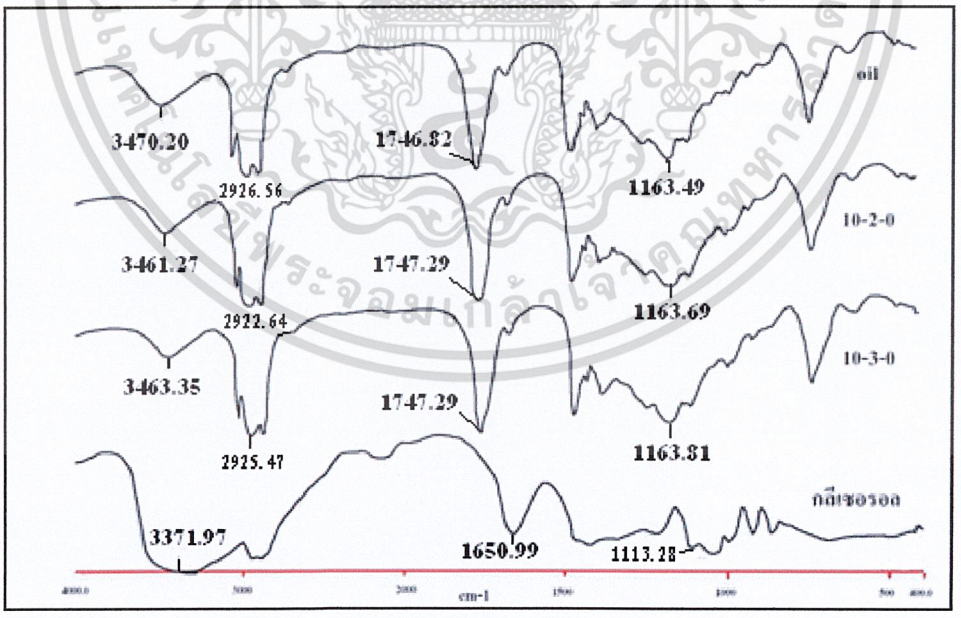
จากตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้นในกรดและด่างเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ ปรากฏว่าแผ่นฟิล์มมีการบวมตัวในสารละลายกรดและละลายในสารละลายด่าง เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลที่ไม่ถูกออกซิไดซ์ ทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลายและเป็นการลดการทำปฏิกิริยากันภายในโมเลกุลแป้ง จึงส่งผลให้แป้งเกิดการบวมตัวขึ้น นอกจากนี้โซเดียมไอออน ยังทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลกลายเป็นคาร์บอกซิเลต ส่งผลให้สมบัติการชอบน้ำและความสามารถในการละลายของแป้งเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การคงตัวในน้ำมันพืชและพอลิเอทิลีนไกลคอล

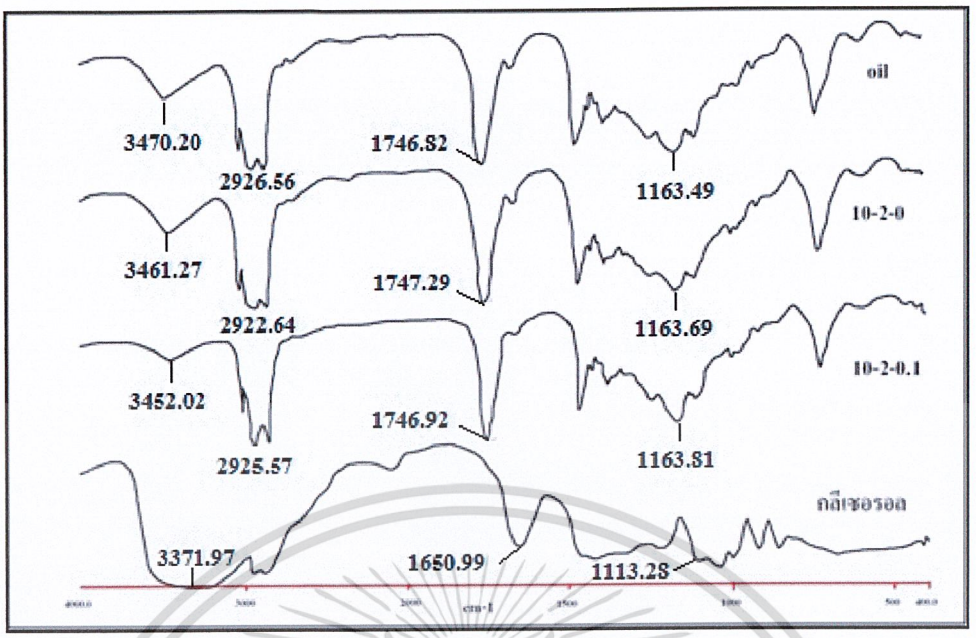


ก



ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

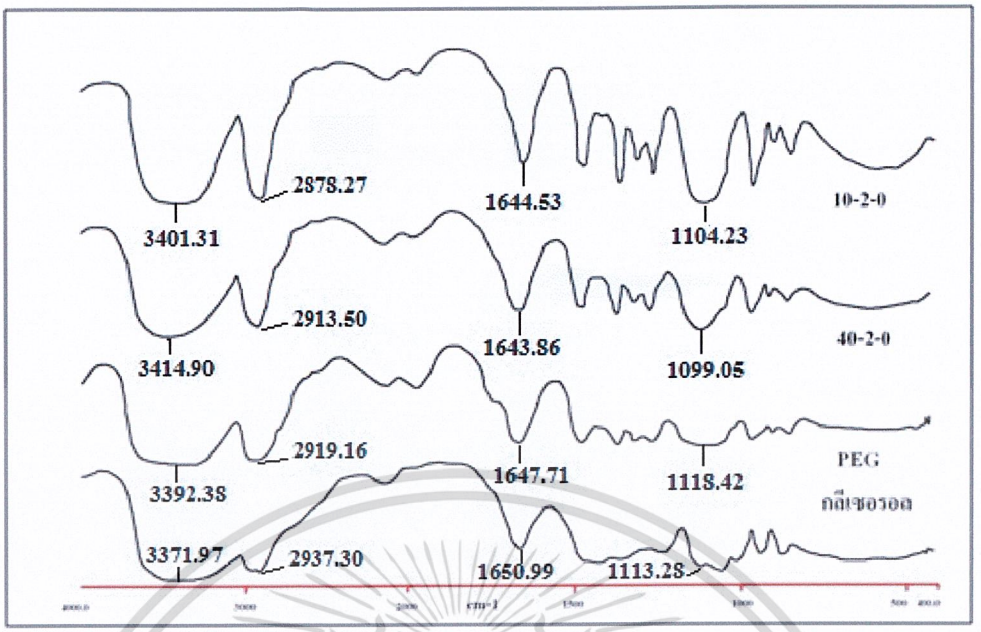


ค

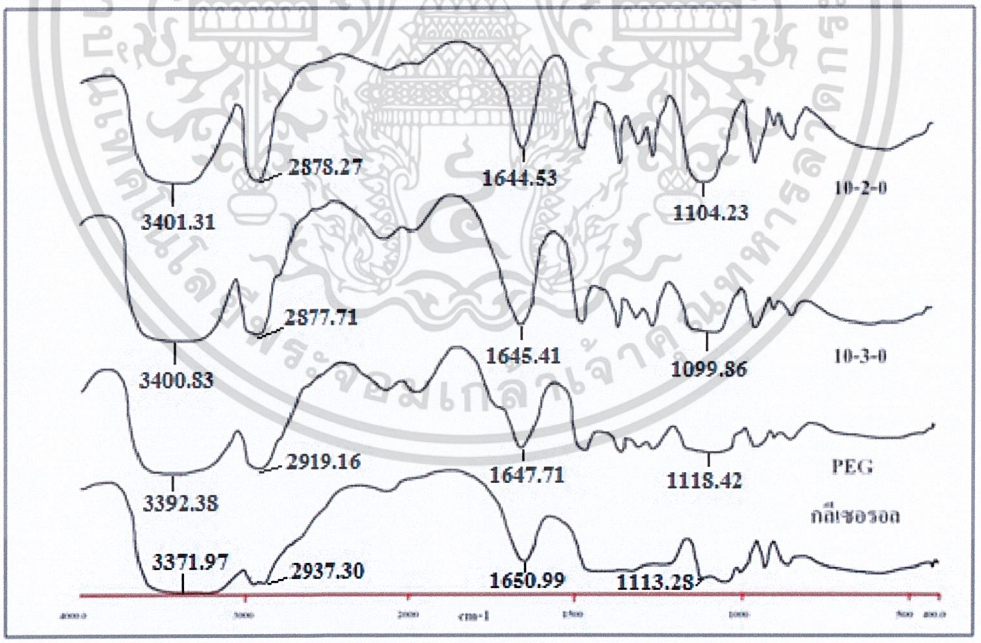
รูปที่ 4.5 กราฟอินฟาเรดสเปกตราของน้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอล(ก) แสดงการเปรียบเทียบแป้งฉายรังสีที่ปริมาณ 10 kGy และ 40 kGy (ข) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรอลที่ 2 และ 3 กรัม (ค) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0 และ 0.1 กรัม

จากรูปที่ 4.5 (ก)-(ค)แสดงอินฟราเรดสเปกตราของน้ำมันพืชบริสุทธ์ น้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอล พบว่าอินฟราเรดสเปกตราของน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบตำแหน่งพีคขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกันและรูปแบบของพีคที่ปรากฏขึ้นเป็นแบบเดียวกัน เมื่อดูอินฟราเรดสเปกตราของกลีเซอรอล พบว่าไม่มีความแตกต่างของน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบแล้ว แสดงให้เห็นว่า ไม่มีการละลายของสารใดๆออกมาสู่น้ำมันพืช เนื่องจากโมเลกุลต่างๆที่อยู่ในแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง เช่น โมเลกุลของกลีเซอรอล มีสมบัติการชอบน้ำ (มีขั้ว) จึงไม่ละลายลงในน้ำมันพืชที่มีสมบัติการไม่ชอบน้ำ (ไม่มีขั้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

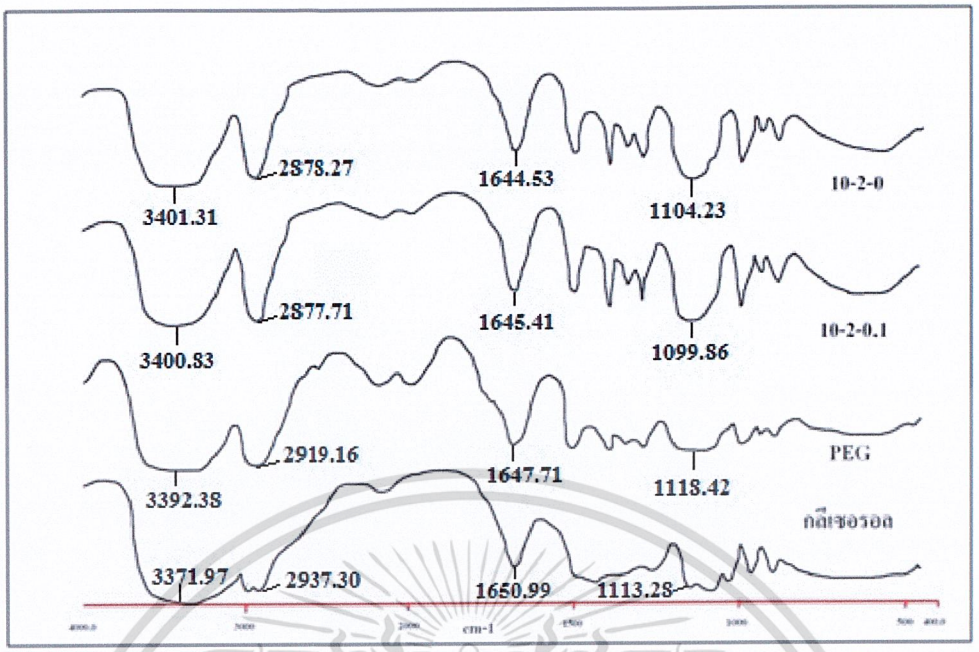


ก



ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค

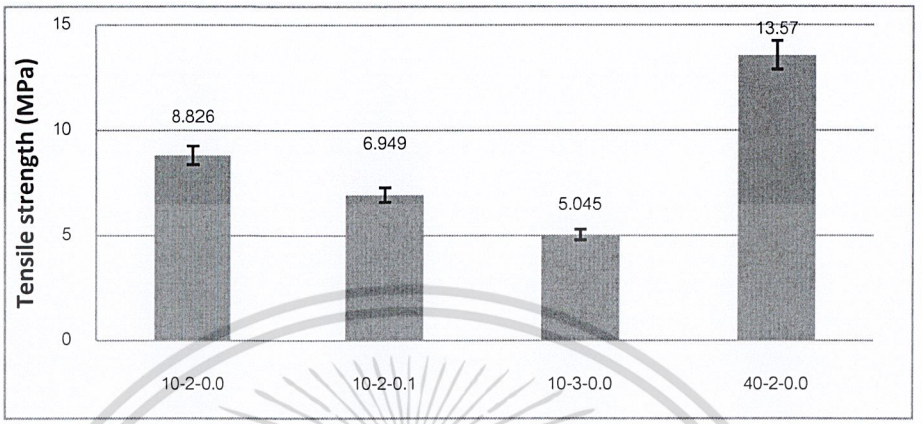
รูปที่ 4.6 กราฟอินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลบริสุทธิ์ พอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอล (ก) แสดงการเปรียบเทียบแป้งฉายรังสีที่ปริมาณ 10 kGy และ 40 kGy (ข) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรอลที่ 2 และ 3 กรัม (ค) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ 0 และ 0.1 กรัม

จากรูปที่4.6 (ก)-(ค)แสดงอินฟราเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลบริสุทธิ์ พอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอล พบว่าพอลิเอทลีนไกลคอลบริสุทธิ์มีเลขคลื่นที่สำคัญคือ 3392 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ OH-Stretching 2919 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ CH-Stretching และความเข้มของพีคทั้งสองอยู่ที่12%transmittance กลีเซอรอลมีเลขคลื่นที่สำคัญคือ 3371cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ OH-Stretching 2937 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ CH-Stretching ในขณะที่พอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังในทุกสูตร มีเลขคลื่นอยู่ที่ประมาณ 3400 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ OH-Stretching 2900 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ CH-Stretching พบว่าพีคของ OH-Stretching มีความกว้างมากขึ้น และพีค CH-Stretching แหลมมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลที่มีสมบัติชอบน้ำ (มีขั้ว)ละลายสู่พอลิเอทิลีนไกลคอลที่มีสมบัติชอบน้ำเช่นเดียวกัน (มีขั้ว)

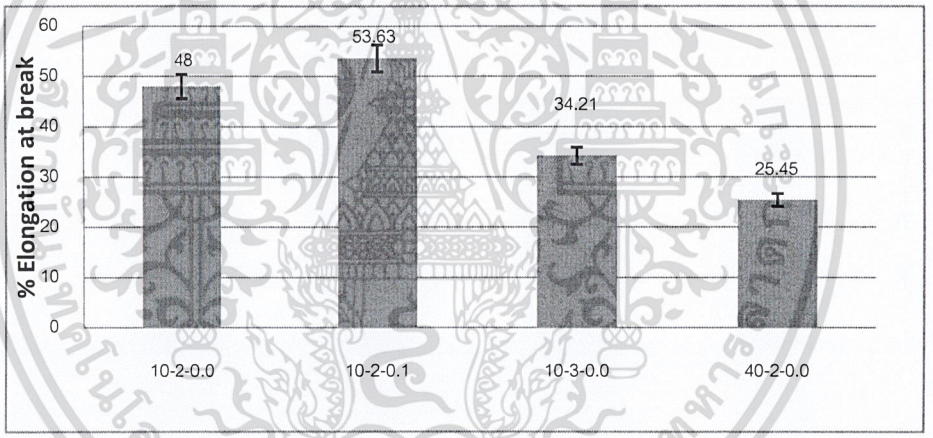
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซนต์การดึงยืด และความแข็งกด ให้ผลการทดลองดังนี้



ก



ข

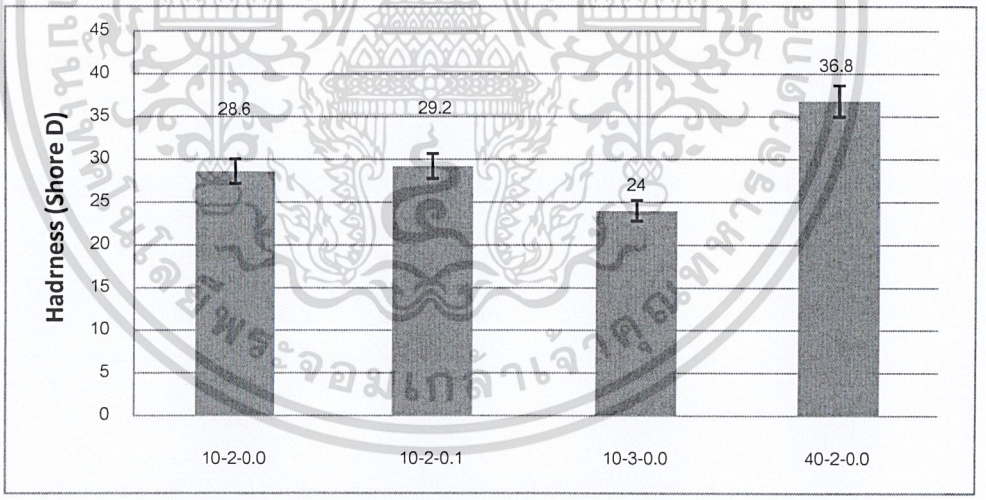
รูปที่ 4.7 (ก) กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (ข) กราฟแสดงเปอร์เซนต์การดึงยืด

จากรูปที่ 4.7 (ก)-(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพิจารณาผลเนื่องจากปริมาณรังสี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฟิล์มแป้งรังสีสูงคือ 40 kGy (40-2-0) และแป้งรังสีต่ำคือ 10 kGy (10-2-0) พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งปริมาณรังสี40 kGy มีค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุดเท่ากับ13.57 MPa แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่ำที่สุดเท่ากับ 25.45% เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มแป้งปริมาณรังสี10 kGy ที่มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 8.826 MPa และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเท่ากับ 48% ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความเข้มรังสีสูงจะตัดสายโซ่โมเลกุลแป้งให้สั้นลงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลแป้งมีการจัดเรียงผลึกดีขึ้น แผ่นฟิล์มแป้งจึงมีสมบัติแข็งเปราะ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาผลเนื่องจากปริมาณกลีเซอรอล เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรแป้งมันสำปะหลังฉายรังสีต่อปริมาณกลีเซอรอลต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ สูตร10:2:0 และ 10:3:0 พบว่า สูตร 10:2:0 มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 8.826 MPa และมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเท่ากับ 48% ซึ่งสูงกว่าค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของสูตร 10:3:0 ซึ่งเท่ากับ 5.045 MPa และ 34.21% เนื่องจากโมเลกุลกลีเซอรอลเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลแป้ง ดังนั้นแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอลมากๆกลีเซอรอลจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่มากทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้มาก แผ่นฟิล์มแป้งจึงมีความนิ่มและมีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอลน้อย

พิจารณาผลเนื่องจากปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรแป้งมันสำปะหลังฉายรังสีต่อปริมาณกลีเซอรอลต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ สูตร 10:2:0 และ10:2:0.1 พบว่า สูตร 10:2:0 มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 8.826 MPa ซึ่งสูงกว่าสูตร 10:2:0.1ที่มีความแข็งแรงดึงเท่ากับ 6.949 MPa แต่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดสูงที่สุดเท่ากับ 53.63% ซึ่งสูงกว่าสูตร 10:2:0 ที่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเท่ากับ 48% แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อาจเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างกลีเซอรอลและสายโซ่โมเลกุลแป้งลดลง ทำให้สายโซ่โมเลกุลแป้งเคลื่อนที่ได้มากขึ้น แผ่นฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น



รูปที่ 4.8 (ก) กราฟแสดงค่าความแข็งกด (Shore D)

จากรูปที่ 4.8(ก) แสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งกด (Shore D) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพิจารณาผล เนื่องจากปริมาณรังสี พบว่า ที่ปริมาณรังสีสูง คือ 40 kGy มีค่าความแข็งกดมากกว่า ที่ปริมาณรังสีต่ำ คือ 10 kGy เนื่องจากที่ปริมาณรังสีสูง สายโซ่โมเลกุลของแป้งถูกตัดให้สั้นลง ทำให้สายโซ่มีการเรียงตัวกันแน่นมากขึ้น และเคลื่อนที่ยากขึ้น จึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความแข็ง

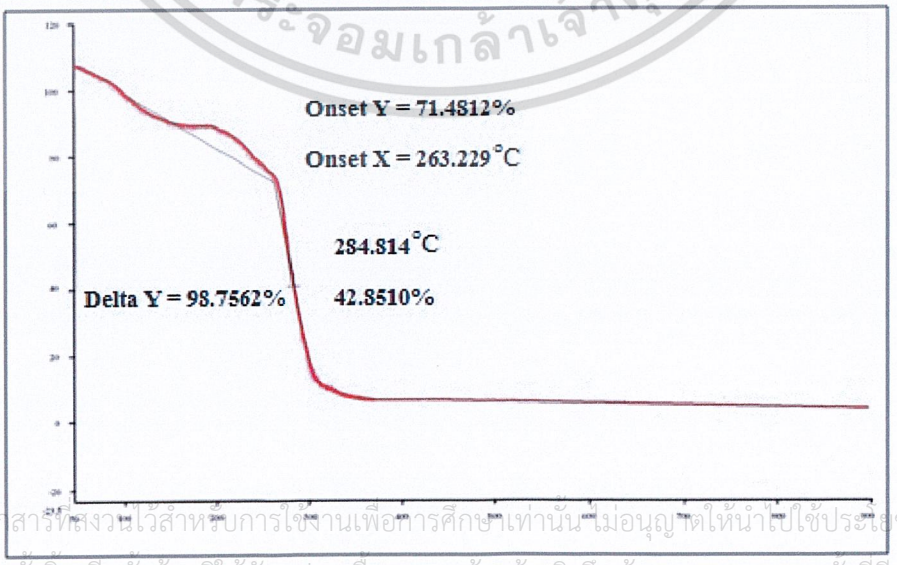
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่าย เพื่อประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาผลเนื่องจากปริมาณกลีเซอรอล เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรแป้งมันสำปะหลังฉายรังสีต่อปริมาณกลีเซอรอลต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ สูตร10:2:0 และ 10:3:0 พบว่าสูตร 10:2:0 มีความแข็งกดเท่ากับ 28.6 ซึ่งมากว่าสูตร 10:3:0 ที่มีความแข็งกดเท่ากับ 24 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สูตรที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่ำ จะมีค่าความแข็งกดสูงกว่าสูตรอัตราส่วนที่มีปริมาณกลีเซอรอลสูง เนื่องจาก ปริมาณกลีเซอรอลต่ำที่เข้าแทรกอยู่ในสายโซ่มีน้อย ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก แผ่นฟิล์มแป้งที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่ำแข็งมากกว่า ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึง

พิจารณาผลเนื่องจากปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรแป้งมันสำปะหลังฉายรังสีต่อปริมาณกลีเซอรอลต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ สูตร 10:2:0 และ10:2:0.1 พบว่าสูตร10:2:0.1 มีค่าความแข็งกดเท่ากับ 29.2 ซึ่งมากกว่าสูตร 10:2:0 ที่มีค่าความแข็งกดเท่ากับ 28.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สูตรอัตราส่วนที่มีปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีค่าความแข็งกดสูงกว่าสูตรที่ไม่มีนาโนซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งกระจายตัวอยู่ที่พื้นผิวของแผ่นฟิล์มทำให้เมื่อเราทำการทดสอบ เข็มทดสอบอาจสัมผัสกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ทำให้แผ่นฟิล์มที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าความแข็งกดสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่มีนาโนซิงค์ออกไซด์

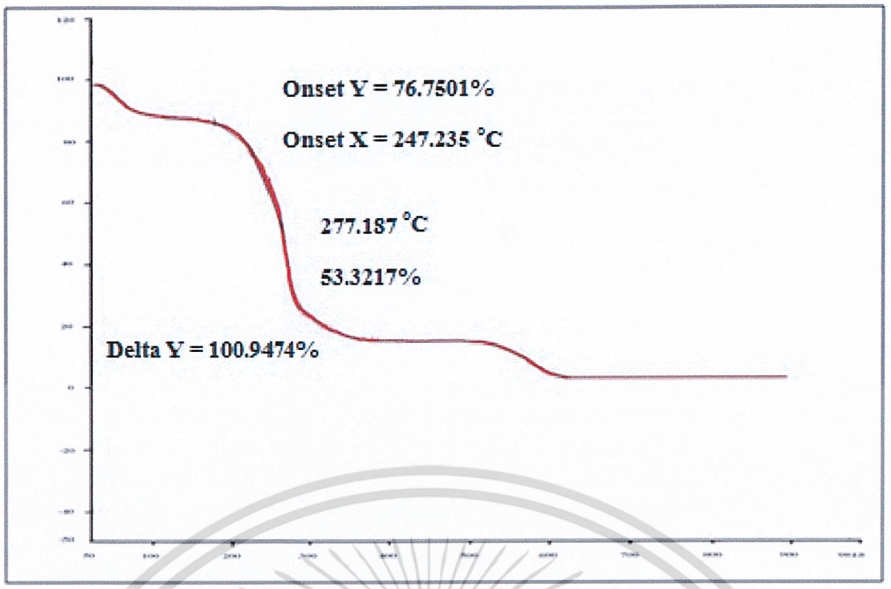
4.7 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา ได้แก่ การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Onset Temperature) ของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis,TGA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2) และใช้สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50-900 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที ให้ผลการทดลองดังนี้

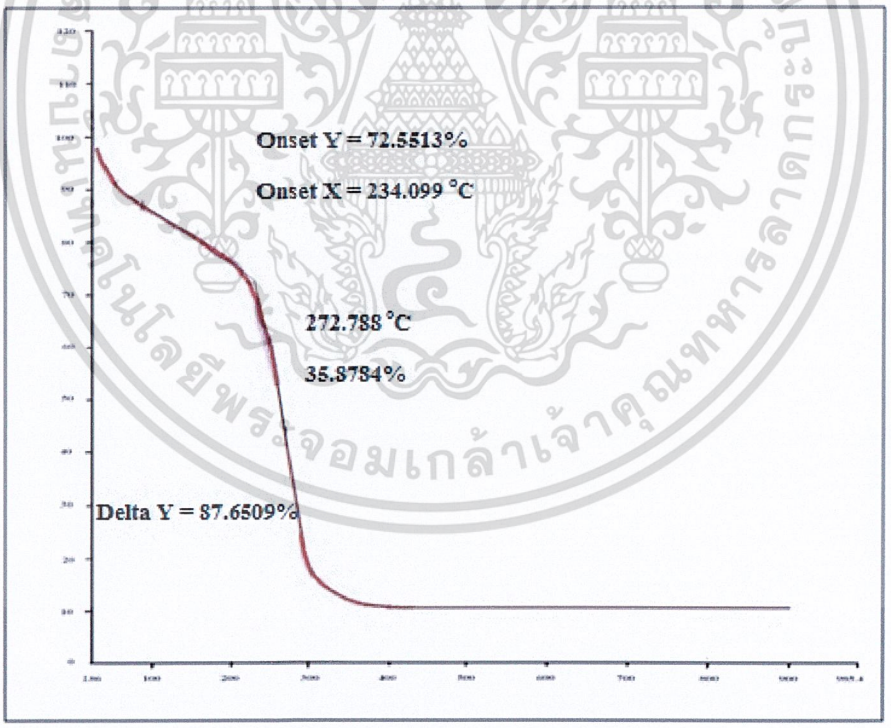


ก. 10:2:0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

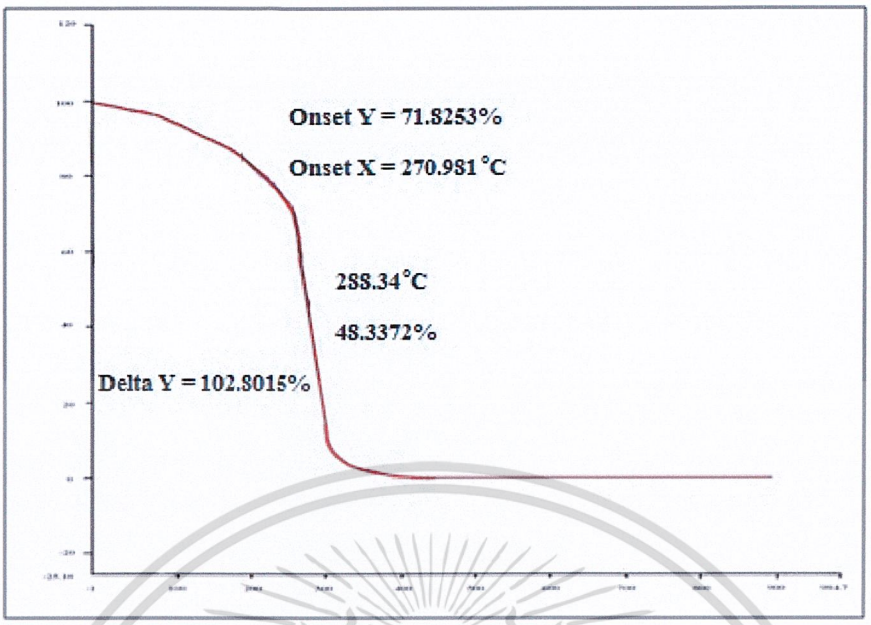


ข. 10:2:0.1



ค. 10:3:0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ง. 40:2:0

รูปที่ 4.9 TGA thermogram

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิเริ่มการสลายตัว (T_o) และ อุณหภูมิการสลายตัว (T_d)

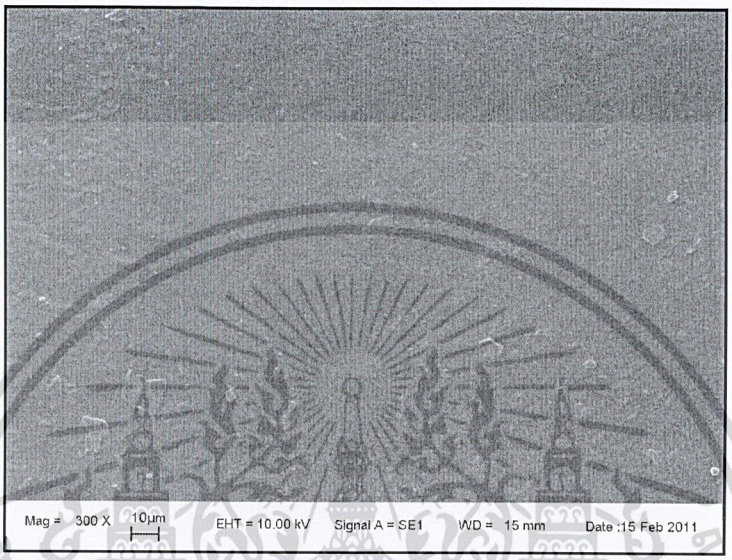
สูตร	อุณหภูมิเริ่มการสลายตัว (T_o)	อุณหภูมิการสลายตัว (T_d)
10:2:0	263.2 °C	284.8 °C
10:2:0.1	247.2°C	277.1 °C
10:3:0	243.0 °C	272.7 °C
40:2:0	270.9 °C	288.3 °C

จากรูปที่ 4.9 แสดงกราฟ TGA thermogram พบว่า เมื่อพิจารณาภาพ(ก)และ(ข) จะพบว่า ภาพ(ก)เกิดการสลายตัวหนึ่งขั้นตอน ซึ่งเป็นการสลายตัวของแป้งและกลีเซอรอล ภาพ(ข)จะพบการสลายตัวสองขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนแรกเป็นการสลายตัวของแป้งและกลีเซอรอล ขั้นที่สองเป็นการสลายตัวของซิงค์ออกไซด์ เมื่อพิจารณาภาพ(ก)และ(ค) จะพบว่า ภาพ(ก) มีอุณหภูมิสลายตัวสูงกว่าภาพ(ข) เนื่องจากปริมาณ กลีเซอรอลที่แตกต่างกัน การใส่กลีเซอรอลปริมาณมาก กลีเซอรอลจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่มากจึงทำให้มีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าการใส่กลีเซอรอลในปริมาณน้อย เมื่อพิจารณาภาพ(ก)และ(ง) จะพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวไม่ต่างกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีไม่ส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว

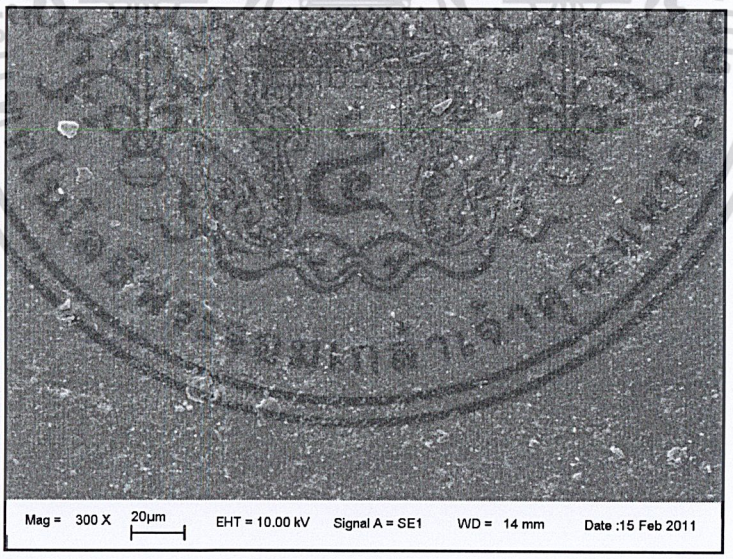
เอกสารนี้เป็นการสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning electron microscope ,SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของนาโนซิงค์ออกไซด์ ให้ผลการทดลองดังนี้



ก



ข

รูปที่ 4.10 เป็นภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 300 เท่า

จากรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นพื้นผิวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรแป้งมันสำปะหลังฉายรังสีต่อปริมาณกลีเซอรอลต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์สูตร 10:2:0 และ10:2:0.1 ตามลำดับ พบว่าพื้นผิวของภาพ (ก) มีลักษณะเรียบ เนื่องจากไม่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กระจายอยู่และที่ภาพ (ข)มีจุดสีขาวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายอยู่ แสดงให้เห็นว่านาโนซิงค์ออกไซด์ไม่ได้ละลายเป็นเนื้อเดียวแต่เป็นวัฏภาคกระจายอยู่ในแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

4.9 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินได้นำชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้มาทำการทดสอบฝังดิน

(ก) สูตร 10:2:0

ก่อนฝัง

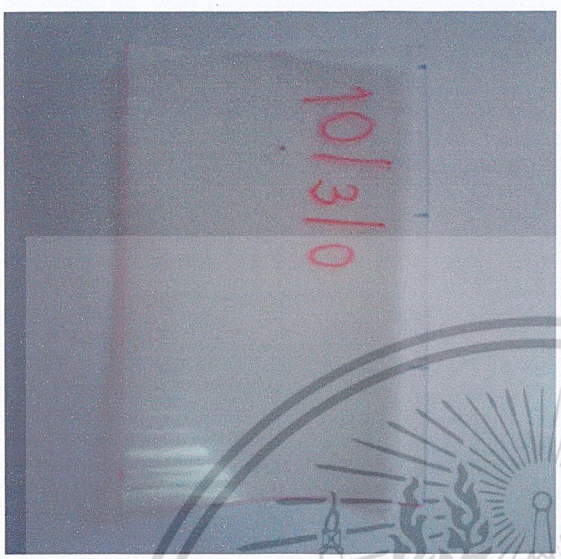
เมื่อผ่านไป 7 วัน

เมื่อผ่านไป 14 วัน

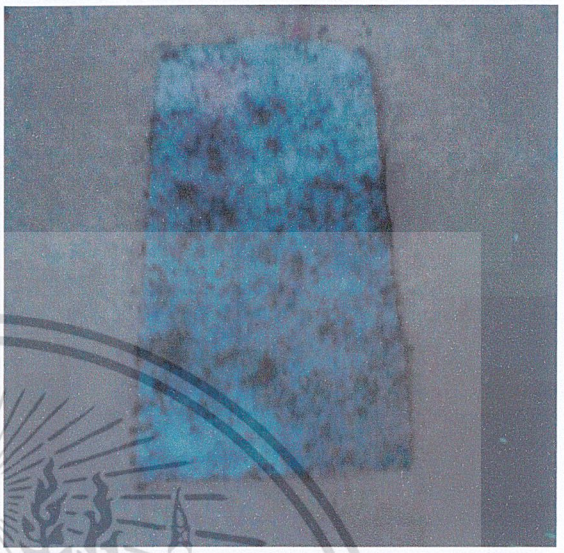
เมื่อผ่านไป 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) สูตร 10:3:0

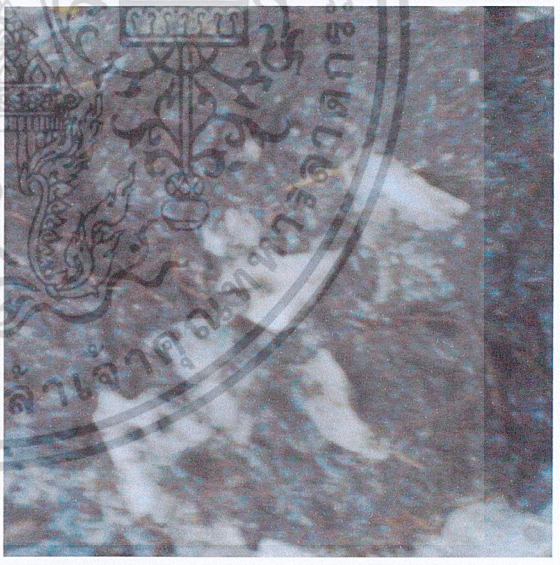


ก่อนฝัง



เมื่อผ่านไป 7 วัน

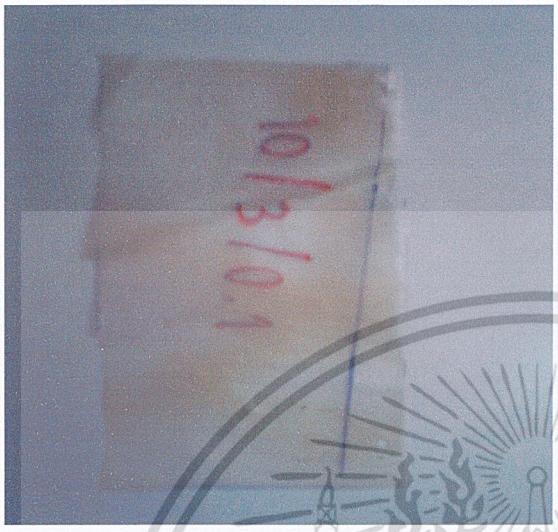
เมื่อผ่านไป 14 วัน



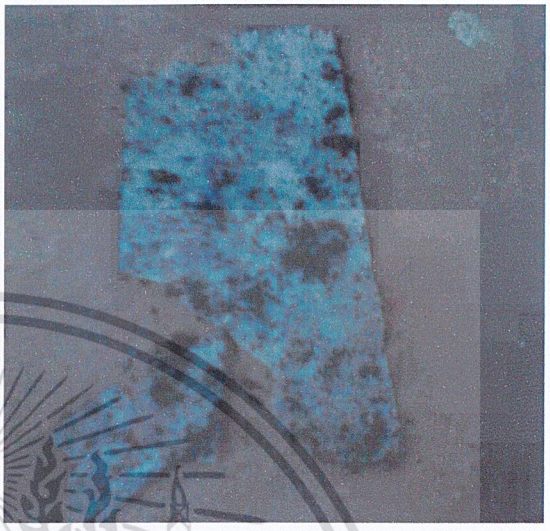
เมื่อผ่านไป 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) สูตร 10:3:0.1

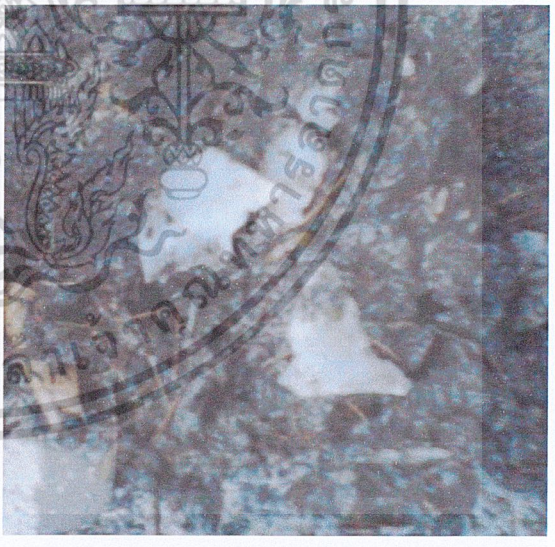


ก่อนฝัง



เมื่อผ่านไป 7 วัน

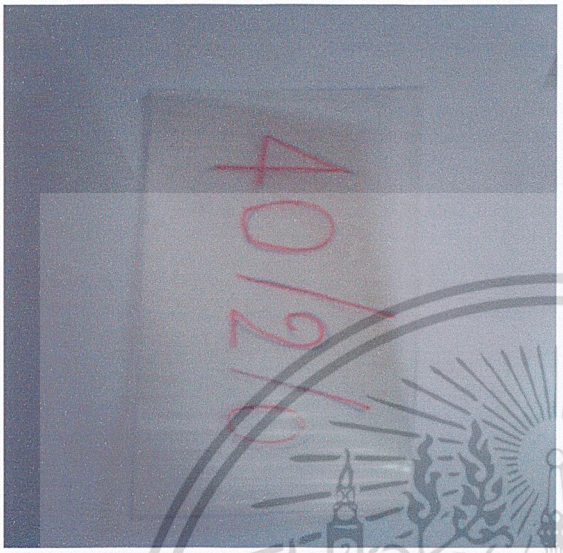
เมื่อผ่านไป 14 วัน



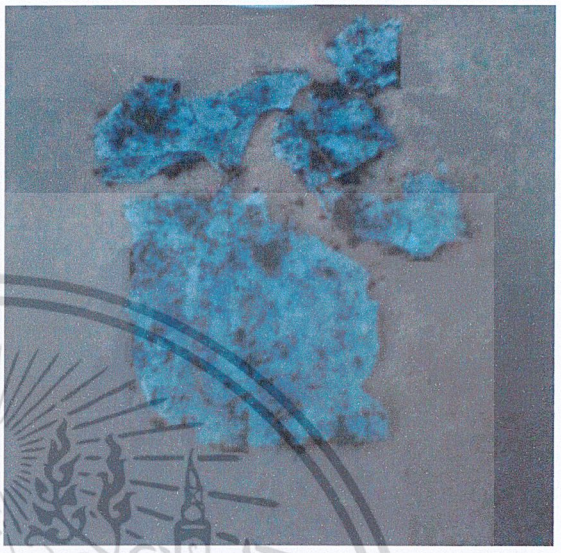
เมื่อผ่านไป 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ง) สูตร 40:2:0



ก่อนฝัง



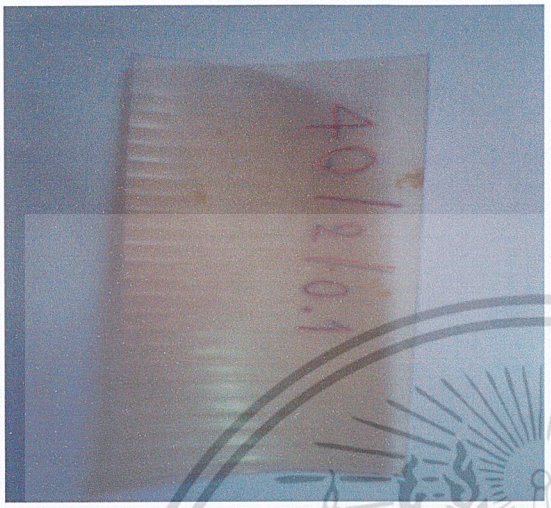
เมื่อผ่านไป 7 วัน

เมื่อผ่านไป 14 วัน

เมื่อผ่านไป 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

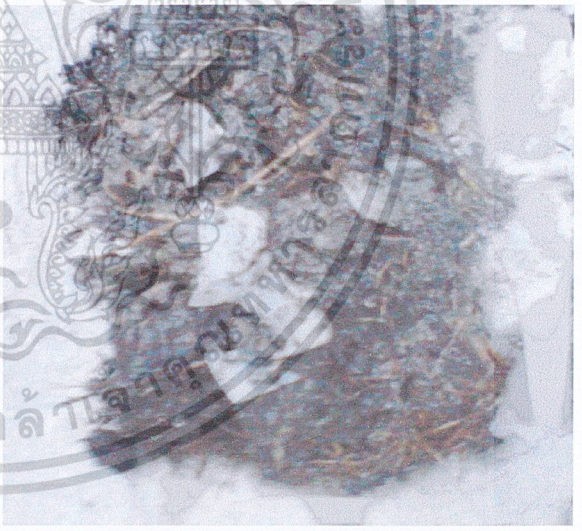
(จ)สูตร 40:2:0.1



ก่อนฝัง

เมื่อผ่านไป 7 วัน

เมื่อผ่านไป 14 วัน



เมื่อผ่านไป 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ฉ)สูตร 40:3:0

ก่อนฝัง เมื่อผ่านไป 7 วัน

เมื่อผ่านไป 14 วัน เมื่อผ่านไป 30 วัน

รูปที่ 4.11 แสดงการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง (ก) สูตร 10:2:0 (ข) สูตร 10:3:0 (ค) สูตร 10:3:0.1 (ง) สูตร 40:2:0 (จ)สูตร 40:2:0.1 (ฉ)สูตร 40:3:0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.4 ผลการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

สูตร(kGy-glycerol-ZnO)	ผลการย่อยสลาย
10-2-0	เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มเกิดการย่อยสลายโดยมีการขาดของชิ้นงานเป็นชิ้นส่วนใหญ่ๆแต่ยังมีลักษณะเป็นแผ่นอยู่และเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานจะมีการย่อยสลายต่อไปจนชิ้นงานไม่สามารถรวมเป็นชิ้นงานอันเดียวกันในเวลา 30 วัน
10-3-0	เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานยังคงรูปเป็นแผ่นสามารถหยิบจับได้โดยที่ชิ้นงานยังรวมเป็นชิ้นเดียวอยู่ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน ชิ้นงานเกิดการย่อยสลายจนไม่สามารถหยิบชิ้นงานได้
10-3-0.1	เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการย่อยสลายเล็กน้อยในบริเวณมุมของชิ้นงาน แต่ก็ยังคงความเป็นแผ่นอยู่และเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานเริ่มแตกเป็นชิ้นเล็กๆและเมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน ชิ้นงานเกิดการย่อยสลายจนไม่สามารถหยิบชิ้นงานได้
40-2-0	เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มขาดแตกเป็นชิ้นเล็กๆไม่สามารถหยิบจับได้และการย่อยสลายเกิดขึ้นต่อไปจนชิ้นงานไม่สามารถรวมเป็นชิ้นงานอันเดียวกันได้ในเวลา 14 วัน
40-2-0.1	เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเริ่มมีการย่อยสลายเป็นชิ้นเล็กๆแต่ยังพอสามารถหยิบจับได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานจะเกิดการย่อยสลายจะเกิดการย่อยสลายจนไม่สามารถหยิบจับได้
40-3-0	เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ชิ้นงานเกิดการย่อยสลายเป็นชิ้นส่วนใหญ่ๆยังพอสามารถหยิบจับได้แต่เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานจะเริ่มแตกมากขึ้นจนไม่สามารถรวมเป็นชิ้นงานอันเดียวกันได้

จากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่า แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ถูกออกซิไดส์โดยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณความเข้มของรังสี 40 kGy จะมีการย่อยสลายได้เร็วกว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ถูกออกซิไดส์โดยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณความเข้มของรังสี 10 kGy เนื่องจากการฉายรังสีที่มีปริมาณเข้มสูงจะทำให้เกิดการตัดสายโซ่โมเลกุลของแป้งทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่า

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1.จากการศึกษาผลของปริมาณรังสีแกมมาที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง โดยทำการฉายรังสีแป้งมันสำปะหลังที่ปริมาณรังสี 3,5,10,40,80,120 kGy และไม่ได้ฉายรังสี พบว่า ปริมาณรังสีในช่วง 10 และ 40 kGy สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังได้ โดยถ้าใช้ปริมาณรังสีต่ำกว่านี้ หรือสูงกว่านี้จะไม่สามารถขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังได้ เนื่องจากปริมาณรังสีจะส่งผลต่อการตัดสายโซ่โมเลกุลแป้ง คือ ปริมาณรังสีต่ำกว่า 10 kGy สายโซ่โมเลกุลแป้งจะยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความหนืดมาก เมื่อขึ้นรูปแผ่นฟิล์มทำให้แผ่นฟิล์มไม่แห้ง และที่ปริมาณรังสีสูงกว่า 40 kGy สายโซ่โมเลกุลแป้งสั้นมาก ทำให้น้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก เมื่อขึ้นรูปแผ่นฟิล์มทำให้แผ่นฟิล์มแห้งแตกเป็นแผ่นเล็กๆ

2.จากการศึกษาผลของปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.1,0.5 และ1.0 กรัมและไม่ได้ใส่ พบว่า ปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ 0 และ 0.1 กรัม สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังได้ แต่ที่ปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.5 กรัมขึ้นไป แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีการหดตัวและแตกเป็นชิ้นเล็กๆ เนื่องจากการใส่ปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์มากเกินไปจะเกิดการแยกวัฏภาคของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

3.จากการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ พบว่า แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง ในสูตรที่มีอัตราส่วนแป้งฉายรังสี ต่อปริมาณกลีเซอรอล ต่อปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ สูตร 10:2:0.1 มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากที่สุดและสูตร 10:3:0 มีการดูดซับน้ำต่ำที่สุด เนื่องมาจากปริมาณกลีเซอรอลและนาโนซิงค์ออกไซด์ที่แตกต่างกันส่งผลให้แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่างกัน

4.จากการศึกษาสมบัติด้านการคงตัวในกรดและด่าง พบว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังในทุกสูตรสามารถคงตัวในสารละลายกรด แต่เกิดการละลายในสารละลายด่าง ดังนั้นในการนำแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังไปทำบรรจุภัณฑ์ จึงควรนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกลางหรือกรดอ่อนๆ แต่ไม่ควรใช้กับอาหารที่มีฤทธิ์เป็นเบส

5.จากการศึกษาสมบัติการคงตัวในน้ำมันพืชและพอลิเอทิลีนไกลคอล เพื่อศึกษาว่ามีสารใดในแผ่นฟิล์มมันสำปะหลังละลายออกมา พบว่าไม่มีการละลายของสารใดๆออกมาสู่น้ำมันพืช แสดงว่าแผ่นฟิล์มสามารถคงตัวได้ในน้ำมันพืช (ไม่มีขั้ว) แต่ใน PEG พบว่ามีหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลละลายออกมา ซึ่งตรวจพบโดย FTIR ดังนั้นในการนำแผ่นฟิล์มไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ จึงควรใช้กับอาหารประเภทที่มีส่วนประกอบของน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้แป้งฉายรังสี 10 kGy และ 40 kGy พบว่าสูตรแป้งฉายรังสี 40 kGy มีความแข็งและสามารถรับแรงดึงได้มากกว่าสูตรแป้งฉายรังสี 10 kGy แต่สูตรแป้งฉายรังสี 10 kGy มีความยืดหยุ่นมากกว่า

7.จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้แป้งที่ฉายปริมาณรังสีเดียวกันแต่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกันคือ 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณกลีเซอรอล 2% ให้สมบัติเชิงกลสูงกว่าปริมาณกลีเซอรอล 3% แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลลดลง

8.จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังโดยใช้แป้งที่ฉายปริมาณรังสีและปริมาณกลีเซอรอลเดียวกัน แต่มีปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ต่างกันคือ 0 และ 0.1 กรัม พบว่าสูตรที่ไม่มีนาโนซิงค์ออกไซด์ สามารถรับแรงดึงได้มากกว่าแต่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าสูตรที่มีปริมาณนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.1 กรัม แต่ความแข็งของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังทั้งสองสูตรไม่ต่างกันมากนัก

9.จากการศึกษาการสลายตัวทางความร้อนของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง พบว่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการฉายรังสีแป้งมันสำปะหลัง ไม่ค่อยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลัง แต่แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังสูตรที่มีปริมาณกลีเซอรอลมาก จะมีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าสูตรที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่ำ เนื่องจากการใส่กลีเซอรอลปริมาณมาก กลีเซอรอลจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุลแป้งมาก อุณหภูมิในการสลายตัวจึงต่ำ

10.จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง สูตรที่ไม่มีนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีลักษณะเรียบ และสูตรที่มีนาโนซิงค์ออกไซด์ พื้นผิวจะมีจุดสีขาวของนาโนซิงค์ออกไซด์กระจายอยู่ เป็นผลมาจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ไม่ได้ละลายเป็นเนื้อเดียวกับแผ่นฟิล์ม แต่เป็นวัฏภาคกระจายอยู่ในแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

11.จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่า แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ฉายรังสีที่ปริมาณความเข้ม 40 kGy จะมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ฉายรังสีที่ปริมาณความเข้ม 10 kGy เนื่องจากเมื่อฉายรังสีที่ความเข้มสูงจะทำให้เกิดการตัดสายโซ่โมเลกุลของแป้งมากกว่าจึงทำให้แผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังย่อยสลายได้เร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. แป้งมันสำปะหลังที่ฉายรังสีแล้วต้องรีบนำมาขึ้นรูปแผ่นฟิล์มเนื่องจากแป้งที่ผ่านการฉายรังสีจะเกิดการดีเกรดตลอดเวลาทำให้แป้งเสื่อมสภาพได้และผลการทดลองจะเปลี่ยนแปลงไปหากทิ้งระยะเวลานานหลังจาการฉายรังสี

2. แป้งที่ผ่านการฉายรังสีจะควบคุมการเกินอนุมูลอิสระและกระบวนการตัดสายโซ่ได้ยากทำให้การขึ้นรูปแต่ละครั้ง ผลที่ได้ไม่เหมือนเดิม

3. ขั้นตอนการเจลาติไนเซชันต้องเป็นระบบปิด เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำเนื่องจากถ้ามีน้ำระเหยออกมาจะส่งผลให้แป้งเกิดการไหม้และไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้

4. ควรศึกษาปริมาณรังสีตั้งแต่ 10 kGy ขึ้นไปแต่ต่ำกว่า 40 kGy

5. ขั้นตอนการทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดิน ควรหาความชื้นในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] นายสุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล. **การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง**

[2] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยจอมขวัญ **เทคโนโลยีของแป้ง** สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 2546

[3] http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/65/nuclear1/unit.html

[4] http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/65/nuclear1/item2.html

[5] http://www.nppdo.go.th/node/131

[6] http://guru.sanook.com/encyclopedia **การใช้ประโยชน์พลังงานนิวเคลียร์ในด้านอุตสาหกรรม** สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 27

[7] กิตติชัช อุปการัตน์ , พลอย ยโสวันต์ และลัชณา แท้เที่ยงธรรม **การสังเคราะห์กาวจากกลีเซอรอลและกรดแอซิติกเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลปราศจากฟอร์มัลดีไฮด์** โครงงานพิเศษ (วทบ.(เคมีอุตสาหกรรม))-สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2551

[8] เดโชพล โพธิสาร , นิพัฒน์ จันทร์ศิริ และอภัสราภรณ์ เจียวก๊ก **การเตรียม ZnO จากกากของเสียกระบวนการหลอมเหลวสังกะสี** โครงงานพิเศษ (วทบ.(เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม))-สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2550

[9] G.Hu , J.Chen and J.Gao **Preparation and characteristics of oxidized potato starch films** Carbohydrate Polymers 76 (2009) 291–298

[10] Thawien Bourtoom **Effect of Some Process Parameters on the Properties of Edible Film Prepared from Starches Department of Material Product Technology**, Prince of Songkla University, Hat Yai,Songkhla, 90112. Email: thawean.b@psu.ac.th

[11] E.M. Teixeira , A.L. Da Roz , A.J.F. Carvalho and A.A.S. Curvelo **The effect of glycerol/sugar/water and sugar/water mixtures on the plasticization of thermoplastic cassava starch** Carbohydrate Polymers 69, Issue 4, (2007) 619-624

[12] Kunruedee Sangseethonga, Niti Termvejsayanona and Klanarong Srirothb **Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches** , Carbohydrate Polymers 82 (2010) 446–453

[13] M.Thunwall , V.Kuthanova , A.Boldizar and M.Rigdahl **a Film blowing of thermoplastic starch** Carbohydrate Polymers 71 (2008) 583–590

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] กุลฤดี แสงสีทอง **การศึกษาบทบาทของสภาวะในการผลิตต่อสมบัติของแป้งออกซิไดซ์ที่ผลิตจากสารออกซิไดซ์ต่างชนิดกัน** ศช.(หน่วยปฏิบัติการแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง) ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

[15] Y.H.Yun and S.D.Yoon **Effect of amylose contents of starches on physical properties and biodegradability of starch/PVA-blended films**. Polymer Bulletin 64 (2010) 553–568.

[16] รัตนา จินดาพรรณ และ วิไลลักษณ์ ไฝเพชร **อิทธิพลของพลาสติไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมันและความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว** ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 2548 - 2549

[17] I.J.Kanga, M.W.Byunb, H.S.Yookb, C.H.Baec , H.S.Leec, J.H.Kwond and C.K.Chunga **Production of modi®ed starches by gamma irradiation** Radiation Physics and Chemistry 54 (1999) 425±430

[18] X.Ma, P.R.Chang, J.Yang and J.Yu **Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide-starch bionanocomposites** Original Research Article Carbohydrate Polymers 75, Issue 3 (2009) 472-478

[19] P.Myllärinen, R.Partanen, J.Seppälä and P.Forssell **Effect of glycerol on behaviour of amylose and amylopectin films** Original Research Article Carbohydrate Polymers 50, Issue 4 (2002) 355-361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงการดูดซับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	น้ำหนักเฉลี่ยก่อนทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยหลังทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง(กรัม)	%การดูดซับน้ำ
10-2-0	0.3823	0.5807	0.1984	51.78
10-2-0.1	0.2261	0.4193	0.1932	85.45
10-3-0	0.3017	0.4561	0.1544	51.18
10-3-0.1	0.1556	0.2437	0.0881	56.62
40-2-0	0.1685	0.3081	0.1396	82.85
40-2-0.1	0.1194	0.2069	0.0875	73.28
40-3-0	0.1735	0.2688	0.0953	54.93
40-3-0.1	0.2305	0.3630	0.1325	57.48

ตารางแสดงการดูดซับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	น้ำหนักเฉลี่ยก่อนทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยหลังทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง(กรัม)	%การดูดซับน้ำ
10-2-0	0.3823	0.5896	0.2073	54.10
10-2-0.1	0.2261	0.4246	0.1985	87.79
10-3-0	0.3017	0.4626	0.1609	53.33
10-3-0.1	0.1556	0.2566	0.1010	64.91
40-2-0	0.1685	0.3089	0.1404	83.26
40-2-0.1	0.1194	-	-	-
40-3-0	0.1735	0.3012	0.1277	73.60
40-3-0.1	0.2305	0.3604	0.1299	56.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการดูดซับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	น้ำหนักเฉลี่ยก่อนทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยหลังทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง(กรัม)	%การดูดซับน้ำ
10-2-0	0.3823	0.6140	0.2317	60.48
10-2-0.1	0.2261	0.4325	0.2064	91.29
10-3-0	0.3017	0.4659	0.1642	54.42
10-3-0.1	0.1556	0.2585	0.1029	66.13
40-2-0	0.1685	0.2862	0.1177	71.04
40-2-0.1	0.1194	-	-	-
40-3-0	0.1735	0.2796	0.1061	61.15
40-3-0.1	0.2305	0.3625	0.1320	57.27

ตารางแสดงการดูดซับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	น้ำหนักเฉลี่ยก่อนทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยหลังทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง(กรัม)	%การดูดซับน้ำ
10-2-0	0.3823	0.6058	0.2235	58.34
10-2-0.1	0.2261	0.4391	0.2130	94.21
10-3-0	0.3017	0.4678	0.1661	55.05
10-3-0.1	0.1556	0.2468	0.0912	58.61
40-2-0	0.1685	0.2671	0.0986	58.52
40-2-0.1	0.1194	0.2717	0.1523	56.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการดูดซับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	น้ำหนักเฉลี่ยก่อนทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยหลังทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง(กรัม)	%การดูดซับน้ำ
10-2-0	0.3823	0.6160	0.2337	61.00
10-2-0.1	0.2261	0.4357	0.2096	92.70
10-3-0	0.3017	0.4709	0.1692	56.08
10-3-0.1	0.1556	0.2565	0.1009	64.85

ตารางแสดงการดูดซับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	น้ำหนักเฉลี่ยก่อนทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยหลังทดสอบ(กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง(กรัม)	%การดูดซับน้ำ
10-2-0	0.3823	0.6101	0.2278	59.46
10-2-0.1	0.2261	0.4325	0.2064	91.29
10-3-0	0.3017	0.4742	0.1725	57.18
10-3-0.1	0.1556	0.2589	0.1033	66.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซนต์การดึงยืด(%)
10-2-0	8.826	48.00
10-2-0.1	6.949	53.63
10-3-0	5.045	34.21
40-2-0	13.57	25.45

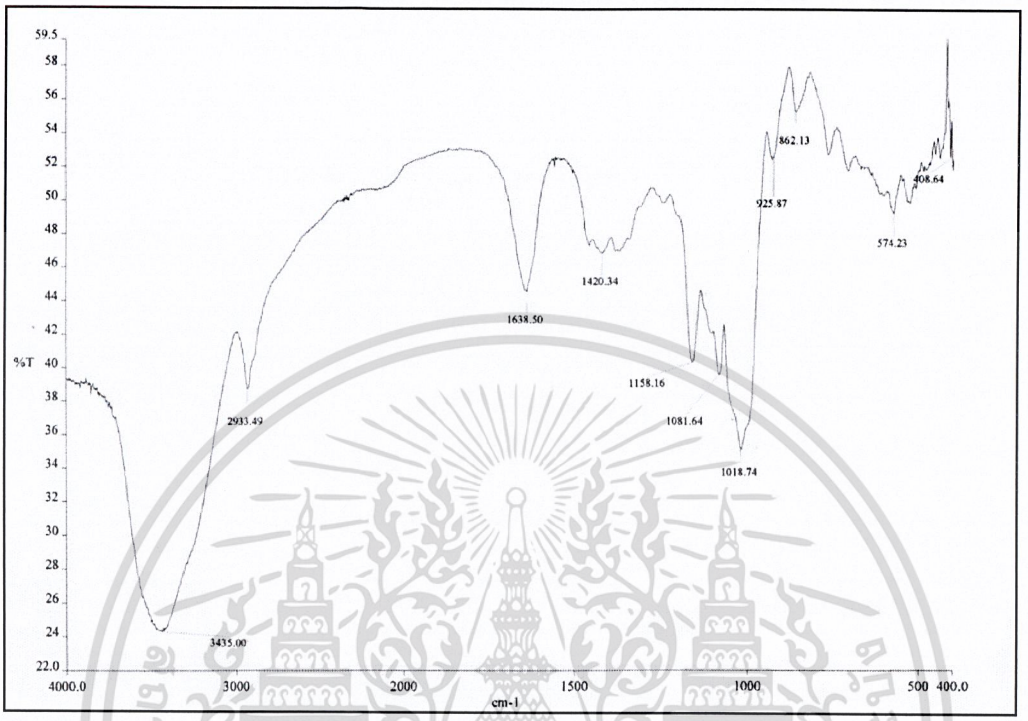
ตารางแสดงค่าความแข็งกด

สูตร (kGy-glyceral-ZnO)	Shore A	Shore D
10-2-0	87.2	28.6
10-2-0.1	82.8	29.2
10-3-0	86.6	24.0
40-2-0	85.8	36.8

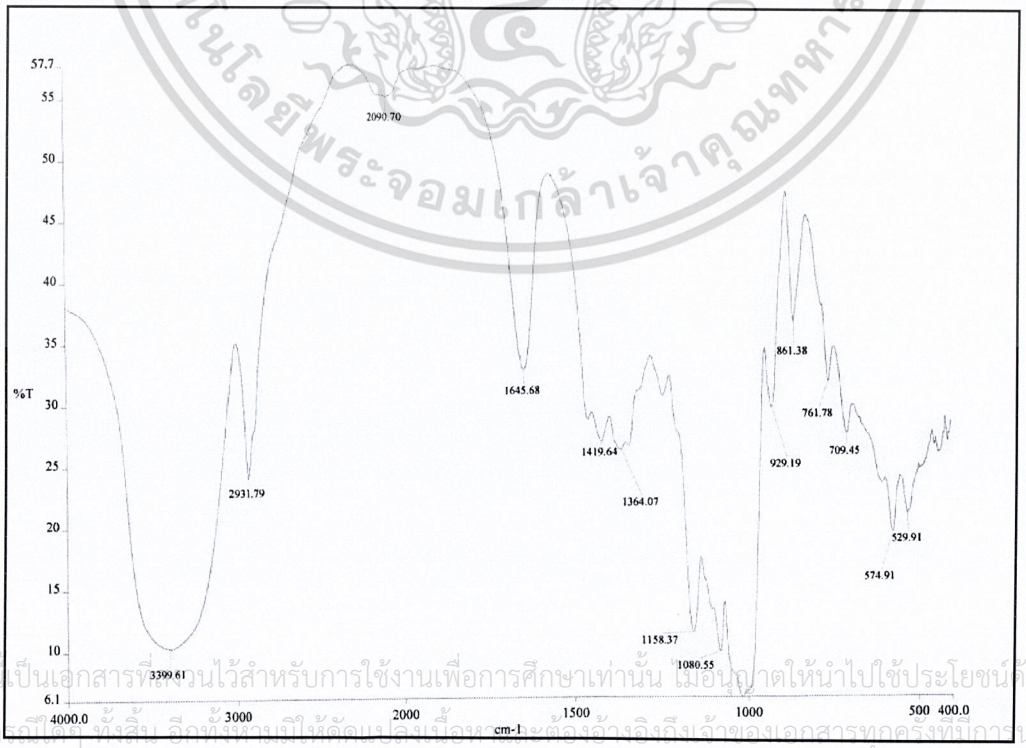
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

กราฟแสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังก่อนการฉายรังสี

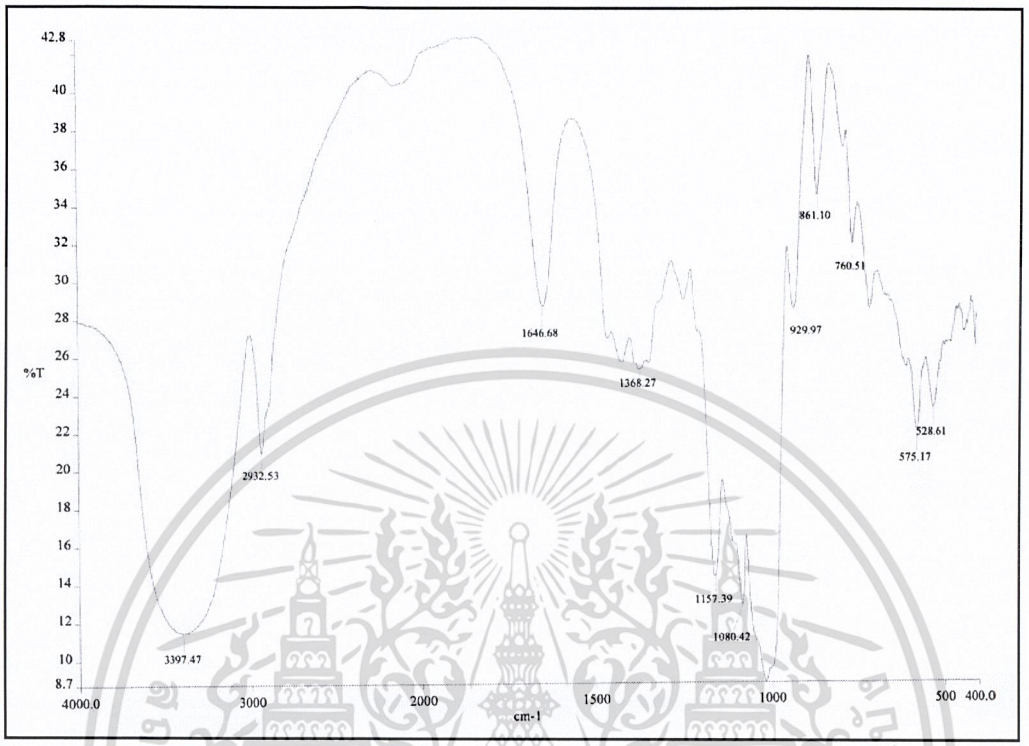


กราฟแสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี 3 kGy

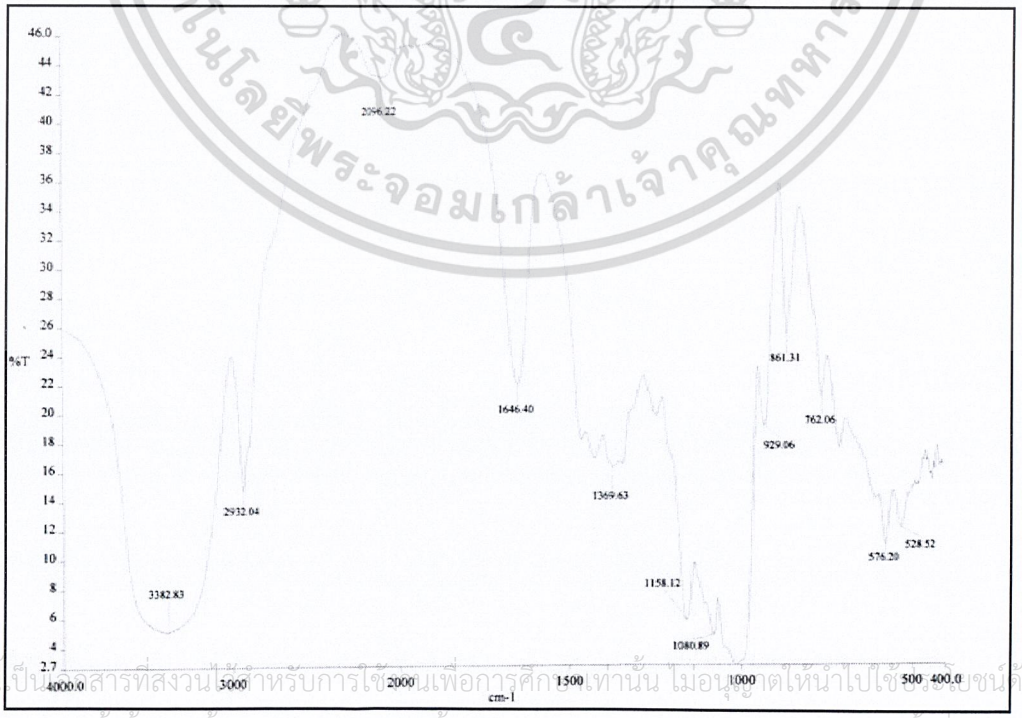


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี 5 kGy

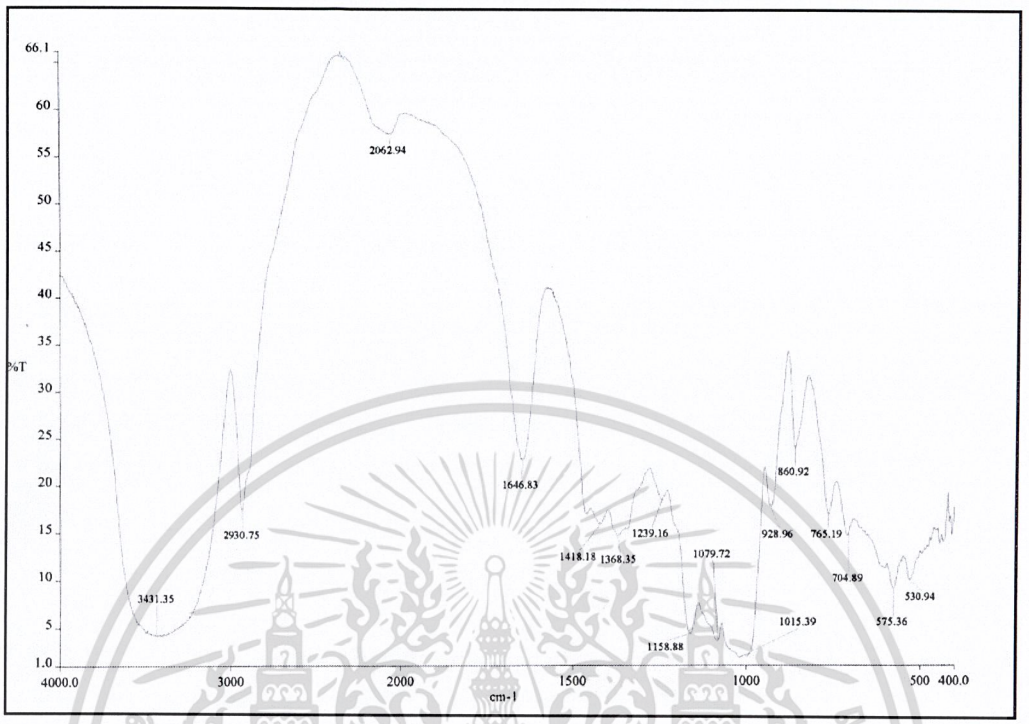


กราฟแสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี 10 kGy

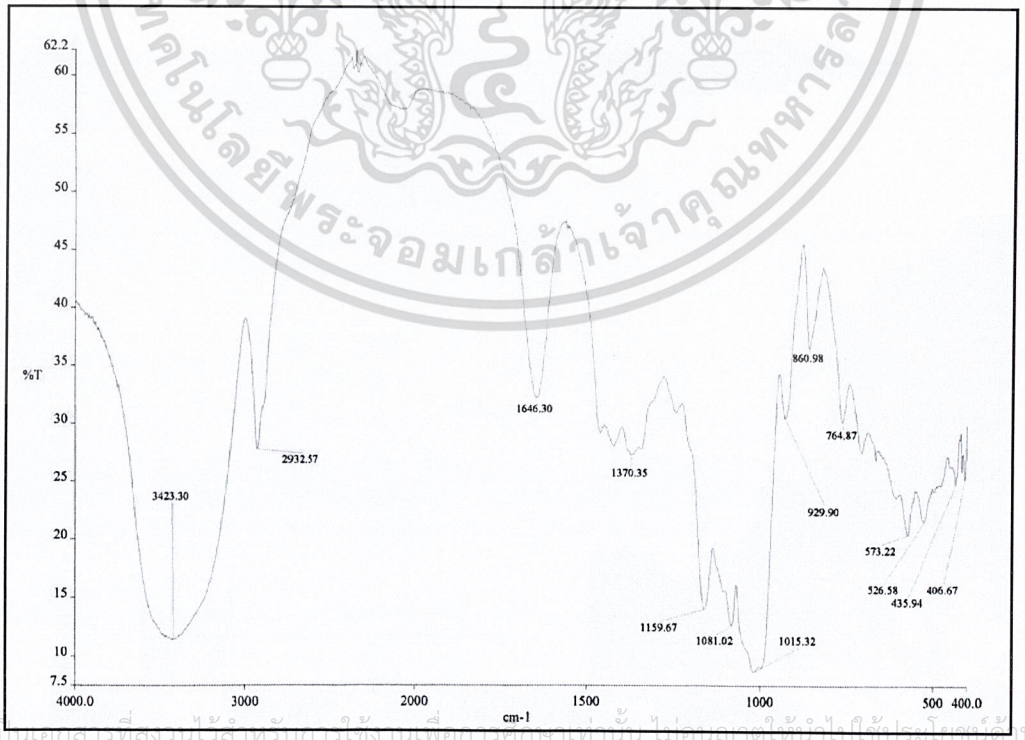


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี 40 kGy

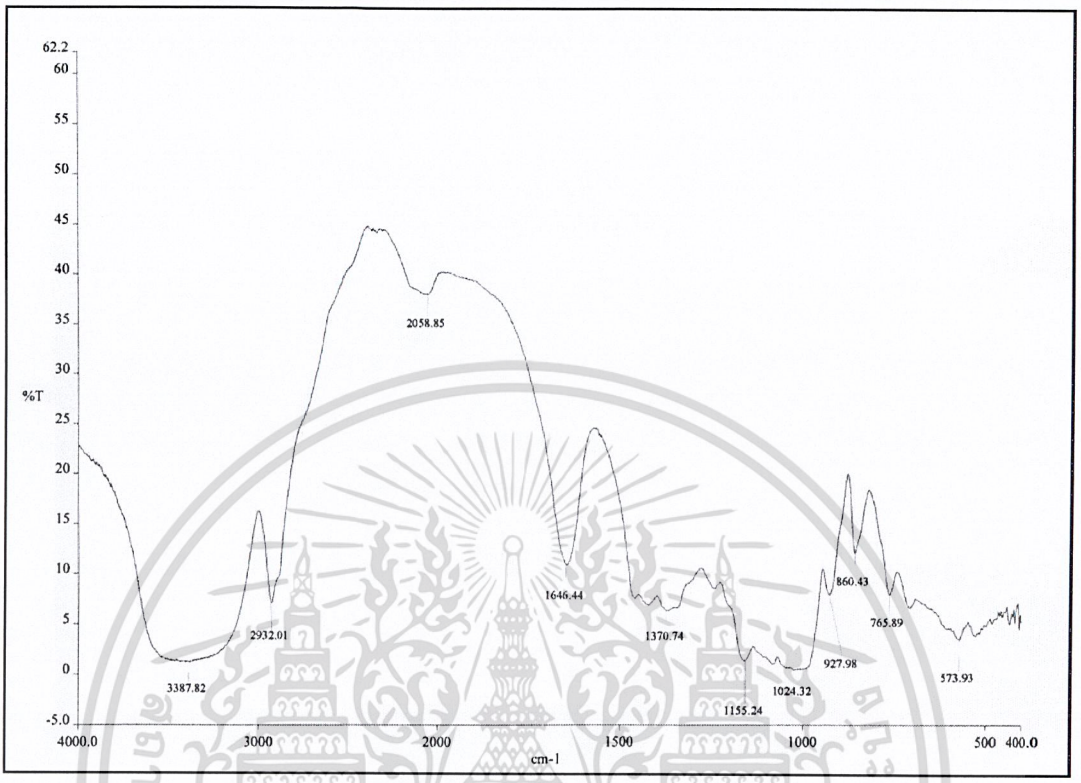


กราฟแสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี 80 kGy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

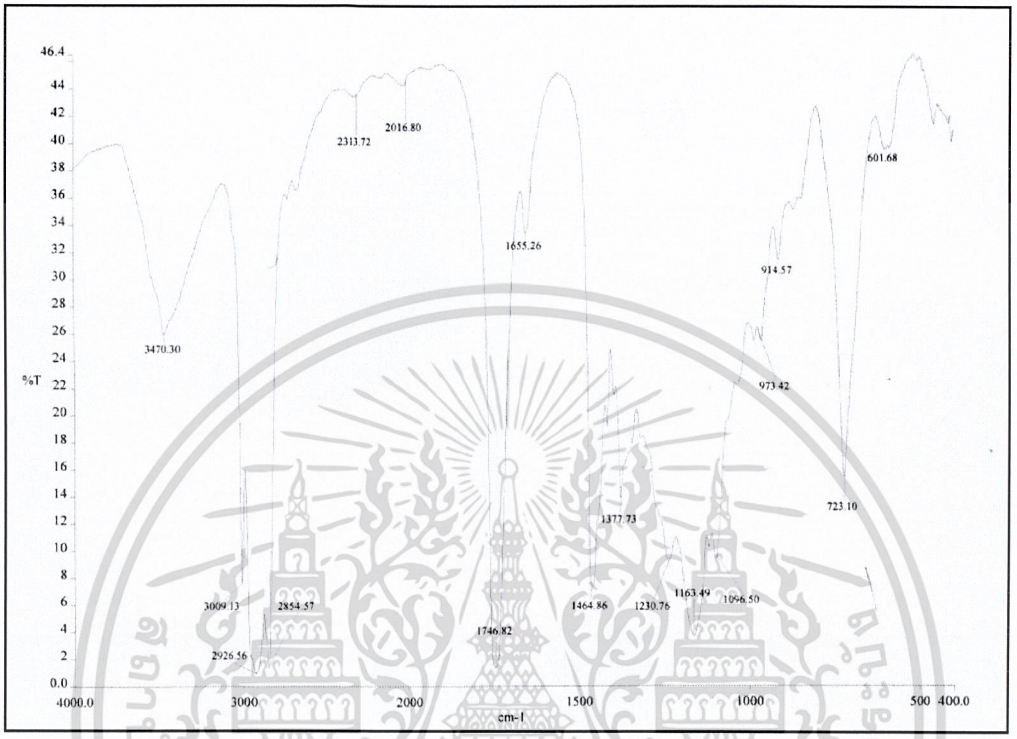
กราฟแสดงอินฟราเรดสเปกตราของแป้งมันสำปะหลังหลังจากการฉายรังสี 120 kGy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

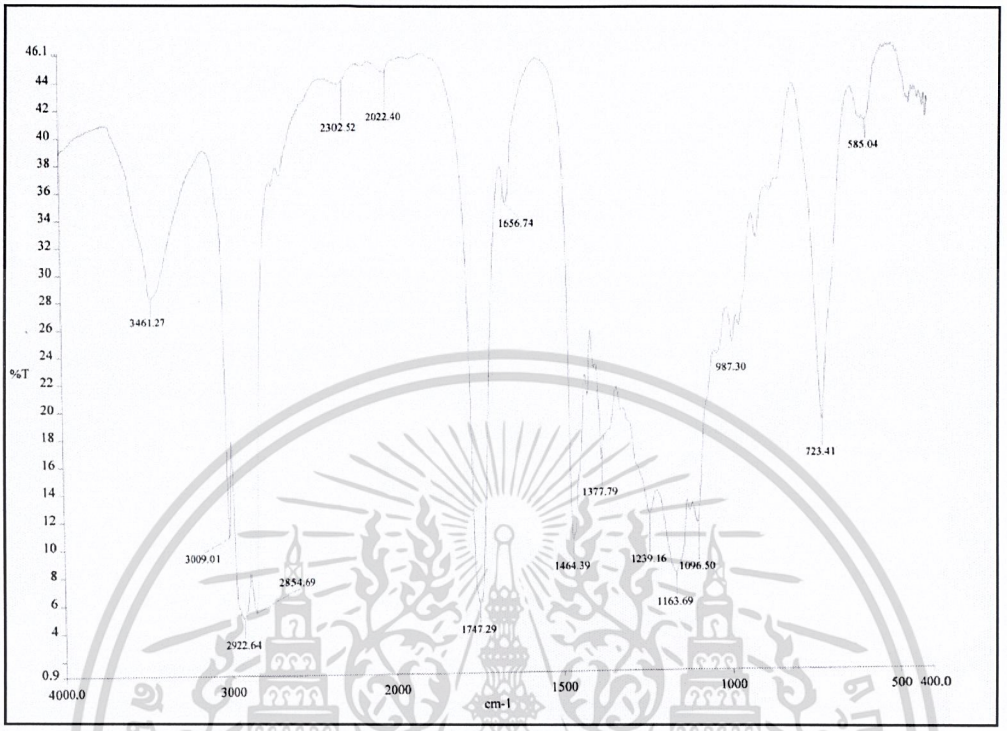
ภาคผนวก ง

กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของน้ำมันพืชบริสุทธิ์

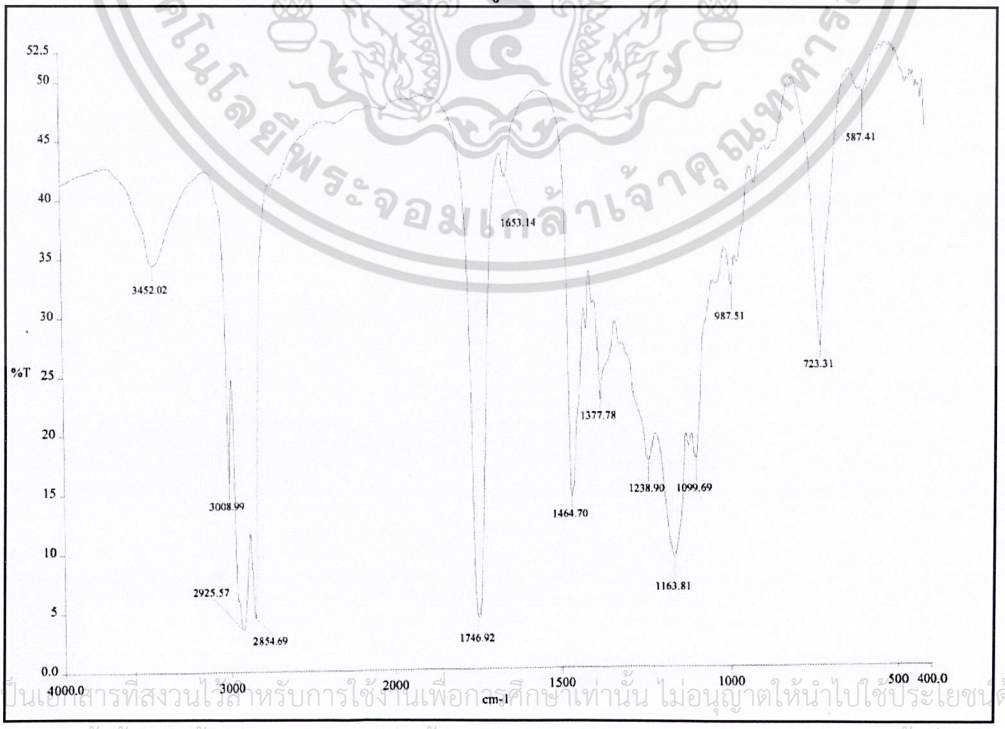


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของน้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมัน สำปะหลังสูตร 10-2-0

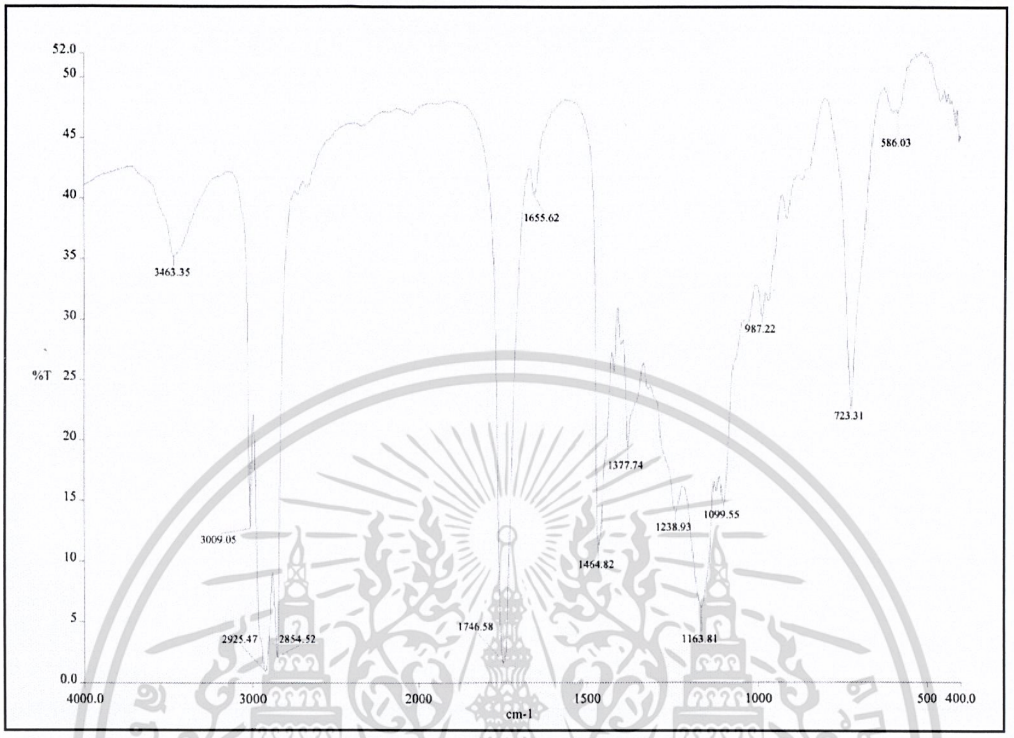


กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของน้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมัน สำปะหลังสูตร 10-2-0.1

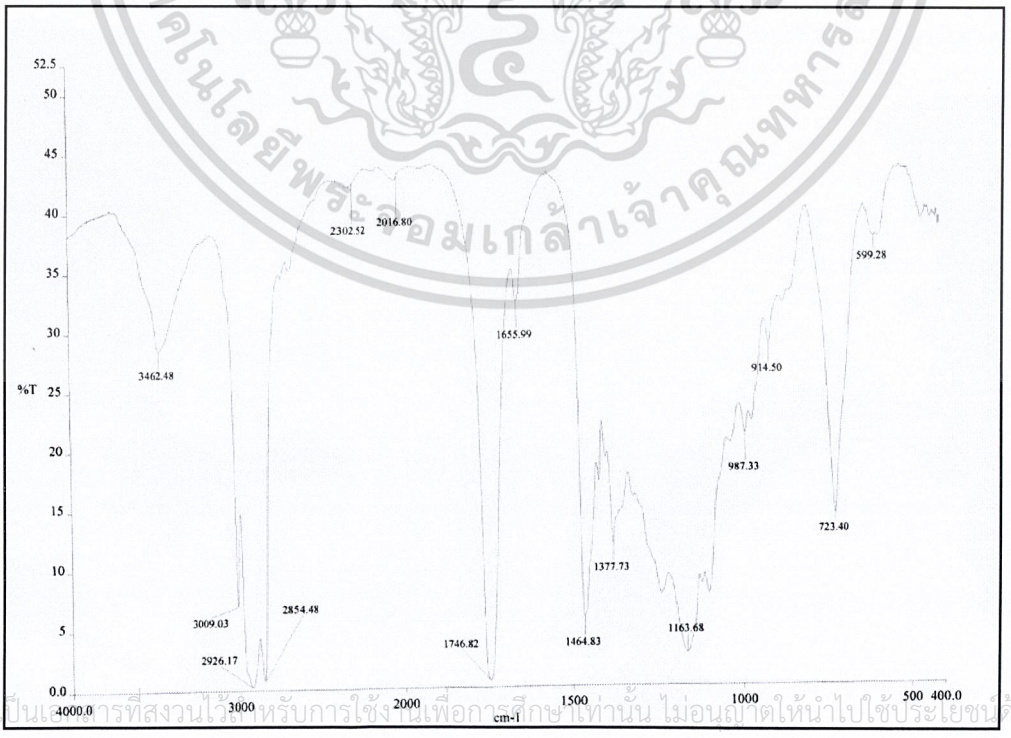


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของน้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมัน สำปะหลังสูตร 10-3-0



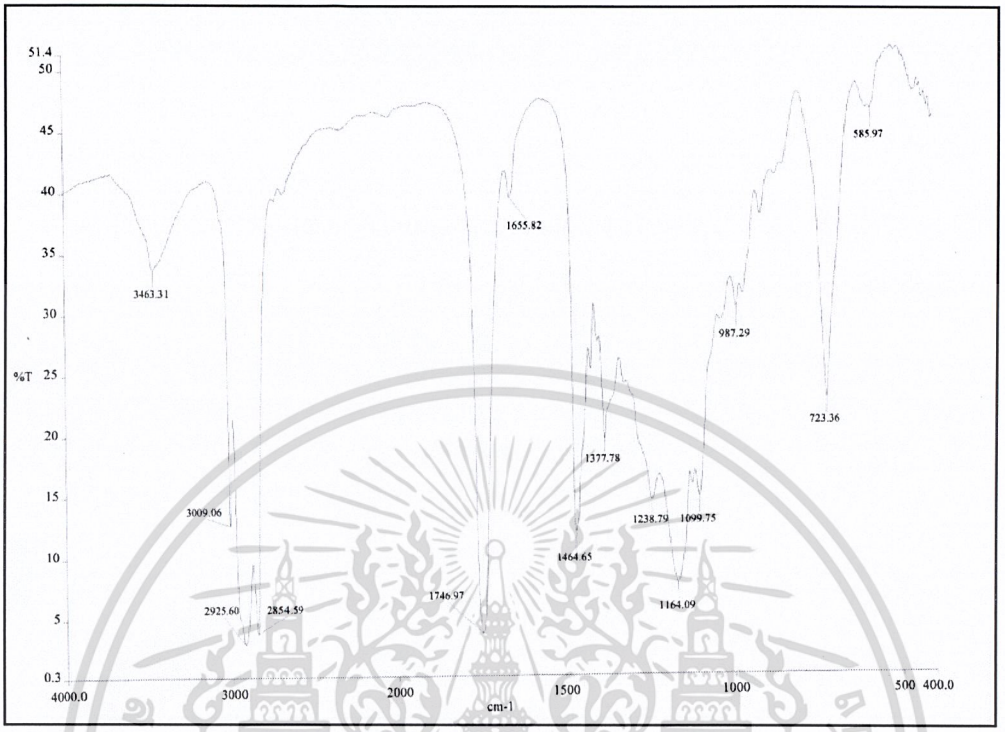
กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของน้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมัน สำปะหลังสูตร 40-2-0



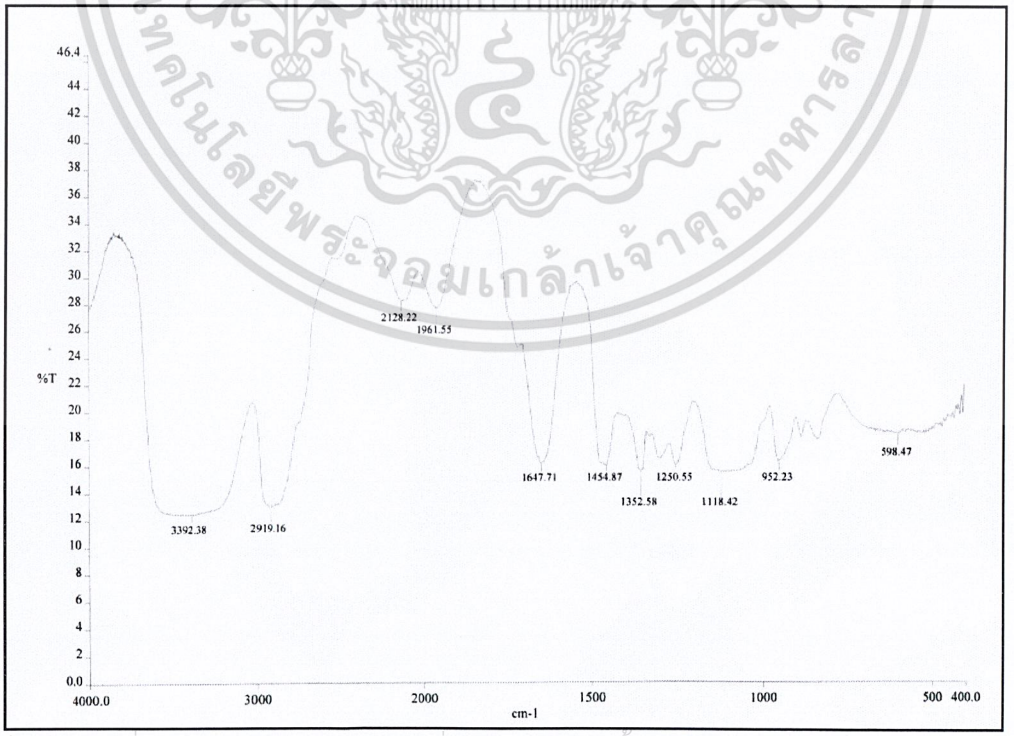
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของน้ำมันพืชที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมัน

สำปะหลังสูตร 40-2-0.1

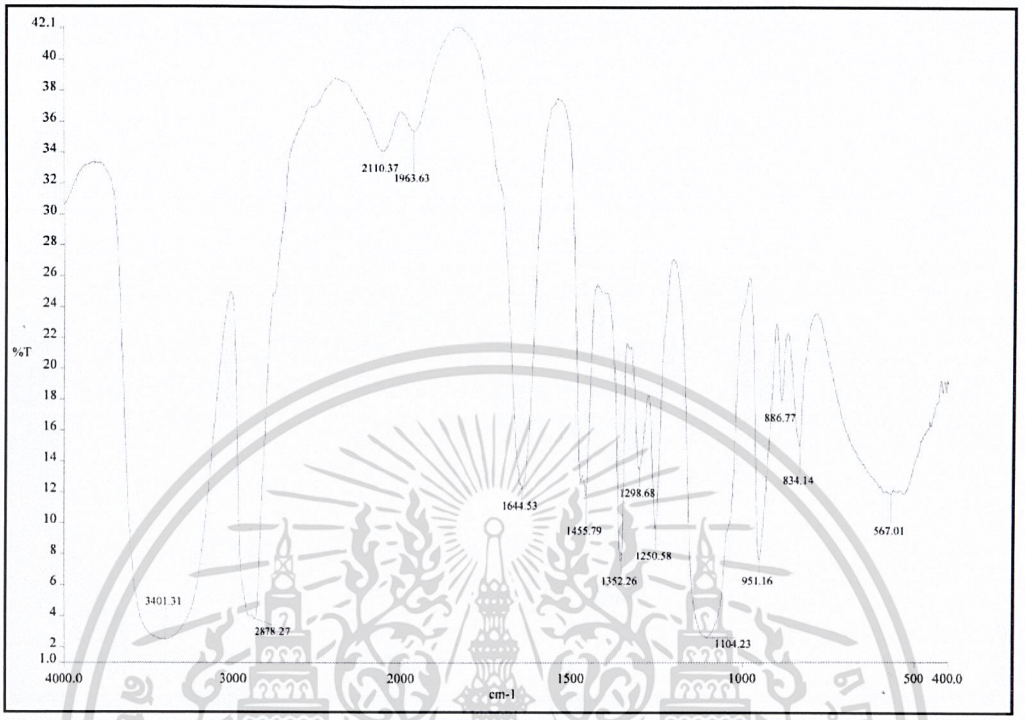


กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลบริสุทธิ์

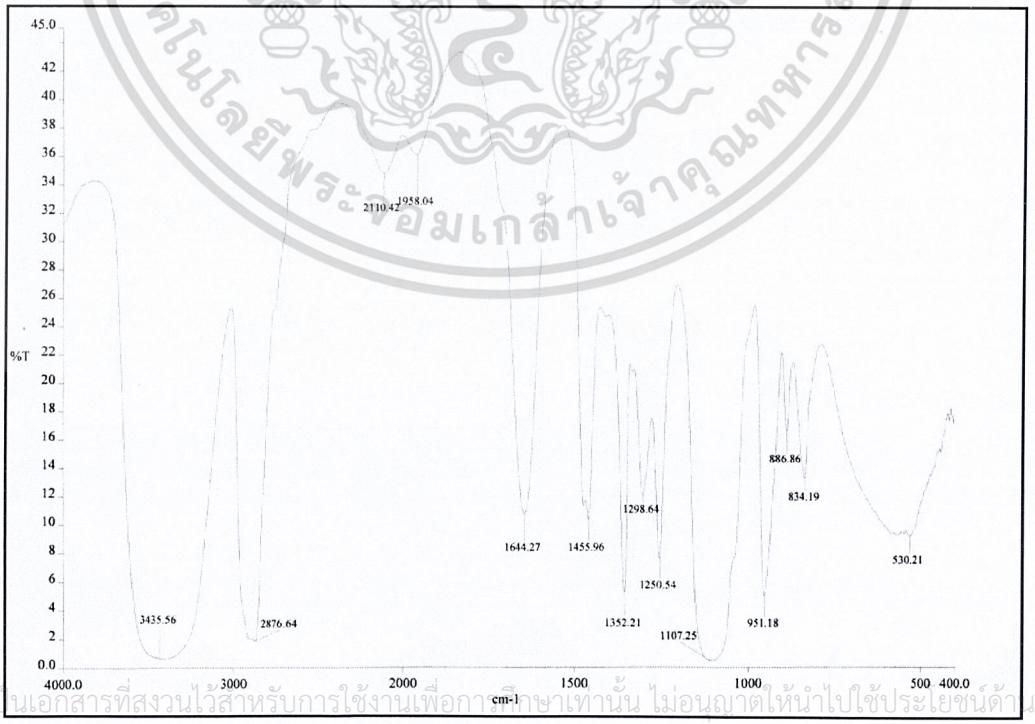


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังสูตร 10-2-0

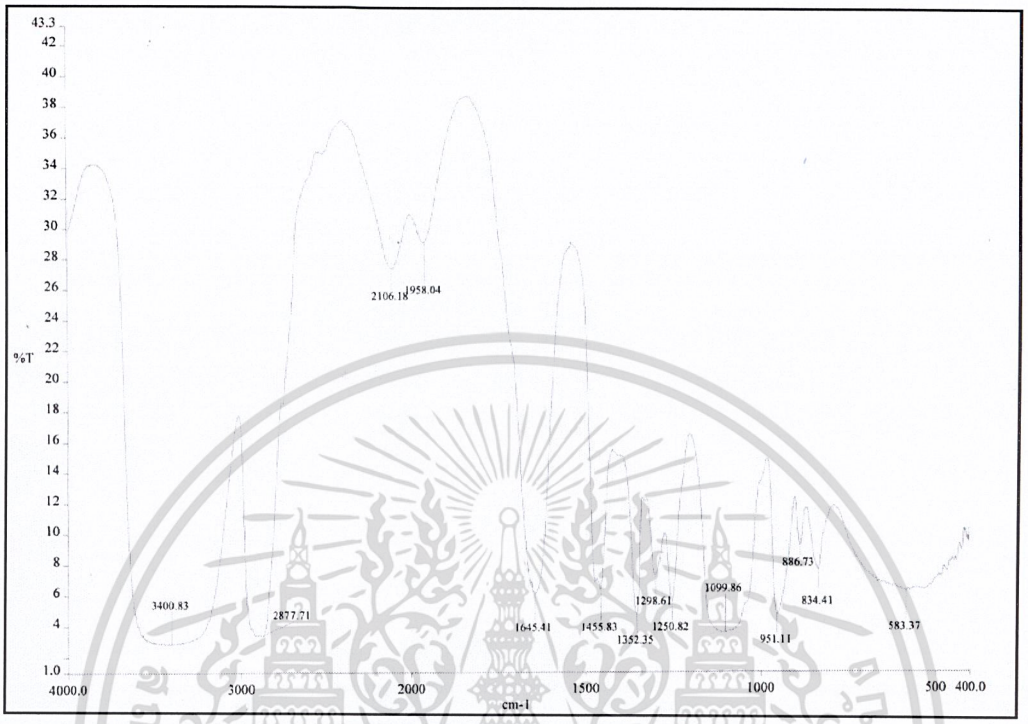


กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังสูตร 10-2-0.1

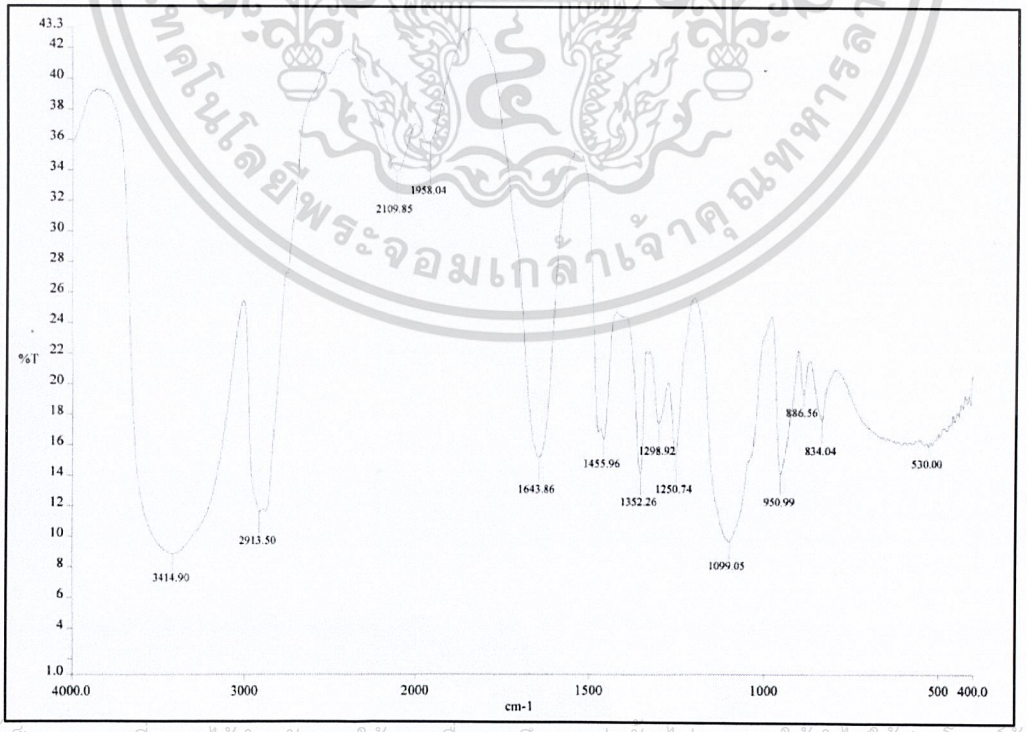


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์ม แป้งมันสำปะหลังสูตร 10-3-0

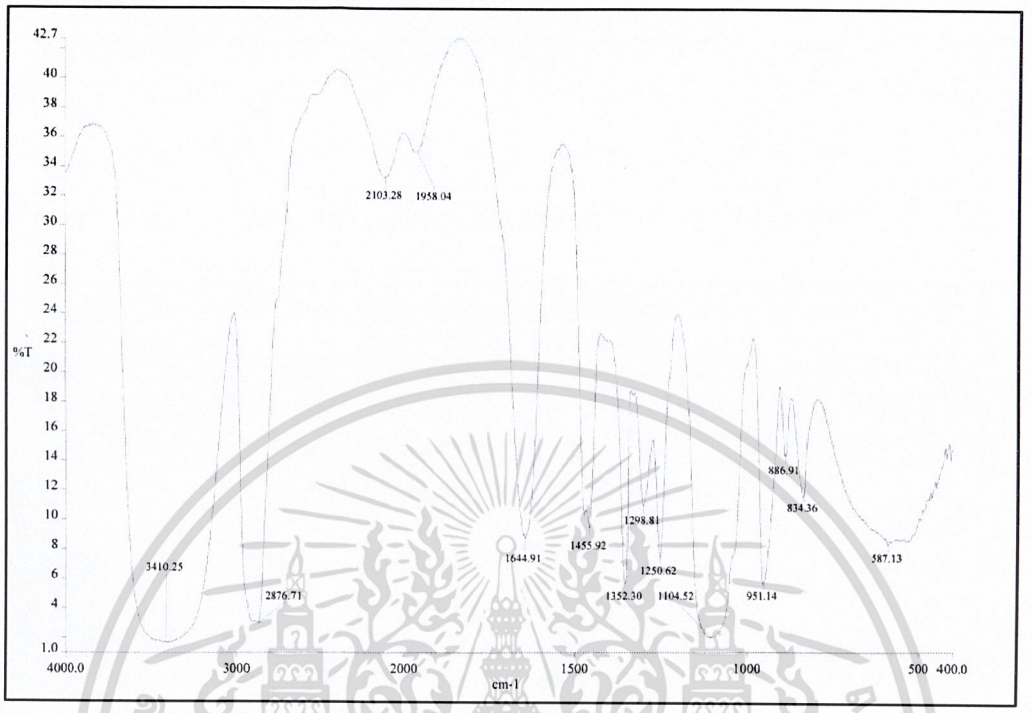


กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์ม แป้งมันสำปะหลังสูตร 40-2-0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงอินฟาเรดสเปกตราของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ผ่านการทดสอบการคงตัวของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังสูตร 40-2-0.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้