

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมวัสดุชุดชั้นน้ำยิ้งยวดจากแป้งมันสำปะหลังผสม

กับ CMC โดยวิธีฉายรังสี



T117354



นางสาวจิตาภา อ้นถาวร

นางสาวพิรุณรัตน์ พันธุ์ชาติรี

นายพุทธรัตน์ สืบวงศ์

เลขทะเบียน 117354
วันเดือนปี 20 ก.ค. 2554

b. 12340480
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Preparation of Superabsorbent Material from
Cassava Starch/CMC blend by Gamma Irradiation**

Miss JIDAPHA ONTHAWORN

Miss PIRUNRAT PHUNCHATEE

Mr. POOTHARAT SUEBWONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

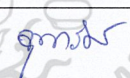
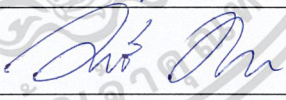
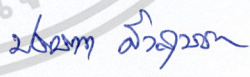
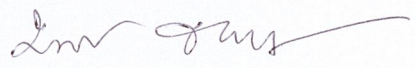
ACADEMIC YEAR 2010

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมวัสดุดูดซับน้ำยิ่งยวดจากแป้งมันสำปะหลัง
ผสมกับ CMC โดยวิธีฉายรังสี
PREPARATION OF SUPERABSORBENT MATERIAL
FROM CASSAVA STARCH/CMC BLEND BY GAMMA IRRADIATION

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิตภา อ้นถาวร
 นางสาวพิรุณรัตน์ พันธุ์ชาติรี
 นายพุทธรัตน์ สืบวงศ์

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปรารธนา คิ้วสุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับ
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	
ดร.มนตรี ทองคำ	
ดร.ปรารธนา คิ้วสุวรรณ	
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมวัสดุดูดซับน้ำยิ่งยวดจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับ CMC โดยวิธีฉายรังสี	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิตภา	อันถาวร
	นางสาวพิรุณรัตน์	พันธ์ชาติรี
	นายพุทธรรัตน์	สีบวงศ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2553	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ปรารธนา คิวสุวรรณ	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับน้ำยิ่งยวดจากแป้งมันสำปะหลังกับ CMC โดยใช้วิธีฉายรังสีความเข้มรังสีสูง โดยเตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลังต่อ CMC 30:0, 25:5, 20:10 และ 0:30 โดยนำน้ำหนักนำไปฉายรังสีแกมมาที่ความเข้มรังสี 0, 5, 10, 20 kGy ขึ้นรูปฟิล์มโดยการเทพิมพ์(casting) แล้วอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแผ่นฟิล์มที่ได้นำมาหาค่าการดูดน้ำ(Water absorption) พบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังต่อ CMC 20:10 ที่ 20 kGy มีค่าดูดน้ำสูงสุดคือ 1646.67% ในเวลา 4 ชั่วโมงวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค TGA(Thermogravimetric Analysis) พบว่าฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังไม่ผ่านการฉายรังสีมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 291°C และ 470°C เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ 5 kGy และ 20 kGy มีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นสูงเป็น 301°C และ 307°C ตามลำดับแสดงว่าแป้งเกิดพันธะเชื่อมโยงส่วนฟิล์ม CMC ที่ไม่ผ่านการฉายรังสีพบอุณหภูมิการสลายตัวที่ 268°C เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ 5 kGy และ 20 kGy พบอุณหภูมิการสลายตัวที่ 253°C และ 231°C ตามลำดับแสดงว่า CMC เกิดการสลายตัวฟิล์มของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง:CMC ที่ 20:10 ไม่ผ่านการฉายรังสีพบอุณหภูมิการสลายตัวสองขั้นตอนคือ 247°C และ 440°C และเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ 5 kGy และ 20 kGy พบค่าอุณหภูมิการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียวคือ 261°C และ 256°C ตามลำดับแสดงว่ารังสีช่วยให้แป้งและ CMC รวมเป็นวัสดุภาคเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preparation of Superabsorbent Material from Cassava Stacth/CMC blend by Gamma Irradiation
Students	Miss Jidapha Onthaworn Miss Pirunrat Phunchate Mr. Pootharat Suebwong
Degree	Bachelor of Science
Major	Industrial Chemistry
Advisor	Associate Professor Dr. Malinee Chaisupakitsilp
Co-Advisor	Dr. Pradtana Cewsuwan

ABSTRACT

This special project study on the preparation of superabsorbent material from starch and CMC using a high radiation doses. By varying the S:CMC weight ratio of 30:0, 25:5, 20:10, 0:30 and vary radiation doses from 0-20 kGy, sixteen different formular were synthesized. Films formation were carried out by casting technique and then dried at 60°C in the oven for 6 hr. The films were characterized by Fourier transform IR spectroscopy and Thermogravimetric analysis in order to reveal their functional groups and decomposition temperature. Water absorption and gel fraction was also investigated. It was found that film of S:CMC weight ratio of 20:10 shows the highest water absorption at 1646% within 4 hr. TGA revealed that unirradiated cassava starch have decomposition temperature at 291°C and 450 °C, after irradiation at 5 kGy and 20 kGy, the decomposition temperature were changed to 301°C and 307°C, respectively which corresponding to crosslinking bond. Unirradiation CMC shows decomposition at 268°C but shows 253 °C and 231 °C after irradiation at 5 kGy and 20 kGy, indicating bond breaking. The mixing film of S:CMC weight ratio 20:10 showed 2 step of decomposition temperatures 247 °C and 440 °C. However, irradiation film at 5 kGy and 20 kGy showed the decomposition temperature only one step at 261 °C and 256 °C respectively supporting the combination of starch and CMC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดี สืบเนื่องมาจากความร่วมมือ และความกรุณาของทุกๆ ท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. มาลินี ชัยสุขภักจสินธุ์ และดร.ปรารธนา กวีสุวรรณที่มีความอนุเคราะห์ เมตตา ติดตาม ตรวจสอบ ดูแลเอาใจใส่ และให้คำปรึกษาจนผลงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณะกรรมการสอบ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการภาควิชาเคมีทุกๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านอย่างเต็มที่ และสำนักงานเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติที่อนุเคราะห์ในการนำตัวอย่างชิ้นงานไปฉายรังสีซึ่งเป็นการสนับสนุนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วง

ทั้งเพื่อนๆ ภาควิชาเคมีทุกๆ คน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการต่อสู้ฝ่าฟันอุปสรรค นานัปการจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงในที่สุด

ทางผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกๆ ท่านและถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ให้ความกรุณา ให้กำลังใจให้คำปรึกษา กับโครงการพิเศษมาโดยตลอด

จิตภา

อันถาวร

พิรุณรัตน์

พันธ์ชาติรี

พุทธรัตน์

สีบวงส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง	3
2.2 CMC (Carboxymethyl cellulose)	14
2.3 ไฮโดรเจล (Hydrogel)	15
2.4 การฉายรังสี	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	31
3.1 สารเคมี	31
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	35
4.1 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน	36
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน	41
4.3 ผลการศึกษาสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลาย (Gel fraction)	44

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการศึกษาสมบัติการดูดน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล	48
บทที่ 5 สรุปลผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปลผลการทดลอง	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	57
ภาคผนวก ค	60
ภาคผนวก ง	64
ภาคผนวก จ	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	แสดงองค์ประกอบต่างๆในหัวมันสำปะหลัง	8
2.2	แสดงองค์ประกอบต่างๆในเนื้อมันสำปะหลัง	9
2.3	ตารางแสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆที่ใช้ทำไฮโดรเจลได้	16
2.4	แสดงผลที่เกิดขึ้นเมื่อใช้รังสี และสารเคมีช่วยให้เกิดพันธะเชื่อมโยง	22
2.5	คุณสมบัติของรังสี	25
3.1	แสดงการใช้สารเคมีในการเตรียมสารละลายต่างๆ	32
4.1	สูตรการเตรียมไฮโดรเจล	35
4.2	แสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของ IR spectrum	40
4.3	แสดงผลอุณหภูมิและน้ำหนักของตัวอย่างที่วิเคราะห์สมบัติทางความร้อน	42
5.1	สมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจล	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างของอะไมโลส	4
2.2	แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน	5
2.3	แสดงหัวมันสำปะหลัง	8
2.4	โครงสร้างของกลูโคส (Glucose)	11
2.5	โครงสร้างของ L-lysine	12
2.6	โครงสร้างของCMC (Carboxymethylcellulose)	15
2.7	แสดงลักษณะโครงสร้างของไฮโดรเจล	16
4.1	IR spectrum ของแป้งมันสำปะหลัง	36
4.2	IR spectrum ของ Carboxymethylcellulose (CMC)	36
4.3	IR spectrum เปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของแป้งไม่ฉายรังสี (S1) ฉายรังสี 5 kGy (S5)และฉายรังสี 20 kGy(S13)	37
4.4	IR spectrum เปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของ CMC ไม่ฉายรังสี (S4) ฉายรังสี 5 kGy (S8)และฉายรังสี 20 kGy(S16)	37
4.5	IR spectrum เปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของแป้ง: CMC (20:10) ฉายรังสี 5 kGy(S7)ฉายรังสี 10 kGy (S11) และฉายรังสี 20 kGy(S15)	38
4.6	IR spectrum เปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของแป้งฉายรังสี (S5) แป้ง:CMC (20:10) (S7) และ CMC (S8) ที่ฉายรังสี 5 kGy	38
4.7	TGA curves ของฟิล์มของแป้งไม่ฉายรังสี (S1) ฉายรังสี 5 kGy (S5) และฉายรังสี 20 kGy(S13)	41
4.8	TGA curves ของฟิล์มของ CMC ไม่ฉายรังสี (S4) ฉายรังสี 5 kGy (S8) และฉายรังสี 20 kGy(S16)	41
4.9	TGA curves ของฟิล์มผสมของแป้ง: CMC 20:10 ไม่ฉายรังสี (S3) ฉายรังสี 5 kGy(S7)และฉายรังสี20 kGy(S15)	42
4.10	แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้นรังสี 0 kGy	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้นรังสี 5 kGy	45
4.12	แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้นรังสี 10 kGy	46
4.13	แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้นรังสี 20 kGy	47
4.14	แสดงการดูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGy	48
4.16	แสดงการดูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 5 kGy	48
4.17	แสดงการดูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 10 kGy	49
4.18	แสดงการดูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 20 kGy	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้มีการวิจัยและพัฒนาวัสดุต่างๆ ขึ้นมาอย่างมากมาย วัสดุพอลิเมอร์ก็เช่นเดียวกัน ถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ด้วยสมบัติของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบาสามารถขึ้นรูปได้หลากหลายตามความต้องการ และใช้กันในงานต่างๆ อย่างแพร่หลาย แต่ด้วยเหตุที่พอลิเมอร์มีอายุการใช้งานสั้น และระยะเวลาในการย่อยสลายช้ามาก วัสดุพอลิเมอร์จากธรรมชาติจึงถูกพัฒนาเพื่อตอบโจทย์ปัญหาสังคม ขยะพลาสติกสิ้นโลกและเกิดมลภาวะ ด้วยความสามารถที่ย่อยสลายได้ในระยะสั้นลง และใช้วัสดุที่มีอยู่มากในธรรมชาติเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่นนั้นๆ

แป้งมันสำปะหลัง (Cassava Starch) สามารถเตรียมได้จากมันสำปะหลังที่เป็นพืชเศรษฐกิจ ที่ปลูกมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศ ด้วยราคาแป้งมันสำปะหลังที่ตกต่ำทุกปี ทางรัฐบาลได้ส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเพื่อประโยชน์อย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มมูลค่า รวมทั้งใช้ในการศึกษาและพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ธรรมชาติ ด้วยสมบัติที่แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำนวนมากจึงนำมาศึกษาร่วมกับ CMC (Carboxymethyl cellulose) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์กึ่งสังเคราะห์ คัดแปลงจากเซลลูโลสถูกใช้อย่างแพร่หลายในการนำมาเป็นวัสดุดูดซับน้ำ ปัจจุบันเนื่องจากมีสมบัติการบวมน้ำได้ดีกว่าเซลลูโลส จึงนำมาใช้ในการเตรียม Hydrogel หรือ Superabsorbent hydrogel ในปัจจุบัน

วัสดุดูดซับน้ำยิ่งยวด (Superabsorbent) เป็นพอลิเมอร์ดูดซับน้ำที่มีโครงตาข่ายสามมิติ (Network) ซึ่งมีสมบัติในการดูดซับน้ำมากกว่าน้ำหนักตัวเท่าทวีคูณ อีกทั้งสามารถดูดซับไอออนโดยสมบัติเชิงกลและรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลงจึงเหมาะนำมาปรับปรุงสมบัติเพื่อใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ โดยเติมสารที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อโรคทำเป็นพลาสติกปิดแผลเพื่อให้แผลแห้งและคืนสภาพเร็วขึ้น

การฉายรังสีพลังงานสูงเป็นเทคนิคที่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking) ระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ของพอลิเมอร์ เพราะเป็นเทคนิคที่รวดเร็ว และสะอาด เนื่องจากไม่ต้องใช้สารก่อพันธะไมวากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมโยง (Crosslinking agent) หรือสารเคมีใดๆ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ไม่มีปัญหาในการกำจัดสารเคมีที่ตกค้างอยู่ ดังนั้นการใช้เทคนิคการฉายรังสีจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการสังเคราะห์วัสดุดูดซับน้ำที่ยังยวดยางจากแป้งมันสำปะหลังและ CMC สามารถดูดซับน้ำได้โดยไม่ละลายน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมไฮโดรเจลดูดซับที่ยังยวดยางจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับ CMC ในรูปของฟิล์มด้วยการฉายรังสีพลังงานสูง (รังสีแกมมา)

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อ CMC ที่ใช้เตรียมไฮโดรเจลดูดซับที่ยังยวดยางโดยเทคนิคการฉายรังสีพลังงานสูง
2. ศึกษาปริมาณความเข้มข้นรังสีที่มีผลต่อการเตรียมไฮโดรเจลดูดซับที่ยังยวดยางจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับ CMC
3. ศึกษาปริมาณ CMC ที่มีผลต่อสมบัติการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลดูดซับที่ยังยวดยางที่เตรียมได้
4. ศึกษาสมบัติความร้อนและหมู่ฟังก์ชันของไฮโดรเจลดูดซับที่ยังยวดยางที่เตรียมได้

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุจากธรรมชาติ คือมันสำปะหลังลดการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์คือ CMC
2. ทราบผลของ CMC ที่มีต่อสมบัติของไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลัง
3. ทราบปริมาณรังสีแกมมาที่สามารถใช้ผลิตไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับ CMC
4. เป็นการนำรังสีแกมมามาใช้อย่างคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง[1]

แป้ง (Starch) มีอยู่ในพืชทุกชนิดเป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloids) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็นสามารถพบอยู่ในพืชทุกชนิด โดยพืชจะสะสมแป้งไว้ในเซลล์ เช่น ในเมล็ด เนื้อไม้ และ รากพืช เป็นต้น

รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาผลิตแป้งข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยม หรืออาจสามารถพบในลักษณะที่เป็นรูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-25 ไมโครเมตร แป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างทรงกลมทึบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-35 ไมโครเมตร

การผลิตแป้งมันสำปะหลัง ใช้วิธีการผลิตอย่างต่อเนื่อง คือ หัวมันสำปะหลังจะถูกลำเลียงส่งเข้าเครื่องจักรในแต่ละชุดติดต่อกันไปเรื่อยๆ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการทำความสะอาดหัวมัน การสับและการม่หัวมัน การแยกโปรตีนและพวกน้ำยางหรือเมือก การแยกกากมัน การแยกโปรตีน ขึ้นหลังการสกัดน้ำให้แห้ง และขั้นตอนสุดท้ายคือการเป่าให้แห้ง แล้วทำให้เย็นจากนั้นค่อยบรรจุถุง

สมบัติของแป้งสามารถแยกได้ 2 ชนิด คือ

1. Starch ผลิตได้จากพืชทางเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลีและจากพืชชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องใช้แบบเปียก (wet grinding) ซึ่งจะทำให้แยก starch ออกมาได้
2. Flour ผลิตได้จากการ โม่แบบแห้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนอยู่ด้วยจึงทำให้มีสมบัติต่างไปจาก starch

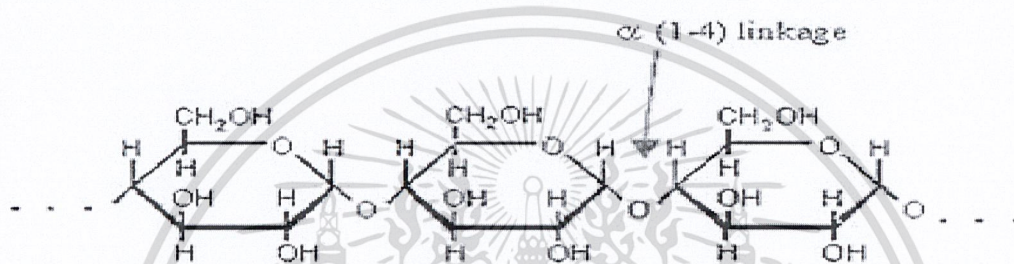
2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง [1]

แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต หน่วยกลูโคสสามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดร-กลูโคส (AGU) หรือหน่วยกลูโคไพราโนซิล (glucopyranosyl unit) ซึ่งเกิดจากพันธะโคเวเลนต์เชื่อมโยระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่งกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลูโคสตัวถัดไปซึ่งพันธะเชื่อมโยระหว่างหน่วยกลูโคส เรียกว่า พันธะกลูโคไซด์ (glycoside bond) และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไป ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์แบบควบแน่นขึ้น

ภายในเมล็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์สองชนิดคือ อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เป็น โฮโมพอลิเมอร์คือมีกลูโคสเป็น โมโนเมอร์เหมือนกัน

อะไมโลส (Amylose) กลูโคสจะเรียงต่อกันเป็นเส้นตรง (Linear polymer) ด้วยพันธะแอลฟา-1,4 จำนวนประมาณ 200-2000 หน่วย โดยแบ่งส่วนใหญ่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ 25 เปอร์เซ็นต์มีสูตรโครงสร้างดังนี้



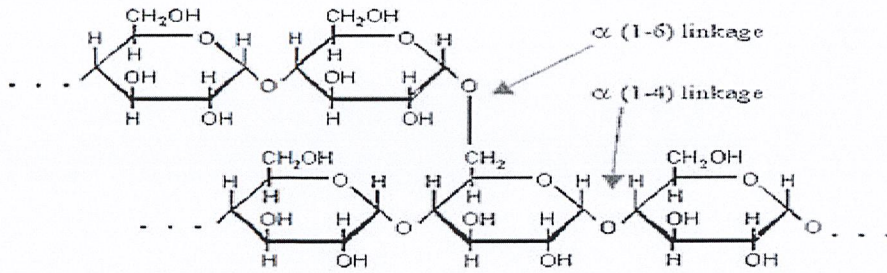
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของอะไมโลส[1]

อะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซีปริมาณมากทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตามเพราะ โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีหมู่ไฮดรอกซีจำนวนมาก ทำให้อะไมโลสจัดเรียงตัวขนานกันและใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างตาข่ายขึ้น ทำให้สมบัติไฮโดรฟิลิกลดน้อยลง และสารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น

ในสารละลายเจือจาง จะเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสที่ติดกันเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้แต่สำหรับที่ความเข้มข้นสูงๆ ผลของความเกะกะ (Steric hindrance) จะขัดขวางการรวมตัว แต่จะมีการจัดตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่วงของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติที่ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรงเรียกปรากฏการณ์ยึดติดกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสว่า “รีโทรเกรเดชัน” (retrogradation)

อะไมโลเพคติน (Amylopectin) กลูโคสจะเรียงต่อกันเป็น โซ่แขนงที่ทุกๆ 20-30 หน่วยของพันธะแอลฟา-1,4 แต่จะเกิดสาขาที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 แอลฟา-1,6 โดยโครงสร้างที่เป็นอะไมโลเพคติน คิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ของแป้ง มีสูตรโครงสร้างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน[1]

จากการที่โมเลกุลอะไมโลเพคตินมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลอะไมโลสและโมเลกุลอะไมโลเพคตินเป็น พอลิเมอร์สาขาทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขีดขวางการจัดเรียงตัวให้ใกล้กันของสายโซ่ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนด้วยเหตุนี้สารละลายของอะไมโลเพคตินจึงมีลักษณะใสและมีความเสถียรของการเป็นเจล

สายโซ่หลักของอะไมโลเพคตินและอะไมโลสอยู่ขนานติดกัน มีโอกาสที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่ติดกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มของโครงสร้างผลึก (Micellar crytallites) ซึ่งจะเป็ตัวยึดให้แป้งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติไบฟริงเจนซ์ (bifringence) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นโดยการเกิดโพลาไรเซชันครอส (polarization cross) ส่วนของแป้งที่เอื้ออำนวยต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คือ โครงสร้างสายโซ่ตรง จุลินทรีย์จะย่อยสลาย โดยใช้ เอมไซม์เบตาอะไมเลสทำลาย เฉพาะพันธะ 1,4 glycosidic linkage ไม่สามารถทำลายได้ ดังนั้นการย่อยแป้งซึ่งส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นอะไมโลเพคตินให้ป็นสายสั้นเรียกว่า เดกซ์ตริน (dextrin)

2.1.2 การเกิดเป็นเจลของแป้ง

ก. การบวมตัวของ การเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเป็นเจล ของแป้งอยู่ในช่วง 55-80 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและความเข้มข้น โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่ยึดติดเม็ดแป้งไว้ด้วยกันจะอ่อนตัวลงและเม็ดแป้งก็จะเริ่มบวมตัวอย่างรวดเร็ว

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการบวมตัวเรียกว่า อุณหภูมิการเกิดเจล เม็ดแป้งจะอมน้ำไว้และบวมตัวหลายเท่าจากปริมาตรเดิม เมื่อให้ความร้อนและปั่นกววนส่วนผสมไปด้วยพร้อมกันจะทำให้ส่วนผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนืดมีค่ามากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งเกิดการบวมตัวและอมน้ำไว้ได้มาก หลังจากนั้นจะเกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง ความหนืดจะลดลงขณะที่เม็ดแป้งที่เป็นเจลแตกออกจากกัน การนำไปใช้

เม็ดแป้งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานซึ่งในระหว่างเกิดการบวมตัวที่สามารถผันกลับได้นั้น น้ำจะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานและทำให้เกิดการบวมตัวที่บริเวณอสัณฐานนั้น โดยส่วนที่เป็นผลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อทำให้เม็ดแป้งแห้ง น้ำที่แทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานจะถูกกำจัดออกโดยไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติของแป้ง เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิของการเกิดเจล น้ำก็จะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดการเสีรูปร่างแบบ ไบรฟริงเจนท์ (Birefringence)

ข. การเกิดเป็นเจลโดยใช้ความร้อน

สมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของแป้ง คือการเกิดเป็นลักษณะแป้งเป็ยกที่เหนียว เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อความร้อนในขณะที่ให้ความร้อนแก่เม็ดแป้ง เป็นค่าที่ใช้ในการทำนายสมบัติแป้ง

การทำให้เกิดการบวมตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้นเม็ดแป้งเกิดการพองตัวกระทบซึ่งกันและกัน ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดวิกฤต จากนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเริ่มอ่อนตัวลงและความหนืดจะลดลง กรณีที่เกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสจะทำความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

จากการศึกษารูปแบบการบวมตัวของแป้งชนิดต่างๆ โดย X-ray diffraction และการทดสอบเม็ดแป้งโดยใช้แสงและอิเล็กตรอน ไมโครสโคปทำให้ทราบถึงภาพของโครงสร้างที่เป็นไปได้และการจัดเรียงตัวของเม็ดแป้ง พบว่าเม็ดแป้งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึก ส่วนที่เป็นอสัณฐาน และส่วนที่เป็นกิ่งผลึก อะไมโลเพคตินโมเลกุลใหญ่จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน ส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลไมโลเพคตินในส่วนที่เป็นเส้นตรงของโซ่สาขา

การบวมตัวในช่วงเริ่มต้นในระหว่างเกิดการเกิดเป็นเจล ในส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะเกิดการแตกออกของพันธะไฮโดรเจนที่อ่อนตัวและเกิดการแทรกตัวของน้ำเข้าไปในโมเลกุลขณะที่อุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้น การแทรกตัวของน้ำเกิดมากขึ้นและพันธะไฮโดรเจนในส่วนที่เป็นผลึกก็จะเริ่มแตกออก เม็ดแป้งบวมขึ้นโดยโมเลกุลอะไมโลเพคตินถูกแทรกด้วยน้ำแต่โครงสร้างนี้ยังคงรูปอยู่ได้เนื่องจากมีบางส่วนไม่ถูกแทรกด้วยน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ยึดโครงสร้างนี้ไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแป้งที่เป็นเจล

สมบัติของแป้งที่เป็นเจลจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการให้ความร้อน สารมลทินที่ปนอยู่ในแป้ง ดังนั้นถ้าควบคุมสภาวะของการให้ความร้อนจะทำให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา อัตราเร็วของการปั่นกวน pH ชนิดของสารตัวเติม และสิ่งเจือปนต่างๆ

แป้งสามารถนำมาปรับปรุงสมบัติได้ โดยผ่านกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้เอนไซม์ เพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในอุตสาหกรรมได้มากมาย ปัจจัยหลัก 5 ประการที่เป็นตัวกำหนดสมบัติต่างๆของแป้ง ได้แก่

1. แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส
2. แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน 2 ชนิด คือ ชนิดที่โมเลกุลเป็นเส้นตรงเรียกอะไมโลส และโมเลกุลเป็นโซ่สาขา เรียกว่า อะไมโลเพคติน
3. โมเลกุลของแป้งเป็นเส้นตรงสามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ
4. โมเลกุลของแป้งจะอยู่ในรูปเม็ดแป้งที่ไม่ละลายน้ำ
5. การที่จะทำให้แป้งบวมตัวในน้ำ จะต้องทำให้โมเลกุลของแป้งที่อยู่ในรูปเม็ดแป้งแตกตัวออก

2.1.3 การนำแป้งไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ [1]

การผลิตสารเคมีหรือพลาสติกซึ่งต้องเกี่ยวข้องกับการใช้ปิโตรเลียม พบว่าพลาสติกส่วนใหญ่ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ซึ่งปริมาณการใช้ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคตข้างหน้า ทำให้ต้องหันมาสนใจว่าจะมีปิโตรเลียมในการใช้เป็นสารตั้งต้นอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตหรือไม่ จึงได้มีการนำเอาพอลิเมอร์ธรรมชาติมาใช้ เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับพลาสติกหรือใช้แทนพลาสติกบางตัว และความสามารถของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ ทำให้ลดปัญหาเรื่องของการสะสมขยะในสิ่งแวดล้อม

แป้งสามารถใช้ผสมในพลาสติกเช่น ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride):PVC) ในโพลีเอทิลีนชนิดแข็ง(Polyurethane:PU) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์(Poly(vinyl alcohol):PVOH) พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน(Ethylene) กับกรดอะคริลิก(Acrylic acid) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง(High density polyethylene:HDPE) เพื่อให้มีสมบัติในการสลายตัวทางชีวภาพ ได้มีการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาใช้ในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของดิน ลดการชะล้างของสารอาหาร ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของเมล็ดและเพิ่มผลผลิตของพืชผล ไม่เพียงแต่แป้งสามารถผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์เท่านั้น แต่ยังมีประโยชน์ในการใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือเป็นสารเสริมแรงโดยแป้งจะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานตได้ ทำให้ราคาต่ำ ปรับปรุงความต้านทานต่อตัวทำละลายและความแข็งแรงอื่นๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 แป้งมันสำปะหลัง [1,2,3]



รูปที่ 2.3 แสดงหัวมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังผลิตจากส่วนหัวของมันสำปะหลัง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า มานิสอท เอสคูเลนตา (Manihot esculenta Grantz) มีชื่อตามแหล่งที่ปลูกเช่น คาชซาวา(Cassava) มานีออก(Manioc) แมนดิโอคา (Mandioca) ทาพิโอคา(Tapioca) เป็นต้น มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนความแห้งแล้งได้ดี จึงปลูกได้ตามเขตร้อนต่างๆทั่วโลก เช่น ฟิลิปปินส์ ไนจีเรีย บราซิล มาเลเซีย และประเทศไทย เป็นต้น สำหรับประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีผลผลิตตลอดปี และราคาถูก

องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆในหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในหัวมัน	ปริมาณ(ต่อ 100 กรัมน้ำหนักหัวมัน)
น้ำ	60.21-75.32
เปลือก	4.08-14.08
เนื้อ(แป้ง)	25.87-41.88
ไซยาไนด์(ppm)	2.85-39.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบต่างๆในน้ำมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในน้ำมัน	ปริมาณ(ต่อ100 กรัมน้ำหนักเนื้อแห้ง)
แป้ง	7.9-85.0
โปรตีน	1.57-5.78
เยื่อใย	1.77-3.98
เถ้า	1.20-2.80
ไขมัน	0.06-0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	3.59-8.6

ลักษณะโดยทั่วไปของแป้งมันสำปะหลัง

- ก. ลักษณะปรากฏ: แป้งในสภาวะที่แห้งจะมีสีขาว
- ข. ขนาด: โดยทั่วไปเมื่อนำไปผ่านตะแกรง 140 mesh (United State Number) จะต้องมีส่วนแป้งตกค้างอยู่ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์
- ค. กลิ่น: แป้งควรจะไม่มีกลิ่น ถ้ามีกลิ่นเปรี้ยวแสดงว่าเกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์
- ง. สี: แป้งปกติจะมีสีเทาประมาณ 6.2-6.5
- จ. ความชื้น: ความชื้นของแป้งควรจะมีความประมาณ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 21°C ที่ความชื้นสูงถึง 18 เปอร์เซ็นต์อาจมีราขึ้นและทำให้แป้งเป็นก้อนและสีจะเปลี่ยนไป
- ฉ. เถ้า: แป้งที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และเก็บรักษาในที่ที่สะอาดจะมีเถ้าต่ำกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามากกว่านี้แสดงว่ามีทราย หรือฝุ่นละอองติดมาด้วย
- ช. สี: ส่วนที่สำคัญ คือ สีของแป้งเปียก (paste) ซึ่ง โดยทั่วไปจะโปร่งแสง ถ้าแป้งเปียก(paste) มีสีฟ้า หรือสีเทาแสดงว่ามีธาตุเหล็กปนเปื้อนอยู่
- ซ. การปนเปื้อน: สารปนเปื้อนส่วนใหญ่ ได้แก่ เปลือก ไฟเบอร์ ฝุ่นและแมลง แป้งควรมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หมายเหตุ: เนื้อเยื่อ(pulp): แป้งควรมี pulp หรือ root fiber ต่ำต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญ. Acid Factor: Acid Factor คือ ปริมาณของกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล ที่ใช้ (หน่วยเป็น มิลลิลิตร) ในการไทเทรตกับเบ็ง 25 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3.0 ค่า Acid Factor ไม่ควรเกิน 2.6

ฎ. Cold viscosity: ถ้ามีค่าสูง จะทำให้การกวนเบ็งที่มีความเข้มข้นสูงทำได้ยาก

สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของเบ็งมันสำปะหลัง

ลักษณะของเบ็งมันสำปะหลังเมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วย เม็ดเบ็งตั้งแต่ 2-8 เม็ดมารวมกัน แต่ละเม็ดยาวตั้งแต่ 4-35 ไมโครเมตร เม็ดเบ็งส่วนมากมีลักษณะเป็นเม็ดกลม หรือไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออก และผิวตรงส่วนที่ตัดออกจะมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมหาดหนึ่งโค้ง อีกด้านหนึ่งแบนไม่สมมาตรกัน เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ จะเห็นลักษณะการหักเหแสง เรียกว่า Birefringence ภายในเม็ดเบ็งประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลเพกติน ที่มีการเรียงตัวเป็น 2 แบบแบบแรกสายพอลิเมอร์ของอะไมโลสเรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบ มีอะไมโลสบางส่วนเรียงขนานกับส่วนที่เป็นสายตรงส่วนนอกของอะไมโลเพกติน และยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โมเลกุลบริเวณนี้จับกันอย่างหนาแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวสูงบริเวณนี้เรียกว่า Crystalline regions หรือ Micelles เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะ Birefringence ของเม็ดเบ็ง Crystalline regions มีความสามารถในการดูดน้ำและพองตัวต่ำมาก ส่วนแบบที่สอง สายพอลิเมอร์ของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินมีการเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ แรงดึงดูดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินต่ำกว่าแบบแรก บริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบนี้เรียกว่า Amorphous regions เป็นส่วนที่มีการดูดน้ำได้ดีและเกิดการพองตัวได้ง่าย

สมบัติในการเกิดปฏิกิริยาของเม็ดเบ็งกับน้ำ เป็นสมบัติที่สำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ เมื่อเม็ดเบ็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้รับความร้อนพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดเบ็ง ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดเบ็งได้ เม็ดเบ็งจะเริ่มพองตัวขึ้นเนื่องจากเบ็งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสต่ำจึงมีการพองตัวที่ดีและมีความสามารถในการละลายประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 95°C ลักษณะการพองตัวของเบ็งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิการพองตัวต่างๆจะเป็นขั้นตอนเดียว (Single stage swelling) ในระหว่างที่ให้ความร้อนกับเม็ดเบ็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และเม็ดเบ็งเริ่มดูดซับน้ำจากภายนอกนั้น เม็ดเบ็งจะเริ่มพองตัวพร้อมกับที่เม็ดเบ็งสูญเสียความสามารถในการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ลักษณะเช่นนี้ทำให้การพองตัวของเม็ดเบ็งเป็นแบบผันกลับไม่ได้โดยปกติเม็ดเบ็งที่พองตัว เมื่อได้รับความร้อนเม็ดเบ็งจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเบ็งเปียก (Pates) ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเม็ดเบ็งเย็นลงจะเกิดเมวกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเจลขึ้น อุณหภูมิการเกิดเจลอยู่ในช่วง 58-70°C แป้งเปียกที่เกิดขึ้นจะไม่คงตัวมากนัก ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้แป้งมันสำปะหลัง จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปรแป้งเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของแป้งเปียกทำให้เมื่อเย็นตัวลงความหนืดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากเกิดการจับกันของหมู่ไฮดรอกซิลของอะไมโลสตำ แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่เกิดการคืนตัวต่ำ และให้ลักษณะของแป้งเปียกที่ใสและไม่ทึบแสง

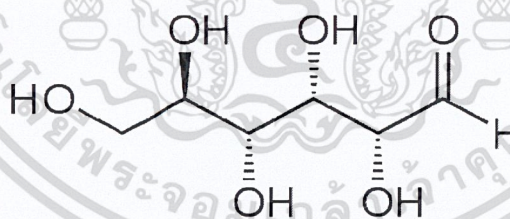
การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง[3]

แป้งมันสำปะหลังใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆดังนี้

1. อุตสาหกรรมสารให้ความหวาน อุตสาหกรรมผลิตสารให้ความหวานที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมี 3 ประเภทคือ

ก. กลูโคส (Glucose) ผลิตภัณฑ์กลูโคสที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยมี 2 ชนิดคือ

1. กลูโคสไซรัป (glucose syrup) หรือกลูโคสเหลวเป็นสารละลายแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยแป้งโดยผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้น
2. กลูโคสผงเป็นกลูโคสไซรัปที่ทำให้แห้งเป็นผงทั้งนี้ปริมาณการผลิตกลูโคสเหลวมีมากกว่ากลูโคสผงเนื่องจากความต้องการของตลาดมีมากกว่าโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตน้ำหวาน ทอฟฟี่หรือลูกกวาดไอศกรีมสำหรับกลูโคสผงส่วนมากจะใช้ในอุตสาหกรรมยา



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของกลูโคส (Glucose)[4]

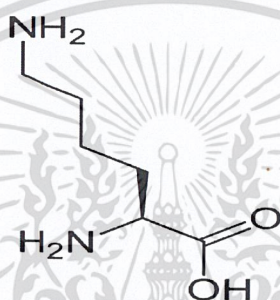
ข. ไฮฟรุกโตส (High fructose) ไฮฟรุกโตสเป็นสารให้ความหวานที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมากกว่าสารให้ความหวานชนิดอื่นๆเนื่องจากมีความหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลและอยู่ในสภาวะค่อนข้างบริสุทธิ์จึงเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์เช่นน้ำอัดลม (ใช้ร้อยละ 80 ของไฮฟรุกโตสที่ผลิตได้ทั้งหมด) น้ำผลไม้เข้มข้นโยเกิร์ตผลไม้/อาหารกระป๋อง เป็นต้น

ค. ซอร์บิทอล (sorbitol) หรือดี – กลูซิทอลเป็นสารให้ความหวานที่มีการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแข่งเชิงการทำลูกชิ้นเพื่อช่วยไม่ให้โปรตีนในอาหารแปรสภาพและยังคงความสดใหม่ให้กับอาหารนอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเพื่อใช้เป็นตัวรักษาความชุ่มชื้น

2. อุตสาหกรรมผงชูรสการผลิตผงชูรสสามารถใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบโดยแป้งจะถูกนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงสี เนื้อหาและรูปร่างอังกถึงเจ้าของออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์จากนั้นจะหมักน้ำตาลกลูโคส โดยใช้แบคทีเรียเพื่อให้ได้กรด

กลูตามิก (glutamic acid) แล้วทำให้เข้มข้นและตกผลึกก็จะได้ผงชูรสโดยมีอัตราการผลิตจากมันสำปะหลังเป็นผงชูรสประมาณ 1.8:1

3. **อุตสาหกรรมผลิตแอล-ไลซีน (L-lysine)** แอล-ไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่คนและสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ต้องรับจากอาหารเท่านั้น ในอาหารสัตว์ตามธรรมชาติมีแอล-ไลซีนน้อยมากไม่เพียงพอต่อความต้องการซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตช้าจึงได้มีการผลิตแอล-ไลซีนขึ้นเพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพของอาหารสัตว์โดยจะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตกระบวนการผลิตจะใช้เอนไซม์เปลี่ยนแป้งมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนเฉพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตแอล-ไลซีน โดยวิธีการหมักแล้วทำให้เข้มข้นและตกผลึกก็จะได้แอล-ไลซีน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ L-lysine [16]

4. **อุตสาหกรรมแป้งดัดแปร (modified starch)** แป้งดัดแปรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอก. 1073-2535 หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (starch) เช่นแป้งมันสำปะหลังแป้งข้าวโพดแป้งมันฝรั่งแป้งสาลีมาเปลี่ยนสมบัติทางเคมี และ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ซึ่งคุณลักษณะเกณฑ์ชี้บ่งต่างๆ ของแป้งดัดแปรรูป แต่ละประเภทจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(2535) เนื่องจากแป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตทางอุตสาหกรรมได้แก่ ไม่สามารถรักษาสภาพความเหนียวที่คงที่ตลอดกระบวนการผลิตเป็นต้นซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำจึงต้องนำแป้งมาผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานการดัดแปรแป้งมี 3 วิธีคือวิธีทางเคมี(chemical modification) วิธีทางกายภาพ(physical modification) และวิธีทางชีวภาพ (biological modification) แป้งดัดแปรที่ผลิตนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ เช่นอุตสาหกรรมอาหารกระดากาวอุตสาหกรรมทอผ้า และบางส่วนส่งออกจำหน่ายต่างประเทศจากที่กล่าวมาแม้ว่าแป้งมันสำปะหลัง และแป้งแปรรูปจะสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทั้งที่เป็นอาหารและที่มิใช่อาหารได้อย่างหลากหลายแต่การที่จะขยายขอบข่ายความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมของแป้งมันสำปะหลังให้มากขึ้นจำเป็นต้องอาศัยงานวิจัยและพัฒนาสนับสนุนสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า งานวิจัยและพัฒนาที่จะนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่สำคัญได้แก่

ไมวารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. สารพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ (Water Absorbing Polymer) สารพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังคือสารที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลของแป้งมันสำปะหลังที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ anhydroglucose unit โดยการนำสารที่เป็น โมโนเมอร์ (monomer) มาต่อบนสายโมเลกุลของแป้งโมโนเมอร์ที่ใช้จะเป็น ไวนิล โมโนเมอร์ ที่มีหมู่แทน 3 ที่มีสมบัติชอบน้ำ เช่น หมู่คาร์บอกซิเลต (carboxylate) และหมู่เอไมด์ (amide) ได้แก่ เมทาอะคริลิก (methacrylic) อะคริลอไมด์ (acrylamide) อะคริโลไนไตรล์ (acrylonitrile) เป็นต้น ปฏิกิริยาที่ใช้ในการต่อโมโนเมอร์ลงบนโมเลกุลของแป้งเรียกว่า free radical graft copolymerisation องค์ประกอบของปฏิกิริยาประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลังตัวเริ่ม (initiator) และ โมโนเมอร์ ในแต่ละปีประเทศไทยนำเข้าสารเคมีที่มีสมบัติในการดูดซึมน้ำเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเช่น ผ้าอ้อมผ้าอนามัยซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ผลิตสารประเภทนี้ในต่างประเทศจะใช้สารเคมีและงานวิจัยในต่างประเทศที่ได้นำผลิตผลจำพวกแป้งมาเตรียมสารประเภทนี้พบว่า ใช้แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีเป็นส่วน ใหญ่สำหรับประเทศไทยที่มีผลผลิตมันสำปะหลังข้าวและข้าวโพดอันเป็นแหล่งแป้งที่สำคัญก็น่าที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตสารประเภทนี้ได้ สารพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางดังนี้

1. ด้านการเกษตรใช้เคลือบเมล็ดข้าวต้นกล้าป้องกันความแห้งแล้ง โดยเก็บความชุ่มชื้นทำให้พืชไม่เหี่ยวเฉาเป็นสารปรับแต่งดิน โดยนำพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำผสมกับดินทำให้ดินมีสมบัติดังต่อไปนี้เพิ่มรطوبةภายในดินทำให้ดินร่วนซุยการผ่านของอากาศดีขึ้นเพิ่มการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของดินป้องกันการชะล้างหน้าดิน
2. อุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมผ้าอนามัยผ้าอ้อมเด็ก
3. กระบวนการผลิตถ่านหินช่วยกำจัดความชื้นที่ทำให้ถ่านหินจับตัวเป็นก้อน
4. กระบวนการพิมพ์ผ้าใช้เป็นสารข้น (Thickener) ของหมึกพิมพ์ที่ใช้พิมพ์ผ้าให้สมบัติ
5. ในการติดสีเพิ่มขึ้นและอายุการใช้งานนานขึ้น
6. ชีววิทยาใช้แทนวุ้นในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและต้นอ่อนของพืช
7. เวชภัณฑ์ใช้ในการดูดซับของเหลวที่ขับถ่ายออกมาจากร่างกายจากร่างกายเช่นดูดซับน้ำเหลืองจากบาดแผลทำให้แผลแห้งเร็วขึ้น

ข. พลาสติกที่ย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลังการให้ความสนใจเกี่ยวกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้เกิดขึ้นเนื่องจากปัญหาการใช้พลาสติกเพราะพลาสติกเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ยากแม้จะกำจัดได้โดยวิธีการเผาแต่ก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรงจึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำวัสดุที่มีสมบัติเหมือนหรือใกล้เคียงกับพลาสติกแต่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติมาใช้ทดแทนซึ่งเป็นที่มาของวัสดุที่เรียกว่าพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยพลาสติกที่ย่อยสลายได้อาจเตรียมมาจากพอลิเมอร์ธรรมชาติพอลิเมอร์สังเคราะห์หรือการผสมระหว่างพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์แป้งซึ่งถือเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ย่อยสลายได้จึงได้รับความสนใจเนื่องจากข้อเด่นของแป้งโดยเฉพาะแป้งมันสำปะหลังคือไม่ผ่านการฉีก หั่น อัด หักห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความบริสุทธิ์สูงราคาถูกและมีปริมาณมากปัจจุบันนี้จึงนิยมใช้แป้งมาผลิตเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ ซึ่งมีเทคโนโลยีและลักษณะการผลิตต่าง ๆ กันสามารถแบ่งเทคโนโลยีการผลิตเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. การผลิตพลาสติกจากแป้งโดยตรงเป็นกระบวนการที่ให้แป้งเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำในตัวแป้งที่กลายเป็นไอเมื่อถูกความร้อนสูงขณะที่ผ่านแรงอัดจากเครื่อง Extruder ผลึกภัณฑ์ที่ได้เรียกว่าโฟมแป้งนำไปใช้ประโยชน์เพื่อกันการกระแทกในภาชนะบรรจุภัณฑ์
2. แป้งผสมพลาสติกที่ย่อยสลายได้เป็นการนำแป้งมาผสมกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้จากนั้นนำมาขึ้นรูปหรือผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการแต่ราคาของพลาสติกที่ย่อยสลายได้นั้นยังสูงกว่าพลาสติกทั่วไปหลายเท่าตัวสำหรับการผสมนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงสูงเช่น Extruder หรือเครื่องผสม high speed ชนิดพิเศษที่ควบคุมความร้อนได้และปริมาณการใช้แป้งที่ผสมกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการถ้าต้องการให้มีความยืดหยุ่น (สมบัติของพอลิเมอร์) มากก็ต้องมีส่วนของพลาสติกที่ย่อยสลายได้อยู่มากถ้าใส่แป้งมากขึ้นความแข็งของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มมากขึ้นแต่ความยืดหยุ่นจะลดลงแป้งผสมพลาสติกที่ย่อยสลายได้

ในกลุ่มนี้ที่มีการวิจัยและพัฒนาแล้วมีดังนี้

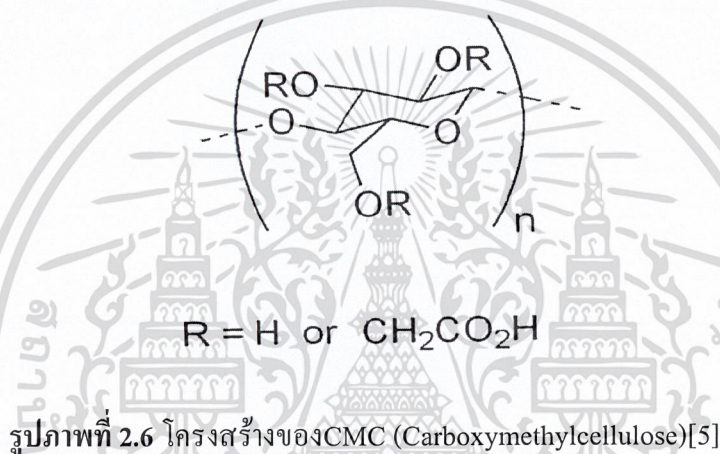
- ก. แป้งผสมโพลีลาโพรแลก โทนมบัติเด่นคือไม่เป็นพิษจุดหลอมเหลวต่ำย่อยสลายในธรรมชาติได้เร็วนิยมนำมาทำภาชนะบรรจุต่างๆ
- ข. แป้งผสมโพลีแลคติกกรดเด่นคือความปลอดภัยใช้เป็นภาชนะที่สัมผัสกับอาหารทั้งนี้เพราะกรดแลคติก (Lactic acid) ได้มาจากกระบวนการหมัก (แป้ง) และกระบวนการควบแน่น (condensation) ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารและยาจึงเป็นที่ยอมรับมากกว่าพลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น
- ค. แป้งผสมพอลิเอสเตอร์กำลังอยู่ในความสนใจและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาเช่น พอลิบิวทิลีน ซัคซิเนต (Polybutylene succinate: PBS) พอลิเอสเตอร์คาร์บอเนต (polyester carbonate: PEC) แม้ประเทศไทยจะมีการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่างๆ ในระดับหนึ่งแล้วก็ตามแต่ก็ควรจะมีการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังให้มากขึ้นอันจะเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจของประเทศโดยรวม

2.2 CMC (Carboxymethylcellulose)[5]

เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง สถานะของแข็งใส ไม่มีสี มีทั้งชนิดผง และชนิดเม็ด ละลายได้ในน้ำ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ผลิตจากเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของพืชและเกลือโซเดียมของคลอโรแอซติกแอซิด ใช้งานในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็น อิมัลซิฟายเออร์ และสารเพิ่มเนื้อให้ เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม และอาหารควบคุมไม่ให้อ้วน โดยทำหน้าที่ช่วยให้

ส่วนผสมต่างๆเข้ากันได้ดี และเพิ่มความข้น เป็นส่วนผสมในผงซักฟอก สบู่ สี อิมัลชัน ยา และ เครื่องสำอาง

ในการสังเคราะห์ CMC นั้นใช้เซลลูโลสเป็นสารตั้งต้น ซึ่งเซลลูโลสปกติจะไม่ละลายน้ำเนื่องจากมีอะตอมของไฮโดรเจนอยู่ โดยใช้ NaOH เป็นตัวละลาย อะตอมของไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนทำให้ได้สารประกอบที่ละลายน้ำได้ จากนั้นเติมกรดคลอโรอะซิติกจะได้เป็นโซเดียมคลอโรอะซิเตตแล้วไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบของเซลลูโลสเกิดเป็น CMC ที่ละลายน้ำได้ สมบัติของ CMC ขึ้นอยู่กับองศาการแทนที่ (degree of substitution) ส่วนมากที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีค่าประมาณ 0.9 และสารละลาย CMC จะมีค่า pH อยู่ที่ 4-10



2.3 ไฮโดรเจล (Hydrogel)[6]

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่ายสามารถดูดซับน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างได้มากกว่า 90% ซึ่งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น วุ้น (Agar) เจลาติน (Gelatin) หรือเป็นวัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol): PVOH)

พอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดเป็นไฮโดรเจลได้ยังมีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และสามารถละลายน้ำได้ ในโครงสร้างจะมีหมู่ฟังก์ชันดังต่อไปนี้คือ $-OH$, $-COOH$, และ $-CONH_2$ ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

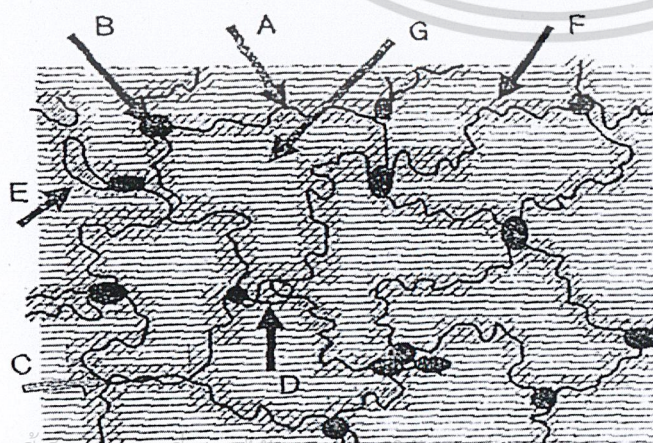
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆที่ใช้ทำไฮโดรเจลได้

พอลิเมอร์	สูตรโครงสร้าง
Poly(vinyl alcohol)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{OH} \end{array} \right]_n$
Poly(acrylic acid)	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{COOH} \end{array} \right]_n$
Polyacrylamide	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} \right]_n$

2.3.1 พันธะเคมีไฮโดรเจล

1. พันธะเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslinked) โดยแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่มีความแข็งแรงจึงทำให้สลายตัวได้ในกรณีที่โมเลกุลมหภาค (Macromolecule) ถูกทำลายเท่านั้น ซึ่งวิธีการที่ใช้เตรียมไฮโดรเจล คือ เทคนิคการฉายรังสี และเทคนิคการใส่สารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking agent) โดยในการทดลองนี้จะศึกษาโดยใช้เทคนิคการฉายรังสี

2. พันธะเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslinked) ไฮโดรเจลที่มีพันธะเชื่อมโยงชนิดนี้เรียกว่า Physical Hydrogel, Reversible gel หรือ Pseudo gel โดยจะมีโครงสร้างเป็นโครงร่างแหสามมิติ โดยแต่ละสายโซ่มีการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอ่อนๆ หรือแรงทางไฟฟ้าสถิต ซึ่งสามารถเตรียมไฮโดรเจลชนิดนี้ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า “Freezing and thawing” โดยจะให้ไฮโดรเจลที่มีความแข็งแรงสูงแต่จะหลอมเหลวเป็นสารละลายได้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เนื่องจากไม่มีพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ มีเพียงการเชื่อมโยงทางกายภาพเท่านั้น



- A: Hydrophilic chain
- B: Inter-chain link
- C: Entanglement
- D: Crosslinking
- E: Loop
- F: Bound water
- G: Free water

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แจ้งไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกฉบับลงและตั้งอ้างถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของไฮโดรเจล [6]

ลักษณะของน้ำในไฮโดรเจลมี 3 ชนิดได้แก่

1. Tightly bound (hydrate)
2. Loosely bound (restricted)
3. Free (freezing)

ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจล มี 2 วิธี ดังนี้

1. เตรียมสารละลายมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์เหลวในแม่พิมพ์ → ฉายรังสีในแม่พิมพ์ที่ปิดฝา → ได้ไฮโดรเจลที่เกิดพันธะเชื่อมโยง → อบให้แห้ง
2. เตรียมสารละลายมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์เหลวในหลอดทดลอง → ฉายรังสี → นำไฮโดรเจลที่ได้ เทลงในแม่พิมพ์ → อบให้แห้ง

การเกิดไฮโดรเจลด้วยการฉายรังสี อธิบายกลไกได้ดังนี้

แรงกระทำต่อมวลสารเนื่องมาจากการฉายรังสี จะทำให้สารถูกเร้าอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited state) แล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารมัธยันต์ (Intermediate) ที่มีความว่องไว จึงก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ขึ้นมามากมาย โดยอนุมูลอิสระดังกล่าวนี้อาจเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของตัวทำละลายหรือตัวกลางด้วยก็ได้ ถ้าอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นบนแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งกันและกัน จะเกิดการรวมตัวกันเป็นพันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ซึ่งปริมาณของพันธะที่เกิดขึ้นใหม่นี้มีมากเพียงพอในการเกิดส่วนที่สามารถบวมตัวได้ แต่ไม่ละลายน้ำที่เรียกว่า “Gel” ขึ้นในระบบ อย่างไรก็ตามยังคงมีบางส่วนที่ไม่ได้เกิดพันธะเชื่อมโยงซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า “Sol” และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณรังสีที่ฉายให้แก่ระบบ พบว่าส่วนของเจลจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย

พิจารณาสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	M	คือ	โมเลกุลของมอนอเมอร์
	R'	คือ	อนุมูลอิสระของมอนอเมอร์
	S	คือ	โมเลกุลของตัวทำละลาย
	S'	คือ	อนุมูลอิสระของตัวทำละลาย
	OH'	คือ	อนุมูลอิสระของไฮดรอกซี
	H'	คือ	อนุมูลอิสระของไฮโดรเจน
	e_{aq}	คือ	Solvated electron

จะเห็นว่าปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ไม่เพียงแต่ถูกริเริ่มด้วยอนุมูลอิสระของมอนอเมอร์ แต่ยังสามารถริเริ่มได้ด้วยอนุมูลอิสระของน้ำ จากการศึกษพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในสมการ[2],[3] มีปริมาณมากกว่า[1] ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอนุมูลอิสระของน้ำที่มีบทบาทในการแผ่ขยายสายโซ่หลังจากมอนอเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ 80-90% แล้ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการฉายรังสีต่อไปจะเกิดการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระมหภาค เกิดเป็นพันธะเชื่อม โยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย อนุมูลอิสระขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลโดยตรงจากการฉายรังสีให้แก่พอลิเมอร์หรือเป็นผลจากสารมัธยันต์ที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำที่เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลมหภาค สำหรับโครงสร้างร่างแหนั้น อาจเกิดการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระที่อยู่บนแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์ โดยถือว่าการเกิดพันธะเชื่อม โยงอย่างง่าย หรืออาจเกิดจากการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระที่อยู่บนปลายสายโซ่กับอนุมูลอิสระขนาดใหญ่ตัวอื่น โดยเรียกการรวมตัวแบบนี้ว่า “Endlinking”

2.3.2 สมบัติของไฮโดรเจลและการนำไปใช้งาน

ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำและไอออนได้ โดยสมบัติเชิงกล และรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสมบัติดังกล่าวคล้ายคลึงกับอวัยวะบางอย่างในร่างกายคน เช่น กล้ามเนื้อ เอ็น ลำไส้เล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังมีสมบัติเข้ากันได้ดีกับสารชีวภาพ เช่น เลือด น้ำเหลือง เนื้อเยื่อ จึงสามารถนำมาทำเลนส์สัมผัส วัสดุแต่บาดแผลจากไฟไหม้ ตลอดจนใช้เคลือบวัสดุที่ต้องนำมาใช้สัมผัสกับร่างกาย อีกทั้งยังสามารถใช้เคลือบอวัยวะเทียมที่ใช้ในร่างกายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydrogel dressing

แผลที่เกิดจากอุบัติเหตุไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวกมีความเสี่ยงสูงมากต่อการเกิดเชื้อโรคจากสิ่งแวดล้อม และการสูญเสียน้ำจากร่างกาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการรักษาบาดแผลจากไฟไหม้ธรรมดาจนถึงแผลถลอก ทำได้โดยวิธีปลูกถ่ายเนื้อเยื่อ หรือการทำศัลยกรรมแต่งผิวเท่านั้น เพื่อช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียผิวหนัง และเร่งการรักษาบาดแผลให้เร็วยิ่งขึ้น โดยแผ่นผิวหนังที่ใช้อาจเป็นผิวหนังที่สมบูรณ์ หรือแผ่นผิวหนังที่ผ่านการเพาะเลี้ยงจากห้องปฏิบัติการ เนื่องจากวิธีดังกล่าวนี้มีข้อเสีย ดังนั้นผิวหนังเทียมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาได้โดย Hydrogel dressing เป็นวัสดุที่มีแนวโน้มนำมาใช้เป็นผิวหนังเทียมปิดรักษาบาดแผลที่นิยมมากที่สุด วัสดุตกแต่งบาดแผลหรือหนังเทียมที่ใช้สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

- ก. กลุ่มธรรมดา(Conventional) ได้แก่ ผ้ากอซ (Gauze) ผ้าพันแผลที่อิมมัลชันด้วยซีฟี่หรือน้ำมันซิลิโคน
- ข. กลุ่มชีวภาพ(Biological) ได้แก่ ผิวหนังจากศพ ผิวหนังจากสัตว์ ฟองน้ำ และคอลลาเจน
- ค. กลุ่มสังเคราะห์(Synthesis) ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

วัสดุตกแต่งบาดแผลจะมีการนำมาใช้แบบครั้งต่อครั้ง ซึ่งความถี่ของการเปลี่ยนในแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุ เช่น สมบัติการขจัด หรือ อาจขึ้นกับปฏิกิริยาการต่อต้านของร่างกาย เมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเข้ามา

สมบัติของวัสดุตกแต่งบาดแผล มีดังนี้

1. สามารถดูดซับของเหลวออกจากร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. มีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงเชิงกลสูง
3. ยอมให้เกิดออกซิเจนแพร่ซึมผ่านเข้าไปถึงผิวหนังของบาดแผลได้
4. สามารถควบคุมการปล่อยยาได้
5. ปราศจากเชื้อโรค
6. ดูแลสุขภาพผิวได้
7. มีความเสถียรคงทน
8. มีความโปร่งใส
9. ใช้งาน สะดวก เก็บรักษาง่าย

เอกสาร 10.10.11 ทำให้ทั่วไปและราคาถูกรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้วัสดุตกแต่งบาดแผลต้องมีสมบัติเพิ่มเติม ได้แก่

ความสามารถในการยึดติดกับแผล

วัสดุตกแต่งบาดแผลควรมีความสามารถในการยึดเกาะกับแผลได้แนบสนิทแต่ไม่ควรจะแน่นเกินไปจนทำลายเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อทำการลอกวัสดุตกแต่งบาดแผลออก

การควบคุมความชื้นของแผล

วัสดุตกแต่งบาดแผลควรมีสมบัติในการควบคุมความชื้นของแผลให้เหมาะสม ไม่เปียกชุ่มเกินไปด้วยน้ำเหลืองที่ออกจากแผล หรือปล่อยให้แผลแห้งจนเป็นสะเก็ด เพราะว่าแผลที่เปียกชุ่มเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของจุลชีพ แต่ถ้าแผลแห้งจนเป็นสะเก็ดจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของเซลล์ผิวหนังที่พยายามจะเคลื่อนที่มาสมานแผลด้วยกลไกธรรมชาติ ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาใช้ปิดบาดแผลจะต้องมีความสามารถในการดูดซับของเหลวได้ในอัตราเดียวกับการผลิตของเหลวจากบาดแผล และสามารถให้น้ำระเหยออกจากบาดแผลได้ ซึ่งสามารถรักษาระดับความชื้นของบาดแผลไว้ได้

สมบัติบางประการของ Hydrogel dressing

สมบัติเชิงกลของ Hydrogel dressing บางประการ เช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ไม่เพียงแต่แปรตามปริมาณขององค์ประกอบในไฮโดรเจลเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับปริมาณของรังสีที่ถูกดูดกลืนด้วย ซึ่งพบว่า ปริมาณรังสีมากจะทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น

Hydrogel dressing มีความสามารถในการดูดซับน้ำ จึงยอมให้มีการซึมผ่านของออกซิเจนหรือก๊าซอื่นๆเข้าไปในบาดแผลได้ นอกจากนี้ Hydrogel dressing ยังยอมให้สารบางชนิดที่เป็นของแข็งแพร่ผ่านจากผิวหนังหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

2.4 การฉายรังสี [7]

การแผ่รังสี หมายถึงการนำพาพลังงานทั้งในรูปของคลื่นและอนุภาค โดยตัวที่นำพาพลังงานในรูปของคลื่นเรียกว่า โฟตอน ซึ่งในการแผ่พลังงานนี้ โฟตอนจะประพฤติตัวเป็นลักษณะคล้ายคลื่นเมื่อมันเคลื่อนไหว และประพฤติตัวคล้ายอนุภาคเมื่อถูกดูดกลืน หรือปลดปล่อยโดยอะตอมหรือโมเลกุล

การแผ่รังสีสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยการเร่งจากไอโซโทปของธาตุที่แผ่รังสีที่เกิดในธรรมชาติ หรือไอโซโทปที่เกิดจากการสังเคราะห์ แต่แหล่งของการควบคุมการแผ่รังสีคือ ไอโซโทปที่เกิดจากการสังเคราะห์ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์

รังสีแกมมาเป็นรังสีคลื่นสั้นๆ โดยเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากแต่ไม่มีประจุ โฟตอนของรังสีแกมมาสามารถ ทะลุทะลวง แม้มันในสสารที่มีความหนาแน่นมากที่สุด โดยถ้าต้องการที่จะหยุดการทะลุทะลวงของรังสีแกมมาต้องใช้คอนกรีตที่มีความหนามากกว่า 1 เมตร

เมื่อพอลิเมอร์ได้รับรังสีจะเกิดปฏิกิริยาเคมีแข่งขันกัน 2 ปฏิกิริยา ได้แก่

1. ปฏิกิริยาการแตกสลายพันธะ(Scission) ซึ่งถ้ามีออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
2. ปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมโยง(Crosslinking)

ถ้าพิจารณาโครงสร้างพบว่า พอลิเมอร์ที่มีหมู่ข้างเคียงอยู่ 1 ข้างหรือไฮโดรเจนอะตอมอยู่ 1 อะตอม มีแนวโน้มที่จะเกิดการเชื่อมโยงมากกว่าการสลายพันธะ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของพอลิเมอร์นั้นๆ จะเกิดอนุมูลอิสระที่เสถียร เกิดพันธะเชื่อมโยงมาก เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) พันธะเชื่อมโยงจะเกิดได้มาก แม้แต่พอลิเมอร์ที่ปกติเกิดการสลายพันธะมากที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นพันธะเชื่อมโยงจะกลายเป็นปฏิกิริยาหลัก

รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์ โดยก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ และการแตกสลายพันธะ ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์การแพร่ของออกซิเจนเข้าไปในพลาสติกมีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกซิเดชันด้วย เนื่องจากอุตสาหกรรมการฉายรังสีทำในขณะที่มีอากาศ

ผลของพันธะเชื่อมโยงที่มีต่อพอลิเมอร์

1. พันธะเชื่อมโยงทำให้มวลโมเลกุลของพอลิเมอร์สูงขึ้น ส่งผลให้เมื่อนำพอลิเมอร์ไปหลอม ความหนืดจะเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวจะสูงขึ้น ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น มีความคงรูปร่างดีขึ้น ค่ามอดูลัสลดลง และความทนแรงดึงสูงขึ้นด้วย แต่ถ้าพันธะเชื่อมโยงมากเกินไป ความยาว ณ. จุดขาด และความทนแรงดึงจะลดลง
 2. พอลิเมอร์ที่เกิดพันธะเชื่อมโยง หากนำมาหลอมแล้วทำให้เย็นตัวลงพบว่าความเป็นผลึกลดลง
- เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า
 หนาวของชั้นลามลลา (Lamella) ลดลง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พันธะเชื่อมโยงไม่มีผลต่อความหนาแน่น
4. ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์จะลดลง เพียงแต่บวมตัวเพราะพันธะเชื่อมโยงยึดโซ่พอลิเมอร์ไว้ พันธะเชื่อมโยงมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าและแสง แต่อาจมีผลข้างเคียงต่อการฉายรังสีเพื่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง โดยจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้า
5. พันธะเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์มีส่วนที่ไม่ละลายในตัวทำละลายขณะร้อน เรียกว่า เจล(Gel fraction) ยิ่งมีจำนวนพันธะเชื่อมโยงมาก พอลิเมอร์จะมีเจลมาก
6. เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า หน่วยความจำ(Memory effect)ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้กับพลาสติกหัดตัวได้เมื่อถูกความร้อน

เปรียบเทียบการเกิดพันธะเชื่อมโยงเมื่อใช้รังสี และสารเคมี

ตารางที่ 2.4 แสดงผลที่เกิดขึ้นเมื่อใช้รังสี และสารเคมีช่วยให้เกิดพันธะเชื่อมโยง

	รังสี	สารเคมี
อุณหภูมิขณะทดลอง	เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ	เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิขณะนั้นพอลิเมอร์อยู่ในลักษณะหลอม
การกระจายของพันธะเชื่อมโยง	เกิดในส่วนอสัณฐาน และพื้นที่ผิวเป็นส่วนมาก	มีการกระจายของพันธะเชื่อมโยงอย่างทั่วถึงในระบบ
การเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกเมื่อนำมาหลอมและทำให้เย็น	ความเป็นผลึกลดลงอย่างชัดเจนตามปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น	ความเป็นผลึกก่อนและหลังหลอมแล้วทำให้เย็นไม่ต่างกันมากนัก
สิ่งปนเปื้อน	ไม่มี	อาจมีการตกค้าง
ปัญหา	ความไม่สม่ำเสมอของความเข้มที่วัสดุได้รับ เนื่องจากความหนาของวัสดุทำให้การกระจายของพันธะเป็นแบบไม่ทั่วถึง	ไม่มีปัญหา

ข้อดีของการฉายรังสี

1. สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าในกระบวนการทางเคมีปกติ
2. สามารถทะลุทะลวงได้ดี ถึงแม้ว่ารังสีแกมมาจาก Co-60 สามารถทะลุทะลวงได้มากถึง 12 นิ้ว

(300 mm.) แต่จะเคลื่อนที่ในอัตราช้า และใช้เวลานาน ขณะที่รังสีอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในอัตราที่รวดเร็วกว่า แต่สามารถทะลุทะลวงได้ในความหนาเพียง 0.36 นิ้ว (10 mm.) ด้วยเหตุนี้ ผลผลิตที่เกิดจากการฉายรังสี 90% จึงถูกผลิตโดยใช้แหล่งอิเล็กตรอนพลังงานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเป็นต้น และตั้งชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ไม่จำเป็นต้องใช้สารตัวเติมพวกสารริเริ่ม หรือตัวเร่งปฏิกิริยา(Catalyst)ทำให้สารปราศจากสิ่งปนเปื้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสะอาดสูง
4. ใช้ได้กับมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถเกิดโครงสร้างร่างแหได้โดยตัวริเริ่มทางเคมี
5. ความว่องไวของปฏิกิริยาไม่ลดลงแม้ว่าเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและเกิดโครงสร้างร่างแหแล้ว
6. มีผลกระทบต่อสารเติมแต่ง(Additive) ที่มีอยู่ในชิ้นงานพอลิเมอร์น้อยมาก
7. สามารถทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้
8. สามารถควบคุมผลิตภัณฑ์ได้ มีความน่าเชื่อถือ
9. ช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการผสม และการเก็บสารเคมีที่ต้องใช้ในกระบวนการ

ข้อเสียของการฉายรังสี

1. การติดตั้งเครื่องฉายรังสีแกมมามีราคาแพง
2. ต้องการดูแลรักษา และบุคลากรผู้ชำนาญงานโดยเฉพาะ
3. มีศักยภาพในการทำอันตรายสูง

รังสีแกมมาจัดเป็นรังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนโดยทางอ้อม การใช้ รังสีแกมมาจาก Co-60 เนื่องจากมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซโทปต่างๆ ที่แผ่รังสีชนิดเดียวกัน และมีครึ่งชีวิตที่พอเหมาะคือ 5.25 ปีซึ่ง Co-60 มีความคงทนภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณรังสีสูง และสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส โดย Co-60 ให้รังสีแกมมา 2 โฟตอนต่อการสลายตัวหนึ่งนิวเคลียส โดยพลังงานทั้งสองเท่ากับ 1.17 MeV และ 1.33 MeV ตามลำดับ หรือคิดโดยเฉลี่ยแล้วให้พลังงานโฟตอน 2.5 MeV ต่อการสลายตัวหนึ่งครั้ง ในกระบวนการ ฉายรังสีในอุตสาหกรรมซึ่งจะใช้ต้นกำเนิด Co-60 ที่ให้ความแรงรังสีระดับ หมั่นและแสนคูรี ลักษณะของต้นกำเนิดอาจเป็นแท่งกระบอก เป็นแผ่น เป็นเม็ด บรรจุในท่อเหล็กกล้าไร้สนิม หรือแบบอื่นๆ ตามแต่ความสะดวก ดังนั้นการใช้รังสีแกมมาที่มีความทะลุทะลวงสูง สามารถฉายรังสีได้อย่างต่อเนื่อง เสื่อมสภาพได้ช้า และไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีบ่อยครั้ง

เนื่องจากการฉายรังสีแสดงถึงคุณสมบัติในการควบคุมการซึมผ่าน และความเข้มได้ ซึ่งสมบัติพิเศษนี้จึงนำมาใช้ในการสังเคราะห์และปรับปรุงพอลิเมอร์พวกวัสดุชีวภาพ โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้การฉายรังสีของพวกวัสดุชีวภาพ และยาที่ใช้กับสิ่งมีชีวิต จึงเป็นที่สนใจและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการนำไปใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่

1. การเตรียมไฮโดรเจล
2. ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของผิววัสดุชีวภาพ
3. ใช้สังเคราะห์พวก Microsphere
4. เป็นตัวก่อให้เกิดโครงสร้างร่างแหบนพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำและพวกไฮโดรเจล

2.4.1 อันตรกิริยาของรังสีต่อสาร (Interaction of Radiation with Matter)[8]

การทำให้อะตอมแตกตัว (Ionization)

รังสีทำให้ไอออนแตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ พลังงานส่วนใหญ่เสียไปในแบบทุติยภูมิ เมื่ออนุภาคหรือรังสีเสียพลังงานไปตลอดเวลาที่เคลื่อนที่ จนพลังงานจลน์หมดสิ้นไปอนุภาคก็จะหยุดเคลื่อนที่และถูกสารดูดไว้ในที่สุด

1. การแตกตัวเป็นไอออนจำเพาะ (Specific ionization)

เป็นจำนวนคู่อิออนที่เกิดเมื่ออนุภาควิ่งผ่านสารระยะทาง 1 เซนติเมตร ซึ่งขึ้นกับค่ามวลประจุและพลังงานของอนุภาคพร้อมกับชนิดอะตอมของสาร โดยทั่วไปอะตอมของธาตุหนัก (Z สูง) จะแตกตัวเป็นไอออนได้ง่ายกว่าอะตอมของธาตุเบา เนื่องจากอิเล็กตรอนธาตุหนักวิ่งโคจรไกลจากนิวเคลียส จึงมีแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าและหลุดง่ายกว่าอีกด้วย

2. การแตกตัวเป็นไอออนแบบทุติยภูมิ (Secondary ionization)

เมื่อมีการแตกตัวเป็นไอออนเกิดขึ้นอิเล็กตรอนอิสระหรือไอออนลบมีพลังงานจลน์สูงจะไปชนอะตอมอื่น ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนต่อไปอีก เรียกว่า แบบทุติยภูมิ ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องวัดรังสี

3. การแตกตัวเป็นไอออนแบบทางอ้อม (Indirect ionization)

อนุภาคที่ไม่มีประจุ เช่น นิวตรอน ไม่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้โดยตรงจึงต้องทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับอะตอมแล้วเกิดอนุภาคที่มีประจุ เช่น โปรตอน , แอลฟา อนุภาคนี้จะไปชนอะตอมและเกิดการแตกตัวเป็นไอออนต่อไปได้ เช่น $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)^7\text{Li}$

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของรังสี

ชนิด	ประจุ	มวล (u)	พิสัย อากาศ (ซม.)	ชนิดการเกิด ไอออน
แอลฟา	+2	4	8	โดยตรง
เบตา	+1	1/1836	13	โดยตรง
นิวตรอน	0	1	ยาว	ทางอ้อม
แกมมา	0	0	ยาวมาก	ทางอ้อม

อันตรกิริยาของนิวตรอน

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ จึงไม่ก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในสารได้โดยตรงแต่เกิดในทางอ้อม คือ นิวตรอนจะส่งผ่านพลังงานจลน์ให้แก่นิวเคลียสของธาตุมามากๆ เช่น โปรตอน ซึ่งเป็นนิวเคลียสของไฮโดรเจน หลุดออกไปจากอเล็กตรอนที่โคจรรอบกลายเป็นไอออนคู่ และก่อให้เกิดการแตกตัวไอออนแบบทุติยภูมิต่อไปอีก หรืออีกวิธีหนึ่งเมื่อนิวตรอนวิ่งเข้าชนนิวเคลียสจะกระตุ้นให้นิวเคลียสไปอยู่ในสภาวะตื่นตัวในการลดระดับพลังงานสู่สภาวะพื้น จึงมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีชนิดต่างๆ และรังสีเหล่านี้จะไปก่อให้เกิดการแตกตัวไอออนแบบทุติยภูมิต่อไป ปฏิกริยาของนิวตรอนต่อธาตุต่างๆ มักจะเป็นปฏิกริยานิวเคลียร์ประเภทของการฉายรังสี แบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. รังสีทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionizing radiation) เกิดจากไอโซโทปรังสี ได้แก่ โคบอล-60 สตรอนเตียม-90 และซีเซียม-137 พลังงานในกลุ่มนี้ได้แก่

- ก. รังสีแกมมาเป็นพลังงานที่แผ่ออกจากนิวเคลียสของอะตอมธาตุกัมมันตภาพรังสี ในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ โมเลกุลที่รังสีผ่านจะแตกตัวเป็นไอออนได้มาก มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากแหล่งกำเนิดรังสีควบคุมยาก เวลาในการใช้งานนาน
- ข. ตัวเร่งล้าอเล็กตรอน เป็นเครื่องมือที่ก่อให้เกิดการแตกตัวอีกชนิดหนึ่งเกิดจากการให้ความร้อนกับแผ่นโลหะจนอเล็กตรอนหลุดออกมาสามารถควบคุมปริมาณของอเล็กตรอนและใช้สะดวก

เอกสารนี้เก็บไว้เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Nonionizing radiation) เกิดจากเครื่องเร่งอิเล็กตรอน ได้แก่ เรโซแนนท์ ทรานสฟอรมเมอร์ อิเล็กตรอนจากเครื่องเหล่านี้มีอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยกว่า รังสีไอโซโทป แต่จะควบคุมการทำงานได้ง่ายกว่า และสามารถปิดเครื่องได้เมื่อไม่ต้องการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วนำมาใช้ในงานที่ต้องการความรวดเร็วในการผลิต เช่น การให้ความร้อน การทำให้แห้ง และการบ่มพลังงานในกลุ่มนี้ได้แก่

- ก. รังสีอัลตราไวโอเล็ต ต้นกำเนิดของรังสี ได้แก่ พลาสมา-อาร์ค คาร์บอน-อาร์ค และลวดทังสเตน มีพลังงานในการทะลุทะลวงพอเพียงสำหรับแผ่นฟิล์มบาง และบริเวณพื้นผิวของพลาสติกเท่านั้นใช้ในงานเคลือบและงานพิมพ์
- ข. รังสีอินฟราเรด หรือพลังงานความร้อนนำมาใช้ในงานเทอโมฟอร์มมิง การอัดรีดแผ่นฟิล์ม การจัดเรียงตัว ลามิเนต การทำให้แห้งและการบ่ม
- ค. พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า นำมาใช้ในงานเชื่อมผลิตภัณฑ์ ให้ความร้อนแก่พลาสติกผสมโลหะ ก่อนผ่านกระบวนการผลิต การบ่มเพื่อการยึดติด
- ง. พลังงานความถี่คลื่นวิทยุ นำมาใช้ในงานให้ความร้อนพลาสติกก่อนผ่านกระบวนการผลิต การบ่มเรซิน การขยامตัวเม็ดพอลิสไตรีน การหลอม หรือการยึดติดพลาสติกด้วยความร้อนและการทำให้แห้ง
- จ. ไมโครเวฟ นำมาใช้งาน การบ่ม การให้ความร้อนก่อนผ่านกระบวนการผลิต การหลอมและการทำให้แห้ง

หน่วยวัดปริมาณรังสี[8]

ปริมาณรังสี หมายถึง พลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืนต่อหน่วยมวลสารของตัวกลางหรือวัตถุที่ได้รับรังสี เรียกว่า แอฟซอพโดส หรือโดส มีหน่วยเป็น เรด (rad) วัตถุใดได้รับรังสีแล้วรังสีนั้นถ่ายเทพลังงานให้แก่วัตถุมีค่าเท่ากับ 100 เอร์็ก (erg) ต่อกรัมของวัตถุ หมายความว่าวัตถุนั้นได้รับรังสี 1 เรด หรือ ในหน่วย S.I. เรียกว่า เกรย์ (gray) ซึ่งหมายถึง การถ่ายเทพลังงานของรังสีให้แก่วัตถุมีค่าเท่ากับ 1 จูล (joule) ต่อมวลสาร 1 กิโลกรัม

1,000 เรด เท่ากับ 1.0 กิโลเรด (krad)

100 กิโลเรด เท่ากับ 1.0 กิโลเกรย์ (kgay)

1 กิโลเกรย์ เท่ากับ 0.1 เมกกาเรด (Mrad)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อจำกัดบางประการเกี่ยวกับเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความเข้มรังสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. ความเข้มรังสีต่ำ 10 Gy ถึง 1 kGy สำหรับยับยั้งการเติบโตของเชื้อโรค และการติดเชื้อ
2. ความเข้มรังสีปานกลาง 1 kGy ถึง 100 kGy ใช้สำหรับ pasteurization หรือ sterilization และ polymerization
3. ความเข้มรังสีสูง >100 kGy ใช้ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงและการปรับปรุงพอลิเมอร์

ตัวอย่างการใช้สารรังสีเพื่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมได้แก่

- ก. การฆ่าเชื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ด้วยรังสี (Radiation sterilization) ฆ่าเชื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์โดยใช้ความร้อนหรือสารเคมีนั้นมีข้อจำกัด กล่าวคือ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ เช่น ethylene oxide อาจตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ และจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ได้ ส่วนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนกับผลิตภัณฑ์บางอย่างที่ไม่ทนความร้อน เช่น พลาสติก ฯลฯ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเสียหาย การใช้รังสีในการฆ่าเชื้อจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว
- ข. การฉายรังสีอาหาร (Food irradiation) นอกการถนอมอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บ โดยใช้ความร้อนหรือสารเคมีหรือความเย็นแล้ว การใช้รังสีเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการถนอมอาหารได้ โดยรังสีแกมมาจะไปทำลายหรือรบกวนระบบเจริญเติบโต และการแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหาร ทำให้จุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโตหรือตาย หรือทำให้กระบวนการชีวเคมีของพืช เช่น ผักผลไม้ไม่เกิดซ้ำลงทำให้ผลไม้สุกช้าลงและชะลอการงอกของพืชประเภทหัว เช่น มันฝรั่ง หอมหัวใหญ่ การฉายรังสีอาหารได้รับการยอมรับจากองค์การอนามัยโลก (WHO) องค์การอาหารและเกษตร (FAO) และทบวงพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ว่ามีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคอาหารหากผ่านการฉายรังสีไม่เกินในปริมาณไม่เกิน 10 kGy

การเสริมคุณภาพน้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี (Radiation vulcanization of natural rubber latex) การวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยรังสีเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถใช้แทนวัลคาไนซ์ได้ด้วยสารเคมี วิธีการทางเคมีอาจทำให้สารเคมีตกค้างและเป็นอันตรายต่อผู้ใช้หากมีการสัมผัสโดยตรงอีกทั้งต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนการวัลคาไนซ์น้ำยางด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค. รังสีทำได้โดยใช้สาร senzitizer (3% CCl_4) ผสมน้ำยางที่มีความเข้มข้นประมาณ 60% แล้วนำไปผ่านรังสีแกมมา วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อน ดังนั้นการวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยรังสีนอกจากจะปลอดภัยจากสารเคมีตกค้างแล้ว ยังเป็นการประหยัดพลังงานในการผลิตอีกด้วย
- ง. การเสริมคุณภาพฉนวนสายไฟฟ้า(Radiation crosslink of wires and cable) รังสีแกมมาสามารถทำให้อะตอมของธาตุเกิดพันธะเชื่อม โยงขึ้นภายในวัสดุที่ใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้า เช่น Poly(vinyl chloride: PVC) และ Polyethylene(PE) การเกิดพันธะเชื่อม โยงทำให้วัสดุพอลิเมอร์เกาะกลุ่มกันเองเป็นร่างแหหรือ ตาข่ายที่มีความคงทนต่อแรงดึง การกัดกร่อน ละเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีขึ้น ทำให้อาจลดความหนาของฉนวนลงได้
- จ. การบำบัดน้ำเสียด้วยรังสี (Radiation treatment of sewage sludge) น้ำทิ้งจากชุมชนในเมืองซึ่งเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก หากไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติแล้วจะทำให้เชื้อ โรคในน้ำทิ้งแพร่กระจายไปสู่ที่ต่างๆ การใช้รังสีเพื่อฆ่าเชื้อโรคนอกจากจะทำให้ น้ำใสสะอาดปราศจากเชื้อโรคก่อนปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะซึ่งเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมแล้วน้ำทิ้งบางส่วนอาจนำกลับมาใช้เพื่ออุปโภคบริโภคใหม่ได้ และตะกอนของน้ำทิ้งยังสามารถนำไปเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ปราศจากเชื้อโรคอีกด้วย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Kiatkamjornwong, K. Mongkolsawat และ M. Sonsuk(2002)[9] ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุอุดซับน้ำยั้งยวดจากแป้งมันสำปะหลังต่อกิ่งกับ โคพอลิเมอร์ชนิด acrylamide และ maleic acid โดยการใช้การฉายรังสีแกมมาเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ศึกษาความเข้มของรังสีที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาและอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับ โคพอลิเมอร์งานวิจัยนี้จะอธิบายถึงกลไกการถ่ายโอน โชน ในการต่อกิ่งกับ โคพอลิเมอร์ของแป้งและใช้อัตราส่วนของ acrylamide และ maleic acid บนแป้งมันสำปะหลังและอธิบายถึงพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการต่อกิ่งและการดูดซึมน้ำ

M. Zhai, F. Yoshii และ T. Kume (2002)[10] ได้ศึกษาการเตรียมแป้งเป็นแผ่นพลาสติกใสโดยการฉายรังสีแล้วกดอัดขึ้นรูปในรูปของเจลกับลำอิเล็กตรอน(EB) ที่อุณหภูมิห้อง โดยศึกษาอิทธิพลของรังสี ตัวพลาสติกไซเซออร์, น้ำและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีผลต่อคุณสมบัติแผ่นฟิล์ม หลังจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การฉายรังสี, ความแข็งแรงดึงและความเหนียวของแผ่นฟิล์มแป้งดีขึ้นเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีซึ่งเมวากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

พิจารณาจาก Gel fraction และข้อมูลจาก DSC กลีเซอรอลเอทิลีน ไกลคอล (EG), พอลิเอทิลีน ไกลคอล (PEG, 600, 1000) เป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อเพิ่มลงในแผ่นแปงผลการศึกษาพบกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดีของแปงช่วยให้ความเหนียวของแผ่นแปงดีขึ้นอย่างชัดเจน (การยืดตัวที่เพิ่มขึ้น) สถานะของน้ำมีความจำเป็นในการทำเป็นแผ่น การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนแปงในส่วนผสมความต้านทานแรงดึงของแผ่นลดลงเนื่องจากการลดลงของระดับการเชื่อมโยงของแปง นอกจากนี้ การมี PVA, พอลิเมอร์ซึ่งสายโซ่มีความยืดหยุ่นและย่อยสลายได้รวมอยู่ในแผ่นแปงทำให้คุณสมบัติของแผ่นดังกล่าวมีความยืดหยุ่น (ระยะการยืดตัว) และความแข็งแรงขณะเปียกดีขึ้นอย่างชัดเจน

N. Nagasawa, Y. Toshiaki, K. Tamikazu และ Y. Fumio(2003)[11] ได้ศึกษาไฮโดรเจลจากแปงที่สามารถย่อยสลายได้ชนิดใหม่จากอนุพันธ์ของ Carboxymethyl starch (CMS) โดยสังเคราะห์จากสารละลายความเข้มข้นสูงโดยเทคนิคการฉายรังสี ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายในการเชื่อมโยงของ CMS คุณสมบัติของไฮโดรเจลที่เกิดขึ้นจากรังสีขนาด 2 kGy ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของ CMS เพิ่มขึ้น 40%ทำให้เกิดเจลแห้ง 20-50% และ 1 กรัมเจลแห้งก็สามารถดูดซับน้ำกลั่นประมาณ 500 กรัมความสามารถในการย่อยสลายของการเชื่อมโยง CMS (ฉายในสารละลาย 50% ในขนาด 5 kGy) โดยใส่ในปุ๋ยหมักประมาณ 2 สัปดาห์พบว่าย่อยเร็วกว่าผงเซลลูโลสมาตรฐาน

A.W. Radoslaw, H. Mitomo, N. Nagasawa และ Y. Fumio (2003)[12] ได้ทำการศึกษาดูอย่าง carboxymethylcellulose (CMC) ไฮโดรเจลที่เกิดขึ้นจากการฉายรังสีที่ทำให้เกิดไอออนสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงพบว่าการบวมน้ำขึ้นอยู่กับค่า pH ที่เป็นกลางการบวมน้ำที่เพิ่มขึ้นที่ pH เป็นกลางและจากละอองของกลุ่ม carboxymethyl ในหมู่ข้างเคียงการแสดงของประจุทำให้เกิดแรงผลักระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ในโครงสร้างร่างแหทำให้เกิดการขยายตัวไฮโดรเจลในสภาพที่ relaxed เป็นเจลที่ดีและแห้งมีสมบัติเชิงกลที่ดีเป็นเพราะการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดขึ้นโดย อนุโมลอิสระบน anhydroglucose รวมทั้งมีการพบโซ่ข้างที่แตกต่างได้จากสเปกตรัม ESR ของ CMC. เห็นสัญญาณคู่ที่ชัดเจนที่ 2.0 MT เป็นของอนุโมลอิสระที่อะตอมคาร์บอน α ของกลุ่มหมู่แทนที่, R-O- และ CH-COO^- ในโมเลกุล

T. Yoshimura, R. Yoshimura, C. Seki และ R. Fujioka (2005)[13] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดใหม่จากปฏิกิริยาของแปงและ Succinic anhydride ใช้ 4-dimethylaminopyridine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและ dimethylsulfoxide esterification (DMSO) หรือน้ำเป็นตัวทำละลายตามด้วยใช้ NaOH เป็นตัวกลาง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นใน DMSO ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เช่นเมทานอลดังนั้นจึงไม่
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สามารถแยกได้โดยการตกตะกอน แต่ดำเนินการแยกโดยวิธี Precipitation ผลิตภัณฑ์แยกออกจากกัน
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อยๆ เป็นเจลจะแยกจากกัน โดยการตกตะกอน ปริมาณการแทนที่ (DS) อยู่ในช่วง 0.4-1.4 ดูดซึมน้ำสูงสุดถึง 120 g-water/g-dry ในทางตรงกันข้ามกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดในน้ำไม่ละลายในเมทานอลเพื่อการตกตะกอนในเมทานอลได้ดำเนินการในการแยกของผลิตภัณฑ์ที่มี DS ต่ำ (0.1-0.3) และการดูดซึมน้ำได้ลดลง การดูดซึมน้ำได้สูงสุดประมาณ 70 g-water/g-dry ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็พบว่าสลายตัวทางชีวภาพได้ถึง 60-80% ภายใน 20 วันซึ่งให้เห็นว่าสามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่ดี

N. Benke, E. Takács, L. Wojnárovits และ J. Borsa (2007)[14] ได้ศึกษาพบว่า Acrylamide, hydroxypropyl acrylate, hydroxypropyl methacrylate และ 2-ethylhexyl methacrylate vinyl monomers สามารถต่อกิ่งบนเซลลูโลสได้ โดยใช้เทคนิคการฉายรังสีผลของปริมาณโครงสร้างของมอนอเมอร์ ตัวแทนเชื่อมโยงและ carboxymethylation ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับต่อกิ่งในเซลลูโลส พบว่ามีข้อบกพร่องของผลของ Acrylamide (Aam), ทำให้มีการบวมตัวของกลุ่มตัวอย่างน้อยลงซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการใช้งานบางประเภทในกรณีของการลดลง Aam สามารถเพิ่มการบวมน้ำได้มากขึ้น เมื่อขึ้นงานนำมาฉายรังสีที่ความเข้มรังสีที่ปริมาณต่ำ (<5 kGy) จึงทำให้เข้าต่อกิ่งของเซลลูโลสเป็น carboxymethylated ส่งผลให้ผลผลิตในการต่อกิ่งสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แป้งมันสำปะหลังของบริษัท NEW GRADE
2. Sodium Carboxymethyl Cellulose (Na-CMC) น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 90,000 ค่าองศาการแทนที่ 0.7 ของบริษัท Fluka
3. น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy: FTIR) รุ่น FTIR Spectrum GX Perkin Elmer
2. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis: TGA) รุ่น Pyris 1 TGA
3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลของบริษัท Scientific promotion ยี่ห้อ Sartorius
4. เตาให้ความร้อน (Hot Plate)
5. มอเตอร์ปั่นกวน
6. ตู้อบ (Oven)
7. ปีกเกอร์
8. กระบวยตวง
9. แท่งแก้วคน
10. ซ้อนตักสาร
11. อลูมิเนียมฟอยล์
12. ถุงพลาสติกแบบ Zip-lock
13. แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด
14. เทปกาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 15. ผู้เขียน
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

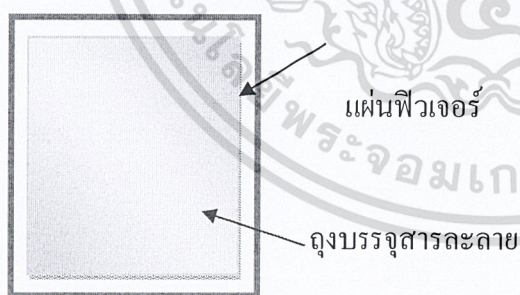
3.3.1 การเตรียมสารละลายผสมแป้งมันสำปะหลัง กับ CMC

1. ชั่งแป้งมันสำปะหลัง CMC และน้ำกลั่นตามสูตร

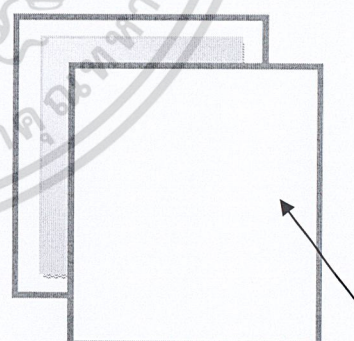
ตาราง 3.1 ตารางแสดงการใช้สารเคมีในการเตรียมสารละลายต่างๆ

แป้งมันสำปะหลัง(g)	CMC(g)	น้ำกลั่น(g)
30	0	100
25	5	100
20	10	100
0	30	100

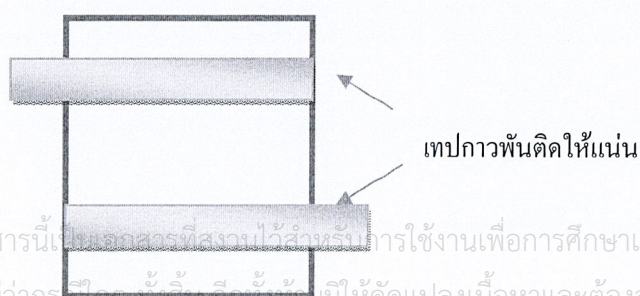
2. นำสารที่ชั่งแล้วละลายในน้ำตามตาราง 3.1 ปั่นกวนโดยใช้มอเตอร์ปั่นกวนด้วยความเร็ว 400 รอบต่อนาทีแล้วให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาที แล้วเพิ่มความเร็วรอบปั่นกวนเป็น 600 รอบต่อนาทีจนได้สารละลายข้นเหนียวใสรอให้เย็น
3. นำสารละลายที่ได้เทใส่ในถุงแบบ Zip-lock ขนาด 8x10 นิ้ว ใส่ฟองอากาศ และปิดสนิท
4. นำถุงที่บรรจุสารละลายวางบนแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ได้ขนาดพอดีปิดทับด้วยแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ขนาดเท่ากันอีก 1 แผ่นวางทับสลับกัน แล้วใช้เทปกาวพันให้แน่น เพื่อให้อยู่ในลักษณะแผ่น



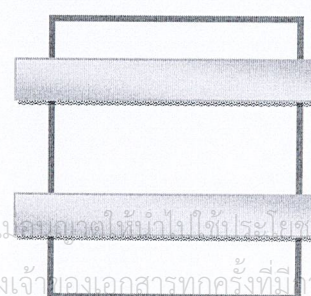
ขั้นที่ 1



ขั้นที่ 2 นำแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดมาประกบด้านบน



ขั้นที่ 3



ชิ้นงานที่พร้อมจะนำไปฉายรังสี

5. นำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส

3.3.2 การไปฉายรังสี

1. นำตัวอย่างในถุง zip-lock ที่เตรียมใน 3.3.1 ไปฉายรังสีแกมมา Co 60 ความเข้มรังสีที่ 0, 5, 10, 20 kGy ที่สำนักงานเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ
2. เทสารที่ผ่านการฉายรังสีลงในจานพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงเพื่อระเหยน้ำที่เหลือออกจะได้แผ่นฟิล์มออกมา

3.3.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล

1. การวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมี

นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งมาบดผสมกับ KBr แล้วอัดเป็นแผ่นวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วย Fourier Transforms Infrared Spectroscopy: FTIR เพื่อตรวจหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของฟิล์มหลังการฉายรังสี

2. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้หลังจากการอบแห้งมาวิเคราะห์อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน และปริมาณน้ำหนักสารที่หายไปด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis: TGA ในช่วงอุณหภูมิ 50-900 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศสถานะแก๊สไนโตรเจนเพื่อตรวจหาอุณหภูมิการสลายตัวของผสม ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในทางสูงขึ้น แสดงว่าน่าจะมีการเชื่อมโยงเกิดขึ้น

3. หาสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลาย (Gel fraction)

ตัดชิ้นงานตัวอย่างขนาด 1x1 นิ้ว ใส่ในซองตาข่ายอลูมิเนียมนำไปแช่น้ำหนักแล้ว แช่ในน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำซองขึ้นมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักของของแข็งที่ไม่ละลาย

$$\% \text{ Gel fraction} = (W_g/W_o) \times 100$$

$W_g =$ น้ำหนักหลังแช่น้ำ

$W_o =$ น้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาสสมบัติการดูดน้ำ (Water absorption)

นำกากของแข็งที่ไม่ละลายน้ำจากข้อ 3 ทุกสูตรชั่งน้ำหนักแล้ว นำมาแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง หยิบมาซับน้ำส่วนเกิน ชั่งน้ำหนัก แช่น้ำต่อและนำมาชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จดน้ำหนักของแข็งไม่ละลายน้ำ

$$\% \text{Swelling} = (W_t - W_g / W_g) \times 100$$

W_t = น้ำหนักหลังแช่น้ำที่เวลาใดๆ

W_g = น้ำหนักอบแห้งหลังแช่น้ำจากข้อ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

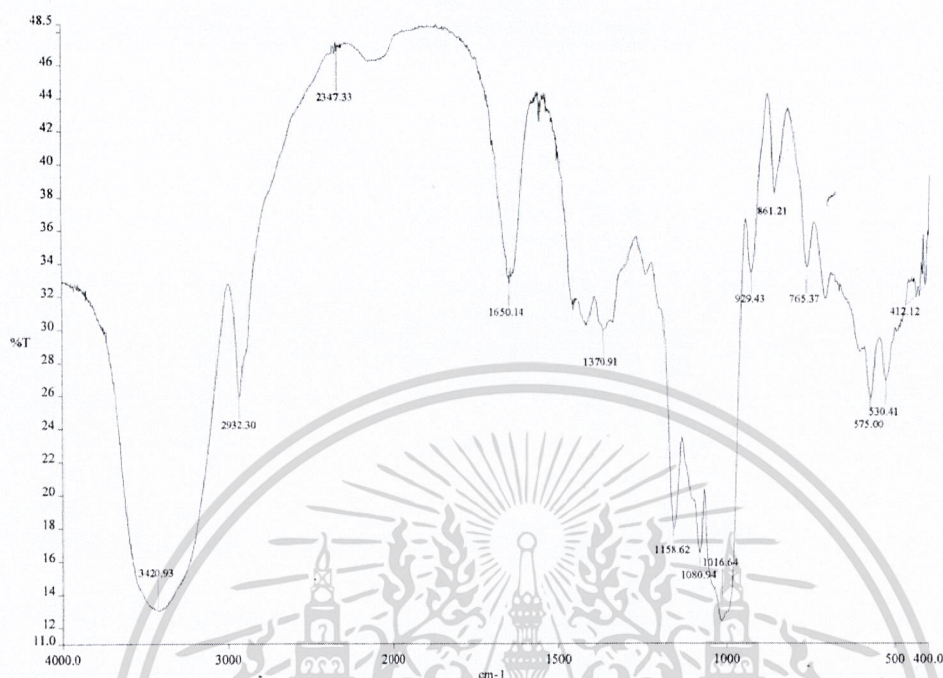
ทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังผสมกับ CMC โดยสมบัติที่ทดสอบได้แก่ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางความร้อน หาสัดส่วนของแข็งไม่ละลายน้ำ และการสมบัติการบวมน้ำ กำหนดสัญลักษณ์ของสูตรต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 สูตรการเตรียมไฮโดรเจล

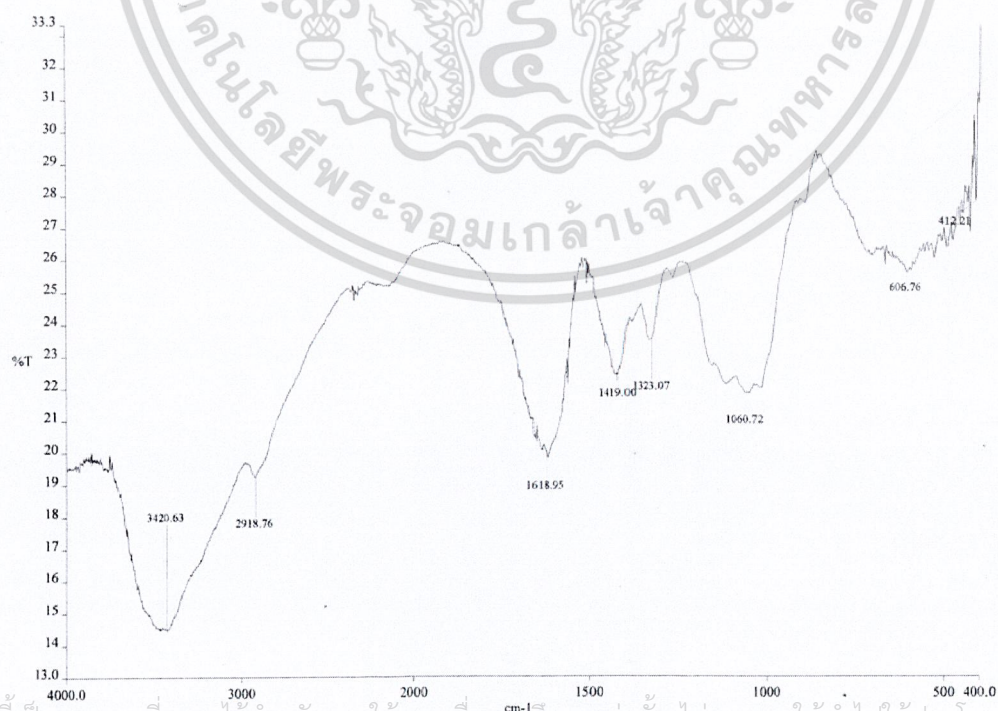
สูตร	แป้งมันสำปะหลัง (g)	CMC (g)	น้ำกลั่น (mL)	ความเข้มรังสี (kGy)
S1	30	0	100	0
S2	25	5	100	0
S3	20	10	100	0
S4	0	30	100	0
S5	30	0	100	5
S6	25	5	100	5
S7	20	10	100	5
S8	0	30	100	5
S9	30	0	100	10
S10	25	5	100	10
S11	20	10	100	10
S12	0	30	100	10
S13	30	0	100	20
S14	25	5	100	20
S15	20	10	100	20
S16	0	30	100	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน



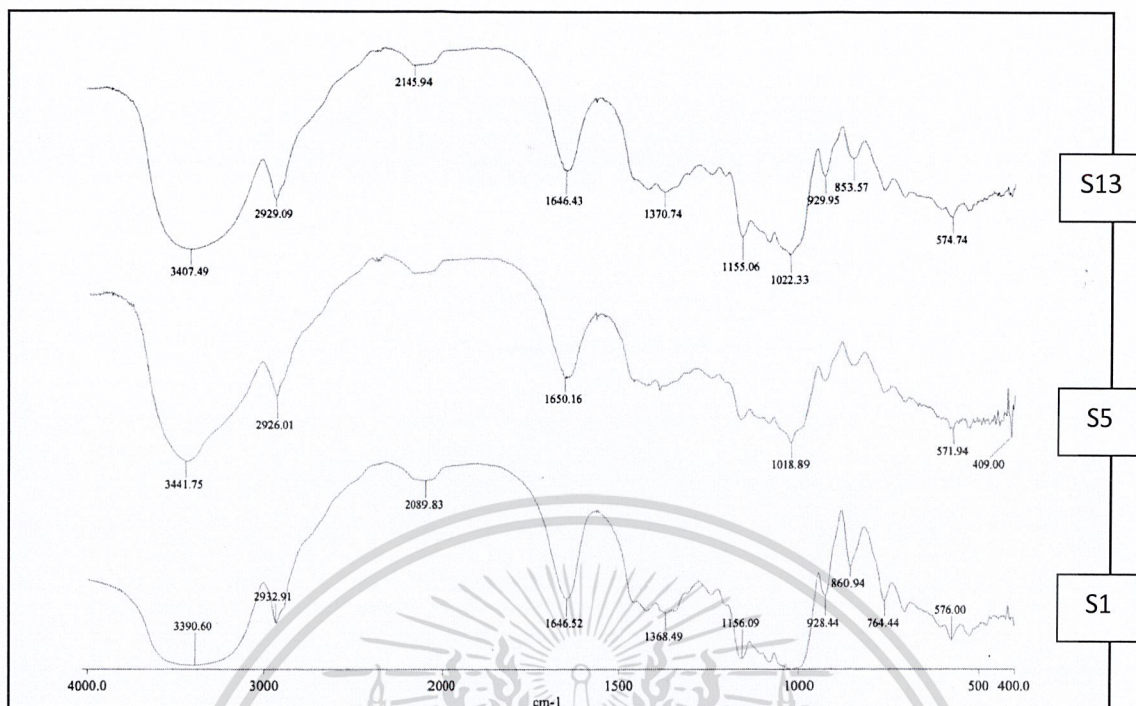
รูปที่ 4.1 IR spectrum ของน้ำมันรำปะหลัง



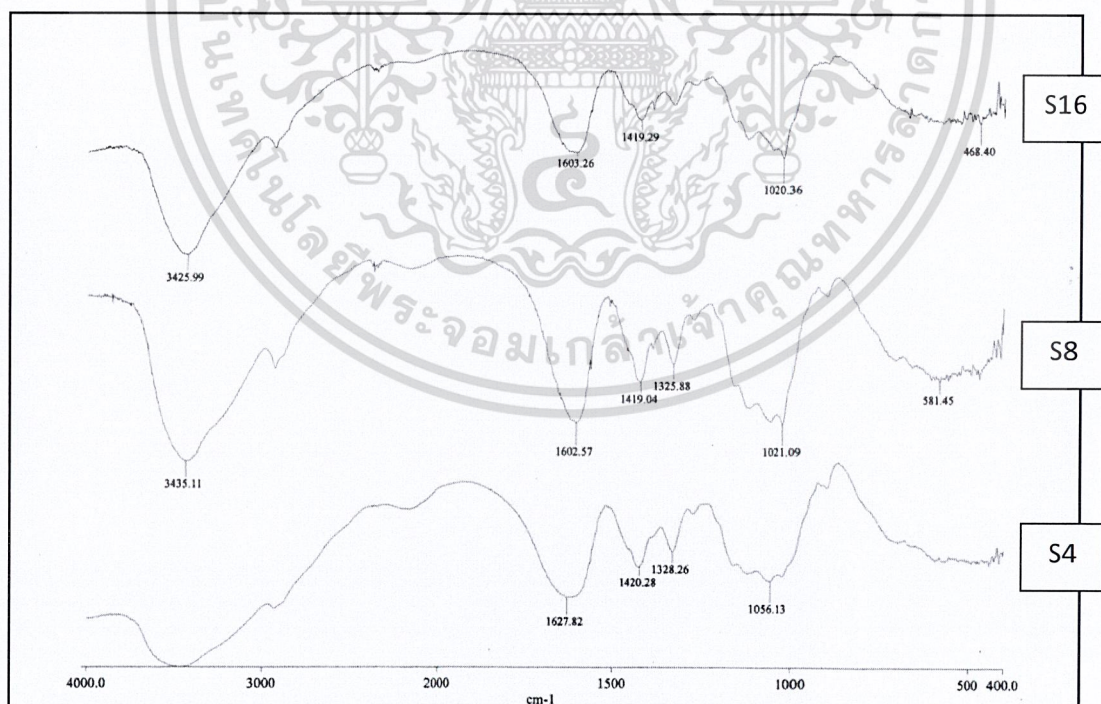
รูปที่ 4.2 IR spectrum ของ Carboxymethylcellulose (CMC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้รับข้อมูลให้ข้อมูลและต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

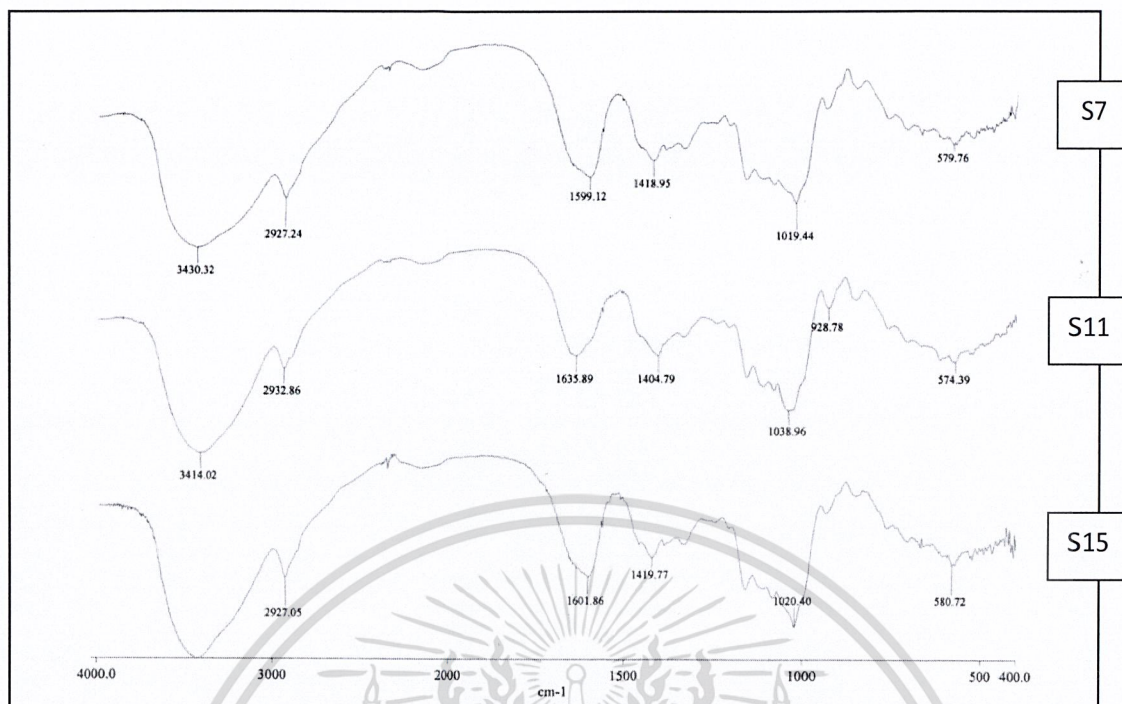


รูปที่ 4.3 IR spectrumเปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของแป้งไม่ฉายรังสี(S1)
ฉายรังสี 5 kGy(S5)และฉายรังสี 20 kGy(S13)



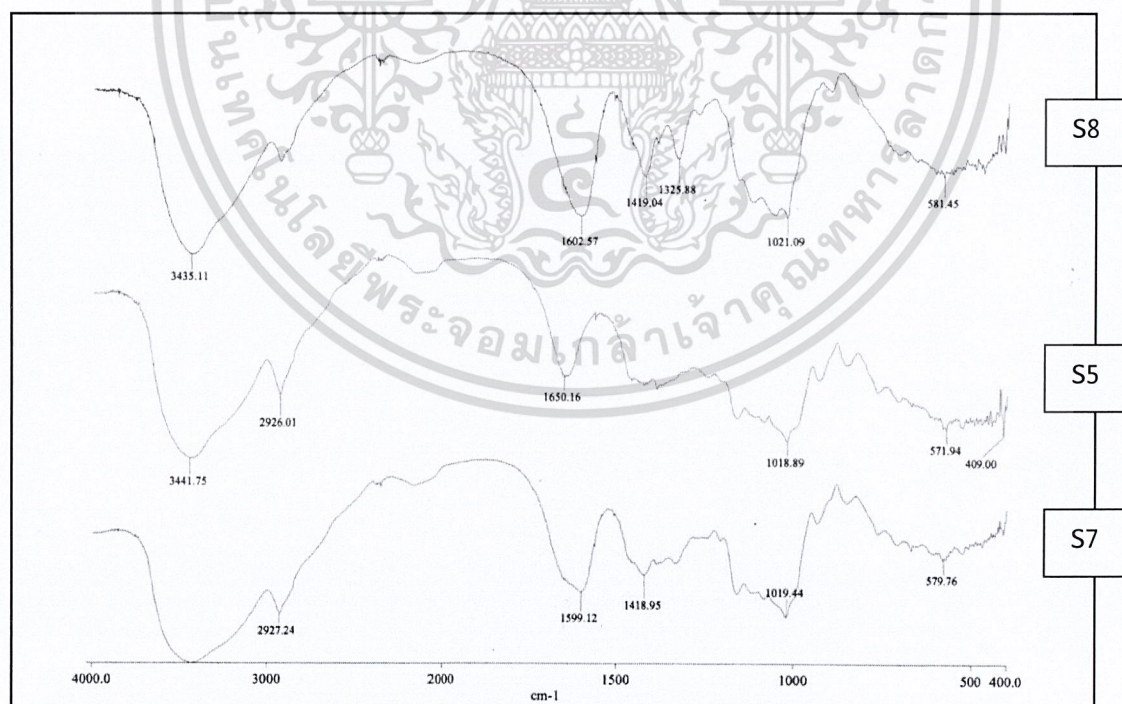
รูปที่ 4.4 IR spectrumเปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของCMC ไม่ฉายรังสี(S4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 IR spectrumเปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของแป้ง: CMC (20:10)ฉายรังสี 5 kGy(S7)

ฉายรังสี 10 kGy (S11) และฉายรังสี 20 kGy(S15)



รูปที่ 4.6 IR spectrumเปรียบเทียบตัวอย่างฟิล์มของแป้งฉายรังสี (S5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แป้ง:CMC (20:10) (S7) และ CMC (S8) ที่ฉายรังสี 5 kGy
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 IR spectrum ของการเปรียบเทียบตัวอย่าง S1, S5 และ S13 กรณีแป้งมันสำปะหลัง ก่อนฉายรังสี $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$ ปรากฏที่เลขคลื่น 1646 cm^{-1} พีก —C-O-C ปรากฏที่เลขคลื่น $1325\text{--}1419$ เลขคลื่น ช่วง $1020\text{--}1155\text{ cm}^{-1}$ ของ —C-O— stretch และยังพบพีกที่เลขคลื่น 2145 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ $\text{—C}\equiv\text{N}$ หลังฉายรังสี 5 kGy $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$ ปรากฏที่เลขคลื่น $1646\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$ ส่วนพีกยังอยู่ที่ตำแหน่งเดิม และเมื่อฉายรังสีที่ 20 kGy ส่วน —OH broad มากขึ้นแสดงว่าอนุมูลอิสระที่เกิดจากการฉายรังสีทำให้โมเลกุลของแป้งเกิดออกซิเดชันบางส่วน พบว่า ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น พีกที่เลขคลื่น 1155 cm^{-1} ชัดเจนขึ้น (3° alcohol)

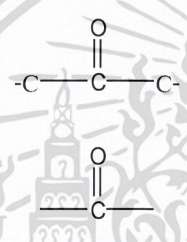
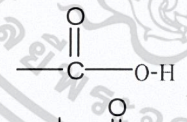
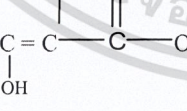
จากรูปที่ 4.4 IR spectrum ของการเปรียบเทียบตัวอย่างของ S4, S8 และ S16 $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$ ของ CMC ก่อนฉายรังสีปรากฏที่เลขคลื่น 1627 cm^{-1} แต่เมื่อผ่านการฉายรังสี 5 kGy และ 20 kGy พบว่าของ $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$ พีก CMC ปรากฏพีกที่เลขคลื่น 1603 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของหมู่ $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$ และยังมีพีกที่ 1325 cm^{-1} และ 1420 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของ $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—OH}$ ปรากฏชัดเจนขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้พีกที่ 3425 cm^{-1} มีลักษณะแหลมหรือแคบขึ้น พบว่าความเข้มรังสีเพิ่มขึ้น พีกที่ 1020 cm^{-1} ชัดเจนขึ้น (1° alcohol)

จากรูปที่ 4.5 IR spectrum ของการเปรียบเทียบตัวอย่าง S7, S11 และ S15 ซึ่งเป็นสูตรของของผสมแป้ง:CMC (20:10) เมื่อความเข้มรังสีเพิ่มจาก 5 kGy เป็น 20 kGy พบว่าพีกที่ปรากฏเป็นการรวมลักษณะของทั้งแป้งและ CMC เช่นที่เลขคลื่น $1599\text{--}1635\text{ cm}^{-1}$ เป็นของหมู่ $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—}$ ที่พบในแป้งและ CMC พีกที่พบที่ตำแหน่งอื่นจะคล้ายของแป้งเพราะในตัวอย่างนี้จะเป็นสูตรที่มีส่วนของแป้งมากกว่า

จากรูปที่ 4.6 IR spectrum ของแป้ง ของผสมของแป้ง:CMC (20:10) และ CMC เมื่อฉายรังสี 5 kGy พบว่าพีกของตัวอย่างผสม ปรากฏพีกของลักษณะที่เป็นของแป้งและ CMC ไม่ปรากฏพีกอื่น

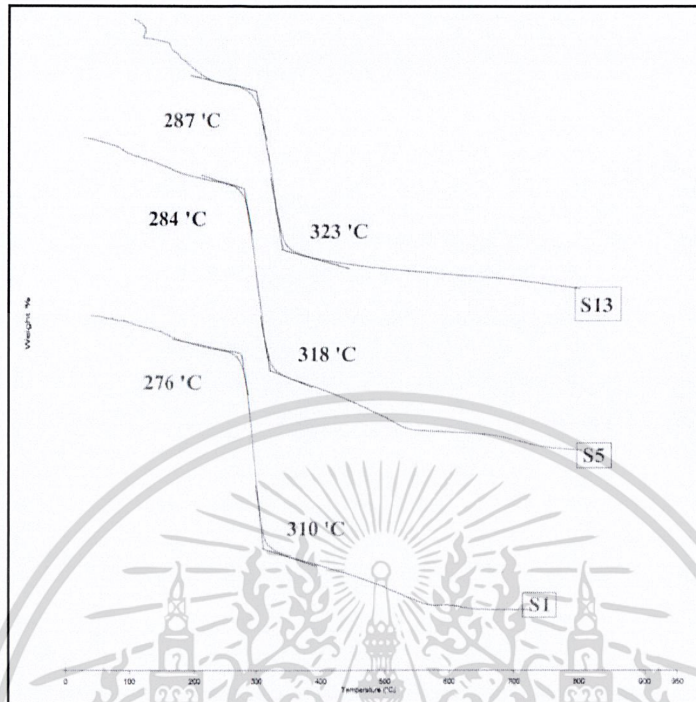
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของIR spectrum

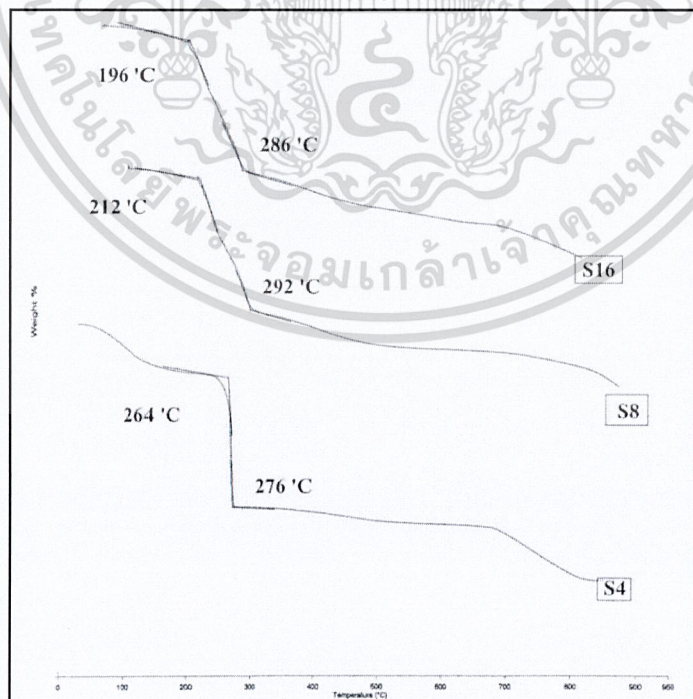
ชนิด	สูตร โครงสร้าง	ความถี่ที่ดูดกลืน(cm^{-1})	ข้อสังเกต
Intermolecular hydrogen bond	C-OH	3400 - 3420	Free monomeric acid
	-C-CH ₂ -C- -C-CH ₂ -C-	2925 \pm 10 885-930	Asymmetric stretch (CH ₂)rock (only tentative assignment) alicyclic compounds
nitrile	C-C \equiv N	2260-2210	
RCO ₂ H		~1100 1645 \pm 10	Bonding ,several bonds Stretch
Ether	-C-O-C-	1395-1440	Stretching vibrations
1° alcohol	-C-O-	1050	Stretch
2° alcohol	-C-O-	1100	Stretch
3° alcohol	-C-O-	1150	Stretch
Acid		1420 1300-1200	-O-H is plane bending -C-O stretch in dimer
β - keto		1650	-C=O stretch , -C=C- broad bond

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

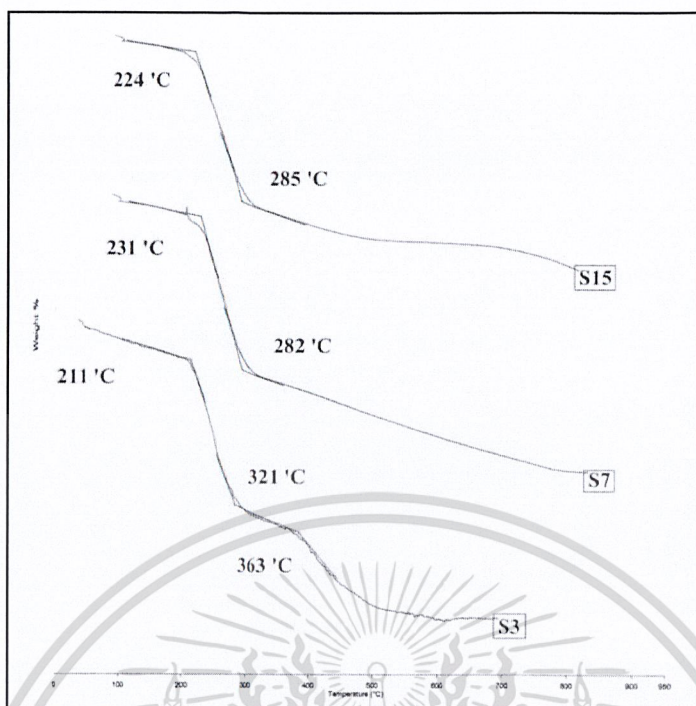


รูปที่ 4.7 TGA curves ของฟิล์มของแป้งไม่ฉายรังสี (S1) ฉายรังสี 5 kGy (S5) และฉายรังสี 20 kGy (S13)



รูปที่ 4.8 TGA curves ของฟิล์มของ CMC ไม่ฉายรังสี (S4) ฉายรังสี 5 kGy (S8) และฉายรังสี 20 kGy (S16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเพื่อลดการสูญเสียดังกล่าวเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 TGA curves ของฟิล์มผสมของแป้ง: CMC20:10 ไม่ฉายรังสี (S3) ฉายรังสี 5 kGy(S7) และฉายรังสี 20 kGy(S15)

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลอุณหภูมิและน้ำหนักของตัวอย่างที่วิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

ตัวอย่าง	S : CMC	รังสี(kGy)	T-Onset(°C)	Weight loss (%)	T _d (°C)	หมายเหตุ
S1	30:0	0	276.70	86.91	291.60	Step1
			387.69	16.78	453.65	Step2
S3	20:10	0	211.60	87.38	247.09	Step1
			363.06	32.56	440.47	Step2
S4	0:30	0	264.05	81.77	268.57	
S5	30:0	5	284.25	82.14	301.51	
S7	20:10	5	231.735	92.97	261.56	
S8	0:30	5	212.78	95.43	253.66	
S13	30:0	20	287.96	73.43	307.20	
S15	20:10	20	224.15	93.96	256.89	
S16	0:30	20	196.70	94.30	231.15	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 TGA curves ของ S1, S5 และ S13 เป็นสูตรของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังพบว่ากราฟ มีความชันเพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิที่เริ่มมีการสลายตัวทางความร้อน (T_d) ก็เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับจากการ ผ่านการฉายรังสีที่ความเข้ม 5 kGy และ 20 kGy คือเพิ่มจาก 276 °C เป็น 284 °C และ 287 °C ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดพันธะเชื่อม โยงขึ้นใน โครงสร้าง นอกจากนี้พบว่าปริมาณน้ำหนักที่หายไปลดลงจาก 86, 82 และ 73 % จากความเข้มรังสีที่เพิ่มสูงขึ้น จาก 0 kGy ไปที่ 20 kGy

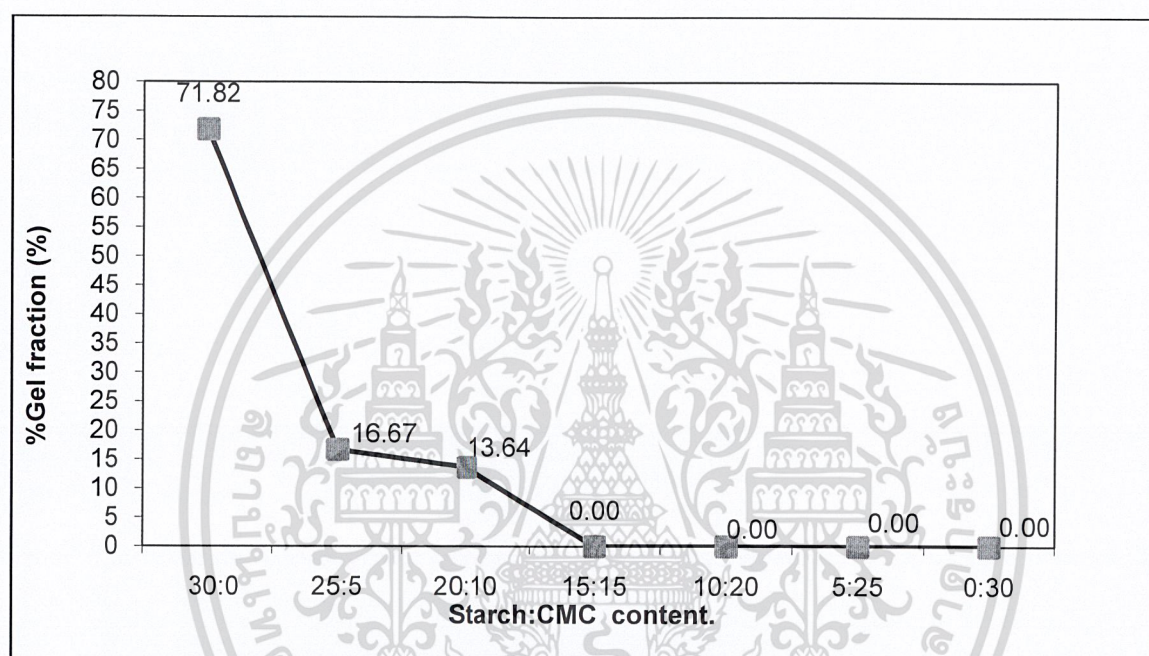
จากรูปที่ 4.8 TGA curves ของ S4, S8 และ S16 เป็นสูตรของ CMC ในสูตร S4 ที่ไม่ผ่านการ ฉายรังสีพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวทางความร้อนที่ 264 °C แต่เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มรังสี 5 kGy และ 20 kGy พบว่าค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวทางความร้อนลดต่ำลงมาอยู่ที่ 212 °C และ 196 °C ตามลำดับและเส้นกราฟมีความชันเพิ่มมากขึ้นนอกจากนี้ อุณหภูมิสลายตัวทางความร้อน (T_d) ลดลง จาก 268 °C เป็น 253 °C และ 231 °C ตามความเข้มรังสีที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า CMC ปฏิบัติการตัดสายโซ่พันธะ ทำให้อุณหภูมิลดลง นอกจากนี้พบว่าปริมาณน้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้นตามความเข้มที่สูงขึ้นจาก 81, 95 และ 94% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 TGA curves ของ S3, S7 และ S15 เป็นสูตรของของผสม สูตร S3 ที่ยังไม่ผ่านการ ฉายรังสีพบว่าฟิคแยกออกเป็นสองช่วงชัดเจน โดยอุณหภูมิเริ่มสลายตัวเกิดที่ 211 °C และ 363 °C ตามลำดับแสดงว่าแป้งและ CMC ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ความเข้มรังสี 5 kGy และ 20 kGy กลับพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวทางความร้อนเกิดที่ 231 °C และ 224 °C ตามลำดับ ซึ่งกราฟที่เห็นปรากฏว่าเป็นการสลายตัวแบบขั้นตอนเดียว หมายความว่าอาจเกิดอัตรากิริยาเกิดขึ้น ระหว่างแป้งมันสำปะหลังและ CMC เมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มรังสีเดียวกันเช่นที่ 5 kGy และ 20 kGy พบว่าอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของฟิล์มผสมระหว่างแป้ง:CMC 20:10 มีค่าอยู่ระหว่างฟิล์มแป้งและ CMC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลาย (Gel fraction)

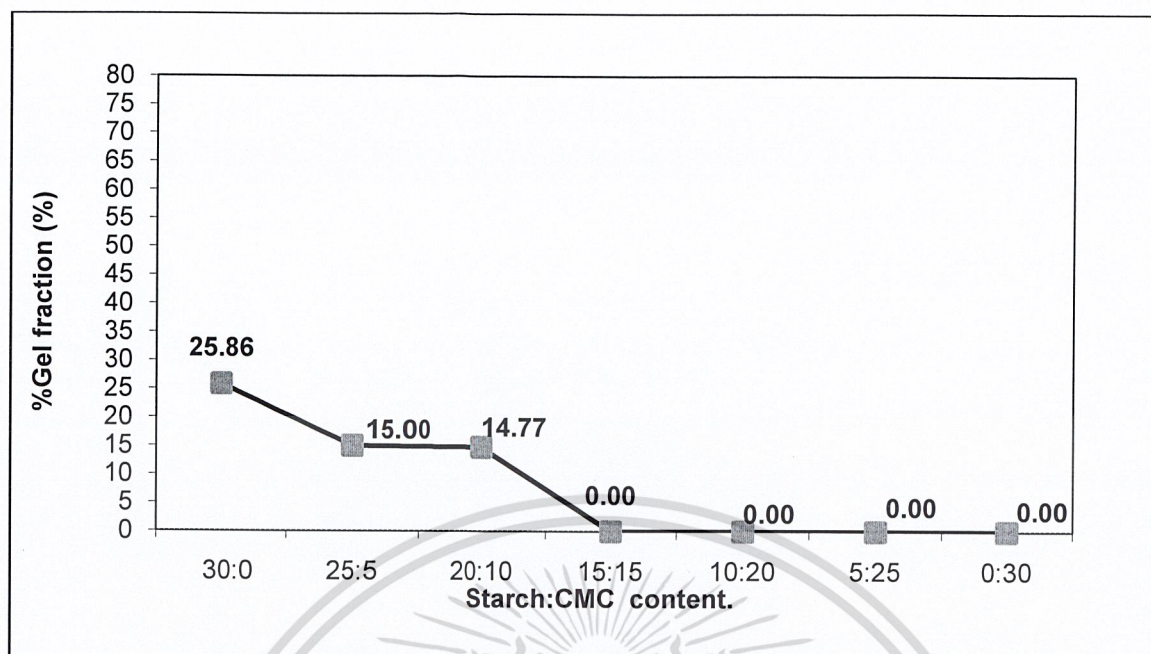
ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำหลังจากแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชม.แสดงถึงโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำเพราะเกิดจากการเชื่อม โยงและแสดงถึงความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในไฮโดรเจล ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายสูงจะหมายถึงการเกิดพันธะเชื่อมโยงมาก



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มข้นรังสี 0 kGy

จากรูป 4.10 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำของฟิล์มตัวอย่างที่ไม่ฉายรังสีเรียงลำดับได้ดังนี้ฟิล์มแป้งมีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำมากที่สุด 71.82% แสดงว่าแป้งมีแรงดึงดูดภายในโมเลกุลมากที่สุด ฟิล์มผสมระหว่างแป้งกับ CMC พบว่าเมื่อปริมาณ CMC เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 16.67% และ 13.64% ตามลำดับ สำหรับฟิล์ม CMC ละลายน้ำหมด เพราะ CMC มีหมู่ $\text{—C(=O)—O}^-\text{Na}^+$ ซึ่งเป็นเกลือละลายน้ำได้ดี

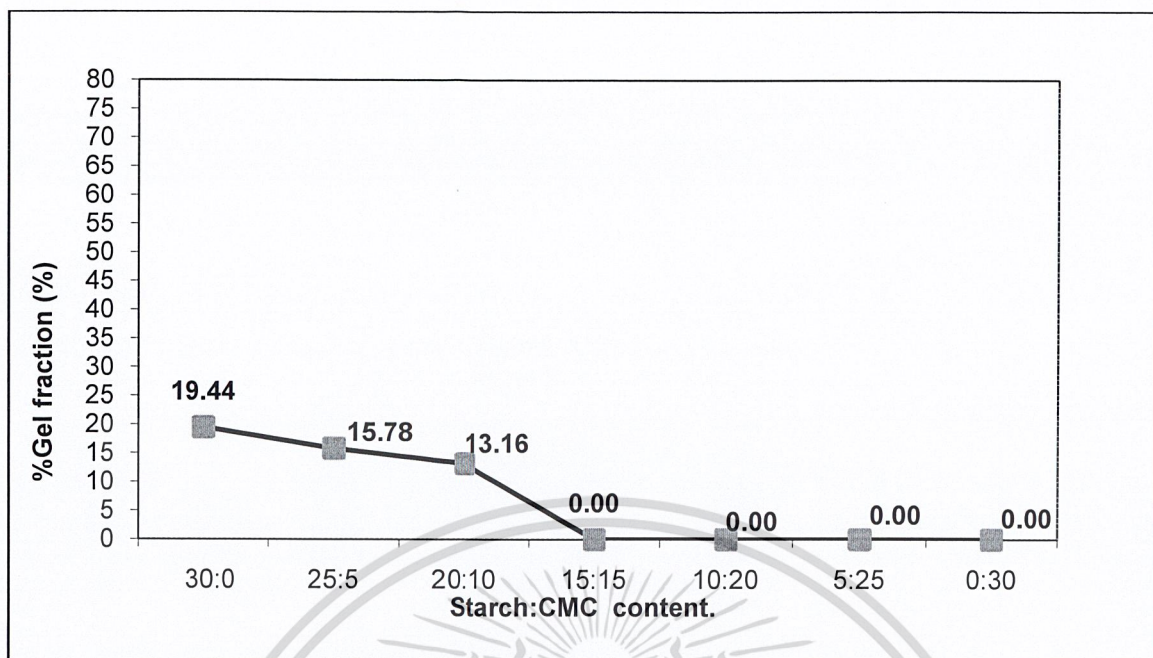
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มรังสี 5 kGy

จากรูป 4.11 เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ฉายรังสีที่ความเข้ม 5 kGy พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำเรียงลำดับได้ดังนี้ ฟิล์มแป้งมีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ 25.85% ลดลงจากไม่ฉายรังสีในรูป 4.10 แสดงว่าโมเลกุลของแป้งบางส่วนเกิดการแตกสลายระหว่างการฉายรังสี เมื่อนำมาแช่น้ำจึงละลายออกมาเหลือแต่ส่วนที่เกิดพันธะ(จากอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้น) ฟิล์มแป้งผสม CMC เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 5 kGy พบว่าเมื่อ CMC เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำลดลงจาก 15.00% เป็น 14.77% และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มผสมที่ไม่ได้ฉายรังสี (รูป4.10) พบว่าการฉายรังสีทำให้ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายมีแนวโน้มลดลง เช่น ฟิล์มแป้ง:CMC 25:5 ค่าสัดส่วนเจลเปลี่ยนจาก 16.67% เป็น15.00% ฟิล์มแป้ง:CMC 20:10 ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายจาก 13.64% เป็น 14.77% ฟิล์ม CMC พบว่าละลายน้ำหมด

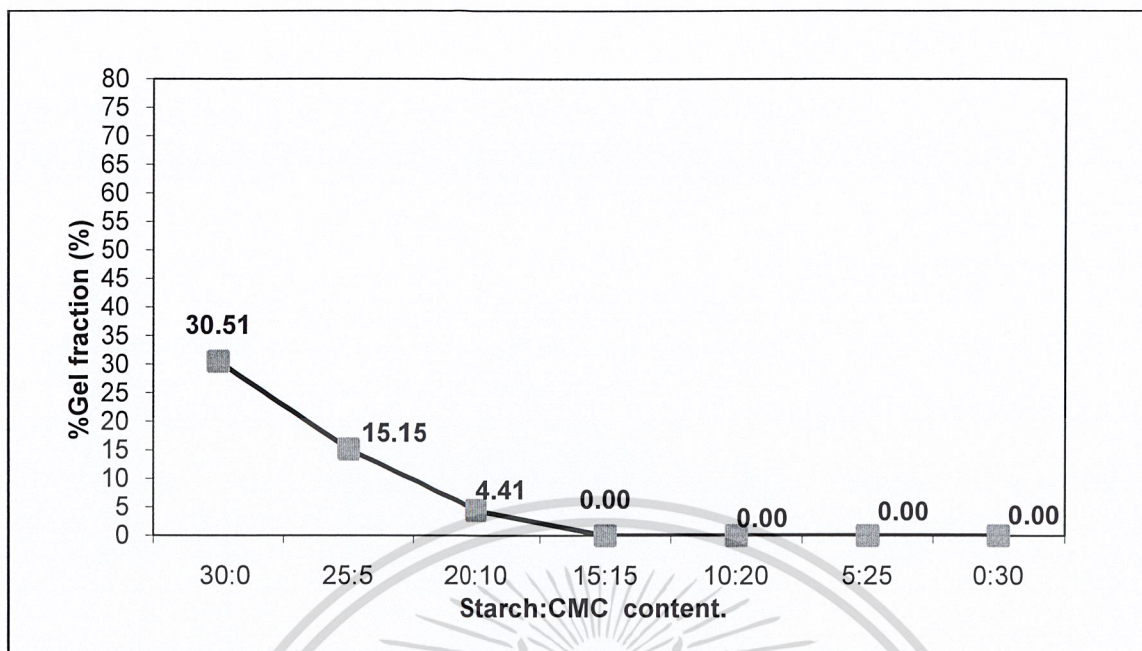
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มรังสี 10 kGy

จากรูป 4.12 เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ฉายรังสีที่ความเข้ม 10 kGy พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำของไฮโดรเจลเรียงลำดับได้ดังนี้ฟิล์มแข็งมีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ 19.44% ลดลงจากไม่ฉายรังสีแสดงว่าโมเลกุลแข็งบางส่วนถูกทำลายเมื่อเปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าที่ความเข้มรังสีเพิ่มขึ้นแข็งสลายตัวมากขึ้นจึงมีค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำลดลงจาก 71.82% (0 kGy) เป็น 19.44% (10 kGy) ฟิล์มแข็งผสม CMC เมื่อฉายรังสีที่ความเข้ม 10 kGy ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในทั้งสองสัดส่วน(เมื่อเทียบกับรังสี 5 kGy) คือที่แข็ง:CMC 25:5 ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายเท่ากับ 15.78% และที่แข็ง:CMC 20:10 ค่าสัดส่วนของแข็งที่ละลายเท่ากับ 13.16%

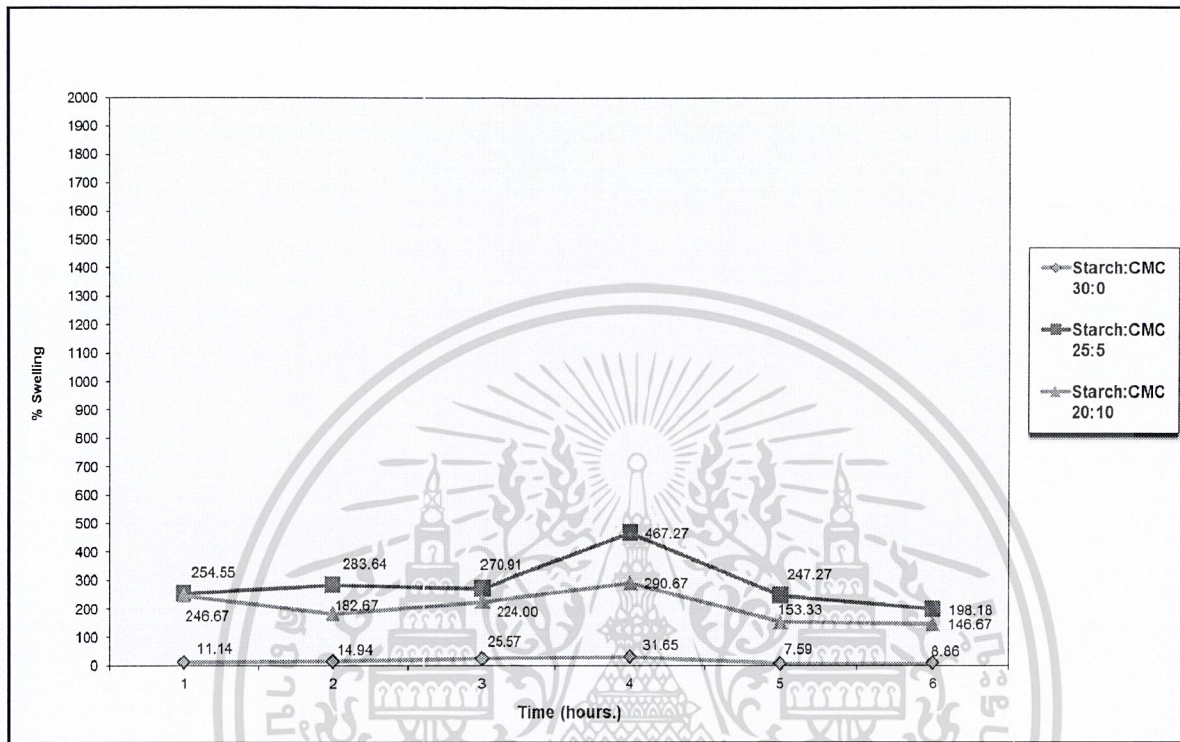
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



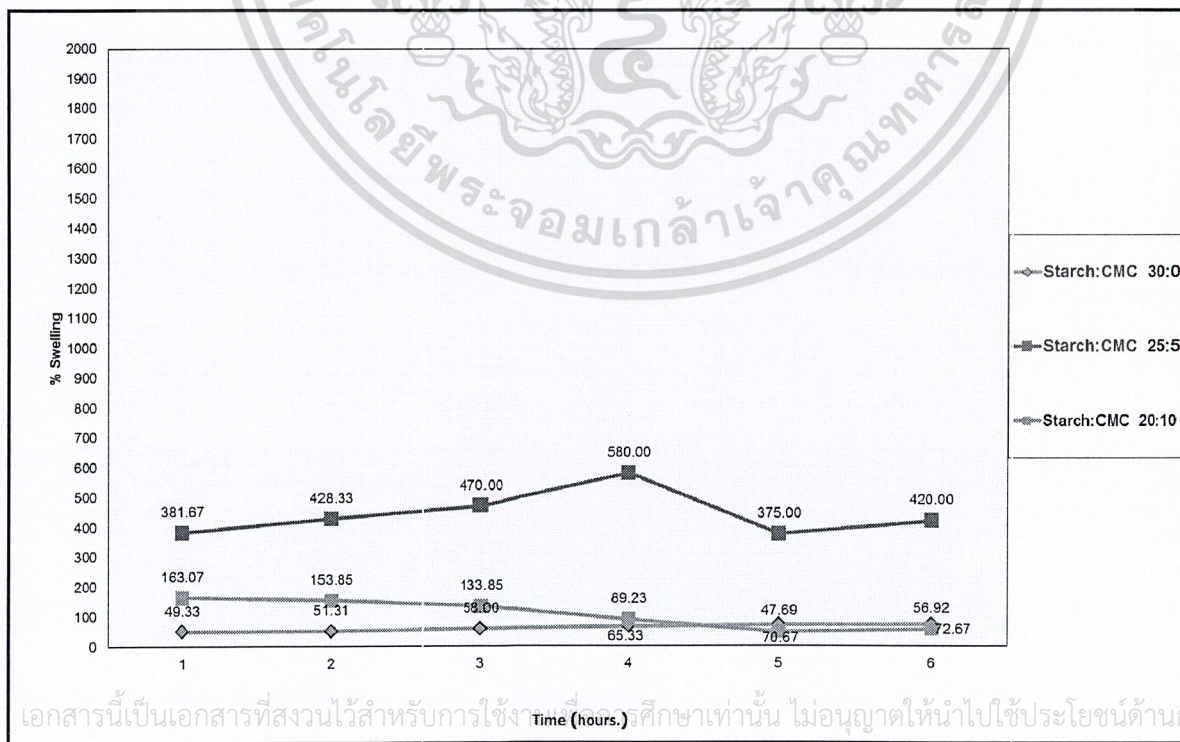
รูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงค่า%Gel fraction ของไฮโดรเจล ที่ความเข้มรังสี 20 kGy

จากรูป 4.13 เมื่อนำฟิล์มที่เตรียมได้ฉายรังสีที่ความเข้ม 20 kGy พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำเรียงลำดับได้ดังนี้ฟิล์มแห้งมีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำมากที่สุด 30.51% และสูงกว่าเมื่อฉายรังสีที่ 10 kGy (19.44%) อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มรังสี 20 kGy เกิดการเชื่อมโยงมากกว่าการแตกสลาย แสดงว่าการเชื่อมโยงเกิดขึ้นสำหรับฟิล์มแป้ง:CMC 25:5 พบว่าค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำมีค่า 15.5% ใกล้เคียงกับเมื่อฉายรังสี 5 kGy (15.00%) และ 10kGy (15.78%) แต่ฟิล์มแป้ง:CMC 20:10 พบว่าค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำมีค่า 4.41% ลดลงจากเมื่อฉายรังสี 5 kGy (14.77%) และ 10 kGy (13.16%) แสดงว่าตัวอย่างที่มี CMC เพิ่มขึ้นมีการสลายตัวมากขึ้นเมื่อความเข้มรังสีสูงขึ้น สำหรับตัวอย่างที่เป็น CMC พบว่าละลายน้ำหมดเช่นเดียวกับก่อนฉายรังสี และฉายรังสีความเข้ม 5 และ 10 kGy

4.4 การศึกษาผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อCMC ที่มีผลต่อสมบัติการดูดน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล

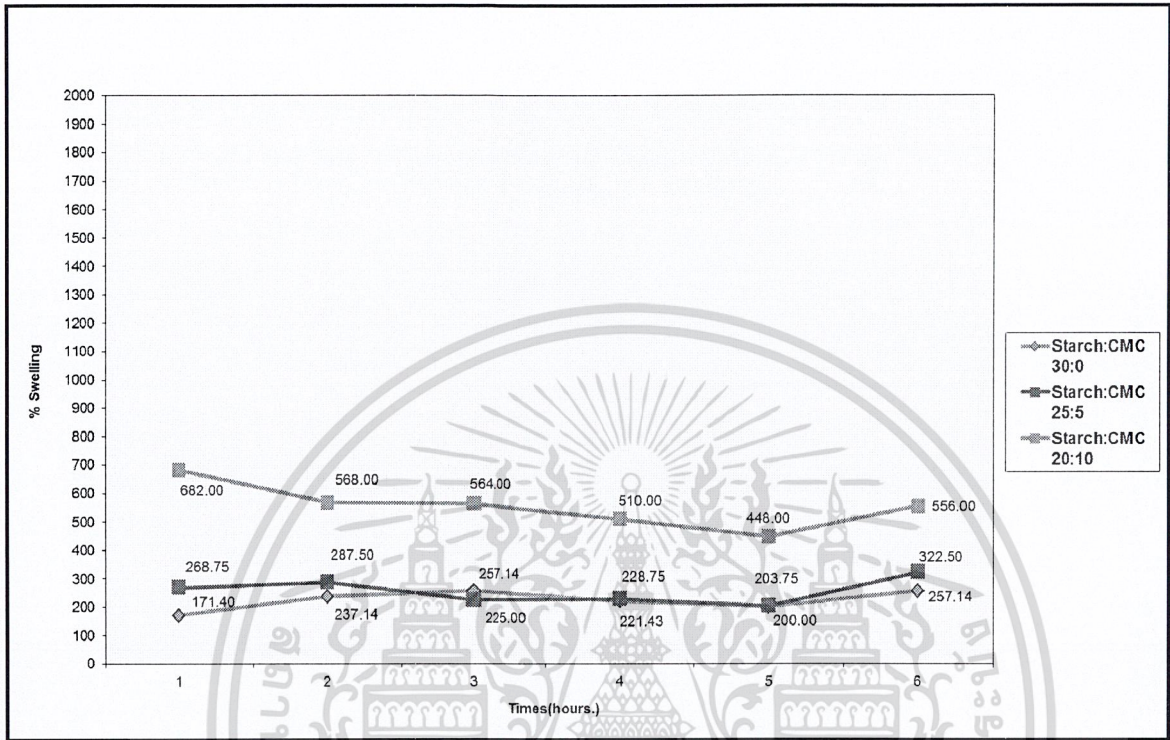


รูปที่ 4.14 แสดงการดูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGy

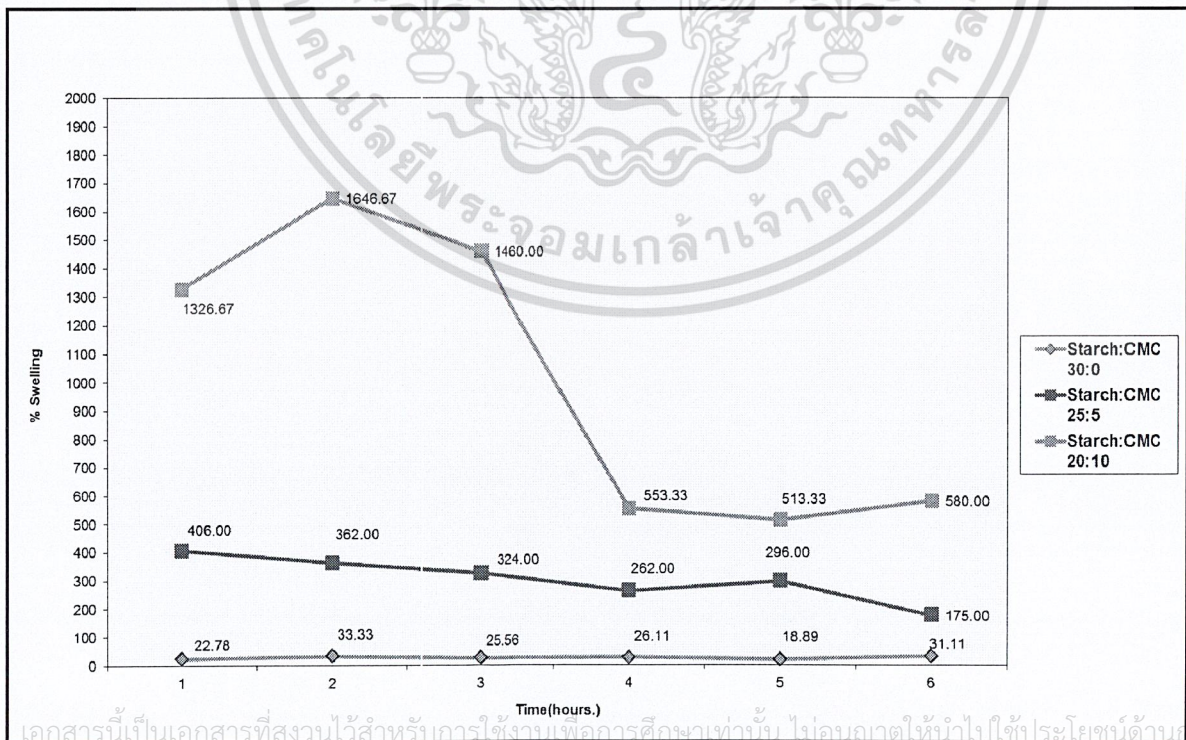


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.15 แสดงการดูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 5 kGy สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีผลต่อสมบัติการคูดน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล



รูปที่ 4.16 แสดงการคูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 10 kGy.



รูปที่ 4.17 แสดงการคูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 20 kGy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลเชิงลึกของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุที่มีความสามารถการบวมคูดน้ำได้ โดยที่ปริมาณการคูดน้ำจะแปรตามเวลาที่ใช้และพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาค่าการคูดน้ำ(% water absorption) ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงการคูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 0 kGy และ 5 kGy ตามลำดับพบว่า มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือที่ความเข้มรังสี 0 kGy พิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมีการคูดน้ำต่ำสุด คือประมาณ 11% พิล์มผสมของแป้ง:CMC 20:10 มีการคูดน้ำในชั่วโมงที่หนึ่ง 246% และค่อยๆลดลงเหลือ 146% ภายใน 4 ชั่วโมง พิล์มผสมของแป้ง:CMC 25:5 มีการคูดน้ำสูงที่สุดคือในชั่วโมงที่หนึ่ง 254% และลดลงเหลือ 198% ภายใน 6 ชั่วโมง และที่ความเข้มรังสี 5 kGy พิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้ง มีการคูดน้ำต่ำสุด คือประมาณ 50-70% ตลอด 4 ชั่วโมงที่ทำการทดลอง พิล์มผสมของแป้ง:CMC 20:10 มีการคูดน้ำในชั่วโมงที่หนึ่ง 163% และค่อยๆลดลงเหลือ 56% ภายใน 4 ชั่วโมง พิล์มผสมของแป้ง:CMC 25:5 มีการคูดน้ำสูงที่สุดคือในชั่วโมงแรก 381% และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 420% ภายใน 4 ชั่วโมง จากผลการทดลองแสดงว่าการเพิ่ม CMC เข้าในแป้งช่วยเพิ่มความสามารถการคูดน้ำของฟิล์ม เนื่องจาก CMC มีหมู่ $-COONa$ อยู่มากซึ่ง $-Na$ มีความสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีกว่าแต่พบว่าไฮโดรเจลสูตรที่มีอัตราส่วน แป้ง:CMC 25:5 ช่วยเพิ่มการคูดน้ำได้สูงกว่าไฮโดรเจลสูตรที่มีอัตราส่วนแป้ง:CMC 20:10 อาจเนื่องจากหมู่ $-COONa$ ของ CMC ไปรบกวนการเกิดผลึกของแป้ง จึงทำให้คูดน้ำลดลง

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงการคูดน้ำของไฮโดรเจลที่ปริมาณรังสี 10 kGy และ 20 kGy ตามลำดับพบว่าแนวโน้มคล้ายคลึงกัน สูตรที่มีอัตราส่วนแป้ง:CMC 20:10 จะมีการคูดน้ำได้ดีกว่า คือที่ความเข้มรังสี 10 kGy พิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้ง มีการคูดน้ำต่ำสุด คือประมาณ 171-250% พิล์มผสมของแป้ง:CMC 20:10 มีการคูดน้ำสูงที่สุดคือในชั่วโมงที่หนึ่ง 682% และค่อยๆลดลงเหลือ 556% ภายใน 6 ชั่วโมง ส่วนพิล์มผสมของแป้ง:CMC 25:5 มีการคูดน้ำในชั่วโมงที่หนึ่ง 268% และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 322% ภายใน 4 ชั่วโมง และที่ความเข้มรังสี 20 kGy พิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้ง มีการคูดน้ำต่ำสุด คือประมาณ 22-31 % ตลอด 6 ชั่วโมงที่ทำการทดลอง พิล์มผสมของแป้ง:CMC 20:10 มีการคูดน้ำสูงที่สุดคือในชั่วโมงที่หนึ่ง 1326% และค่อยๆลดลงเหลือ 580% ภายใน 4 ชั่วโมง ส่วนพิล์มผสมของแป้ง:CMC 25:5 มีการคูดน้ำในชั่วโมงที่หนึ่ง 406% และค่อยๆลดลงเหลือ 175% ภายใน 4 ชั่วโมง เนื่องมาจากมีการเติม CMC เข้าไปในแป้งโดยใช้ความเข้มรังสีที่สูงขึ้น ทำให้ CMC เกิดการสลายตัวได้มากขึ้น และสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างแป้งซึ่งมีสัดส่วนปริมาณมากกว่า CMC ทำให้ไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะคล้ายกับเมทริกซ์แป้งที่ภายในบรรจุไปด้วย CMC ซึ่งเป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการคูดน้ำ จึงทำให้การคูดน้ำของไฮโดรเจลสูตรที่มีอัตราส่วนแป้ง:CMC 20:10 สูงกว่า ไฮโดรเจลสูตรที่มีอัตราส่วนแป้ง:CMC 25:5

เมื่อการค้นคว้า ทดลอง อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการใช้ Carboxymethyl cellulose(CMC) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์โดยนำมาผสมขึ้นรูปรวมกับแป้งมันสำปะหลังที่มีมากในท้องถิ่น โดยใช้เทคนิคการฉายรังสีความเข้มข้นสูงเพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระในการเกิดพันธะเชื่อมโยงในโครงสร้าง เพื่อเตรียมเป็นตัวดูดซับน้ำที่ยืดหยุ่น บัณฑิตที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ปริมาณความเข้มข้นรังสี โดยเลือกใช้ 0,5,10,20 kGy ศึกษาปริมาณสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อ CMC และทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดย FT-IR ศึกษาองค์ประกอบและอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ศึกษาสัดส่วนของแข็งไม่ละลายน้ำ และสมบัติการบวมตัวของฟิล์ม ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ตาราง 5.1 สมบัติต่างๆของฟิล์มไฮโดรเจล

สูตร	S : CMC	รังสี(kGy)	%ดูดน้ำสูงสุด	%Gel fraction	T _d (°C)
S1	30:0	0	31.65	71.82	291.60,453.65
S2	25:5	0	467.27	16.67	-
S3	20:10	0	290.67	13.64	247.09,440.47
S4	0:30	0	0.00	0.00	268.57
S5	30:0	5	72.67	25.86	301.51
S6	25:5	5	580.00	15.00	-
S7	20:10	5	163.07	14.77	261.56
S8	0:30	5	0.00	0.00	253.66
S9	30:0	10	257.14	19.44	-
S10	25:5	10	322.50	15.78	-
S11	20:10	10	682.00	13.16	-
S12	0:30	10	0.00	0.00	-
S13	30:0	20	33.33	30.51	307.20
S14	25:5	20	406.00	15.15	-
S15	20:10	20	1646.67	4.41	256.89
S16	0:30	20	0.00	0.00	231.15

ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนของแข็งไม่ละลายน้ำพบว่า สูตร S1 มีค่าสูงสุดคือ 71.82% แต่เมื่อผ่านการฉายรังสีแล้วพบว่าสูตร S5 มีค่าสูงสุดคือ 30.51% ผลวิเคราะห์การดูดน้ำพบว่า สูตร S15 มีการดูดน้ำได้สูงสุดคือ 1646.67% สูตร S11 มีความสม่ำเสมอในการเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างดีที่สุด คืออยู่ในช่วง 682% แต่ค่าการดูดน้ำของทุกสูตรจะลดต่ำลงเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมงเป็นผลของ CMC ที่ละลายไป

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าโดยมากไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเลขคลื่นเมื่อผ่านการฉายรังสี จะเห็นเด่นชัดก็คือสูตร S7, S11 และ S15 ซึ่งเป็นสูตรของของผสมระหว่างแป้งและ CMC เมื่อความเข้มข้นเพิ่มจาก 5 kGy เป็น 20 kGy มีการเปลี่ยนแปลงที่เลขคลื่น $1599-1635\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งหมู่ฟังก์ชัน Beta-ketone

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่าแป้งมันสำปะหลังไม่ผ่านการฉายรังสีมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ $291.60\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ 5 kGy และ 20 kGy พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นสูงเป็น $301.51\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $307.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ เป็นผลของการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงในโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านการฉายรังสี ส่วน CMC ที่ไม่ผ่านการฉายรังสีพบอุณหภูมิการสลายตัวที่ $268.57\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ 5 kGy และ 20 kGy จะเห็นอุณหภูมิการสลายตัวจะลดต่ำลงเป็น $253.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $231.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับเป็นเพราะ CMC เกิดการสลายตัวเมื่อผ่านการฉายรังสี ในส่วนของผสมระหว่างแป้งและ CMC เมื่อยังไม่ผ่านการฉายรังสีจะพบอุณหภูมิการสลายตัว 2 ขั้นตอนคือ $247.09\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $440.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ 5 kGy และ 20 kGy จะพบค่าอุณหภูมิการสลายตัวเพียงขั้นตอนเดียวคือ $261.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $256.89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ แสดงว่าการฉายรังสีทำให้เกิด พันธะเชื่อมโยงระหว่างแป้งและเกิดการตัดสายโซ่ของ CMC

วัสดุชุดซบยิ่งยวดพบว่าสูตรที่ดีที่สุดคือ S15 แป้งมันสำปะหลังต่อ CMC 20:10 นำไปฉายที่ความเข้มข้นรังสี 20 kGy จะได้ฟิล์มที่ดูดน้ำสูงถึง 1646% มีความสามารถในการเก็บน้ำได้ 4 ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความเข้มข้นรังสีในช่วงความเข้มข้นรังสีมากกว่านี้เพราะว่าความเข้มข้นของรังสีมีผลต่ออนุพลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้มีความสามารถในการเกิดพันธะเชื่อมโยงมากยิ่งขึ้น

2. ควรเตรียมความเข้มข้นของแป้งและ CMC ให้สูงกว่านี้ เพราะความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อความอืดราในการชนของอนุพลอิสระ

เอกสารอ้างอิง

- 1) กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง.พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- 2) ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. โพลีเมอร์เชิงพาณิชย์. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์, 2526, หน้า 50-55.
- 3) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานแป้งัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร มอก. 1073-2535 หน้า 1.
- 4) <http://cn.wikipedia.org/wiki/Glucose>
- 5) <http://en.wikipedia.org/wiki/Carboxymethylcellulose>
- 6) สุมิตรา เกษมชัยนันท์ และสุรเกียรติ คำตา. 2542. การสังเคราะห์ไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิอะคริลิกแอซิด และการปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมผงไหม. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- 7) นवलจันทร์ โชคทวีทรัพย์, นิภาพรณ โสถถียนนท์ และ ศิริเนตร ประดับวงศ์. 2545. การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจาก PVA/Sericin โดยเทคนิคการฉายรังสี และการปรับสภาพทางความร้อน โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 8) มาลินี ชัยสุขกิจสินธ์. เอกสารคำสอนวิชาเคมีรังสีกับพอลิเมอร์เทคโนโลยี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 9) S. Kiatkamjornwong, K. Mongkolsawat and M. Sonsuk. 2003, **Synthesis and property characterization of cassava starch grafted poly [acryl amide-co-(maleic acid)] superabsorbent via γ -irradiation.** Carbohydrate Polymers 50, 245-254
- 10) M. Zhai, F. Yoshii and T. Kume. 2003, **Radiation modification of starch-based plastic sheets.** Carbohydrate Polymers 52, 311-317
- 11) N. Nagasawa, T. Yagi, T. Kume and F. Yoshii. 2003. **Radiation crosslinking of**

เอกสารนี้ **carboxymethyl starch**. Carbohydrate Polymers, 58(2), 109-113 ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) A.W. Radoslaw, H. Mitomo, N. Nagasawa and F. Yoshii. 2003. **Radiation crosslinking of carboxymethylcellulose of various degree of substitution at high concentration in aqueous solutions of natural pH.** Radiation physics and chemistry 68, 771-779
- 13) T. Yoshimura, R. Yoshimura, C. Seki and R. Fujioka.2005. **Synthesis and characterization of biodegradable Hydrogel based on starch and succinic anhydride.** Carbohydrate Polymers 64(2) , 345-349
- 14) N. Benke, E. Takács, L. Wojnárovits and J. Borsa. 2007. **Pre-irradiation grafting of cellulose and slightly carboxymethylated cellulose (CMC) fibres.** Radiation physics and chemistry 76, 1355-1359
- 15) <http://en.wikipedia.org/wiki/Lysine>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางสูตรการเตรียมไฮโดรเจล

สูตร	แป้งมันสำปะหลัง(g)	CMC (g)	น้ำกลั่น (mL)	ความเข้มข้นรังสี (kGy)
S1	30	0	100	0
S2	25	5	100	0
S3	20	10	100	0
S4	0	30	100	0
S5	30	0	100	5
S6	25	5	100	5
S7	20	10	100	5
S8	0	30	100	5
S9	30	0	100	10
S10	25	5	100	10
S11	20	10	100	10
S12	0	30	100	10
S13	30	0	100	20
S14	25	5	100	20
S15	20	10	100	20
S16	0	30	100	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบการหาเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจล(Gel fraction)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Gel fraction)

ศึกษาผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อ CMC และความเข้มรังสีที่มีผลต่อฟิล์มไฮโดรเจล

ตาราง ก.1 แสดงน้ำหนักก่อนซั่งและหลังซั่งของฟิล์มไฮโดรเจล

Starch:CMC	น้ำหนักก่อนอบ (g)				น้ำหนักหลังอบ (กรัม)			
	0 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy	0 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy
30:0	5.5	5.8	3.6	5.9	3.95	1.5	0.7	1.8
25:5	3.3	4	5.07	3.3	0.55	0.6	0.8	0.5
20:10	5.5	4.4	3.8	3.4	0.75	0.65	0.5	0.15
0:30	2.6	2.1	2.2	2.9	-	-	-	-

หมายเหตุ สูตรที่มีปริมาณ Starch:CMC 0:30 ไม่สามารถซั่งน้ำหนักได้เนื่องจาก ซึ้นงานละลาย ละลายน้ำไปหมด

ตาราง ก.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ

Starch:CMC	% Gel fraction			
	0 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy
30:0	71.82	25.86	19.44	30.51
25:5	16.67	15.00	15.78	15.15
20:10	13.64	14.77	13.16	4.41
0:30	-	-	-	-

หมายเหตุ สูตรที่มีปริมาณ Starch:CMC 0:30 ไม่สามารถหา %Gel fraction ได้เนื่องจาก ซึ้นงานละลาย การค้ำน้ำไปหมดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดสอบสมบัติการบวมน้ำ

ศึกษาผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อ CMC และความเข้มข้นที่มีผลต่อฟิล์มไฮโดรเจล

ตาราง ข.2 แสดงน้ำหนักก่อนซั่งและหลังซั่งของฟิล์มไฮโดรเจลของ

ความเข้มข้น	สูตร	น้ำหนักก่อนแช่ (g)	ซม.ที่1	ซม.ที่2	ซม.ที่3	ซม.ที่4	ซม.ที่5	ซม.ที่6	ซม.ที่ 24	หลังอบ
0 kGy	Starch:CMC 30:0	3.95	3.36	3.69	4.06	5.2	4.25	4.3	4.4	1.3
	Starch:CMC 25:5	0.55	1.95	2.11	2.04	3.12	1.91	1.64	1.7	0.4
	Starch:CMC 20:10	0.75	2.6	2.12	2.43	2.93	1.9	1.85	1.5	0.3
5 kGy	Starch:CMC 30:0	1.5	2.24	2.27	2.37	2.48	2.56	2.59	2.7	1.3
	Starch:CMC 25:5	0.6	2.89	3.17	3.42	4.08	2.85	3.12	2.80	0.4
	Starch:CMC 20:10	0.65	1.71	1.65	1.52	1.23	0.96	1.02	1.0	0.1
10 kGy	Starch:CMC 30:0	0.7	1.9	2.36	2.5	2.25	2.1	2.5	2.5	0.8
	Starch:CMC 25:5	0.8	2.95	3.1	2.6	2.63	2.43	3.38	2.7	0.7
	Starch:CMC 20:10	0.5	3.91	3.34	3.32	3.05	2.74	3.28	2.8	0.3
20 kGy	Starch:CMC 30:0	1.8	2.21	2.4	2.26	2.27	2.14	2.36	2.5	1.2
	Starch:CMC 25:5	0.5	2.53	2.31	2.12	1.81	1.98	2.25	2.1	0.5
	Starch:CMC 20:10	0.15	2.14	2.62	2.34	0.98	0.92	1.02	0.7	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามคัดลอกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ตาราง ข.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของไฮโดรเจล

ความเข้มข้น รังสี	สูตร	ชม.ที่1	ชม.ที่2	ชม.ที่3	ชม.ที่4	ชม.ที่5	ชม.ที่6
0 kGy	Starch:CMC 30:0	11.14	14.94	25.57	31.65	7.59	8.86
	Starch:CMC 25:5	254.55	283.64	270.91	467.27	247.27	198.18
	Starch:CMC 20:10	246.67	182.67	224.00	290.67	153.33	146.67
5 kGy	Starch:CMC 30:0	49.33	51.31	58.00	65.33	70.67	72.67
	Starch:CMC 25:5	381.67	428.33	470.00	580.00	375.00	420.00
	Starch:CMC 20:10	163.07	153.85	133.85	89.23	47.69	56.92
10 kGy	Starch:CMC 30:0	171.40	237.14	257.14	221.43	200.00	257.14
	Starch:CMC 25:5	268.75	287.50	225.00	228.75	203.75	322.50
	Starch:CMC 20:10	682.00	568.00	564.00	510.00	448.00	556.00
20 kGy	Starch:CMC 30:0	22.78	33.33	25.56	26.11	18.89	31.11
	Starch:CMC 25:5	406.00	362.00	324.00	262.00	296.00	175.00
	Starch:CMC 20:10	1326.67	1646.67	1460.00	553.33	513.33	580.00

หมายเหตุ สูตรที่มีปริมาณ Starch:CMC 0:30 ไม่สามารถหา %การดูดน้ำได้ เนื่องจาก ชิ้นงานละลาย
น้ำไปหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



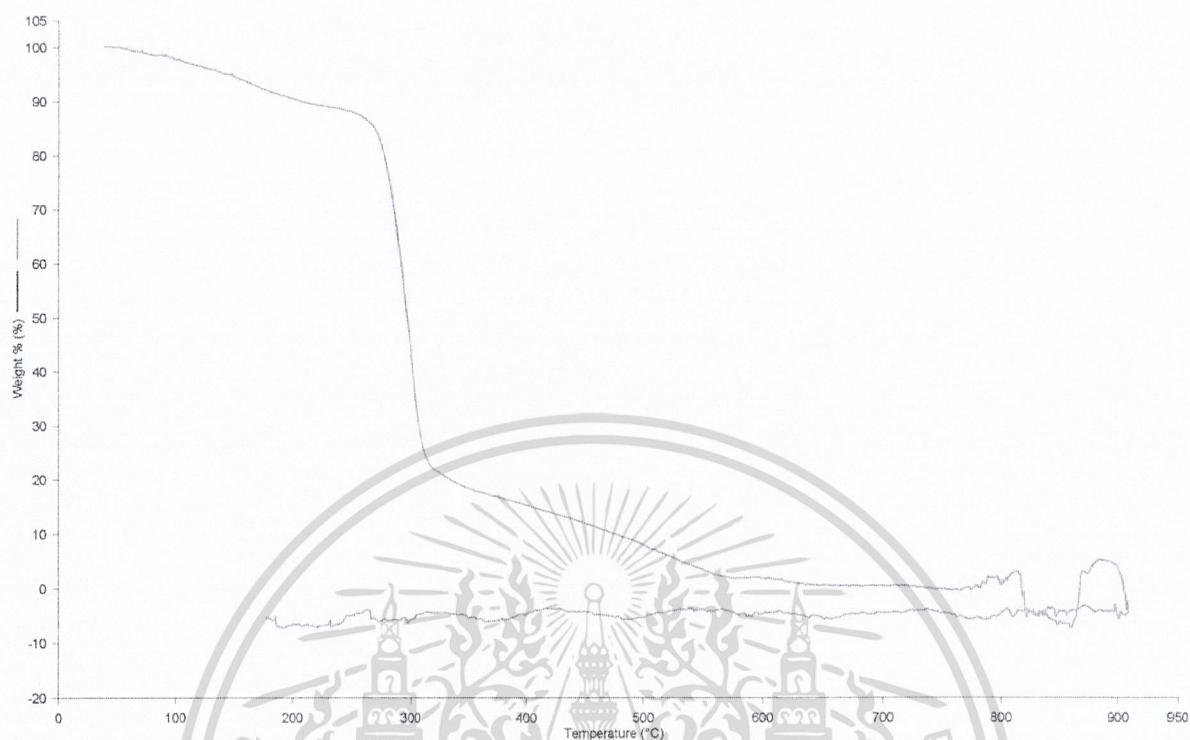
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

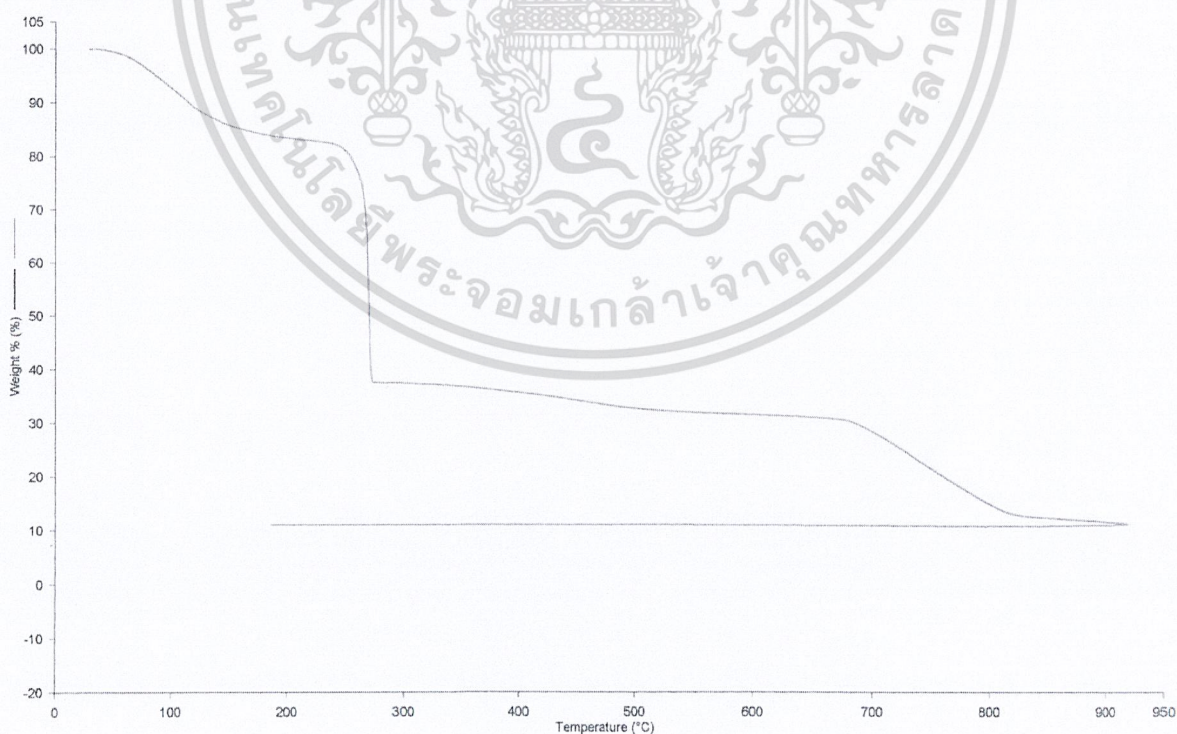


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TGA curves Starch:CMC 30:0 ที่ 0 kGy



TGA curves Starch:CMC 0:30 ที่ 0 kGy

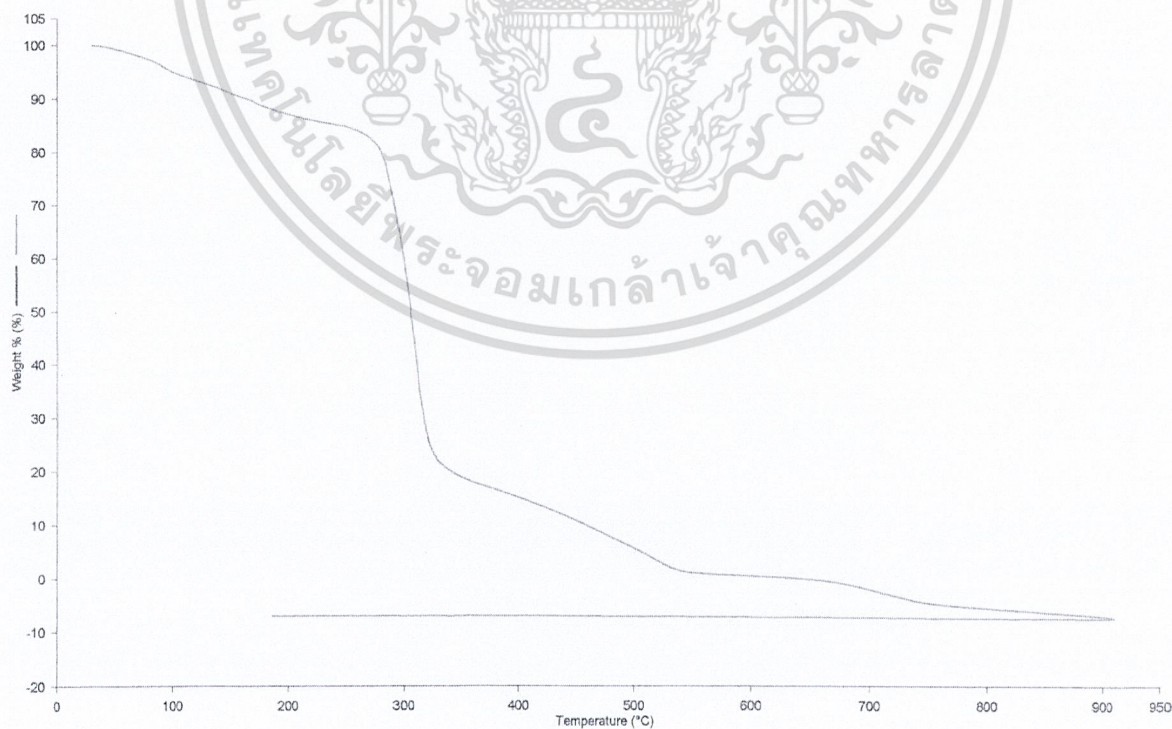


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TGA curves Starch:CMC 20:10 ที่ 0 kGy



TGA curves Starch:CMC 30:0 ที่ 5 kGy

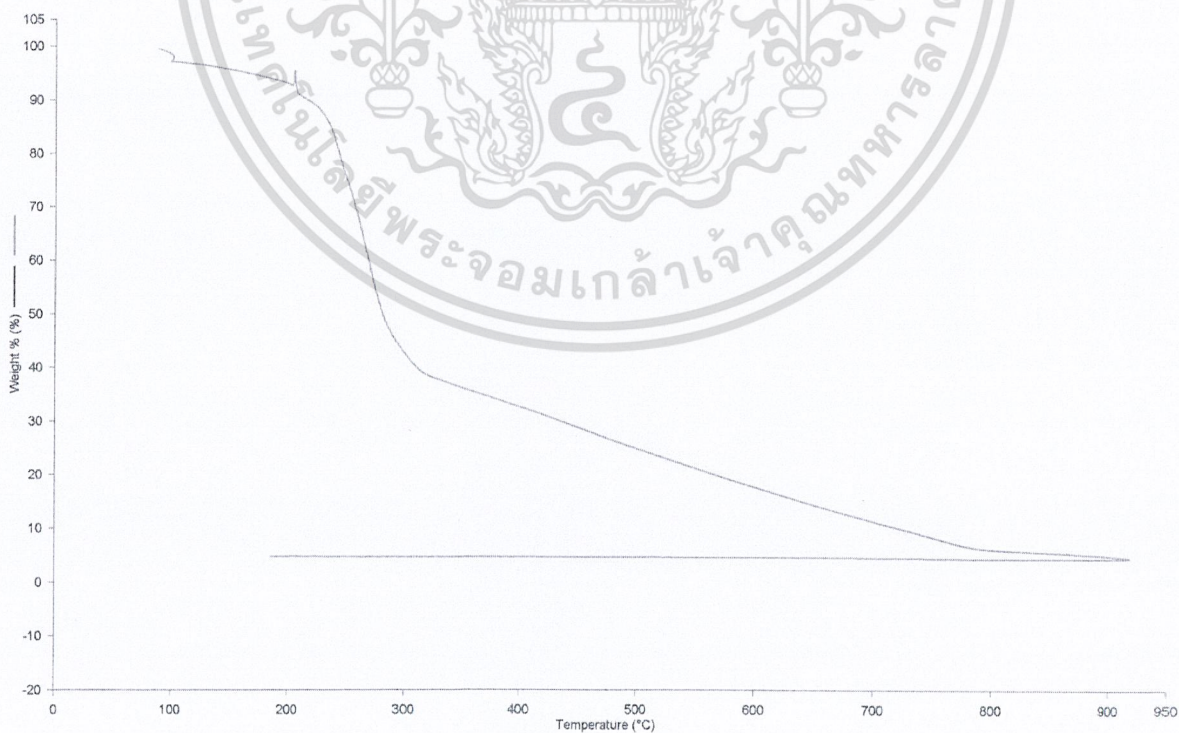


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TGA curves Starch:CMC 0:30 ที่ 5 kGy



TGA curvs Starch:CMC 20:10 ที่ 5 kGy

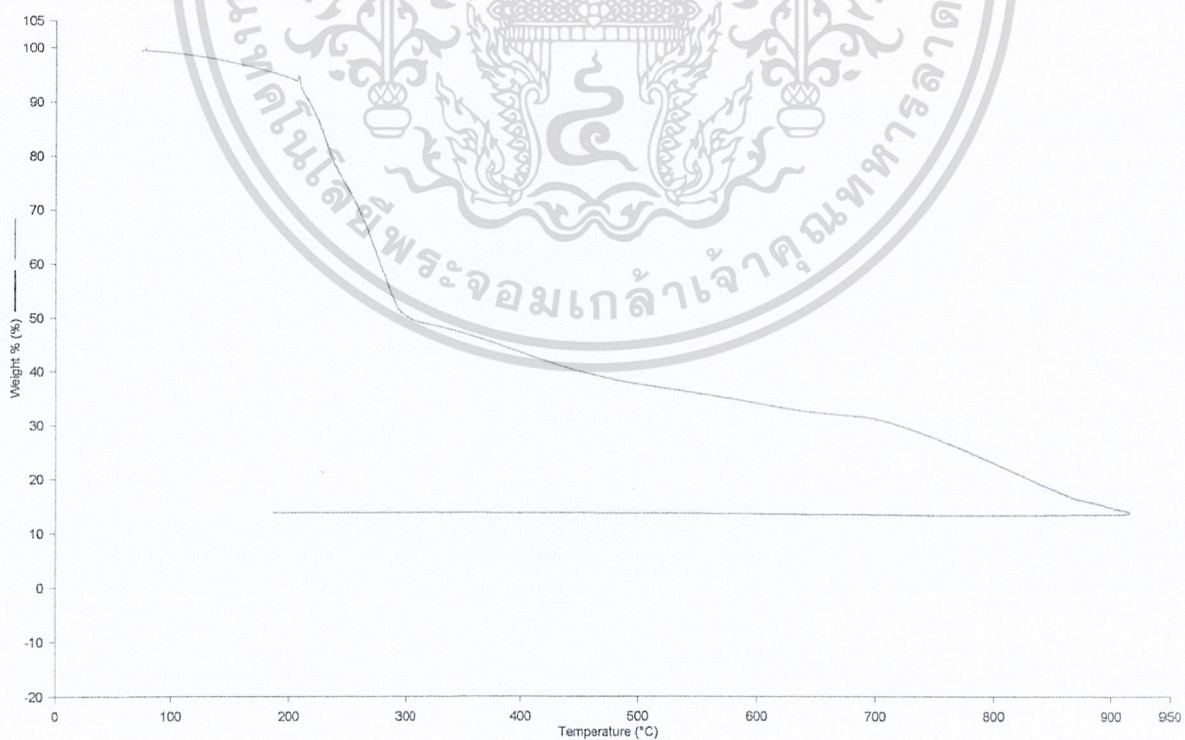


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TGA curves Starch:CMC 30:0ที่ 20 kGy



TGA curves Starch:CMC 0:30ที่ 20 kGy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TGA curvcs Starch:CMC 20:10 ที่ 20 kGy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

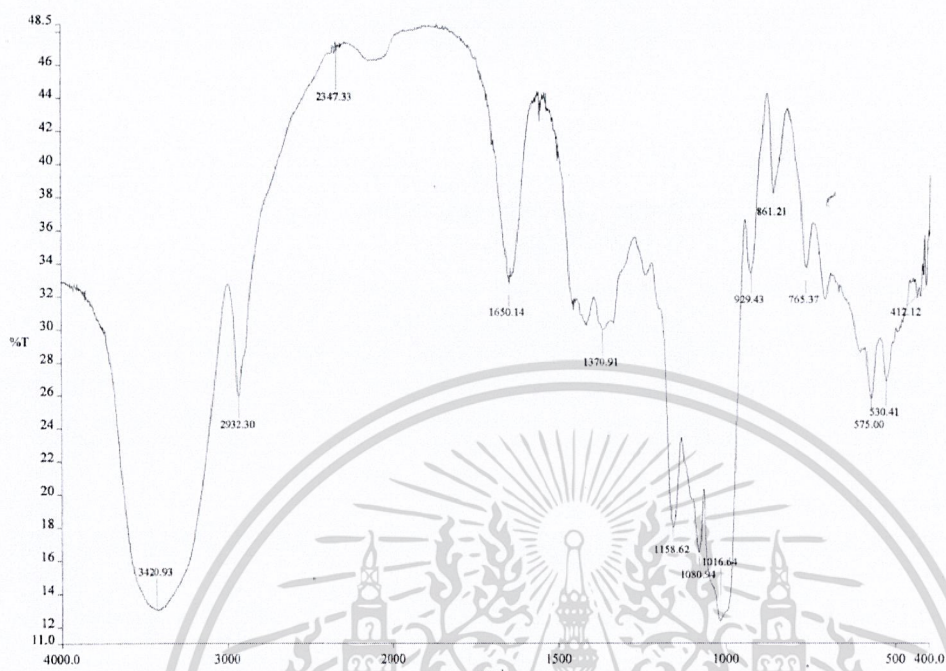


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

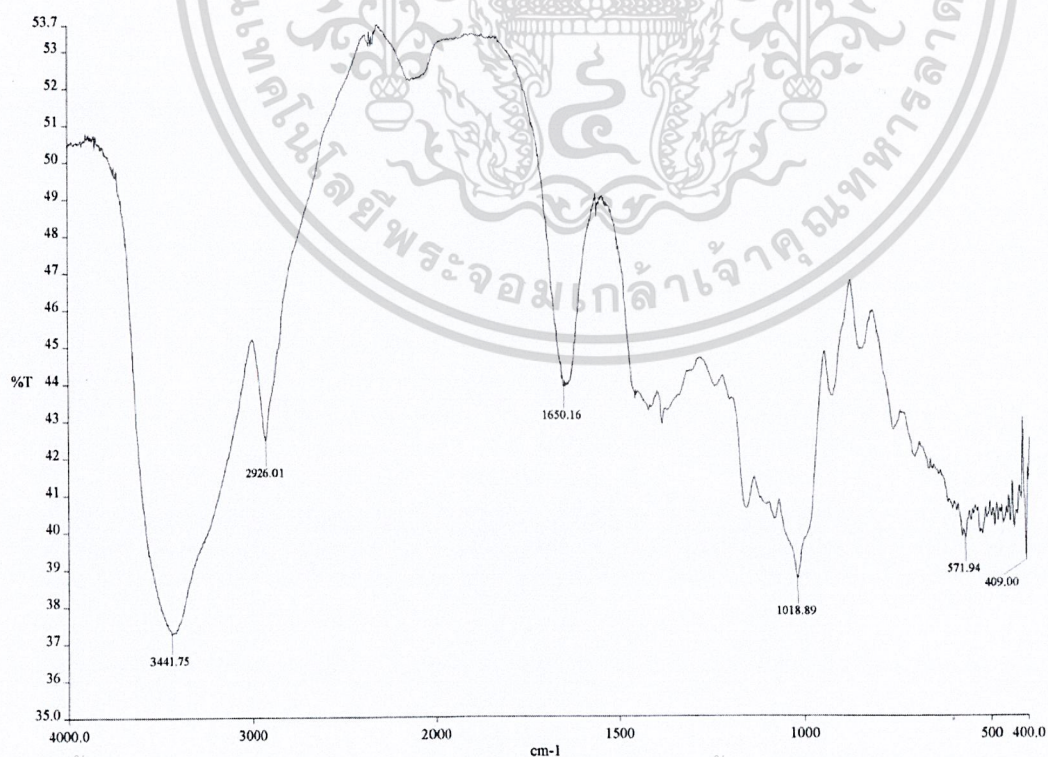


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR spectrum ของ Starch 0 kGy

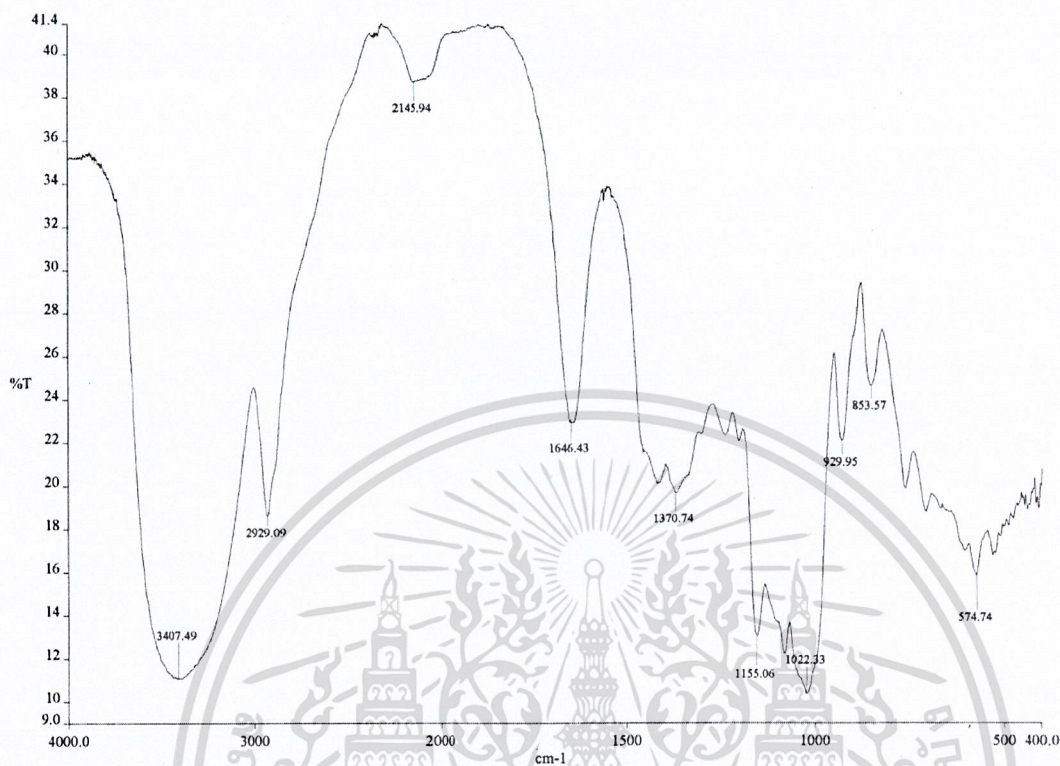


IR spectrum ของ Starch 5 kGy

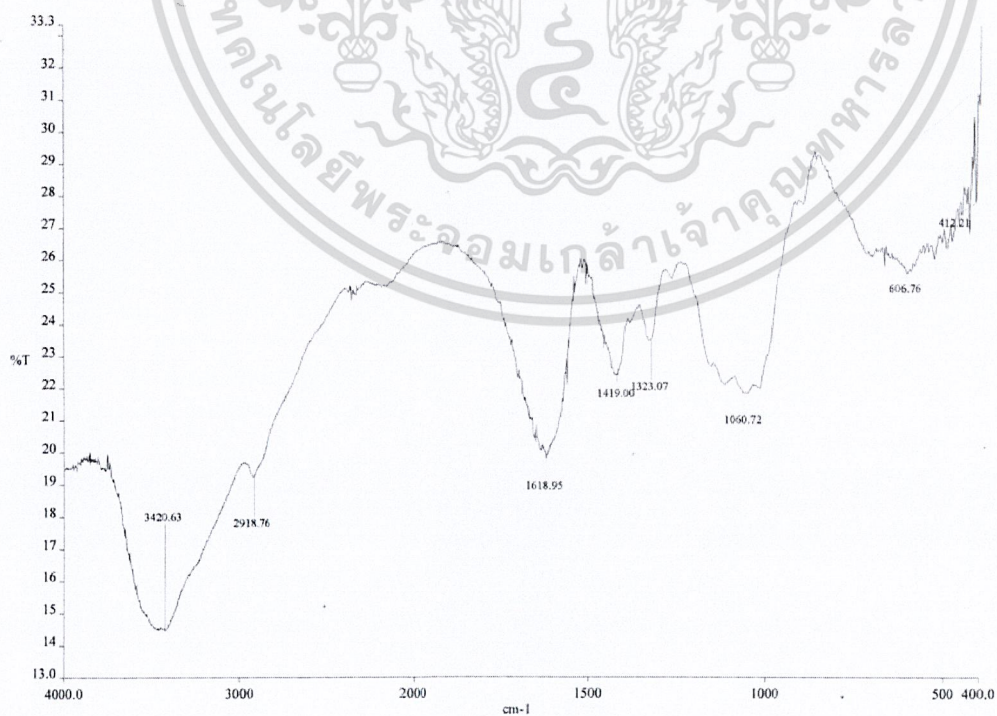


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR spectrum ของ Starch 20 kGy

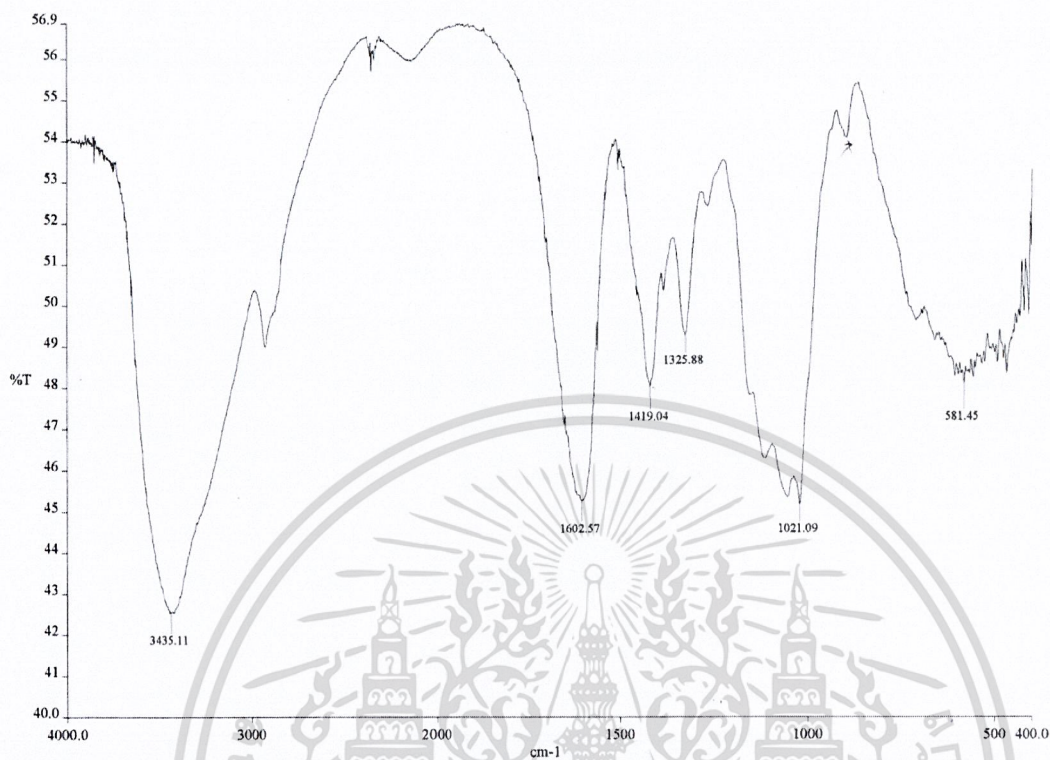


IR spectrum ของ Carboxymethylcellulose (CMC) 0 kGy

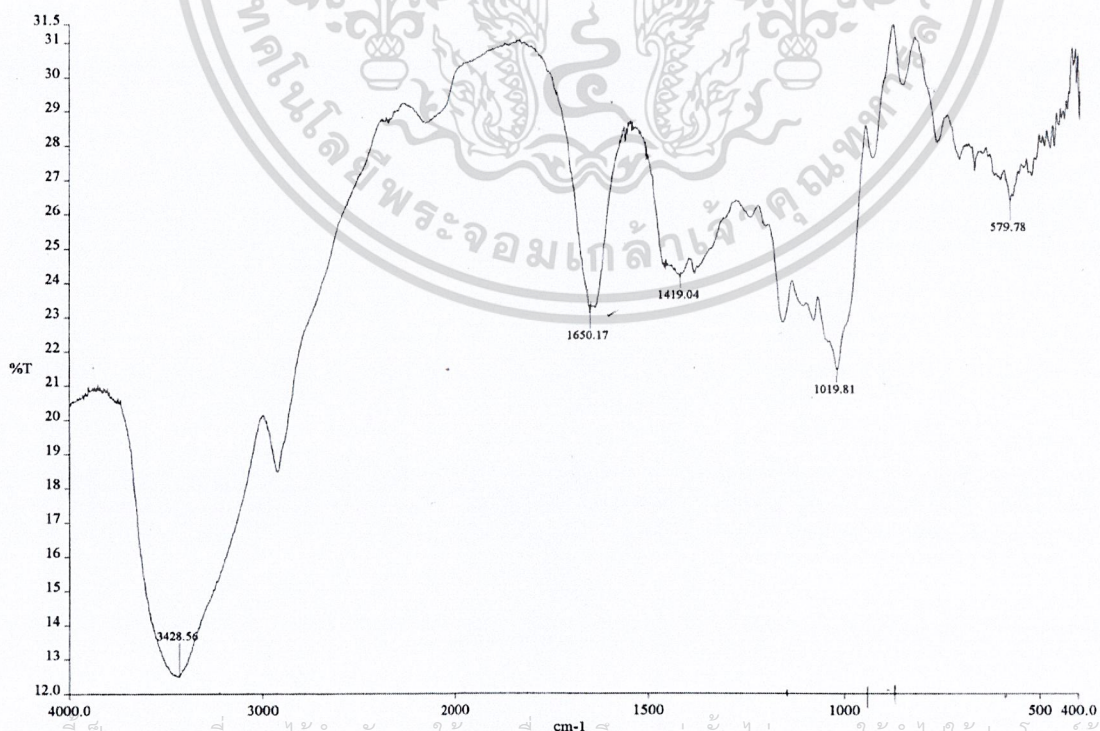


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR spectrum ของ Carboxymethylcellulose (CMC) 5 kGy

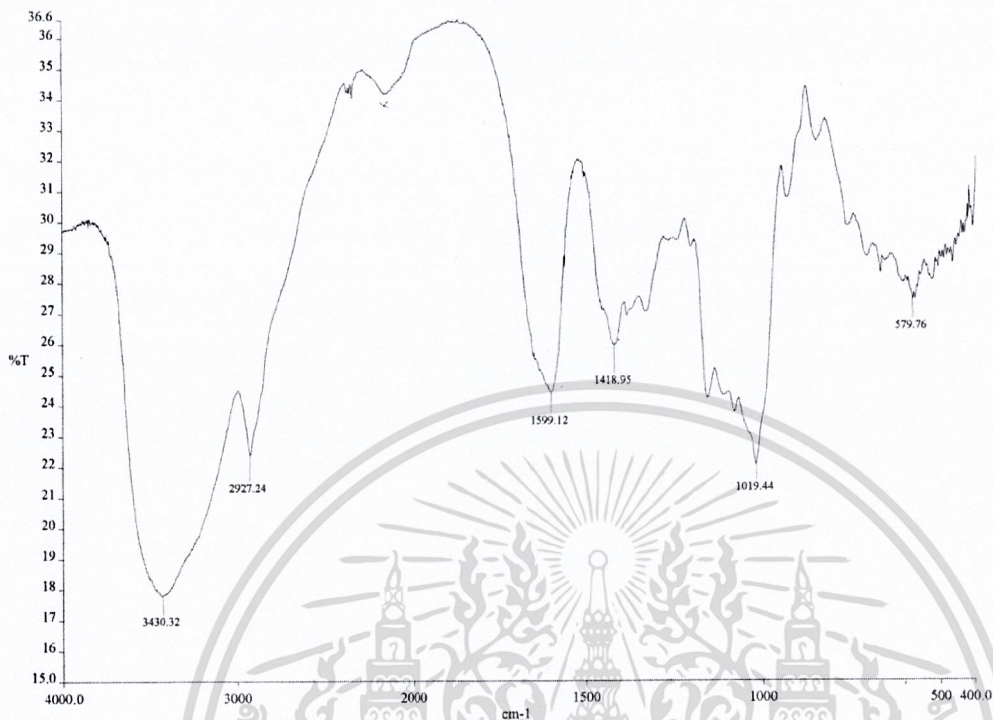


IR spectrum ของ Carboxymethylcellulose (CMC) 10 kGy

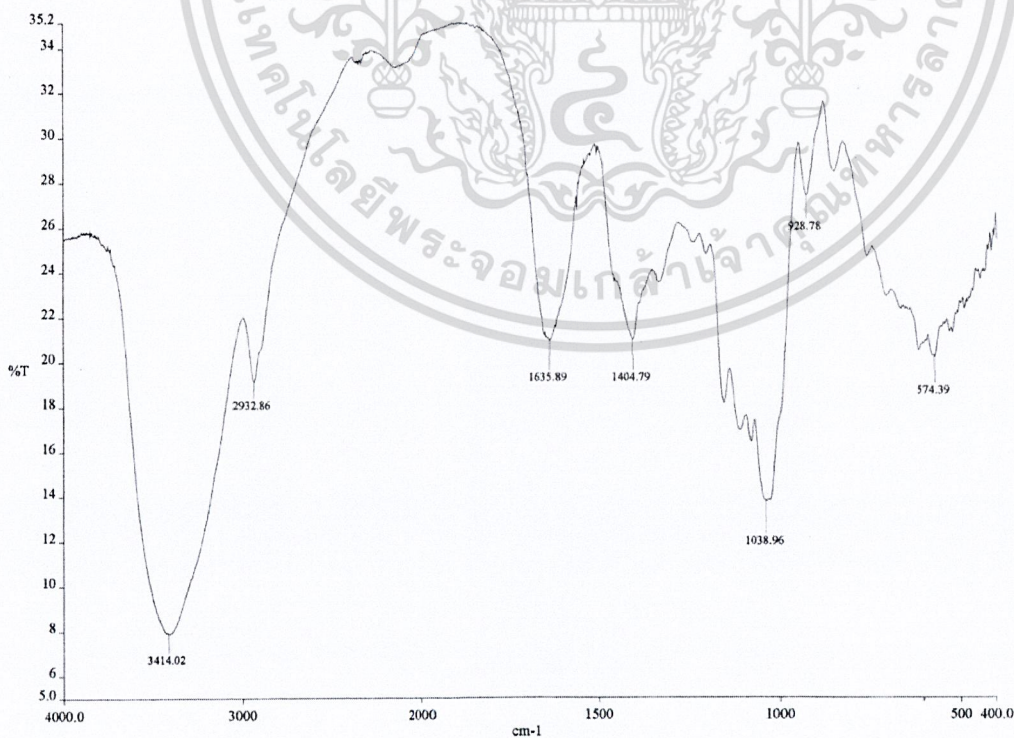


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR spectrum ของ Starch : CMC (20:10) 5 kG

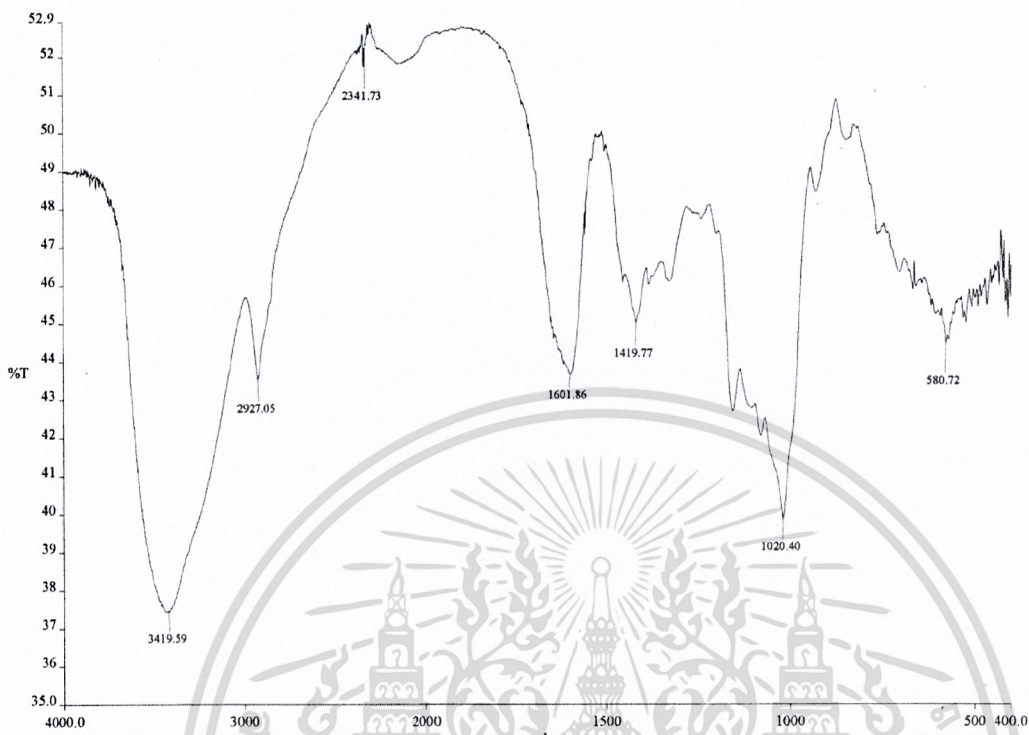


IR spectrum ของ Starch : CMC (20:10) 10 kGy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR spectrum ของ Starch : CMC (20:10) 20 kGy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้