การเตรียมไฮโดรเจลจากการครอสลิงค์เมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร่วมกับกรดมาเลอิกโดยการฉายรังสีแกมมา

นางสาวอาภาวรรณ์ สท้านธรนิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF HYDROGEL BY CROSSLINKING OF METHYL HYDROXY ETHYL CELLULOSE WITH MALEIC ACID BY GAMMA IRRADIATION

Miss Apawan Satantoranin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมไฮโดรเจลจากการครอสลิงค์เมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร่วมกับกรดมาเลอิกโดยการฉายรังสีแกมมา
โดย	นางสาวอาภาวรรณ์ สท้านธรนิล
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ปรารถนา คิ้วสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.ปารารถนา คิ้วสุวรรณ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาภาวรรณ์ สท้านธรนิล:การเตรียมไฮโดรเจลจากการครอสลิงค์เมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร่วมกับกรดมาเลอิกโดยการฉายรังสีแกมมา. (PREPARATION OF HYDROGEL BY CROSSLINKING OF METHYL HYDROXY ETHYL CELLULOSE WITH MALEIC ACID BY GAMMA IRRADIATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :ดร.ปรารถนา คิ้วสุวรรณ, 78หน้า.

ไฮโดรเจล (hydrogel) คือ พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นตาข่ายมีลักษณะเป็นเจล สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุชีวภาพโดยเฉพาะการนำไปใช้ในด้านเกษตรกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลจากการครอสลิงค์เมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร่วมกับกรดมาเลอิกโดยการฉายรังสีแกมมา ทำการทดลองโดยนำเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสมาผสมกับกรดมาเลอิกในอัตราส่วนที่ต่างกัน จากนั้นนำมาฉายรังสีแกมมาที่ 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35และ 40 kGy ในการทดลองได้ใช้เงื่อนไขต่างๆในการเตรียม เช่น ปริมาณรังสี ความเข้มข้นของเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสและกรดมาเลอิก ทำการทดสอบประสิทธิภาพของไฮโดรเจลโดยทดสอบร้อยละการบวมน้ำ (gel swelling) การหาร้อยละการเป็นเจล (gel fraction) การทดสอบความต้านแรงดึง (tensile strength) การทดสอบความต้านแรงกด (gel strength) และทดสอบไฮโดรเจลที่เตรียมได้ด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) เมื่อสารละลายเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสดูดกลืนรังสีแกมมาจะเกิดโครงร่างแหได้วัสดุที่สามารถดูดน้ำได้ถึง 100-1000% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการเตรียม ความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยงเป็นตัวแปลหลักในการบวมน้ำของเจล จากการศึกษาการบวมน้ำของไฮโดรเจลพบว่าการบวมน้ำลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มมากขึ้น การเกิดเจลสูงเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมไฮโดรเจลคือ 15%MHEC:0.5%MA (w/v) ที่ปริมาณรังสี 15 kGy

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่อนิสิต	อาภาวรรณ์ สท้านธรนิล
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	
ปีการศึกษา	2553	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	

#5170527421 : MAJOR NUCLEARTECHNOLOGY

KEYWORDS : CARBOHYDRATE POLYMER, HYDROGEL, GAMMA RADIATION

APAWAN SATANTORANIN: PREPARATION OF HYDROGEL BY CROSSLINKING OF METHYL HYDROXY ETHYL CELLULOSE WITH MALEIC ACID BY GAMMA IRRADIATION. ADVISOR : ASST. PROF. DOONYAPONG WONGSAWAENG Ph.D., CO-ADVISOR : PRARTANA KEWSUWAN Ph.D., 78pp.

Hydrogel is a type of polymer exhibiting a 3D network structure. Hydrogel can be used in agriculture because of the water-absorbing capability. Studies were made on hydrogel preparation by crosslinking of methyl hydroxy ethyl cellulose (MHEC) withmaleic acid (MA) by gamma irradiation. Different ratios of methyl hydroxy ethyl cellulose and maleic acid were investigated with gamma radiation dose of 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 kGy. Different parameters were varied for hydrogel synthesis such as radiation dose and concentrations of methyl hydroxy ethyl cellulose and maleic acid.The following properties of hydrogel were evaluated: gel swelling in water, gel fraction, tensile strength, gel strength and analysis of the hydrogel by FTIR spectroscopy. When expressed to gamma radiation MHEC/MA was crosslinked,turning into highwater-absorbing material with water content of as much as 100-1000% by weight, depending on preparation conditions. The crosslink density was the principal factor governing the swelling behavior of hydrogel. Studies on hydrogel swelling revealed that the swelling decreased with increasing radiation dose and that the gel fraction increased with increasing radiation dose. The most suitable condition for hydrogel preparation was 15%MHEC:0.5%MA (w/v) at the dose of 15 kGy.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Nuclear Technology	Student's Signature A. Satantoranin.
Field of Study : Nuclear Technology	Advisor's Signature
Academic Year : 2010	Co-advisor's Signature P. Kewsuwan

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปรารถนา คิ้วสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ กรรมการ ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางการทำวิจัยสนับสนุนทุนวิจัยและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.พิมพ์พร อุทยารัตน์ ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ซึ่งให้คำปรึกษาและแนะนำการทำวิจัยเรื่องคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อสุบรร คุณแม่กันยา และนางสาวธนวรรณ สท้านธรนิล ร.อ.ธนกฤต แก้วประจุ ที่คอยสนับสนุนทุนวิจัยและส่งเสริมให้กำลังใจตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย……	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง……...	ญ
สารบัญภาพ…….	ฏ
บทที่ 1 บทนำ……..	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……	2
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์…….....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย…….	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย……...	2
1.5 ขั้นตอนงานวิจัย……	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……	3
2.1 แนวคิดและทฤษฎี……	3
2.1.1 ไฮโดรเจล (hydrogel)……..	3
2.1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์……	6
2.1.3 เซลลูโลส…….	11
2.1.4 Methyl hydroxy ethyl cellulose……..	12
2.1.5 Maleic acid……..	13
2.1.6 รังสีแกมมา……..	14
2.1.7 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากรังสี…….	14
2.1.8 ผลเบื้องต้นที่เกิดในพอลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสี…….	16
2.1.9 ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี……	21
2.1.10 ผลของน้ำขณะฉายรังสี……..	22
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……...	23

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 26
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... 26
3.1.1 สารเคมี..... 26
3.1.2 วัสดุอุปกรณ์..... 26
3.1.3 เครื่องมือ..... 26
3.2 วิธีการทดลอง..... 26
3.2.1 ตอนที่ 1 การเตรียม Methyl hydroxy ethyl cellulose (MHEC)
เพื่อครอสลิงค์ Maleic acid (MA) โดยการฉายรังสีแกมมา..... 27
3.2.2 ตอนที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่ผลิตได้..... 30

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 36
4.1 การทดสอบคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่ผลิตได้..... 36
4.1.1 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำสูงสุดของไฮโดรเจล
(%gel swelling) ต่อปริมาณรังสี..... 36
4.1.2 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำต่อเวลาของ
15%MHEC:0.5%MA..... 44
4.1.3 ผลการทดสอบร้อยละการเป็นเจลของไฮโดรเจล
(%gel fraction) ต่อปริมาณรังสี..... 45
4.1.4 ผลการทดสอบความต้านแรงดึง (tensile strength)..... 53
4.1.5 ผลการทดสอบความต้านแรงกด (gel strength)..... 54
4.1.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไฮโดรเจลด้วยเทคนิค FTIR..... 54

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 56
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 56
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 56

รายการอ้างอิง..... 57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ภาคผนวก……. 59

ภาคผนวก ก…… 60

ภาคผนวก ข…… 72

ภาคผนวก ค..... 75

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……..... 78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนของ MHEC:MA……	27
4.1	ร้อยละการดูดซับน้ำของ 10%MHEC:0.1%MA, 10%MHEC:0.3%MA, 10%MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10%MHEC:2%MA, 10%MHEC……..	36
4.2	ร้อยละการดูดซับน้ำของ 15%MHEC:0.1%MA, 15%MHEC:0.3%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15%MHEC:2%MA 15%MHEC…….	39
4.3	ร้อยละการดูดซับน้ำของ 20% MHEC:0.1% MA, 20% MHEC:0.3%MA, 20% MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20%MHEC:2%MA 20%MHEC…….	40
4.4	ร้อยละการดูดซับน้ำของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25% MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25%MHEC:2%MA 25%MHEC…….	42
4.5	ร้อยละการเป็นเจลของ 10% MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10% MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10% MHEC:2%MA, 10%MHEC…….	45
4.6	ร้อยละการเป็นเจลของ 15% MHEC:0.1% MA, 15% MHEC:0.3%MA, 15% MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15% MHEC:2%MA, 15%MHEC…….	47
4.7	ร้อยละการเป็นเจลของ 20% MHEC:0.1% MA, 20% MHEC:0.3%MA, 20% MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20% MHEC:2%MA, 20%MHEC…….	49
4.8	ร้อยละการเป็นเจลของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25% MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25% MHEC:2%MA, 25%MHEC…….	51

ตารางที่		หน้า
4.9	คุณสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลที่ได้ (tensile strength)……...	53
4.10	คุณสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลที่ได้ (gel strength)……	54
ก-1	%gel swelling ต่อเวลา (15%MHEC:0.5%MA)…….	61
ก-2	%gel swelling ต่อเวลา (10%MHEC:0.5%MA)…….	63
ก-3	%gel swelling ต่อเวลา (20%MHEC:0.5%MA)…….	66
ก-4	%gel swelling ต่อเวลา (25%MHEC:0.5%MA)…….	69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การสังเคราะห์ PVA ไฮโดรเจล……..	4
2.2	พอลิเมอร์ธรรมชาติ……	7
2.3	พอลิเมอร์สังเคราะห์……...	8
2.4	โครงสร้างเซลลูโลส.....	12
2.5	โครงสร้างเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส.....	13
2.6	โครงสร้าง Maleic acid……...	13
2.7	พอลิเมอร์ก่อนฉายรังสี, ขณะฉายรังสีและหลังฉายรังสี.....	18
2.8	การ grafting ของพอลิเมอร์เมื่อฉายรังสี.....	20
2.9	ผลของรังสีต่อพอลิเมอร์.....	21
3.1	การกวน methyl hydroxy ethyl cellulose ผสม maleic acid…….....	29
3.2	Vacuum pump……...	29
3.3	เตรียมสารละลาย methyl hydroxy ethyl cellulose ผสม maleic acid ใส่ถุง	30
3.4	Gamma chamber 5000…….....	30
3.5	ไฮโดรเจลที่เตรียมได้…….	31
3.6	การดูดซับน้ำของไฮโดรเจลในน้ำกลั่น……..	31
3.7	ทดสอบร้อยละการเป็นเจลของไฮโดรเจล (%gel fraction)……	33
3.8	ไฮโดรเจลเพื่อหา tensile strength……..	33
3.9	ไฮโดรเจลเพื่อหา gel strength…….....	34
3.10	FT-IR Spectroscopy……..	35
4.1	ร้อยละการดูดน้ำซับของ 10% MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10% MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10%MHEC ต่อปริมาณรังสี……..	37
4.2	ร้อยละการดูดน้ำซับของ 15% MHEC:0.1% MA, 15% MHEC:0.3%MA, 15% MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15%MHEC ต่อปริมาณรังสี……..	39

ภาพที่ หน้า

4.3 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 20% MHEC:0.1% MA, 20%MHEC:0.3%MA, 20% MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20%MHEC ต่อปริมาณรังสี…… 41

4.4 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25% MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25%MHEC ต่อปริมาณรังสี…… 43

4.5 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 10%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC ต่อปริมาณรังสี…….. 43

4.6 ผลการดูดซับน้ำต่อเวลาของ 15%MHEC:0.5%MAที่ปริมาณรังสีต่างกัน

4.7 ร้อยละการเป็นเจลของ 10% MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10%MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10% MHEC:2%MA, 10%MHEC ต่อปริมาณรังสี…….. 44

4.8 ร้อยละการเป็นเจลของ 15% MHEC:0.1% MA, 15% MHEC:0.3%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15% MHEC:2%MA, 15%MHEC ต่อปริมาณรังสี…….. 46

4.9 ร้อยละการเป็นเจลของ 20% MHEC:0.1% MA, 20%MHEC:0.3%MA, 20%MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20%MHEC:2%MA, 20%MHEC ต่อปริมาณรังสี…….. 48

4.10 ร้อยละการเป็นเจลของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25%MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25% MHEC:2%MA, 25%MHEC ต่อปริมาณรังสี…….. 50

4.11 ร้อยละการเป็นเจลของ 10%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:0.5%MA ต่อปริมาณรังสี…… 52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่		หน้า
4.12	sress-strain curve of tensile strength (15%MHEC:0.5%MA 15 kGy)…	53
4.13	sress-strain curve of gel strength (15%MHEC:0.5%MA 15 kGy)……..	54
4.14	FTIR Spectrum……...	55
ก-1	%gel swelling ต่อเวลา (10%MHEC:0.5%MA)…….....	64
ก-2	%gel swelling ต่อเวลา (20%MHEC:0.5%MA)…….....	67
ก-3	%gel swelling ต่อเวลา (25%MHEC:0.5%MA)…….....	70
ข-1	FTIR Spectrum (15%MHEC:0.1%MA 15 kGy)……...……	72
ข-2	FTIR Spectrum (15%MHEC:0.3%MA 15 kGy)……..	72
ข-3	FTIR Spectrum (15%MHEC:1%MA 15 kGy)……...……..	73
ข-4	FTIR Spectrum (15%MHEC:2%MA 15 kGy)……...……..	73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฮโดรเจล (hydrogel) คือ พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีโครงร่างตาข่ายแบบสามมิติ ซึ่งสามารถพองตัวได้มากถึง 100-1000 เท่าของน้ำหนักแห้งเมื่อสัมผัสกับน้ำ ไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์ที่ดูดซับน้ำสูง (superabsorbent polymer) ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่มีลักษณะเฉพาะตัว คือ นิ่ม ยืดหยุ่น และพองตัวในน้ำไฮโดรเจลมีโครงร่างที่แน่นอนแต่จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสมดุลทางเคมีกายภาพ การเกิดพันธะกับโมเลกุลของน้ำนั้น ก็เนื่องมาจากการแสดงคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ เช่น หมู่คาร์บอกซิล หมู่เอไมด์ หมู่แอลกอฮอล์ เป็นต้น พอลิเมอร์ที่ดูดน้ำสูงอาจเตรียมได้จากโคพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น cellulose และ maleic acid

ด้วยความสามารถในการดูดซับน้ำไฮโดรเจลจึงถูกนำมาใช้ในหลายๆด้าน เช่น ทำเยื่อเลือกผ่านเพื่อทำให้น้ำบริสุทธิ์ทำคอนเทคเลนส์ให้มีความสบายต่อดวงตาและลดการระคายเคือง อุตสาหกรรมอาหารและเทคโนโลยีชีวภาพ รวมทั้งใช้ทางด้านการเกษตรโดยเติมไฮโดรเจลลงในดินทำให้ดินมีคุณสมบัติเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากไฮโดรเจลมีคุณสมบัติดูดน้ำสูงจึงสามารถแก้ปัญหาให้กับพื้นดินที่แห้งแล้งหรือดินไม่อุ้มน้ำได้ ไฮโดรเจลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้ผลผลิตทางการเกษตรดีขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมและศึกษาคุณสมบัติต่างๆของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากการครอสลิงค์เมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร่วมกับกรดมาเลอิกโดยการฉายรังสีแกมมา เนื่องจากว่าเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสสามารถเกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล (crosslink) ได้เมื่อได้รับรังสีในปริมาณที่เหมาะสม อีกทั้งยังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าการบวมน้ำของไฮโดรเจลนั้นมาจากการแสดงคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปอร์เซนต์การดูดซับน้ำของไฮโดรเจล (%gel swelling) รวมทั้งศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจล, ปริมาณรังสีที่ใช้ในการสังเคราะห์, เปอร์เซนต์การเป็นเจลของไฮโดรเจล (%gel fraction), gel strength และ tensile strength

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อเตรียมไฮโดรเจลจากการครอสลิงค์เมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร่วมกับกรดมาเลอิกจากการฉายรังสีแกมมาและศึกษาคุณสมบัติต่างๆของไฮโดรเจลที่ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. หาความเข้มข้นของเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสและกรดมาเลอิก
2. หาปริมาณรังสีที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไฮโดรเจล
3. พิสูจน์ลักษณะสมบัติของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy
4. ทดสอบคุณสมบัติต่างๆของไฮโดรเจล ได้แก่
   - % การดูดน้ำ (% gel swelling), % การเป็นเจล(% gel fraction), gel strength และ tensile strength

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้แนวทางในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากอนุพันธ์ของเซลลูโลสโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อใช้เพิ่มปริมาณน้ำในดินเพาะปลูก

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทดลองความเข้มข้นของเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสและกรดมาเลอิก
3. ทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรเจล
4. พิสูจน์ลักษณะสมบัติของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy
5. ทดสอบคุณสมบัติต่างๆของไฮโดรเจลได้แก่
   - % การดูดซับน้ำ (% gel swelling), % การเป็นเจล (% gel fraction), gel strength และ tensile strength
6. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง
7. เขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ไฮโดรเจล (hydrogel)[1]

ไฮโดรเจล คือพอลิเมอร์ที่ครอสลิงค์ในตัวกลางที่เป็นน้ำ และมีความสามารถในการดูดน้ำได้ดีมีลักษณะคล้ายกับเยลลี่ ไฮโดรเจลที่ชอบน้ำเพราะมีหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิล โครงสร้างที่มีการครอสลิงค์เป็นตาข่ายจึงช่วยในการจับน้ำและดูดซึมน้ำเอาไว้ การสังเคราะห์ไฮโดรเจลโดยวิธีการทางรังสีนั้น ต้องทำให้พอลิเมอร์นั้นอยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง การใช้รังสีเป็นตัวทำให้เกิดการครอสลิงค์ระหว่างโมเลกุล เรียกว่า cross linkage reaction ซึ่งเป็นวิธีทำให้พอลิเมอร์เกิดการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในโครงสร้างร่างแหสามมิติในตัวกลางที่เป็นน้ำการเกิดไฮโดรเจลจะทำให้ความสามารถละลายลดลง และจุดหลอมเหลวสูงขึ้น

1. คุณสมบัติของไฮโดรเจล

ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดไฮโดรเจลมี 2 อย่างขึ้นไป คือ มีโครงสร้างของไฮโดรเจลที่มีการครอสลิงค์แบบสามมิติ และมีส่วนของน้ำซึ่งเข้าไปอยู่ในช่องว่างของพอลิเมอร์โมเลกุลแน่นจึงทำให้เกิดไฮโดรเจล คุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ควรเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐานเพราะมีช่องว่างในโครงสร้างมากจึงทำให้น้ำเข้าไปแทรกได้ดีซึ่งจะทำให้พอลิเมอร์นั้นเกิดการบวมและขยายตัวมาเป็นเจลเปียกซึ่งสัดส่วนของน้ำจะมากกว่าพอลิเมอร์

2. ประเภทของไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

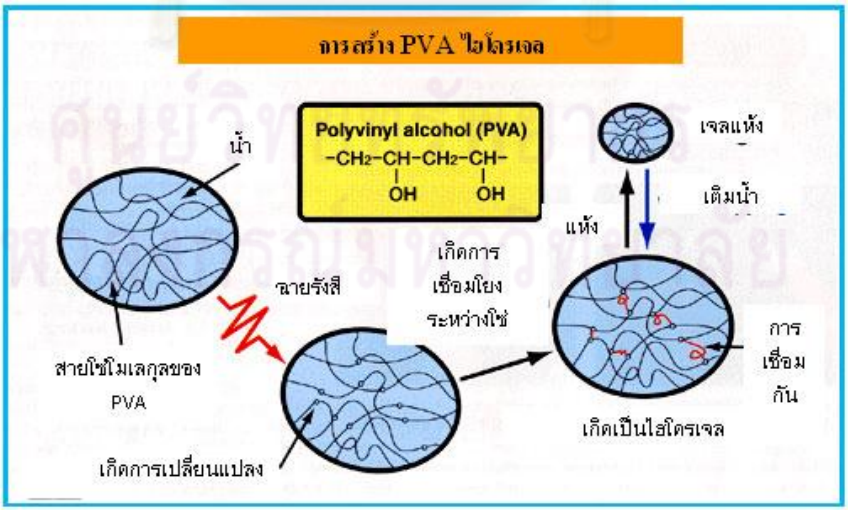
1.ไฮโดรเจลที่ได้จากกระบวนการทางฟิสิกส์ หรือที่เรียกว่าเจลเทียม ซึ่งเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะโดยพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลจะเข้ามาจับกับอีกโมเลกุลหนึ่ง เจลที่ได้จะมีความแข็งแรงสูง แต่จะหลอมเป็นสารละลายได้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เนื่องจากไม่มี

พันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่มีเพียงการเชื่อมโยงทางกายภาพเท่านั้น สามารถเตรียมไฮโดรเจลชนิดนี้ด้วยเทคนิค Freezing and Thawing

2. ไฮโดรเจลที่ได้จากกระบวนการทางเคมี กระบวนการเกิดไฮโดรเจลชนิดนี้แต่ละสายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนซ์ที่มีความแข็งแรง จึงทำให้สามารถสลายตัวได้ในกรณีที่โมเลกุลมหภาคถูกทำลายเท่านั้น ซึ่งวิธีการเตรียมไฮโดรเจลนี้คือเทคนิคการฉายรังสี และเทคนิคการใช้สารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยง

3. การเตรียมไฮโดรเจล

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ให้เกิดไฮโดรเจลต้องละลายได้ในน้ำเช่น polyvinyl-alcohol (PVA), polyethylene oxide (PEO), polyacrylamide (PAAM), polyacrylic acid (PAA) ซึ่งคุณสมบัติที่เลือกนำมาสังเคราะห์ เช่น ต้องมี pH ที่เหมาะสม การฉายรังสีในการทำให้เกิดไฮโดรเจลต้องฉายในพอลิเมอร์ที่อยู่ในสภาพสารละลายเนื้อเดียวกันและไม่ให้มีออกซิเจน เพราะถ้ามีจะเกิดปฏิกิริยาเป็นอนุมูลเปอร์ออกซีขัดขวางการเกิดครอสลิงค์ อนุมูลอิสระเหล่านี้จะกระจายไปตามจุดต่างๆของพอลิเมอร์ทุกโมเลกุล ในที่สุดอนุมูลอิสระจะมารวมกันและเกิดการครอสลิงค์ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ได้พอลิเมอร์ลักษณะโครงสร้างแบบตาข่าย



รูปที่ 2.1 การสังเคราะห์ PVA ไฮโดรเจลโดยการฉายรังสี[2]

4. กระบวนการเกิดไฮโดรเจล[3]

แรงกระทำต่อมวลสารเนื่องมาจากการฉายรังสีจะทำให้สารอยู่ในสภาวะเร้า (exited state) แล้วเกิดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารที่มีความว่องไวสูงจึงก่อให้เกิดปฏิกิริยามากมาย โดยอนุมูลอิสระดังกล่าวนี้อาจเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของตัวทำละลายหรือตัวกลางด้วยก็ได้ ถ้าอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นบนแต่ละสายโซ่ของพอลิเมอร์อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งกันและกันจะเกิดการรวมตัวกันเป็นพันธะโควาเลนซ์ที่เชื่อมต่อระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ปริมาณพันธะที่เกิดขึ้นนี้มีมากเพียงพอในการเกิดสัดส่วนที่บวมน้ำได้ในส่วนนี้จะเรียกว่า Gel อย่างไรก็ตามยังมีบางส่วนที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง ซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า Sol และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณรังสีให้แก่ระบบพบว่าส่วนของเจลจะเพิ่มมากขึ้นด้วย

พิจารณาสมการ

$$M \rightarrow R^{\cdot} \quad \cdots (1)$$

$$S(H_2O) \rightarrow S^{\cdot}\left(OH^{\cdot}, H^{\cdot}, e_{aq}^{-}\right) \quad \cdots (2)$$

$$S + M \rightarrow R^{\cdot} \quad \cdots (3)$$

M คือ โมเลกุลของมอนอเมอร์

$R^{\cdot}$ คือ อนุมูลอิสระของมอนอเมอร์

S คือ โมเลกุลของตัวทำละลาย

$OH^{\cdot}, H^{\cdot}, e_{aq}^{\cdot}$ คือ อนุมูลอิสระของไฮดรอกซี, อนุมูลอิสระของไฮโดรเจน และ solvated electron ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ไม่เพียงแต่ถูกเหนี่ยวนำด้วยอนุมูลอิสระจากมอนอเมอร์เท่านั้น แต่ยังสามารถถูกเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระจากน้ำจึงมีผู้ได้ศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในสมการ (2) และ (3) มีปริมาณมากกว่าสมการ (1) ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเพิ่มขึ้นตามอนุมูลอิสระของน้ำที่มีบทบาทในการแผ่ขยายของสายโซ่ หลังจากมอนอเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ 80-90% แล้วอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง

อย่างรวดเร็วและเมื่อทำการฉายรังสีต่อไปจะเกิดการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระมหภาค (macro free radical) เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์ขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย อนุมูลอิสระขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากสารที่มีความว่องไวสูง (intermediate) ที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลมหภาค สำหรับโครงร่างแหสามมิตินั้นอาจเกิดการรวมกันของอนุมูลอิสระที่อยู่บนแต่ละสายโซ่พอลิเมอร์กับอนุมูลอิสระขนาดใหญ่ตัวอื่นโดยเรียกรวมกันแบบนี้ว่า endlinking

2.1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์

1. ความหมายของพอลิเมอร์และการแบ่งชนิดของพอลิเมอร์[4]

พอลิเมอร์ (polymer) คือ สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมาก ประกอบด้วย หน่วยเล็ก ๆของสารที่อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์

มอนอเมอร์ (monomer) คือ หน่วยเล็ก ๆ ของสารในพอลิเมอร์

2. การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์

1. ชนิดของพอลิเมอร์แบ่งตามการเกิด ได้แก่

ก. พอลิเมอร์ธรรมชาติ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น โปรตีน แป้ง เซลลูโลส ยางธรรมชาติ

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างพอลิเมอร์จากธรรมชาติ[5]

ข. พอลิเมอร์สังเคราะห์[4] เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์จากปฏิกิริยาเคมี โดยใช้สารเริ่มต้นหรือมอนอเมอร์ ส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวคือสารประกอบที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน เช่น เอทิลีน โพรพิลีน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะได้พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลมากและมีโครงสร้างแข็งแรง เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน เป็นต้น ซึ่งพอลิเมอร์เหล่านี้เรียกว่า เม็ดพลาสติก ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เรียกว่า ปิโตรเคมี เพื่อใช้ประโยชน์ในการผลิตวัสดุต่าง ๆ เช่น พลาสติกไนลอนดาครอนและลูไซต์วัสดุต่างๆที่เป็นพลาสติกในปัจจุบันจึงได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซ

ชันเป็นจำนวนมาก เช่น พลาสติกต่างๆ ภาชนะใส่อาหาร ท่อสายยาง ฟิล์มถ่ายรูป ของเล่นเด็ก และอีกมากมาย

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์สังเคราะห์[5]

2. แบ่งตามชนิดของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ[4]

ก. โฮมอพอลิเมอร์ (homo-polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันเช่น แป้ง, พอลิเอทิลีน, PVC

ข. โคพอลิเมอร์ (co-polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ต่างชนิดกันเช่น โปรตีน พอลิเอสเทอร์

ได้แก่

- Alternating copolymer เป็นพอลิเมอร์ที่มีมอนอเมอร์ A และ B เรียงสลับกันเป็นช่วงหน่วยต่อหน่วย

A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B

- Block copolymer เป็นกลุ่มของมอนอเมอร์ A และ B ที่เรียงสลับกันเป็นกลุ่ม

A-A-A-A-B-B-B-B-A-A-A-A

- Random copolymer เป็นมอนอเมอร์ A และ B เรียงสลับกันอย่างอิสระ

B-A-A-A-B-A-B-A-A-B-B-B-

3. ชนิดของพอลิเมอร์แบ่งตามโครงสร้าง

ก. พอลิเมอร์แบบเส้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาวโซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวสูงมีลักษณะแข็งขุ่นเหนียวกว่าโครงสร้างอื่นๆ ตัวอย่างเช่น PVC, พอลิสไตรีน, พอลิเอทิลีน

ข. พอลิเมอร์แบบกิ่ง

เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขามีทั้งโซ่สั้นและโซ่ยาว กิ่งที่แตกจากพอลิเมอร์ของโซ่หลักทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มากจึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำยืดหยุ่นได้ความเหนียวต่ำโครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

ค. พอลิเมอร์แบบร่างแห

เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแหพอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแกร่งเหนียวและเปราะหักยาก ตัวอย่างเช่น เบกาไลต์เมลามีนใช้ทำถ้วยชาม

พอลิเมอร์สังเคราะห์ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด พอลิเมอร์มีการใช้ในการยึดเกาะและการหล่อลื่นอย่างกว้างขวางเช่นเดียวกับการใช้เป็นโครงสร้างตั้งแต่ของเด็กเล่นจนถึงยานอวกาศ มีการใช้เป็นยาทางชีวภาพในฐานะเป็นตัวขนส่งยาในสิ่งมีชีวิต พอลิเมอร์ เช่น พอลิเมทิลเมทาคริเลต ที่ใช้ในกระบวนการโฟโตเลซิสในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ

และสารไดอิเล็กทริกโปแทสเซียมต่ำสำหรับใช้ในคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง ปัจจุบันยังมีการพัฒนาพอลิเมอร์ที่ยืดหยุ่นได้สำหรับอิเล็กทรอนิกส์

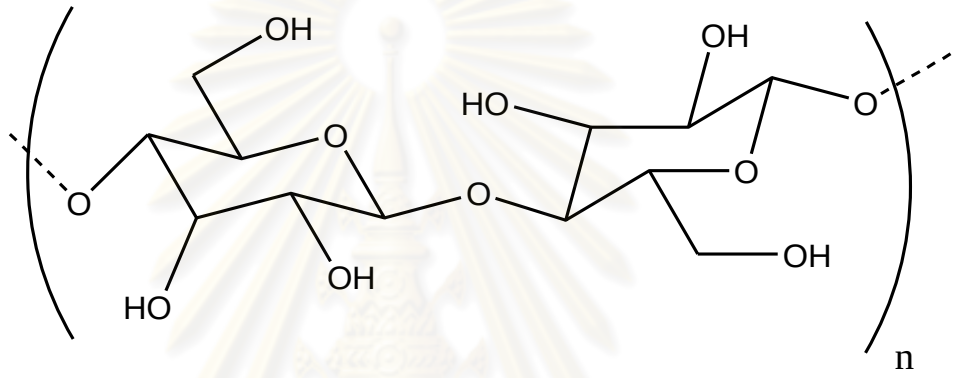
2.1.3 เซลลูโลส (cellulose)[6]

เซลลูโลส $(C_6H_{10}O_5)_n$ เกิดจากกลูโคสประมาณ 50,000 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว แต่ละสายของสายของเซลลูโลสเรียงขนานกันไป มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย ทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใย สะสมไว้ในพืช ไม่พบในเซลล์สัตว์ เซลลูโลสไม่ละลายน้ำและร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่ในกระเพาะของวัว ควาย ม้า และสัตว์ที่เท้ามีกีบ มีแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ ถึงแม้ว่าร่างกายของมนุษย์จะย่อยเซลลูโลสไม่ได้ แต่เซลลูโลสจะช่วยในการกระตุ้นลำไส้ใหญ่ให้เคลื่อนไหว เส้นใยบางชนิดสามารถดูดซับน้ำได้ดี จึงทำให้อุจจาระอ่อนนุ่ม ขับถ่ายง่าย ท้องไม่ผูก ลดโอกาสการเกิดโรคริดสีดวงทวาร เซลลูโลสเมื่อถูกย่อยจะแตกตัวออกให้น้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก คาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของเซลล์ (structural carbohydrate) ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือโมเลกุลของกลูโคส (glucose subunits) 1,000-10,000 โมเลกุล มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) 200,000-2,000,000 หน่วยย่อยพื้นฐาน (basic subunit) คือ เซลโลไบโอส (cellobiose) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะ b-(1-4) ไกลโคซิดิก โดยที่ไม่มีการแตกแขนง เซลลูโลสใน primary cell wall ประกอบด้วยกลูโคสยาวประมาณ 2,000 โมเลกุล และอย่างน้อย 14,000 โมเลกุลใน secondary cell wall โดยโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า microfibril ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช

การสังเคราะห์เซลลูโลสยังไม่เป็นที่เข้าใจทั้งหมดแต่น่าจะเป็นการรวมตัวของหน่วยย่อยพื้นฐานคือเซลโล-ไบโอสเข้าไปในลูกโซ่ของโมเลกุลมากกว่าที่จะเป็นการเติมโมเลกุลเดี่ยวๆ ของกลูโคส UDP-glucose และน้ำตาล lipidpyrophosphate มีความจำเป็นในขั้นตอนการสังเคราะห์ส่วนในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวการสังเคราะห์เซลลูโลสค่อนข้างจำกัดเว้นแต่ว่าจะมีการเจริญเติบโตซึ่งนับว่าน้อยมาก

โมเลกุลของเซลลูโลสมีความเสถียรมาก แต่สามารถถูกทำลายได้ด้วยกรดแก่หรือโดยการย่อยของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) แต่เอนไซม์เซลลูเลสนี้พบปริมาณน้อยมากในผลิตผลหลัง

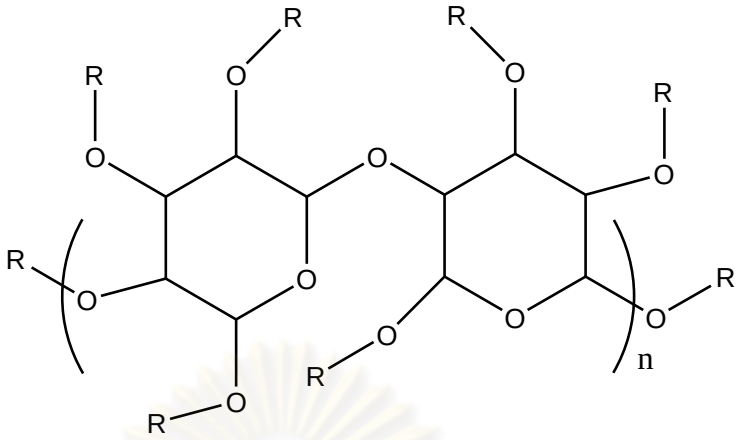
การเก็บเกี่ยวและพบว่าไม่มีความสำคัญในการอ่อนนิ่มของผลิตผล การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของเซลลูโลสในผลไม้ที่กำลังสุกมีน้อยมากและระดับของปฏิกิริยาของเอนไซม์ก็ไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการอ่อนนิ่มของผลไม้ในระหว่างการสุกเป็นที่ทราบกันว่าเซลลูเลสจะมีการทำงานในขณะที่มีการหลุดร่วงของใบไม้หรืออวัยวะส่วนอื่นจากต้นพ่อแม่ แต่อย่างไรก็ตามปรากฏว่าเป็น isoenzyme ซึ่งแตกต่างจากเอนไซม์เซลลูเลสทั่วไปที่พบในเซลล์ส่วนใหญ่



รูปที่ 2.4 โครงสร้างเซลลูโลส

2.1.4 methyl hydroxy ethyl cellulose (MHEC)

คือ เซลลูโลสที่ได้จากพืชซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติเมื่อนำมาฉายรังสีจะเกิดการสลายตัวของสายโซ่พอลิเมอร์แต่ถ้าทำในเงื่อนไขที่เหมาะสมสามารถเกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่ของโมเลกุล (crosslink) ด้วยรังสีแกมมาได้เป็น hydrogel และจะมีคุณสมบัติที่ดีคือ ไม่เป็นพิษ ไม่ต้องเติมสารที่เป็นพิษ และสลายได้ทางชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายสาขาทั้งทางแพทย์ ทางเกษตร ทางด้านอุตสาหกรรมหรืออื่นๆ



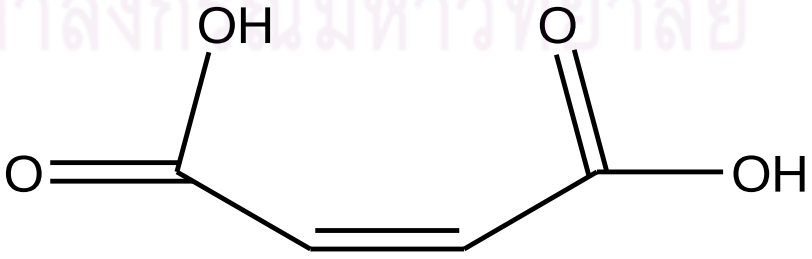
R= $(CH_2CH_2O)_xH$, CH_3 , H

รูปที่ 2.5 โครงสร้างเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส

2.1.5 maleic acid[8]

กรดมาเลอิกเป็น organic compound ที่มีหมู่ carboxyl อยู่ 2 หมู่ คุณสมบัติทางกายภาพของ maleic acid คือ สามารถละลายได้ในน้ำ จุดหลอมเหลว 130-139 $^{\circ}C$ การสังเคราะห์ maleic acid จะสังเคราะห์จากกระบวนการ Oxidation ของ benzene หรือ butane ได้เป็น maleic anhydride จากนั้นทำการ hydrolysis จะได้ maleic acid

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 โครงสร้าง maleic acid

2.1.6 รังสีแกมมา (gamma-rays)[3]

แหล่งกำเนิดของรังสีแกมมาคือนิวเคลียสของธาตุที่ไม่เสถียรซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทำให้นิวเคลียสของธาตุชนิดหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นธาตุอีกชนิดหนึ่ง และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีแกมมา การเกิดรังสีแกมมาโดยวิธีทางธรรมชาติคือรังสีที่แผ่ออกมาจากอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี เช่น โคบอลต์-60

โคบอลต์ 60 (Co-60)

เป็นธาตุกัมมันตรังสีผลิตขึ้นโดยการอาบรังสีนิวตรอนให้แก่โคบอลต์-59 (Co-59) ภายในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูกลายเป็นโคบอลต์-60 (Co-60) ซึ่งจะปลดปล่อยหรือให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.33 MeV และ 1.17 MeV นำไปประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเพื่อตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย วัดความหนาของโลหะ วัดความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ที่สำคัญๆ คือ การฆ่าเชื้อโรคเครื่องมือแพทย์และรังสีบำบัด เมื่อจะนำไปใช้งานจะต้องบรรจุโคบอลต์-60 ลงในภาชนะโลหะหนาและหนักทั้งนี้เพราะรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากโคบอลต์-60 จะถูกดูดกลืนโดยโลหะมวลหนักอย่างเหล็กหรือตะกั่วภาชนะที่ว่านี้จะต้องมีด้านหนึ่งเพื่อเป็นช่องออกของรังสีซึ่งเมื่อไม่ได้ใช้งานต้องปิดไว้ไม่ให้รังสีแกมมาออกมาได้

สามารถเขียนเป็นสมการนิวเคลียร์ได้ดังนี้

$$^{60}Co \xrightarrow{\beta^-} {}^{60}Ni^* \xrightarrow{\gamma} {}^{60}Ni$$

2.1.7 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากรังสี[3]

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาพลังงานปรมาณูมาใช้ในทางสันติกันอย่างกว้างขวาง เป็นต้นว่าในทางการแพทย์ก็นำไปใช้ในทางการวินิจฉัย และบำบัดรักษาโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ ซึ่งในทางการเกษตรก็ใช้ในทางการพัฒนาที่ดินให้เหมาะสมแก่การเพาะปลูกพืชไร่และความคุ้มค่าในการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลงทุนที่จะนำเอาพลังงานปรมาณูมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ในการเพิ่มผลผลิตทางอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น

เมื่อวัสดุถูกฉายด้วยรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์ พลังงานของรังสีจะถ่ายเทให้กับอะตอมหรือโมเลกุลของวัสดุนั้นทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) และทำให้อะตอมหรือโมเลกุลอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (excitation) ในที่สุดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพกับวัสดุนั้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไปตามปกติ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องมาจากรังสีมีดังนี้

ก. การทำให้เกิดภาวะถูกกระตุ้นโดยรังสี จะเกิดอยู่ในระดับที่มากกว่าที่ทำให้เกิดโดยวิธีทางเคมี

ข. ไอออน อะตอม หรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น หรืออนุมูลอิสระ (free radical) รวมเรียกว่า active species ที่เกิดในระยะแรกเนื่องจากรังสีจะพบอยู่เฉพาะใกล้ๆ ลำของรังสีที่วิ่งผ่านวัสดุเท่านั้น ผลทางเคมีที่เกิดในระยะแรกเนื่องจากรังสีจึงเกิดเฉพาะที่เป็น heterogeneous special distribution

ค. active species ที่เกิดขึ้นได้ง่ายด้วยรังสีที่อุณหภูมิต่ำได้ ซึ่งต่างจาก active species ที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดได้เฉพาะที่อุณหภูมิสูงเป็นส่วนใหญ่

เงื่อนไขในการฉายรังสีกับสภาพสถานะของวัสดุ ยังทำให้เกิดผลต่างๆ ได้อีกมากมาย ภายใต้รังสีชนิดหนึ่ง พลังงานขนาดหนึ่ง ปริมาณรังสีหนึ่งด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน การเติม additive หรือ ใช้สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า เข้าร่วมด้วย ขณะฉายรังสีวัสดุก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ต่างไป ซึ่งกระบวนการทางรังสี เกี่ยวข้องกับการใช้รังสีพลังงานสูงเพื่อให้เกิดประโยชน์ทางอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึงกระบวนการที่ทำให้เกิด polymerization, grafting, cross linking และ degradation การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมของกระบวนการทางรังสีที่แพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ การทำให้ฉนวนฉายไฟเกิด cross-link การปรับปรุงคุณสมบัติของ polymer และการผลิตเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อ

ปัจจัยที่เป็นข้อดีของกระบวนการทางรังสีเปรียบเทียบกับวิธีทางเคมีมีดังนี้

1. ไม่มีสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่น ไม่มี ethylene oxide ตกค้างในการฆ่าเชื้อ
2. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่วิธีทางเคมีทำไม่ได้ เช่น พอลิเมอร์จำรูป (shape memory polymers)
3. ได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพดีขึ้น เช่นการเคลือบผิวด้วย cross linked polymers
4. การขจัดสารอินทรีย์ปริมาณน้อยในน้ำดื่ม
5. ควบคุมจุลินทรีย์ที่มีโทษ (pathogen) ในอาหารได้อย่างปลอดภัย
6. ค่าใช้จ่ายโดยรวมถูกกว่า

2.1.8 ผลเบื้องต้นที่เกิดในพอลิเมอร์เมื่อฉายรังสี[3]

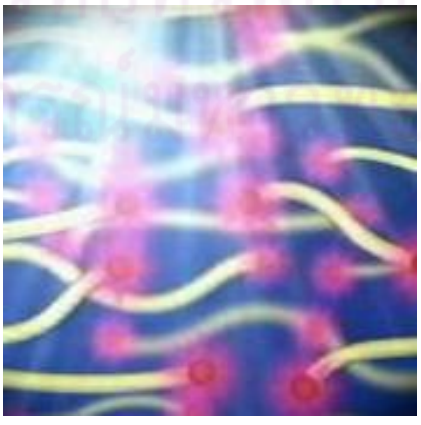
ปกติเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานรังสีโดยสารทั่วไปจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นทั้งในนิวเคลียสและอิเล็กตรอนในวงโคจรแต่ถ้าพลังงานรังสีนั้นมีค่าต่ำกว่า 10 MeV แล้วอันตรกิริยาที่เกิดในนิวเคลียสจะมีน้อยมากและส่วนมากไม่เกิดขึ้นได้โดยเฉพาะกับโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุที่มีอะตอมขนาดเล็กเช่น H, C, N, O, S เป็นต้น เมื่อรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจรจะมีขบวนการ 3 รูปแบบเกิดขึ้นคือ ผลจากโฟโตอิเล็กตริก การกระเจิงแบบคอมพ์ตันและการเกิดคู่อิเล็กตรอนบวกและลบ การจะเกิดรูปแบบใดมากน้อยต่างกันขึ้นกับพลังงานของรังสีนั้นและเลขอะตอม (ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในวงโคจร) ของตัวกลางที่ผ่าน ในทุกๆ รูปแบบที่เกิดจะได้อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่มาจากอะตอมของตัวกลางนั้นเสมอ อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ได้จะมีพลังงานมากพอที่จะก่อให้โมเลกุลข้างเคียงเกิดการเป็นไอออน อิเล็กตรอน และโมเลกุลในภาวะถูกกระตุ้น (exited molecule) ต่อไปได้ ในสารอินทรีย์ยังเกิดอนุมูลอิสระ เหล่านี้ทั้งหมดจะเป็นอนุภาคหรือหมู่ที่ว่องไว (active species) และชักนำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไปเป็นลูกโซ่จนกว่าจะรวมกันเองกลายเป็นโมเลกุลเดิมหรือโมเลกุลใหม่ การเปลี่ยนแปลงพอลิเมอร์โดยรังสีที่มีอนุมูลอิสระเป็นตัวชักนำให้เกิดซึ่งพอลิเมอร์ส่วนมากจะมีกลไกการเกิดสายโซ่ขาดและเกิดครอสลิงค์ มีส่วนน้อยที่เกิดโดยการชักนำโดยไอออน การที่จะทราบว่ากลไกการเกิดจะเป็นแบบใดจะใช้สารบางชนิดที่จับอนุมูลอิสระได้ดีเติมลงในพอลิเมอร์ ถ้ายังเกิดผลเหมือนเดิมก็แสดงว่ากลไกเป็นแบบชัก

นำโดยไอออน หรืออาจฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งอนุมูลอิสระจะไม่เคลื่อนที่ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาก็ได้

การฉายรังสีพอลิเมอร์[9] ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากมาย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเหล่านี้ สามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่มีประโยชน์อย่างมากในทางอุตสาหกรรม เช่น

ก. cross-linking: การเชื่อมโยงข้าม หรือ ครอสลิงค์ คือ การเกิดพันธะเคมีที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์กลายเป็นโครงร่างที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วการครอสลิงค์จะช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง ความเหนียว ความทนทานต่อสารเคมี

ก่อนฉายรังสี: โครงสร้างของพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่มีพันธะเคมีระหว่างเส้น

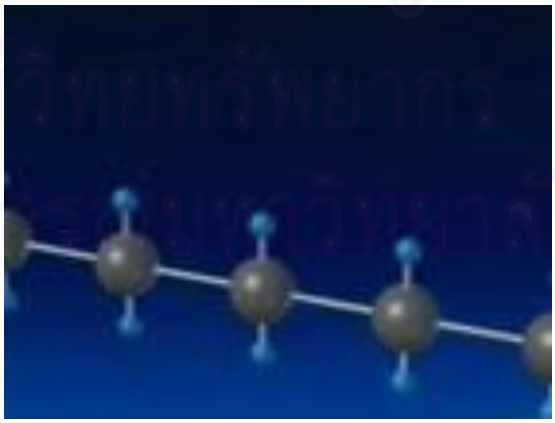


ขณะฉายรังสี:เมื่อนำไปฉายรังสีจะเกิดอนุมูล (free radical) บนสายโซ่ของพอลิเมอร์

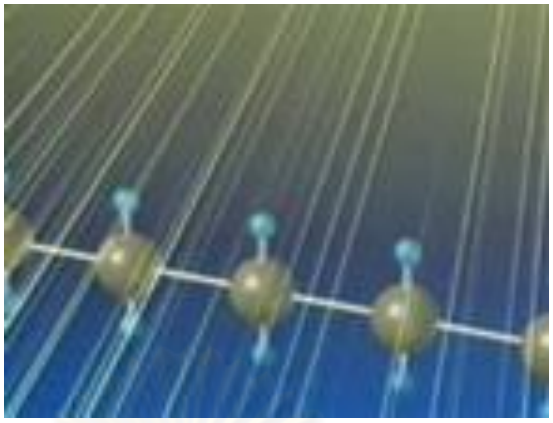
หลังฉายรังสี:อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากัน เกิดเป็นพันธะเคมีเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์

รูปที่ 2.7 พอลิเมอร์ก่อนฉายรังสี, ขณะฉายรังสีและหลังฉายรังสี

ข. Grafting: การต่อมอนอเมอร์ต่างชนิดเข้ากับพอลิเมอร์ที่สนใจเมื่อนำไปฉายรังสีหมู่ที่ทำหน้าที่ (functional group) ของมอนอเมอร์ก่อให้เกิดสายโซ่ของพอลิเมอร์เส้นใหม่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์เส้นเดิม ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพอลิเมอร์

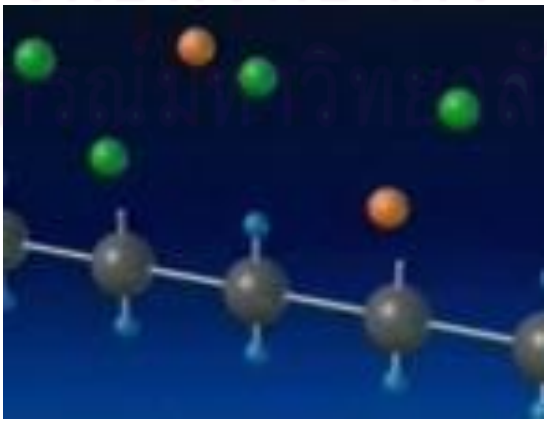


สายโซ่ของพอลิเมอร์เป็นเส้นตรง



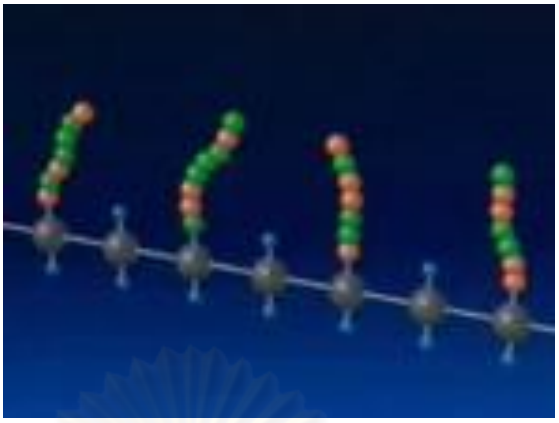
พอลิเมอร์ถูกฉายรังสี

หมู่ทำหน้าที่บางส่วนหลุดจากสายโซ่ของพอลิเมอร์



มอนอเมอร์เข้าทำปฏิกิริยาแทนที่ หมู่ทำหน้าที่หลุดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

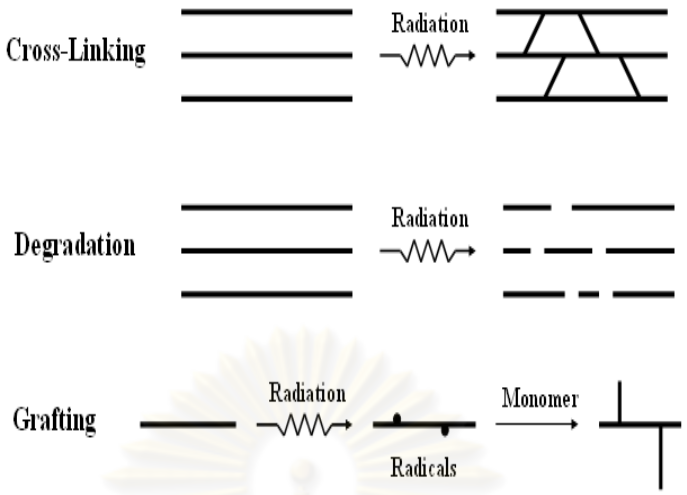


ปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์เกิดขึ้นเป็นสายโซ่ใหม่ที่เกาะอยู่บนเส้นเดิม

รูปที่ 2.8 การ Grafting ของพอลิเมอร์เมื่อฉายรังสี

ค. Degradation: การทำให้แตกสลายของพันธะเคมี ซึ่งทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์สั้นลง และน้ำหนักโมเลกุลลดลงซึ่งส่งผลให้ขั้นตอนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ทำได้ง่ายขึ้นและมีประโยชน์อย่างมากต่อพอลิเมอร์บางชนิด เช่น เทฟลอน (TEFLON: polytetrafluoroethylene, PTFE) ที่ไม่สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลได้ด้วยวิธีอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.9 ผลของรังสีต่อพอลิเมอร์

2.1.9 ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี[3]

การฉายรังสีพอลิเมอร์ในอากาศจะทำให้การเสื่อมสลายเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศกลายเป็นอนุมูลเปอร์ออกซีและเกิดการเสื่อมสลายแม้ในพอลิเมอร์ชนิดที่เกิดการเชื่อมโยงเมื่อถูกรังสี คือจะเกิด oxidation degradation ในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์

$R \xrightarrow{\gamma} R^{*}$ Initiation

$R \xrightarrow{O_2} RO_2^{*}$

$RO_2^{*} \longrightarrow RO_2H + R^{*}$ Propagation

$RO_2H \longrightarrow RO^{*} + {}^{*}OH$

$RO^{*} \xrightarrow{RH} ROH + R^{*}$

${}^{*}OH \longrightarrow RHH_2 + R^{*}$ Chain branching

$RO_2H, RO_2^{*}R \longrightarrow {}'R'' O_2H$ + etc Processes leading to chain scission

$$RO_2^* \longrightarrow RO_2R + O_2 \text{ Termination}$$

2.1.10 ผลของน้ำขณะฉายรังสี[3]

เมื่อน้ำถูกฉายด้วยรังสีแกมมาโมเลกุลของน้ำจะเกิดการแตกตัวดังนี้

$$H_2O \xrightarrow{\gamma} H_2O^+ + e^-$$

อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆจนถูกจับโดยโมเลกุลอื่น ทั้ง H_2O^+และ H_2O^- ไม่เสถียรจึงแตกตัวให้ ion และ free radical

$$H_2O^+ \longrightarrow H^+ + OH^* \text{ (hydroxyl radical)}$$

$$H_2O^- \longrightarrow H^* \text{ (hydrogen radical)} + OH^-$$

Free radical จะทำปฏิกิริยากันเองหรือทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นของน้ำหรือโมเลกุลที่เป็นผลิตผลจากปฏิกิริยา

$$H^* + H^* \longrightarrow H_2$$

$$OH^* + OH^* \longrightarrow H_2O_2$$

$$H^* + OH^* \longrightarrow H_2O$$

$$H_2O + H^* \longrightarrow H_2 + OH^*$$

$$H_2O_2 + OH^* \longrightarrow H_2O + HO_2^* \text{ (hydroperoxy radical)}$$

หรือทำปฏิกิริยากับ Organic molecules (RH)

$$RH + OH^* \longrightarrow R^* + H_2O$$

$$RH + H^* \longrightarrow R^* + H_2$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ. 2551 ยิ่งศักดิ์ ไกรพินิจ, ดุษฎี อุตภาพ, วิไล รังสาดทอง และจุรีรัตน์ พุดตาลเล็ก[10] ได้ศึกษาผลของสภาวะในการเตรียมเจลแป้งและปริมาณสารเชื่อมขวางต่อคุณสมบัติของไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งพุทธรักษา ซึ่งสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของแป้งกับซัคซินิคแอนไฮไดรด์ โดยมี 4-ไดเมทิลอะมิโนไพริดิน เป็นสารเร่งปฏิกิริยาจากผลการทดลองพบว่า การใช้สภาวะในการเตรียมเจลแป้งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้เม็ดแป้งแตกและกระจายตัวได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที โดยแป้งมันสำปะหลังมีการแตกกระจายของเม็ดแป้งอย่างสมบูรณ์เนื้อเจลมีลักษณะที่สม่ำเสมอและไม่พบชิ้นส่วนของเม็ดแป้งในขณะที่เม็ดแป้งพุทธรักษาจะยังคงเห็นเป็นชิ้นส่วนของเม็ดแป้งโดยมีชิ้นส่วนเล็กๆที่แตกออกมากระจายแทรกอยู่ทั่วไปเมื่อนำเจลแป้งที่ได้ไปสังเคราะห์ไฮโดรเจลโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของซัคซินิคแอนไฮไดรด์ต่อหน่วยกลูโคสแอนไฮดรัสเท่ากับ 5:1 และ 10:1 พบว่าการเพิ่มปริมาณของซัคซินิคแอนไฮไดรด์จะทำให้ได้ไฮโดรเจลที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลงโดยไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากเจลแป้งซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 psi มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าที่สังเคราะห์จากเจลแป้งซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าการดูดซับน้ำสูงสุดที่ 92 g/g ไฮโดรเจลแห้ง เมื่อใช้สภาวะในการเตรียมเจลแป้งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 psi และอัตราส่วนโดยโมลของสารเชื่อมขวางเท่ากับ 5:1 ในขณะที่ไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งพุทธรักษาในสภาวะเดียวกันให้ค่าการดูดซับน้ำสูงสุดต่ำกว่าเล็กน้อย (89 g/g)

ปี ค.ศ. 2000 Suda Kiatkamjornwong, Wararuk Chomsaksakul และ Manit Sonsuk[11] ได้ทำการพัฒนาการดูดซับน้ำของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ด้วยกรดอะคลิลิค/อะคลิลาไมด์ด้วยรังสีแกมมา กระบวนการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของอะคลิลาไมด์และกรดอะคลิลิคบนแป้งมันสำปะหลังโดยเทคนิคการฉายรังสีแกมมา ตัวแปรที่สำคัญมีดังต่อไปนี้ อัตราส่วนของโมโนเมอร์ต่อแป้งมันสำปะหลัง, ปริมาณรังสีสูงสุด (kGy), อัตราปริมาณรังสี ($kGyh^{-1}$), อัตรส่วนของอะคลิลาไมด์และกรดอะคลิลิค และปริมาณการเติมกรดไนตริกและกรดมาเลอิคจากตัวแปรของกราฟต์โคพอลิเมอร์จะเป็นการหาความสัมพันธ์ของการดูดซับน้ำในสารละลายเกลือและบัฟเฟอร์ ซึ่งทำให้ทราบว่าค่า pH มีผลต่อการบวมน้ำ แป้งมันสำปะหลังที่กราฟต์กับกรดอะคลิลิคและอะคลิลาไมด์จะดูดซับน้ำได้สูงกว่าแป้งมันสำปะหลังที่กราฟต์กับอะคลิลาไมด์หรือกรดอะคลิลิคเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ใช้อัตราส่วนของอะคลิลาไมด์ต่อกรดอะคลิลิค 70:30 และ 50:50

ปี พ.ศ. 2547 ปรารถนา คิ้วสุวรรณ , สุชาดา พงศ์พัฒน์ และมานิตย์ ช้อนสุข[12] ได้เตรียมไฮโดรเจลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซิลค์ไฟโบรอินโดยใช้รังสีแกมมาในการทดลองได้ใช้เงื่อนไขต่างๆในการเตรียมเช่นปริมาณรังสีความเข้มข้นของพอลีไวนิลแอลกอฮอล์และซิลค์ไฟโบรอิน เมื่อสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซิลค์ไฟโบรอินดูดกลืนรังสีแกมมาพอลีไวนิลแอลกอฮอล์และซิลค์ไฟโบรอินจะเกิดโครงร่างแหได้วัสดุที่สามารถดูดน้ำได้ถึง 100– 1000% ขึ้นกับเงื่อนไขในการเตรียมความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยงเป็นตัวแปรหลักในการบวมของแผ่นเจลจากการศึกษาการบวมในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ของแผ่นเจลพบว่าการบวมของไฮโดรเจลลดลงในสารละลายอิเล็กโตรไลต์และการเกิดเจลสูงถ้าปริมาณรังสีที่ใช้สูง CS- hydrogel มีปริมาณการปลดปล่อยสะสมมากที่สุดในดิน

ปี ค.ศ. 2004 Erdener Karadag, Dursun Saraydin, Olgun Guven[13] ได้ศึกษาสารดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากการครอสลิงค์ของ acrylamide-co-2,3-dihydroxybutanedioic acid โดยการฉายรังสีแกมมา การสังเคราะห์สารดูดซับน้ำจาก อะคริลาไมด์ (AAm) / 2,3 ไดไฮดรอกซีบิวเทนไอโออิกแอซิด (DBA) นั้นสังเคราะห์ได้จากการฉายรังสีแกมมาเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล (crosslink) วิธีการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำจะทดสอบในน้ำกลั่นที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณความเข้มข้นของ DBA และปริมาณรังสีดูดกลืนมีผลต่อการดูดซับน้ำของไฮโดรเจล ไฮโดรเจลสามารถบวมน้ำได้สูงในสารละลายที่เป็นกลางและคุณสมบัติการบวมน้ำขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี ของไฮโดรเจลและปริมาณรังสี อัตราการบวมน้ำของ AAm/DBA อยู่ระหว่าง 8.34 และ 15.16 อัตราการบวมน้ำของ AAm เท่ากับ 7.58 และ 8.28 การกระจายตัวของน้ำในไฮโดรเจลสามารถหาได้จาก non-fickian จุดสมดุลการบวมน้ำของไฮโดรเจลจะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0.8681 และ 0.9340

ปี ค.ศ. 2009 M.D.Teli, Nilesh G., Waghmare[14] ได้เตรียมสารดูซับน้ำจากการกราฟต์มอนอเมอร์ได้แก่อคริลาไมด์และกรดอคริลิคบนแป้งข้าวด้วยวิธี gelatinized และมีโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตัวแปรต่างๆที่สนใจ คือ เวลาที่ใช้ในการ gelatinized, อุณหภูมิ, ปริมาณมอนอเมอร์, อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อปริมาณมอนอเมอร์และความเข้มข้นของตัวริเริ่มการกราฟต์พบว่าใช้เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณความเข้มข้นของมอนอเมอร์อคริลาไมด์:กรดอคริลิค คือ 1:1 w/w อัตราส่วนของแป้งต่อมอนอเมอร์คือ 1% ต่อ 1:1 w/w ตัวอย่าง

ที่เตรียมสามารถจับกับ 0.1N NaOH ได้ ตัวอย่างเตรียมให้อยู่ในรูปผงละเอียดนำไปตรวจวัดคุณลักษณะด้วยเครื่อง FT-IR และ TGA ตัวอย่างสามารถดูดซับน้ำได้ถึง 150 g/g

ปี ค.ศ. 2003 A.K. Bajpai และคณะ[15] ได้ทำการเตรียมกราฟต์คาร์บอกซีเซลลูโลสด้วยพอลิอะคริลาไมด์โดยเทคนิคฟรีแรดดิคัลพอลิเมอไรซ์เซชัน ทดสอบคุณลักษณะของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค IR มีการวิเคราะห์ผลต่างๆ เช่น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของคลอสลิงค์ (Mc), ความหนาแน่นของการครอสลิงค์ (q) และผลของจำนวนสายโซ่พอลิเมอร์ (Vc) ไฮโดรเจลมีค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี การโหลดปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรตศึกษาโดยเทคนิคคอนดัคติวิตี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 สารเคมี

Methanol : Honeywell International Inc. USA.

Methyl hydroxy ethyl cellulose : Shin-Etsu Silicones (Thailand)

Maleic acid : Newplex Industries Australia.

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์

ขวดทนความร้อน : Schott Duran

ตะแกรงสแตนเลสขนาด 200 mesh

ถุง vacuum ชนิดทนรังสี

กระจกไสลด์

ช้อนตักสาร

คีมคีบสาร

บีกเกอร์

แผ่นเทฟลอน

กระดาษทิชชูแบบหนา

3.1.3 เครื่องมือ

เครื่องฉายรังสีแกมมา : Gamma chamber 5000

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง : Mettler AT201

เครื่องปั๊มดูดอากาศ : Impule sealer

เครื่องผนึกถุง : Divac 1.2L

Hot plate : yellowline

ตู้ดูดความชื้น : WEIFO

ตู้อบสาร : Binder

Fourier transform spectroscopy (FT-IR) : Bruker tensor 27

3.2 วิธีการทดลอง

ในการวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอนคือ

3.2.1 ตอนที่ 1 การเตรียม methyl hydroxy ethyl cellulose เพื่อครอสลิงค์ร่วมกับ

maleic acid โดยฉายรังสีแกมมา

3.2.2 ตอนที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติของ hydrogel ที่สังเคราะห์ได้

3.2.1 ตอนที่ 1 การเตรียม methyl hydroxy ethyl cellulose (MHEC) เพื่อครอสลิงค์ร่วมกับ Maleic acid (MA) โดยฉายรังสีแกมมา

1. ชั่งน้ำหนัก MHEC, MA, น้ำกลั่น ให้เป็นไปตามสัดส่วน ดังแสดงตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนน้ำหนักของ MHEC กับ MA

ความเข้มข้น (w/v)	MHEC (g)	MA (g)	น้ำกลั่น (g)
10%MHEC : 0.1%MA	10	0.1	89.9
10%MHEC : 0.3%MA	10	0.3	89.7
10%MHEC : 0.5%MA	10	0.5	89.5
10%MHEC : 1%MA	10	1	89
10%MHEC : 2%MA	10	2	88

ความเข้มข้น (w/v)	MHEC (g)	MA (g)	น้ำกลั่น (g)
15%MHEC : 0.1%MA	15	0.1	84.9
15%MHEC : 0.3%MA	15	0.3	84.7
15%MHEC : 0.5%MA	15	0.5	84.5
15%MHEC : 1%MA	15	1	84
15%MHEC : 2%MA	15	2	83

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนน้ำหนักของ MHEC กับ MA (ต่อ)

ความเข้มข้น (w/v)	MHEC (g)	MA (g)	น้ำกลั่น (g)
20%MHEC : 0.1%MA	20	0.1	79.9
20%MHEC : 0.3%MA	20	0.3	79.7
20%MHEC : 0.5%MA	20	0.5	79.5
20%MHEC : 1%MA	20	1	79
20%MHEC : 2%MA	20	2	78

ความเข้มข้น (w/v)	MHEC (g)	MA (g)	น้ำกลั่น (g)
25%MHEC : 0.1%MA	25	0.1	74.9
25%MHEC : 0.3%MA	25	0.3	74.7
25%MHEC : 0.5%MA	25	0.5	74.5
25%MHEC : 1%MA	25	1	74
25%MHEC : 2%MA	25	2	73

2. ละลาย MHEC และ MA ด้วยน้ำกลั่น โดยแบ่งน้ำกลั่นออกเป็นสองส่วน

ส่วนที่ 1 ละลาย MHEC ส่วนที่ 2 แบ่งไว้เพียงเล็กน้อยเพื่อละลาย MA

- ต้มน้ำกลั่นส่วนที่ 1 ในวอเตอร์บาทจนเดือด จากนั้นละลาย MA ด้วยน้ำกลั่นส่วนที่ 2 เมื่อละลายแล้ว นำไปผสมกับน้ำกลั่นส่วนที่ 1
- เมื่อน้ำร้อน ค่อยๆเท MHEC ลงไปทีละน้อย คนเรื่อยๆเพื่อไม่ให้ MHEC จับกันเป็นก้อนคนจนเข้ากัน

รูปที่ 3.1 การกวน methyl hydroxy ethyl cellulose ผสม maleic acid

3. นำ MHEC:MA ไล่อากาศออกโดยเครื่อง Vacuum pump แล้วนำมาบรรจุใส่ถุงชนิดทนรังสีปิดผนึกให้มิดชิด

รูปที่ 3.2 vacuum pump

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 เตรียมสารละลาย methyl hydroxy ethyl cellulose ผสม maleic acid ใส่ถุง

4. นำไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 kGy

รูปที่ 3.4 Gamma chamber 5000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 ตอนที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติของ hydrogel ที่ผลิตได้

โดยทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่

- % การดูดซับน้ำ (% gel swelling), % การเป็นเจล (% gel fraction), gel strength และ tensile strength

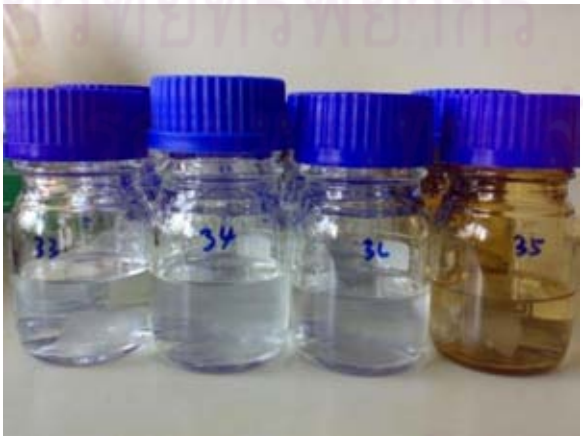
1. การทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำ (%gel swelling) ต่อปริมาณรังสี

1. นำเจลที่สังเคราะห์ได้ตัดเป็นชิ้นเล็กๆคล้ายลูกเต๋า ขนาด 1 ซม.x 1ซม. ส่วนหนึ่งนำไปชั่งขณะเป็นเจลเปียกหลังเตรียมได้ (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) อีกส่วนหนึ่งนำไปอบที่ vacuum oven อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำออกจากเจล

รูปที่ 3.5 ไฮโดรเจลที่เตรียมได้

2. นำเจลที่อบแล้วมาเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นรอจนเจลเย็น นำไปชั่งน้ำหนัก (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ทำ 5 ซ้ำบันทึกน้ำหนักหา % ความชื้นในเจลตัวอย่าง

3. จากนั้นนำเจลที่ชั่งน้ำหนักเปียกจากข้อ 1 มาแช่ในน้ำกลั่น 4 วัน (สังเกตได้ว่า blank หรือตัวที่ไม่ได้ฉายรังสีจะไม่เป็นเจลแต่จะละลาย)



รูปที่ 3.6 การดูดซับน้ำของไฮโดรเจลในน้ำกลั่น

4. เมื่อครบ 4 วัน นำเจลมาชั่งน้ำหนักโดยใช้ทิชชูค่อยซับน้ำออก (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนัก

5. คำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำโดย

$$\% \text{ gel swelling} = \frac{\text{น้ำหนักของเจลที่แช่น้ำ-น้ำหนักเจลแห้ง}}{\text{น้ำหนักเจลแห้ง}} \times 100$$

6. นำค่าที่คำนวณได้มาสร้างกราฟระหว่าง %gel swelling ต่อปริมาณรังสี

2. การทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำ (%gel swelling) ต่อเวลา

1. นำเจลที่สังเคราะห์ได้ตัดเป็นชิ้นเล็กๆคล้ายลูกเต๋า ขนาด 1 ซม.x 1ซม. ส่วนหนึ่งนำไปชั่งขณะเป็นเจลเปียกหลังเตรียมได้ (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) อีกส่วนหนึ่งนำไปอบที่ตู้อบอุณหภูมิ $50^{\circ}C$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำออกจากเจล

2. นำเจลที่อบแล้วมาเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นรอจนเจลเย็น นำไปชั่งน้ำหนัก (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ทำ 5 ซ้ำบันทึกน้ำหนัก หา % ความชื้นในเจลตัวอย่าง

3. นำเจลที่ชั่งน้ำหนักเปียกจากข้อ 1 เติมน้ำกลั่น เริ่มจับเวลาทุกๆ 30 นาทีนำเจลที่แช่น้ำขึ้นมาซับน้ำด้วยกระดาษทิชชูชั่งน้ำหนักไปเรื่อยๆ (จับเวลาทุก 30 นาที) จนน้ำหนักของเจลที่แช่น้ำคงที่แล้วมาคำนวณหา %gel swelling ที่เวลาต่างๆกัน

4. นำค่าที่คำนวณได้มาสร้างกราฟระหว่าง %gel swelling ต่อเวลา

3. การทดสอบร้อยละการเป็นเจล (%gel fraction) ต่อปริมาณรังสี

1. นำตัวอย่างเจลหนึ่งๆที่สังเคราะห์ได้ตัดเป็นชิ้นเล็กๆคล้ายลูกเต๋า ขนาด 1 ซม.x 1ซม.9 ชิ้น (รวมทั้ง blank ที่ไม่ฉายรังสี)

- สามส่วนแรกไม่ต้องอบไล่น้ำ นำไปชั่งเป็นน้ำหนักเปียกของตัวอย่าง (ทำ 3 ซ้ำ)

- สามส่วนที่สองตัดเป็นชิ้นเล็กๆคล้ายลูกเต๋า แล้วนำไปอบที่ตู้อบอุณหภูมิ $50^{\circ}C$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำออกจากเจล นำเจลที่อบแล้วมาเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นรอจนเจลเย็นนำมาชั่งน้ำหนัก (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ (ทำ 3 ซ้ำ) หา %ความชื้นของตัวอย่าง จะได้ 3 ค่า หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ชั่งน้ำหนักของ sieve ขนาด 200 mesh ที่พับไว้เป็นลักษณะถุง

3. จากนั้นนำเจลสามส่วนที่เหลือมาใส่ใน sieve ชั่งน้ำหนักบันทึกไว้แล้วนำไปต้มใน water bath อุณหภูมิ $90^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 3.7 ทดสอบร้อยละการเป็นเจล (%gel fraction)

4. นำเจลที่ต้มแล้วทั้ง sieve มาแช่ใน methanol 1.30 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบในตู้อบ อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

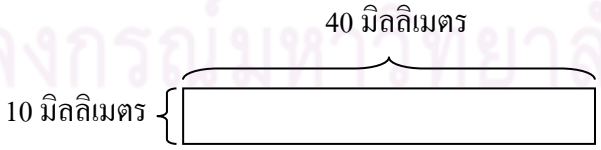
5. เมื่ออบเจลครบ 48 ชั่วโมง แล้วนำเจลที่บรรจุใน sieve มาไว้ในตู้ดูดความชื้นรอจนเย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

6. คำนวณหาร้อยละการเป็นเจลโดย

$$\% \text{ gel fraction} = \frac{(\text{น้ำหนักของ sieve ที่ใส่เจลอบแห้ง-น้ำหนัก sieve})}{\text{น้ำหนักเจลแห้ง}} \times 100$$

4. การทดสอบความต้านแรงดึงของไฮโดรเจล (tensile strength)

1. ตัดแผ่นไฮโดรเจลที่มีความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 ไฮโดรเจลเพื่อวัด tensile strength

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ตั้งค่าของเครื่องมือทดสอบ Universal Testing Machine รุ่น H10kM ที่มีความยาวเริ่มต้น 25 มิลลิเมตรเมตร ความเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อวินาที Load cell 100 N.

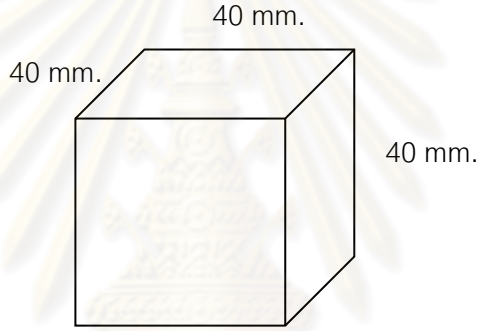
3. นำแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมไว้ไปหนีบที่หัววัดของเครื่องทดสอบ

4. เริ่มดึงขณะที่ดึงจะสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของตัวอย่างและแรงที่ใช้

5. นำกราฟมาแปลงค่าเป็นค่าความต้านแรงดึงจนขาด

5. การทดสอบความต้านแรงกดของไฮโดรเจล (gel strength)

1. ตัดไฮโดรเจลขนาด 40x40x40 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.9 ไฮโดรเจลเพื่อวัด gel strength

2. ตั้งค่าของเครื่องมือทดสอบ Universal Testing Machine รุ่น H10kM กำหนดความยาวเริ่มต้น 40 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 50 มิลลิเมตรต่อวินาที Lode cell 100 N. กด 80% ของความหนาตัวอย่าง

3. นำไฮโดรเจลที่เตรียมไว้ไปวางตำแหน่งตรงกลางหัววัดของเครื่องมือวิเคราะห์

4. เริ่มกดเจลโดยที่แรงกดคงที่

6. พิสูจน์ลักษณะสมบัติของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy

เป็นเทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopy ที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และพันธะเคมีในโมเลกุลรวมถึงสามารถบอกถึงองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด

โดยนำเจลที่สังเคราะห์ได้มาแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy

รูปที่ 3.10 FT-IR Spectroscopy

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่ผลิตได้

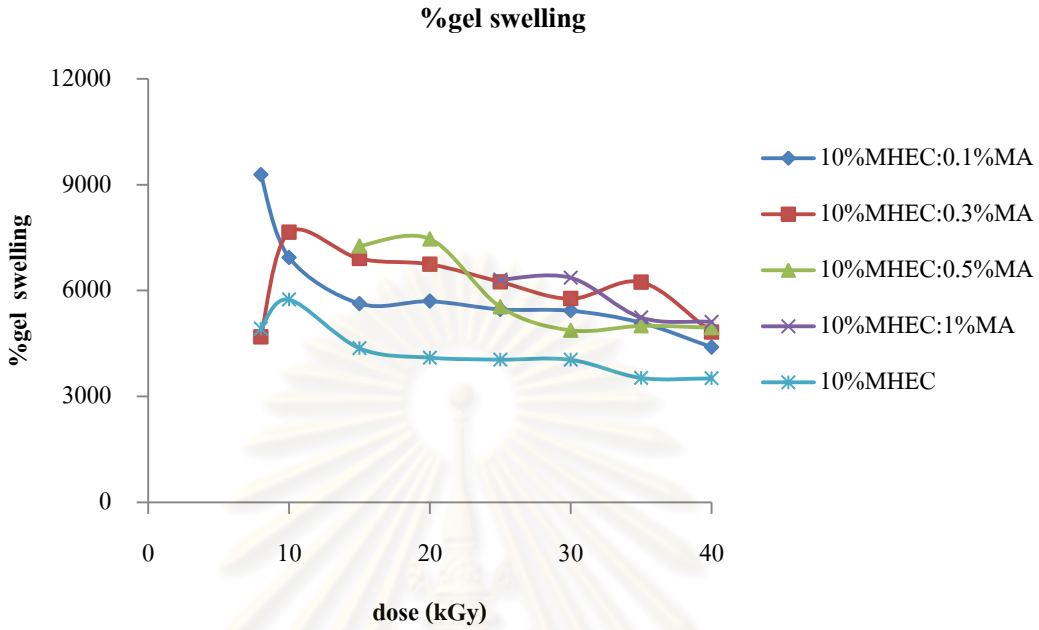
4.1.1 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำของไฮโดรเจล (%gel swelling) ต่อปริมาณรังสี

นำเจลที่ผลิตได้มาทดสอบการดูดซับน้ำโดยนำเจลหนึ่งๆที่สังเคราะห์ได้มาตัดให้เป็นชิ้นลักษณะคล้ายลูกเต๋าขนาด 1 ซม. x 1 ซม. นำมาแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 5760 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

ก. ผลการทดสอบร้อยละการดูดน้ำซับของ 10% MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10% MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10%MHEC:2%MA, 10%MHEC

ตารางที่ 4.1 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 10%MHEC:0.1%MA, 10%MHEC:0.3%MA, 10%MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10%MHEC:2%MA, 10%MHEC

sample	%gel swelling							
	Dose (kGy)							
	8	10	15	20	25	30	35	40
10%MHEC:0.1%MA	9281 ±453	6938 ±350	5632 ±361	5696 ±211	5467 ±490	5428 ±535	5088 ±203	4398 ±247
10%MHEC:0.3%MA	4688 ±416	7651 ±269	6906 ±578	6745 ±903	6245 ±763	5769 ±389	6240 ±689	4821 ±275
10%MHEC:0.5%MA	ละลาย	ละลาย	7264 ±911	7462 ±484	5537 ±531	4873 ±452	4999 ±502	4950 ±362
10%MHEC:1%MA	ละลาย	ละลาย	ละลาย	4597 ±310	6307 ±1251	6364 ±565	5234 ±844	5113 ±205
10%MHEC:2%MA	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
10%MHEC	4924 ±319	5744 ±352	4364 ±262	4098 ±457	4044 ±132	4037 ±182	3523 ±85	3510 ±132



รูปที่ 4.1 ร้อยละการดูดน้ำซับของ 10%MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10% MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10%MHEC ต่อปริมาณรังสี

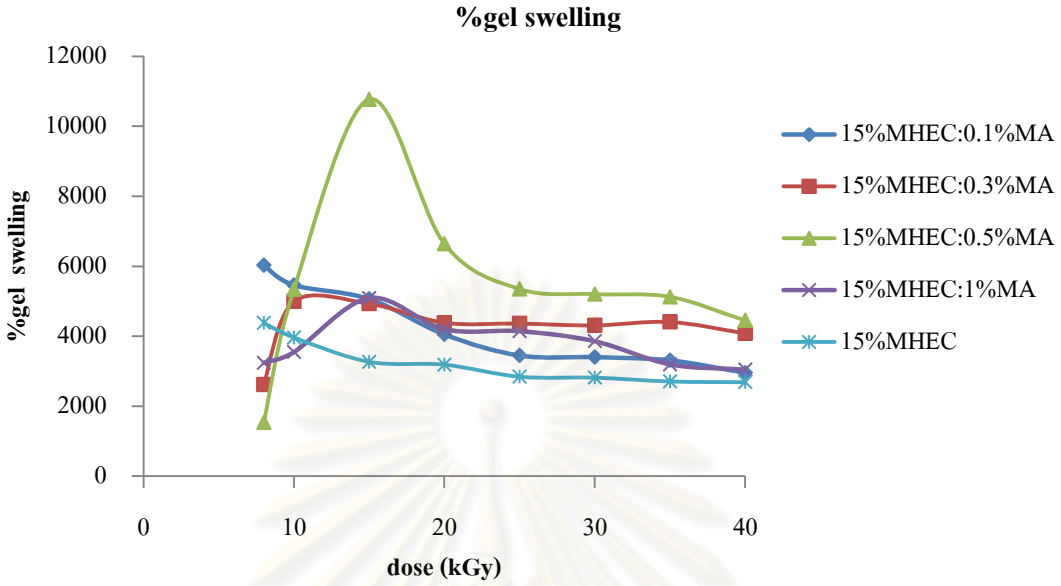
ข. ผลการทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำของ 15% MHEC:0.1% MA, 15%MHEC:0.3%MA, 15% MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15%MHEC:2%MA, 15%MHEC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 15%MHEC:0.1%MA, 15%MHEC:0.3%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15%MHEC:2%MA, 15%MHEC

sample	%gel swelling							
	Dose (kGy)							
	8	10	15	20	25	30	35	40
15%MHEC:0.1%MA	6026 ±145	5461 ±108	5064 ±356	4052 ±231	3448 ±82	3402 ±117	3310 ±82	2955 ±141
15%MHEC:0.3%MA	2614 ±8	4992 ±36	4928 ±168	4386 ±82	4662 ±148	4409 ±71	4406 ±162	4283 ±111
15%MHEC:0.5%MA	1538 ±91	5341 ±201	10771 ±359	6643 ±116	5350 ±377	5203 ±181	5126 ±239	4450 ±123
15%MHEC:1%MA	3241 ±118	3962 ±219	5089 ±96	4201 ±204	4844 ±328	5257 ±104	4996 ±344	4446 ±253
15%MHEC:2%MA	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
15%MHEC	4382 ±89	3962 ±241	3268 ±95	3187 ±226	2842 ±121	2816 ±336	2707 ±185	2685 ±1247

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 15% MHEC:0.1% MA, 15% MHEC:0.3%MA, 15% MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15%MHEC ต่อปริมาณรังสี

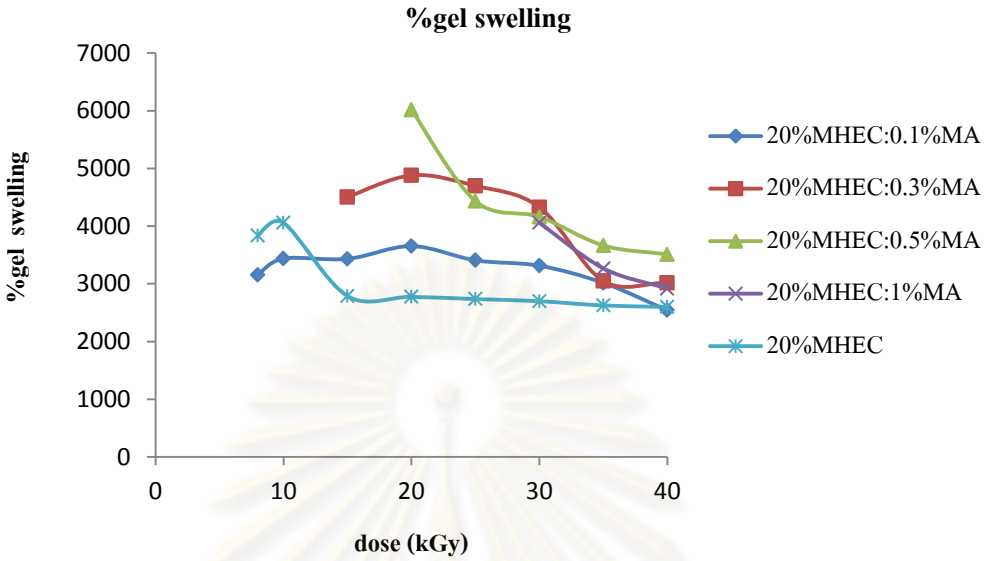
ค. ผลการทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำของ 20% MHEC:0.1% MA, 20%MHEC:0.3%MA, 20% MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20% MHEC:2%MA, 20%MHEC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 20% MHEC:0.1% MA, 20% MHEC:0.3%MA, 20% MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20% MHEC:2%MA, 20%MHEC

sample	%gel swelling							
	Dose (kGy)							
	8	10	15	20	25	30	35	40
20%MHEC:0.1%MA	3154 ±201	3438 ±106	3432 ±61	3653 ±77	3407 ±89	3313 ±110	3016 ±96	2541 ±110
20%MHEC:0.3%MA	ละลาย	ละลาย	4501 ±88	4881 ±33	4699 ±177	4328 ±115	3049 ±147	3018 ±110
20%MHEC:0.5%MA	ละลาย	ละลาย	ละลาย	6019 ±119	4434 ±98	4160 ±66	3664 ±107	3510 ±108
20%MHEC:1%MA	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	4060 ±81	3267 ±91	2917 ±111
20%MHEC:2%MA	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
20%MHEC	3839 ±138	4058 ±163	2788 ±54	2775 ±86	2736 ±65	2699 ±89	2625 ±210	2601 ±159

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 20% MHEC:0.1% MA, 20%MHEC:0.3%MA, 20% MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20%MHEC ต่อปริมาณรังสี

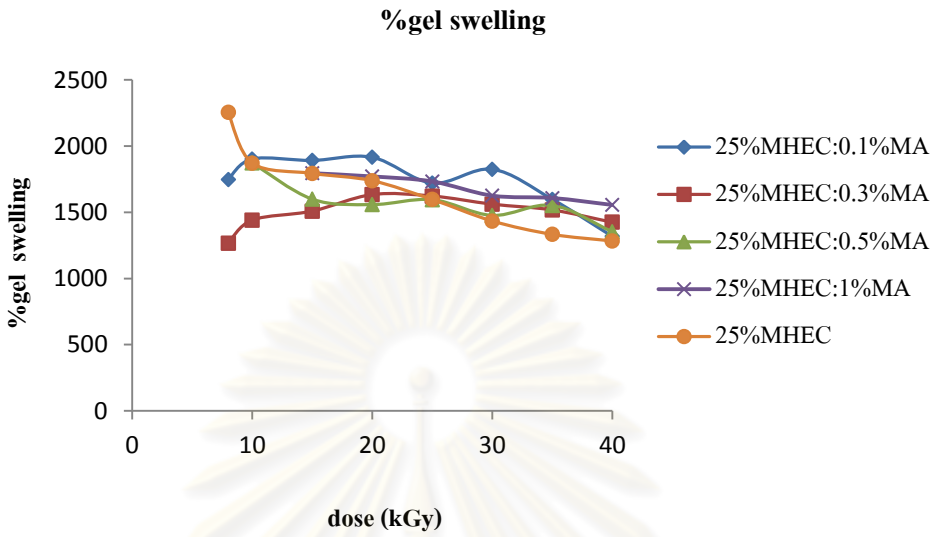
ง. ผลการทดสอบร้อยละการดูดซับน้ำของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25% MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25% MHEC:2%MA, 25%MHEC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

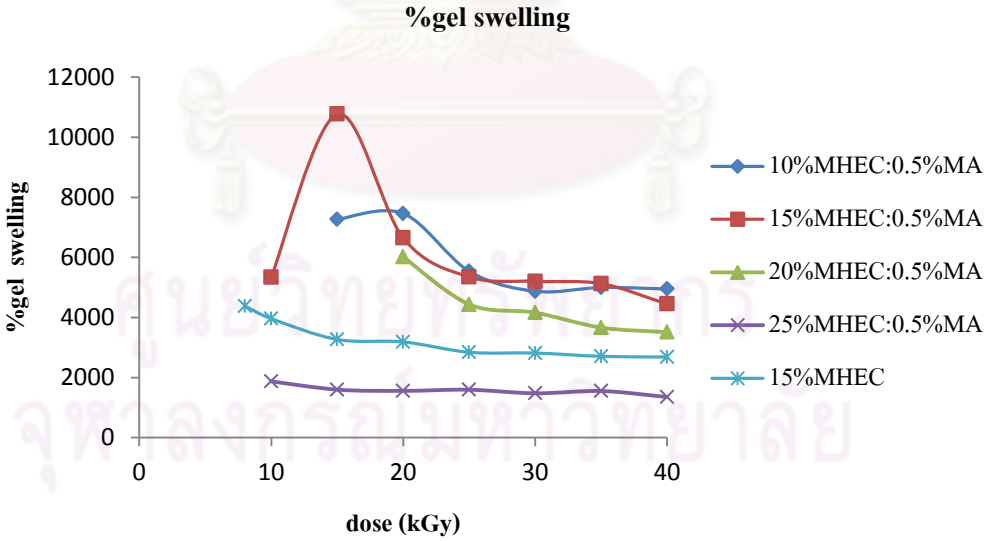
ตารางที่ 4.4 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25% MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25% MHEC:2%MA, 25%MHEC

sample	%gel swelling							
	Dose (kGy)							
	8	10	15	20	25	30	35	40
25%MHEC:0.1%MA	1747 ±89	1903 ±57	1892 ±43	1915 ±61	1720 ±63	1825 ±83	1598 ±61	1319 ±33
25%MHEC:0.3%MA	1266 ±130	1441 ±36	1509 ± 37	1634 ±70	1623 ±46	1561 ±29	1518 ±48	1425 ±40
25%MHEC:0.5%MA	ละลาย	1873 ±614	1599 ±77	1558 ±54	1595 ±39	1476 ±63	1552 ±96	1354 ±30
25%MHEC:1%MA	ละลาย	ละลาย	1795 ±46	1771 ±94	1733 ±54	1626 ±61	1608 ±46	1556 ±89
25%MHEC:2%MA	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
25%MHEC	2254 ±121	1872 ±106	1794 ±112	1738 ±66	1597 ±37	1434 ±90	1333 ±176	1283 ±143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



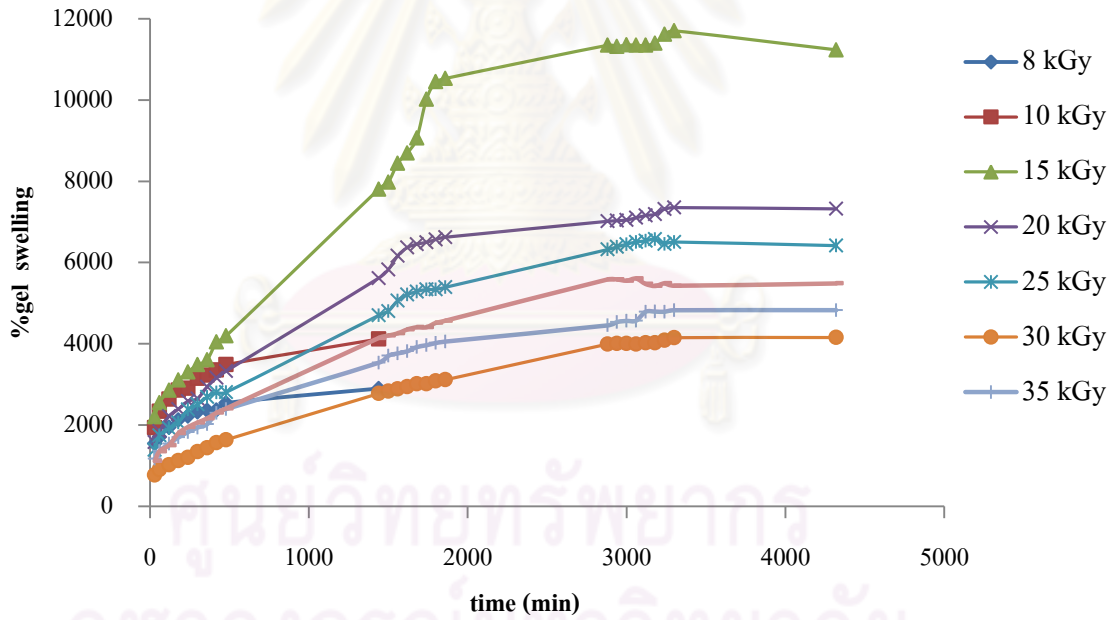
รูปที่ 4.4 ร้อยละการดูดซับน้ำของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25% MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25%MHEC ต่อปริมาณรังสี



รูปที่ 4.5 ร้อยละการดูดซับน้ำระหว่าง 10%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC ต่อปริมาณรังสี

จากผลการทดสอบการดูดซับน้ำของไฮโดรเจล พบว่า ค่าการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลที่ผสมกรดมาเลอิกมีค่าสูงกว่าไฮโดรเจลที่ไม่ผสมกรดมาเลอิกเนื่องจากกรดมาเลอิกมีหมู่คาร์บอกซิลที่สามารถดูดซับน้ำได้ดี จึงทำให้ไฮโดรเจลของ MHEC/MA ดูดซับน้ำได้ดีกว่าไฮโดรเจลของ MHEC ค่าการดูดซับน้ำที่ลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการยึดจับของสายโซ่พอลิเมอร์ภายในเจลหนาแน่นมากขึ้น เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจึงทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปภายในเจลได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ MHEC ค่าการดูดน้ำลดลงเนื่องจากอัตราส่วนของ MA ใน MHEC ลดลง

4.1.2 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของ 15%MHEC:0.5%MA ต่อเวลา



รูปที่ 4.6 ร้อยละการดูดซับน้ำต่อเวลาของ 15%MHEC:0.5%MA ที่ปริมาณรังสีต่างกัน

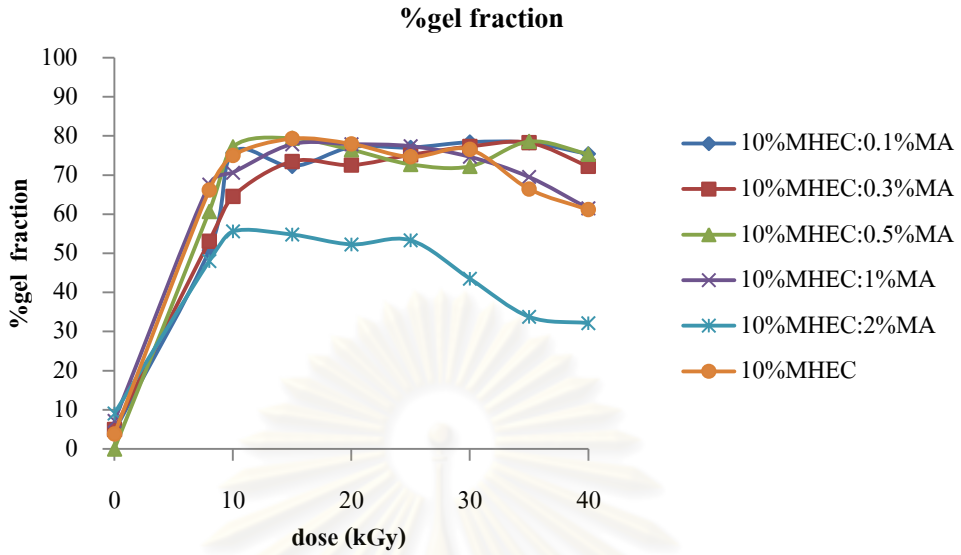
จากรูปที่ 4.6 พบว่าร้อยละการดูดซับน้ำของเจลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นและช้าลงเรื่อยๆจนในที่สุดไฮโดรเจลดูดซับน้ำคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 50 ชั่วโมง

4.1.3 ผลการทดสอบร้อยละการเป็นเจล (%gel fraction)

ก. ผลการทดสอบร้อยละการเป็นเจลของ 10% MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10%MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10% MHEC:2%MA, 10%MHEC

ตารางที่ 4.5 ร้อยละการเป็นเจลของ 10% MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10% MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10%MHEC:2%MA, 10%MHEC

sample	%gel fraction								
	dose (kGy)								
	0	8	10	15	20	25	30	35	40
10%MHEC:0.1%MA	4.55 ±1.09	50.74 ±1.03	75.74 ±1.69	72.23 ±0.08	77.15 ±0.85	77.03 ±2.92	78.40 ±0.31	78.28 ±0.61	75.37 ±0.43
10%MHEC:0.3%MA	4.99 0.21	53.11 0.59	64.53 1.61	73.47 0.39	72.55 0.06	75.16 0.83	77.29 0.11	78.27 0.32	72.22 0.76
10%MHEC:0.5%MA	0 0	60.68 ±1.41	77.19 ±0.57	79.41 ±0.41	76.47 ±0.36	72.74 ±0.19	72.21 ±0.45	78.56 ±0.44	75.35 ±0.64
10%MHEC:1%MA	7.15 ±2.39	67.58 ±1.05	70.62 ±0.95	77.89 ±0.40	77.89 ±0.54	77.38 ±0.34	74.67 ±0.69	69.50 ±0.40	61.46 ±0.18
10%MHEC:2%MA	9.05 ±0.76	47.99 ±1.26	55.58 ±1.46	54.79 ±0.29	52.28 ±1.30	53.33 ±0.85	43.52 ±0.30	33.79 ±0.24	32.15 ±0.15
10%MHEC	3.82 ±0.59	66.12 ±0.51	75.01 ±0.70	79.30 ±1.06	77.97 ±0.37	74.64 ±0.17	76.54 ±0.84	66.44 ±0.62	61.13 ±0.07



รูปที่ 4.7 ร้อยละการเป็นเจลของ 10% MHEC:0.1% MA, 10% MHEC:0.3%MA, 10%MHEC:0.5%MA, 10%MHEC:1%MA, 10% MHEC:2%MA, 10%MHEC ต่อปริมาณรังสี

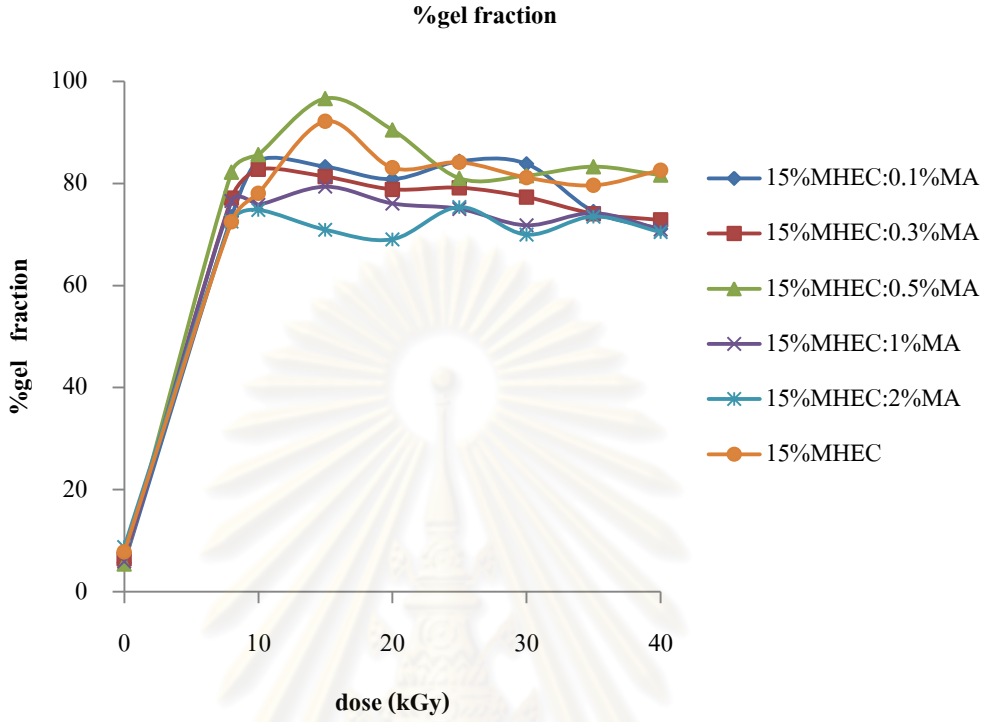
ข. ผลการทดสอบร้อยละการเป็นเจลของ 15% MHEC:0.1% MA, 15% MHEC:0.3%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15% MHEC:2%MA, 15%MHEC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ร้อยละการเป็นเจลของ 15% MHEC:0.1% MA, 15% MHEC:0.3%MA, 15% MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15% MHEC:2%MA, 15%MHEC

sample	%gel fraction								
	dose (kGy)								
	0	8	10	15	20	25	30	35	40
15%MHEC:0.1%MA	5.65 ±0.72	73.51 ±1.21	84.46 ±0.75	83.3 ±0.95	80.85 ±0.27	84.35 ±0.06	83.85 ±0.80	74.51 ±0.84	71.09 ±0.12
15%MHEC:0.3%MA	6.42 ±1.41	77.13 ±1.00	82.75 ±0.68	81.35 ±0.35	78.85 ±0.37	79.17 ±0.61	77.33 ±1.61	74.08 ±0.45	72.85 ±0.00
15%MHEC:0.5%MA	5.39 ±1.48	82.24 ±0.68	85.65 ±1.24	96.66 ±0.06	90.49 ±0.56	81.02 ±0.33	81.53 ±0.61	83.29 ±1.20	81.62 ±0.23
15%MHEC:1%MA	5.93 ±1.13	76.54 ±0.59	75.84 ±0.81	79.37 ±0.14	76.08 ±0.26	75.03 ±1.30	71.8 ±0.08	74.20 ±0.20	70.97 ±0.31
15%MHEC:2%MA	8.77 ±0.92	72.54 ±0.32	74.82 ±0.83	70.92 ±0.36	69.06 ±0.15	75.37 ±0.31	69.98 ±0.21	73.52 ±0.24	70.47 ±0.03
15%MHEC	7.79 ±1.17	72.51 ±0.79	78.06 ±0.87	92.19 ±0.54	83.08 ±0.57	84.15 ±0.75	81.17 ±0.35	79.62 ±0.55	82.61 ±0.31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ร้อยละการเป็นเจลของ 15% MHEC:0.1% MA, 15% MHEC:0.3%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:1%MA, 15% MHEC:2%MA, 15%MHEC ต่อปริมาณรังสี

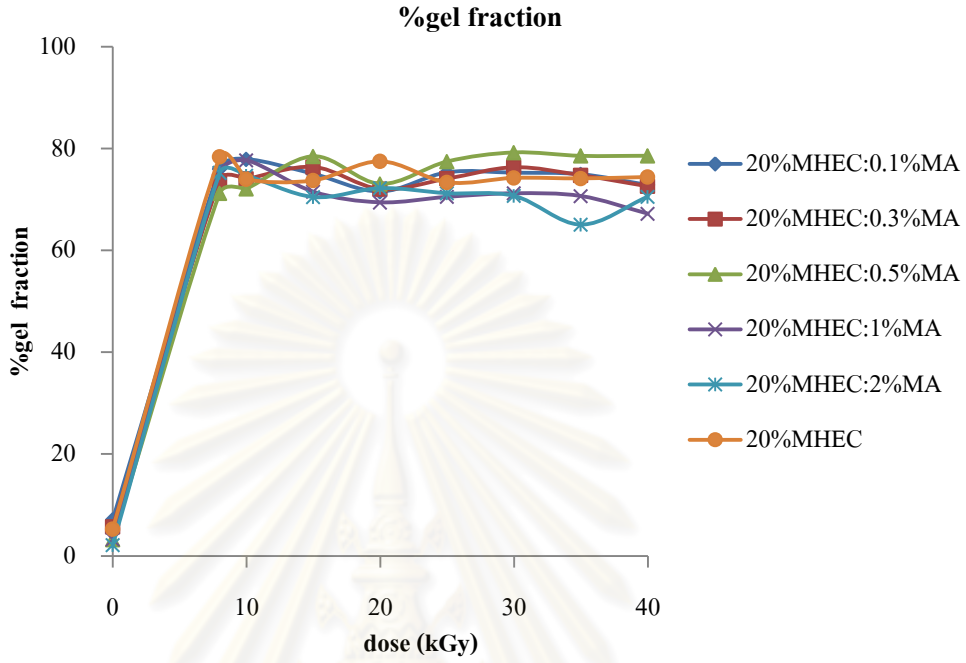
ค. ผลการทดสอบร้อยละการเป็นเจลของ 20% MHEC:0.1% MA, 20%MHEC:0.3%MA, 20%MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20%MHEC:2%MA, 20%MHEC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ร้อยละเป็นเจลของ 20% MHEC:0.1% MA, 20% MHEC:0.3%MA, 20% MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20% MHEC:2%MA, 20%MHEC

sample	%gel fraction								
	dose (kGy)								
	0	8	10	15	20	25	30	35	40
20%MHEC:0.1%MA	7.11 ±0.19	75.98 ±0.01	77.92 ±0.50	75.04 ±0.35	71.57 ±0.47	75.33 ±0.07	75.25 ±0.10	74.96 ±0.31	72.84 ±0.09
20%MHEC:0.3%MA	5.74 ±2.41	73.71 ±0.40	74.05 ±0.46	76.39 ±0.01	72.04 ±1.12	74.09 ±0.20	76.32 ±0.25	74.76 ±0.08	72.58 ±0.02
20%MHEC:0.5%MA	3.23 ±0.66	71.22 ±1.01	72.14 ±0.84	78.49 ±0.46	73.06 ±0.21	77.46 ±0.59	79.23 ±0.04	78.56 ±0.02	78.58 ±0.78
20%MHEC:1%MA	3.26 ±1.16	75.21 ±0.59	77.69 ±0.62	71.52 ±0.41	69.44 ±0.06	70.51 ±0.31	71.21 ±0.44	70.68 ±0.67	67.21 ±0.98
20%MHEC:2%MA	2.13 ±0.68	75.25 ±0.83	74.69 ±0.53	70.48 ±0.47	72.22 ±0.20	71.23 ±0.93	70.70 ±0.45	65.06 ±0.21	70.55 ±0.08
20%MHEC	5.27 ±1.55	78.37 ±0.93	74.01 ±1.48	73.74 ±0.60	77.49 ±0.45	73.36 ±0.32	74.24 ±1.12	74.14 ±0.25	74.41 ±0.70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ร้อยละการเป็นเจลของ 20% MHEC:0.1% MA, 20%MHEC:0.3%MA, 20%MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:1%MA, 20%MHEC:2%MA, 20%MHEC ต่อปริมาณรังสี

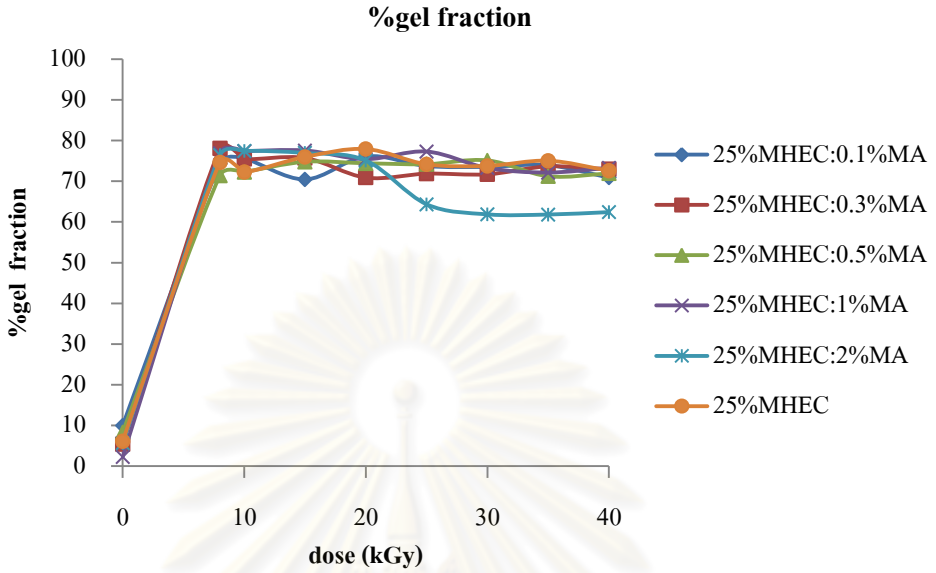
ง. ผลการทดสอบร้อยละการเป็นเจลของ 25%MHEC:0.1%MA, 25%MHEC:0.3%MA, 25%MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25% MHEC:2%MA, 25%MHEC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

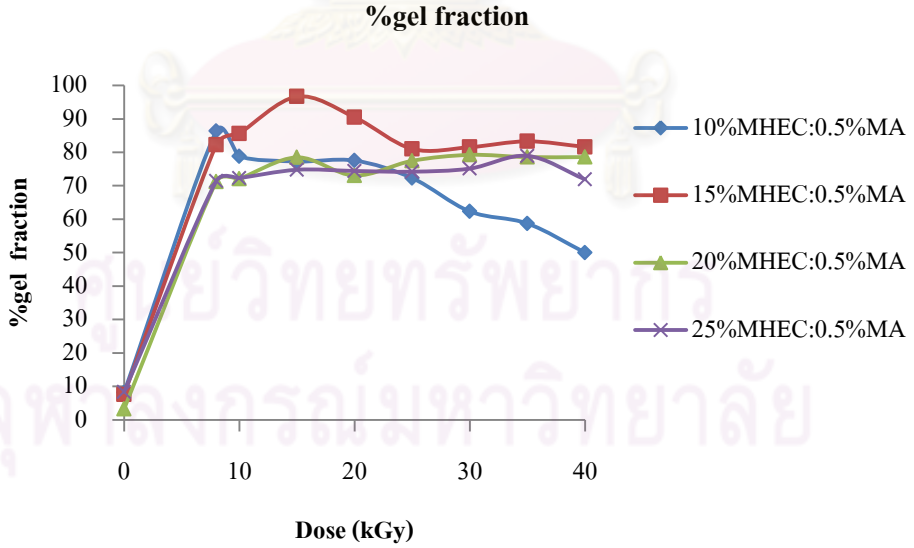
ตารางที่ 4.8 ร้อยละการเป็นเจลของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25% MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25% MHEC:2%MA, 25%MHEC

sample	%gel fraction								
	dose (kGy)								
	0	8	10	15	20	25	30	35	40
25%MHEC:0.1%MA	9.94 ±2.96	74.34 ±1.39	75.54 ±0.98	70.45 ±0.51	76.12 ±0.13	73.74 ±1.00	73.54 ±0.29	73.95 ±0.79	70.90 ±1.77
25%MHEC:0.3%MA	5.37 ±2.24	78.09 ±1.54	75.50 ±1.77	75.72 ±1.28	70.89 ±0.44	71.86 ±0.51	71.71 ±1.10	73.65 ±0.10	72.95 ±1.37
25%MHEC:0.5%MA	8.32 ±0.59	71.40 ±0.75	72.28 ±0.62	74.78 ±0.27	74.42 ±0.47	74.21 ±0.18	75.13 ±0.16	71.24 ±0.10	71.91 ±0.36
25%MHEC:1%MA	2.25 ±0.88	76.94 ±1.11	77.38 ±0.50	77.56 ±0.13	75.43 ±1.17	77.30 ±0.57	73.26 ±0.32	72.14 ±0.18	73.30 ±0.36
25%MHEC:2%MA	5.60 ±1.07	76.43 ±0.40	77.45 ±0.76	76.95 ±0.46	75.10 ±0.29	64.34 ±1.36	61.87 ±0.67	61.82 ±0.01	62.41 ±0.17
25%MHEC	6.10 ±1.14	74.65 ±0.44	72.28 ±0.80	75.98 ±0.48	77.91 ±0.18	74.17 ±0.57	73.78 ±0.84	75.04 ±0.36	72.60 ±1.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ร้อยละการเป็นเจลของ 25% MHEC:0.1% MA, 25% MHEC:0.3%MA, 25%MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:1%MA, 25% MHEC:2%MA, 25%MHEC ต่อปริมาณรังสี



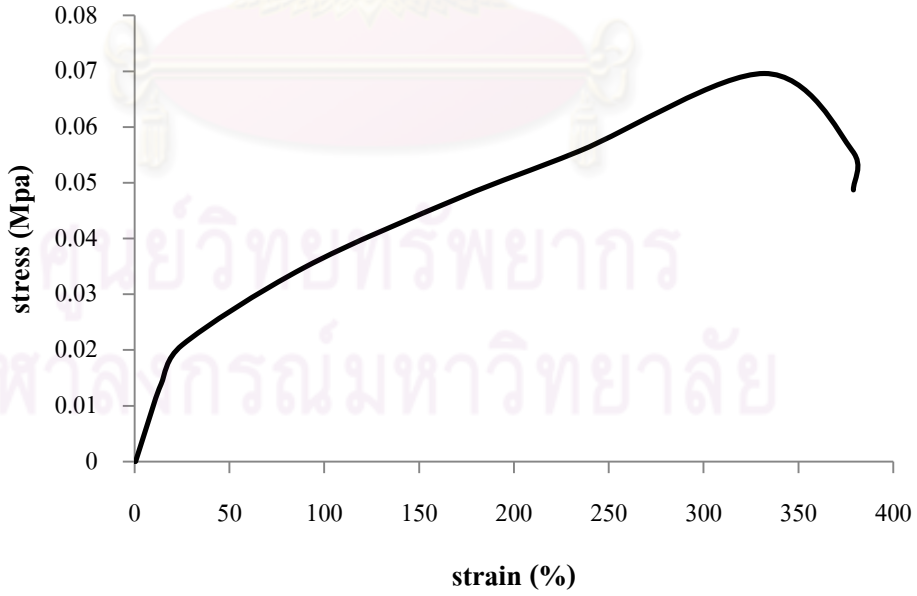
รูปที่ 4.11 ร้อยละการเป็นเจลของ 10%MHEC:0.5%MA, 15%MHEC:0.5%MA, 20%MHEC:0.5%MA, 25%MHEC:0.5%MA ต่อปริมาณรังสี

จากผลการทดสอบร้อยละการเป็นเจล พบว่าค่าการก่อตัวเป็นเจลของไฮโดรเจลเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณรังสีที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ MHEC ค่าการก่อตัวเป็นเจลลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากโมเลกุลของ MHEC มีมากเกินไปทำให้การเกิดพันธะยากขึ้นส่งผลให้ความเป็นเจลลดลง และเจลที่ได้ค่อนข้างเปราะ ฉีกขาดง่าย

4.1.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (tensile strength)

ตารางที่ 4.9 คุณสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลที่ได้ (tensile strength)

sample	Tensile strength (kgf/mm^2)	Elongation at break (%)
15%MHEC:0.5%MA-1	0.0125	272.1
15%MHEC:0.5%MA-2	0.0050	215.1
Mean	0.0087	243.6

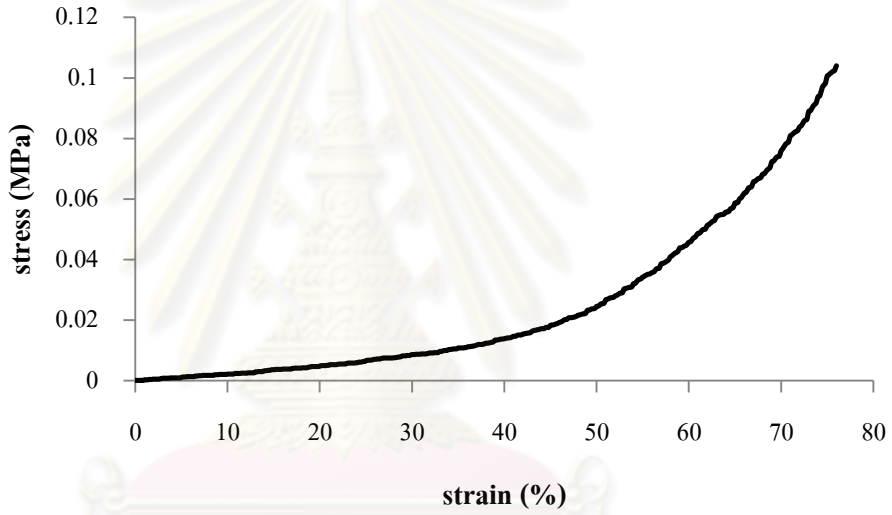


รูปที่ 4.12 sress-strain curve (15%MHEC:0.5%MA ฉายรังสี 15 kGy)

4.1.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกด (gel strength)

ตารางที่ 4.10 คุณสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลที่ได้ (gel strength)

sample	gel strength (kgf/mm^2)
15%MHEC:0.5%MA	0.0135



รูปที่ 4.13 sress-strain curve of gel strength (15%MHEC:0.5%MA ฉายรังสี 15 kGy)

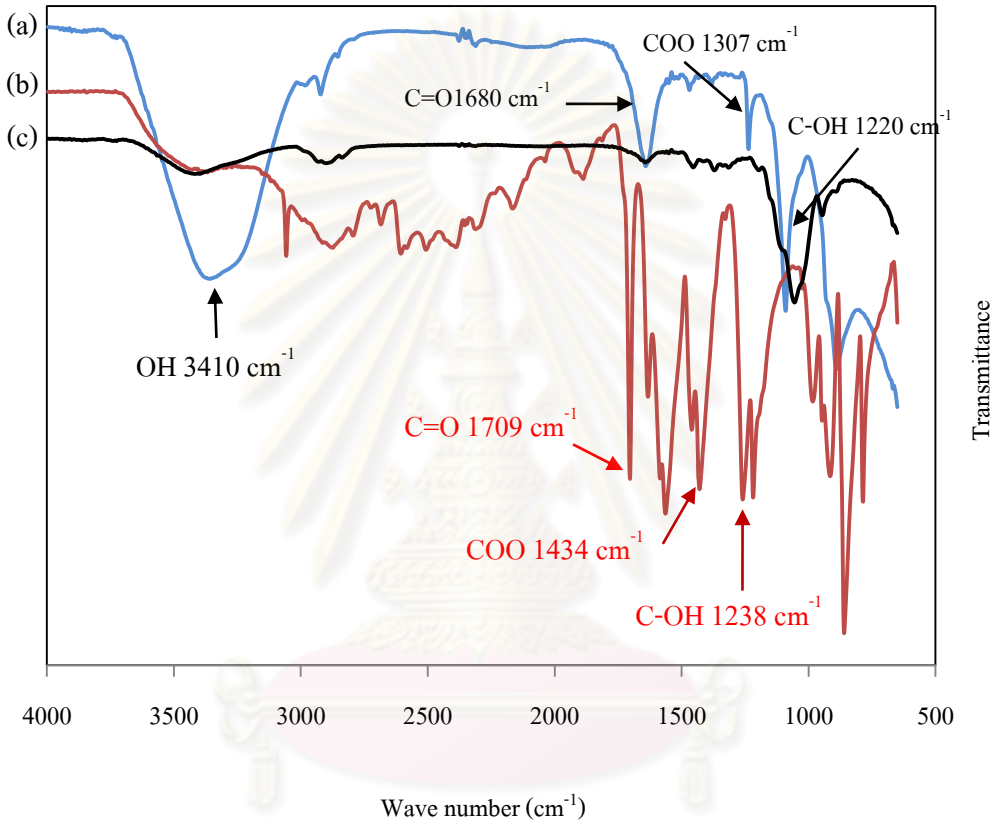
4.1.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไฮโดรเจลด้วยเทคนิค FTIR

เมื่อนำแผ่นไฮโดรเจลสภาวะ 15%MHEC:0.5%MA ฉายรังสี 15 kGy ที่เตรียมในลักษณะฟิล์มบางมาทดสอบหาคุณสมบัติของกราฟโคพอลิเมอร์โดยเทคนิคอินฟาเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) ซึ่งตรวจวัดด้วย attenuated total refrectance (ATR) accessories ปรากฏสเปกตรัมของ C=O stretch ที่ 1680 cm^{-1} สเปกตรัมของ C-OH vibrations ที่ 1220 cm^{-1} และสเปกตรัมของ COO ที่ 1307 cm^{-1}

เมื่อนำผงเมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสไปทดสอบหาคุณสมบัติของหมู่ฟังค์ชันด้วยเทคนิค FTIR ปรากฏสเปกตรัมของ H-bonded OH ที่ 3410 cm^{-1} สเปกตรัมของ C-H stretch ที่ 2931 cm^{-1} สเปกตรัมของ C-O stretch ที่ 1064 cm^{-1} และสเปกตรัมของ Cyclic C-O-C ที่ 927 cm^{-1}

และเมื่อนำกรดมาเลอิกไปทดสอบหาคุณสมบัติของหมู่ฟังค์ชันด้วยเทคนิค FTIR ปรากฏสเปกตรัมของ C=O stretch ที่ 1709 cm^{-1} สเปรกตรัมของ COO ที่ 1434 cm^{-1} และสเปกตรัมของ C-OH ที่ 1238 cm^{-1}

จากผลการทดสอบทั้งหมดนี้ยืนยันการมีอยู่ของหมู่คาร์บอกซิลในไฮโดรเจล



(a) สเปกตรัม 15%MHEC:0.5%MA ฉายรังสี 15 kGy

(b) สเปกตรัม กรดมาเลอิก

(c) สเปกตรัม MHEC

รูปที่ 4.14 FTIR Spectrum

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. สรุปผลการเตรียมไฮโดรเจลจากการครอสลิงค์เมทิลไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสร่วมกับกรดมาเลอิกโดยการฉายรังสีแกมมา

จากการทดสอบการเป็นเจลและความสามารถในการดูดซับน้ำ พบว่าพอลิเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำมาผลิตเป็นไฮโดรเจลเพื่อใช้ในการเกษตร ได้จากการเตรียม 15%MHEC:0.5%MA (w/v) ที่ปริมาณรังสี 15 kGy ค่าความเป็นเจล 96.66% ความสามารถในการดูดซับน้ำ 10770%, gel strength 0.0135 kgf/mm^2, tensile strength 0.0087 kgf/mm^2 และ ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%elongation at break) 243.6%

2. ผลการวิเคราะห์ไฮโดรเจลด้วยเทคนิค FTIR

ผลการศึกษากราฟต์โคพอลิเมอร์ของไฮโดรเจลยืนยันการมีอยู่ของหมู่คาร์บอกซิลในไฮโดรเจลสเปกตรัมของ C=O ที่ 1680 cm^{-1} สเปกตรัมของ C-OH ที่ 1220 cm^{-1} และสเปกตรัมของ COO ที่ 1307 cm^{-1}

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับแรกเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ต่อไปจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษามอนอเมอร์ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำชนิดอื่นๆ เช่น มอนอเมอร์ที่มีหมู่เอไมด์ (acrylamide) มอนอเมอร์ที่มีหมู่แอลกอฮอล์ เป็นต้น
2. ศึกษาการดูดซับปุ๋ย เช่น ปุ๋ยยูเรีย แคลเซียม โพแทสเซียม เป็นต้น พร้อมทั้งทดสอบอัตราการปลดปล่อยปุ๋ยสู่ดิน
3. ศึกษาการย่อยสลายในดิน
4. ศึกษาความชุ่มชื้นของดินเมื่อผสมไฮโดรเจล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] วรภุชงค์ ประทุมทอง. **การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์สังเคราะห์โดยการฉายรังสีแกมมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2547.

[2] National Nanotechnology Center (NANOTEC). **ไฮโดรเจล(hydrogel) เจลมหัศจรรย์**[Online]. 2005. Available from:http://www.nanotec.or.th[2010, December 12]

[3] ชยากริต ศิริอุปถัมภ์. **Radiation Processing**. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

[4] เอกสารประกอบคำบรรยาย วิชาเคมี. **โครงการส่งเสริมความสามารถพิเศษภาคฤดูร้อน Brands's sumer camp**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538

[5] ไทยกู๊ดวิวดอทคอม. **พอลิเมอร์**[Online]. 2009. Available from:http://www.thaigoodview.com [2010 December 10]

[6] Wikipedia. **cellulose**[Online]. 2010. Available from:http://www.wikipedia.com [2010, November 10]

[7] lookchem. **Mehyl-2-hydroxy ethyl cellulose**[Online]. 2008 Available from:http://www.lookchem.com[2010, October 8]

[8] Wikipedia. **Maleic acid**[Online]. 2010. Available from:http://www.wikipedia.com [2010, October 8]

[9] เกศินี เหมวิเชียร และพิริยาธร สุวรรณมาลา. **การปรับปรุงพอลิเมอร์ด้วยรังสี**[Online]. 2548. Available from:http://www.tint.or.th/nkc503/nkc5003f.html[2010, December 20]

[10] searchthailis digital collection. **การศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งพุทธรักษา**[Online]. 2551. Available from: http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/data51/kc4605013.pdf[2010, March 10]

[11] Suda Kiatkamjornwong, Wararuk Chomsaksakul and Manit Sonsuk. Radiation modification of water absorption of cassava starch by acrylic acid/acrylamide. **Journal of Radiation Physics and chemistry**.59(2000):413-427

[12] ศูนย์ความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **การเตรียมวัสดุปิดแผลพอลิไวนิลแอลกอฮอร์-ซิลค์ไฟโบรอินไฮโดรเจลโดยการฉายรังสีแกมมา**[Online]. 2548. Available from:http://www.oaep.go.th/nstkc/content/view/293/29/[2010, April 8]

[13] Karadag E., Saraydin D. and Guven O. Water absorbency studies of gamma radiation crosslinked poly(acrylamide-co-2,3,dihydroxybutanediioic acid) hydrogel. **Journal of Beam interaction with materials and atom**.225(2004):489-496

[14] Teli M.D., Nilesh G. and Waghmare. Synthesis of superabsorbent from carbohydrate wast. **Journal of carbohydrate polymer**.2009:1-5

[15] Bajpai A.K. and Giri A. Water sorption behavior of hight swelling (carboxy methyl cellulose-g-polyacrylamide) hydrogel and release of potassium nitrate as agrochemical. **Journal of carbohydrate polymer**.53(2003):271-279

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

%gel swelling

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก %gel swelling

ตารางที่ ก-1 %gel swelling เทียบกับเวลา (15%MHEC:0.5%MA)

เวลา	Dose (kGy)							
(min)	8	SD	10	SD	15	SD	20	SD
30	1537	±92	1930	±46	2205	±15	1580	±69
60	1706	±133	2332	±36	2550	±34	1843	±170
120	1939	±55	2638	±85	2853	±8	2218	±12
180	2123	±27	2856	±67	3104	±41	2393	±100
240	2216	±4	2901	±110	3306	±99	2587	±145
300	2322	±28	3144	±220	3483	±148	2653	±148
360	2357	±61	3226	±235	3602	±211	2939	±222
420	2365	±166	3355	±279	4045	±183	3162	±133
480	2542	±75	3487	±271	4194	±154	3328	±154
1440	2898	±156	4117	±385	7804	±766	5615	±575
1500	3241	±364	4506	±153	7973	±887	5822	±423
1560	3210	±385	4859	±162	8444	±438	6165	±198
1620	-	-	6102	±742	8692	±742	6366	±220
1680	-	-	6132	±376	9060	±857	6451	±21
1740	-	-	6167	±363	10013	±387	6496	±202
1800	-	-	6282	±434	10450	±227	6566	±206
1860	-	-	-	-	10529	±497	6622	±233
2880	-	-	-	-	11345	±461	7013	±435
2940	-	-	-	-	11316	±530	7028	±423
3000	-	-	-	-	11356	±569	7046	±432
3060	-	-	-	-	11344	±623	7099	±452
3120	-	-	-	-	11399	±646	7156	±441
3180	-	-	-	-	11618	±724	7186	±504
3240	-	-	-	-	11701	±699	7317	±560
3300	-	-	-	-	11233	±709	7351	±748
4320	-	-	-	-	11272	±718	7319	±811

ตารางที่ ก-1 %gel swelling ต่อเวลา (15%MHEC:0.5%MA) (ต่อ)

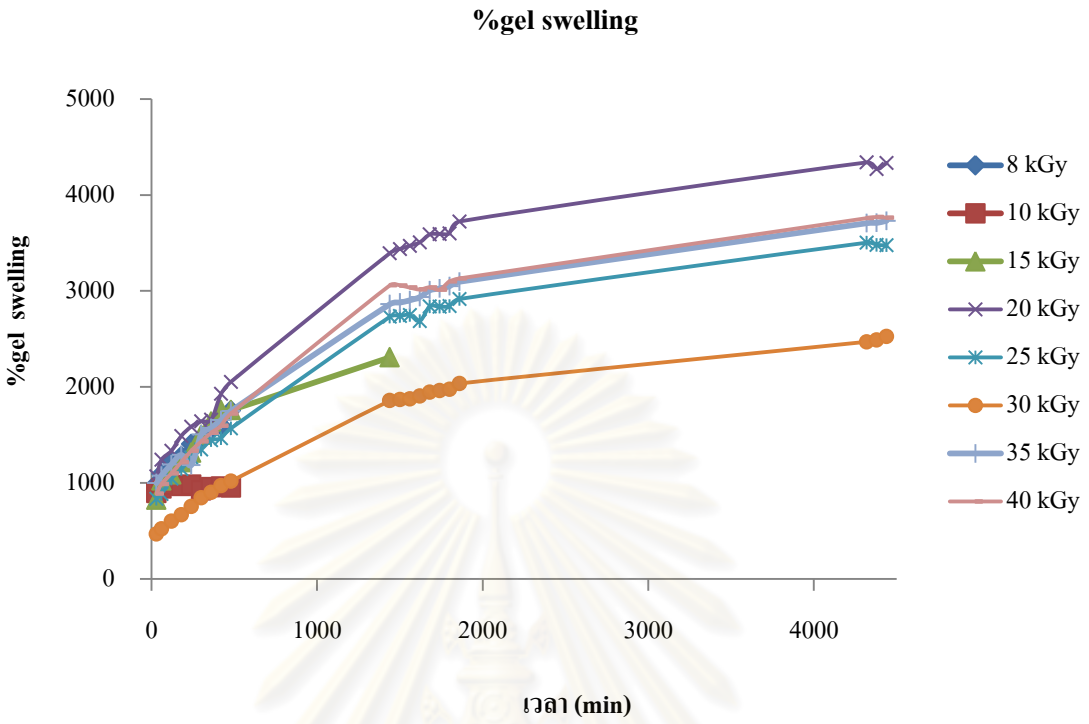
เวลา	Dose (kGy)							
(min)	25	SD	30	SD	35	SD	40	SD
30	1391	±131	767	±21	1171	±5	1111	±179
60	1747	±110	904	±20	1356	±21	1353	±149
120	1915	±157	1023	±12	1541	±63	1503	±151
180	2059	±162	1124	±30	1695	±257	1802	±86
240	2380	±172	1204	±17	1826	±271	1951	±160
300	2506	±191	1341	±58	1937	±11	2062	±200
360	2691	±290	1433	±210	2018	±262	2162	±259
420	2797	±306	1561	190	2298	±524	2304	±274
480	2805	±334	1636	±194	2392	±523	2410	±298
1440	4699	±362	2774	±244	3532	±412	4142	±484
1500	4799	±415	2828	±286	3704	±544	4201	±572
1560	5063	±298	2890	±314	3763	±557	4256	±509
1620	5207	±259	2944	±299	3814	±567	4352	±530
1680	5285	±300	3014	±340	3917	±524	4405	±538
1740	5336	±294	3014	±343	3962	±545	4405	±552
1800	5335	±354	3086	±347	4018	±540	4516	±559
1860	5390	±359	3113	±344	4054	±569	4567	±567
2880	6318	±205	3991	±485	4451	±688	5583	±180
2940	6385	±294	4005	±511	4535	±792	5581	±221
3000	6451	±349	4003	±499	4561	±827	5552	±225
3060	6504	±344	3990	±514	4567	±825	5605	±160
3120	6533	±360	4018	±493	4787	±848	5472	±176
3180	6577	±605	4018	±501	4792	±812	5422	±136
3240	6458	±604	4084	±512	4787	±804	5488	±171
3300	6504	±276	4149	±509	4825	±508	5427	±171
4320	6415	±233	4153	±511	4827	±424	5484	±567

ตารางที่ ก-2 %gel swelling ต่อเวลา (10%MHEC:0.5%MA)

เวลา	Dose (kGy)							
(min)	8	SD	10	SD	15	SD	20	SD
30	989	±57	897	±98	825	±90	1069	±126
60	1093	±86	941	±103	1025	±142	1241	±106
120	1224	±88	979	±79	1089	±127	1335	±161
180	1278	±80	970	±88	1215	±170	1491	±171
240	1407	±109	981	±83	1314	±178	1587	±187
300	1463	±120	921	±93	1502	±197	1642	±195
360	1561	±154	857	±107	1640	±226	1659	±198
420	1600	±150	682	±68	1761	±204	1928	±197
480	1756	±173	751	±98	1760	±213	2054	±213
1440	-	-	-	-	2308	±156	3394	±481
1500	-	-	-	-	-	-	3436	±499
1560	-	-	-	-	-	-	3471	±494
1620	-	-	-	-	-	-	3506	±486
1680	-	-	-	-	-	-	3588	±480
1740	-	-	-	-	-	-	3593	±484
1800	-	-	-	-	-	-	3600	±471
1860	-	-	-	-	-	-	3724	±557
4320	-	-	-	-	-	-	4338	±541
4380	-	-	-	-	-	-	4269	±550
4440	-	-	-	-	-	-	4332	±536

ตารางที่ ก-2 %gel swelling ต่อเวลา (10%MHEC:0.5%MA) (ต่อ)

เวลา	Dose (kGy)							
(min)	25	SD	30	SD	35	SD	40	SD
30	835	±98	468	±57	998	±197	889	±25
60	887	±148	522	±99	1077	±220	988	±33
120	1045	±115	604	±87	1194	±218	1100	±24
180	1144	±163	670	±103	1292	±242	1217	±30
240	1264	±158	754	±126	1186	±271	1337	±27
300	1348	±178	844	±161	1505	±231	1431	±28
360	1445	±204	902	±156	1574	±232	1522	±33
420	1466	±204	974	±151	1656	±255	1596	±33
480	1569	±171	1019	±203	1751	±284	1724	±36
1440	2732	±307	1858	±482	2862	±414	3159	±24
1500	2740	±331	1868	±488	2878	±421	3057	±89
1560	2750	±340	1877	±501	2903	±431	3034	±136
1620	2686	±338	1905	±488	2936	±407	3015	±162
1680	2839	±366	1947	±533	3006	±432	3038	±141
1740	2835	±354	1963	±538	3025	±434	3012	±143
1800	2842	±356	1976	±537	3049	±437	3100	±136
1860	2916	±370	2036	±576	3096	±432	3130	±82
4320	3503	±419	2470	±698	3705	±508	3758	±215
4380	3479	±438	2489	±662	3708	±510	3770	±211
4440	3476	±465	2527	±641	3731	±510	3762	±218



รูปที่ ก-1 %gel swelling ต่อเวลา (10%MHEC:0.5%MA)

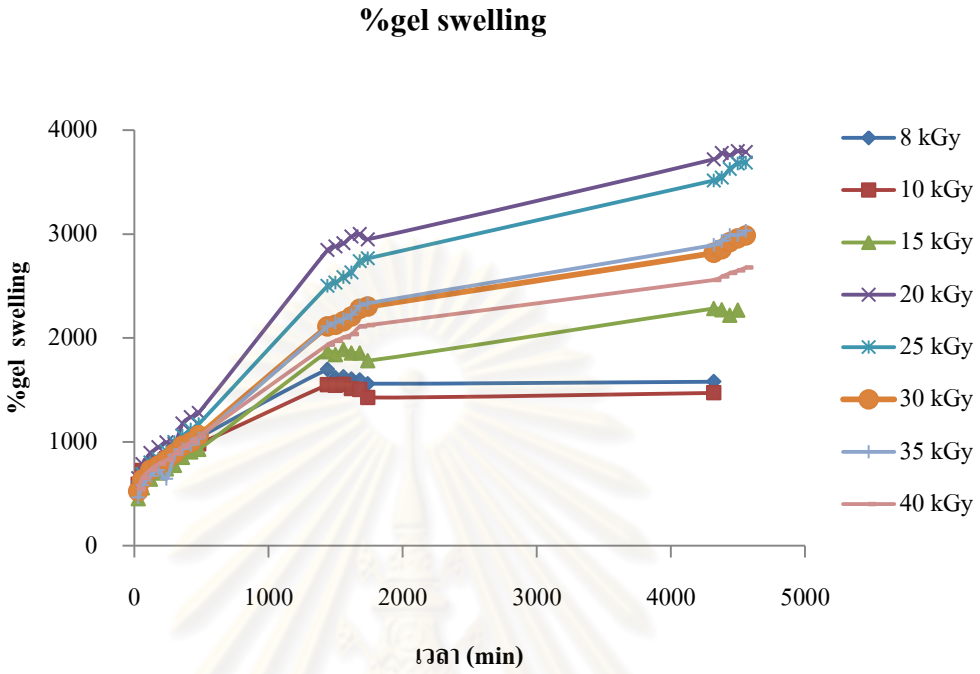
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 %gel swelling ต่อเวลา (20%MHEC:0.5%MA)

เวลา	Dose (kGy)							
(min)	8	SD	10	SD	15	SD	20	SD
30	579	±54	592	±81	452	±9	648	±65
60	699	±62	722	±128	555	±321	785	±86
120	769	±66	764	±94	641	±29	891	±115
180	810	±71	799	±90	697	±38	947	±109
240	855	±67	836	±109	738	±34	995	±117
300	906	±100	902	±79	771	±37	979	±165
360	955	±88	953	±94	851	±28	1175	±142
420	986	±99	964	±92	902	±23	1238	±125
480	1040	±122	979	±97	925	±146	1279	±146
1440	1698	±206	1750	±170	1967	±47	2845	±303
1500	1616	±214	1644	±156	1939	±54	2879	±298
1560	1626	±214	1552	±145	1888	±48	2909	±309
1620	1605	±201	1512	±37	1853	±37	2976	±307
1680	1594	±228	1504	±121	1853	±66	2999	±318
1740	1559	±238	1427	±131	1780	±52	2949	±315
4320	1578	±212	1471	±181	2283	±116	3719	±416
4380	-	-	-	-	2269	±127	3778	±437
4440	-	-	-	-	2118	±222	3759	±433
4500	-	-	-	-	2065	±98	3796	±436
4560	-	-	-	-	1955	±128	3787	±453

ตารางที่ ก-3 %gel swelling ต่อเวลา (20%MHEC:0.5%MA) (ต่อ)

เวลา	Dose (kGy)							
(min)	25	SD	30	SD	35	SD	40	SD
30	561	±18	524	±9	463	±90	544	±49
60	689	±25	637	±9	580	±116	653	±58
120	800	±31	728	±11	670	±118	733	71
180	835	±37	769	±9	727	±137	787	±96
240	909	±30	826	±22	643	±217	826	±78
300	999	±17	887	±40	874	±135	889	±104
360	1059	±40	960	±25	930	±145	955	±96
420	1118	±33	993	±32	969	±148	995	±93
480	1171	±42	1061	±22	1031	±157	1051	±102
1440	2500	±91	2110	±41	2111	±308	1934	±177
1500	2532	±91	2126	±39	2147	±328	1972	±181
1560	2584	±94	2159	±104	2182	±321	2006	±190
1620	2630	±96	2205	±113	2222	±329	2035	±191
1680	2738	±99	2278	±118	2308	±339	2108	±203
1740	2765	±108	2300	±124	2333	±346	2121	±206
4320	3515	±99	2817	±174	2894	±433	2557	±250
4380	3542	±92	2851	±176	2932	±442	2590	±253
4440	3627	±106	2919	±151	2991	±445	2623	±257
4500	3678	±92	2955	±148	2988	±442	2647	±263
4560	3688	±66	2985	±136	3029	±450	2678	±265



รูปที่ ก-2 %gel swelling ต่อเวลา (20%MHEC:0.5%MA)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

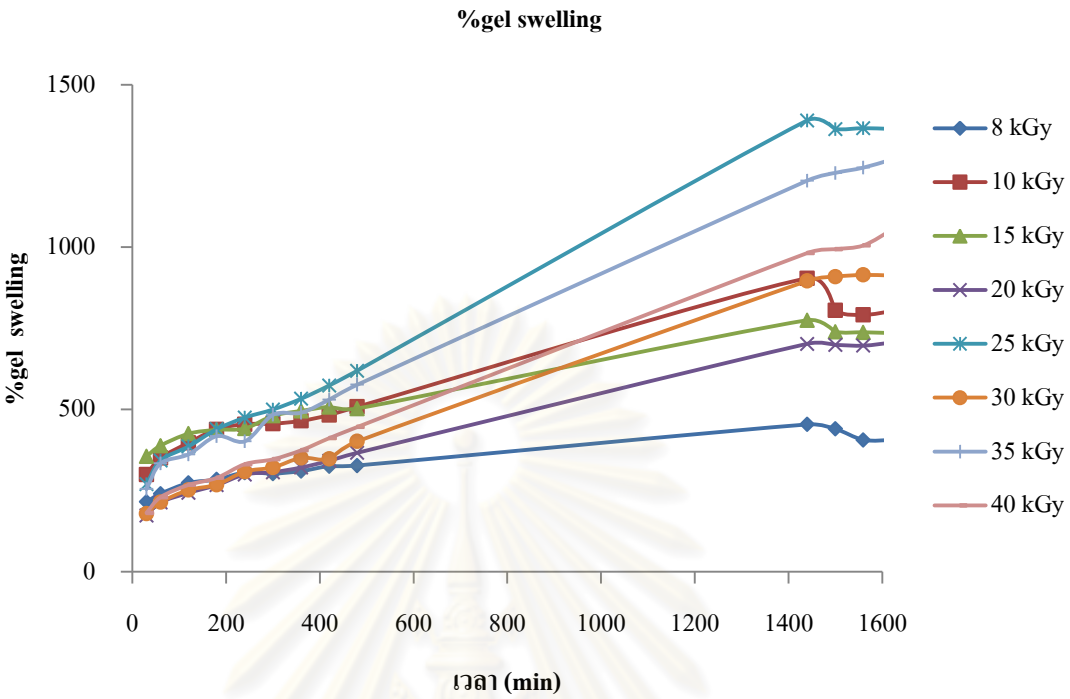
ตารางที่ ก-4 %gel swelling ต่อเวลา (25%MHEC:0.5%MA)

เวลา	Dose (kGy)							
(min)	8	SD	10	SD	15	SD	20	SD
30	215	±20	299	±12	355	±23	173	±15
60	240	±31	350	±32	388	±224	213	±10
120	273	±33	397	±20	425	±29	243	±7
180	284	±26	439	±21	437	±47	267	±4
240	305	±43	454	±20	441	±49	299	±11
300	302	±34	456	±21	480	±42	306	±12
360	310	±36	464	±19	495	±44	321	±12
420	325	±46	482	±13	507	±29	341	±23
480	327	±46	508	±32	502	±16	366	±16
1440	453	±48	904	±24	775.	±20	702	±28
1500	440	±53	805	±24	739	±14	699	±27
1560	406	±39	791	±39	737	±43	696	±22
1620	406	±39	803	±40	735	±40	706	±27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 %gel swelling ต่อเวลา (25%MHEC:0.5%MA) (ต่อ)

เวลา (min)	Dose (kGy)							
	25	SD	30	SD	35	SD	40	SD
30	270	±44	179	±18	255	±27	181	±30
60	342	±50	214	±21	333	±34	229	±31
120	386	±59	251	±24	361	±31	267	±37
180	439	±49	268	±18	417	±35	289	±22
240	474	±60	308	±23	401	±44	331	±45
300	499	±59	321	±21	483	±21	346	±36
360	533	±69	350	±29	490	±30	374	±47
420	573	±50	347	±42	530	±36	411	±49
480	619	±74	501	±96	576	±35	446	±57
1440	1390	±108	895	±54	1204	±52	981	±113
1500	1364	±119	909	±63	1228	±54	993	±126
1560	1366	±124	914	±58	1244	±49	1005	±116
1620	1364	±121	912	±57	1269	±39	1053	±70
1680	1397	±123	929	±62	1339	±3	1101	±42
1740	1467	±161	946	±52	1432	±28	1140	±73
1800	1567	±170	973	±68	1504	±57	1170	±85
1860	1673	±170	1029	±82	1610	±30	1266	±82
4320	1913	±168	1222	±57	1725	±65	1415	±163
4380	1967	±175	1278	±87	1698	±57	1535	±52
4440	1958	±165	1279	±85	1679	±87	1513	±51



รูปที่ ก-3 %gel swelling ต่อเวลา (25%MHEC:0.5%MA)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

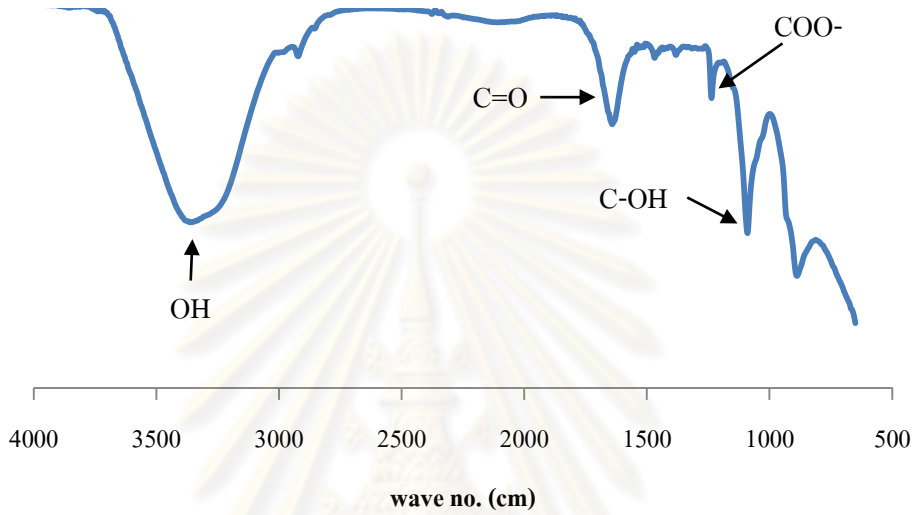
ภาคผนวก ข

FTIR Spectrum

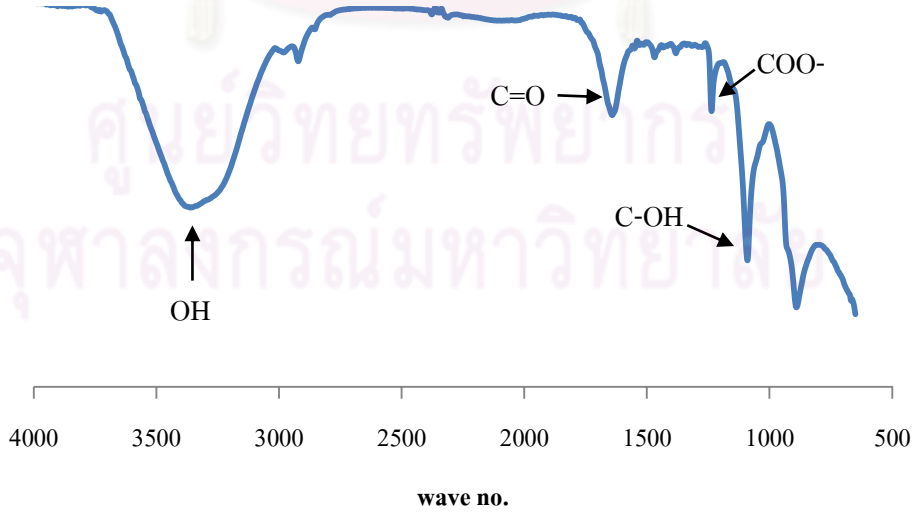
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

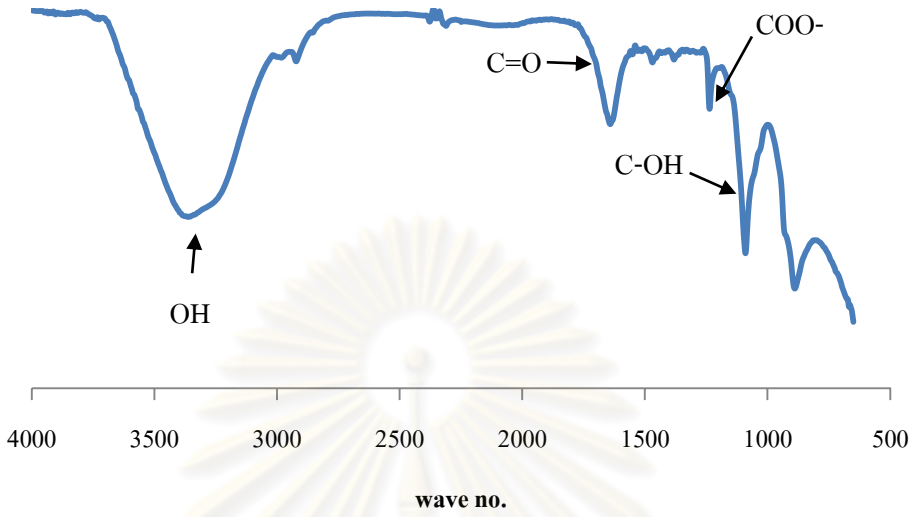
FTIR Spectrum



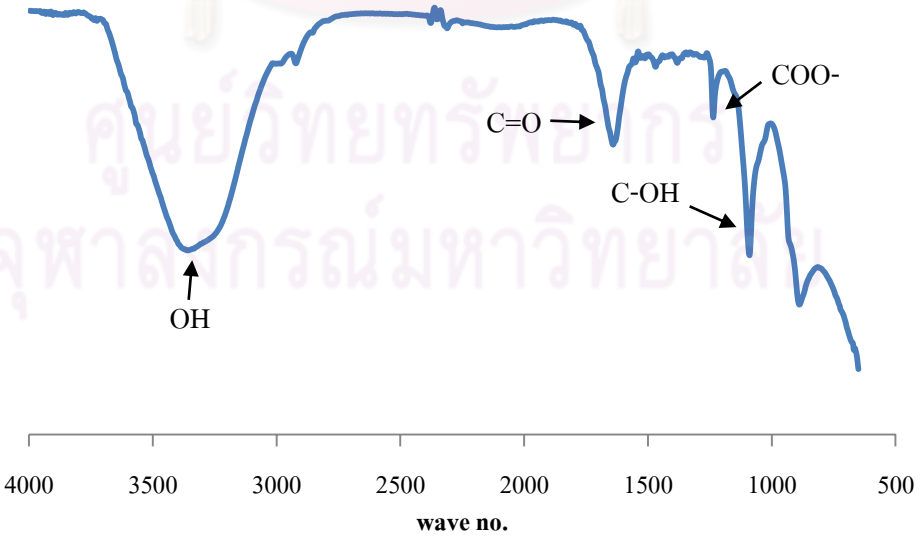
รูปที่ ข-1 FTIR Spectrum (15%MHEC:0.1%MA 15 kGy)



รูปที่ ข-2 FTIR Spectrum (15%MHEC:0.3%MA 15 kGy)



รูปที่ ข-3 FTIR Spectrum (15%MHEC:1%MA 15 kGy)



รูปที่ ข-4 FTIR Spectrum (15%MHEC:2%MA 15 kGy)

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณ %gel fraction ของ 10%MHEC:0.1%MA

1.1 หาความชื้น

เช่น ที่ตัวอย่าง 10% MHEC:0.1% MA ฉายรังสี 8 kGy

เจลเปียก 0.5863 กรัม มีน้ำปน 0.5863 – 0.1178 กรัม

ถ้าเจลเปียก 100 กรัม มีน้ำปน = [(0.5863 – 0.1178) x 100] / 0.5863 = 80.2776 กรัม

คือได้ moisture content = 80.2776% แล้วหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.2 หา น้ำหนักเจลเริ่มต้นที่เป็นน้ำหนักแห้ง

moisture content = 80.2776% หมายความว่า

เจลเปียก 100 กรัม มีเนื้อเจลแห้ง 100 – 80.2776 กรัม = 19.9224 กรัม

ถ้าเจลเปียก 0.6445 กรัม จะมีเนื้อเจลแห้ง (0.6445 x 19.7224) / 100= 0.1271 กรัม

1.3 หา % gel fraction

$$= \frac{\text{น้ำหนักsieve ที่บรรจุเจลที่ต้มแล้ว (หลังอบแห้ง)-น้ำหนัก sieve)}}{\text{น้ำหนักเจลเริ่มต้นที่เป็นน้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

เช่น ที่ตัวอย่าง 10% MHEC:0.1% MA ฉายรังสี 8 kGy

= [(1.5253-1.467)/0.1287]×100 = 45.2907 %

2. การคำนวณ %gel swelling ของ 10%MHEC:0.1%MA

2.1 หา % ความชื้น

เช่น ที่ตัวอย่าง 10% MHEC:0.1% MA ฉายรังสี 8 kGy

เจลเปียก 0.7775 กรัม มีน้ำปน 0.7775–0.1430 กรัม

ถ้าเจลเปียก 100 กรัม มีน้ำปน = [(0.7775 – 0.1430) x 100] / 0.7775 = 81.6077 กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คือได้ moisture content = 81.6077 % (4 ตำแหน่งเพราะชั่งมาได้ 4 ตำแหน่ง)
แล้วหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.2 หาน้ำหนักเจลเริ่มต้นที่เป็นน้ำหนักแห้ง

moisture content = 81.6077% หมายความว่า
เจลเปียก 100 กรัม มีเนื้อเจลแห้ง 100 – 81.6077 กรัม = 18.3923 กรัม
ถ้าเจลเปียก 0.7775 กรัม จะมีเนื้อเจลแห้ง (0.7775 x 18.3923) / 100 กรัม = 0.1430 กรัม

2.3 หา %gel swelling

$$= \frac{(\text{น้ำหนักของเจลที่แช่น้ำ-น้ำหนักเจลแห้ง})}{\text{น้ำหนักเจลแห้ง}} \times 100$$

เช่น ที่ตัวอย่าง 10%MHEC:0.1%MA ฉายรังสีที่ 8 kGy
[(7.46-0.143)/0.143]×100 = 5116.7832%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอาภาวรรณ์ สท้านธรนิล เกิดวันที่ 19 ธันวาคม 2525 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2549 และได้ศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551 ปัจจุบันเป็นพนักงาน ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย