

การเตรียมวัสดุคูดัชนีโดยการกราฟต์ฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิกโดยการฉายรังสีแกมมา



นางสาวอรุรัตน์ โพธิ์กล้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF WATER ABSORBING MATERIAL FROM GRAFTING OF ACRYLIC
ACID ONTO RICE STRAW BY GAMMA IRRADIATION



Miss Anurat Polar

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

การเตรียมวัสดุคูดซับน้ำโดยการกราฟต์ฟางข้าวด้วยกรด
อะคริลิกโดยการฉายรังสีแกมมา

โดย

นางสาวอนูรัตน์ โพธิ์กล้า

สาขาวิชา

นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง

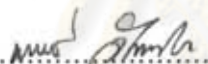
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


ดร. ประรณนา กิ่งสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวิญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. ประรณนา กิ่งสุวรรณ)


.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุรัตน์ โพธิ์หล้า : การเตรียมวัสดุดูดซับน้ำโดยการกราฟต์ฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิก โดยการฉายรังสีแกมมา. (PREPARATION OF WATER ABSORBING MATERIAL FROM GRAFTING OF ACRYLIC ACID ONTO RICE STRAW BY GAMMA IRRADIATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง,อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. ปราบธนา ก้าวสุวรรณ, 67 หน้า.

ได้ทำการเตรียมวัสดุดูดซับน้ำ โดยการกราฟต์ฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิก โดยการฉายรังสีแกมมา ตัวแปรหลักที่ทำการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ ปริมาณฟางข้าว และปริมาณรังสี สภาพที่เหมาะสมที่สุดต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันกรดอะคริลิกกับฟางข้าว คือ สารละลายกรดอะคริลิก 10 เปอร์เซ็นต์กับฟางข้าว 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ สภาพดังกล่าวให้ค่าการดูดซับน้ำเท่ากับ 8069 เปอร์เซ็นต์เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เท่ากับ 43.46 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการดูดซับน้ำเต็มที่เท่ากับ 540 นาที ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของโคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy

การศึกษากการไหลคืบ และการปลดปล่อยน้ำ จากการไหลคืบยูเรียของวัสดุดูดซับน้ำ ทำการทดสอบโดยแช่วัสดุดูดซับน้ำในสารละลายยูเรีย 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าวัสดุดูดซับน้ำจะดูดซับยูเรียได้ดีมากคือ 796 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการปลดปล่อยยูเรียหาได้จากการแช่วัสดุดูดซับน้ำในน้ำกลั่นพร้อมกับการกวนอย่างช้าๆ แล้ววัดสารละลายออกมาเป็นช่วงๆ และวัดความเข้มข้นของยูเรียโดยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงเพื่อพิสูจน์ ที่ 440 นาโนเมตร พบว่าปริมาณการปลดปล่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงระยะเวลาหนึ่งปริมาณการปลดปล่อยจะสูงสุดและจะเริ่มคงที่ ปริมาณการปลดปล่อยของยูเรียคือร้อยละ 89.00 ที่เวลา 12 ชั่วโมง

การศึกษากการเสื่อมสลายของวัสดุดูดซับน้ำในดิน ศึกษาที่เวลาต่างๆ พบว่าวัสดุดูดซับน้ำสามารถอยู่ได้นาน โดยที่ยังไม่เสื่อมสลายหมด จากการทดลองใช้เวลาในการเสื่อมสลายมากกว่า 2 เดือน

ภาควิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....ลายมือชื่อนิสิต.....*อนุรัตน์ โพธิ์หล้า*.....
 สาขาวิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*ด.ช. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง*.....
 ปีการศึกษา2553..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....*ป.ร.ธ.นา ก้าวสุวรรณ*.....

5170510721 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : GRAFT COPOLYMER / ACRYLIC ACID / RICE STRAW / GAMMA IRRADIATION

ANURAT POLAR : PREPARATION OF WATER ABSORBING MATERIAL FROM GRAFTING OF ACRYLIC ACID ONTO RICE STRAW BY GAMMA IRRADIATION. ADVISOR : ASST. PROF. DOONYAPONG WONGSAWANG, Ph.D., CO-ADVISOR : PRARTANA KEWSUWAN, Ph.D., 67 pp.

Water absorbing material from grafting of acrylic acid onto rice straw (rice straw-g-acrylic) was prepared by gamma irradiation. Major parameters studied were monomer concentration, rice straw content and total dose. The optimum condition for graft copolymerization reaction of acrylic acid onto rice straw was 10 % acrylic acid solution with 10 % rice straw (w/w) and 10 kGy of radiation. Under this condition, the swelling of rice straw-g-acrylic was 8069 %, the degree of grafting of rice straw-g-acrylic was 43.46 %, and the equilibrium water absorbency was 540 minutes. Properties of graft copolymer were analyzed using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy technique.

Fertilizer loading and release characteristics were studied. An experiment was done to allow the water absorbing material to absorb urea fertilizer by dipping the material in 10 % aqueous urea solution. The material exhibited outstanding urea loading of 796 %. The release of urea was determined by immersing samples in distilled water with slow agitation, and then pipetting out at desired intervals. The concentration of urea was determined by UV-Vis spectrophotometer at 440 nm. It was found that the release amount increased with time until it reached a maximum value and became constant. The 89.00 % release of urea was found at 12 hours.

The degradation of water absorbing material in soil was studied. The material exhibited exceptional durability with more than 2 months without complete degradation.

Department : Nuclear Technology	Student's Signature <i>Anurat</i>
Field of Study : Nuclear Technology	Advisor's Signature <i>D. Doonyapong</i>
Academic Year : 2010	Co-advisor's Signature <i>P. Kewsuwan</i>

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ประรณนา คิ้วสุวรรณ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ประธานกรรมการสอบรองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ เป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ และคุณรุ่งเพชร โทนทัย ที่ให้กำลังใจตลอดในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคุณวิวิช ธรรมวีระพงษ์ คุณโกมล เขียวสกุล และคุณสมบุญ จิรชาญชัย ผู้ซึ่งเป็นผู้บังคับบัญชา และอดีตผู้บังคับบัญชาที่ได้ให้โอกาสไปศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษา พร้อมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ เป็นอย่างสูง

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของกาวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน.....	3
2.2 เทคนิคการพอลิเมอไรเซชัน.....	4
2.2.1 Simultaneous irradiation technique.....	4
2.2.2 Pre-irradiation technique.....	4
2.3 พอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา.....	5
2.3.1 Initiation.....	6
2.3.2 Propagation.....	7
2.3.3 Termination.....	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากรังสี.....	8
2.4.1 ผลเบื้องต้นที่เกิดในพอลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสี.....	8
2.4.2 ข้อได้เปรียบของกระบวนการทางรังสี.....	9
2.4.3 ผลของกระบวนการทางรังสีต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม.....	9

2.5 การเกิดคลอสติงก์และการเกิดการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ด้วยรังสี.....	10
2.6 ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี.....	10
2.7 ประเภทของพอลิเมอร์.....	11
2.7.1 โสโมพอลิเมอร์.....	11
2.7.2 โคพอลิเมอร์.....	11
2.7.2.1 โคพอลิเมอร์แบบสลับ.....	11
2.7.2.2 โคพอลิเมอร์แบบสุ่ม.....	12
2.7.2.3 โคพอลิเมอร์แบบบล็อก.....	12
2.7.2.4 โคพอลิเมอร์แบบกราฟต์.....	13
2.8 เทคนิคการฉายรังสี.....	14
2.8.1 เทคนิคการฉายรังสีด้วยรังสีแกมมา.....	14
2.8.2 การฉายรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาระดับห้องทดลอง.....	14
2.8.3 แหล่งกำเนิดรังสีรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสี.....	15
2.8.4 ลักษณะแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาในกระบวนการทางรังสี.....	15
2.8.5 โคบอลต์-60.....	15
2.8.6 ซีเซียม-137.....	16
2.9 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี.....	16
2.9.1 การเกิดการเชื่อมโยงข้าม.....	16
2.9.2 การเกิดการต่อกิ่ง.....	17
2.9.3 การเกิดการตัดทอนโมเลกุล.....	17
2.10 ลักษณะทั่วไปของกรดอะคริลิก.....	18
2.10.1 การแบ่งลักษณะ (indentification) ของกรดอะคริลิก.....	19
2.11 เซลลูโลส.....	21
2.12 ปุ๋ยยูเรีย.....	22
2.12.1 ประวัติปุ๋ยยูเรีย.....	22
2.12.1 การผลิตปุ๋ยยูเรีย.....	23
2.13 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟางข้าว.....	24
2.14 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26

บทที่ 3. วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย.....	29
3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	29
3.2 รายการสารเคมี.....	30
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.3.1 การเตรียมผงฟางเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน ของกรดอะคริลิกกับฟางข้าว.....	30
3.3.2 การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิก.....	31
3.3.3 การหาเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	32
3.3.4 การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ.....	32
3.3.5 การศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ.....	32
3.3.6 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยใช้ เทคนิค FTIR.....	33
3.3.7 ศึกษาการดูดซับปุ๋ย.....	33
3.3.8 ศึกษาการปลดปล่อยปุ๋ย.....	33
3.2.8.1 การเตรียม Standard curve ของสารละลายมาตรฐาน.....	33
3.2.8.2 การเตรียม p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB).....	34
3.2.8.3 การเตรียมยูเรียเพื่อหาปริมาณยูเรียโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร.....	34
3.2.8 ศึกษาการย่อยสลายในดิน.....	34
บทที่ 4. ผลการวิจัย.....	36
4.1 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของกรดอะคริลิกกับ เส้นใยเซลลูโลสในผงฟางข้าว.....	36
4.1.1 ปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	36
4.1.2 ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	37
4.1.3 เปอร์เซนต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	39
4.2 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ.....	40
4.2.1 การศึกษาปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ.....	40

4.2.2 การศึกษาความเข้มข้นมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ.....	42
4.2.3 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ของผงฟางต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ.....	44
4.3 การศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ.....	45
4.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยเทคนิค FTIR.....	48
4.4 ศึกษาการดูดซับน้ำยูเรีย.....	49
4.5 ศึกษาการปลดปล่อยน้ำยูเรีย สำหรับวัสดุดูดซับน้ำ.....	50
4.5.1 ผลการเตรียม Standard curve ของสารละลายมาตรฐาน.....	50
4.5.2 ผลการปลดปล่อย (Release) น้ำยูเรีย.....	50
4.6 ศึกษาการย่อยสลายบนดิน.....	52
บทที่ 5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 การกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิก โดยการฉายรังสี แกมมาตามเงื่อนไขต่างๆ.....	56
5.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยเทคนิค FTIR.....	56
5.3 การดูดซับน้ำยูเรีย สำหรับวัสดุดูดซับน้ำ.....	56
5.4 การปลดปล่อยน้ำยูเรีย สำหรับวัสดุดูดซับน้ำ.....	57
5.5 การย่อยสลายบนดิน.....	57
5.6 ข้อเสนอแนะ.....	57
รายการอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก.	61
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของพอลิเมอร์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อได้รับรังสี.....	18
2.2	คุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของกรดอะคริลิก.....	20
4.1	ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	36
4.2	ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	38
4.3	ผลของเปอร์เซ็นต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	39
4.4	ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก.....	40
4.5	ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก.....	42
4.6	ผลของเปอร์เซ็นต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก.....	45
4.7	ผลอัตราการดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำเทียบกับเวลา.....	46
4.8	ผลการดูดซับปุ๋ยยูเรียของวัสดุดูดซับน้ำ.....	49
4.9	ผลการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรีย.....	51

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การกราฟต์ แบบ peroxidizes polymer.....	5
2.2	สารประกอบอินทรีย์เมื่อได้รับการฉายรังสีแกมมาจะแตกตัวได้อนุมูลอิสระ.....	5
2.3	การเกิด โมเลกุลสะเทินจากอนุมูลอิสระ.....	6
2.4	กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ.....	6
2.5	การเข้าทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับ โมเลกุลของพอลิเมอร์.....	6
2.6	ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณของมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์.....	7
2.7	ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี.....	11
2.8	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ.....	11
2.9	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม.....	12
2.10	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก.....	12
2.11	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง.....	13
2.12	การเกิดการเชื่อม โยงข้าม (cross-linking) ของพอลิเมอร์.....	16
2.13	การเกิดการต่อกิ่ง (grafting) ของพอลิเมอร์.....	17
2.14	การเกิดการตัดทอน โมเลกุล (degradation)	17
2.15	โครงสร้างของกรดอะคริลิก (Acrylic Acid).....	19
2.16	กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของกรดอะคริลิก (Acrylic Acid).....	19
2.17	วัสดุดูดซับน้ำก่อนดูดซับน้ำ (ข้าว) และหลังดูดซับน้ำ (ขาว).....	20
2.18	โครงสร้างแบบ Fischer ของ D-glucose.....	21
2.19	โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์แบบเก้าอี้ (chair form).....	21
2.20	ส่วนประกอบของต้นข้าว.....	25
3.1	การต่ออุปกรณ์ชุดต้มแบบรีฟลักซ์สำหรับเตรียมฟางข้าว.....	31
3.2	ตัวอย่างผงฟางที่เติมกรดอะคริลิกในสารละลายน้ำก่อนนำไปฉายรังสีแกมมา....	31
3.3	ตัวอย่างดินก่อนใส่วัสดุดูดซับน้ำ.....	35
3.4	ตัวอย่างดินที่ใส่วัสดุดูดซับน้ำ.....	35
3.5	ตัวอย่างดินที่ใส่วัสดุดูดซับน้ำและรคน้ำ.....	35
4.1	ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	37

ภาพที่		หน้า
4.2	ผลของความเข้มข้นมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	38
4.3	ผลของเปอร์เซ็นต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	40
4.4	ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ.....	42
4.5	ผลของความเข้มข้นมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ.....	43
4.6	เปรียบเทียบผลของเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่ปริมาณรังสี และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกรดอคริลิกต่างๆ ที่ฟาง 10 เปอร์เซ็นต์.....	44
4.7	ผลของเปอร์เซ็นต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ.....	45
4.8	ผลของอัตราการดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ.....	48
4.9	FTIR spectrum ของ RS, PAA , RS-g-PAA.....	49
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียกับการดูดกลืนแสงที่ 440 นาโนเมตร.....	50
4.11	การปลดปล่อยยูเรียที่เวลาต่างๆ.....	52
4.12	การเปลี่ยนแปลงของวัสดุดูดซับน้ำเมื่อทดสอบบนดิน.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สารประกอบซูเปอร์แอบซอร์เบนท์ เป็นสารพอลิเมอร์ ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ และโครงสร้างโมเลกุลมีลักษณะคล้ายร่างแหหรือตาข่าย เมื่อโมเลกุลของน้ำแทรกซึมเข้าไปใน โมเลกุลของสารแล้วสายโซ่โมเลกุลของสารพอลิเมอร์จึงถูกทำให้ขยายตัวออก แต่ไม่สามารถ กระจายตัวหรือละลายออกได้ เพราะการยึดติดกันของเส้นสายพอลิเมอร์ในโมเลกุลเอง จึงทำให้ ลักษณะภายนอกหลังจากพอลิเมอร์ดูดน้ำเข้าไปแล้ว มีลักษณะเป็นก้อน คล้ายวุ้น หรือเจลใส ซึ่งการ ดูดซับน้ำของสารซูเปอร์แอบซอร์เบนท์นี้ สามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณมาก และขยายตัวได้ หลายเท่าตัว โดยคุณสมบัติเหล่านี้สามารถที่จะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในภาคการเกษตรได้ เช่น ช่วยลดการให้น้ำบ่อยๆ ช่วยยึดเกาะปุ๋ยไม่ให้ไหลไปตามน้ำ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในภาคการเกษตร ได้เป็นอย่างดี เพราะในปัจจุบันนี้ในภาคเกษตรกรรมนั้นจะมีการลงทุนที่สูงขึ้น ดังนั้นการนำของ เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาประยุกต์ใช้โดยเป็นส่วนหนึ่งของการเตรียมสารซูเปอร์แอบซอร์เบนท์ จึงเป็นผลดีอย่างยิ่งเนื่องจากในแต่ละปีประเทศไทยจะมีผลพลอยได้ หรือของเหลือทิ้งจาก ภาคอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ฟางข้าวเกิดขึ้นหลายล้านตัน ถึงแม้จะมีการนำฟางข้าวกลับมาใช้ ในการเกษตร เช่น เป็นอาหารสัตว์ การทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น แต่ฟางข้าวอีกเป็นจำนวนมากถูกทิ้งไว้ โดยเปล่าประโยชน์ ที่ยที่สุดชวานาต้องเผาฟางข้าวทิ้งไปซึ่งก่อปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้จึง มีแนวคิดในการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์จากสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมข้าว ในแนวทางการเพิ่ม มูลค่า ซึ่งยังไม่มีมีการวิจัยอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามในการสังเคราะห์สารซูเปอร์แอบซอร์เบนท์นี้จะเลือกใช้วิธีการฉายรังสีแทนการใช้สารเคมีในการเตรียม เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ สารเคมีนี้มีข้อด้อยที่มีสารเคมีตกค้าง ส่วนการใช้วิธีการฉายรังสีแกมมาแทนการใช้สารเรงนั้น จะ ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดปราศจากสารเคมีตกค้าง

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับน้ำโดยการกราฟต์ฟางข้าวด้วยกรด อะคริลิก โดยการฉายรังสีแกมมา และศึกษาคุณสมบัติ การดูดซับน้ำ การไหลปุ๋ย การปลดปล่อยปุ๋ย และการเสื่อมสลาย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเตรียมวัสดุดูดซับน้ำโดยการกราฟต์ฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิกโดยการฉายรังสี แกมมา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฟางข้าวและกรดอะคริลิกในการเตรียมวัสดุคูดซับน้ำ
- 1.3.2 หาปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุคูดซับน้ำ
- 1.3.3 ทดสอบการกราฟต์ของกรดอะคริลิกบนฟางข้าวโดยใช้เครื่อง FTIR spectrometer
- 1.3.4 ทดสอบคุณสมบัติในการคูดซับน้ำของวัสดุคูดซับน้ำที่ได้จากการเตรียม
- 1.3.5 ทดสอบคุณสมบัติการคูดซับและปลดปล่อยปุ๋ยของวัสดุคูดซับน้ำที่ได้จากการเตรียม
- 1.3.6 ทดสอบการย่อยสลายในระยะสั้นของวัสดุคูดซับน้ำในดินที่มีจุลินทรีย์สูง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ทดลองหาปริมาณรังสีที่ใช้ในการเตรียมของวัสดุคูดซับน้ำที่เหมาะสม
- 1.4.3 ทดลองหาปริมาณของฟางข้าวต่อกรดอะคริลิกที่เหมาะสม
- 1.4.4 ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุคูดซับน้ำที่เตรียมได้จากการกราฟต์กรดอะคริลิกบนฟางข้าวโดยการฉายรังสี
 - ทดสอบการกราฟต์ของกรดอะคริลิกบนฟางข้าวโดยใช้เครื่อง FTIR spectrometer
 - ทดสอบคุณสมบัติในการคูดซับน้ำของวัสดุคูดซับน้ำ
 - ทดสอบคุณสมบัติการคูดซับปุ๋ยและการปลดปล่อยปุ๋ยของวัสดุคูดซับน้ำ
 - ทดสอบการย่อยสลายในระยะสั้นๆ ของ วัสดุคูดซับน้ำในดินที่มีจุลินทรีย์สูง
- 1.4.5 สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แนวทางในการเตรียมวัสดุคูดซับน้ำเพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณน้ำในดินที่ทำการเพาะปลูก

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization Processes)

กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เป็นกระบวนการหรือวิธีการที่จะเปลี่ยนโมเลกุลของโมโนเมอร์ซึ่งเป็น โมเลกุลเล็กๆ ไปเป็นพอลิเมอร์ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้นในกระบวนการนี้จะมีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้น แต่กระบวนการพอลิเมอไรเซชันเน้นถึงการปฏิบัติจริงจึงอาจเรียกว่าวิธีการหรือเทคนิคพอลิเมอไรเซชัน (methods หรือ techniques of polymerization) ก็ได้ ซึ่งปกติที่ใช้กันมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือแบบบัลค์ (bulk) แบบสารละลาย (solution) แบบแขวนลอย (suspension) และแบบอิมัลชัน (emulsion) แต่ก่อนจะไปถึงกระบวนการแบบต่างๆ ควรจะมาพิจารณาถึงปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดในการเตรียมพอลิเมอร์ เพื่อจะได้ระมัดระวังและยึดเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการเตรียมพอลิเมอร์ต่อไป

ปัญหาที่จะพบในการเตรียมกระบวนการพอลิเมอไรเซชันมีอยู่มากมาย เช่น การที่มอนอเมอร์และตัวเร่งเป็นสารพิษก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ หรืออาจเป็นสารที่ติดไฟรุนแรง มีกลิ่นเป็นพิษต่อร่างกาย ตัวอย่างเช่น อะไครโลไนไตรล์ ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$) พวกตัวเร่งซีเกลอร์-นัตตา เช่นอะลูมิเนียมไตรเอทิลสามารถติดไฟอย่างรุนแรงด้วยตัวเองถ้ามีอากาศ การเตรียมจึงต้องทำในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน สำหรับพอลิเมอร์ที่เตรียมได้นั้นไม่มีปัญหาแต่อย่างใด ตัวมันเองไม่มีพิษ ไม่มีภัย ไม่เหมือนสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ แต่พอลิเมอร์ไม่สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธีการกลั่น วิธีการสกัด หรือวิธีการตกผลึกเหมือนสารโมเลกุลเล็กๆ ได้ดังนั้นจึงมักจะพบส่วนประกอบที่ไม่บริสุทธิ์ปะปนมาบ้างในผลิตภัณฑ์ที่เตรียมมาได้ ขึ้นอยู่กับเทคนิคหรือกระบวนการที่ใช้ และมีเกณฑ์บางอย่างที่จะเลือกใช้กระบวนการเหล่านี้โดยพิจารณาจากผลของอุณหภูมิ

ในปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากพันธะคู่ไปเป็นพันธะเดี่ยวจะเกิดการคายความร้อนออกมา โดยทั่วไป ความร้อนของพอลิเมอไรเซชันจะมีขนาดประมาณ 10 ถึง 20 kcal/mol ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงในระหว่างเกิดพอลิเมอไรเซชันและมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา การกำจัดความร้อนก็มีข้อจำกัดที่มอนอเมอร์และพอลิเมอร์มักจะเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี นอกจากนี้อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลต่อความยาวของสายโซ่ด้วยคือ ทำให้ได้สายโซ่สั้น น้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลมากคือ มีขนาดแตกต่างกันมากมาย มอนอเมอร์ที่มีหมู่แทนที่มากจะเกิดผลของการกีดขวางสูงทำให้เกิดพอลิเมอร์ได้ยากกว่ามอนอเมอร์ที่มีหมู่แทนที่น้อย และมอนอเมอร์ที่มีหมู่แทนที่มากมีความร้อนของพอลิเมอไรเซชันต่ำกว่า

ปัญหาต่างๆ ดังกล่าวมานั้นเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการที่จะเตรียมพอลิเมอร์ โดยกระบวนการต่างๆ กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันอาจจะทำได้โดยมอนอเมอร์อย่างเดียว ซึ่งเป็นแบบบัลค์ หรือถ้าทำโดยมีตัวทำละลายด้วยเป็นแบบสารละลาย หรืออาจจะทำแบบแขวนลอยซึ่งใช้น้ำแทนตัวทำละลาย หรืออาจทำเป็นแบบอิมัลชันในน้ำก็ได้ ทั้ง 4 วิธีนี้ ใช้กันในอุตสาหกรรม และนิยมใช้เรดิคัลเป็นตัวเริ่ม ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่ เช่นพอลิสไตรีน ในระบบที่เป็นอ็อกซิเจนและสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชัน ถ้ามีน้ำจะทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาเพราะน้ำไปทำลายความว่องไว จึงต้องใช้กระบวนการที่ไม่มีน้ำ คือกระบวนการแบบบัลค์กับแบบสารละลายเท่านั้น ในพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นใช้ในกระบวนการแบบอิมัลชันและแบบแขวนลอยไม่ค่อยมาก แต่อาจจะมีบ้าง เช่น เอซิลีนไดคลอไรด์กับโซเดียมพอลิซัลไฟด์เกิดปฏิกิริยาควบแน่นได้ยางเอซิลีนพอลิซัลไฟด์กับโซเดียมคลอไรด์ กรณีนี้ใช้กระบวนการอิมัลชันหรือพวกพอลิเมอร์ไรเซชันในสถานะก๊าซกับพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นที่เกิดระหว่างผิวหน้าสัมผัสกัน นิยมใช้กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย

2.2 เทคนิคการพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization technique)

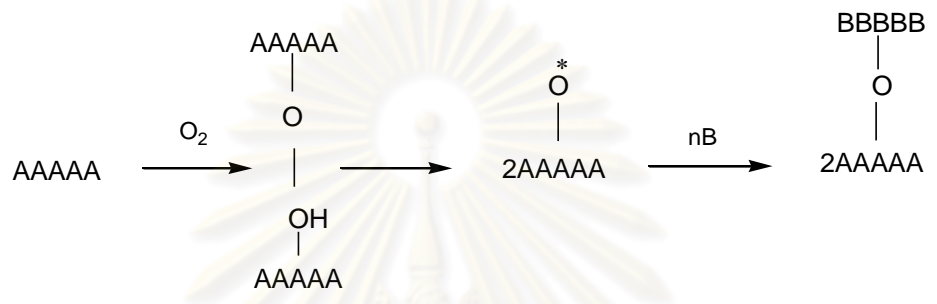
เทคนิคการพอลิเมอร์ไรเซชัน แบ่งออกเป็น 2 เทคนิค คือ

2.2.1 Simultaneous irradiation technique หรือ Direct irradiation technique ^[1] เป็นเทคนิคพื้นฐานของกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสี เนื่องจากเตรียมง่ายวิธีการของเทคนิคนี้ พอลิเมอร์และมอนอเมอร์จะถูกฉายรังสีพร้อมๆ กัน เช่น นำเส้นใยเซลลูโลสแช่ลงในมอนอเมอร์ การกระจายตัวของมอนอเมอร์เข้าไปภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นปัจจัยที่สำคัญของเทคนิคนี้เนื่องจากการกระจายตัวของมอนอเมอร์เป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาจะเกิดที่พื้นผิวของพอลิเมอร์หรือเกิดทั่วทั้งปริมาตรของพอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสีสภาวะบรรยากาศภายในของระบบอาจอยู่ในสภาวะออกซิเจน สภาวะสูญญากาศหรือสภาวะบรรยากาศเฉื่อย สภาวะบรรยากาศในโตรเจน เป็นต้น หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญจะหลุดออกเกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ส่วนมอนอเมอร์เมื่อได้รับรังสีจะเกิดอนุมูลอิสระขึ้นที่พันธะคู่ของมอนอเมอร์จากนั้นจะเกิดการกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชัน

2.2.2 Pre-irradiation technique เป็นเทคนิคที่เกิดขึ้น 2 ขั้นตอนซึ่งจะแบ่งชนิดของตำแหน่งความว่องไวต่อปฏิกิริยา (Active Site) โดยแบ่งเป็น peroxides และ trapped ซึ่งทั้งสองชนิดนี้จะเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยากราฟต์มอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่หลักของพอลิเมอร์

การกราฟต์แบบ peroxidizes polymer เมื่อนำพอลิเมอร์ไปทำการฉายรังสีในสภาวะบรรยากาศออกซิเจน โมเลกุลของพอลิเมอร์จะดูดกลืนพลังงานของรังสีทำให้เกิด hydroperoxdes หรือ diperoxide และ โมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกกระตุ้นให้อยู่ในสภาวะกระตุ้นแล้ว

แตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระ peroxidizes อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้อยู่ในสถานะเสถียรทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้ ดังนั้นหลังจากฉายรังสีแล้วจึงนำมอนอเมอร์มารวมกับพอลิเมอร์ซึ่งมอนอเมอร์นั้นอาจจะละลายหรือไม่ละลายในตัวทำละลายก็ได้แล้วให้ความร้อนกับระบบพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ในบรรยากาศออกซิเจนซึ่งจะทำให้ hydroperoxides แตกตัวเป็น hydroxyl radical เกิดเป็นพอลิเมอร์โซ่สั้นของมอนอเมอร์บนสายโซ่หลักพอลิเมอร์ผลลัพท์สุดท้ายเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์

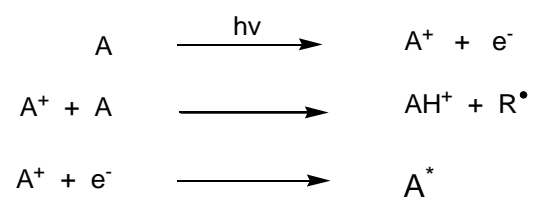


รูปที่ 2.1 การกราฟต์ แบบ peroxidizes polymer

การกราฟต์แบบ Trapped radical เทคนิคนี้ทำโดยการนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีในสถานะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระภายในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์เป็นแบบ trapped ในรูปของ polymeric species ถ้าอุณหภูมิ glass transition ของพอลิเมอร์ต่ำจะทำให้ระยะเวลาการเกิด trapped บนสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ trapped ที่เกิดขึ้นนี้จะว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นอย่างดี ความสามารถในการแพร่กระจายของมอนอเมอร์เป็นปัจจัยสำคัญมากถ้ามอนอเมอร์แพร่กระจายไปในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ได้มากก็จะทำให้เกิดพื้นที่การเกิด ปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์กับ trapped ที่เกิดบนพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย

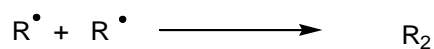
2.3 พอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมา (Polymerization Induced by Gamma-ray)

เมื่อสารประกอบอินทรีย์ได้รับการฉายรังสีแกมมาโมเลกุลของสารจะถูกกระตุ้นให้แตกตัวเป็นไอออนและอนุมูลอิสระ ดังรูปที่ 2.2 [2]



รูปที่ 2.2 สารประกอบอินทรีย์เมื่อได้รับการฉายรังสีแกมมาจะแตกตัวได้อนุมูลอิสระ

จากนั้นจะรวมกันเป็น โมเลกุลสะเทินตามลำดับปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.3



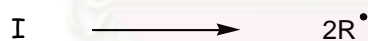
รูปที่ 2.3 การเกิดโมเลกุลสะเทินจากอนุมูลอิสระ

กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันจะเป็นแบบออดอนิกหรือแบบอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอนอเมอร์และเงื่อนไขประกอบอื่นๆ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระเพราะออดอนจะเสถียรและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดีเฉพาะในสภาวะอุณหภูมิต่ำๆ เท่านั้น ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ 3 ขั้นตอนดังนี้

2.3.1 Initiation

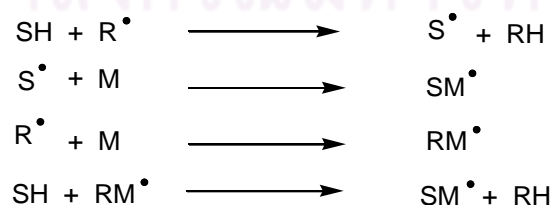
การเริ่มลูกโซ่เป็นกระบวนการกระตุ้นให้โมเลกุลอยู่ในสภาวะไวต่อปฏิกิริยาหรือที่เรียกว่ากระบวนการสร้างแอกทีฟเซนเตอร์ (active center) ซึ่งเป็นตัวที่มีสภาพทางไฟฟ้าที่เป็นกลางแต่มี unshared electron เช่นพวก free radical หรือ carbonion (-) carbonium (+) โดยวิธีการนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ คือ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.5



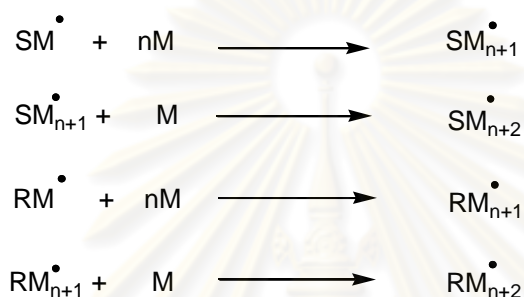
รูปที่ 2.5 การเข้าทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับโมเลกุลของพอลิเมอร์

เมื่อ **SH** คือ scavenger หรือ sensitizer

เมื่อ **M** คือ monomer

2.3.2 Propagation

เป็นขั้นตอนการเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์ โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อีกตัวหนึ่งเป็นอนุมูลอิสระอีกทีซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวต่อไปทีละตัวอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณของมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์

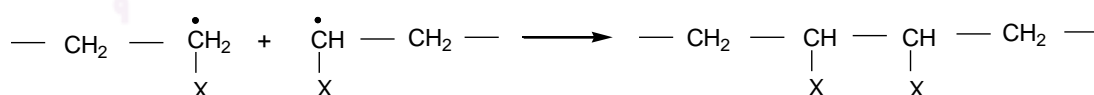
เมื่อ n แทนจำนวนหน่วยของมอนอเมอร์ที่รวมเข้าไปในโซ่ของพอลิเมอร์

2.3.3 Termination

เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อนุมูลอิสระหมดความว่องไวหรือหมดความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่อไปโดยอนุมูลอิสระจะไม่สร้างปลายโซ่ด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาขึ้นอีก การสิ้นสุดของอนุมูลอิสระอาจเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ

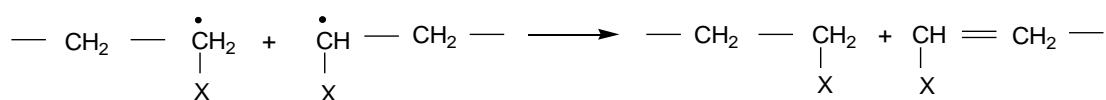
(1) เป็นการสิ้นสุดเนื่องจากการรวมสองโมเลกุลเข้าเป็นหนึ่งโมเลกุล เรียกว่า

Coupling หรือ combination



เมื่อ X คือ functional group ใดๆ หรือหมู่ อัลคิล

(2) เป็นการสิ้นสุดของอนุมูลอิสระเนื่องจากการแบ่งหรือแยกสองโมเลกุลที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นสองโมเลกุลที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีกเรียกว่า Disproportionation



การฉายรังสีแกมมาสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้โดยตรงจากพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ที่ใช้หรือจากสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่รวมกัน เป็นโซ่โมเลกุลที่มีสถานะเป็นอนุมูลอิสระ โดยเกิดจากการต่อเติมมอนอเมอร์จำนวน n โมเลกุลเข้าด้วยกันและมีปลายหนึ่งเป็นด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทในการรับถ่ายโอนด้านที่ไวต่อปฏิกิริยามาจากโซ่โมเลกุลอื่น ๆ สารนี้อาจเป็นได้ทั้งมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มหรือโมเลกุลของพอลิเมอร์การกราฟต์พอลิเมอร์และโซโม่พอลิเมอร์เป็นพอลิเมอร์สุดท้ายที่ไม่ก่อให้เกิดลูกโซ่อีก อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีจะขึ้นอยู่กับอัตราปริมาณรังสีนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ ตลอดจนการควบคุมเงื่อนไขอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเนื่องจากรังสี

2.4.1 ผลเบื้องต้นที่เกิดในพอลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสี

ปกติเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานรังสีโดยสารทั่วไปจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นทั้งในนิวเคลียสและอิเล็กตรอนในวงโคจร แต่ถ้าพลังงานรังสีนั้นมีค่าต่ำกว่า 10 MeV แล้วอันตรกิริยาที่เกิดในนิวเคลียสจะมีน้อยมากและโดยปกติไม่เกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะกับโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุที่มีอะตอมขนาดเล็กเช่น H, C, N, O, S เป็นต้น เมื่อรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจรจะมีกระบวนการ 3 รูปแบบเกิดขึ้นคือ ผลเนื่องจากการเกิดโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน และการเกิดคู่อิเล็กตรอนบวกและลบ การจะเกิดรูปแบบใดมากน้อยต่างกันขึ้นกับพลังงานของรังสีนั้นและเลขอะตอม (ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในวงโคจร) ของตัวกลางที่ผ่าน ในทุกๆรูปแบบที่เกิดจะได้อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่มาจากอะตอมของตัวกลางนั้นเสมอ อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ได้จะมีพลังงานมากพอที่จะก่อให้เกิดโมเลกุลข้างเคียงเกิดการเป็นไอออน อิเล็กตรอน และโมเลกุลในภาวะถูกกระตุ้น (excited molecule) ต่อไปได้ในสารอินทรีย์ยังเกิดอนุมูลอิสระ เหล่านี้ทั้งหมดจะเป็นอนุภาคหรือหมู่ที่ว่องไว (active species) และชักนำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไปเป็นลูกโซ่จนกว่าจะรวมกันเองกลายเป็นโมเลกุลเดิมหรือโมเลกุลใหม่ที่เสถียร การเปลี่ยนแปลงพอลิเมอร์โดยรังสีที่มีอนุมูลอิสระเป็นตัวชักนำให้เกิดซึ่งพอลิเมอร์ส่วนมากจะมีกลไกการเกิดสายโซ่ขาด และเกิดครอสลิงค์ มีส่วนน้อยที่เกิดโดยการชักนำโดยไอออน การที่จะทราบว่าการเกิดจะเป็นแบบใดจะใช้สารบางชนิดที่จับอนุมูลอิสระได้ดีเติมลงในพอลิเมอร์ ถ้ายังเกิดผลเหมือนเดิมก็แสดงว่ากลไกเป็นแบบชักนำโดยไอออน หรืออาจฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำมากๆซึ่งอนุมูลอิสระจะไม่เคลื่อนที่ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาก็ได้

เงื่อนไขในการฉายรังสีกับสภาพสถานะของวัสดุยังทำให้เกิดผลต่างๆ ได้อีกมากมายภายใต้รังสีชนิดหนึ่ง พลังงานขนาดหนึ่ง ปริมาณรังสีหนึ่งด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน การเติม additive หรือ ใช้สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า เข้าร่วมด้วยขณะฉายรังสี วัสดุก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ต่างไป ซึ่งกระบวนการทางรังสี เกี่ยวข้องกับการใช้รังสีพลังงานสูงเพื่อให้เกิดประโยชน์ทางอุตสาหกรรมซึ่งรวมถึงกระบวนการที่ทำให้เกิด polymerization, grafting, cross linking และ degradation การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมของกระบวนการทางรังสีที่แพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ การทำให้ฉนวนฉนวนไฟเกิด cross link การปรับปรุงคุณสมบัติของ polymer และการผลิตเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อ

2.4.2 ข้อได้เปรียบของกระบวนการทางรังสี เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการใช้วิธีทางเคมีทั่วไปมีดังนี้

- (1) สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ
- (2) ใช้กับวัสดุในสถานะของแข็งที่มีปริมาณมากได้ (ในกรณีใช้รังสีแกมมา)
- (3) กระบวนการควบคุมได้ง่าย
- (4) ไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยา
- (5) สามารถใช้บำบัดของเสียที่ทำให้เกิดมลภาวะ
- (6) ไม่มีสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่น ไม่มี ethylene oxide ตกค้างในการฆ่าเชื้อ
- (7) ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่วิธีทางเคมีทำไม่ได้ เช่น พอลิเมอร์จำรูป (shape memory polymers)
- (8) ได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพดีขึ้น เช่น การเคลือบผิวด้วย cross linked polymers
- (9) การกำจัดสารอินทรีย์ปริมาณน้อยในน้ำดื่ม
- (10) ควบคุมจุลินทรีย์ที่มีโทษ (pathogen) ในอาหารได้อย่างปลอดภัย
- (11) ค่าเสียหายต่อหน่วยโดยรวมถูกกว่า

2.4.3 ผลของกระบวนการทางรังสีต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

- (1) การสังเคราะห์เคมีภัณฑ์
- (2) การปรับปรุงคุณภาพของวัสดุจากกระบวนการ polymerization, grafting, crosslinking, degradation

- (3) ผลิตภัณฑ์พลอยดี
- (4) อุบัติการณ์การยืดอายุและถนอมอาหาร
- (5) การบำบัดของเสียที่เกิดมลภาวะ

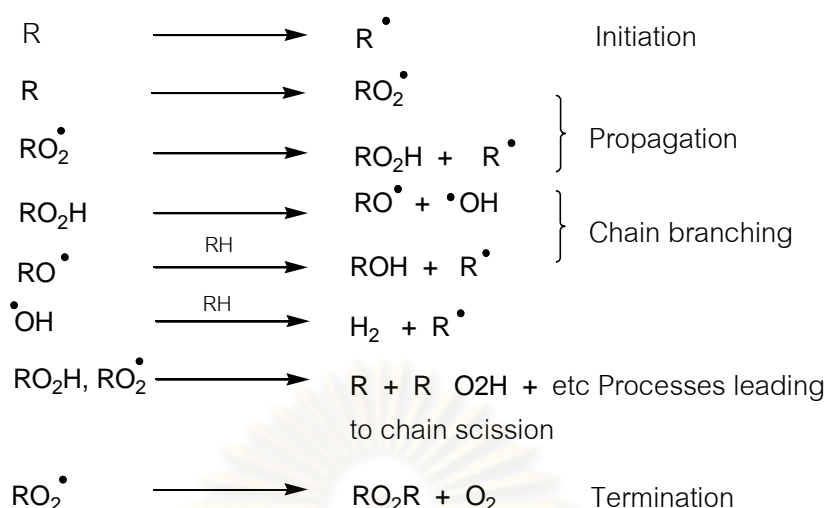
2.5 การเกิดคลอสลิงก์และการเกิดการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์โดยรังสี

การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญเมื่อฉายรังสีจะเกิดคลอสลิงก์และเกิดการเสื่อมสลาย การเกิดคลอสลิงก์โดยทั่วไปจะทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์แข็งแรงมากยิ่งขึ้น ความต้านแรงดึงมากขึ้น ทนทานต่อความร้อน เปลวไฟ ตัวทำละลายมากยิ่งขึ้นและมีการยึดที่ทำให้เกิดผลเสียน้อยลงเป็นต้น ในทางกลับกันการเกิดการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์จะมีผลในทางตรงกันข้าม

ปกติเมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิดคลอสลิงก์และเกิดการเสื่อมสลายไปพร้อมๆ กันขึ้นกับว่าพอลิเมอร์ชนิดใดจะเกิดปฏิกิริยาคลอสลิงก์และเสื่อมสลายมากกว่ากัน ในปี 1954 Miller และคณะได้เสนอหลักเกณฑ์ที่ทำนายว่าไวไนลพอลิเมอร์ โครงสร้างแบบใดจะเกิดคลอสลิงก์หรือเสื่อมสลายดังนี้ $(-CH_2CHR-)_n$ จะเกิดคลอสลิงก์ขณะที่พอลิเมอร์มีโครงสร้างในรูปของ $(-CH_2CR_1CR_2-)_n$ จะมีโอกาสเกิดการเสื่อมสลายสูงเมื่อฉายรังสี การอธิบายเหตุผลใช้หลักการของความเกะกะ (steric effect) ของโมเลกุลพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ที่เกิดการเสื่อมสลายจะมีค่าความร้อนในการเกิดพอลิเมอร์ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณที่ไม่คิดถึงผลเกะกะนั้น นอกจากนี้การที่สายโซ่มีหมู่เกะกะจะไม่ทำให้เกิด Franck-Rabinowich cage effect กล่าวคือพวก active species จะไม่รวมกันเองแต่จะไปทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ในตัวเองขาดได้ง่ายขึ้น พอลิเมอร์ที่เสื่อมสลายโดยรังสียังพบว่าเมื่อให้ความร้อนจะเกิดไพโรลิซิสเป็นมอนอเมอร์ได้ดีด้วย สำหรับพอลิเมอร์ที่ไม่มีหมู่ข้างๆ ในสายโซ่เกะกะจะมีอิสระในการเคลื่อนที่ของสายโซ่ตามแนวแกนเมื่อเกิดอนุมูลอิสระขึ้นที่สายโซ่โดยรังสีจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่อีกสายโซ่หนึ่งที่อยู่ข้างเคียงได้จึงเกิดการเชื่อมโยงของสารพอลิเมอร์ได้ง่าย สำหรับพอลิเมอร์อื่นๆ ที่ไม่ใช่ไวไนลพอลิเมอร์ก็พบว่าสมมติฐานนี้ใช้ได้เช่นกัน

2.6 ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี

การฉายรังสีพอลิเมอร์ในอากาศจะทำให้การเสื่อมสลายเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศกลายเป็นอนุมูลเปอร์ออกซีและเกิดการเสื่อมสลายแม้ในพอลิเมอร์ชนิดที่เกิดการเชื่อมโยงเมื่อถูกรังสี คือจะเกิด oxidative degradation ในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ ดังรูปที่ 2.7 ^[3]



รูปที่ 2.7 ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี

2.7 ประเภทของพอลิเมอร์

แบ่งตามลักษณะการจัดตัวของมอนอเมอร์ ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ^[4]

2.7.1 โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymers) พวกนี้ในสายโซ่โโมเลกุลประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียว เช่น ถ้ามอนอเมอร์เป็น A สายโซ่โโมเลกุลจะเป็น - A - A - A - A - A - ตัวอย่าง เช่น พอลิเอทิลีนในสายโซ่โโมเลกุลจะประกอบด้วยเอทิลีนชนิดเดียว หรือพอลิสไตรีนก็ประกอบด้วยมอนอเมอร์สไตรีนชนิดเดียว

2.7.2 โคพอลิเมอร์ (copolymers) ในสายโซ่โโมเลกุลประกอบด้วยมอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น โคพอลิเมอร์สไตรีน-บิวตะไดอินพอลิเมอร์อะไครโลไนไตรล์-บิวตะไดอิน เป็นต้น และโคพอลิเมอร์ยังสามารถจำแนกออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ที่ซ้ำๆ กันในโโมเลกุลเป็น 4 ชนิด คือ

2.7.2.1 โคพอลิเมอร์แบบสลับ (alternating copolymets) ถ้าพิจารณากรณีที่มีมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B ในสายโซ่โโมเลกุลจะประกอบด้วย A และ B สลับกันอย่างเป็นระเบียบ คือ

~ ABABABABABABABABAB~

รูปที่ 2.8 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ

2.7.2.2 โคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (random copolymers) ในสายโซ่โพลิเมอร์ จะพบมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิด เช่น A และ B อยู่ปะปนกันอย่างไม่เป็นระบบ เช่น

~AABABAAABBAABAABABBA~

รูปที่ 2.9 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โพลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม

2.7.2.3 โคพอลิเมอร์แบบบล็อก (block copolymers) พอลิเมอร์แบบบล็อก หมายถึงโคพอลิเมอร์ที่มีกลุ่มของมอนอเมอร์ชนิดหนึ่งอยู่ในสายโซ่ติดๆ กันมากกว่าหนึ่งหน่วย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลของโคพอลิเมอร์ตัวนั้นด้วย สมบัติเชิงกลนี้จะแตกต่างกันไปตามความแตกต่างของจำนวนหน่วยมอนอเมอร์ที่อยู่เป็นกลุ่มๆ ส่วนวิธีการเตรียมโคพอลิเมอร์แบบบล็อก อาจทำได้หลายวิธี เช่น ในพอลิเมอร์ไรเซชันแบบขั้น ตัวอย่างเช่น ใช้พอลิเอสเทอร์ 2 ตัวที่แตกต่างกัน เตรียมโดยการแยกกันก่อนแล้วค่อยนำมาผสมกัน หลังจากนั้นก็ปล่อยให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เกิดไปเรื่อยๆ จะได้โคพอลิเมอร์แบบบล็อกตามต้องการ สมมติว่าเอสเทอร์ชนิดแรกเป็น A ชนิดที่สองเป็น B ตอนแรกทำปฏิกิริยาแยกกัน อาจได้ AAA และ BBB เป็นต้น แล้วนำมาผสมกัน เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกันเป็นลักษณะดังนี้

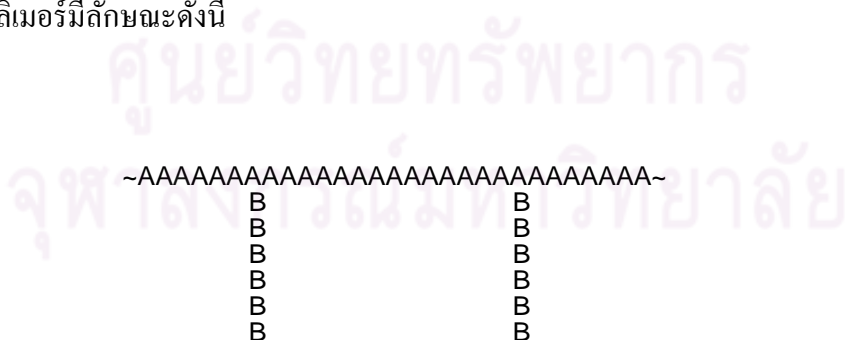
~AAA BBB AAA BBB AAA BBB AAA~

รูปที่ 2.10 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โพลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก

จำนวนหน่วยอาจไม่เท่ากันก็ได้ นอกจากนี้โคพอลิเมอร์แบบบล็อกอาจเตรียมได้จากตัวเริ่ม ไดไอโซไซโปรพิลเบนซีนมอนอไฮโดรเปอร์ออกไซด์ หรือถ้าเป็นพอลิเมอร์ไรเซชันโดยเรดคัลคอด พอลิเมอร์ที่ได้อาจใช้ออกซิเจนออกซิไดซ์ให้เกิดสายโซ่เรดคัลคอดก่อนจากนั้นเติมมอนอเมอร์ชนิดที่สองลงไป นอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังอาจเตรียมโคพอลิเมอร์แบบบล็อกได้จากการทำให้สายโซ่โพลิเมอร์ขาดด้วยการใช้รังสีพลังงานสูง จะได้เรดคัลคอดที่หมู่ปลาย แล้วเติมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งลงไป อีกกรณีหนึ่งโพลิเมอร์สามารถเตรียมให้ได้หมู่ปลายที่สามารถทำให้หลุดได้ง่ายด้วยแสงอุลตราไวโอเลต เมื่ออะตอมที่หมู่ปลายหลุดออกไป จะเกิดฟรีเรดคัลคอด จากนั้นก็ผสมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งลงไป

2.7.2.3 โคพอลิเมอร์แบบกราฟต์ (graft copolymers) เป็นโคพอลิเมอร์ซึ่งจะประกอบด้วยสายโซ่หลักเป็นโฮโมพอลิเมอร์ และมีกิ่งสาขาแยกเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า โคพอลิเมอร์แบบกราฟต์ซึ่งเกิดจากการมีจุดวงไวเกิดในสายโซ่หลักไม่ใช่อุบัติที่ปลายสายโซ่ แล้วเติมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งลงไป วิธีที่ใช้กันมากคือใช้แสงอุลตราไวโอเลตทำให้เกิดการตั้งอะตอมไฮโดรเจนออกจากสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดแรดดิคัลในสายโซ่พอลิเมอร์ แล้วเติมมอนอเมอร์ชนิดที่สองลงไป ข้อที่ยุ่งยากของวิธีนี้อยู่ที่โฮโมพอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์ชนิดแรกอาจเข้ารวมตัวที่จุดวงไวแทนที่จะเป็นมอนอเมอร์ชนิดที่สอง ซึ่งอาจแก้ไขได้ด้วยการฉายแสงที่สายโซ่พอลิเมอร์ที่บรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน แล้วเติมมอนอเมอร์ชนิดที่สองเข้าไปด้วยเลย ที่ดีที่สุดต้องเลือกมอนอเมอร์ชนิดแรกที่ไม่ค่อยวงไว แต่พอเป็นพอลิเมอร์แล้ววงไวต่อรังสี หรือ แสงมาก และเกิดแรดดิคัลได้มาก

อีกวิธีหนึ่งอาจเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างตัวเริ่มกับสายโซ่พอลิเมอร์ในสารละลายมอนอเมอร์ชนิดที่สอง ปฏิกิริยาจะเกิดจุดวงไวโดยการหลุดออกของอะตอมไฮโดรเจน แล้วมอนอเมอร์ชนิดที่สองจะเข้ารวมที่จุดวงไวต่อไป วิธีนี้เรียกว่า transfer grafting โดยใช้หลักของปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่ ส่วนปัญหาที่พบในการเตรียมโคพอลิเมอร์แบบกราฟต์คือมักจะเกิดโฮโมพอลิเมอร์ที่กิ่งสาขาด้วยและบางที่สายโซ่ที่มีแรดดิคัลไม่เกิดปฏิกิริยา กรณีนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตัวเริ่มที่ใช้ซึ่งพบว่าตัวเริ่มที่ดีที่สุดคือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ซึ่งใช้ได้ดีกับพอลีสไตรีนซึ่งทำให้เกิดกราฟต์ด้วยเมธิลเมทาคริเลต ในขณะที่ใช้ azobisisobutyronitrile ไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร การที่เกิดกราฟต์ที่กิ่งก้านสาขานี้ทำให้คุณสมบัติของโคพอลิเมอร์ที่ได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น พวกเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งไม่ค่อยรวมตัวกับสีผสม แต่การกราฟต์ด้วยพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งเข้าไปที่กิ่งสาขา ช่วยทำให้เส้นใยสังเคราะห์ผสมสีได้ง่ายขึ้น เป็นต้น ลักษณะของโคพอลิเมอร์มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบคอกิ่ง

2.8 เทคนิคการฉายรังสี

2.8.1 เทคนิคการฉายรังสีด้วยรังสีแกมมา

แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่ออกแบบไว้ได้ดีจะต้องมีการกระจายของปริมาณรังสี (dose distribution) ที่ระยะห่างที่กำหนดจากสารรังสีเท่ากันทุกจุดหรืออย่างน้อยต้องให้ค่าความสม่ำเสมอของปริมาณรังสี (dose uniformity) หรือค่า overdose ratio (D_{max}/D_{min}) เป็นค่าที่ยอมรับได้ปกติไม่ควรมากกว่า 2.5 ทั้งนี้ทำได้โดยจัดความแรงรังสีของ source pellet ในแท่งกำเนิดรังสี (source plaque) ให้ความแรงรังสีบริเวณกลาง module หรือกลาง plaque มีค่าต่ำกว่าบริเวณบนและล่างของ module และต่ำกว่าบริเวณขอบของ plaque ตามลำดับ อาจใช้ dummy source pencil บรรจุไว้ที่บริเวณส่วนกลางของ module หรือ plaque และค่อยเพิ่มความแรงรังสีเฉพาะของแท่งโคบอลต์-60 ให้มากขึ้นตามลำดับจากบริเวณกลางแผง source ไปตามแนวรัศมีจนถึงขอบของ plaque อย่างไรก็ดีตามในการจัดหาโดยการนำเข้าแหล่งกำเนิดรังสีจากต่างประเทศมักไม่มีการระบุถึงความสม่ำเสมอของปริมาณรังสีที่บริเวณรอบๆ แผงแหล่งกำเนิดรังสีหรือบริษัทผู้ผลิตไม่ให้ความสำคัญกับตัวแปรดังกล่าวทำให้ผู้ใช้ต้องคิดแปลงเทคนิคการฉายรังสีเองเพื่อให้สามารถได้ปริมาณรังสีเท่ากันมากที่สุดภายใน carrier หรือ irradiation container หรือ product box

2.8.2 การฉายรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาระดับห้องทดลอง

แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาระดับห้องทดลองมักมีขนาดเล็กมักออกแบบให้มี isodose ในแนวนอนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการทดลองเพื่อเป็นงานวิจัยจำเป็นต้องทราบปริมาณรังสีต่อเวลาที่แน่นอนมาก เช่น ต้องศึกษาผลของปริมาณรังสี ผลของอัตราปริมาณรังสีต่อปฏิกิริยาหนึ่งๆ จึงควรทำ dose mapping ในทุกตำแหน่งที่ต้องการเป็นจุดฉายรังสีรวมทั้งบริเวณรอบจุดที่ฉายรังสีด้วยเพื่อหา over dose ratio ในทุกกรณีจะเป็นการดีที่จะนำ dosimeter ไปติดไว้บริเวณกลางและขอบของตัวอย่าง กรณีตัวอย่าง โต้วตัวอย่างสามารถหมุนตัวอย่างที่ฉายรังสีไปรอบ source module และหมุนรอบตัวเองไปพร้อมๆ กันด้วยหรือการกลับด้านของชิ้นตัวอย่าง หน้า - หลัง ข้างล่าง - ข้างบน ณ เวลาครึ่งหนึ่งของเวลาที่ฉายรังสีทั้งหมดจะทำให้ค่า over dose ratio ลดต่ำลงได้

ในกรณีตัวอย่างเป็นของเหลวการกวนช้าๆ โดยใช้ใบพัดกวนในของเหลวเคลื่อนที่ทั้งแนวนอนและแนวตั้งจะทำให้ได้ปริมาณรังสีเท่ากันทั้งมวลสาร การบรรจุ dosimeter ไว้ในลูกบอลเล็กๆ มีความหนาแน่นเท่ากับของเหลว นั้น และใส่ในภาชนะฉายรังสีจะสามารถวัดปริมาณรังสีที่ของเหลวได้รับได้อย่างถูกต้อง

การควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีสามารถใช้ water bath ได้ถ้าอุณหภูมิที่ต้องการสูงกว่าอุณหภูมิห้องถ้าอุณหภูมิที่ต้องการฉายต่ำกว่าอุณหภูมิห้องอาจใช้น้ำเย็นจาก chiller หรือทำ

ตัวอย่างให้มีอุณหภูมิต่ำไว้ล่วงหน้า ถ้าฉายรังสีเป็นเวลานานอาจใช้เจลที่แช่แข็งใส่ใน water bath แทนน้ำแข็งก็ได้ เช่นการทดลองฉายรังสีอาหารแช่แข็ง เป็นต้น

2.8.3 แหล่งกำเนิดรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสี

รังสีส่วนมากในกระบวนการทางรังสีเป็นรังสีแกมมาเนื่องจากมีอำนาจทะลุทะลวงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวเล็อกขนาดพลังงานที่เหมาะสมคือ ไม่สูงเกินไปจนทำให้เกิด photo neutron reaction และไม่ต่ำเกินไปจนมีอำนาจทะลุทะลวงไม่ดี ปกติ photo neutron reaction เกิดกับพลังงานรังสีแกมมาก่อนข้างสูง มากกว่า 3 MeV มีเฉพาะไอโซโทป 2 ชนิดเท่านั้นที่ neutron binding energy ต่ำ คือ deuterium และ beryllium-9 ในแกนปฏิกิริยานิวเคลียร์ นิวตรอนที่เกิดขึ้นมักจะทำให้เกิดปฏิกิริยาก่อกัมมันต์ (activation reaction) และในที่สุดเกิดไอโซโทปรังสี ซึ่งปลดปล่อยรังสีแกมมาหรือ เบตาทำให้เกิดเสมือนว่ารังสีที่ฉายให้กับวัตถุยังคงค้างอยู่ได้ จึงต้องหลีกเลี่ยงการใช้รังสีแกมมาพลังงานสูงกว่า threshold energy ที่ทำให้เกิด photo-neutron ใน beryllium คือพลังงานของรังสีแกมมาที่ใช้ต้องไม่เกิน 1.67 MeV

2.8.4 ลักษณะแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาในกระบวนการทางรังสี

- (1) มีพลังงานสูงมากพอแต่ไม่ก่อให้เกิด photo neutron reaction
- (2) มีความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) สูง
- (3) ต้นกำเนิดรังสีต้องให้รังสีความแรงเพียงพอที่จะฉายรังสีให้ครบปริมาณรังสีตามต้องการในระยะเวลาสั้น
- (4) ต้นกำเนิดรังสีมีค่าครึ่งชีวิตยาวที่สุดเท่าที่จะหาได้และผลิตได้
- (5) ต้นกำเนิดรังสีต้องผลิตได้ในราคาที่ไม่สูงนัก

ตามลักษณะดังกล่าวในปัจจุบันมีเพียงแหล่งกำเนิดรังสี โคบอลต์-60 และ ซีเซียม-137 เท่านั้นที่เข้าเกณฑ์การนำมาใช้ในกระบวนการทางรังสีได้

2.8.5 โคบอลต์-60

โคบอลต์-60 ผลิตโดยอับรังสีฟงโลหะหรือเม็ดโลหะโคบอลต์ที่บรรจุใน pellet ทำด้วยเหล็กไร้สนิมในเครื่องปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่มี neutron flux สูงๆ เช่น สูงมากกว่า 10^{15} n/cm².sec หรืออับรังสีในแกนปฏิกิริยาของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์บางแบบ แล้วจึงนำมาประกอบเข้าเป็นแท่งๆ เรียกว่า source pencil และเอา source pencil มาประกอบเป็นแผงกำเนิดรังสี เรียกว่า source plaque หรือมัดแหล่งกำเนิดรังสี ให้มีความแรงรังสีมากตามต้องการ โคบอลต์-60 ให้พลังงานรังสีแกมมา 2 พลังงานคือ 1.17 (100%) MeV และ 1.33 (100%) MeV มีค่าครึ่งชีวิต 5.26 ปี

ความแรงรังสี 67.5 Ci ให้พลังงาน 1 Watt แหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 1 Ci ให้ exposure rate 1.3 R/hr ในอากาศที่ระยะห่าง 1 เมตรจากแหล่งกำเนิดรังสี

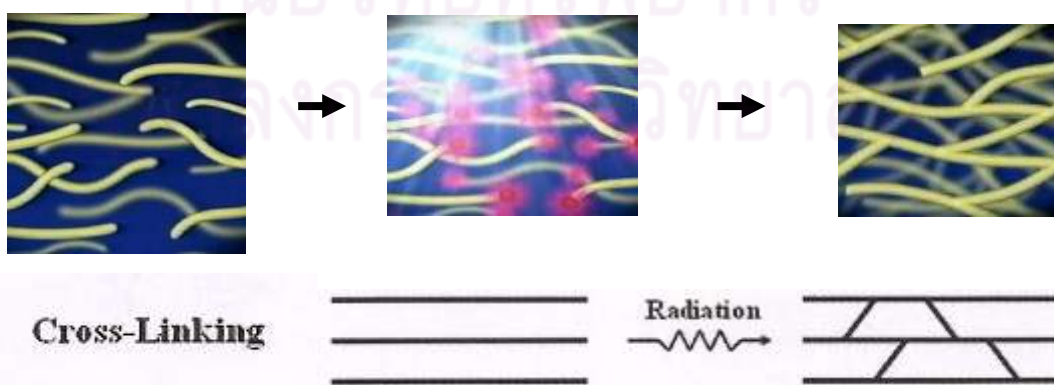
2.8.6 ซีเซียม-137

ซีเซียม-137 เป็น fission product ที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันของ ยูเรเนียม-235 โดยทั่วไปได้ ซีเซียม-137 จากการแยกออกจากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว โดยมี fission yield ประมาณ 6.2% ใน U-235 และ 6.6% ใน Pu-239 แต่เวลาแยกออกมาจะมีความแรงรังสีจำเพาะลดลงไปกว่า 3 เท่าประมาณ 20-25 Ci/g เนื่องจากถูกเจือปนด้วย Cs-133 ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร และ Cs-135 ที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก (2.3×10^6 ปี) Cs-137 สลายตัวให้รังสีเบตาซึ่งเฉพาะ Cs-137 เท่านั้น แต่ daughter ของ Cs-137 เป็น Ba-137m ที่ให้รังสีแกมมา และไม่นิยมใช้มากนักในอุตสาหกรรมฉายรังสีเนื่องจากมีอำนาจทะลุทะลวงต่ำกว่า Co-60 ถึงแม้จะมีค่าครึ่งชีวิตยาวกว่า นอกจากนี้ยังสลายตัวให้รังสีแกมมาเพียง 0.85 photons/disintegration Cs-137 มีข้อดีที่ต้องการ biological shield นานน้อยกว่า Co-60 จึงมักทำเป็น mobile irradiation จึงสะดวกที่จะติดตั้งบนรถบรรทุกเคลื่อนที่

2.9 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี (Modification of Polymer by Radiation)

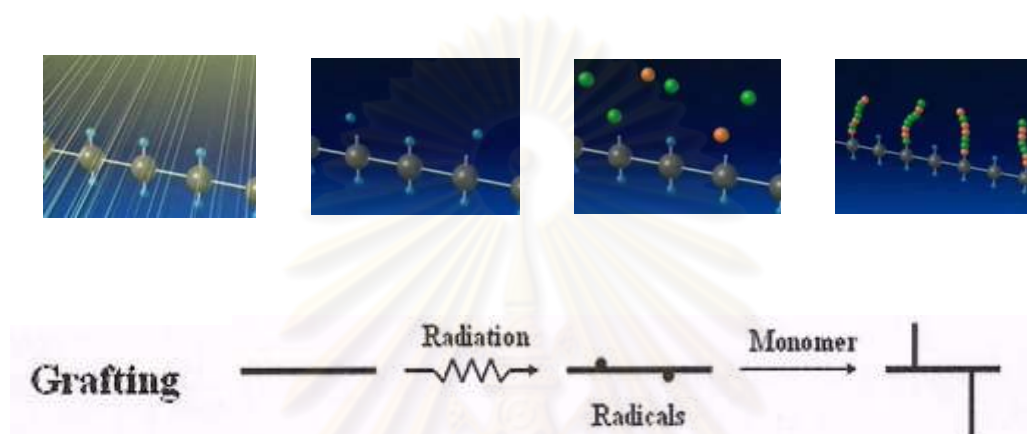
เมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่มีประโยชน์มากมาย เช่น

2.10.1 การเกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linking) คือการเกิดพันธะเคมีที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ โครงสร้างมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นเมื่อเกิดการเชื่อมโยงข้ามจะทำให้พอลิเมอร์มีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น มีความเหนียว มีความแข็งแรง หรือ มีความทนทานต่อสารเคมี และคุณสมบัติอื่นๆ เป็นต้น



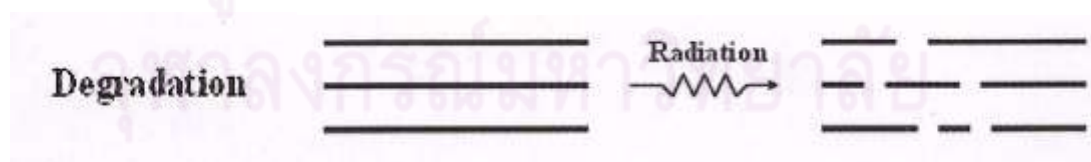
รูปที่ 2.12 การเกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linking) ของพอลิเมอร์

2.10.2 การเกิดการตอกิ่ง (grafting) คือ การต่อมอนอเมอร์ต่างชนิดเข้ากับพอลิเมอร์ที่สนใจ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่สนใจไปฉายรังสีจะทำให้หมู่ฟังก์ชัน (functional group) หลุดจากสายโซ่ของพอลิเมอร์และกลายเป็นจุดตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ ทำให้เกิดเป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์เส้นใหม่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์เส้นเดิม ซึ่งวิธีนี้มีประโยชน์มากสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพอลิเมอร์



รูปที่ 2.13 การเกิดการตอกิ่ง (grafting) ของพอลิเมอร์

2.10.3 การเกิดการตัดทอนโมเลกุล (degradation) คือ การทำให้แตกสลายของพันธะเคมี ซึ่งทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงส่งผลให้ขั้นตอนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ทำได้ง่ายขึ้นและมีประโยชน์อย่างมากต่อพอลิเมอร์บางชนิดเช่นเทฟลอนที่ไม่สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลได้ด้วยวิธีอื่น



รูปที่ 2.14 การเกิดการตัดทอนโมเลกุล (degradation)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของพอลิเมอร์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อได้รับรังสี ^[5]

Cross-linking	Degradation
Polymethylene (polyethylene)	Polyisobutylene
Polypropylene	Poly (α -methylstyrene)
Polystyrene	Polymethacrylates
Polyacrylates	Polymethacrylamide
Polyacrylamid	Poly (vinylidne chloride)
Poly (vinyl chloride)	Cellulose and derivatives
Polyamides	Polytetrafluoroethylene
Polyesters	Polytrifluorochloroethylene
Polyvinylpyrrolidone	Cellulose acetate
Rubbers	Cellulose nitrate
Polysiloxanes	
Poly (vinylalcohol)	
Polyacroleine	

2.10 ลักษณะทั่วไปของกรดอะคริลิก (Acrylic Acid)

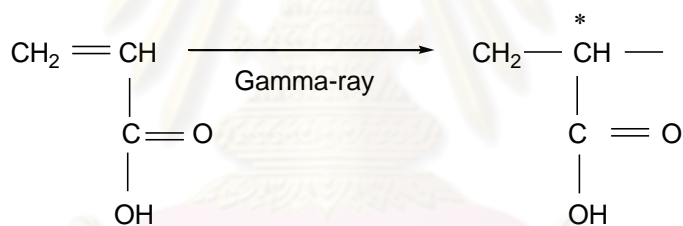
กรดอะคริลิกเป็นของเหลวใสกลิ่นฉุน สามารถละลายได้ในน้ำ เอทานอลและอีเทอร์ เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการการเกิดปฏิกิริยาในพอลิเมอร์ ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง มีกลิ่นเฉพาะตัว มีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ไวไฟ อาการที่เกิดจากการได้รับสารนี้อาจได้แก่ วัสดุที่สัมผัสกับผิวหนัง ส่วนประโยชน์ที่สำคัญของกรดอะคริลิก คือ พอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก สามารถผลิตเป็นวัสดุซูเปอร์แอบซอร์เบนท์ ซึ่งสารซูเปอร์แอบซอร์เบนท์เป็นสารที่มีสมบัติดูดซับน้ำได้ในปริมาณมากซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่มาก อีกทั้งโครงสร้างโมเลกุลก็มีลักษณะคล้ายร่างแห หรือตาข่าย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลของน้ำแทรกซึมเข้าไปในโมเลกุลของสารแล้ว โมเลกุลของสารพอลิเมอร์จะถูกทำให้ขยายตัวออกมาได้ขนาดใหญ่เป็นหลายเท่าตัว แต่น้ำไม่สามารถแพร่กระจายออกไปได้ เพราะการยึดติดกันของเส้นสายพอลิเมอร์ในโมเลกุลเอง จึงทำให้ลักษณะภายนอกหลังจากพอลิเมอร์ดูดซับน้ำเข้าไปแล้ว มีลักษณะเป็นก้อน คล้ายวุ้น หรือเจลใส และเมื่อนำก้อนพอลิเมอร์ที่อูมน้ำนั้นมาตากแดด หรืออบด้วยความร้อนเพื่อไล่น้ำแล้ว ก็จะได้สารพอลิเมอร์ที่แห้งกลับคืนมาเหมือนเดิม ส่วนการที่โมเลกุลของน้ำสามารถยึดเกาะกับโมเลกุลของสารพอลิเมอร์ได้นั้น เกิดจากหมู่เอมีน ($-NH_2$) ของสารโพลีอะคริลาไมด์เกิด พันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุล

น้ำ (H₂O) แรงนี้เป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อน ที่เกิดเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของออกซิเจน (O) หรือไนโตรเจน (N) หรือฟลูออรีน (F) เท่านั้น กรดอะคริลิกมีสูตรโมเลกุลคือ C₃H₄O₂ และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของกรดอะคริลิก (Acrylic Acid)

เมื่อกรดอะคริลิกถูกฉายรังสีแกมมาจะเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ได้โดยตรงกับมอนอเมอร์ ดังกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่พันธะของ C-C ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของมอนอเมอร์



รูปที่ 2.16 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของกรดอะคริลิก (Acrylic Acid)

2.10.1 การแบ่งลักษณะ (indentification) ของกรดอะคริลิก

2.10.1.1 ชื่อสามัญ acrylic acid

2.10.1.2 ชื่อเคมี 2-Propenoic acid

2.10.1.3 ชื่ออื่น acroleic acid

Ethylenecarboxylic acid

Propene acid

Propenoic acid

Vinylformic acid เป็นต้น

2.10.1.4 น้ำหนักโมเลกุล 72.06 กรัม/โมล

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของกรดอะคริลิก^[6]

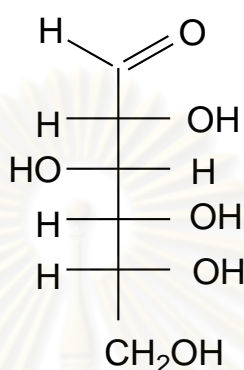
คุณลักษณะ	คุณสมบัติ
- สถานะ	ของเหลว
- สี	ใสไม่มีสี
- ค่าพีเอช	1-2
- กลิ่น	มีกลิ่นฉุน
- ความหนาแน่น	1.051 กรัมต่อมิลลิลิตร
- จุดเดือด	139 องศาเซลเซียส
- จุดหลอมเหลว	12 องศาเซลเซียส
- จุดวาบไฟ	46 องศาเซลเซียส
- จุดจำกัดการระเบิด	ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์
- อุณหภูมิติดไฟได้เอง	396 องศาเซลเซียส
- ความหนืดที่ 20 องศาเซลเซียส	1.3 มิลลิปาสคาล. วินาที
- ความหนาแน่นของไอ	2.5 กรัมต่อลิตร
- ความหนาแน่น	1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียส	46 มิลลิเมตรปรอท
- การละลาย	การละลายน้ำ : ผสมเป็นเนื้อเดียว ตัวทำละลายอื่นๆ : ผสมเป็นเนื้อเดียวใน แอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม ละลายได้ใน เบนซีน



รูปที่ 2.17 วัสดุดูดซับน้ำก่อนดูดซับน้ำ (ซ้าย) และหลังดูดซับน้ำ (ขวา)

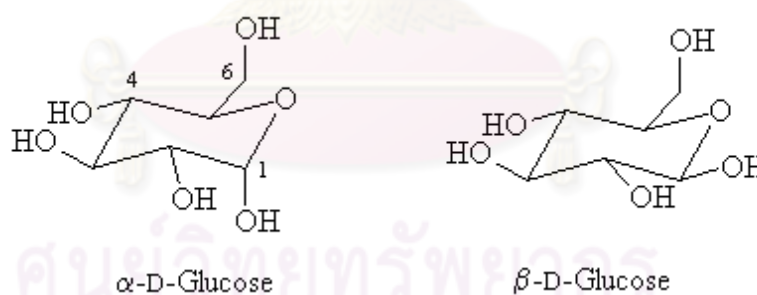
2.11 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) โดยโครงสร้างทางเคมีพื้นฐานของเซลลูโลส คือ Mono-saccharine D-glucose มีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ $(C_6H_{12}O_6)_n$ โครงสร้างของเซลลูโลสมีหลายรูปแบบ เช่น โครงสร้างของ Fischer เป็นต้น



รูปที่ 2.18 โครงสร้างแบบ Fischer ของ D-glucose

หรือการจัดเรียงตัวของหน่วยมอนอเมอร์ D-glucose อาจปรากฏในการเรียงตัวแบบต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์แบบเก้าอี้ (chair form)

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวในลักษณะที่เป็นระเบียบ (Crystalline) อุดมภูมิหุลอมตัวจึงสูงมาก และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจึงมีน้ำหนักเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี โดยเซลลูโลสเกิดจากกลูโคสประมาณ 50,000 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว แต่ละสายของสาย

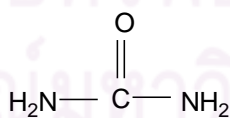
ของเซลลูโลสเรียงขนานกันไป มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย ทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใย สะสมไว้ในพืช ไม่พบในเซลล์สัตว์ เซลล์ลูโลสไม่ละลายน้ำและร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ เซลลูโลสเมื่อถูกย่อยจะแตกตัวออก ให้น้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของเซลล์ (structural carbohydrate) ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ โมเลกุลของกลูโคส (glucose subunits) 1,000-10,000 โมเลกุล มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) 200,000-2,000,000 หน่วยย่อยพื้นฐาน (basic subunit) คือ เซลโลไบโอส (cellobiose) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล ต่อกันด้วยพันธะ β - (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

โมเลกุลของเซลลูโลสมีความเสถียรมาก แต่สามารถถูกทำลายได้ด้วยกรดแก่ หรือโดยการย่อยของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulose) แต่เอนไซม์เซลลูเลสนี้พบปริมาณน้อยมาก ในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยว และพบว่าไม่มีความสำคัญในการอ่อนนุ่มของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของเซลลูโลสในผลไม้ที่กำลังสุกมีน้อยมากและระดับของปฏิกิริยาของเอนไซม์ก็ไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการอ่อนนุ่มของผลไม้ในระหว่างการสุก เป็นที่ทราบกันว่าเซลลูเลสจะมีการทำงานในขณะที่มีการหลั่งของเอนไซม์หรืออวัยวะอื่นจากต้นพ่อแม่ แต่อย่างไรก็ตามปรากฏว่าเป็น isoenzyme ซึ่งแตกต่างจากเอนไซม์เซลลูเลสทั่วไปที่พบในเซลล์ส่วนใหญ่

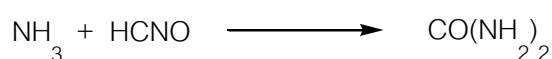
2.12 ปูยูเรีย

2.12.1 ประวัติปูยูเรีย^[7]

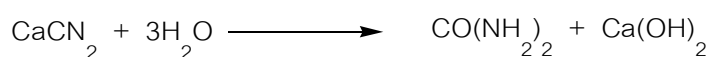
ยูเรียเป็นสารประกอบอินทรีย์พวกเอไมด์ (Amide) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



นักวิทยาศาสตร์แยกผลึกของยูเรียออกมาศึกษาเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2316 ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดแรกที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นได้จากสาร Wohler ซึ่งเป็นผู้สังเคราะห์ยูเรียได้เมื่อ พ.ศ. 2371 จากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับกรดไซยานูริก (Cyanuric acid) ดังสมการ



ใน พ.ศ. 2411 นักวิทยาศาสตร์สามารถสังเคราะห์ยูเรียจากแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ แต่การผลิตในเชิงการค้าเริ่มครั้งแรกในประเทศเยอรมันเมื่อปี พ.ศ. 2465 อย่างไรก็ตาม บริษัท Dupont ประเทศแคนาดา สามารถผลิตยูเรียโดยใช้แคลเซียมไซยานาไมด์เป็นวัตถุดิบตั้งแต่ พ.ศ. 2463 ดังสมการ



ยูเรียเป็นปุ๋ยที่ได้รับความนิยมสูงในปัจจุบัน เกษตรกรในเอเชียใช้ยูเรียประมาณร้อยละ 85 ของปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจาก

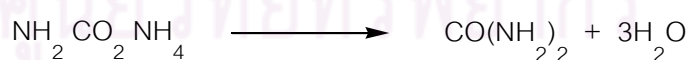
- (1) ยูเรียเป็นปุ๋ยขาวที่ตลาดของปุ๋ยในทวีปเอเชียจึงกว้าง
- (2) สามารถแปรสภาพในดินและเป็นประโยชน์แก่พืชได้เร็วเมื่อใช้ดินไร้เขตแถบร้อนชื้น กึ่งร้อน และแถบอบอุ่น
- (3) มีไนโตรเจน 46% ซึ่งสูงกว่าปุ๋ยอื่นๆ และต้นทุนการผลิตไม่สูงมากนัก

2.12.2 การผลิตปุ๋ยยูเรีย^[8]

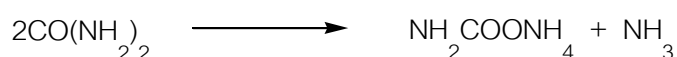
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยยูเรีย คือ แอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งต้องใช้อัตราส่วน 3 : 1 ถึง 4 : 1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก การเกิดแอมโมเนียคาร์บาเมต ดังสมการ



ต่อจากนั้นแอมโมเนียคาร์บาเมตจะสูญเสียน้ำได้ยูเรีย ดังสมการ

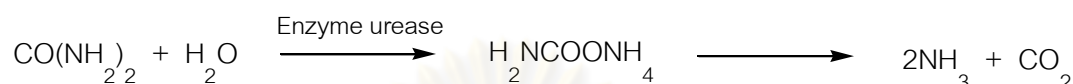


เมื่อปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนนี้สำเร็จแล้วจะได้สารละลายยูเรีย ซึ่งอาจจะนำมาผลิตเป็นปุ๋ยน้ำหรือปุ๋ยแห้ง ในช่วงเวลาที่ระเหยน้ำออกไปและทำให้เป็นปุ๋ยเม็ด ยูเรียบางส่วนอาจจะรวมตัวกันได้สารใหม่เรียกว่า ไบยูเรต (Biuret) ดังสมการ



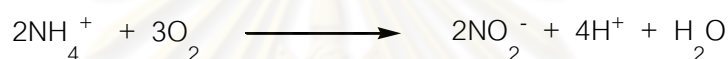
ปุ๋ยยูเรียที่มีไบยูเรตมากกว่า 1 % อาจเป็นอันตรายต่อพืชบางชนิดได้เมื่อใช้วิธีการฉีดพ่นทางใบ ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องควบคุมสภาพของการผลิตให้เกิดไบยูเรตน้อยที่สุด ปุ๋ยยูเรียที่มี

จำหน่ายกันในปัจจุบันมีสารดังกล่าวต่ำกว่า 0.3 % ซึ่งจะปลอดภัยที่จะใช้ฉีดพ่นทางใบหรือใส่ในดิน ปฏิกิริยาทางเคมีของปุ๋ยยูเรียเมื่อใช้ในดิน เมื่อมีความชื้น อุณหภูมิและการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมปุ๋ยยูเรียจะเปลี่ยนรูปมาเป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งละลายในน้ำ โดยที่ยูเรียจะถูกเร่งด้วยเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ซึ่งจะแตกตัวให้แอมโมเนีย (NH_4^+) ออกมา แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนเป็นไนเตรตและปฏิกิริยา Nitrifying bacteria ดังสมการ

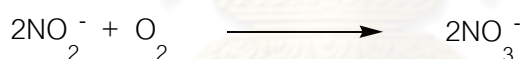


ปฏิกิริยาซึ่งให้แอมโมเนียออกมาสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้อีก 2 ปฏิกิริยาคือ

(1) ปฏิกิริยา Nitronas ซึ่งแบคทีเรียจะเปลี่ยน แอมโมเนียเป็นไนไตรต์ (NO_2^-)



(2) ปฏิกิริยา Nitrobacter จะเปลี่ยนไนไตรต์ (NO_2^-) เป็นไนเตรต (NO_3^-)



2.13 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟางข้าว^[9]

ฟางข้าวได้มาจากต้นข้าวซึ่งเป็นพืชตระกูลหญ้าที่สามารถกินเมล็ดได้ถือเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเช่นเดียวกับหญ้า ต้นข้าวมีลักษณะภายนอกบางอย่าง เช่น ใบ กาบใบ ลำต้น และรากคล้ายต้นหญ้า ดังรูปที่ 2.20 ในประเทศไทยข้าวหอมมะลิมีสายพันธุ์ในประเทศและเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก ข้าวที่ยอมรับมีอยู่ 2 สปีชีส์ (species) ใหญ่ๆ คือ *Oryza glaberrima* ปลูกเฉพาะในเขตร้อนของแอฟริกาเท่านั้น และ *Oryza sativa* ปลูกทั่วไปทุกประเทศ ข้าวชนิด *Oryza sativa* ยังแยกออกได้เป็น indica มีปลูกมากในเขตร้อน japonica มีปลูกมากในเขตอบอุ่น ส่วนข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นพวก Indica ซึ่งแบ่งออกเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว นอกจากนี้ข้าวยังได้ถูกมนุษย์คัดสรรและปรับปรุงพันธุ์มาโดยตลอดตั้งแต่มีประวัติศาสตร์การเพาะปลูก ข้าวในปัจจุบันจึงมีหลายสายพันธุ์ทั่วโลกที่ให้รสชาติและประโยชน์ใช้สอยต่างกันไป พันธุ์ข้าวที่มีชื่อเสียงระดับโลกของไทย คือข้าวหอมมะลิ

2.13.1 ลักษณะทั่วไปเกี่ยวกับการเจริญเติบโต ลักษณะทั่วไปมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้แก่ ราก ลำต้น และใบ

(1) ราก เป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้มแต่บางครั้งก็มีรากพิเศษเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่เหนือพื้นดินด้วย ต้นข้าวไม่มีรากแก้ว แต่มีรากฝอยแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดิน

(2) ลำต้น มีลักษณะเป็น โพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้องๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องนั้นแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าวปกติ มีประมาณ 20-25 ปล้อง

(3) ใบ ต้นข้าวมีใบไว้สำหรับสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้งเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเมล็ดของต้นข้าว ใบประกอบด้วย กาบใบ และแผ่นใบ

ฟางข้าวจะมีสารประกอบคาร์บอนที่สำคัญ 3 ชนิด¹¹⁰ ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว ได้ค้ำเนื่องถึงการนำองค์ประกอบดังกล่าวเพื่อผลิตเป็นสารที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นโดยวิธีการทางเคมี หรือวิธีทางชีวภาพ



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของต้นข้าว

2.14 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Rui Liang, Hongbo Yuan, และคณะ ^[11] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์สารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์ โดยการกราฟต์สารโพลีอะคริลิกแอซิดบนฟางข้าวสาลี ในการทดลองพบว่า สารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์ดูดซับน้ำได้ดีมากเมื่ออัตราส่วนจำนวนฟางข้าวสาลี 20% และตรวจสอบสมบัติของสารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์โดยใช้เทคนิค FTIR SEM และ TGA ผลที่ได้จาก FTIR จะแสดงหมู่ OH ของฟางข้าวในการเข้าไปกราฟต์ร่วมกับอะคริลิกแอซิด และยังพบว่าความเข้มข้นของปุ๋ยมีผลต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

2. Junping Zhang, Qin Wang, และคณะ ^[12] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์สารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์ โดยการกราฟต์โพลีอะคริลิกแอซิดบนไคโตซาน ต่อ attapulgite ในการทดลองศึกษาการดูดซับน้ำสารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์ โดยการกราฟต์โพลีอะคริลิกแอซิดบนไคโตซาน ต่อ attapulgite ในน้ำกลั่นพบว่า การดูดซับน้ำเท่ากับ 159.6 (g/g) และ 42 (g/g) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้น 0.9 เปอร์เซ็นต์ โดยการกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันไคโตซาน กรดอะคริลิก และ attapulgite ในสารละลายโดยใช้เอ็นเอ็นเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (N,N'-methylenebisacrylamide) เป็นตัวครอสลิงค์ และ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (ammonium persulfate) เป็นตัวริเริ่ม ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของสารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์ เช่น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของไคโตซาน อัตราส่วนของกรดอะคริลิกต่อไคโตซาน วิธีกำจัดน้ำออก จำนวนการครอสลิงค์ และ จำนวนของ attapulgite จากการทดลองผลของ FTIR spectra จะแสดง -OH ของ attapulgite, -NHCO และ -NH₂ ของไคโตซาน ในการกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันกับกรดอะคริลิก ซึ่ง attapulgite ใช้เพื่อเพิ่มคุณค่าเกี่ยวกับการทำให้สารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์มีความทนทานมากขึ้น และทำให้มีพื้นผิวทำให้การดูดซับดีขึ้น สรุปคือการใช้ attapulgite เพียงเล็กน้อยก็ผลทำให้การดูดซับของสารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์ ที่ได้จากการกราฟต์โพลีอะคริลิกแอซิดบนไคโตซานดีขึ้น

3. Jianghua Liu, และคณะ ^[13] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์สารประกอบซูปเปอร์แอบซอร์เบนซ์ โดยการกราฟต์โพลีอะคริลิกแอซิดบนไคโตซาน ต่อ sodium humate (TCS - G - PAA/SH) ในการทดลองได้มีการกราฟต์ พอลิเมอร์ไรเซชัน ระหว่าง ไคโตซาน กรดอะคริลิก (acrylic acid) และโซเดียมฮิวเมต (sodium humate) ในสารละลายโดยใช้ เอ็นเอ็นเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (N,N'-methylenebisacrylamide) เป็นตัวครอสลิงค์ และแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (ammonium persulfate) เป็นตัวริเริ่ม และศึกษาการ characterized โดยใช้ FTIR, SEM และ TGA พบว่าสิ่งที่มีผลต่อการพอลิเมอร์ไรเซชัน คืออุณหภูมิ ปริมาณของตัวริเริ่มการครอสลิงค์ โซเดียมฮิวเมต และอัตราส่วนของไคโตซานต่อกรดอะคริลิก ได้ทำการศึกษาการดูดซับน้ำ ศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ ศึกษาอัตราการดูดซับในสารละลายที่มี pH ต่างๆ ส่วนผลของ FTIR spectra

จะแสดงให้เห็น โคลโคซานและโซเดียมฮิวเมตเข้าร่วมในการกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันกับกรดอะคริลิก ผลการทดลองพบว่า โซเดียมฮิวเมตช่วยเพิ่มคุณสมบัติการดูดซับได้ดีขึ้น ที่ 10 wt % ของโซเดียมฮิวเมตทำให้ได้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุด (183 (g /g) ในน้ำกลั่น และ 41 (g /g) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์)

4. Zheng Tong และคณะ ^[14] ได้ทำการวิจัยเรื่อง วัสดุดูดซับน้ำไฮโดรเจลใช้เป็น ตัวนำสำหรับการควบคุมการปลดปล่อยยูเรีย ทดลองและคำนวณลักษณะโมเดลกับอัตราการปลดปล่อย ในการทดลองนี้ได้ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลโดยการแช่สารซูเปอร์แอบซอร์เบนซ์ในสารละลายยูเรียและใช้ตัวควบคุมในการปลดปล่อย ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงการลดลงในการปลดปล่อยของยูเรีย จากการทดลองพบว่าขนาดและชั้นของการครอสลิงค์ของไฮโดรเจลจะมีผลต่ออัตราการปลดปล่อยของยูเรีย พื้นฐานในการคำนวณโมเดลให้เป็นโมเดลที่สมบูรณ์ได้ ต้องพัฒนา ลักษณะตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของยูเรียกับเวลาในการปลดปล่อย ในโมเดลนี้ สัมประสิทธิ์ในการควบคุมอัตราการปลดปล่อย คือมวลของไฮโดรเจลจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ จึงนำไปสู่การปรับปรุงอัตราการปลดปล่อย จากการทดลอง โมเดลที่เหมาะสมก็คือ อัตราการปลดปล่อยจะต้องคงที่ สัมประสิทธิ์การยับยั้งเมื่อสร้างจะต้องมีความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงอย่างดี กับปริมาตรที่น้อยที่สุดของไฮโดรเจล (สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ $R = 0.9680$) ความผิดพลาดส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองวิธีออกแบบที่ใช้ในการศึกษา จะต้องสามารถเตรียมได้ง่าย และไฮโดรเจลเตรียมกับอัตราการปลดปล่อยที่เหมาะสมรวมกันต้องให้ใช้ได้จริงกับพืชเพื่อเป็นประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

5. N. Shiraiishi และคณะ ^[15] ได้ทำวิจัยเรื่อง การกราฟต์ด้วยรังสีของโวนิลบนเส้นใยฝ้าย ในการทดลองได้ศึกษาผลของรังสีที่มีต่อปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลอะครีเลตบนเส้นใยฝ้าย โดยได้ทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้รังสีแกมมาที่มาจากโคบอลต์-60 (Co-60) และการใช้รังสีจากลำอิเล็กตรอน ซึ่งพบว่าอัตราปริมาณรังสีที่สูงมีผลต่อ Degree of Grafting สำหรับการให้รังสีแกมมา กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณรังสี Degree of Grafting จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าปริมาณรังสีเกิน 0.5 เมกกะแรด (Mrad) พบว่าค่า Degree of Grafting ต่ำลงอธิบายได้ว่าเกิดการแตกสลายของกิ่ง แต่เมื่อเติมเอทิลีนไกลคอลไดเมทาอะครีเลต (ethylene glycol dimethacrylate) ปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ค่า Degree of Grafting เพิ่มมากขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดการเชื่อมต่อสายโซ่เพิ่มมากขึ้น ส่วนการใช้ลำอิเล็กตรอนถ้าปริมาณรังสีเกิน 5 เมกกะแรด (Mrad) ก็ให้ผลเช่นเดียวกับการใช้รังสีแกมมา ผลกระทบของการกราฟต์โดยการใช้รังสีจะมีคุณสมบัติชอบน้ำและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านกระบวนการกราฟต์ด้วยรังสี

6. Samart Kytong และคณะ^[16] ได้ทำวิจัยเรื่อง การห่อหุ้มปุยยูเรียด้วยพอลิเอไมด์ โดยปฏิบัติการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน ในการทดลองนี้ได้มีการทดลองการห่อหุ้มปุยยูเรียด้วยพอลิเอไมด์เป็นวิธีที่มีความสำคัญในการควบคุมการปลดปล่อยของปุยยูเรีย การวิจัยนี้ได้ศึกษาการห่อหุ้มปุยยูเรียด้วยพอลิเอไมด์ (ไนลอน-6,10) พอลิเอไมด์เตรียมได้จาก 1,6 เฮกซะเมทิลีนไดอะมีน และเซบาโคอิลคลอไรด์โดยปฏิบัติการเกิดพอลิเมอร์ระหว่างผิวหน้าซึ่งตัวกลางอินทรีย์ประกอบด้วย 10 เปอร์เซ็นต์ ของคลอโรฟอร์มในน้ำมันแร่ ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง 1,6 เฮกซะเมทิลีนไดอะมีน เซบาโคอิลคลอไรด์และยูเรียต่อการห่อหุ้มปุยยูเรีย ปริมาณยูเรียในพอลิเอไมด์ที่ห่อหุ้มปุยยูเรียหาได้จากการรีฟลักซ์ด้วยน้ำกลั่นทำให้เกิดสีด้วย พารา-ไดเมทิลอะมิโนเบนซาลดีไฮด์ แล้ววัดความเข้มข้นของสีที่ 440 นาโนเมตร ปริมาณยูเรียสูงสุดในตัวอย่างพบว่าเท่ากับ 33.46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้อัตราส่วน 1,6 เฮกซะเมทิลีนไดอะมีน ต่อ เซบาโคอิลคลอไรด์ ต่อ ยูเรีย เท่ากับ 0.015 : 0.015 : 0.015 (โดยโมล) โครงสร้างฐานการห่อหุ้มของปุยยูเรียพิสูจน์ได้จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การปลดปล่อยของยูเรียหาได้จากการแช่สารตัวอย่างในน้ำกลั่นพร้อมกับการกวนอย่างช้าๆ แล้วดูดสารละลายออกมาเป็นช่วงๆแล้วหาปริมาณยูเรียด้วยวิธีข้างต้น ปริมาณการปลดปล่อยของยูเรียร้อยละ 88.94 ที่เวลา 13 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์

- (1) ขวดก้นกลม
- (2) Hot plate : yellowline
- (3) คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- (4) ตู้ดูดควัน
- (5) ตู้ดูดความชื้น : WEIFO
- (6) แท่งแก้วสำหรับคนสารละลาย
- (7) กระดาษลิตมัส
- (8) ตู้อบความร้อน
- (9) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- (10) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง : Mettler AT201
- (11) หลอดทดลอง
- (12) บีกเกอร์
- (13) คีม
- (14) พาราฟิล์ม
- (15) ปิเปต
- (16) กระบอกตวง
- (17) ขวดเตรียมสารละลาย
- (18) เครื่องปั๊มดูดอากาศ : Impule sealer
- (19) เทอร์โมมิเตอร์
- (20) กรวยกรอง
- (21) ซีฟขนาด 60 เมช
- (22) ตะแกรงสแตนเลสขนาด 200 เมช
- (23) เครื่องฉายรังสีแกมมา Co-60 : Gamma chamber 5000
- (24) เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer : Cintra 10 e
- (25) เครื่อง FTIR : TENSOR 27 : Bruker Germany

3.2 รายการสารเคมี

- (1) กรดอะคริลิก : Sigma
- (2) เมทานอล : VWR International
- (3) แอม โมเนีย : Brightchem SDN BHD
- (4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ : Brightchem SDN BHD
- (5) เอทานอล : VWR International
- (6) เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ : Sigma
- (7) ฟูยูเรีย : Ajax Finechem Pty Ltd
- (8) p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) : Asia Pacific Kammicals Limited
- (9) ฟางข้าว
- (10) ก๊าซไนโตรเจน
- (11) น้ำกลั่น

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมฟางเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของกรดอะคริลิกกับฟางข้าว ^[17]

นำฟางข้าวที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาตากให้แห้งและนำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งคูจนน้ำหนักคงที่ ตัดให้เป็นท่อน และบดให้ละเอียด จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 60 เมช (mesh) เพื่อให้ได้ฟางข้าวขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 60 เมช บรรจุฟางในขวดก้นกลมเติมเอทานอลต้มแบบรีฟลักซ์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นหนึ่งเปอร์เซ็นต์ ต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อล้างค้างและสารตกค้างออกให้หมดซึ่งขั้นตอนนี้ทดสอบน้ำล้างด้วยกระดาษฟิเอชจนเป็นกลางจึงนำฟางดังกล่าวมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงและที่เก็บใน โถสุญญากาศขึ้นเพื่อรอการใช้งานครั้งต่อไป



รูปที่ 3.1 การต่ออุปกรณ์ชุดต้มแบบรีฟลักซ์สำหรับเตรียมฟางข้าว

3.3.2 การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิก

นำฟางข้าวที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่แล้วมาชั่งน้ำหนัก 5-15 กรัมบรรจุลงในบีกเกอร์ เติมกรดอะคริลิกเข้มข้น 4-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรับให้เป็นกลางด้วยแอมโมเนีย 25 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเติม N,N'- Methylene-bisacrylamide 0.5 กรัม โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย ผสมให้เข้ากัน นำมาบรรจุลงในหลอดทดลอง แต่ละหลอดปิดปากหลอดด้วยฝาปิด นำไปผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที และนำไปฉายรังสี 0-14 กิโลเกรย์ ตามลำดับ หลังจากฉายรังสีจะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์นำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งและน้ำหนักคงที่



ตัวอย่างฟางข้าว +
Acrylic Acid +
MBA

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างฟางข้าวที่เติมกรดอะคริลิกในสารละลายน้ำก่อนนำไปฉายรังสีแกมมา

3.3.3 การหาเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

นำผงฟางที่ผ่านการล้างซึ่งน้ำหนัก 5-15 กรัมบรรจุลงในบีกเกอร์ เดิมกรดอะคริลิก เข้มข้น 4-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ปรับให้เป็นกลางด้วยแอมโมเนีย 25 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเติม N,N'- Methylene-bisacrylamide 0.5 กรัม โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ผสมให้เข้ากัน นำมาบรรจุลงในหลอดทดลอง แต่ละหลอดปิดปากหลอดด้วยฝาปิด นำไปผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที นำไปฉายรังสี 0 - 14 กิโลเกรย์ ตามลำดับ หลังจากฉายรังสีจะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์ นำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งและน้ำหนักคงที่นำไปชั่ง คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ จากสมการ (1)

$$\% \text{ Degree of grafting} = [(W_1 - W_0)/W_1] \times 100 \quad \dots\dots (1)$$

โดย W_0 คือ น้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น

W_1 คือ น้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด

3.3.4 การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

ชั่งวัสดุดูดซับน้ำ 0.5 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) นำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง 3 วัน นำมากรองและชั่งน้ำหนัก คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำด้วยสมการ (2)

$$\% \text{ Swelling} = [(W_1 - W_0)/W_0] \times 100 \quad \dots\dots (2)$$

โดย W_0 คือ น้ำหนักเจลแห้ง

W_1 คือ น้ำหนักเจลที่บวมน้ำ

3.3.5 การศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ

ชั่งวัสดุดูดซับน้ำ 0.3 กรัม (น้ำหนักแน่นอน) จากนั้นแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง โดยชั่งน้ำหนักทุกๆ 30 นาที จนน้ำหนักคงที่ นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเทียบกับเวลา

3.3.6 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โพลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยเทคนิค FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)

นำตัวอย่างผงฟางที่ผ่านการล้างแล้วและกราฟต์โพลิเมอร์มาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง FTIR spectroscopy (TENSOR 27, Bruker Germany) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ช่วงความยาวคลื่น 500-4,000 cm^{-1} ใช้ความละเอียดของความยาวคลื่น 2 cm^{-1} และใช้หัววัดแบบ ATR (Attenuated total reflectance) ทำการทดลองซ้ำ 16 ครั้ง

3.3.7 ศึกษาการดูดซับน้ำ

ชั่งวัสดุดูดซับน้ำ 1 กรัม นำไปแช่ในสารละลายยูเรียเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งและน้ำหนักคงที่นำไปชั่ง คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ จากสมการ (3)

$$\% \text{ Loading} = [W_1 - W_0] / W_0 \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

โดย W_0 คือ น้ำหนักเจลแห้งที่ยังไม่ดูดซับน้ำ

W_1 คือ น้ำหนักเจลแห้งที่ดูดซับน้ำ

3.3.8 ศึกษาการปลดปล่อยน้ำ

นำวัสดุดูดซับน้ำที่ได้จากการดูดซับน้ำ บรรจุในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 24 บีกเกอร์จากนั้นเก็บน้ำในแต่ละบีกเกอร์โดยจะเก็บน้ำทุกๆ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการปลดปล่อยน้ำ โดยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer โดยมีขั้นตอนการเตรียมสารก่อนนำไปวัดด้วย UV-Visible Spectro photometer ดังนี้

3.3.8.1 การเตรียม Standard curve ของสารละลายมาตรฐาน^[16]

1) ชั่งยูเรีย 5.000 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลายเข้มข้น 0.00008, 0.00016, 0.00024, 0.00032, 0.00036, 0.00040, 0.00044, 0.00048, 0.0052, 0.00056, 0.00060 และ 0.00064 กรัม/มิลลิลิตร (หรือ 0.08, 0.16, 0.24, 0.32, 0.36, 0.40, 0.44, 0.48, 0.52, 0.56 และ 0.60 กรัม/ลิตร) โดยปิเปตสารละลายยูเรียในข้อ 1 จำนวน 4, 8, 12, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 และ 32 มิลลิลิตร แล้วใส่ใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร 250 มิลลิลิตร

3) ปิเปตสารละลายในข้อ 2 มา 5 มิลลิลิตร เติม p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) 5 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที

4) นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร

5) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นเพื่อหาค่า Absorptivity

3.3.8.2 การเตรียม p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) ^[17]

1) ชั่ง p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) 5 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริก 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2) เก็บ p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) ไว้ในขวดเก็บสารเพื่อรอการใช้งานต่อไป

3.3.8.3 การเตรียมยูเรียเพื่อหาปริมาณยูเรียโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร

1) ปิเปตสารละลายในข้อ 3.3.8 มา ขวดละ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2) ปิเปตสารละลายในข้อ 1 แต่ละบิกเกอร์ มา 5 มิลลิลิตร นำมาเติม p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) 5 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที

3) นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร

4) หาค่าความเข้มข้นของยูเรียจาก Standard curve

5) คำนวณหาปริมาณยูเรียที่วัดได้

3.3.9 ศึกษาการการย่อยสลายบนดิน

ซึ่งวัสดุชุบน้ำแห้งที่ได้จากการเตรียมประมาณ 3 กรัม ใส่ในดินที่เตรียมไว้ในกระถางพลาสติก และรดน้ำทุกวัน ทำการถ่ายภาพดูการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 7 วัน ลักษณะการเตรียมดินดังรูป 3.3 ถึง 3.5



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างดินก่อนใส่วัสดุคูดซับน้ำ



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างดินที่ใส่วัสดุคูดซับน้ำ



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างดินที่ใส่วัสดุคูดซับน้ำและรดน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของกรดอะคริลิกกับเส้นใยเซลลูโลสในผงฟางข้าว

4.1.1 ปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

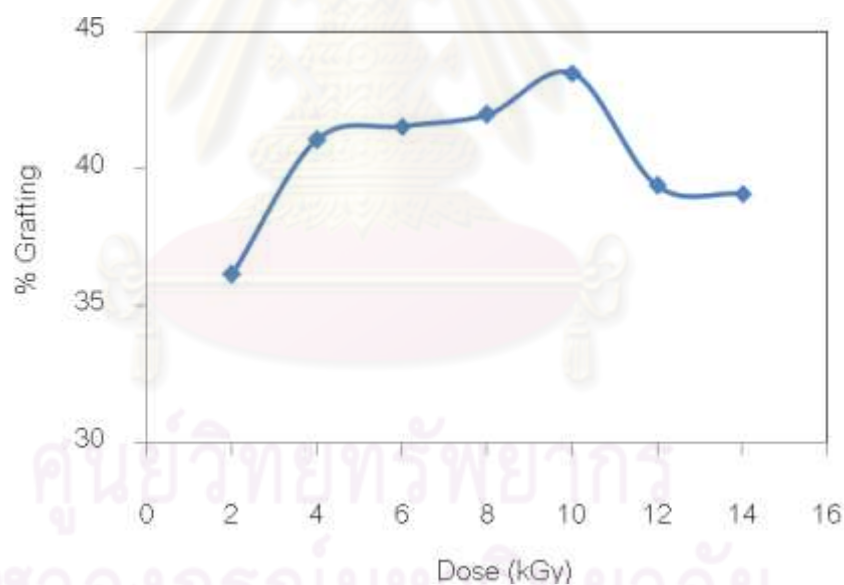
จากการศึกษาปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ พบว่าปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ก็จะเพิ่มมากขึ้น จนถึงปริมาณรังสีที่ 12 กิโลเกรย์ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เส้นใยเซลลูโลสของฟางข้าวและกรดอะคริลิกมากขึ้นเป็นผลให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มากขึ้น แสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ โดยปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด คือ 43.46 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าปริมาณรังสีมากเกินไป 10 กิโลเกรย์ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะลดลงเนื่องจากการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิอะคริลิก ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

ปริมาณรังสี (kGy)	W_0	W_1	% grafting	ค่าเฉลี่ย % grafting
2	10.0009	15.6591	36.13	36.15
	10.0066	15.6438	36.03	
	10.0045	15.6983	36.27	
4	10.0098	16.9660	41.00	41.04
	10.0057	16.9755	41.06	
	10.0012	16.9655	41.05	
6	10.0008	17.1127	41.56	41.53
	10.0027	17.1052	41.52	
	10.0015	17.1036	41.52	
8	10.0091	17.2377	41.93	41.97
	10.0052	17.2366	41.95	
	10.0007	17.2521	42.03	

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ (ต่อ)

ปริมาณรังสี (kGy)	W_0	W_1	% grafting	ค่าเฉลี่ย % grafting
10	10.0002	17.6928	43.48	43.46
	10.0047	17.7011	43.48	
	10.0006	17.6906	43.44	
12	10.0006	16.4928	39.36	39.37
	10.0008	16.5142	39.44	
	10.0002	16.4775	39.31	
14	10.0087	16.4262	39.07	39.09
	10.0006	16.4143	39.07	
	10.0054	16.4372	39.13	



รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

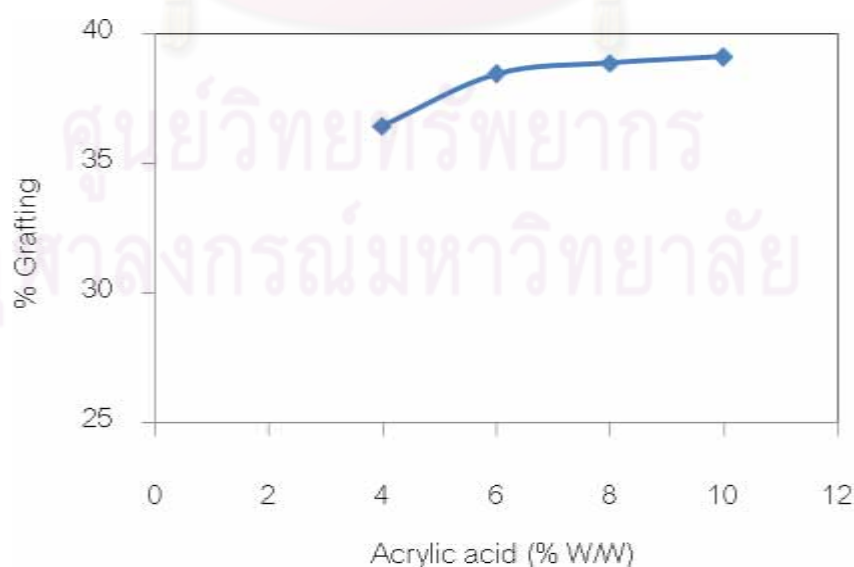
4.1.2 ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

จากการศึกษาความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์พบว่าเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ก็จะเพิ่มมากขึ้น เพราะเมื่อมอนอเมอร์ได้รับรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นจากนั้นอนุมูลอิสระก็จะเข้าตอกิ่งกับเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าว เมื่อมอนอเมอร์มากขึ้นก็จะมีตัวที่จะไปตอกิ่งมากขึ้น ทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงขึ้น

ในการทดลองนี้ใช้กรดอะคริลิกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ฉายรังสีที่ 10 กิโลเกรย์ ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงที่สุด เท่ากับ 39.09 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

% Monomer	W_0	W_1	% Grafting	ค่าเฉลี่ย % Grafting
4	10.0001	15.7326	36.44	36.43
	10.0003	15.7333	36.44	
	10.0001	15.7277	36.42	
6	10.0003	16.2311	38.39	38.43
	10.0003	16.2301	38.38	
	10.0004	16.2675	38.52	
8	10.0001	16.3535	38.85	38.85
	10.0003	16.3568	38.86	
	10.0001	16.3503	38.84	
10	10.0004	16.4161	39.08	39.09
	10.0002	16.4230	39.11	
	10.0002	16.4190	39.09	



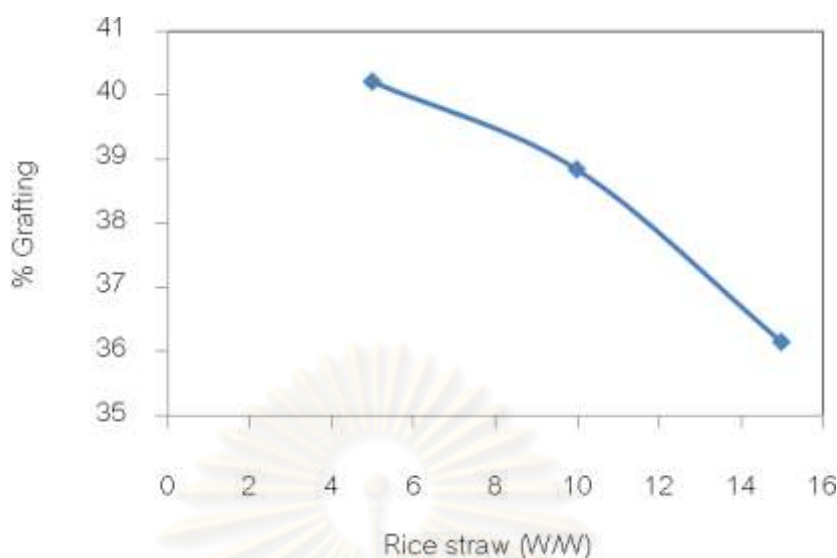
รูปที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

4.1.3 เปอร์เซนต์ฟางต่อเปอร์เซนต์การกราฟต์

จากการศึกษาเปอร์เซนต์ของฟางฟางต่อเปอร์เซนต์การกราฟต์พบว่าเมื่อเปอร์เซนต์ฟางเพิ่มขึ้นเปอร์เซนต์การกราฟต์จะลดลง เพราะเมื่อมอโนเมอร์ได้รับรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นจากนั้นอนุมูลอิสระก็จะเข้าตอกิ่งกับเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าว ซึ่งเมื่อฟางมากขึ้นทำให้เปอร์เซนต์มอโนเมอร์ที่จะเข้าตอกิ่งกับเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวน้อยลงทำให้ได้ค่าเปอร์เซนต์การกราฟต์ต่ำลงตามไปด้วย ในการทดลองนี้เปอร์เซนต์ฟางข้าวที่ทำให้ค่าเปอร์เซนต์การกราฟต์ดีที่สุด คือ 5 เปอร์เซนต์ ซึ่งให้ค่าเปอร์เซนต์การกราฟต์เท่ากับ 40.21 เปอร์เซนต์ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้การเตรียมฟางที่ 5 เปอร์เซนต์ นี้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยเกินไปไม่เหมาะที่จะเตรียมดังนั้นจึงเลือกเตรียมที่ฟาง 10 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ได้มากและเปอร์เซนต์การกราฟต์ไม่ต่ำจนเกินไปซึ่งเท่ากับ 39.02 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของเปอร์เซนต์ฟางต่อเปอร์เซนต์การกราฟต์

% Rice Straw (RS)	W_0	W_1	% Grafting	ค่าเฉลี่ย % Grafting
5	5.0007	8.3452	40.077	40.21
	5.0004	8.3559	40.16	
	5.0008	8.3883	40.38	
10	10.0001	16.4064	39.05	39.02
	10.0001	16.3957	39.01	
	10.0002	16.3990	39.02	
15	15.0001	23.4836	36.12	36.16
	15.0002	23.4984	36.16	
	15.0008	23.5115	36.19	



รูปที่ 4.3 ผลของเปอร์เซ็นต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

4.2 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

4.2.1 การศึกษาปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

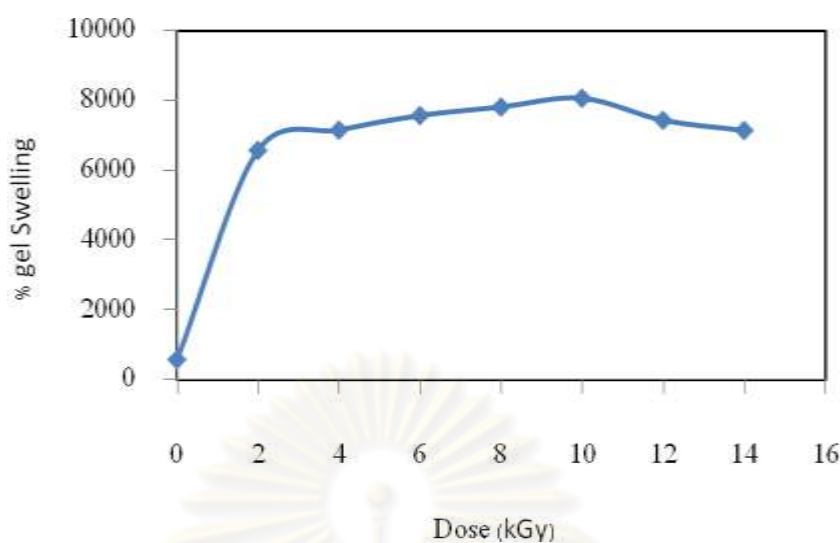
จากการศึกษาปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำพบว่าปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำก็จะมากขึ้น จนถึงปริมาณรังสีที่ 12 กิโลเกรย์ ค่าการดูดซับน้ำก็จะลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เส้นใยเซลลูโลสของฟางข้าวและกรดอะคริลิกมากขึ้นเป็นผลให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มากขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้นแต่ถ้าปริมาณรังสีมากเกินไป 10 กิโลเกรย์ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะลดลงเนื่องมาจากการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิอะคริลิก โดยปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมากที่สุดที่ 8069 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก

ปริมาณรังสี (kGy)	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling
0	0.5188	3.5751	589	572
	0.5248	3.5675	579	
	0.5274	3.4203	548	

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จาก ฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก (ต่อ)

ปริมาณรังสี (kGy)	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling
2	0.5345	35.8709	6607	6574
	0.5208	34.2466	6475	
	0.5189	34.9748	6640	
4	0.5251	38.0419	7144	7156
	0.5103	37.7775	7302	
	0.5233	37.2665	7021	
6	0.5303	40.9310	7618	7575
	0.5173	38.9297	7425	
	0.5156	40.1216	8263	
8	0.5155	41.2468	7901	7818
	0.5140	41.0122	7879	
	0.5304	41.2468	7676	
10	0.5316	42.9548	7980	8069
	0.5168	42.8843	8198	
	0.5231	42.5365	8031	
12	0.5202	39.8965	7569	7437
	0.5347	39.8986	7361	
	0.5302	39.6685	7437	
14	0.5157	37.2739	7127	7145
	0.5164	36.8572	7037	
	0.5065	37.3359	7271	



รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ

4.2.2 การศึกษาความเข้มข้นมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

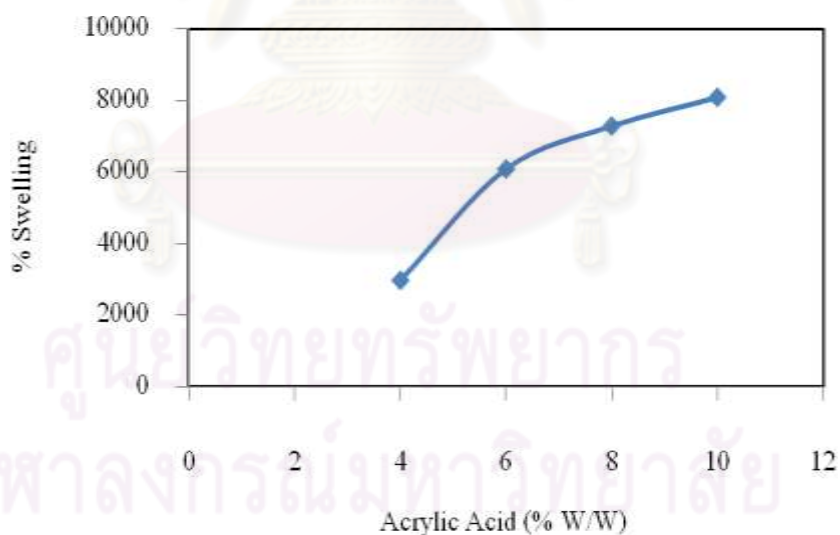
จากการศึกษาความเข้มข้นมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำพบว่าเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์เพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำจะมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นเปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะสูงขึ้นเพราะเมื่อมอนอเมอร์ได้รับรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นจากนั้นอนุมูลอิสระก็จะเข้าตอกกับเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงขึ้น ในการทดลองนี้ใช้กรดอะคริลิกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ฉายรังสีที่ 10 กิโลเกรย์ ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่มากที่สุดที่ 8069 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก

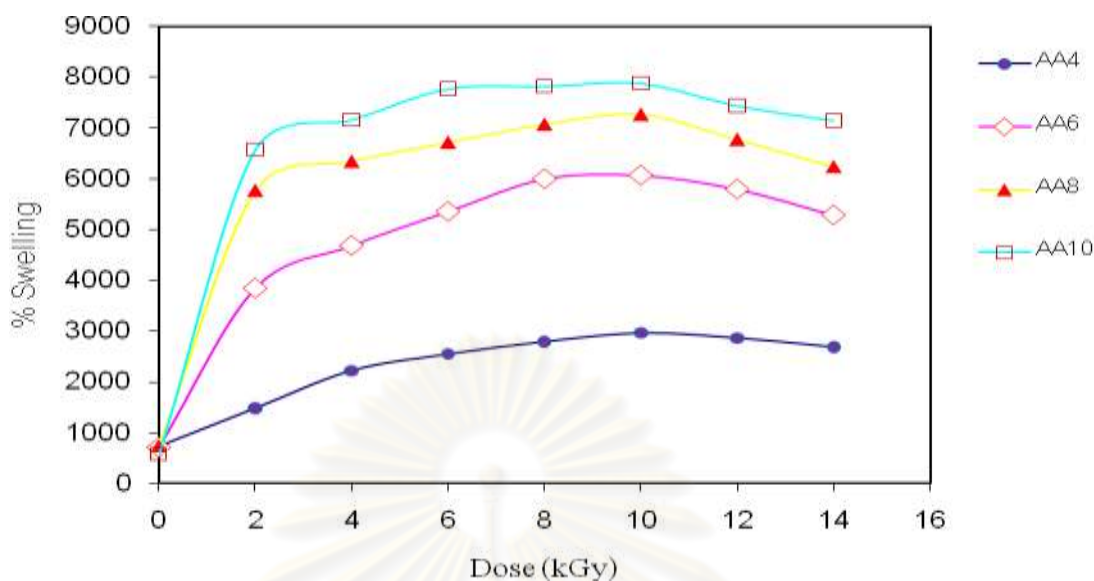
% Monomer	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling
4	0.5317	15.4344	2802	2955
	0.5212	17.0087	3163	
	0.5156	15.4663	2899	

ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก (ต่อ)

% Monomer	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling
6	0.5232	31.8728	5991	6069
	0.5175	31.1609	5921	
	0.5136	32.8397	6294	
8	0.5321	38.5946	7153	7268
	0.5165	39.1600	7481	
	0.5143	37.3948	7171	
10	0.5316	42.9548	7980	8069
	0.5168	42.8843	8198	
	0.5231	42.5365	8031	



รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ



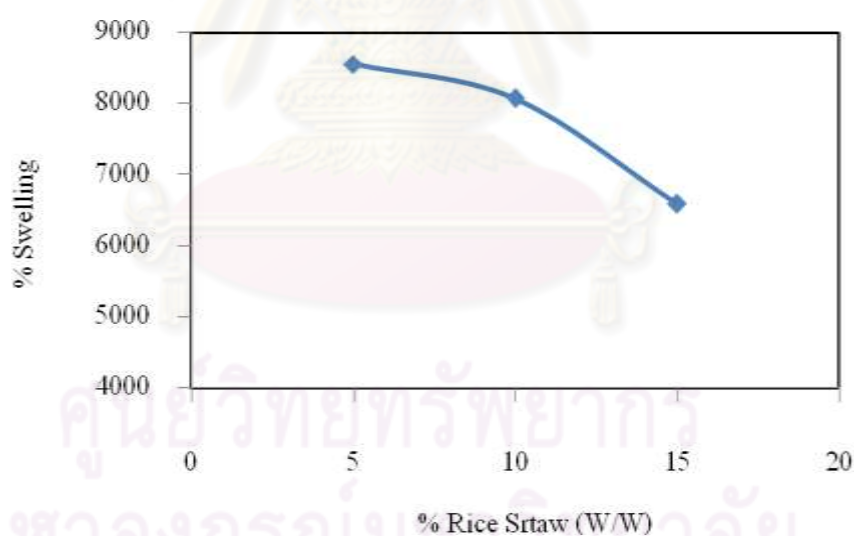
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลของเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุดูดซึมน้ำที่ปริมาณรังสี และเปอร์เซ็นต์ของกรดอะคริลิก (AA) ความเข้มข้นต่างๆ ที่ฟาง 10 เปอร์เซ็นต์

4.2.3 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ของผงฟางต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์ของผงฟางต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ฟางเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซึมน้ำก็ยิ่งลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของผงฟางมากขึ้นเปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะลดลงเพราะเมื่อมอนอเมอร์ได้รับรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นจากนั้นอนุมูลอิสระก็จะเข้าตอกิ่งกับเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวซึ่ง เมื่อผงฟางมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ที่จะเข้าตอกิ่งกับเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวน้อยลงทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ต่ำลงตามไปด้วย ในการทดลองนี้เปอร์เซ็นต์ฟางข้าวที่ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำดีที่สุด คือ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ 8550 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้การเตรียมฟางที่ 5 เปอร์เซ็นต์ นี้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยเกินไปไม่เหมาะที่จะเตรียมดังนั้นจึงเลือกเตรียมที่ผงฟาง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ได้มาก และค่าการดูดซึมน้ำก็ไม่ต่ำเกินไปซึ่งเท่ากับ 8069 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลของเปอร์เซ็นต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำที่เตรียมได้จากฟางข้าวกราฟต์กับกรดอะคริลิก

% Rice Straw (RS)	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling
5	0.5308	46.9191	8739	8550
	0.5082	43.1612	8392	
	0.5285	45.5533	8519	
10	0.5316	42.9548	7980	8069
	0.5168	42.8843	8198	
	0.5231	42.5365	8069	
15	0.5151	34.2697	6553	6593
	0.5295	34.7974	6471	
	0.5060	34.6966	6757	



รูปที่ 4.7 ผลของเปอร์เซ็นต์ฟางต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ

4.3 การศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ

จากการศึกษาอัตราการดูดซับน้ำในช่วง 0 - 570 นาที พบว่าค่าอัตราการดูดซับน้ำจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึง 540 นาที หลังจากนั้นการดูดซับน้ำจะเริ่มคงที่ ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลอัตราการดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำเทียบกับเวลา

เวลา (min)	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling	% Swelling Rate
30	0.3112	13.9367	4378	3515	9.67
	0.3285	10.9944	3246		
	0.3239	9.7826	2920		
60	0.3112	14.726	4632	3805	9.67
	0.3285	12.2072	3616		
	0.3239	10.5866	3168		
90	0.3112	15.1101	4755	3999	6.47
	0.3285	13.0334	3867		
	0.3239	11.2609	3376		
120	0.3112	16.27261	5128	4223	7.47
	0.3285	13.5175	4014		
	0.3239	11.7454	3526		
150	0.3112	16.4123	5173	4322	3.30
	0.3285	13.9697	4152		
	0.3239	12.1168	3640		
180	0.3112	16.4906	5199	4408	2.87
	0.3285	14.3834	4278		
	0.3239	12.4648	3748		
210	0.3112	16.9435	5344	4520	3.73
	0.3285	14.7416	4387		
	0.3239	12.7318	3830		
240	0.3112	17.5428	5537	4635	3.83
	0.3285	15.0070	4468		
	0.3239	12.9596	3901		
270	0.3112	17.4517	5507	4681	1.53
	0.3285	15.3297	4566		
	0.3239	13.1796	3969		

ตารางที่ 4.7 ผลอัตราการดูดซึมน้ำของวัสดุดูดซึมน้ำเทียบกับเวลา (ต่อ)

เวลา (min)	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling	% Swelling Rate
300	0.3112	17.5443	5537	4703	1.63
	0.3285	15.3729	4579		
	0.3239	13.2612	3994		
330	0.3112	17.5975	5555	4748	0.60
	0.3285	15.5417	4631		
	0.3239	13.4757	4060		
360	0.3112	17.9068	5654	4813	2.17
	0.3285	15.6933	4677		
	0.3239	13.6345	4109		
390	0.3112	17.876	5644	4837	0.80
	0.3285	15.8536	4726		
	0.3239	13.7391	4141		
420	0.3112	17.8687	5641	4855	0.60
	0.3285	15.9205	4746		
	0.3239	13.8593	4178		
450	0.3112	17.9335	5662	4883	0.93
	0.3285	16.0399	4782		
	0.3239	13.9421	4204		
480	0.3112	18.0116	5687	4896	0.43
	0.3285	16.0047	4772		
	0.3239	14.0197	4228		
510	0.3112	17.9654	5672	4911	0.50
	0.3285	16.121	4807		
	0.3239	14.1005	4253		

ตารางที่ 4.7 ผลอัตราการดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำเทียบกับเวลา (ต่อ)

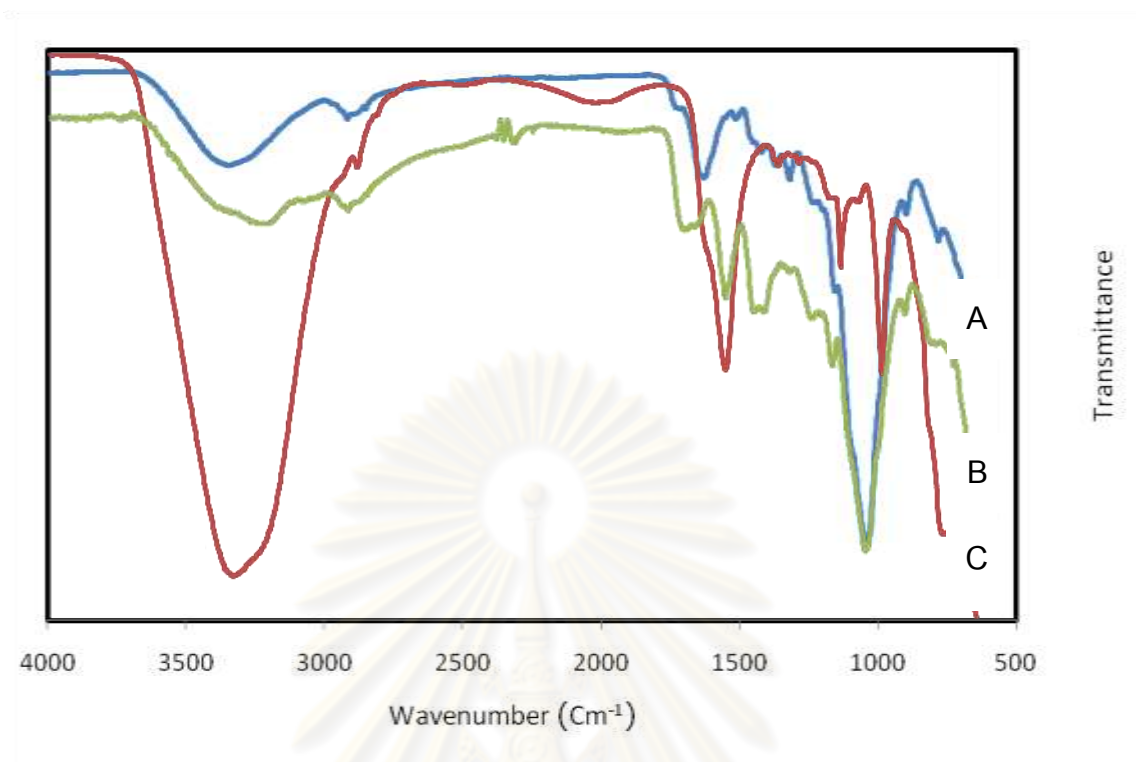
เวลา (min)	W_0	W_1	% Swelling	ค่าเฉลี่ย % Swelling	% Swelling Rate
540	0.3112	17.9664	5673	4912	0.03
	0.3285	16.1333	4811		
	0.3239	14.0959	4251		
570	0.3112	17.9668	5673	4914	0.07
	0.3285	16.1535	4817		
	0.3239	14.0989	4252		



รูปที่ 4.8 ผลของอัตราการดูดซับน้ำของวัสดุดูดซับน้ำ

4.4 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยเทคนิค FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ด้วย FTIR spectrum ดังรูปที่ 4.9 Cellulose (ผงฟางข้าว) แสดงการดึงยึดของหมู่ไฮดรอกซิลที่ 3450 cm^{-1} และฟิสิกการดึงยึดของพันธะ C-H (C-H stretching) และ C-H (C-H bending) ที่ 2950 cm^{-1} ตามลำดับ สำหรับ FTIR spectrum ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ (RS-g-PAA) จะเกิดหมู่ $-\text{COOH}$ (COOH stretching) และ $-\text{COO}^-$ ($-\text{COO}^-$ stretching) ที่ 1683 cm^{-1} และ 1576 cm^{-1} ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 FTIR spectrum ของ RS (A), RS-g-PAA (B), PAA (C)

4.5 ศึกษาการดูดซับน้ำยูเรีย

จากการศึกษาการดูดซับน้ำ พบว่าวัสดุดูดซับน้ำสามารถดูดซับน้ำได้ดี ในการทดลองนี้วัสดุดูดซับน้ำดูดซับน้ำได้ 796 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดดังตารางที่ 4.8

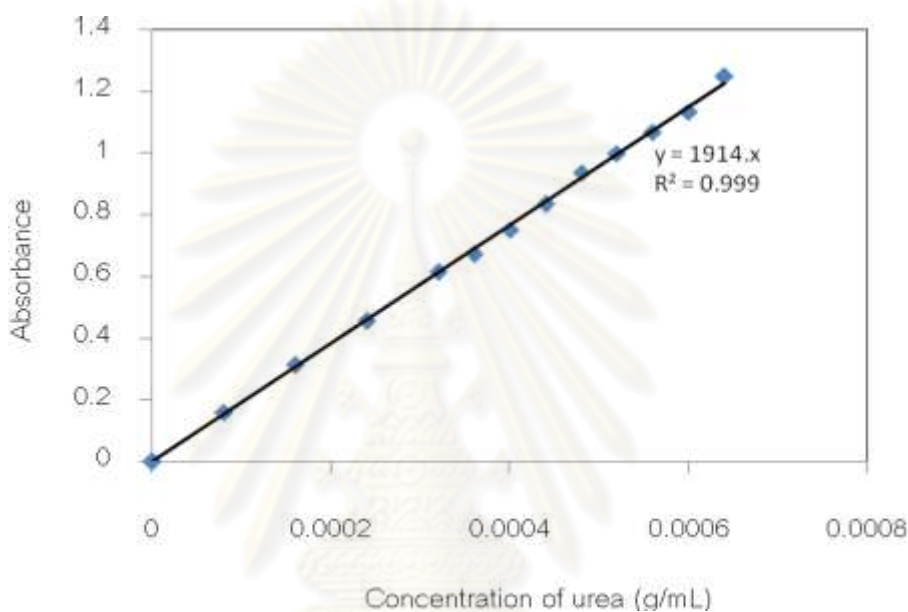
ตารางที่ 4.8 ผลการดูดซับน้ำยูเรียของวัสดุดูดซับน้ำ

ครั้งที่	M_0	M_1	% Loading	ค่าเฉลี่ย % Loading
1	1.0090	9.0498	796	796
2	1.0094	9.0631	797	
3	1.0080	9.0202	794	

4.6 ศึกษาการปลดปล่อย (Release) ปุ๋ยยูเรีย สำหรับวัสดุคูดซับน้ำ

4.6.1 ผลการเตรียม Standard curve ของสารละลายมาตรฐาน

จากการทำ Standard curve ของสารละลายต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียกับการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งสามารถหาค่า Absorptivity จากค่าความชันของกราฟ Standard curve ได้เท่ากับ $1914 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$



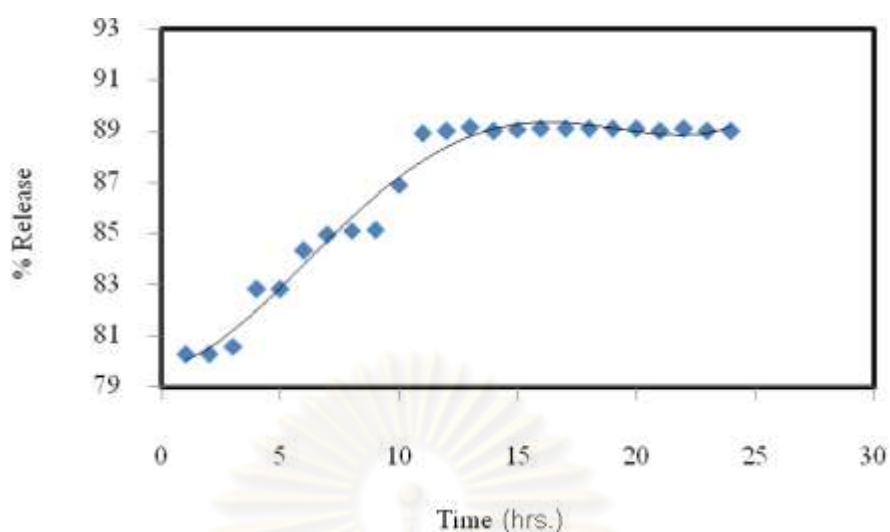
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียกับการดูดกลืนแสงที่ 440 นาโนเมตร

4.6.2 ผลการปลดปล่อย (Release) ปุ๋ยยูเรีย

ผลการศึกษาการปลดปล่อยยูเรียจากวัสดุคูดซับน้ำที่เตรียมได้จากการใช้ปริมาณรังสีรวม 10 กิโลเกรย์ กรดอะคริลิก 10 กรัม โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม แช่ในสารละลายยูเรีย 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการปลดปล่อยค่อนข้างคงที่ที่ร้อยละ 89.00 ที่เวลา 12 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าปริมาณการปลดปล่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงระยะเวลาหนึ่งปริมาณการปลดปล่อยจะสูงสุดและคงที่ รายละเอียดดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 ผลการปลดปล่อยปุ๋ยเรียว

Time (hrs.)	% Release
1	80.27
2	80.29
3	80.58
4	82.82
5	82.82
6	84.34
7	84.95
8	85.11
9	85.13
10	86.90
11	88.91
12	89.00
13	89.14
14	89.00
15	89.07
16	89.09
17	89.09
18	89.09
19	89.09
20	89.09
21	89.00
22	89.09
23	89.00
24	89.00



รูปที่ 4.11 การปลดปล่อยยู่ยู่ที่เวลาต่างๆ

4.6 ศึกษาการย่อยสลายบนดิน

จากการศึกษาการย่อยสลายของวัสดุดูดซับน้ำพบว่าวัสดุดูดซับน้ำสามารถอยู่ได้นานมากกว่าสองเดือน จากรูปจะเห็นว่า ณ วันที่ 46 วัสดุดูดซับน้ำยังไม่ถูกย่อยสลายหมดเพียงแต่ วัสดุดูดซับน้ำจะมีการลดการดูดซับน้ำลง ดังรูปที่ 4.12

วันที่ 1 ก่อนรดน้ำ



วันที่ 1 หลังรดน้ำ



วันที่ 8



วันที่ 15



วันที่ 22



วันที่ 29



ศูนย์วิทยชีววิทยา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 36



วันที่ 43



วันที่ 50



วันที่ 57



วันที่ 64



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของวัสดุคูดซับน้ำเมื่อทดสอบบนดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

5.1 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิก โดยการฉายรังสีแกมมาตามเงื่อนไขต่างๆ

จากการทดลองการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยกรดอะคริลิก ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เซลลูโลสจากฟางข้าวที่บดละเอียดขนาด 60 เมช โดยเงื่อนไขที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ใช้ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์และ ปริมาณฟางข้าว จากการทดลองที่สภาวะ ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ ความเข้มข้นของกรดอะคริลิก 10 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณฟางข้าว 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุดที่ 43.46 เปอร์เซ็นต์

5.2 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

จากการทดลองเตรียมวัสดุดูดซับน้ำโดยการกราฟต์ฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิก โดยการฉายรังสีแกมมาตามเงื่อนไขต่างๆ พบว่าเงื่อนไขที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำคือ ปริมาณรังสีที่ใช้ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และปริมาณฟางข้าว ซึ่งจากการทดลองที่ปริมาณรังสี 10 กิโลเกรย์ ความเข้มข้นของกรดอะคริลิก 10 เปอร์เซ็นต์ และฟางข้าว 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเท่ากับ 8069 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราการดูดซับน้ำพบว่าการดูดซับน้ำจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึง 540 นาที หลังจากนั้นอัตราการดูดซับน้ำจะเริ่มคงที่

5.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยเทคนิค FTIR

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยเทคนิค FTIR พบการดึงยึดของหมู่ไฮดรอกซิลที่ 3450 cm^{-1} และพีคการดึงยึดของพันธะ C-H (C-H stretching) และ C-H (C-H bending) ที่ 2950 cm^{-1} ตามลำดับ สำหรับ FTIR spectrum ของ RS-g-PAA จะเกิดหมู่ $-\text{COOH}$ (COOH stretching) และ $-\text{COO}^-$ ($-\text{COO}^-$ stretching) ที่ 1683 cm^{-1} และ 1576 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่ง FTIR spectrum ของ PAA จะเกิดหมู่ $-\text{COOH}$ และ $-\text{COO}^-$ ที่ 1683 cm^{-1} และ 1576 cm^{-1} เช่นเดียวกัน แต่ FTIR spectrum ของ RS จะไม่แสดงหมู่ $-\text{COOH}$ และ $-\text{COO}^-$ แสดงให้เห็นว่าเกิดการกราฟต์ของฟางข้าวด้วยกรดอะคริลิกจริง

5.4 การดูดซับปุ๋ยยูเรีย สำหรับวัสดุดูดซับน้ำ

จากการทดลองการดูดซับปุ๋ย ซึ่งในการทดลองใช้ตัวดูดซับน้ำที่เตรียมได้ในการดูดซับปุ๋ยยูเรียผลที่ได้คือตัวดูดซับน้ำสามารถดูดซับปุ๋ยยูเรียได้ 796 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยยูเรีย 10 เปอร์เซ็นต์

5.5 การปลดปล่อยปุ๋ยยูเรีย สำหรับวัสดุดูดซับน้ำ

จากการทดลองการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียของวัสดุดูดซับน้ำ พบว่าจะมีการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียในปริมาณมากในช่วงแรกหลังจากนั้นการปลดปล่อยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึง ณ จุดหนึ่งการปลดปล่อยเริ่มคงที่ เวลาที่การปลดปล่อยคงที่ คือ ที่ 12 ชั่วโมง ซึ่งปลดปล่อยออกมาเท่ากับ 89.00 เปอร์เซ็นต์

5.6 การย่อยสลายบนดิน

จากการทดลองการย่อยสลายบนดินพบว่าวัสดุดูดซับน้ำสามารถคงสภาพอยู่บนดินได้นานมากกว่า 2 เดือน โดยที่ยังไม่ถูกย่อยสลาย ซึ่งจะเป็นผลดีเนื่องจากสามารถทำให้พื้นที่การเพาะปลูกมีความชุ่มชื้นนาน และเมื่อมีการย่อยสลายแล้วยังสามารถให้ประโยชน์กับหน้าดินบริเวณนั้นอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของฟางข้าวซึ่งมีความเป็นมิตรกับธรรมชาติ

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ ได้แก่ ขนาดของเซลล์โลส จากผงฟางข้าว ชนิดของเส้นใยเซลล์โลส เช่น เส้นใยจากเปลือกกล้วย เส้นใยจากชานอ้อย เส้นใยจากมะพร้าว เส้นใยจากผักตบชวา เป็นต้น
- 2) ควรศึกษาปัจจัยความเป็นกรด ความเป็นด่างซึ่งมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ เปอร์เซ็นต์การดูดซับปุ๋ย เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยปุ๋ย และการย่อยสลายของวัสดุดูดซับน้ำ
- 3) ควรพัฒนารูปแบบให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่จะใช้งานจริง เช่น จากเดิมเป็นเจลที่ไม่มีสีอาจจะเติมสีเข้าไปเพื่อความสวยงาม
- 4) ควรใช้วิธีการศึกษาการปลดปล่อยปุ๋ยโดยการปล่อยน้ำออกแบบต่อเนื่องแล้วเก็บน้ำตามช่วงเวลาต่างๆ
- 5) ควรศึกษาสาเหตุของการเสื่อมสลายของวัสดุดูดซับน้ำที่แท้จริง เช่น จากแสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเล็ต ความร้อน ฯลฯ
- 6) ควรศึกษาการย่อยสลายในดิน เช่น อาจจะเป็นวิธีการฝังกลบในดิน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- [1] Geprge, O. **Principle of Polymerization**. New York : A John Willey & Sons, 2004.
- [2] ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์, 2527.
- [3] ชยากริต ศิริอุปถัมภ์. **เคมีรังสีของโพลิเมอร์**. ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [4] ปรีชา พหลเทพ. **พอลิเมอร์**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2540.
- [5] Wood R.J., and Alexci K.P. **Applied Radiation Chemistry**. Radiation Processing. Unidted States : John Willey & Sons, Inc, 1994.
- [6] chemical information management unit. **ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี**. [ออนไลน์]. 2522. แหล่งที่มา: <http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Trf/msdst/msdst.html> [2553, สิงหาคม 12]
- [7] สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน. **ปัญหาการพัฒนารเกษตร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร, 2535.
- [8] ปิยะ ดวงพัตรา. **หลักการและวิธีใช้ปุ๋ยเคมี**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร, 2538.
- [9] Wikipedia. **rice**. [Online]. 1982. Available from:http://www.Wikipedia.org/wiki/%E0%B8%E0%B8A7_sdst [2010, August 12]
- [10] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. **องค์ความรู้เรื่องข้าว**. [ออนไลน์]. 2519. แหล่งที่มา : <http://www.brrd.in.th/rkb2/Product/index-pho-file=content.Php&id=15.Htm> [2553, สิงหาคม 12]
- [11] Rui, L., Hongbo, Y., and Guoxi, Q.Z. **Synthesis of wheat straw-g-poly (acrylic acid) superabsorbent composites and release of urea from it**. Carbohydrate Polymers 77 (2009) : 181-187.
- [12] Junping, Z., Qin, W., and Aiqin W. **Synthesis and characterization of chitosan-g- poly (acrylic acid) /attapulgit superabsorbent composites**. Carbohydrate Polymers 68 (2007) : 367-374.
- [13] Jianghua, L., Qin ,W., and Aiqin, W. **Synthesis and characterization of chitosan-g- poly (acrylic acid) / sodium humate superabsorbent**. Carbohydrate Polymers 70 (2007) : 166-173.

- [14] Zheng, T., Liang, Y., and He, Z. **Superabsorbent hydrogels as carriers for the controlled release of urea : Experiments and a mathematical model describing the release rate.** Biosystems Engineering Io 2 (2009) : 44-50.
- [15] Samart K., and Piroj G. **Encapsulation of urea fertilizer with polyamide by emulsion polymerization.** Degree of Master of Science. Faculty of Science and Technology. Songkla University Puttani Campus, 2543.
- [16] Jacob M. Levine, Raul Leon, Frederick Steigmann. **A rapid method for the determination of urea in blood and urine.** Received for publication 12 (1960) : 488-493.
- [17] Liu, J., Zhai, M., and Ha, H. **Pre-irradiation grafting of temperature sensitive hydrogel on cotton cellulose fabric.** Radiation Physics and Chemistry 55 (1999) : 55-59.





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ (Degree of grafting)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

จากสูตร

$$\text{Degree of grafting (\%)} = [(W_1 - W_0)/W_0] \times 100$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น

W_1 คือ น้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์จากตารางที่ 4.1 ปริมาณรังสีรวม 10 kGy

ค่าน้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น (W_0) = 10.0066 กรัม

ค่าน้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์ (W_1) = 42.9548 กรัม

Degree of grafting (%) = $[(42.9548 - 10.0066)/10.0066] \times 100$

= 43.47 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (% gel Swelling)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

จากสูตร

$$\text{Gel Swelling (\%)} = [W_1 - W_0] / W_0 \times 100$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักเจลแห้ง

W_1 คือ น้ำหนักเจลที่บวมน้ำ

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากตารางที่ 4.4 ปริมาณรังสีรวม 10 กิโลเกรย์


น้ำหนักเจลแห้ง (W_0) = 0.5316 กรัม

น้ำหนักเจลที่บวมน้ำ (W_1) = 42.9548 กรัม

Gel Swelling (%) = $[42.9548 - 0.5316] / 0.5316 \times 100$

= 7980 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับปุ๋ย (% Loading of urea)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับปุ๋ย

จากสูตร

$$\text{Loading (\%)} = [W_1 - W_0] / W_1 \times 100$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักเจลแห้งที่ยังไม่ดูดซับปุ๋ย

W_1 คือ น้ำหนักเจลแห้งที่ดูดซับปุ๋ย

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับปุ๋ยจากตารางที่ 4.8 ปริมาตรรังสีรวม 10 กิโลเกย์ร์

น้ำหนักเจลแห้งที่ยังไม่ดูดซับปุ๋ย (W_0) = 1.0090 กรัม

น้ำหนักเจลแห้งที่ดูดซับปุ๋ย (W_1) = 9.0498 กรัม

Loading (%) = $[9.0498 - 1.0090] / 9.0498 \times 100$

= 796 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนุรัตน์ โปธิ์หล้า เกิดวันที่ 12 กรกฎาคม 2525 ที่จังหวัดหนองบัวลำภู สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เมื่อปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551 ปัจจุบันเป็นพนักงานราชการในตำแหน่ง นักฟิสิกส์รังสี กลุ่มกำกับดูแลความปลอดภัยจากการใช้เครื่องกำเนิดรังสี สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย