

การสังเคราะห์และการพิสูจน์เอกลักษณ์พอลิเมอร์ดูดซึ่มมากจากการกราฟต์พอลิอะคริลาไมด์
ลงบนคาร์บอนกึ่งเมทัลเซลลูโลสโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อควบคุมการปลดปล่อยเคมีเกษตร

นางสาวอุรารักษ์ จันทะวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SUPERABSORBENT POLYMER PREPARED
FROM POLYACRYLAMIDE GRAFTED ONTO CARBOXYMETHYL CELLULOSE BY
GAMMA IRRADIATION FOR CONTROLLED RELEASE OF AGROCHEMICAL

Miss Auraruk Chanthawong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของพอลิเมอร์ดูดซึ่ม มากจากการกราฟต์พอลิอะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลสโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อควบคุมการปลดปล่อย เคมีเกษตร
โดย	นางสาวอุรารักษ์ จันทะวงษ์
สาขาวิชา	นิเวศวิทยาระบบเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสงวง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.พิริยาธร สุวรรณมาลา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุษฎีพงษ์ วงศ์แสงวง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.พิริยาธร สุวรรณมาลา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

อุรารักษ์ จันทะวงษ์ : การสังเคราะห์และการพิสูจน์เอกลักษณ์พอลิเมอร์ดูดซึมมาจาก
จากการกราฟต์พอลิอะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยการฉายรังสีแกมมา
มา เพื่อควบคุมการปลดปล่อยเคมีเกษตร. (SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SUPERABSORBENT POLYMER PREPARED FROM POLY-ACRYLAMIDE GRAFTED ONTO CARBOXYMETHYL CELLULOSE BY GAMMA IRRADIATION FOR CONTROLLED RELEASE OF AGROCHEMICAL)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ดุจดลยพงศ์ วงศ์แสง, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ร่วม: ดร.พิริยาธร สุวรรณมาลา, 116 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกราฟต์พอลิอะคริลาไมด์บนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วย
รังสีแกมมา โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน ได้แก่
ปริมาณรังสี ระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
ปริมาณอะคริลาไมด์มอนอเมอร์และปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ทำการหาเปอร์เซ็นต์การ
กราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการบวมน้ำ จาก
การศึกษา พบว่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี ระดับการแทนที่ของคาร์บอก-
ซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ และปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ แต่จะ
ลดลงเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์กราฟต์
โคพอลิเมอร์ในงานวิจัยนี้ คือปริมาณรังสี 2 kGy ระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซล-
ลูโลสเท่ากับ 1.2 ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 5 กรัม ปริมาณอะคริลาไมด์มอนอเมอร์
6 กรัม และปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 0.25 กรัม เปอร์เซ็นต์การกราฟต์เท่ากับ 121.73
และประสิทธิภาพการกราฟต์เท่ากับ 101.22 ความสามารถบวมน้ำเท่ากับ 190 กรัมต่อกรัม
ของพอลิเมอร์แห้ง สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตได้ 45.58 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา
7 วัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมนิวเคลียร์.....ลายมือชื่อ นิสิต.....
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5170535421: MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : GRAFT COPOLYMER / CARBOXYMETHYL CELLULOSE / ACRYLAMIDE / GAMMA IRRADIATION

AURARUK CHANTHAWONG: SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SUPERABSORBENT POLYMER PREPARED FROM POLYACRYLAMIDE GRAFTED ONTO CARBOXYMETHYL CELLULOSE BY GAMMA IRRADIATION FOR CONTROLLED RELEASE OF AGROCHEMICAL. ADVISOR: ASST. PROF. DOONYAPONG WONGSAWAENG, Ph. D., CO- ADVISOR: PHIRIYATORN SUWANMALA, Ph. D., 116 pp.

Graft copolymerization of polyacrylamide onto carboxymethyl cellulose by a simultaneous irradiation technique using gamma-ray were studied. Various parameters of importance namely total dose (kGy), amount of carboxymethyl cellulose, degree substitution of carboxymethyl cellulose, amount of acrylamide monomer and methylene bis acrylamide were put to study the effect to grafting reaction. The degree of grafting and grafting efficiency in relation with swelling ratio of the product were investigated. The result of this study revealed that the degree of grafting and grafting efficiency is directly to total dose, degree substitution of carboxymethyl cellulose, amount of acrylamide monomer and methylene bis acrylamide increase but decreased with the increase of carboxymethyl cellulose. Graft copolymer gave the maximum swelling ratio at total dose of 2 kGy, 5 g of carboxymethyl cellulose, degree substitution of carboxymethyl cellulose 1.2, 6 g of acrylamide monomer and 0.25 g of methylene bis acrylamide. The degree of grafting of 121.73 and grafting efficiency of 101.22. The swelling ratio was 190 g/g dry of gel and release of potassium nitrate 45.58 % in 7 days.

Department : Nuclear Engineering Student's Signature

Field of Study : Nuclear Technology Advisor's Signature

Academic Year : 2011 Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อเสนอแนะ ให้คำปรึกษาที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ และ ดร.พิริยาทร สุวรรณมาลา ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อเสนอแนะ ให้คำปรึกษาที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการให้ความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ประธานกรรมการสอบรองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ให้ทุนในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.เกศินี เหมวิเชียร สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวัด DSC และ TGA ของตัวอย่าง ขอขอบพระคุณคุณสุนทร นวลชม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวัดการทนแรงกดของตัวอย่าง ขอขอบพระคุณคุณอารักษ์ ฟู้อยู่ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการฉายรังสีแกมมา

ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่เป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งตลอดทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคุณนิภาวรรณ ปรมาธิกุล คุณจตุพล แสงสุริยัน คุณวิราณี ศรีเวียง ผู้ซึ่งเป็นผู้บังคับบัญชาที่ให้โอกาสไปศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิต และคอยให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ พร้อมทั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือกันมาตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา.....	11
2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี (Modification of Polymer by Radiation)	13
2.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน.....	14
2.3.1 พอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว.....	14
2.3.2 พอลิเมอไรเซชันแบบขั้นหรือแบบควบแน่น.....	15
2.3.3 พอลิเมอไรเซชันแบบไอออนิกและแบบโคออร์ดิเนชัน.....	15
2.4 พอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา (Polymerization Induced by Gamma-	

บทที่	หน้า
rays).....	16
2.4.1 Initiation.....	17
2.4.2 Propagation.....	18
2.4.3 Termination.....	18
2.5 การใช้ประโยชน์จากกระบวนการทางรังสี.....	19
2.6 ปัจจัยที่เป็นข้อดีของกระบวนการทางรังสีเปรียบเทียบกับวิธีปกติ.....	19
2.7 ความหมายของพอลิเมอร์ดูดซึมมาก.....	19
2.8 โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer)	21
2.8.1 พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymers)	21
2.8.2 พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ (Alternating copolymers)	21
2.8.3 พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (Block copolymers)	22
2.8.4 พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่ง (Graft copolymers)	22
2.9 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose).....	22
2.9.1 ระบบของปฏิกิริยา (reaction system) ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	24
2.9.2 ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	24
2.9.3 สมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	26
2.9.4 การใช้ประโยชน์จากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	28
2.10 อะคริลาไมด์.....	31
2.10.1 พอลิเมอร์ไฮดรอกซิลของอะคริลาไมด์โดยรังสีแกมมา.....	32
2.11 เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์.....	33
3. วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	35
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์.....	35
3.3 สารเคมี.....	36
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.4.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	36
3.4.1.1 การศึกษาผลของปริมาณรังสีต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์	

โคพอลิเมอร์ไอเซชัน.....	36
3.4.1.2 การศึกษาผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการเกิดปฏิกิริยากกราฟต์โคพอลิเมอร์ไอเซชัน.....	37
3.4.1.3 การศึกษาผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการเกิดปฏิกิริยากกราฟต์โคพอลิเมอร์ไอเซชัน.....	38
3.4.1.4 การศึกษาผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการเกิดปฏิกิริยากกราฟต์โคพอลิเมอร์ไอเซชัน	38
3.4.1.5 การศึกษาผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการเกิดปฏิกิริยากกราฟต์โคพอลิเมอร์ไอเซชัน.....	39
3.4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	39
3.4.2.1 เทคนิค FTIR.....	39
3.4.2.2 เทคนิค DSC.....	39
3.4.2.3 เทคนิค TGA.....	40
3.4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	40
3.4.3.1 เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ (% grafting และ grafting efficiency).....	40
3.4.3.2 การทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Swelling Ratio)	41
3.4.3.3 Gel fraction.....	41
3.4.3.4 Gel strength.....	42
3.4.3.5 %Loading of KNO ₃	43
3.4.4 การทดสอบผลของตัวแปรต่างๆ ต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	44
3.4.4.1 ผลของเวลาต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์...	44
3.4.4.2 ผลของความเข้มข้นและชนิดของตัวกลางต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	44
3.4.4.3 ผลของความเป็นกรดต่างของตัวกลางต่อการสัดส่วนบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	44

บทที่	ญ หน้า
3.4.5 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	45
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
4.1 ผลของตัวแปรต่างๆ ต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไอเซน.....	46
4.2 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	51
4.2.1 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค FTIR.....	51
4.2.2 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค DSC.....	53
4.2.3 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค TGA.....	53
4.3 ผลการทดสอบ Swelling Ratio ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้.....	55
4.3.1 ผลของปริมาณรังสีต่อ swelling ratio.....	55
4.3.2 ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อ swelling ratio.....	56
4.3.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อ swelling ratio.....	57
4.3.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อ swelling ratio.....	58
4.3.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อ swelling ratio.....	58
4.4 ผลการทดสอบ Gel fraction ของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	59
4.5 ผลการทดสอบ Gel strength ของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	60
4.6 ผลของความเข้มข้นและ Ionic strength ของตัวกลางต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	61
4.7 ผลของเวลาต่อการบวมตัวในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	62
4.8 ผลของความเป็นกรดต่างของสารละลายต่อการบวมตัวในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	63
4.9 ผลการทดสอบการไหล KNO ₃ ของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	64
4.10 ผลการทดสอบการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	68
4.10.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ.....	68
4.10.2 ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ.....	69
4.10.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ.....	69
4.10.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ.....	70

บทที่	หน้า
4.10.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO_3 ใน น้ำ.....	71
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	72
5.2 การบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	72
5.3 การไหลดโพแทสเซียมไนเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	72
5.4 การปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	73
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	116

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของพอลิเมอร์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อได้รับรังสีในสุญญากาศ.....	14
2.2	ชนิดของพอลิเมอร์ดูดซึ่มมาก.....	20
2.3	สมบัติบางประการของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีค่า DS เท่ากับ 0.7.....	26
2.4	คุณลักษณะ (specification) ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสำหรับการ ประยุกต์ใช้งานต่างๆ.....	29
2.5	คุณสมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ต่างๆ.....	29
2.6	สมบัติทางกายภาพของอะครีลาไมด์.....	31
4.1	ผลของปริมาณรังสีต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์.....	46
4.2	ผลของ degree of substitution (DS) ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการ เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์.....	47
4.3	ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิ- เมอร์.....	48
4.4	ผลของปริมาณอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์	49
4.5	ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะครีลาไมด์ต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์	50
4.6	ผลสัดส่วนเจลของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	60

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ลักษณะของพอลิเมอร์ดูดซึ่มมาก.....	2
1.2	กระบวนการฉายรังสีตัวดูดซับโลหะ.....	2
1.3	การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	3
1.4	การเกิดปฏิกิริยากาRAFT โคพอลิเมอร์ไฮเซชันของครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	4
2.1	รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	11
2.2	การสลายตัวของโคบอลต์-60.....	12
2.3	การเชื่อมโยงข้าม (crosslinking) ของพอลิเมอร์.....	13
2.4	การต่อกิ่ง (grafting) ของพอลิเมอร์.....	13
2.5	การตัดทอนโมเลกุล (degradation) ของพอลิเมอร์.....	13
2.6	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม.....	21
2.7	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ.....	22
2.8	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก.....	22
2.9	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง.....	22
2.10	โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มี DS เท่ากับ 1.0.....	23
2.11	ปฏิกิริยาการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	25
2.12	โครงสร้างของอะคริลาไมด์.....	31
2.13	ขั้นตอน Initiation ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไฮเซชันของอะคริลาไมด์มอนอเมอร์.....	32
2.14	ขั้นตอน Propagation ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไฮเซชันของอะคริลาไมด์มอนอเมอร์.....	32
2.15	ขั้นตอน Termination ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไฮเซชันของอะคริลาไมด์มอนอเมอร์.....	33
2.16	โครงสร้างของเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์.....	33
2.17	การเกิดครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ด้วยเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์.....	34
3.1	การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	37
3.2	ชุดสกัดชอกเกต.....	42
3.3	เครื่องมือวิเคราะห์ Universal Testing Machine (Model 4502).....	43

ภาพที่	หน้า
4.1	ผลของปริมาณรังสีต่อ % grafting และ grafting efficiency 46
4.2	ผลของ DS ของ CMC ต่อ % grafting และ grafting efficiency..... 47
4.3	ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ต่อ % grafting และ grafting efficiency..... 48
4.4	ผลของปริมาณอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ ต่อ % grafting และ grafting efficiency..... 50
4.5	ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ต่อ % grafting และ grafting efficiency..... 51
4.6	FTIR สเปกตรัมของ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส อะคริลาไมด์และตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 52
4.7	เทอร์โมแกรม DSC ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 53
4.8	เทอร์โมแกรม TGA ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 54
4.9	เทอร์โมแกรม dTGA ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 55
4.10	ผลของปริมาณรังสีต่อสัดส่วนการบวมน้ำ..... 55
4.11	ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสัดส่วนการบวมน้ำ..... 56
4.12	ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสัดส่วนการบวมน้ำ..... 57
4.13	ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำ..... 58
4.14	ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำ..... 59
4.15	ผลการทดสอบ Gel strength ของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 60
4.16	ผลของ ionic strength ต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 61
4.17	ผลของเวลาต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 62
4.18	ผลของความเป็นกรดต่างของสารละลาย ต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 63
4.19	ผลของปริมาณรังสีต่อการไหลของ KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 64

ภาพที่	หน้า
4.20	ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการไหลต KNO ₃ ของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 65
4.21	ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการไหลต KNO ₃ ของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 65
4.22	ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการไหลต KNO ₃ ของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 66
4.23	ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการไหลต KNO ₃ ของกราฟต์โคพอลิเมอร์..... 67
4.24	ผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ..... 68
4.25	ผลของ DS ของ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ..... 69
4.26	ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ..... 69
4.27	ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ..... 70
4.28	ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO ₃ ในน้ำ..... 71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

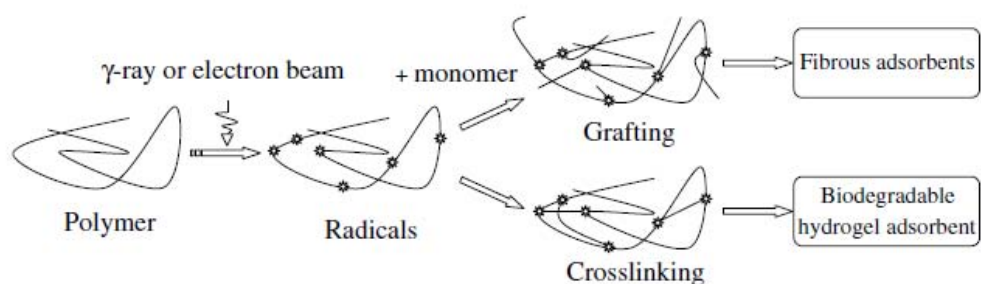
ปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกบางพื้นที่ในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินร่วนหรือดินทรายเกิดจากตะกอนเก่าที่แม่น้ำลำธารไหลมาทับถมกันไว้เป็นเวลานาน แม้จะมีระบบน้ำดี แต่การอุ้มน้ำไม่ดี จึงขาดความอุดมสมบูรณ์ นอกจากนี้พื้นที่ประมาณ 1 ใน 6 ของภาคนี้ยังเป็นดินเค็ม ซึ่งเกิดจากการสะสมของเกลือใต้ผิวดิน ดินที่อุดมสมบูรณ์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเฉพาะบริเวณที่ลุ่มแม่น้ำเท่านั้น ซึ่งน้อยเมื่อเทียบสัดส่วนกับพื้นที่อันกว้างใหญ่ ปัญหาดังกล่าวส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรมีปริมาณต่ำ เกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้เคมีการเกษตร เช่น ปุ๋ย ในปริมาณที่สูง ทำให้เกิดการปนเปื้อนของเคมีการเกษตรในแหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม การใช้เคมีการเกษตรและน้ำในปริมาณมากทำให้ต้นทุนในการทำการเกษตรสูง จึงจำเป็นต้องลดปริมาณเคมีการเกษตรและน้ำ ขณะที่ให้ผลผลิตทางการเกษตรดีขึ้น

พอลิเมอร์ดูดซึ่มมาก เป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โครงสร้างโมเลกุลมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่มีช่องว่างภายในโมเลกุล ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไฮโดรฟิลิกที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) [1] เป็นต้น มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำได้ในปริมาณมาก สามารถทำให้น้ำแพร่ผ่านเยื่อของเจลในลักษณะของไอน้ำและความชื้น โดยพอลิเมอร์ดูดซึ่มมากทำหน้าที่เสมือนแหล่งกักเก็บน้ำให้กับพืช ทำให้สามารถลดการบริโภคน้ำของพืช และเมื่อผสมพอลิเมอร์ดูดซึ่มมากกับเคมีการเกษตร เคมีการเกษตรสามารถแพร่ผ่านเยื่อของเจลในอัตราการแพร่ที่ต่ำ ทำให้สามารถป้องกันการสูญเสียเคมีการเกษตร ลดปัญหาการใช้เคมีการเกษตรที่มากเกินไปจนความจำเป็น ทำให้ลดต้นทุนในการทำการเกษตรและสามารถลดปัญหามลพิษทางน้ำ รวมถึงการลดปริมาณการใช้น้ำในการทำการเกษตร แต่ให้ผลผลิตทางการเกษตรสูงและมีประสิทธิภาพ



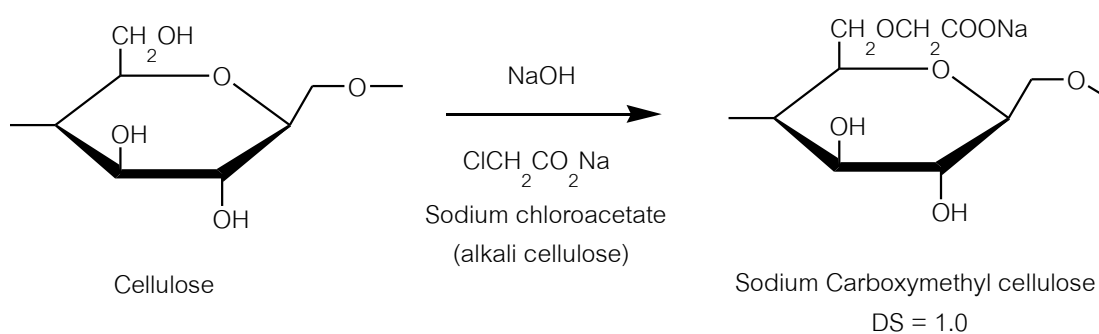
ภาพที่ 1.1 ลักษณะของพอลิเมอร์ดูดซึ้มมาก

กระบวนการทางรังสี (Radiation Processing) ถูกนำมาใช้ในการดัดแปรพอลิเมอร์ต่างๆ มากมาย [1-6] เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่าย ประหยัดพลังงาน สามารถทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ควบคุมปฏิกิริยาได้ดีกว่ากระบวนการทางเคมี ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารริเริ่มปฏิกิริยา การใช้รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชัน โดยการฉายรังสีให้กับพอลิเมอร์ที่สนใจจะทำให้หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ที่สามารถหลุดออกได้ง่าย หลุดจากสายโซ่ของพอลิเมอร์ ทำให้ตำแหน่งของพอลิเมอร์นั้นเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากลายเป็นจุดตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ สามารถนำหมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติต่างๆ เชื่อมต่อกับสายโซ่พอลิเมอร์หลักแบบตอกิ่ง ทำให้เกิดเป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์เส้นใหม่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์เส้นเดิม หลังจากนั้นใช้กระบวนการทางเคมีดัดแปรคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันให้มีคุณสมบัติเฉพาะเจาะจงกับการใช้งาน ทำให้สังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติหลากหลายสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ [7-10]



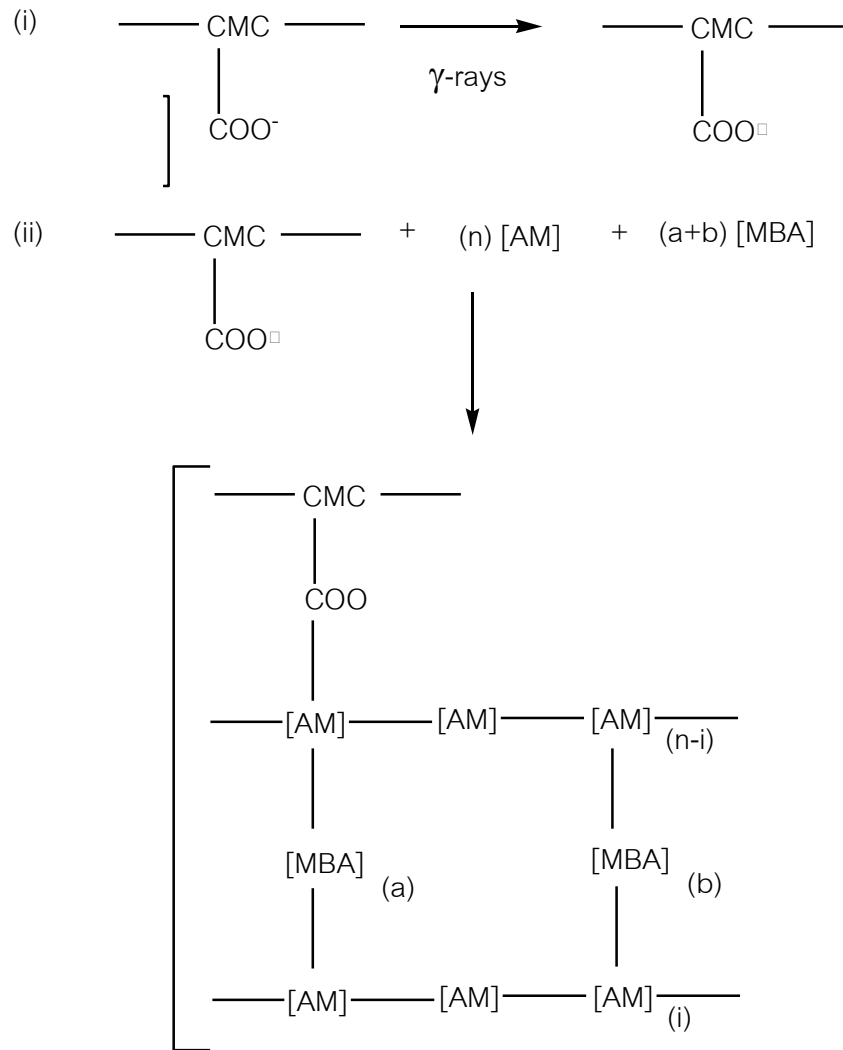
ภาพที่ 1.2 กระบวนการฉายรังสีพอลิเมอร์เพื่อประยุกต์ใช้งานต่างๆ [10]

กระบวนการทางเคมีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ การแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ฟังก์ชันอื่น เช่น คาร์บอกซีเมทิล (Carboxymethyl) ในโครงสร้างของเซลลูโลส (ภาพที่ 1.1) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสในรูปของเกลือ sodium เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบและละลายได้ในน้ำ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ ไม่เป็นอันตราย ไม่ระคายเคืองผิวหนัง ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี ทั้งในน้ำร้อน และ น้ำเย็น ได้ สารละลายที่มีความหนืด มีสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและเป็นสารคงสภาพ (stabilizer) ซึ่งจะช่วยในการกระจายอนุภาค รวมทั้งสารยึดเกาะ (binder) ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) และ ทิกเคนเนอร์ (Thickener) โดยทำหน้าที่ช่วยให้ส่วนผสมต่างๆ เข้ากันได้ดี และเพิ่มความข้น เป็นส่วนผสมในผงซักฟอก สบู่ สีย้อมผ้า ยาลูกอม เครื่องสำอาง สามารถนำมาใช้ในการผลิตพอลิเมอร์เฉพาะทางเช่น ไฮโดรเจล (Hydrogel) เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl, -COOH) ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออน (Ionize) ได้ ไฮโดรเจลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการเกษตรกรรมเพื่อรักษาความชื้นของดิน



ภาพที่ 1.3 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

งานวิจัยนี้ จะทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ดูดซึ่มมากชนิดใหม่ที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยเคมีเกษตร โดยการกราฟต์สายโซ่ของครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ (Crosslinked Polyacrylamide) ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) โดยการฉายรังสีแกมมา และมี N, N' -methylene bis acrylamide (MBA) เป็น crosslinking agent (รูปที่ 1.4) แสดงการกราฟต์โคพอลิเมอร์ไฮเซชันของการกราฟต์สายโซ่ของครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ (Crosslinked Polyacrylamide) ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยการฉายรังสีแกมมาและมี N, N' -methylene bis acrylamide (MBA) เป็น crosslinking agent



ภาพที่ 1.4 การเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไซันของโครสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยการฉายรังสีแกมมา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสังเคราะห์พอลิเมอร์ดูดซึ่มมากจากการกราฟต์พอลิอะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยการฉายรังสีแกมมาที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยเคมีเกษตร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 หาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ ประกอบด้วย Degree of Substitution ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, ปริมาณมอนอเมอร์อะคริลาไมด์, ปริมาณ crosslinking agent (MBA) และปริมาณรังสี

1.3.2 พิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy, DSC (Differential Scanning Calorimeter), TGA (Thermo gravimetric Analysis)

1.3.3 หาคูณสมบัติทางกายภาพของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ %Grafting, Grafting Efficiency, Swelling Ratio, Gel fraction, Gel strength และ %Loading of KNO_3

1.3.4 หาเงื่อนไขในการดูดซับน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ประกอบด้วย ความเป็นกรดต่างของตัวกลาง เวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นของตัวกลาง และ ionic strength ของตัวกลาง

1.3.5 หาเงื่อนไขต่างๆ ที่ทำให้ KNO_3 ถูกปลดปล่อยออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบและจัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.3 สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยการฉายรังสีแกมมาโดยศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน ประกอบด้วย

- ปริมาณรังสี
- Degree of Substitution ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
- ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
- ปริมาณมอนอเมอร์อะคริลาไมด์
- ปริมาณ crosslinking agent (MBA)

- 1.4.4 พิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy, DSC (Differential Scanning Calorimeter), TGA (Thermo gravimetric Analysis)
- 1.4.5 หาคคุณสมบัติทางกายภาพของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยหาค่าต่างๆ ดังนี้
- % Grafting
 - % Grafting Efficiency
 - Swelling Ratio
 - Gel fraction
 - Gel strength
 - % Loading of KNO_3 โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Method)
- 1.4.6 หาเงื่อนไขในการดูดซับน้ำและการปลดปล่อย KNO_3 จากกราฟต์โคพอลิเมอร์ ดังนี้
- ความเป็นกรดต่างของตัวกลาง
 - เวลาในการดูดซับ
 - ความเข้มข้น และ ionic strength ของตัวกลาง
- 1.4.7 หาเงื่อนไขต่างๆ ที่ทำให้ KNO_3 ถูกปลดปล่อยออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์
- 1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล
- 1.4.9 เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ดูดซึมมากที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยเคมี
เภสัช

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 Benamer S. และคณะ [2] ทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลพอลิไวนิลไพโรลิโดนโดยการฉายรังสีแกมมาเพื่อให้เกิดการเชื่อมขวาง พบว่าสัดส่วนเจลเพิ่มเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพอลิไวนิลไพโรลิโดนและปริมาณรังสี แต่การบวมน้ำของไฮโดรเจลลดลง การเกิดเจลและสัดส่วนของการเกิดสลายตัว (degradation yield) ต่อการเกิดการเชื่อมขวาง (crosslinking yield) มีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้ออกซิเจนร่วมในการฉายรังสี การทดสอบทางจุลชีววิทยาพบว่าไฮโดรเจลช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี

1.6.2 Hong C. และคณะ [6] ทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลด้วยปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของไอโซไพริลอะคริลาไมด์ลงบนไคโตซานโดยการฉายรังสีแกมมา พบว่าเปอร์เซ็นต์กราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณไอโซไพริลอะคริลาไมด์และปริมาณรังสี ไฮโดรเจลมีความใส (transparency) ลดลงตามอุณหภูมิ สัดส่วนการบวมน้ำเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์กราฟต์ แต่ลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากไอโซไพริลอะคริลาไมด์ไม่ไวต่อ pH

1.6.3 Peng, C. และคณะ [11] ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ดูดซึมน้ำมากโดยการทำปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอไรเซชันกรดอะคริลิกและอะคริลาไมด์บนแป้งที่ผลิตจากกล้วย โดยการฉายรังสีแกมมาและใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็น crosslinking agent พบว่าการดูดซึมน้ำของโคพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับค่า conductivity ของน้ำ การเก็บรักษา น้ำของทรายและดินเพิ่มขึ้นเมื่อมีพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำสูง พอลิเมอร์ดูดซึมน้ำมากสามารถดูดซึมน้ำได้ 2000 กรัมต่อน้ำหนักหนึ่งกรัมแห้งของโคพอลิเมอร์ ผลการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำช่วยการงอกของเมล็ดพืชและการเติบโตของต้นอ่อน

1.6.4 Bajpai, A.K. และคณะ [12] ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ดูดซึมน้ำมากโดยการทำปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอไรเซชันสายโซ่ของครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ (Crosslinked Polyacrylamide) ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ potassium persulfate เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา และมี N, N' -methylene bis acrylamide (MBA) เป็น crosslinking agent การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำมากเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำของโคพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดต่างและ ionic strength ของสารละลายตัวกลาง การปลดปล่อย potassium nitrate ที่ถูกดักจับอยู่ในโคพอลิเมอร์น้อยลงเมื่อ crosslink density ของโคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นโดยสัมพันธ์กับผลการทดสอบการบวมตัว

1.6.5 ยิงศักดิ์ ไกรพินิจ และคณะ [13] ทำการเตรียมเจลแบ่งจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งพุทธรักษา ซึ่งสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของแป้งกับสารซัคซินิคแอนไฮไดรด์ โดยมี 4-ไดเมทิลอะมิโนไพรีดินเป็นสารเร่งปฏิกิริยา พบว่าการเตรียมเจลแบ่งโดยใช้อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้เม็ดแป้งแตกและกระจายตัวได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 95 °C เมื่อนำเจลแบ่งที่ได้ไปสังเคราะห์ไฮโดรเจล พบว่าไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากเจลแบ่งซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 121 °C มีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงกว่าที่สังเคราะห์จากเจลแบ่งซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 95 °C และไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมจากแป้งพุทธรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรเจลจากเจลแบ่งพุทธรักษาซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 121 °C โดยเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนจาก 15 นาที เป็น 60 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นอย่างชัดเจน

1.6.6 ทองใส จันทนาการ และคณะ [14] ได้ทำการสังเคราะห์ปุ๋ยที่ควบคุมการปลดปล่อยได้หลายชนิดในรูปของพอลิเมอร์ไฮโดรเจล ซึ่งเตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และ ไคโตซาน (CS) ในอัตราส่วนต่างๆ ผสมกับสารละลายปุ๋ย ซึ่งประกอบด้วยแอมโมเนียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรต และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต มีสารละลายเชื่อมขวาง (crosslink solution) เป็นส่วนผสมของเมทานอล กรดอะซิติก กลูตารัลดีไฮด์ และกรดซัลฟิวริก ซึ่งปุ๋ยที่ได้สามารถบวมตัวในน้ำได้ถึงร้อยละ 130-300 ขึ้นกับโครงสร้างของไฮโดรเจลนั้น โดยดินที่มีปุ๋ยไฮโดรเจลช่วยกักเก็บน้ำได้สูงสุดถึงร้อยละ 25 เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน ในขณะที่ดินซึ่งไม่มีปุ๋ยชนิดนี้มีน้ำเหลืออยู่น้อย ปุ๋ยที่สังเคราะห์จาก PVA-hydrogel มีปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารสะสมมากที่สุดใต้น้ำ และปุ๋ยที่สังเคราะห์จาก CS- hydrogel มีปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารสะสมมากที่สุดใต้น้ำ

1.6.7 Yebang T. และคณะ [15] ทำการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ไซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (NaCMC) ด้วยอะคริลาไมด์ (AM) และไดเมทิลอะมิโนเอทิลเมทิลอะครีเลต (DMAEMA) โดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) และเตตระเมทิลเทตินโดเอมีน (TMEDA) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ศึกษา grafting yield (G%) graft efficiency (E%) และ monomer graft conversion (C%) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaCMC AM และ DMAEMA C% และ G% มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ AM และ DMAEMA จนถึงค่าค่าหนึ่ง ค่า C% และ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ G% ลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของ AM และ DMAEMA ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยากับ NaCMC

1.6.8 Youming C. และคณะ [16] ทำการสังเคราะห์กราฟต์อะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอนซีเมทิลสตาร์ชด้วยปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยมีเซอริกแอมโมเนียมไนเตรตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา เตรียมคาร์บอนซีเมทิลสตาร์ชด้วยสตาร์ช เมทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดคลอโรอะซิติก 80% ในน้ำ พบว่าคาร์บอนซีเมทิลสตาร์ชที่เตรียมได้มีค่า SD ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เท่ากับ 0.75 การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณอะคริลาไมด์ในกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยสามารถดูดซึมน้ำได้สูงสุด 350 กรัมต่อกรัมพอลิเมอร์แห้ง

1.6.9 Biswal D.R. และ Singh R.P. [17] ทำการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยการทำปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันพอลิอะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้เซอริกแอมโมเนียมไนเตรต เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ศึกษาคุณลักษณะของคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส พอลิอะคริลาไมด์ และพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำมาก ด้วยเทคนิค Elemental analysis, IR spectroscopy, rheological studies, SEM, thermogravimetric analysis และ XRD พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณอะคริลาไมด์ความหนืดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ปริมาณเซอริกแอมโมเนียมไนเตรตมีผลต่อการเกิดกราฟต์และขนาดของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์ อัตราแรงเฉือน (shear rate) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดลดลง

1.6.10 Behari K. และคณะ [18] ทำการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยการทำปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันอะคริลาไมด์ลงบนยางที่ได้จากการย่อยสลายของแบคทีเรีย (xanthan gum) ด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์โดยใช้สารละลาย Fe^{2+}/BrO_3^- ศึกษา grafting ratio (%G), efficiency (%E), add on (%A), conversion (%C) และ homopolymer (%H) พบว่าทุกพารามิเตอร์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออน ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโบรมเฮไลดอนและ xanthan gum ส่งผลให้ %G %E, %A และ %C ลดลง การสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ 4.0×10^{-3} M อุณหภูมิ $35^{\circ}C$ ให้ประสิทธิภาพการกราฟต์สูงสุด

1.6.11 Bothaina Abd E.H. และ Maha M. I. [19] ทำการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยการทำปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันอะคริลาไมด์ลงบนสารผสมระหว่างคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสและโซเดียมไบซัลเฟต ใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาในน้ำ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไดออกเซนที่อุณหภูมิ 40 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง isolate ด้วยไดเอทิลอีเทอร์ ศึกษาคุณลักษณะของคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส พอลิอะคริลาไมด์ และกราฟต์โคพอลิเมอร์ ด้วยเทคนิค IR spectroscopy, mass

spectroscopy และ SEM เปรอ์เซ็นต์กราฟต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไดออกเซน แต่ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

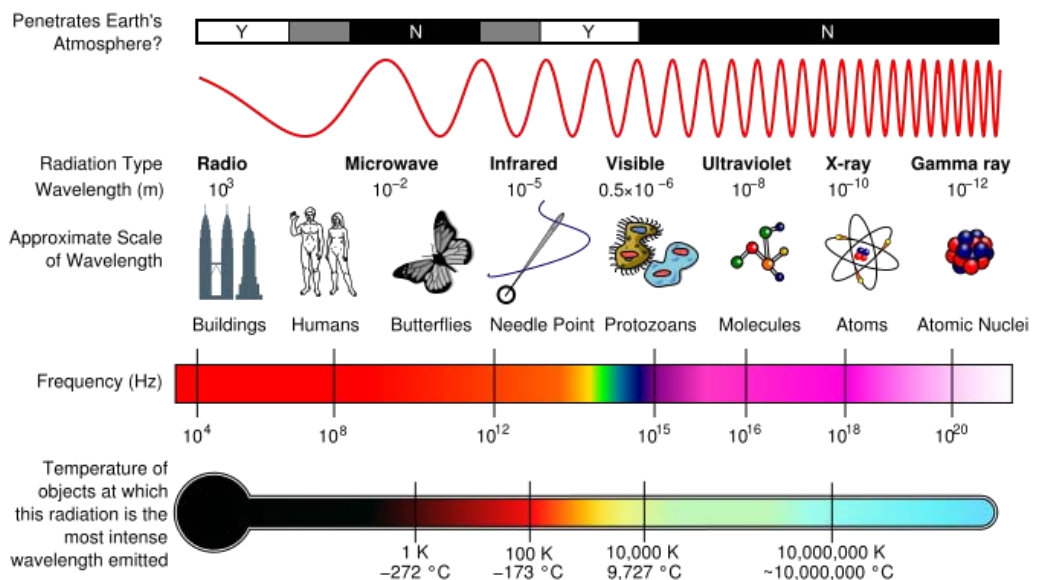
รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ที่มีสภาวะเป็นกลุ่มพลังงานที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง ไม่มีประจุ ไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า มีความเร็วเท่ากับแสง มีขนาดพลังงานแปรตามความถี่ (frequency) ของรังสีนั้นๆ ซึ่งพลังงานของรังสีขึ้นอยู่กับชนิดของไอโซโทปกัมมันตรังสี และชนิดของปฏิกิริยานิวเคลียร์

$$E = h \nu$$

เมื่อ E คือ พลังงานของรังสีแกมมา (eV)

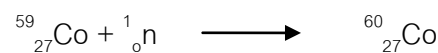
h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant = 4.135×10^{-15} eV.s)

ν คือ ความถี่ของคลื่น (sec^{-1})

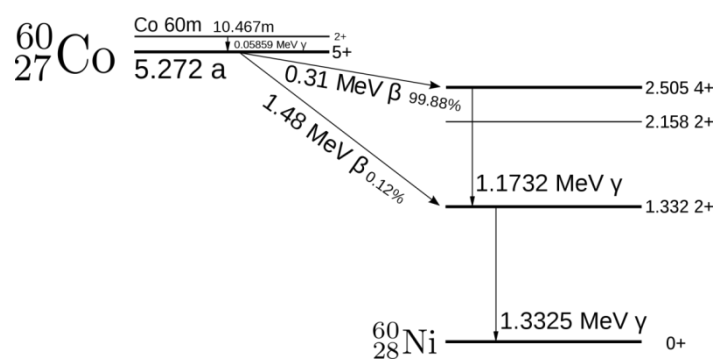


ภาพที่ 2.1 รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ในงานวิจัยนี้ จะใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 เนื่องจากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับไอโซโทปอื่น ๆ ที่แผ่รังสีชนิดเดียวกัน และมีครึ่งชีวิตที่พอเหมาะ คือ 5.25 ปี มีความคงทนภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณรังสีสูงและสามารถใช้งานได้ แม้กระทั่งในอุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส โคบอลต์-60 ผลิตได้เองจากการนำโคบอลต์-59 ไปอาบรังสีนิวตรอน (neutron activation) ในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ดังนี้



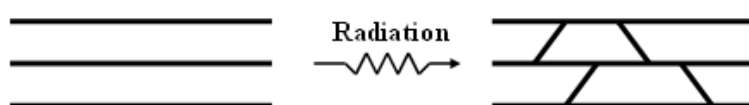
โคบอลต์-60 สลายตัวปลดปล่อยอนุภาคเบตา พลังงาน 0.31 MeV และให้รังสีแกมมา 2 โฟตอนต่อการสลายตัวหนึ่งนิวเคลียส โดยพลังงานโฟตอนทั้งสอง เท่ากับ 1.17 และ 1.33 MeV ตามลำดับ หรือคิดเฉลี่ยให้พลังงานโฟตอน 1.25 MeV ต่อการสลายตัวหนึ่งครั้ง ในกระบวนการฉายรังสีทางอุตสาหกรรมจะใช้ต้นกำเนิดโคบอลต์-60 ที่ให้ความแรงแรงรังสีระดับหมื่นหรือแสนคูรี ลักษณะของต้นกำเนิดอาจเป็นทรงกระบอก เป็นแผ่น เป็นเม็ดบรรจุในท่อเหล็กกล้าไร้สนิมหรือแบบอื่นๆ ตามแต่ความสะดวกและความประสงค์ของผู้ใช้งาน กล่าวโดยสรุป ความเหมาะสมของการใช้โคบอลต์-60 ในอุตสาหกรรม ได้แก่ การให้รังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง (43.2 เซนติเมตรต่อ 1 MeV) ฉายรังสีได้อย่างต่อเนื่อง เสื่อมสภาพได้ช้าและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนเสริมต้นกำเนิดบ่อยครั้ง [20]



ภาพที่ 2.2 การสลายตัวของโคบอลต์-60

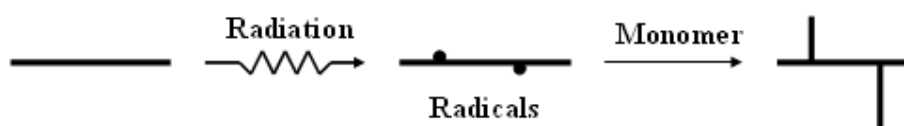
2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี (Modification of Polymer by Radiation)

เมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสี (Irradiation) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์ เช่น เกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linking) คือ การเกิดพันธะเคมีที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ โครงสร้างมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น เมื่อเกิดการเชื่อมโยงข้ามจะทำให้พอลิเมอร์มีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น มีความเหนียว มีความแข็งแรง หรือมีความทนทานต่อสารเคมี เป็นต้น



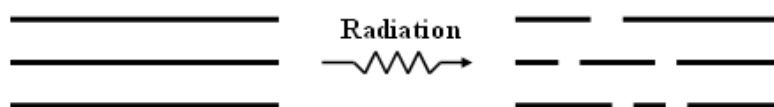
ภาพที่ 2.3 การเชื่อมโยงข้าม (cross-linking) ของพอลิเมอร์

การต่อกิ่ง (grafting) คือ การต่อมอนอเมอร์ต่างชนิดเข้ากับพอลิเมอร์ที่สนใจ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่สนใจไปฉายรังสีจะทำให้หมู่ฟังก์ชัน (functional group) อาจหลุดจากสายโซ่ของพอลิเมอร์และกลายเป็นจุดตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ ทำให้เกิดเป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์เส้นใหม่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์เส้นเดิม ซึ่งวิธีนี้มีประโยชน์มากสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพอลิเมอร์ [21]



ภาพที่ 2.4 การต่อกิ่ง (grafting) ของพอลิเมอร์

การตัดทอนโมเลกุล (degradation) คือการทำให้แตกสลายของพันธะเคมี ซึ่งทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง



ภาพที่ 2.5 การตัดทอนโมเลกุล (degradation) ของพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.1 ชนิดของพอลิเมอร์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อได้รับรังสีในสุญญากาศ [22]

Cross-linking	Degradation
Polyethylene	Polyvinyl alcohol
Polypropylene	Polyisobutylene
Poly (vinyl fluoride)	Polytetrafluoroethylene
Poly (vinyl chloride)	Polytrifluoroethylene
Polystyrene	Polymethacrymide
Polyethylene oxide	Polymethacrylic acid
Natural rubber	Polymethacrylonitrile
Polyamides	Poly (methyl methacrylate)
	Cellulose
	Cellulose acetate
	Cellulose nitrate

2.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน [23] (Polymerization) คือ ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ ซึ่งปฏิกิริยาหลักมี 3 ประเภทดังนี้

2.3.1 พอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว (chain or addition polymerization) กลไกหลักของการเกิดปฏิกิริยานี้ เป็นแบบอนุมูลอิสระ (Radical Polymerization) สารริเริ่ม (initiator) ที่นิยมใช้เป็นสารพวก เปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (organic peroxide) และ เปอร์ออกไซด์อนินทรีย์ (inorganic peroxide) แบ่งขั้นตอนของปฏิกิริยาได้ดังนี้

- ขั้นเริ่มต้นเส้นสาย (Chain initiation)
- ขั้นขยายเส้นสาย (Chain propagation)
- ขั้นยุติปฏิกิริยา (Chain termination)

ปฏิกิริยาเริ่มต้นด้วยอนุมูลอิสระ และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปจนกระทั่งถึงขั้นยุติปฏิกิริยา การใช้อนุมูลอิสระเป็นตัวเริ่ม ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนี้ เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การผลิตพีวีซี พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR) พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Perspex)

2.3.2 พอลิเมอไรเซชันแบบขั้นหรือแบบควบแน่น (step or condensation polymerization) โดยทั่วไปใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิด ที่มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวสองหมู่ในโมเลกุล กลไกการเกิดปฏิกิริยาไม่แตกต่างกับการเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นของโมเลกุล เล็ก ๆ เช่น ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) มอนอเมอร์กลุ่มสำคัญที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น กลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก, กลุ่มอะมีน และกลุ่มอะซิดแอนไฮไดรต์ เป็นต้น พอลิเมอร์ที่สำคัญทางการค้า เช่น พอลิเอสเทอร์จากเอทิลีนไกลคอล และไดเมทิลทาเรพทาเลต และเส้นใยไนลอน ซึ่งเป็นพอลิเอไมด์ เป็นต้น แต่ถ้าเป็นมอนอเมอร์ที่แสดงสมบัติเฉพาะตัวมากกว่า 2 หมู่ โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ได้จะเกิดเป็นกิ่งก้านสาขา และกิ่งก้านสาขานั้นอาจเกิดการเชื่อมโยงภายในโมเลกุลหรือกับโมเลกุลอื่น เกิดเป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยง (crosslinked polymer) หรือ พอลิเมอร์แบบร่างแห (network polymer)

2.3.3 พอลิเมอไรเซชันแบบไอออนิกและแบบโคออร์ดิเนชัน (Ionic and Coordination Polymerization) พอลิเมอไรเซชันแบบไอออนิก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. การเกิดพอลิเมอไรเซชันด้วยการเติมแคตไอออน (Cationic Polymerization)

เนื่องจากมอนอเมอร์บางตัวมีโอกาสที่จะรับโปรตอน (H^+) ได้ง่าย เมื่อรับเข้าไปแล้วก็จะทำให้ตัวมันกลายเป็นแคตไอออนไป ซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปเกิดเป็นโมเลกุลยักซ์ชันได้ ปฏิกิริยานี้มีความไวมาก แม้ว่าจะมีสารที่เป็นตัวกำเนิดโปรตอนเพียง เล็กน้อยก็ตาม แต่เนื่องจากกระบวนการนี้จะ ต้องทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อที่จะให้ได้โมเลกุลใหญ่มาๆ ปฏิกิริยานี้จึงไม่เป็นที่นิยมนัก เนื่องจากการทำที่อุณหภูมิต่ำมักสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ทั้งนี้ยกเว้นการผลิตยางบิวทิล

2. การเกิดพอลิเมอร์ไอออนด้วยการเติมแอนไอออน (Anionic

Polymerization)

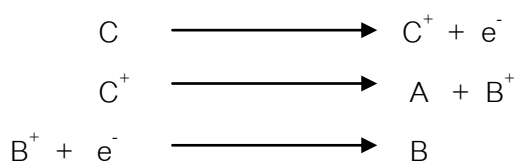
สารประเภทแอนไอออน หรือคาร์เบนไอออน (Carbanions) สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่มีพันธะคู่ได้โดยง่าย เมื่อเกิดการรวมตัวขึ้นก็จะทำให้โมเลกุลที่เกิดขึ้นใหม่เป็นแอนไอออนไปด้วย แล้วดำเนินปฏิกิริยาต่อไป เกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นๆ ส่วนใหญ่มักใช้โลหะเอไมด์ (Metal amides) โลหะแอลคอกไซด์ (Metal alkoxides) หรือโลหะอิสระ (Free metals) บางชนิดเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยานี้

พอลิเมอร์ที่สำคัญทางการค้า เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นพลาสติก ใช้ทำกระเบื้องยางและท่อ, พอลิอะคริโลไนไตรล์เป็นเส้นใย ใช้ทำผ้า และพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นพลาสติกใส ใช้ทำวัสดุใสแทนกระจก

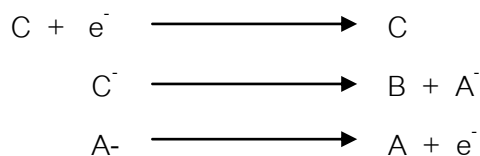
พอลิเมอร์ไอออนแบบโคออร์ดิเนชัน (Coordination Polymerization) เป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไอออนอีกแบบหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนแบบรวมตัวหรือแบบลูกโซ่เช่นกัน แต่เกิดโคออร์ดิเนชันระหว่างมอนอเมอร์กับสารประกอบโลหะอินทรีย์และสารประกอบโลหะทรานซิชันเฮไลด์ จึงเรียกว่าพอลิเมอร์ไอออนแบบโคออร์ดิเนชัน เกิดพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบ โดยใช้ตัวเร่งซีเกลอร์-เนตตา ซึ่งใช้ได้เฉพาะการเกิดพอลิเมอร์ไอออนมอนอเมอร์ที่ไม่มีสภาพขั้ว มอนอเมอร์ที่มีสภาพขั้วจะเกิดปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมแอลคิลก่อน ทำให้สารเชิงซ้อนที่จะเกิดลดลง [27]

2.4 พอลิเมอร์ไอออนด้วยรังสีแกมมา (Polymerization Induced by Gamma-rays)

เมื่อสารประกอบอินทรีย์ได้รับการฉายรังสีแกมมา โมเลกุลของสารจะถูกกระตุ้นให้แตกตัวเป็นไอออนและอนุมูลอิสระ [24] ดังต่อไปนี้



อิเล็กตรอนที่หลุดจากอะตอมอาจเข้าร่วมกับสารตั้งต้นได้แอนไอออน ซึ่งจะแตกตัวต่อไปได้อนุมูลอิสระตามลำดับปฏิกิริยาดังนี้

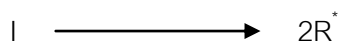


ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมาประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ 3 ขั้นตอนดังนี้

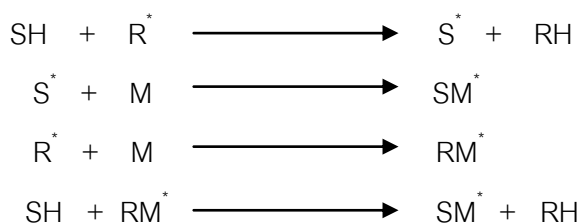
2.4.1 Initiation

เป็นกระบวนการเริ่มลูกโซ่ ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นโมเลกุลให้อยู่ในสภาวะไวต่อปฏิกิริยา หรือที่เรียกว่ากระบวนการสร้างแอกทีฟเซนเตอร์ (active center) ซึ่งเป็นตัวที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลาง แต่มี unshared electron เช่น พวกอนุมูลอิสระหรือ carbanion (-) carbanium (+) โดยวิธีการนี้จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1.1) การเกิดอนุมูลอิสระขึ้นในปฏิกิริยา



1.2) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของพอลิเมอร์

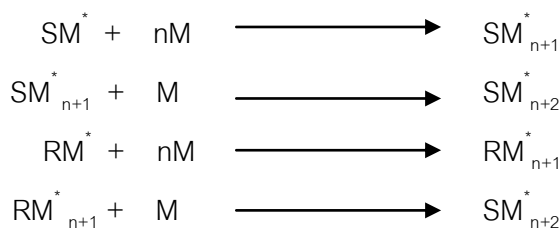


เมื่อ SH คือ สายโซ่หลัก

M คือ มอนอเมอร์

2.4.2 Propagation

เป็นขั้นตอนการเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์ โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์อีกตัวหนึ่ง ได้เป็นอนุมูลอิสระอีกตัวหนึ่ง ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวต่อไปทีละตัวอย่างรวดเร็ว



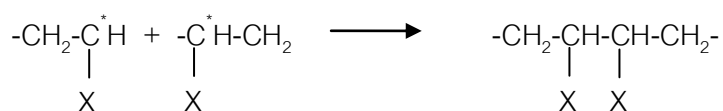
n แทนจำนวนหน่วยของมอนอเมอร์ที่รวมเข้าไปในโซ่ของพอลิเมอร์

2.4.3 Termination

เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อนุมูลอิสระหมดความว่องไวหรือหมดความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่อไป โดยอนุมูลอิสระจะไม่สร้างปลายโซ่ด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาขึ้นอีก การสิ้นสุดของอนุมูลอิสระอาจเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ

1.1) เป็นการสิ้นสุดเนื่องจากการรวมสองโมเลกุลเข้าเป็นหนึ่งโมเลกุล

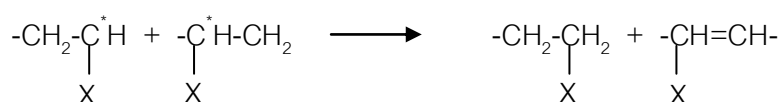
เรียกว่า coupling หรือ combination



1.2) เป็นการสิ้นสุดของอนุมูลอิสระเนื่องจากการแบ่งหรือแยกสอง

โมเลกุลที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นสองโมเลกุลที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก เรียกว่า

Disproportionation



2.5 การใช้ประโยชน์จากกระบวนการทางรังสี [25]

- 1) การปรับปรุงคุณภาพของวัสดุจากกระบวนการ polymerization, grafting, cross linking และ degradation
- 2) ผลิตภัณฑ์ปลอดเชื้อ
- 3) ยืดอายุและถนอมอาหาร
- 4) การบำบัดของเสียที่ทำให้เกิดมลภาวะ

2.6 ปัจจัยที่เป็นข้อดีของกระบวนการทางรังสีเปรียบเทียบกับวิธีปกติ

- 1) ไม่มีสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่น ไม่มี ethylene oxide ตกค้างในการฆ่าเชื้อ
- 2) ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีวิธีทางเคมีทำไม่ได้ เช่น พอลิเมอร์จำรูป (shape memory polymers)
- 3) ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น เช่น การเคลือบผิวด้วย cross linked polymers
- 4) การขจัดสารอินทรีย์ปริมาณน้อยในน้ำดื่ม
- 5) ควบคุมจุลินทรีย์ที่มีโทษ (pathogen) ในอาหารได้อย่างปลอดภัย
- 6) สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ
- 7) ใช้กับวัสดุในสถานะของแข็งที่มีปริมาณมากได้ (ในกรณีใช้รังสีแกมมา)
- 8) กระบวนการควบคุมได้ง่าย
- 9) ไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยา
- 10) เป็นกระบวนการที่ควบคุมได้จากภายนอก reaction vessel

2.7 ความหมายของพอลิเมอร์ดูดซึ่มมาก

พอลิเมอร์ดูดซึ่มมากเป็นพอลิเมอร์ชนิดไฮโดรฟิลิกที่มีลักษณะเป็นโครงร่างสามมิติ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลน้ำหรือที่เรียกว่าส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) หมู่คาร์บอกซิล (carboxymethyl group) หมู่เอไมด์ (amide group) และหมู่กรดซัลโฟนิค (sulphonic group)

และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) เช่น หมู่ $-CH_2$ และ $-CH_3$ เป็นต้น ระหว่างสายโซ่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ พันธะไฮโดรเจน หรือ อันตรกิริยาระหว่างหมู่ต่างๆ ในสายโซ่ ซึ่งคุณสมบัติเด่นของไฮโดรเจล คือสามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นร่างตาข่าย (crosslinked network structure) ได้ในปริมาณมาก แต่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายทุกชนิด [2]

พอลิเมอร์ดูดซึ่มมากสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด ดังนี้ [26]

ตารางที่ 2.2 ชนิดของพอลิเมอร์ดูดซึ่มมาก

1. Polymer composition	
1.1 Starch	Graft polymerization Carboxymetylation
1.2 Cellulose	Graft polymerization Carboxymetylation
1.3 Synthetic polymer	Polyacrylic acid Polyvinyl alcohol Polyacrylamide Polyoxymethylene
2. Network Formation	
2.1 Graft polymerization	
2.2 Crosslinked polymerization	
2.3 Network forming reaction of water-soluble polymer	
2.4 Self- crosslinked polymerization	
2.5 Radiation crosslinked	
2.6 Introduction of crystal structure	
3. Hydrophilic group	
3.1 Polymerization of hydrophilic monomer	
3.2 Carboxymetylation of hydrophilic monomer	

3.3 Graft polymerization of hydrophilic monomer with hydrophilic monomer	
3.4 Hydrolysis of nitrile or ester group	
4. Product form	
4.1 Powder	Globula Amorphous
4.2 Film	
4.3 Fiber	Short fiber Long fiber Non-woven fiber

2.8 โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer)

โคพอลิเมอร์ (Copolymer) [27] เป็นประเภทของพอลิเมอร์ที่แบ่งตามลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ ซึ่งในสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วยมอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป สามารถจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ที่ซ้ำ ๆ กันในโมเลกุลออกเป็น 4 ชนิด คือ

2.8.1 พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymers) คือ พอลิเมอร์ร่วมประกอบด้วยมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B อยู่ปะปนอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยมอนอเมอร์ A อาจพบ 1 หน่วยหรือ 2 หน่วยก็ได้ไม่แน่นอน ส่วนมอนอเมอร์ B ก็เช่นกัน อาจพบ 1 หน่วยหรือ 2 หน่วยหรือมากกว่าก็ได้

~AABABAAABBAABAABABBA~

ภาพที่ 2.6 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม

2.8.2 พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ (Alternating copolymers) คือ พอลิเมอร์ร่วมจะประกอบด้วยมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B เรียงสลับกันอย่างเป็นระเบียบ

~ABABABABABABABABABABA~

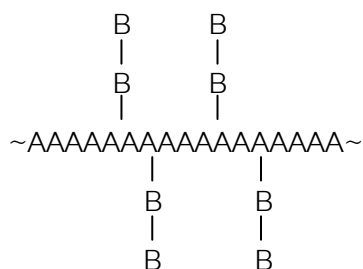
ภาพที่ 2.7 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ

2.8.3 พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (Block copolymers) คือการสลับกันด้วยจำนวนมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันมากกว่า 1 ตัวขึ้นไป โดยจะอยู่กันเป็นกลุ่ม ๆ ในสายโซ่พอลิเมอร์

~AAAAAABBBBBBAAAAAA~

ภาพที่ 2.8 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก

2.8.4 พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่ง (Graft copolymers) คือพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีกิ่งก้านแยกจากสายโซ่หลัก แต่หน่วยของมอนอเมอร์ในสายโซ่หลักจะเป็นชนิดเดียวกัน



ภาพที่ 2.9 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่ง

2.9 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethylcellulose)

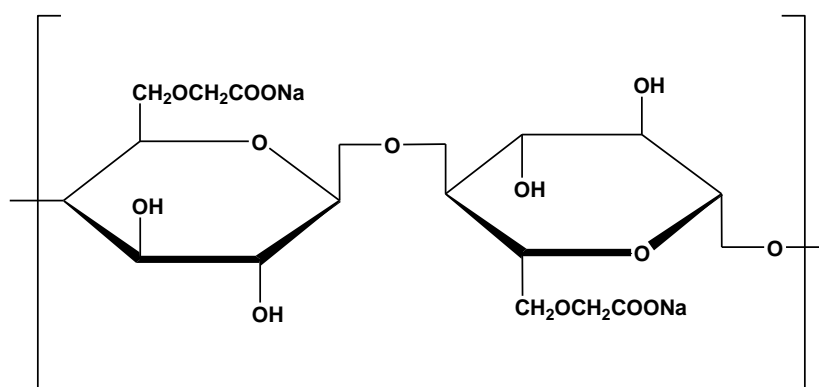
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ละลายน้ำได้ โดยจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดที่มีประจุลบ (anionic polymer) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลส ให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและ หมู่คาร์บอกซีเมทิล เตรียมจากปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน (etherification) ของเซลลูโลส กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดโมโนคลอ

โรอะซิติก (ClCH_2COOH) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม มีสูตรทางเคมีคือ $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3(\text{OCH}_2\text{COONa})_x]_n$

เมื่อ n คือ ค่าการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerisation , DP)

x คือ ค่าความสามารถในการแทนที่ (degree of substitution , DS)

ดังนั้น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จึงเกิดจากการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยย่อยของเซลลูโลส คือแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) ด้วยหมู่ไฮดรอกซีเมทิล ได้เป็นเซลลูโลสอีเทอร์ การแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยย่อยๆ ของเซลลูโลส 1 หน่วยนั้น สามารถเกิดได้ถึง 3 ตำแหน่ง หากมีการแทนที่ครบทั้ง 3 ตำแหน่ง จะหมายถึงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสนั้น มี DS (degree of substitution เท่ากับ 3.0 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด ค่าความสามารถในการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลมีค่าระหว่าง 0.3-3.0 โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 0.6-0.9 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีค่า DS ต่ำกว่า 0.3 จะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายในด่าง สำหรับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีค่า DS สูงกว่า 0.45 สามารถละลายน้ำได้ ในทางการค้า คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีค่า DS อยู่ในช่วง 0.4-1.4 แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด จะมีค่า DS อยู่ระหว่าง 0.7-0.8 ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยของหมู่คาร์บอกซีเมทิล 7-8 หมู่ ที่เข้าไปแทนที่ 10 หน่วยของแอนไฮโดรเซลลูโลส [28]



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มี DS เท่ากับ 1.0

2.9.1 ระบบของปฏิกิริยา (reaction system) ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [29]

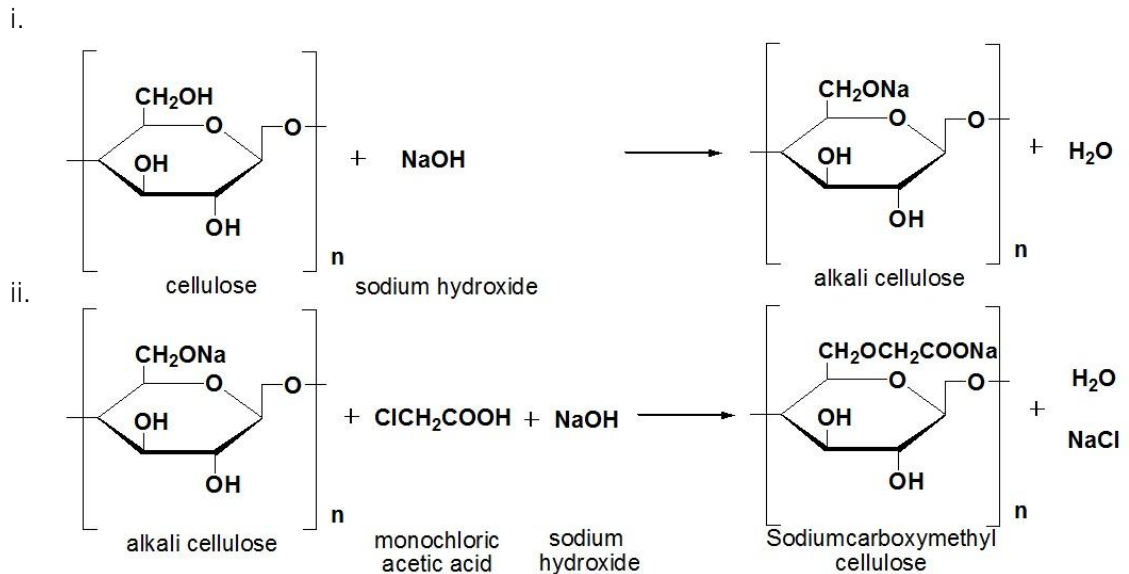
โดยทั่วไปการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มักใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำหน้าที่เป็นด่าง และใช้กรดโมโนคลอโรอะซิติก เป็น etherifying agent ซึ่งระบบของปฏิกิริยาในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้น มี 2 ระบบ คือ

- aqueous medium process เป็นระบบที่ใช้น้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลาง
- solvent process ตัวกลางที่ใช้ในปฏิกิริยา ได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล i-propanol เป็นต้น ตัวทำละลายผสมที่อาจประกอบด้วยน้ำ หรือมีตัวทำละลายอินทรีย์มากกว่า 2 ชนิดปนกัน เช่น เอทานอล/โทลูอีน เป็นต้น

ระบบ solvent process เป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเพราะมีข้อดีเนื่องจากปริมาณด่างที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียม alkali cellulose นั้นจะใช้น้อยกว่า ปฏิกิริยา etherification สามารถเสร็จสิ้นลงได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว ปริมาณ etherifying agent ที่ต้องการใช้จะน้อยกว่า และได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีคุณภาพ

2.9.2 ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

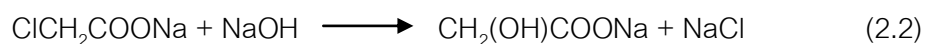


ภาพที่ 2.11 ปฏิกริยาการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ปฏิกิริยาสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จะเกิดเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก เซลลูโลสจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็น alkali cellulose ต่อจากนั้นก็ จะทำปฏิกิริยา etherification กับกรดโมโนคลอโรแอซิดต่อไป ซึ่งอัตราส่วนโมลระหว่างต่างกับ etherifying agent ในการทำปฏิกิริยา etherification นั้น คำนวณได้จาก

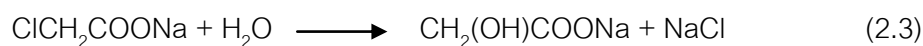
$$\frac{\text{จำนวนโมลของต่างที่เติมลงไป} - \text{จำนวนโมลของต่างที่ถูกทำให้เป็นกลางด้วย etherifying agent}}{\text{จำนวนของ etherifying agent ที่เติมลงไป}}$$

อัตราส่วนนี้ต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.0 ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วง 1.0-1.30 ทั้งนี้เพราะการใช้อัตราส่วนที่สูงกว่า 1.30 นั้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของโซเดียมโมโนคลอโรแอซิดเกิดขึ้นได้ ดังสมการที่ 2.2 ซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรแอซิดที่เติมสูญหายไปโดยเปล่าประโยชน์



ในทำนองเดียวกัน ถ้าอัตราส่วนโมลต่ำกว่า 1.0 ก็จะมี glycolic acid ขึ้นจากปฏิกิริยาข้างเคียงดังสมการที่ 2.3 และเมื่อต่างถูกใช้ไปมากๆ ก็จะทำให้ระบบเป็นกรด และ

glycolic acid ที่เกิดขึ้นก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิล ทำให้บางส่วนของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของกรดอิสระ และทำให้มีความสามารถในการละลายลดลง



ดังนั้นในการเกิดปฏิกิริยา etherification จึงต้องมีด่างที่มากเกินไปเล็กน้อย เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้วจึงทำการปรับระบบให้เป็นกลางด้วยกรด เช่น กรดแอสติก เพื่อให้ได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีสมบัติตามต้องการ

2.9.3 สมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์เซลลูโลสในรูปที่ละลายน้ำได้ โดยความสามารถในการละลายน้ำนี้ขึ้นกับค่า DS คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีค่า DS สูง หรือมีหมู่แทนที่มาก จะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าชนิดที่มีค่า DS ต่ำ ส่วนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสชนิดที่มี DP มาก เมื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์ม จะให้ฟิล์มที่มีความเหนียวและแข็งแรงสูง [28]

ตารางที่ 2.3 สมบัติบางประการของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีค่า DS เท่ากับ 0.7

Solid Powder	
Moisture content as packed, %	8.0
Browning temperature, °C	227
Charring temperature, °C	252
Bulk density, g/ml	0.75
Solution	
Specific gravity, 2% sol., 25°C	1.0068
Refractive index, 2% sol., 25°C	1.3355
pH, 2% sol.	7.0
Films	
Specific gravity, g/ml	1.59
Refractive index	1.515

สมบัติโดยทั่วไปของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีดังนี้ [29]

1. การละลาย

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่เข้ากับน้ำได้ เช่น เอทานอล อะซีโตน ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ได้แก่

- ขนาดของอนุภาค ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่ จะทำให้ละลายได้ช้า การกระจายตัวในน้ำจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก อนุภาคที่มีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดมากขึ้น จะช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมสารละลาย

- โครงสร้างทางเคมี ถ้ามีค่า DS สูง จะสามารถละลายได้เร็วและถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อัตราในการละลายจะเร็วกว่า

2. ความหนืด

สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะใสและเหนียว โดยมีพฤติกรรมไหลเป็นแบบนอน-นิวโทเนียน (non-Newtonian) คือ ค่าความหนืดจะเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนอัตราเฉือน (shear rate) ซึ่งค่าความหนืดของสารละลายที่วัดได้นั้น จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยนี้

- ค่า D.P. (degree of polymerization) ค่า D.P. ของเซลลูโลสโดยปกติมีค่าประมาณ 500,000 ยิ่งเซลลูโลสมีค่า D.P. สูง ความหนืดของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสก็จะสูงขึ้น

- ความเข้มข้น เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น ค่าความหนืดจะสูงขึ้น

- อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของสารละลายจะมีแนวโน้มลดลง

ทั้งนี้ การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจะไม่มีผลอย่างถาวรต่อลักษณะของสารละลาย แต่การให้ความร้อนอุณหภูมิสูงๆ แก่สารละลายเป็นเวลานาน อาจเป็นการทำลายโครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงได้

- ความเป็นกรดต่าง สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะมีความเสถียรภาพและมีความหนืดสูงที่สุดที่ pH ระหว่าง 7-9 ถ้า pH ต่ำกว่า 4 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อยู่ในรูปของกรดอิสระซึ่งละลายน้ำได้น้อยจะมีมากขึ้นและทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น แต่ที่ pH มากกว่า 10 พบว่าค่าความหนืดจะลดลงเล็กน้อย

- การใช้ตัวทำละลายผสม เมื่อใช้ตัวทำละลายผสม เช่น กลีเซอรอล-น้ำ สำหรับการเตรียมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีค่า DS สูงๆ พบว่าความหนืดของตัวทำละลาย จะมีผลต่อความหนืดของสารละลายด้วย เช่น สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ใช้ตัวทำละลายผสมกลีเซอรอล-น้ำ ในอัตราส่วน 60:40 จะมีความหนืดเป็น 10 เท่าของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในน้ำ

3. เสถียรภาพ (stability)

แม้ว่าสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะมีความเสถียรภาพดีกว่าชนิดอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ แต่คุณสมบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนืดก็อาจถูกทำลายได้ เนื่องจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจากจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง ออกซิเจน เป็นต้น

4. ความสามารถในการเกิดฟิล์ม

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถเกิดเป็นฟิล์มใส แข็งแรงและมีความทนทานต่อน้ำมัน โดยฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์

5. ความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต

จากการศึกษาด้านพิษวิทยา ไม่พบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ รวมทั้งมีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาน้อยที่สุด

2.9.4 การใช้ประโยชน์จากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมื่อละลายน้ำจะมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ ให้ความหนืดสูงและไม่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงมักนิยมใช้เป็น thickening agent suspending agent binding agent และ film-forming ในอุตสาหกรรม สิ่งทอ เครื่องสำอางและอื่นๆ

ตัวอย่างของคุณลักษณะของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีการผลิตขึ้นเพื่อ
จำหน่ายสู่อุตสาหกรรมต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะ (specification) ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสำหรับการประยุกต์ใช้
งานต่างๆ [29]

CharactorType	D	W	T	F	P
Purity (%)	50-72	60-98	80-98	99.5	99.5
D.S.	0.45-0.7	0.45-1.4	0.45-1.4	0.45-1.4	0.45-1.4
Viscosity Range (mPa.s)	10-50	10-500	10-3000	10-4500	10-4500
pH	7-10	9-11	6-8	6-8	6-8
Moisture (% ,max)	8	8	8	8	8

หมายเหตุ	D	สำหรับอุตสาหกรรมซักกรีด สารซักฟอก
	W	สำหรับอุตสาหกรรมการขุดเจาะน้ำมัน
	T	สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ สี เซรามิก และกาว
	F	สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์นม
	P	สำหรับอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ [29]

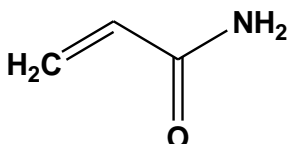
อุตสาหกรรม	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	สมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่นำมาประยุกต์ใช้
สารซักฟอก และซักกรีด	ผงซักฟอก , น้ำยารีด ผ้า	ใช้สมบัติด้านความขาว สมบัติทางประจุไฟฟ้า ป้องกันสิ่งสกปรกย้อนมาติดบนเส้นใย การเกิด ฟิล์มที่เรียบและการปรับปรุงคุณภาพเส้นใย

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ (ต่อ)

อุตสาหกรรม	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	สมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่นำมาประยุกต์ใช้
กาว	วอลล์เปเปอร์, กาวลาเท็กซ์	ใช้สมบัติการเกิดฟิล์มที่มีแรงยึดเกาะสูง ความชื้น การละลายในน้ำได้ดี และช่วยการกระจายตัว
สีทา	สีทา	ใช้สมบัติการเกิดฟิล์ม ความชื้น เป็นสารช่วยในการแขวนลอย ความทนต่อน้ำมัน และตัวทำละลายต่างๆ
กระดาษ	สารเคลือบกระดาษ	ใช้สมบัติการเกิดฟิล์ม เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง ด้านทานต่อน้ำมัน ควบคุมสมบัติการไหล
สิ่งทอ	สารเคลือบเส้นด้าย, สี พิมพ์ผ้า	ใช้สมบัติการเกิดฟิล์ม เกิดแรงยึดเกาะที่แข็งแรง ละลายน้ำง่าย ทนต่อเชื้อแบคทีเรีย ควบคุมสมบัติการไหลเป็น sizing ของเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใยฝ้าย เป็น thickening agent ของสีที่ใช้พิมพ์ผ้า
เซรามิก	น้ำสลิบของ porcelain, clay mud	ใช้สมบัติการกระจายตัว ให้แรงยึดเกาะที่แข็งแรง ความชื้น
เครื่องสำอาง	ยาสีฟัน, ครีม, โลชั่น, แชมพู	ใช้สมบัติการคงสภาพอิมัลชัน การเกิดฟิล์ม ความชื้น ให้แรงยึดเกาะที่แข็งแรง การอุ้มน้ำ
อาหารและยา	ซอส, ไซรัป, ไอศกรีม, เค้ก, ครีม, โลชั่น, เม็ด ยา	ใช้สมบัติการคงสภาพการแขวนลอย การเกิดฟิล์ม ความชื้น ให้แรงยึดเกาะที่แข็งแรง ช่วยหล่อลื่น การอุ้มน้ำ ช่วยรักษาสภาพของโปรตีนภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

2.10 อะคริลาไมด์

อะคริลาไมด์ (acrylamide, 2-propronamide) เป็นของแข็งสีขาว มีสมบัติทางกายภาพที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 2.4



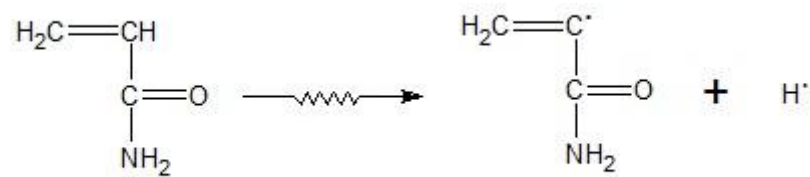
ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของอะคริลาไมด์

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของอะคริลาไมด์

คุณสมบัติ	ค่า/ลักษณะ
ลักษณะภายนอก	ผลึกสีขาว
น้ำหนักโมเลกุล	71.08
จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	84.5 ± 0.3
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1.122×10^3
ความสามารถในการละลาย (g/cm^3)	
สารละลาย, 30°C)	
acetone	63.1
benzene	0.346
carbon tetrachloride	0.038
chloroform	2.66
methanol	155
water	215.5

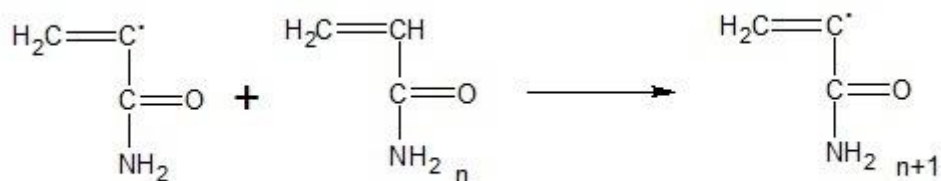
2.10.1 พอลิเมอไรเซชันของอะครีลาไมด์โดยรังสีแกมมา

1) Initiation เป็นกระบวนการเริ่มลูกโซ่ ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นโมเลกุลของอะครีลาไมด์โดยรังสีแกมมา เกิดอนุมูลอิสระที่ตำแหน่งพันธะคู่ของคาร์บอน ซึ่งไวต่อปฏิกิริยาหรือที่เรียกว่ากระบวนการสร้างแอกทีฟเซนเตอร์ (active center)



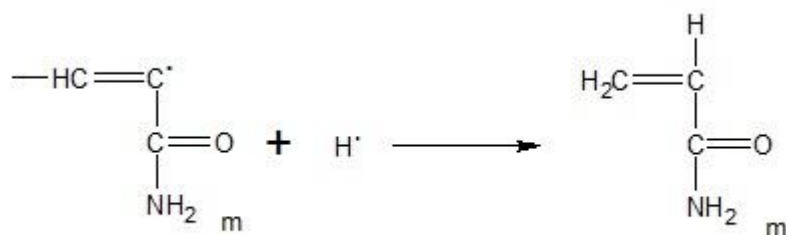
ภาพที่ 2.13 ขั้นตอน Initiation ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะครีลาไมด์มอนอเมอร์

2) Propagation เป็นขั้นตอนการเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิอะครีลาไมด์ โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับอะครีลาไมด์อีกตัวหนึ่ง ได้เป็นอนุมูลอิสระอีกตัวหนึ่ง ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวต่อไปที่ละตัวอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.14 ขั้นตอน Propagation ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะครีลาไมด์มอนอเมอร์

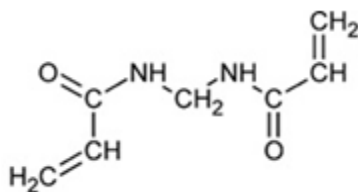
3) Termination เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อนุมูลอิสระหมดความว่องไวหรือหมดความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่อไป เป็นการสิ้นสุดเนื่องจากการรวมสองโมเลกุลเข้าเป็นหนึ่งโมเลกุล



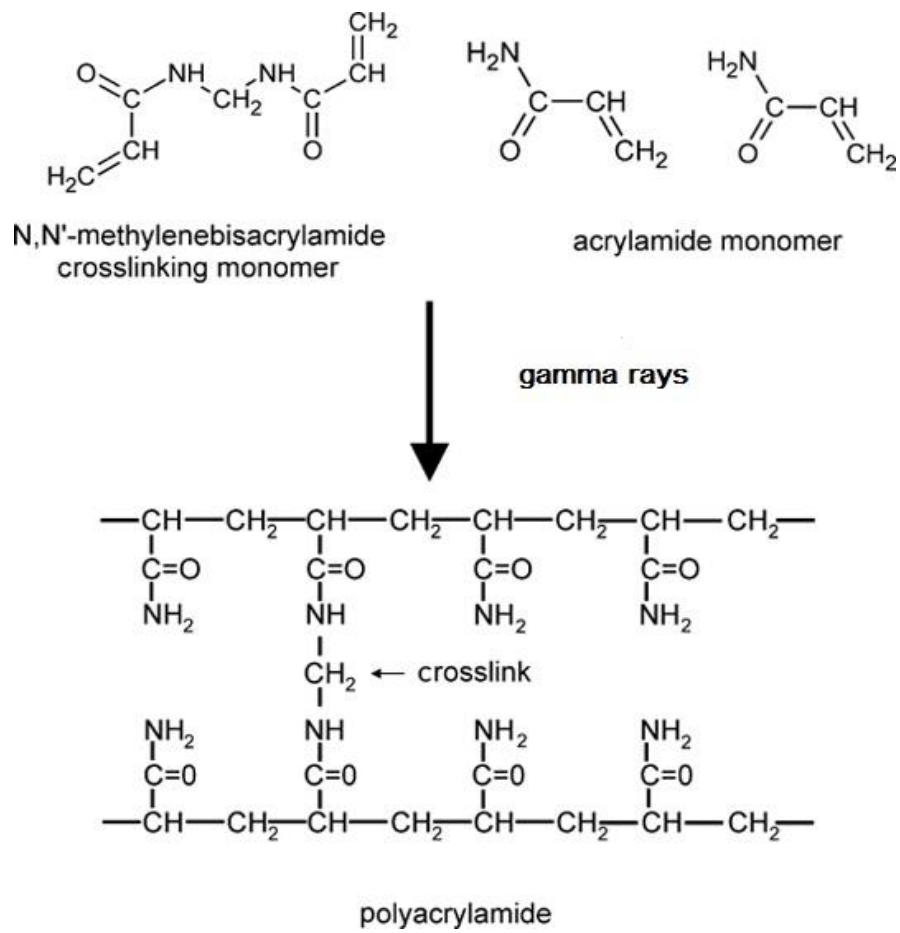
ภาพที่ 2.15 ขั้นตอน Termination ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะครีลาไมด์มอนอเมอร์

2.11 เมทิลีนบิสอะครีลาไมด์

เมทิลีนบิสอะครีลาไมด์ เป็นของแข็ง สีขาว สูตรโมเลกุล $\text{C}_7\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$. น้ำหนักโมเลกุล 154.17 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.235 กรัมต่อมิลลิลิตร ความหนาแน่นของไอ 5.31 จุดหลอมเหลว 300 องศาเซลเซียส สามารถละลายน้ำได้ 0.01-0.1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 18 องศาเซลเซียส และ 20 กรัมต่อลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส เมื่อละลายในน้ำ 1 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH ≥ 5.5 ใช้เป็นสารเชื่อมขวางในการสังเคราะห์พอลิอะครีลาไมด์ที่เตรียมจากการฉายรังสี มีผลต่อขนาดของช่องว่างและระดับการเกิดเชื่อมขวางของพอลิอะครีลาไมด์ที่สังเคราะห์ ส่วนใหญ่การเกิดเชื่อมขวางพอลิอะครีลาไมด์จะใช้เมทิลีนบิสอะครีลาไมด์ 1 โมเลกุลต่อทุกๆ 19 โมเลกุลของอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ [30]



ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของเมทิลีนบิสอะครีลาไมด์



ภาพที่ 2.17 การเกิดครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ด้วยเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.1.1 ปีกเกอร์ ขนาด 50 และ 250 มิลลิลิตร
- 3.1.2 ตะแกรงร่อน ทำด้วยเหล็กไร้สนิม
- 3.1.3 เครื่องชั่งละเอียด Mettler Toledo, U.S.A.
- 3.1.4 ภาชนะสแตนเลส
- 3.1.5 ชุดปั่นกวน (ใบพัดและมอเตอร์)
- 3.1.6 หลอดทดลองพร้อมฝาปิด
- 3.1.7 หลอดทดลองพลาสติก ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิด
- 3.1.8 ขวดกั้นกลม 1,000 มิลลิลิตร
- 3.1.9 Trimble Whatman 30 x 100 mm, England
- 3.1.10 แท่งแม่เหล็ก
- 3.1.11 พาราฟิน फिल्म
- 3.1.12 Soxhlet
- 3.1.13 ตู้อบลมร้อน รุ่น UNE 200-800, Memmert, Germany
- 3.1.14 ตู้ดูดความชื้น Sanpla, Japan
- 3.1.15 เครื่องฉายรังสีแกมมา Co-60 Gamma cell 220, Canada
- 3.1.16 เครื่อง pH meter รุ่น model 920 A, ORION
- 3.1.17 เครื่องทำความสะอาด *Eyela*, Aspirator A-3S, Tokyo
- 3.1.18 Hot plate รุ่น yellow MAG HS-7, Yellow line

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

- 3.2.1 เครื่อง FT-IR spectroscopy รุ่น TENSOR 27, Bruker, Germany
- 3.2.2 เครื่อง TGA รุ่น SDTA851, Mettler Toledo, U.S.A.
- 3.2.3 เครื่อง DSC รุ่น DSC822, Mettler Toledo, U.S.A.
- 3.2.4 เครื่อง ICP รุ่น Optima 5300 DV, Perkin Elmer

3.2.5 เครื่อง Universal Testing Machine (Model 4502)

3.3 สารเคมี

3.3.1 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส น้ำหนักโมเลกุล 250,000 g/mol DS 0.7, 0.9 และ 1.2 (Aldrich, Germany)

3.3.2 อะคริลาไมด์ (Aldrich, Germany)

3.3.3 เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (BIO BASIC INC. ,Canada)

3.3.4 โพลแทสเซียมไนเตรต (Univar, Australia)

3.3.5 โซเดียมคลอไรด์ (Merck, Germany)

3.3.6 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Merck, Germany)

3.3.7 โซเดียมฟอสเฟต (Merck, Germany)

3.3.8 น้ำกลั่น

3.3.9 ก๊าซไนโตรเจน (N₂ gas)

3.3.10 สารละลายมาตรฐานโพลแทสเซียม ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (BDH, England)

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์

3.4.1.1 การศึกษาผลของปริมาณรังสีต่อการเกิดปฏิกิริยากาฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน

ซึ่งนำน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 5 กรัม อะคริลาไมด์ 10 กรัม และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 0.25 กรัม ละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น 150 มิลลิตรในภาชนะสแตนเลส ปั่นกวนด้วยความเร็วใบพัด 750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมอะคริลาไมด์ และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ กวนเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจน ตัวอย่างที่ได้จะมีลักษณะเหลวหนืดและใส นำของผสมบรรจุในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟินฟิล์ม ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดก๊าซออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระ นำตัวอย่างฉายรังสีที่ปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 กิโลเกรย์ นำตัวอย่างหลังฉายรังสีแช่ในน้ำ

กลั่นเพื่อล้างไฮโมพอลิเมอร์และโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก เป็นเวลา 72 ชั่วโมง อบตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บรรจุในถุงพลาสติก เก็บในตู้ดูดความชื้น



ภาพที่ 3.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์

3.4.1.2 การศึกษาผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการ เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน

ซึ่งนำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ค่า DS 0.7, 0.9 และ 1.2 ปริมาณ 5 กรัม อะคริลาไมด์ 10 กรัม และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 0.25 กรัม ละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตรในภาชนะสแตนเลส ปั่นกวนด้วยความเร็วใบพัด 750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมอะคริลาไมด์ และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ กวนเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจน ตัวอย่างที่ได้จะมีลักษณะเหลวหนืดและใส นำของผสมบรรจุในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟินฟิล์ม ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดก๊าซออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระ นำตัวอย่างฉายรังสีที่ปริมาณ 2 กิโลเกรย์ นำตัวอย่างหลังฉายรังสีแช่ในน้ำกลั่นเพื่อล้างไฮโมพอลิเมอร์และโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก เป็น

เวลา 72 ชั่วโมง อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บรรจุในถุงพลาสติก เก็บในตู้ดูดความชื้น

3.4.1.3 การศึกษาผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการเกิดปฏิกิริยากาRAFTโคพอลิเมอร์เซชัน

ชั่งน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3, 5, 6 และ 12 กรัม อะคริลาไมด์ 10 กรัม และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 0.25 กรัม ละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตรในภาชนะสแตนเลส ปั่นกวนด้วยความเร็วใบพัด 750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมอะคริลาไมด์และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ กวนเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจน ตัวอย่างที่ได้จะมีลักษณะเหลวหนืดและใส นำของผสมบรรจุในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟินฟิล์ม ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดก๊าซออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระ นำตัวอย่างฉายรังสีที่ปริมาณ 2 กิโลเกรย์ นำตัวอย่างหลังฉายรังสีแช่ในน้ำกลั่นเพื่อล้างไฮโดรพอลิเมอร์และโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก เป็นเวลา 72 ชั่วโมง อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บรรจุในถุงพลาสติก เก็บในตู้ดูดความชื้น

3.4.1.4 การศึกษาผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการเกิดปฏิกิริยากาRAFTโคพอลิเมอร์เซชัน

ชั่งน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 5 กรัม อะคริลาไมด์ 6, 10, 18, 24 และ 30 กรัม และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 0.25 กรัม ละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตรในภาชนะสแตนเลส ปั่นกวนด้วยความเร็วใบพัด 750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมอะคริลาไมด์ และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ กวนเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจน ตัวอย่างที่ได้จะมีลักษณะเหลวหนืดและใส นำของผสมบรรจุในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟินฟิล์ม ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดก๊าซออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระ นำตัวอย่างฉายรังสีที่ปริมาณ 2 กิโลเกรย์ นำตัวอย่างหลังฉายรังสีแช่ในน้ำกลั่นเพื่อล้างไฮโดรพอลิเมอร์และโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก เป็นเวลา 72 ชั่วโมง อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บรรจุในถุงพลาสติก เก็บในตู้ดูดความชื้น

3.4.1.5 การศึกษาผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการเกิดปฏิกิริยากกราฟต์โคพอลิเมอร์

ซึ่งนำน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 5 กรัม อะคริลาไมด์ 10 กรัม และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 0.18, 0.25, 0.36 และ 0.75 กรัม ละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตรในภาชนะสแตนเลส ปั่นกวนด้วยความเร็วใบพัด 750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมน้ำอะคริลาไมด์ และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ กวนเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจน ตัวอย่างที่ได้จะมีลักษณะเหนียวและใส นำของผสมบรรจุในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟินฟิล์ม ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดก๊าซออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระ นำตัวอย่างฉายรังสีที่ปริมาณ 2 กิโลเกรย์ นำตัวอย่างหลังฉายรังสีแช่ในน้ำกลั่นเพื่อล้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก เป็นเวลา 72 ชั่วโมง อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บรรจุในถุงพลาสติก เก็บในตู้ดูดความชื้น

3.4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.4.2.1 เทคนิค FTIR

เตรียมตัวอย่างที่จะทำการวัด โดยนำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส DS 1.2 อะคริลาไมด์และตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ นำตัวอย่างวางบนตำแหน่งที่วัดในเครื่องวิเคราะห์ โดยใช้เครื่อง FTIR Spectroscopy (TENSOR27, Bruker Germany) เครื่องจะทำการสแกน 16 รอบ ใช้ความละเอียดของความยาวคลื่น 2 ซม.⁻¹ ช่วงความยาวคลื่น 650-4000 ซม.⁻¹ หัววัดแบบ ATR นำผลที่ได้วิเคราะห์หามุมฟังก์ชันเทียบการสั่นและความถี่ของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัม

3.4.2.2 เทคนิค DSC

เตรียมตัวอย่างที่จะทำการวัด โดยนำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส DS 1.2 อะคริลาไมด์และตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารเมื่อได้รับความร้อน โดยใช้เครื่อง DSC (DSC822, Mettler Toledo) โดยใช้อัตราการไหลไนโตรเจน 60 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.4.2.3 เทคนิค TGA

เตรียมตัวอย่างที่จะทำการวัด โดยนำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส DS 1.2 อะคริลาไมด์และตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ วิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของสารเมื่อได้รับความร้อน โดยใช้เครื่อง TGA (SDTA851, Mettler Toledo) โดยใช้อัตราการไหลไนโตรเจน 60 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

3.4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.4.3.1 เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ (% grafting และ grafting efficiency)

นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้แต่ละตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอน นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหา % grafting และ % grafting efficiency ได้จากสมการที่ 3.1 [12] และสมการที่ 3.2 [6]

$$\% \text{ grafting} = (w_1 - w_0) / w_0 \times 10 \quad (3.1)$$

$$\text{grafting efficiency} = (w_1 - w_0) / w_2 \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ w_0 = น้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
 w_1 = น้ำหนักของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สกัดไฮโดรพอลิเมอร์ออกแล้ว และ
 w_2 = น้ำหนักของอะคริลาไมด์

โดย เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ หมายถึงสัดส่วนของการเกิดปฏิกิริยากราฟต์ต่อปริมาณพอลิเมอร์ที่ใช้ และประสิทธิภาพการกราฟต์หมายถึงสัดส่วนของการเกิดปฏิกิริยากราฟต์ต่อปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้ [34]

3.4.3.2 การทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

(Swelling Ratio)

นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้แต่ละตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอน นำไปแช่น้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะได้ตัวอย่างเป็นเจลที่มีลักษณะใส กรองตัวอย่างผ่านตะแกรงร่อน ซับที่ผิวหน้าด้วยกระดาษซับ นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอน นำไปคำนวณหาค่าสัดส่วนการบวมน้ำได้จากสมการที่ 3.3 [12]

$$\text{Swelling Ratio} = w_a/w_b \times 100 \quad (3.3)$$

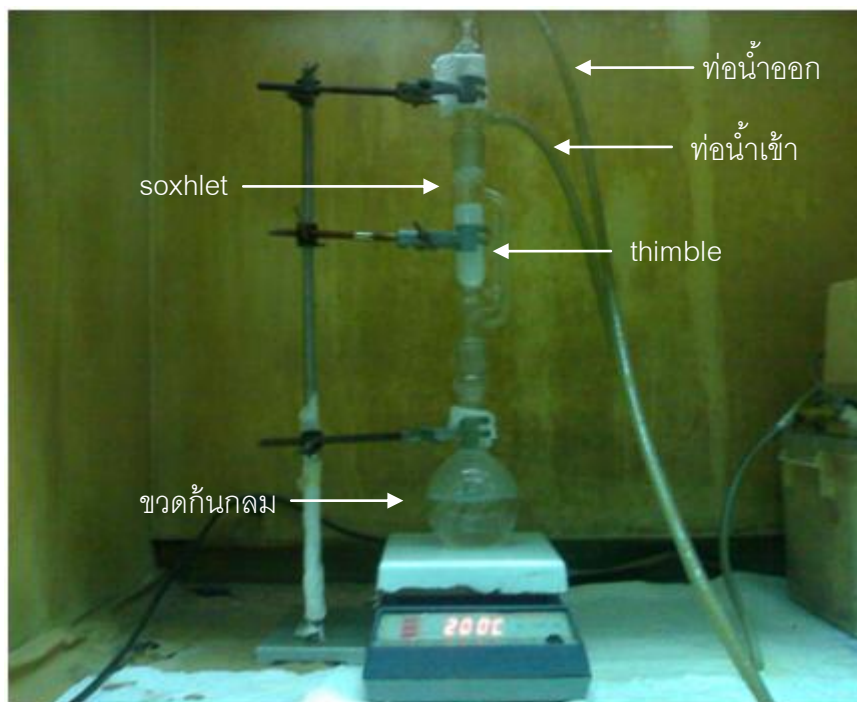
เมื่อ w_a = น้ำหนักของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังบวมน้ำ
 w_b = น้ำหนักของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ก่อนบวมน้ำ

3.4.3.3 Gel fraction

ชั่งน้ำหนัก trimble เพื่อบรรจุตัวอย่าง บันทึกค่าที่แน่นอน ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ บันทึกค่าที่แน่นอน บรรจุลงใน trimble ชั่งน้ำหนักรวมของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่บรรจุอยู่ใน trimble และบันทึกค่าอีกครั้ง จัดวาง thimble ลงใน soxhlet และจัดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.5 เปิดเครื่องทำความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เปิดเครื่องทำความเย็นปล่อยน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ กลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น ปิดเครื่องทำความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิห้อง ปิดเครื่องทำความเย็น นำ trimble ออกจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอน นำค่าที่ได้คำนวณหา Gel fraction ได้จากสมการ 3.4 [31]

$$\text{Gel fraction} = w_f/w_d \times 100 \quad (3.4)$$

เมื่อ w_d = น้ำหนักของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ก่อนสกัด
 w_f = น้ำหนักของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด



ภาพที่ 3.2 ชุดสกัด soxhlet

3.4.3.4 Gel strength

นำตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้ ตัดชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปลูกบาศก์ ขนาด 1 เซนติเมตร วางตัวอย่างตรงกึ่งกลางของตำแหน่งวัดของเครื่องมือ Universal Testing Machine (Model 4502) ขนาดเซลล์ที่ใช้โหลด 100 นิวตัน กดปุ่มเลื่อนหัวกดให้สัมผัสกับผิวของตัวอย่างพอดี ตั้งค่าเป็นศูนย์เมื่อหัวกดสัมผัสชิ้นงาน กดคำสั่งวัดตัวอย่างด้วยอัตราแรงกด 5 มิลลิเมตรต่อนาที หยุดคำสั่งทำงานเมื่อตัวอย่างเริ่มแตกหรือเมื่อเครื่องวัดเกินตำแหน่ง 80 เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงาน บันทึกค่าที่ได้และสั่งพิมพ์



ภาพที่ 3.3 เครื่องมือ Universal Testing Machine (Model 4502)

3.4.3.5 %Loading of KNO_3

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ 0.02 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน แช่ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ในสารละลายโพแทสเซียมไนเตรตความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้นจากสารละลายโพแทสเซียมไนเตรต อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บในตู้ดูดความชื้นจนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่โหลดโพแทสเซียมไนเตรตแล้ว บันทึกค่าที่แน่นอน นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา เปอร์เซ็นต์การโหลดได้จากสมการที่ 3.5

$$\% \text{ Loading of } \text{KNO}_3 = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ m_0 = น้ำหนักของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ก่อนโหลดโพแทสเซียมไนเตรต
 m_1 = น้ำหนักของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังโหลดโพแทสเซียมไนเตรต

3.4.4 การทดสอบผลของตัวแปรต่างๆ ต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.4.4.1 ผลของเวลาต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้แต่ละตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอน นำไปแช่น้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-48 ชั่วโมง กรองตัวอย่างผ่านตะแกรงร่อน ชั้บที่ผิวหน้าด้วยกระดาษชั้บ นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอน นำไปคำนวณหาค่าสัดส่วนการบวมน้ำได้จากสมการที่ 3.3

3.4.4.2 ผลของความเข้มข้นและชนิดของตัวกลางต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

เตรียมสารละลายโซเดียมฟอสเฟต โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.005 0.01 0.05 และ 0.1 โมลาร์ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ 0.5 กรัม บันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน เติมสารละลายที่เตรียมได้ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในปิ๊กเกอร์ แช่ตัวอย่างลงไป ทิ้งไว้ให้บวมน้ำ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ วางบนตะแกรงร่อน ชั้บด้วยกระดาษ 2 ครั้ง นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำไปคำนวณหาค่า Swelling Ratio ได้จากสมการที่ 3.3

3.4.4.3 ผลของความเป็นกรดต่างของตัวกลางต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

เตรียมสารละลายที่มี pH 1-12 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ บันทึกค่าเป็นน้ำหนักเริ่มต้น เติมสารละลายที่ pH ต่างๆ ลงในปิ๊กเกอร์ แช่ตัวอย่างลงไป ทิ้งไว้ให้บวมตัวเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่บวมตัวในสารละลายขึ้นจากน้ำ วางบนตะแกรงร่อน ชั้บน้ำด้วยกระดาษ 2 ครั้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอน นำไปคำนวณหาสัดส่วนการบวมตัวในสารละลายที่ pH ต่างๆ กัน ได้จากสมการที่ 3.3

3.4.5 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์

เตรียมตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ load โพแทสเซียมในเตรต ที่ทราบค่า % Loading แล้ว นำตัวอย่างที่ได้ใส่ลงในปิกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 50 มิลลิลิตร เมื่อครบ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำในปิกเกอร์ 10 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองพลาสติก เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่ากับ 10 มิลลิลิตร เพื่อให้ปริมาตรสารละลายในปิกเกอร์คงที่ และเก็บตัวอย่างน้ำในปิกเกอร์ 10 มิลลิลิตร ทุกๆ 24 ชั่วโมง จนครบ 7 วัน เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ความเข้มข้น 0.1, 1, 5, 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP นำตัวอย่างน้ำที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง ICP นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาปริมาณของโพแทสเซียมในเตรตได้จากสมการที่ 3.6

$$\text{KNO}_3 = (\text{Mw KNO}_3 \times \text{ผลที่วิเคราะห์ได้} \times 50/1000) / \text{Mw K} \quad (3.6)$$

เมื่อ Mw KNO_3 = มวลโมเลกุลของโพแทสเซียมในเตรต

Mw K = มวลโมเลกุลของโพแทสเซียม

บทที่ 4

ผลการวิจัย

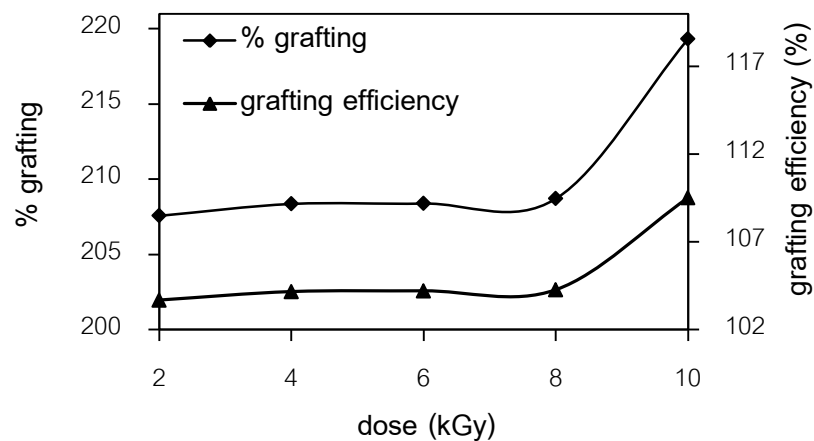
4.1 ผลของตัวแปรต่างๆ ต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไครเซชัน

จากการทดลองสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยการฉายรังสีที่สภาวะต่างๆ แสดงผลการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไครเซชันดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์

ปริมาณรังสี (kGy)	% grafting	grafting efficiency (%)
2.0 KGy	207.57	103.68
4.0 KGy	208.36	104.16
6.0 KGy	208.39	104.20
8.0 KGy	208.71	104.27
10.0 KGy	219.32	109.51

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.1 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี ต่อ % grafting และ grafting efficiency ดังแสดงในภาพที่ 4.1



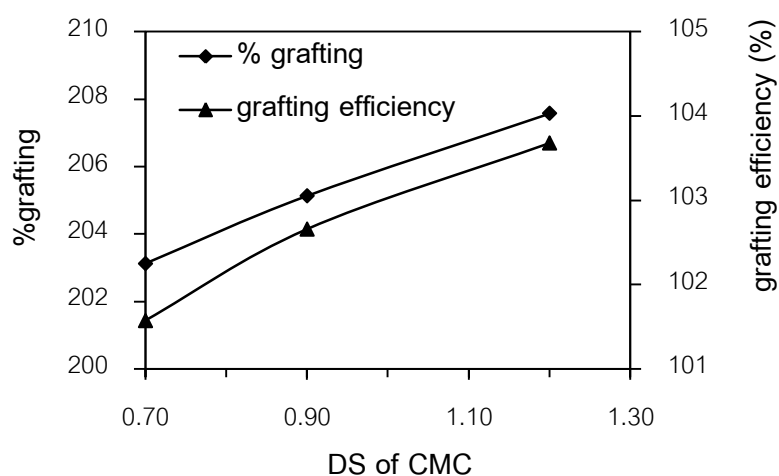
ภาพที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีต่อ % grafting และ grafting efficiency

จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ ปริมาณรังสีที่ใช้ในช่วง 2-10 kGy ศึกษาผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ และประสิทธิภาพการกราฟต์ พบว่า ปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วง 207.57-219.32 และ 103.68-109.51 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.1 เนื่องจากปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไอออนของพอลิอะคริลาไมด์บนสายโซ่หลัก ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์และประสิทธิภาพการกราฟต์จึงเพิ่มขึ้น [31]

ตารางที่ 4.2 ผลของ degree of substitution (DS) ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์

ระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	% grafting	grafting efficiency (%)
DS 0.7	203.11	101.57
DS 0.9	205.13	102.66
DS 1.2	207.57	103.68

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.2 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ต่อ % grafting และ grafting efficiency ดังแสดงในภาพที่ 4.2



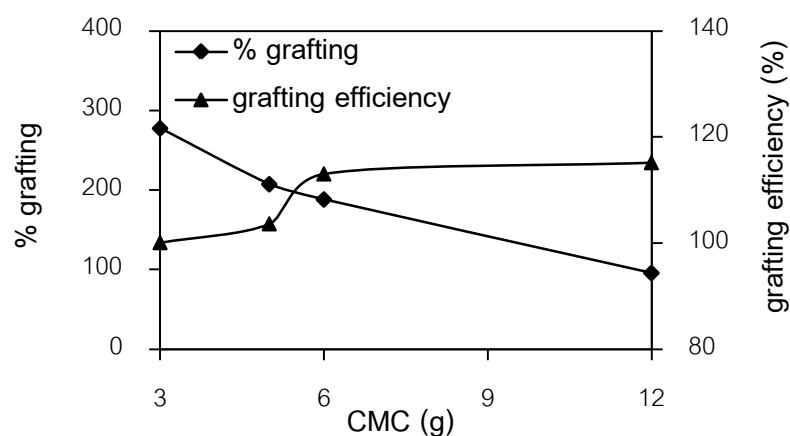
ภาพที่ 4.2 ผลของ DS ของ CMC ต่อ % grafting และ grafting efficiency

จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยใช้ DS ของ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในช่วง 0.7-1.2 ศึกษาผลของ DS ของ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ พบว่า เมื่อ DS ของ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วง 203.11-207.57 และ 101.57-103.68 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.2 เนื่องจากเมื่อค่า DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสูง แสดงว่ามีหมู่คาร์บอกซีเมทิลเข้าไปแทนที่ในสายโซ่ของเซลลูโลสมากขึ้น ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ได้ (active site) จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์สูงขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์

ปริมาณ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	% grafting	grafting efficiency (%)
3 กรัม	277.75	100.13
5 กรัม	207.57	103.68
6 กรัม	188.36	113.09
12 กรัม	95.91	115.21

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.3 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อ % grafting และ grafting efficiency ดังแสดงในภาพที่ 4.3



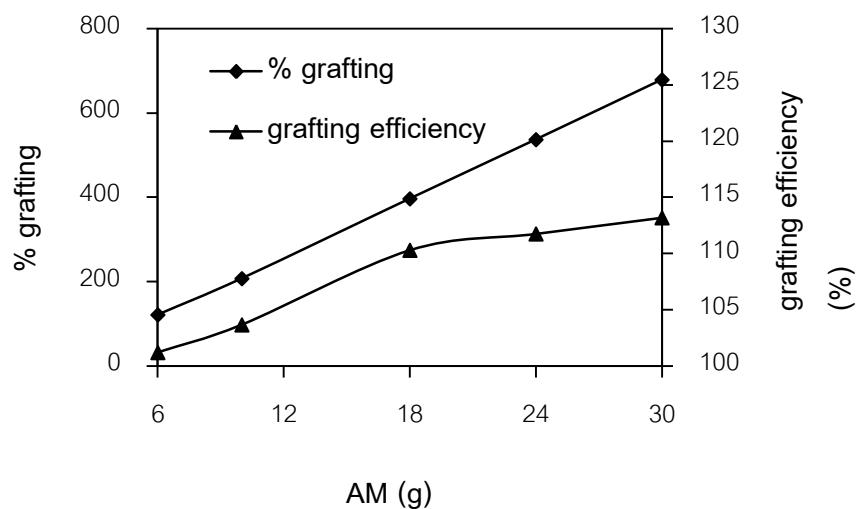
ภาพที่ 4.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ต่อ % grafting และ grafting efficiency

จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยใช้ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3.6-12 กรัม ศึกษาผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ พบว่าปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ลดลงในช่วง 277.75-95.91 พบว่า ดังภาพที่ 4.3 เนื่องจากปริมาณอนุมูลอิสระบนสายโซ่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมากขึ้นตามปริมาณของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แต่ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นมากเกินไปจะเกิดปฏิกิริยากราฟต์กับอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จึงลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในขณะเดียวกัน ประสิทธิภาพการกราฟต์สูงขึ้นในช่วง 100.13-115.21 เนื่องจากสัดส่วนของการกราฟต์ที่เกิดขึ้นต่อปริมาณอะครีลาไมด์สูงขึ้น [34]

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์

ปริมาณอะครีลาไมด์	% grafting	grafting efficiency (%)
6 กรัม	121.73	101.22
10 กรัม	207.57	103.68
18 กรัม	396.67	110.31
24 กรัม	536.81	111.76
30 กรัม	678.60	113.19

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.4 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ต่อ % grafting และ grafting efficiency ดังแสดงในภาพที่ 4.4



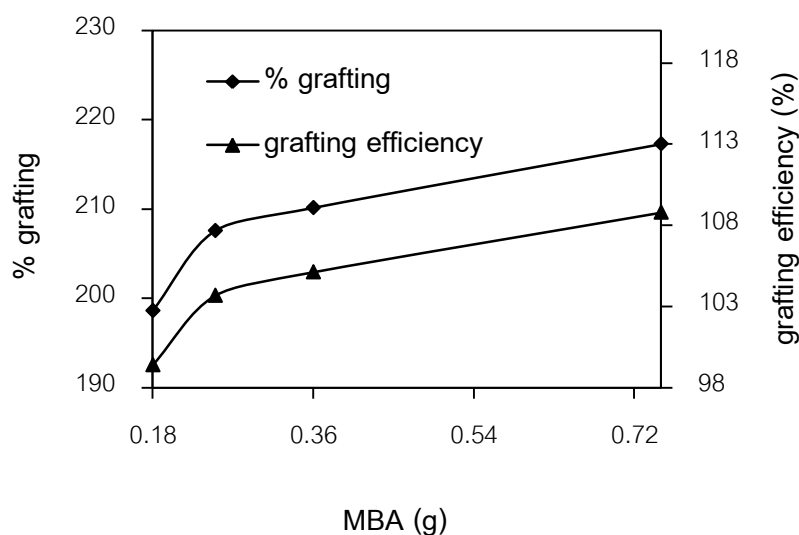
ภาพที่ 4.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ ต่อ % grafting และ grafting efficiency

จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยใช้ปริมาณอะคริลาไมด์ในช่วง 6-30 กรัม ศึกษาผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์ พบว่าปริมาณอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 121.73-678.69 และ 101.22-113.19 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.4 เนื่องจากปริมาณอะคริลาไมด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น สามารถเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์บนสายโซ่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์จึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณอะคริลาไมด์ [32]

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์

ปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์	% grafting	grafting efficiency (%)
0.18 กรัม	198.61	99.40
0.25 กรัม	207.57	103.68
0.36 กรัม	210.14	105.12
0.75 กรัม	217.30	108.80

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.5 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อ % grafting และ grafting efficiency ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ต่อ % grafting และ grafting efficiency

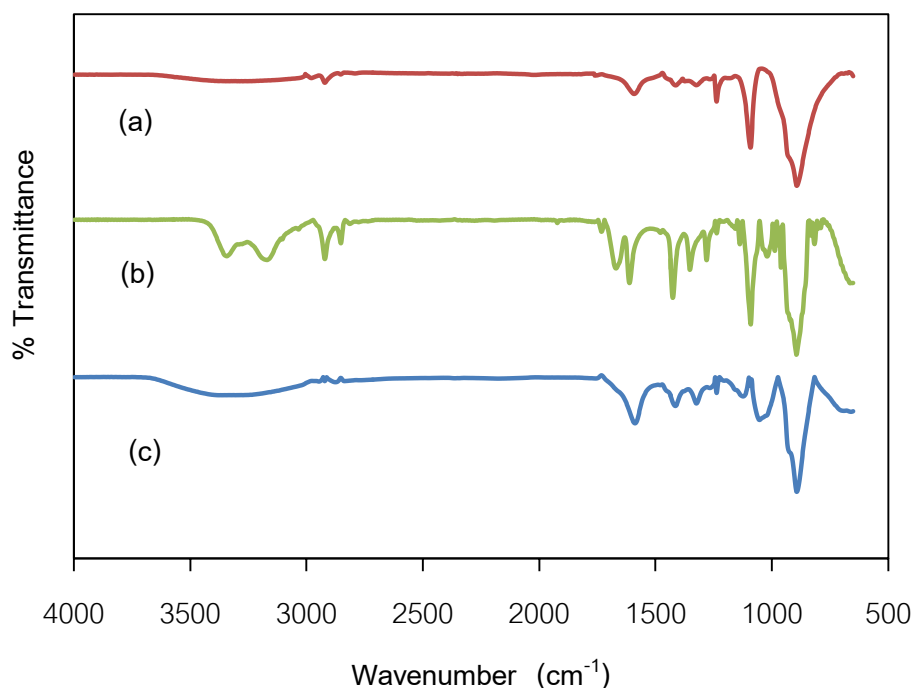
จากการศึกษาผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ พบว่าปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้เพิ่มขึ้นในช่วง 198.61-217.30 และ 99-108 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.5 เนื่องจากเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็น crosslinking monomer ซึ่งเป็นตัวเชื่อมขวางระหว่างพอลิอะคริลาไมด์ เป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ เมื่อปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์สูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การกราฟต์และประสิทธิภาพการกราฟต์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์จึงเพิ่มขึ้น [33]

4.2 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

4.2.1 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค FTIR

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของกราฟต์โคพอลิเมอร์เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ดังแสดงในภาพที่ 4.6 แสดง FTIR สเปกตรัมของ (a) คาร์บอนกึ่งเมทิลเซลลูโลส, (b) อะคริลาไมด์และ (c) ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ สเปกตรัมของคาร์-

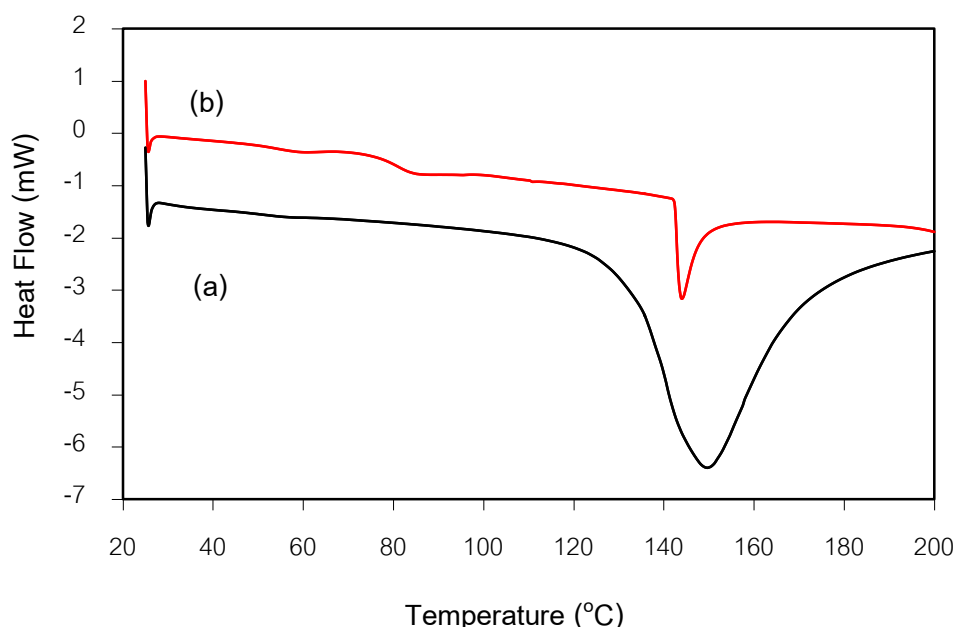
บอกรีเมทิลเซลลูโลส แสดงหมู่ฟังก์ชัน O-H ของหมู่ไฮดรอกซิล ที่ตำแหน่ง 3375 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซีเลต ไอออน ที่ตำแหน่ง 1591 cm^{-1} (C-O stretching ของคาร์บอกซีเลตไอออน) และที่ตำแหน่ง 1413 cm^{-1} (O-H bending ของคาร์บอกซีเลตไอออน) ที่ตำแหน่ง 1091 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C stretching ในหมู่ sugar ring สเปกตรัมของอะคริลาไมด์แสดงหมู่ฟังก์ชันเอไมด์ที่ตำแหน่ง 3342 cm^{-1} และ 3168 cm^{-1} (N-H stretching) และที่ตำแหน่ง 1668 และ 1610 cm^{-1} (NH_2 bending) สเปกตรัมของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ CMC-g-PAM ที่ตำแหน่ง 1587 cm^{-1} แสดงพีค overlap ของ C-O stretching ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและ N-H bending ของอะคริลาไมด์เป็นการยืนยันการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ [12]



ภาพที่ 4.6 FTIR สเปกตรัมของ (a) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (b) อะคริลาไมด์ และ (c) ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์

4.2.2 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค DSC

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่างด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยมีอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 60 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังภาพที่ 4.7 พบว่า พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน กล่าวคือ คาร์บอกซี-เมทิลเซลลูโลสมีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 149 องศาเซลเซียส และกราฟต์โคพอลิเมอร์มีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 142 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถอธิบายรายละเอียดได้ชัดเจนที่ผลการวิเคราะห์ลักษณะด้วย TGA

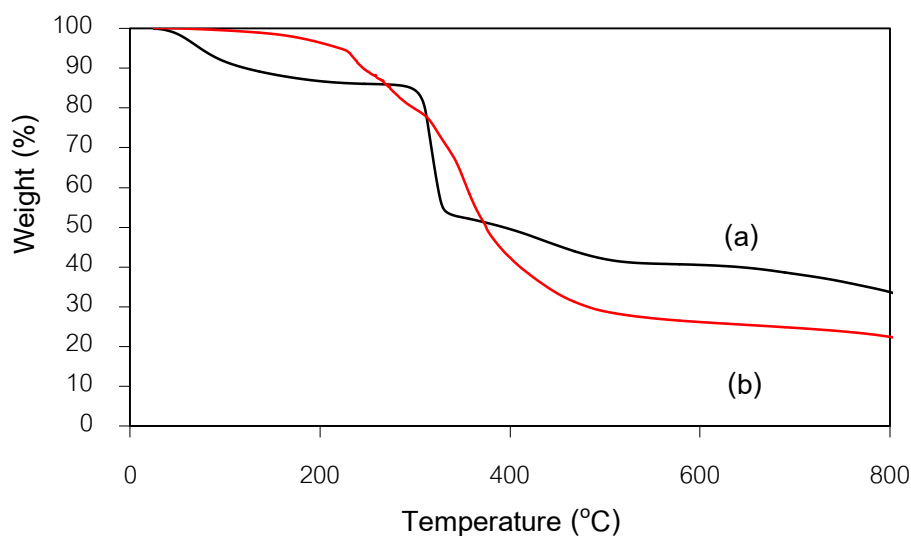


ภาพที่ 4.7 เทอร์โมแกรม DSC ของ (a) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และ (b) ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์

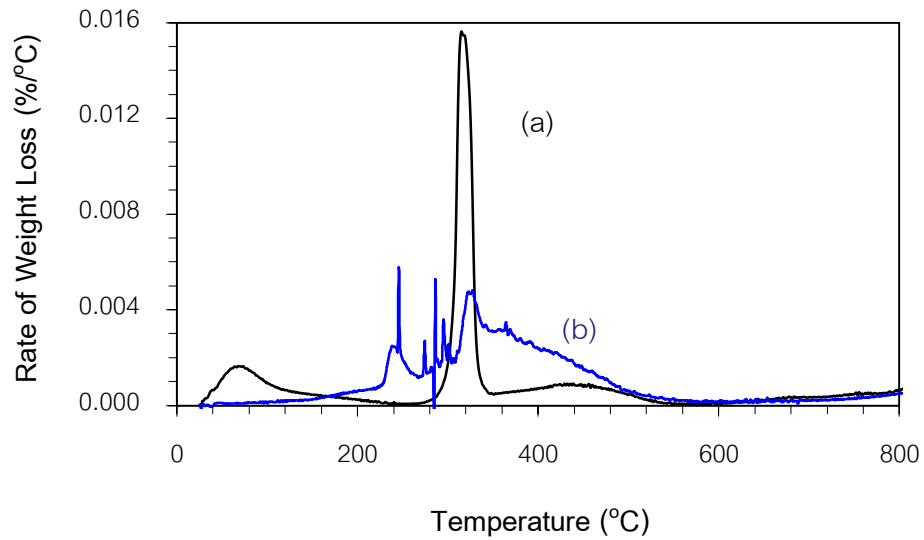
4.2.3 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค TGA

จากผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอนาลิซิส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยมีอัตราการปล่อยก๊าซไนโตรเจน 60 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังภาพที่ 4.8 พบว่า เทอร์โมแกรม 3 (a) คาร์-

บอกรีเมทิลเซลลูโลสมีการสูญเสียน้ำหนัก 1 ช่วง ระหว่างอุณหภูมิ 210-330 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่อุณหภูมิ 313 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส คาร์บอกรีเมทิลเซลลูโลสมีเถ้าถ่านเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 32% (Char yield = 32%) สำหรับเทอร์โมแกรม 3 (b) กราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนัก 2 ช่วง โดยการสูญเสียน้ำหนักช่วงที่ 1 อยู่ระหว่างช่วงอุณหภูมิ 217-320 องศาเซลเซียส ซึ่งตรงกับการสูญเสียน้ำหนักของคาร์บอกรีเมทิลเซลลูโลสและมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 313 องศาเซลเซียสเช่นกัน การสูญเสียน้ำหนักช่วงที่ 1 เป็นการยืนยันการมีอยู่ของคาร์บอกรีเมทิลเซลลูโลสในกราฟต์โคพอลิเมอร์ส่วนการสูญเสียน้ำหนักช่วงที่ 2 อยู่ระหว่างอุณหภูมิ 320-500 องศาเซลเซียส เป็นการสูญเสียน้ำหนักของพอลิอะคริลาไมด์ซึ่งกราฟต์อยู่บนสายเส้นหลักของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส กราฟต์โคพอลิเมอร์ มีเถ้าถ่านเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 21% (Char yield = 21%) โดยผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ dTGA ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 เทอร์โมแกรม TGA ของ (a) คาร์บอกรีเมทิลเซลลูโลส และ (b) ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์

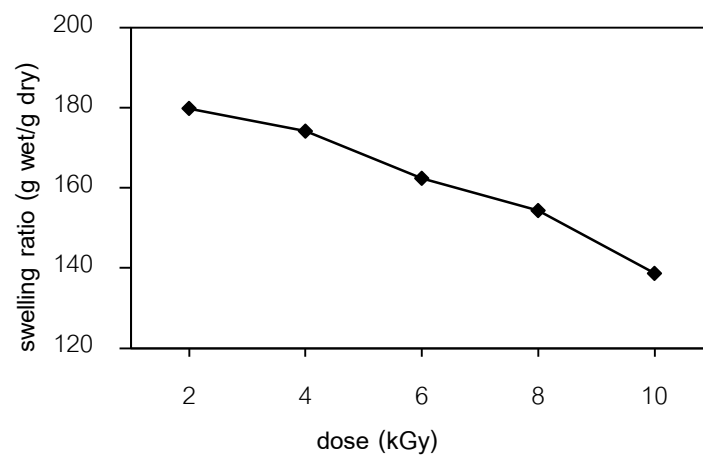


ภาพที่ 4.9 เทอร์โมแกรม dTGA ของ (a) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และ (b) ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์

4.3 ผลการทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

4.3.1 ผลของปริมาณรังสีต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

จากการทดลองหาคุณสมบัติการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ แสดงผลดังนี้

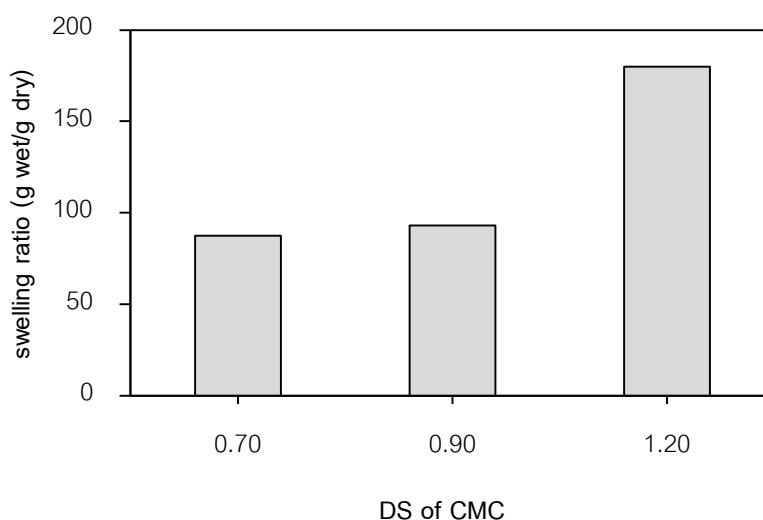


ภาพที่ 4.10 ผลของปริมาณรังสีต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

จากการศึกษาผลของปริมาณรังสีต่อสัดส่วนการบวมน้ำกราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่าปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น สัดส่วนการบวมน้ำของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 4.10 เนื่องจากปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เช-ชันของพอลิอะคริลาไมด์บนสายโซ่หลัก และการเกิดอนุมูลอิสระของอะคริลาไมด์มากขึ้น ทำให้โอกาสการเกิดครอสลิงค์ของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมขวางของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์มากขึ้น ปริมาตรที่ว่างสำหรับให้น้ำแพร่ผ่านเข้าไปในโครงร่างแหลดลง เป็นผลให้สัดส่วนการบวมน้ำของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น

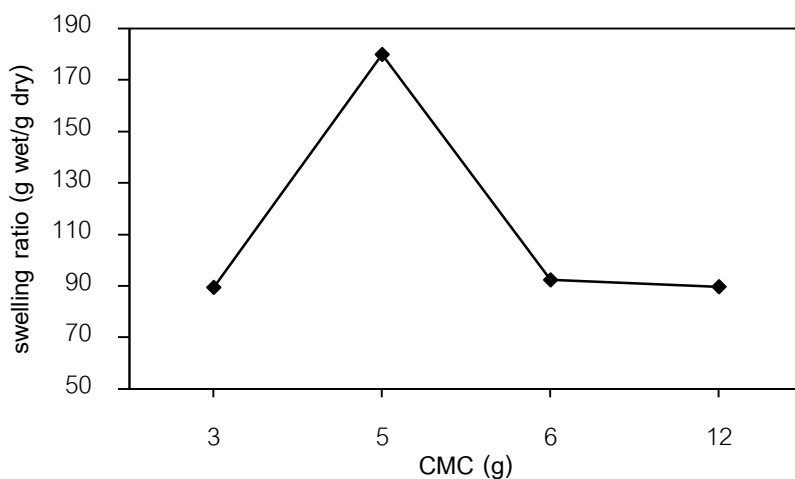
4.3.2 ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

จากการศึกษาผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยในการทดลองนี้ใช้ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเท่ากับ 0.7, 0.9 และ 1.2 พบว่าการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.11 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอกซีเมทิล (COO^-) ในโมเลกุลเป็นการเพิ่มหมู่ hydrophilic ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) ที่มีอยู่ในโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น สัดส่วนการบวมน้ำจึงเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.11 ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

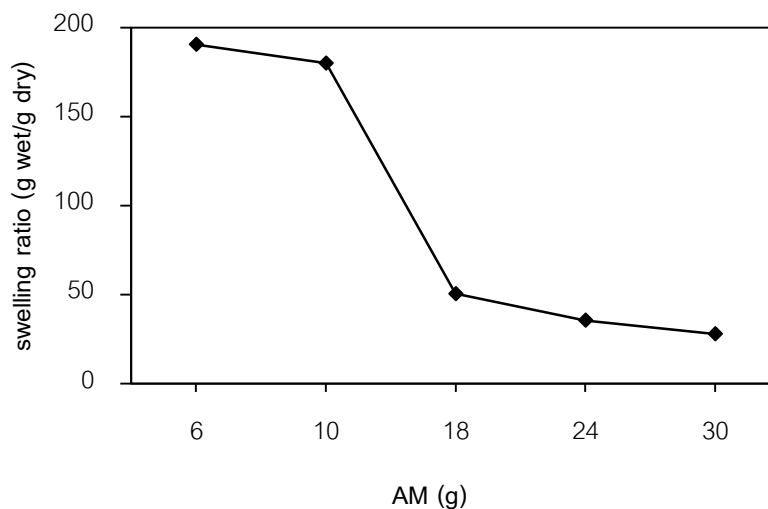
4.3.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อ swelling ratio



ภาพที่ 4.12 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

จากการศึกษาผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ต่อสัดส่วนการบวมน้ำ กราฟต์โคพอลิเมอร์ การบวมน้ำของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.12 เนื่องจาก คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีหมู่ hydrophilic อยู่ในโครงสร้างซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่มีอยู่ในโมเลกุลของน้ำได้ การเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นการเพิ่มสัดส่วนของพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำในกราฟต์โคพอลิเมอร์ส่งผลให้สัดส่วนการบวมน้ำบวมน้ำมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพิ่มขึ้นมากกว่า 5 กรัม โครงร่างตาข่ายของสายโซ่มีความหนาแน่นมากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้การแพร่ผ่านของน้ำและความยืดหยุ่นโมเลกุลขนาดใหญ่ลดลง ทำให้ความสามารถในการแพร่กระจายของโมเลกุลของน้ำเข้าไปภายในโครงร่างตาข่ายลดลง จึงส่งผลให้สัดส่วนบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง

4.3.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำ



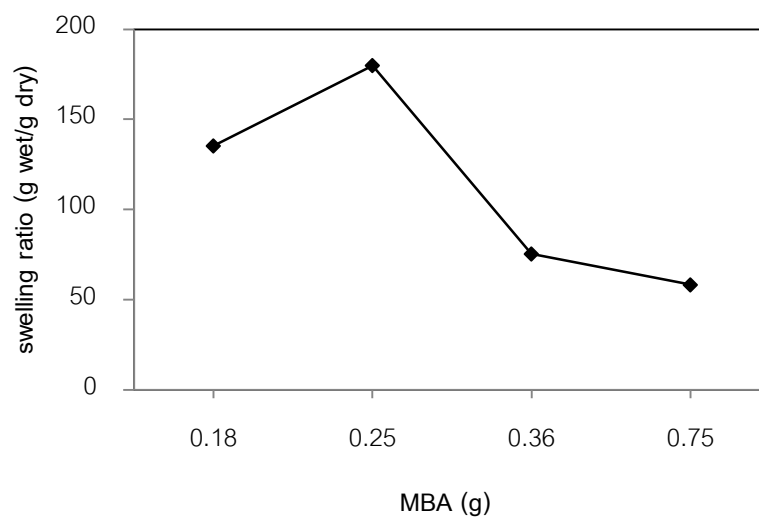
ภาพที่ 4.13 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

จากการศึกษาผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำกราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่า สัดส่วนบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอะคริลาไมด์ดังภาพที่ 4.13 เนื่องจากเมื่อปริมาณอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดครอสลิงค์ของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์มากขึ้น โครงร่างตาข่ายที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณอะคริลาไมด์ ความสามารถในการยืดหยุ่นของโมเลกุลลดลง เป็นผลให้สัดส่วนในการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง

4.3.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

จากการศึกษาผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำกราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่า ในช่วงแรกสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นเนื่องจากเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นส่งผลให้สัดส่วนการบวมน้ำเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.14 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์มากกว่า 0.25 กรัม สัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางระหว่างพอลิอะคริลาไมด์ การเพิ่มปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ทำให้เกิดการเชื่อมขวางของสายโซ่อะคริลาไมด์เป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงร่างตาข่ายที่มีความหนาแน่นและสาย

ไซของร่างตาข่ายที่ไม่ยืดหยุ่น โมเลกุลของน้ำแทรกซึมผ่านกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง ทำให้สัดส่วนในการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง



ภาพที่ 4.14 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อสัดส่วนการบวมน้ำ

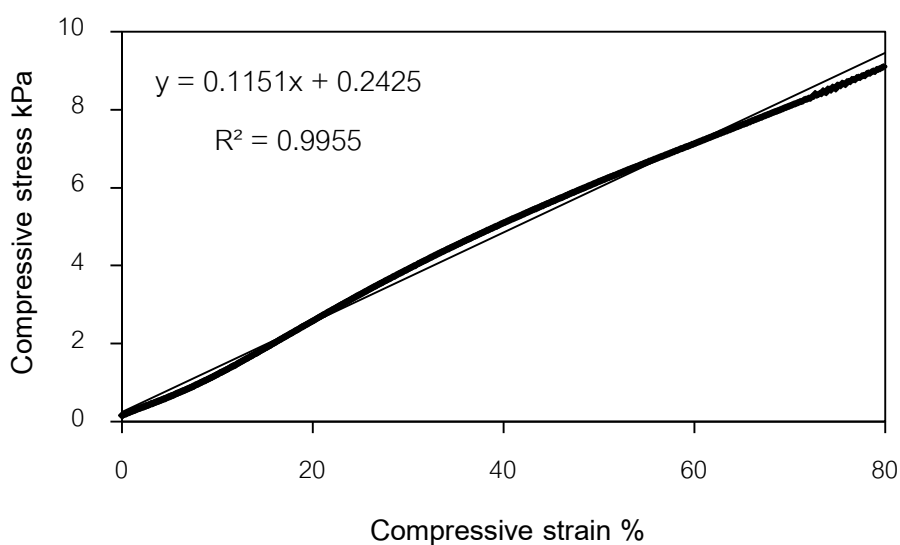
4.4 ผลการทดสอบ Gel fraction ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากผลการทดสอบหา Gel fraction ของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยเลือกตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มีผลการบวมน้ำสูงสุดมาทำการทดสอบ โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ 0.05 กรัม ทำการกลั่นโดยใช้ soxhlet ให้ไอน้ำร้อนผ่านตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ เพื่อละลายตัวอย่างที่ไม่เป็นเจลออกมา คำนวณหา gel fraction พบว่าค่า gel fraction เท่ากับ 92 % ดังแสดงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลสัดส่วนเจลของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนสกัด (กรัม)	น้ำหนักหลังสกัด (กรัม)	gel fraction
1	0.0578	0.0526	91.00
2	0.0744	0.0691	92.88
3	0.0582	0.0538	92.44
เฉลี่ย	0.0635	0.0585	92.11

4.5 ผลการทดสอบ Gel strength ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้



ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบ Gel strength ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

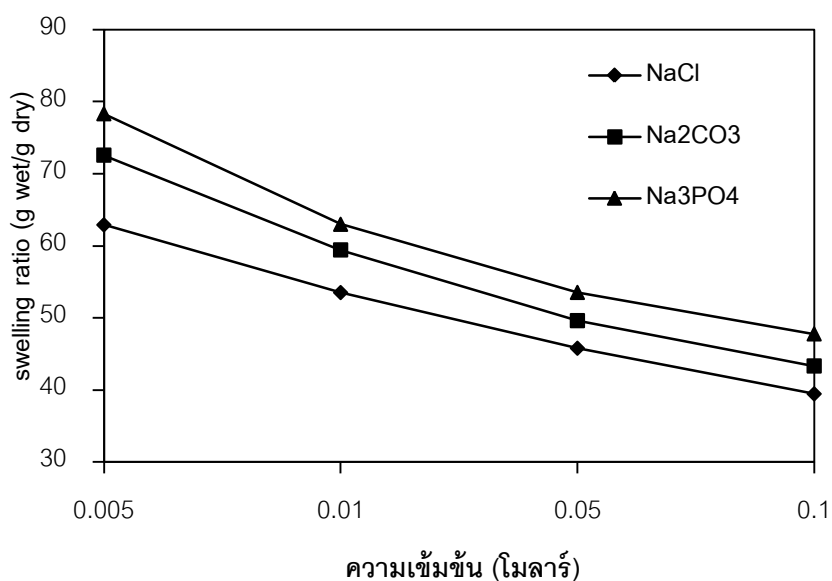
จากการทดสอบ Gel strength ของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ ขึ้นงานตัวอย่าง เป็นลูกบาศก์ ขนาด 1 เซนติเมตร ขนาดเซลล์ที่โหลด 100 นิวตัน ด้วยอัตราแรงกด 5 มิลลิเมตรต่อ นาที พบว่าขึ้นงานสามารถทนแรงกดได้ที่ความหนา 80 เปอร์เซ็นต์ของขึ้นงานตัวอย่าง โดยยังคง สภาพเดิม ไม่มีการแตกของขึ้นงาน และเมื่อยกเซลล์ที่โหลดให้อยู่ในระดับก่อนใช้แรงกด ขึ้นงาน ตัวอย่างยังคงกลับมาอยู่ในสภาพเดิม โดย Gel strength ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.1151

4.6 ผลของความเข้มข้นและ Ionic strength ของตัวกลางต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นและ Ionic strength ของตัวกลางต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ในการทดลองนี้ใช้สารละลาย NaCl, Na₂CO₃ และ Na₃PO₄ ความเข้มข้น 0.005, 0.01, 0.05 และ 0.1 M พบว่าความเข้มข้นของสารละลายตัวกลางเพิ่มมากขึ้น สัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์จะลดลง เนื่องจากแรงดันออสโมติกที่เกิดจากความแตกต่างระหว่าง mobile ions ระหว่างโครงร่างตาข่ายของกราฟต์โคพอลิเมอร์และสารละลายตัวกลาง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นไอออนิกของสารละลาย จะลดความแตกต่างของความเข้มข้นของ mobile ions ระหว่างกราฟต์โคพอลิเมอร์และสารละลายตัวกลาง ทำให้ลดปริมาตรช่องว่างภายในโมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์แอนไอออนที่เติมลงไปเพิ่มขึ้นเป็นดังนี้



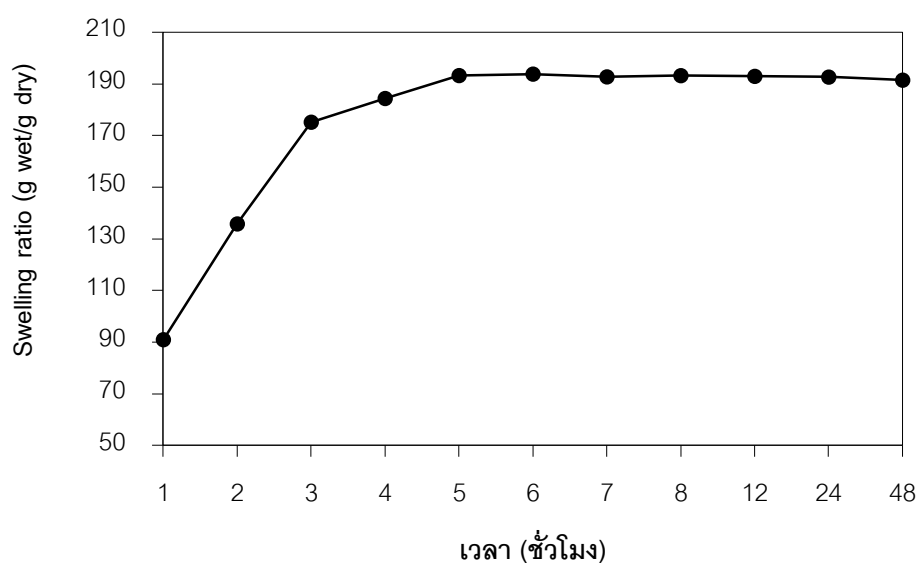
เนื่องจาก PO₄³⁻ และ CO₃²⁻ เป็นไตรวาเลนซ์และไดวาเลนซ์ที่สามารถสร้าง ion pairs กับโซเดียมไอออน ดังนั้น จะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายลดลง และทำให้ค่าสัดส่วนการบวมน้ำต่ำ แต่คลอไรด์ไอออนซึ่งเป็นมอนอวาเลนซ์จะสามารถสร้าง ion pairs กับโซเดียมไอออนมากกว่า มีผลต่อความเข้มข้นต่อสารละลายมากกว่า ค่าสัดส่วนการบวมน้ำจึงลดลง [12]



ภาพที่ 4.16 ผลของ ionic strength ต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์

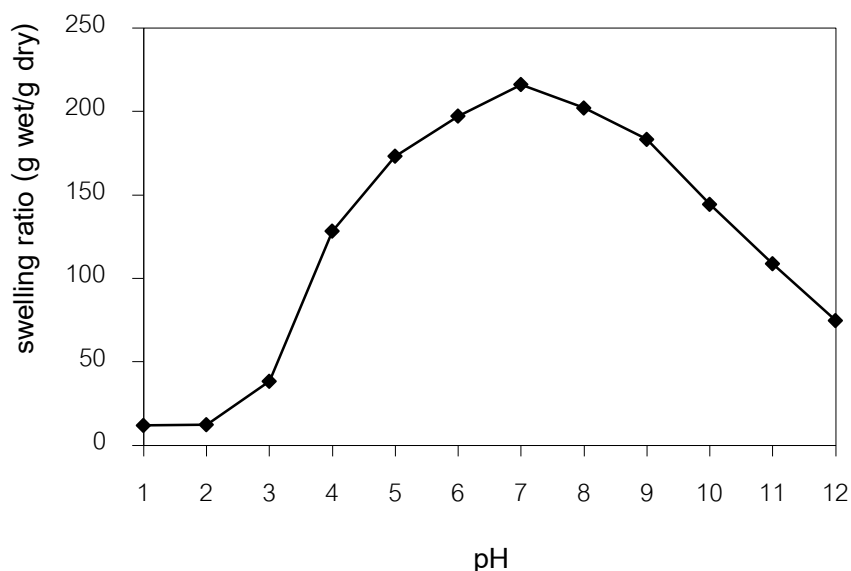
4.7 ผลของเวลาต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการทดลองผลของเวลาต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ที่เวลา 1-48 ชั่วโมง พบว่า การบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลา 1-5 ชั่วโมง เนื่องจากน้ำสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ช่องว่างของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มีปริมาตรมากได้ จนกระทั่งไม่เหลือช่องว่างภายในโมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ให้โมเลกุลของน้ำแพร่เข้าไปได้อีก หลังจากนั้นการบวมน้ำจะคงที่ จนกระทั่งถึงเวลา 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.17 ผลของเวลาต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

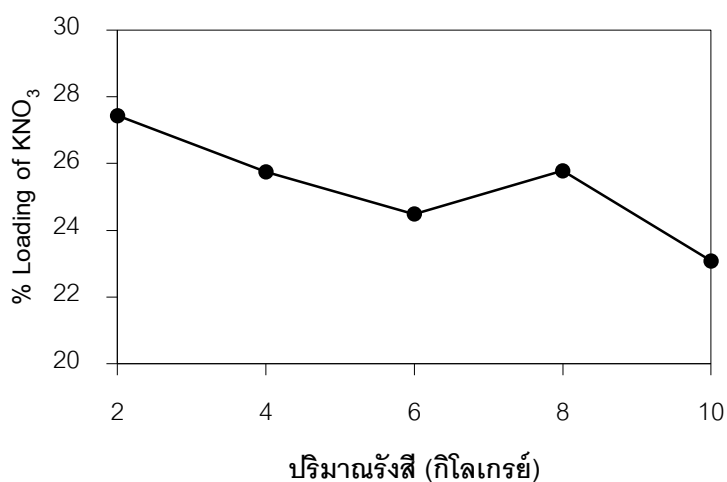
4.8 ผลของความเป็นกรดต่างของสารละลายต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์



ภาพที่ 4.18 ผลของความเป็นกรดต่างของสารละลายต่อสัดส่วนการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

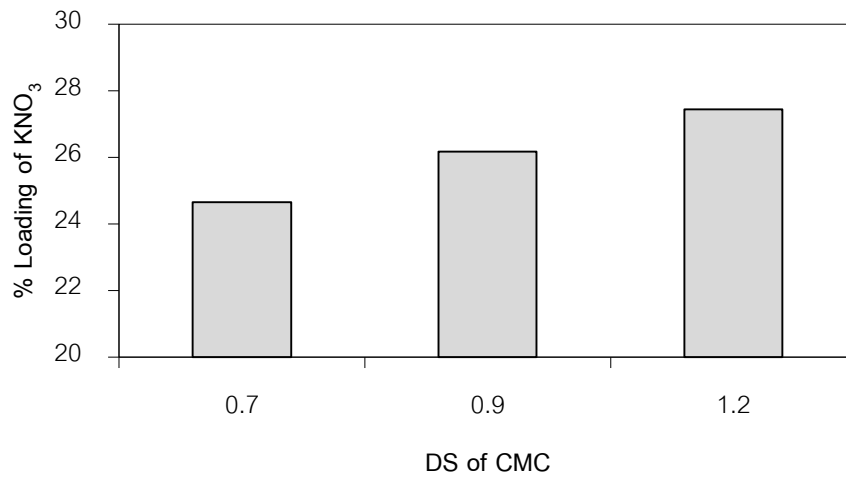
จากการศึกษาผลความเป็นกรดต่างของสารละลายต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเปลี่ยน pH ในช่วง 1.0-12.0 ผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4.18 ค่าการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง pH 7 และลดลงเมื่อ pH สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อ pH ของสารละลายสูงขึ้น หมู่เอไมต์ในสายโซ่โครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์จะถูกไฮโดรไลซิส ทำให้การบวมน้ำสูงขึ้น เมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น หมู่คาร์บอกซิลิกจะเริ่มแตกตัวเป็นหมู่คาร์บอกซีเลตไอออน ($-\text{COO}^-$) และเกิดการผลักซึ่งกันและกันของประจุแอนไอออน (electrostatic repulsion) เกิดการขยายของสายโซ่โครงร่างตาข่าย ทำให้ค่าการบวมน้ำเพิ่มขึ้น จนถึง pH 7 และเมื่อเพิ่ม pH มากกว่า 7 ค่าการบวมน้ำจะน้อยลง เนื่องจากความแตกต่างของไอออนภายในสารละลายมีมากขึ้น [12,32]

4.9 ผลการทดสอบการไหลด KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์



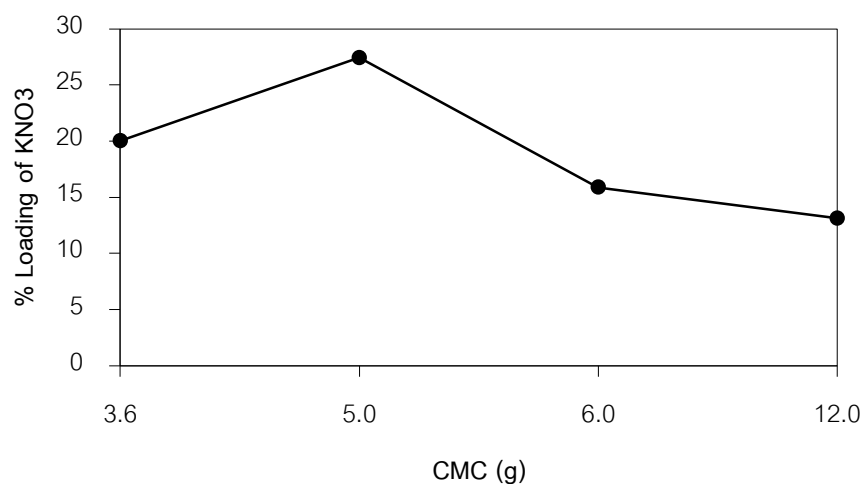
ภาพที่ 4.19 ผลของปริมาณรังสีต่อการไหลด KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการทดสอบการไหลด KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยการแช่กราฟต์โคพอลิเมอร์ลงในสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1 % (w/v) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า การไหลด KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง จาก 27.43%-23.08% เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น 2-10 kGy เนื่องจากช่องว่างภายในโมเลกุลที่ลดลง ทำให้การแพร่กระจายของ KNO_3 เข้าไปในโมเลกุลได้ช้าและน้อย ซึ่งเป็นพฤติกรรมเดียวกับการบวมน้ำกราฟต์โคพอลิเมอร์ และที่ปริมาณรังสี 8 kGy พบว่า การไหลด KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากผลของพื้นผิวของตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ขนาดเล็ก



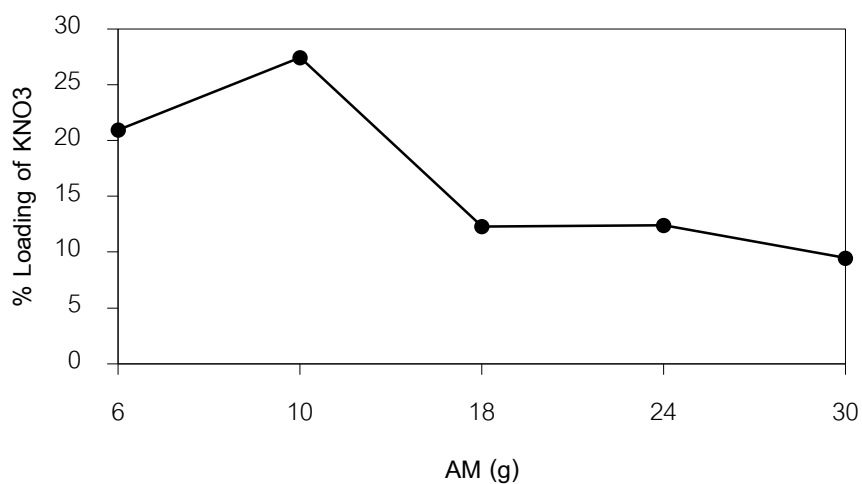
ภาพที่ 4.20 ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการโหลด KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการทดสอบการโหลด KNO_3 พบว่า การโหลดเพิ่มขึ้นตาม DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีค่าเท่ากับ 24.65%-27.47% เนื่องจากหมู่คาร์บอกซีเลตในโมเลกุลมีมากขึ้น จะทำให้การบวมน้ำมากขึ้น การแพร่กระจายของ KNO_3 เข้าไปในโมเลกุลได้ง่าย ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การโหลดจึงเพิ่มขึ้น



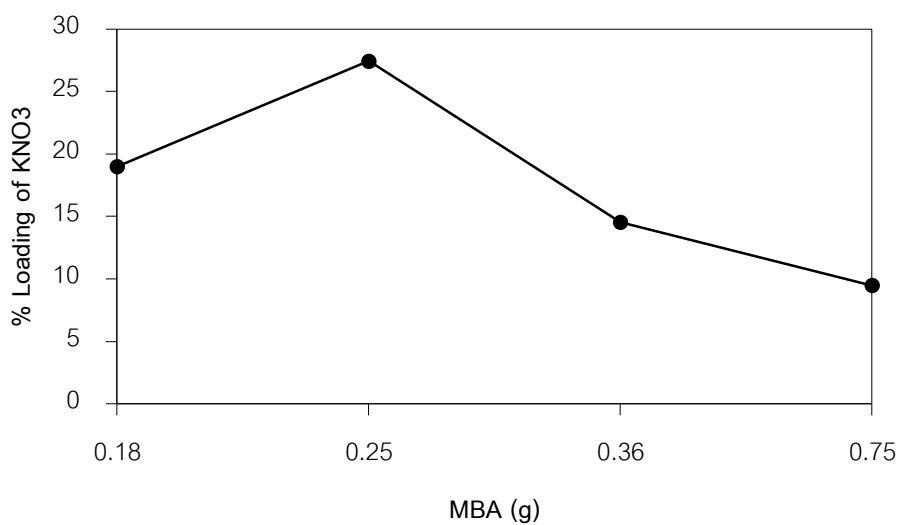
ภาพที่ 4.21 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการโหลด KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการทดสอบการไหลของ KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่าปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3.6-5 กรัม ค่าการไหลเพิ่มขึ้นจาก 20.03%-27.43% และเมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมากขึ้น ค่าการไหลลดลง จาก 15.90%-14.43% จากโครงสร้างของโมเลกุลที่หนาแน่นขึ้นตามปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ทำให้ KNO_3 แพร่กระจายเข้าไปในโมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ได้น้อย



ภาพที่ 4.22 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการไหลของ KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการทดสอบการไหลของ KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่าปริมาณอะคริลาไมด์ 6-10 กรัม ค่าการไหลเพิ่มขึ้นจาก 19.51%-27.43% และเมื่อปริมาณอะคริลาไมด์มากขึ้น ค่าการไหลลดลง จาก 12.30%-9.46% จากโครงสร้างของโมเลกุลที่หนาแน่นขึ้นตามปริมาณอะคริลาไมด์ ความยืดหยุ่นและช่องว่างของโมเลกุลมีน้อย ค่าการไหลของ KNO_3 จึงลดลง

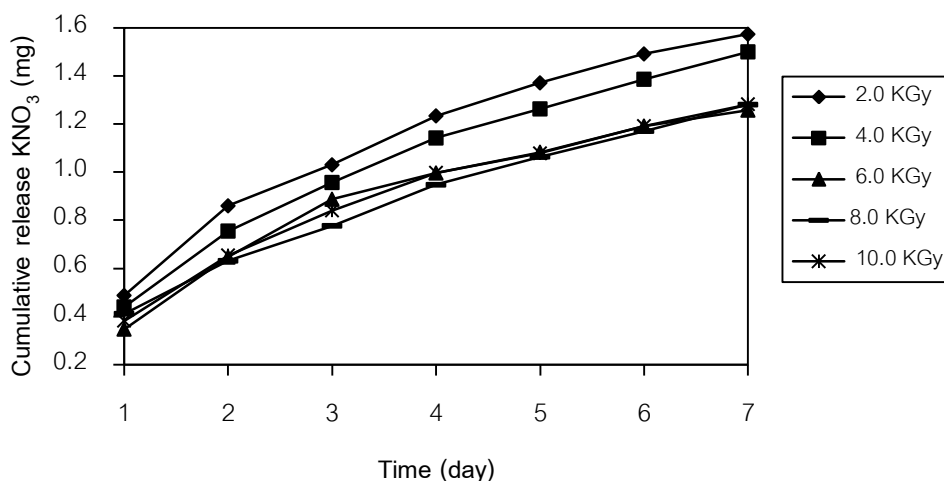


ภาพที่ 4.23 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการโหลด KNO₃ ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการทดสอบการโหลด KNO₃ ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่าปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 6-10 กรัม ค่าการโหลดเพิ่มขึ้นจาก 19.00%-27.43% และเมื่อปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์มากขึ้น ค่าการโหลดลดลง จาก 14.54%-9.49 % จากโครงสร้างของโมเลกุลที่หนาแน่นขึ้นตามปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลมากขึ้น ทำให้การโหลด KNO₃ เข้าในโมเลกุลได้น้อยลง

4.10 ผลการทดสอบการปลดปล่อย KNO_3 ออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์

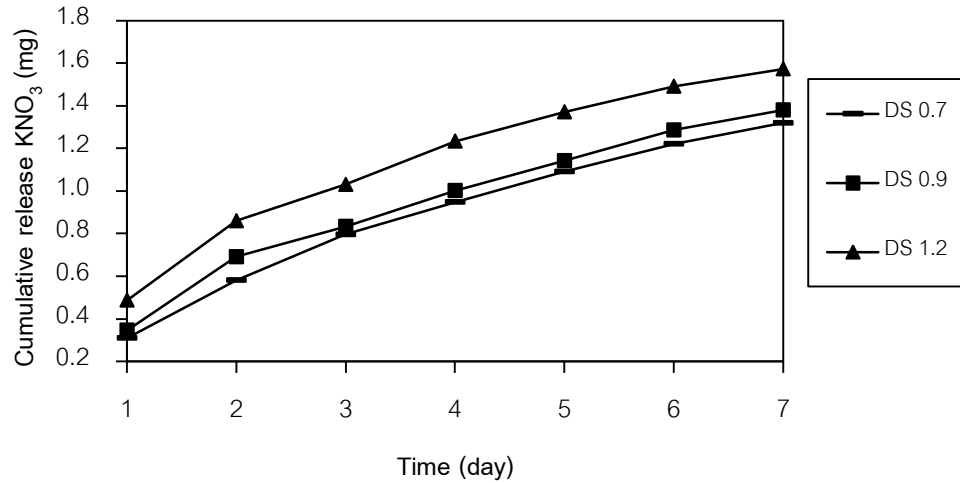
4.10.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ



ภาพที่ 4.24 ผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ

จากการทดสอบผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อย KNO_3 พบว่า เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น พฤติกรรมการปลดปล่อย KNO_3 ออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์จะลดลง ดังภาพที่ 4.24 โดยที่ปริมาณรังสี 2 kGy มีการปลดปล่อย KNO_3 สะสมมากที่สุด เนื่องจากการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ทำให้ KNO_3 สามารถละลายน้ำแทรกซึมผ่านช่องว่างภายในโมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ออกมา เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น มีช่องว่างภายในโมเลกุลที่หนาแน่นมากขึ้น ความสามารถในการยืดหยุ่นของโมเลกุลขนาดใหญ่ลดลง ทำให้การปลดปล่อย KNO_3 ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลงด้วย ซึ่งผลการปลดปล่อย KNO_3 มีความสอดคล้องกับการบวมตัวในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ [12]

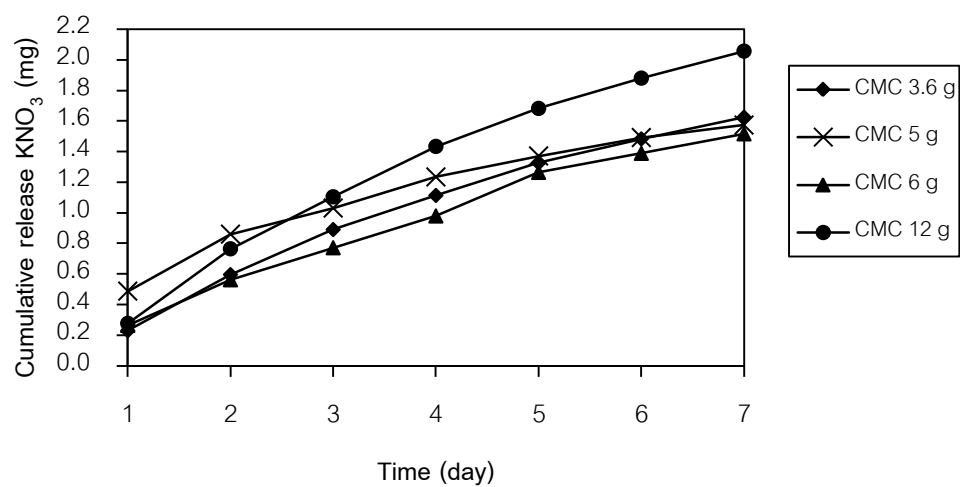
4.10.2 ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ



ภาพที่ 4.25 ผลของ DS ของ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ

จากการทดสอบผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ พบว่าการปลดปล่อย KNO_3 เพิ่มขึ้น เมื่อ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสูง ดังภาพที่ 4.25 เนื่องจากพฤติกรรมกรรมกรวมน้ำที่เพิ่มขึ้นตามค่า DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมื่อกราฟต์โคพอลิเมอร์รวมน้ำได้มาก จึงสามารถปลดปล่อย KNO_3 ได้มาก

4.10.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ

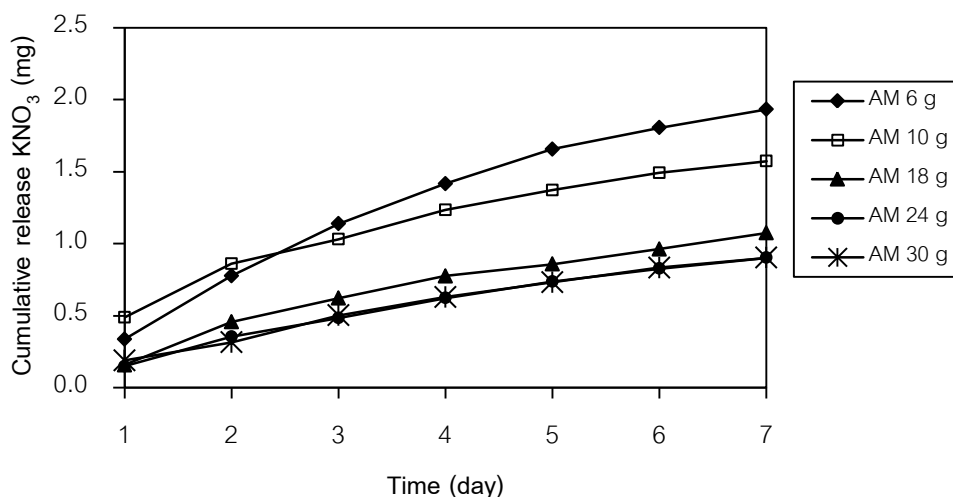


ภาพที่ 4.26 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ

จากการทดสอบผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ ดังภาพที่ 4.26 พบว่าการปลดปล่อย KNO_3 ลดลง เมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 12 กรัม พบว่าการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ มีค่าสูงสุด เนื่องจากผลของความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลาย KNO_3 ที่อยู่ภายในโมเลกุลและภายนอกโมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ เกิดการแพร่ของ KNO_3 ได้มาก จึงทำให้สามารถปลดปล่อย KNO_3 ออกมาได้สูงสุด

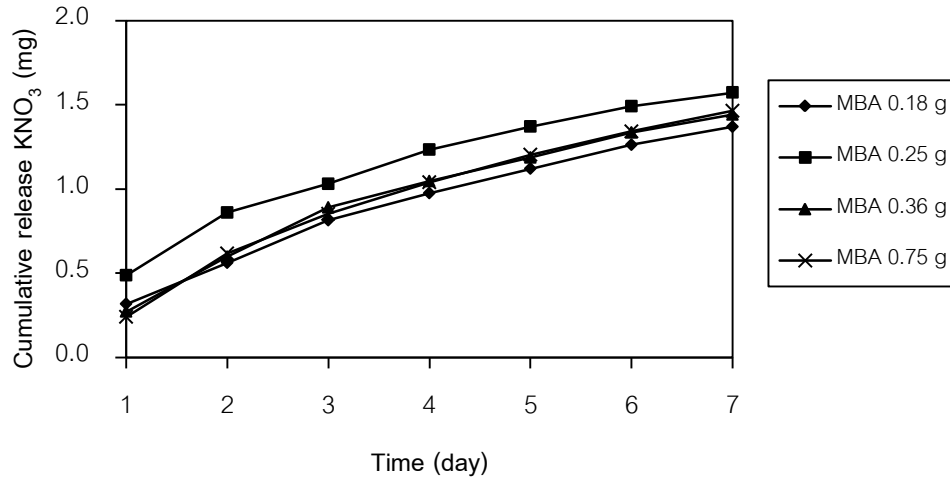
4.10.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ

จากการทดสอบผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ พบว่าเมื่อปริมาณอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น การปลดปล่อย KNO_3 ลดลง ดังภาพที่ 4.27 เนื่องจากปริมาณอะคริลาไมด์ต่ำๆ ความหนาแน่นของโครงสร้างตาข่ายของครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์ต่ำปริมาตรของช่องว่างในโมเลกุลมีมาก สามารถปลดปล่อย KNO_3 ได้ดี แต่เมื่อความหนาแน่นของโครงสร้างตาข่ายของครอสลิงค์พอลิอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้นตามปริมาณอะคริลาไมด์ ทำให้ค่า KNO_3 ที่ปลดปล่อยน้อยลง [12]



ภาพที่ 4.27 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO_3

4.10.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO_3



ภาพที่ 4.28 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ

จากการทดสอบผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อย KNO_3 ในน้ำ พบว่าการปลดปล่อย KNO_3 เพิ่มขึ้นในช่วง 0.18-0.25 กรัม ดังภาพที่ 4.24 เช่นเดียวกับพฤติกรรมการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ หลังจากนั้นการปลดปล่อย KNO_3 จะลดลง เนื่องจากการเกิดการเชื่อมขวางภายในโมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มากขึ้น โครงสร้างมีความหนาแน่นที่เกิดจากการเชื่อมขวางของพอลิอะคริลาไมด์สูง การปลดปล่อย KNO_3 จึงลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์โดยกราฟต์พอลิอะคริลาไมด์ลงบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นสารเชื่อมขวางและใช้รังสีแกมมาเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยรังสีทำหน้าที่ย่นย่อทำให้เกิดอนุมูลอิสระภายในโมเลกุลของอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ได้เป็นพอลิอะคริลาไมด์ เกิดปฏิกิริยาครอสลิงค์ภายในโมเลกุลของพอลิอะคริลาไมด์ โดยมีเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ เป็นสารเชื่อมขวางและเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ของพอลิอะคริลาไมด์บนสายโซ่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ให้ค่าสัดส่วนการบวมน้ำสูงสุด คือมีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เท่ากับ 121.73 และประสิทธิภาพการกราฟต์เท่ากับ 101.22

5.2 การบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการศึกษาการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยแช่กราฟต์โคพอลิเมอร์ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ให้ค่าการบวมน้ำสูงสุด คือ ปริมาณรังสี 2 K Gy ปริมาณ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 5 กรัม ปริมาณอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ 6 กรัม ปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ 0.25 กรัม สามารถบวมน้ำได้ 190 กรัมต่อน้ำหนักพอลิเมอร์แห้ง โดยสามารถบวมน้ำได้สูงสุดที่เวลา 5 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมเท่ากับ pH 7 และเมื่อความเข้มข้นและชนิดของ ionic strength เพิ่มขึ้น ความสามารถในการบวมน้ำจะลดลง

5.3 การไหลดโพแทสเซียมไนเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการศึกษาการไหลดโพแทสเซียมไนเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์ พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการไหลด เช่น ชนิดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ และเวลาในการไหลด ในการทดลองครั้งนี้ทำการทดลองโดยแช่กราฟต์โคพอลิเมอร์ในสารละลายโพแทสเซียมไนเตรตความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สภาวะที่เหมาะสมที่ให้ค่าการบวมน้ำสูงสุด สามารถไหลดโพแทสเซียมไนเตรตเท่ากับ 20.95 เปอร์เซ็นต์

5.4 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์

จากผลการทดสอบการปลดปล่อยโพแทสเซียมในเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยนำตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่โหลดโพแทสเซียมในเตรตแช่ไว้ในน้ำ หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่กราฟต์โคพอลิเมอร์ปลดปล่อยออกมา จากการวิเคราะห์พบว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์จะค่อยๆ ปลดปล่อยสารละลายโพแทสเซียมในเตรตออกมาทีละน้อย เช่นเดียวกับพฤติกรรมกรวมน้ำ กล่าวคือ ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่บวมน้ำได้มาก จะปลดปล่อยโพแทสเซียมในเตรตออกมาได้มาก โดยตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมในเตรตออกมาได้มากที่สุดคือ ตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ด้วยสภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกับตัวอย่างกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่บวมน้ำได้สูงสุด โดยใน 7 วัน มีปริมาณการปลดปล่อยสะสม 1.93 มิลลิกรัม จากปริมาณการโหลด 4.24 มิลลิกรัม คิดเป็น 45.58 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความหนาแน่นของโครงร่างตาข่าย ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยโพแทสเซียมในเตรตได้

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาทดลองการโหลดและการปลดปล่อยปุ๋ยชนิดอื่นๆ เช่น แอมโมเนียมในเตรตและไดแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น
2. ควรทำการศึกษาทดลองปัจจัยของความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยที่มีผลต่อการโหลดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยทดลองที่ความเข้มข้นน้อยๆ เพื่อการนำไปใช้งานได้จริง
3. ควรทำการศึกษาทดลองการปลดปล่อยปุ๋ยในดินเพาะปลูก

รายการอ้างอิง

- [1] Nagasawa, N.; Yagi, T.; Kume, T.; Yoshii, F. Radiation crosslinking of carboxymethyl starch. Carbohydrate Polymers, 58, 2004: 109-113.
- [2] Benamer S. Mahlous, M.; Boukrif, A.; Mansouri, B.; Youcef, S. Synthesis and characterisation of hydrogels based on poly(vinyl pyrrolidone). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 248, 2006: 284-290
- [3] Varshney, L. Role of natural polysaccharides in radiation formation of PVA - hydrogel wound dressing. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 255, 2007: 343-349.
- [4] Hegazy, E.A.; Abdel-Rehim, H.A.; Kamal, H.; Kandeel, K.A. Advances in Radiation Grafting. Nuclear Instruments and Methods in Physics research B, 185, 2001: 235-240.
- [5] Abd El-Rchim, H.A.; Hegazy, E.A.; Khalil, F.H.; Hamed, N.A. Radiation preparation of drug carriers based polyacrylic acid (PAAc) using poly(vinyl pyrrolidone) (PVP) as a template polymer. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 254, 2007: 105-112.
- [6] Cai, H.; Zhang, Z.; Sun, P.; He, B.; Zhu, X. Synthesis and characterization of thermo- and pH- sensitive hydrogels based on Chitosan-grafted N-isopropylacrylamide via γ -radiation. Radiation Physics and Chemistry, 74, 2005: 26-30.
- [7] Othman, S.; Sohsah, M.; Ghoneim, M.; Sokkar, H.; Badawy, S.; El-Anadouli, B. Adsorption of hazardous ions from radioactive waste on chelating cloth filter. Radiation Physics and Chemistry, 75, 2006: 278-285.
- [8] Chmielewski, A.G.; Haji-Saeid, M.; Ahmed, S. Progress in radiation processing of polymers. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 236, 2005: 44-45.

- [9] Tamada, M.; Seko, N.; Yoshii, F. Application of radiation-graft material for metal adsorbent and crosslinked natural polymer for healthcare product. *Radiation Physics and Chemistry*, 71, 2004: 221-225.
- [10] Seko, N.; Tamada, M.; Yoshii, F. Current status of adsorbent for metal ions with radiation grafting and crosslinking techniques. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 236, 2005: 21-29.
- [11] Peng, C.; Zhang, W.L.; Fang, Y. Synthesis of superabsorbent polymers by irradiation and their applications in agriculture, *Journal of Applied Polymer Science*, 93, 2004: 1748-1755.
- [12] Bajpai, A.K.; Giri, A. Water sorption behaviour of highly swelling (carboxy methylcellulose-g-polyacrylamide) hydrogels and release of potassium nitrate as agrochemical. *Carbohydrate Polymers*, 53, 2003: 271-279.
- [13] ยิ่งศักดิ์ ไกรพิณิจ และคณะ. การศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งพุดรั้ง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46, 2551, 96-103
- [14] ทองใส จำนงการ, สุปราณี แก้วภิรมย์. ผลขององค์ประกอบของพอลิเมอร์ไฮโดรเจลที่มีผลต่อการดูดซับน้ำและการปลดปล่อยแร่ธาตุของปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อยได้. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 1. 2552
- [15] YEBANG, T., LIMING, Z., ZHUOMEI, L., Synthesis and Characterization of New Amphoteric Graft Copolymer of Sodium Carboxymethyl Cellulose with Acrylamide and Dimethylaminoethyl Methylacrylate. *Journal of Applied Polymer Science*, 69, 1998: 879-885.
- [16] Youming, C., Xiaosun, Q., Jun S., Fanming, Z., Shang'an, L. Graft copolymerization of acylamide onto carboxymethyl starch. *European Polymer Journal*, 38, 2002: 1921-1924
- [17] Biswal, D.R., Singh, R.P., Characterisation of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. *Carbohydrate Polymers*, 54, 2003: 379-387.

- [18] Behari, K., Pandey P.K., Kumar, R., Taunk, K., Graft copolymerization of acrylamide onto xanthan gum. Carbohydrate Polymers, 46, 2001: 185-189.
- [19] Bothaina, Abd, E.H., Maha, M. I., Graft copolymerization of acrylamide onto carboxymethyl cellulose with the xanthate method. Journal of Applied Polymer Science, 93, 2004: 271–278
- [20] A.D. JENKIN, Progress in polymer science 4 (4,10)
- [21] เกศินี เหมวิเชียร และพิริยารุ สุวรรณมาลา. การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ด้วยรังสี. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: <http://www.tint.or.th/nkc/nkc5003/nkc5003f.html> [2554, มิถุนายน 10]
- [22] R.J. Wood, K.P. Alexci. Applied Radiation Chemistry. Radiation Processing. United States: John Willey & Sons, 1994
- [23] ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2527
- [24] M.N. Mohamed, A.H. El-Sayed. Preparation and application of ion exchange membranes by radiation-induced graft copolymerization of polar monomer onto non-polar films. Progress in Polymer Science 29, 2004: 499-561
- [25] ชยากริต ศิริอุปถัมภ์. เคมีรังสีและกระบวนการทางรังสี. เอกสารการสอน. ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543
- [26] Ichikawa, T., and Nakajima, T. Super absorptive polymer (from natural polysaccharide and Peptide). In J.C. Salamon (ed.), Polymeric Materials Encyclopedia, 10, New York : CRC Press, 1996. 8051-8059
- [27] ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2536. 15-16, 226.
- [28] Feddersen, RL; Thorp, SN. Sodium carboxymethylcellulose. In Industrial Gums, Polysaccharides and their Derivatives, 3rd ed.; Whistler, RL, BeMiller JN, Eds.; Academic Press: San Diego, 1993. 537
- [29] รศ.ดร.โสภณ เริงสำราญ, ปราวณี รัตนวลิตีโรจน์ และศรีไฉล ขุนทนต์. การสังเคราะห์คาร์

บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อย. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541. 15-20

- [30] MATERIAL SAFETY DATA SHEET, BIO BASIC INC. UPDATED: May 2007
- [31] Nagasawa et al. Radiation crosslinking of carboxymethyl starch, Carbohydrate Polymers, 58, 2004: 109–113
- [32] Jain-Ping, W., Yogg-Zhen, C., Xue-Wu G., Han-Qing Y., Gamma radiation-induced grafting of a cationic monomer onto chitosan as a flocculant. Chemosphere, 66, 1752-1757: 2007
- [33] Horia M. Nizam El-Din, Safaa G. Abd Alla, Abdel Wahab M. El-Naggar. Swelling and drug release properties of acrylamide/carboxymethyl cellulose networks formed by gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry, 79, 2010: 725-730
- [34] Catari E., Albano C., Karam A., Perera R., Silva P., Gonzalez J. Grafting of LLDPE using gamma irradiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 236, 2005: 343-347

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง ปริมาณส่วนประกอบของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักของส่วนประกอบของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณรังสี (กิโลเกรย์)	ปริมาณ CMC (กรัม)	ปริมาณ AM (กรัม)	ปริมาณ MBA (กรัม)	น้ำหนักหลังฉายรังสี (กรัม)
CMC-g-PAM 2.0 KGy	2	5.0061	10.0229	0.2534	15.3975
CMC-g-PAM 4.0 KGy	4	5.0001	10.0023	0.2499	15.4185
CMC-g-PAM 6.0 KGy	6	5.0031	10.0055	0.2529	15.4290
CMC-g-PAM 8.0 KGy	8	5.0018	10.0119	0.2501	15.4410
CMC-g-PAM 10.0 KGy	10	5.0010	10.0155	0.2505	15.9690
CMC-g-PAM DS 0.7	2	5.0082	10.0152	0.2520	15.1806
CMC-g-PAM DS 0.9	2	5.0094	10.0098	0.2550	15.2850
CMC-g-PAM DS 1.2	2	5.0061	10.0229	0.2534	15.3975
CMC-g-PAM CMC 3 กรัม	2	3.6054	10.0014	0.2520	13.6194
CMC-g-PAM CMC 5 กรัม	2	5.0061	10.0229	0.2534	15.3975
CMC-g-PAM CMC 6 กรัม	2	6.0066	10.0050	0.2544	17.3208
CMC-g-PAM CMC 12 กรัม	2	12.0120	10.0002	0.2550	23.5332
CMC-g-PAM AM 6 กรัม	2	5.0070	6.0216	0.2508	11.1018
CMC-g-PAM AM 10 กรัม	2	5.0061	10.0229	0.2534	15.3975
CMC-g-PAM AM 18 กรัม	2	5.0058	18.0012	0.2502	24.8622
CMC-g-PAM AM 24 กรัม	2	5.0028	24.0300	0.2532	31.8582
CMC-g-PAM AM 30 กรัม	2	5.0064	30.0138	0.2490	38.9796
CMC-g-PAM MBA 0.18 กรัม	2	5.0076	10.0056	0.1854	14.9532
CMC-g-PAM MBA 0.25 กรัม	2	5.0061	10.0229	0.2534	15.3975
CMC-g-PAM MBA 0.36 กรัม	2	5.0040	10.0032	0.3654	15.5196
CMC-g-PAM MBA 0.75 กรัม	2	5.0094	10.0050	0.7536	15.8946

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการบวมน้ำของกราฟตีโคพอลิเมอร์

ตารางที่ ข.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการบวมน้ำของกราฟตีโคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
CMC-g-PAM 2.0 KGy	1	0.5049	90.9076	180.05	0.10
	2	0.5103	91.7090	179.72	
	3	0.5039	90.5975	179.79	
	เฉลี่ย	0.5064	91.0714	179.85	
CMC-g-PAM 4.0 KGy	1	0.5190	90.6717	174.70	0.40
	2	0.5130	88.9423	173.38	
	3	0.5122	89.3456	174.43	
	เฉลี่ย	0.5147	89.6532	174.17	
CMC-g-PAM 6.0 KGy	1	0.5030	81.7707	162.57	0.88
	2	0.5100	83.5040	163.73	
	3	0.5036	81.0198	160.88	
	เฉลี่ย	0.5055	82.0982	162.39	
CMC-g-PAM 8.0 KGy	1	0.5149	79.2796	153.97	0.50
	2	0.5048	78.3665	155.24	
	3	0.5112	78.6577	153.87	
	เฉลี่ย	0.5103	78.7679	154.36	
CMC-g-PAM 10.0 KGy	1	0.5018	68.6816	136.87	2.05
	2	0.5051	71.6952	141.94	
	3	0.5092	69.8559	137.19	
	เฉลี่ย	0.5054	70.0776	138.67	

ตารางที่ ข.2 ผลของระดับการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
CMC-g-PAM DS 0.7	1	0.5031	47.9820	95.37	2.52
	2	0.5088	46.1542	90.71	
	3	0.5114	47.3836	92.65	
	เฉลี่ย	0.5078	47.1733	92.91	
CMC-g-PAM DS 0.9	1	0.5017	49.9690	99.60	1.80
	2	0.5105	52.7148	103.26	
	3	0.5018	50.9256	101.49	
	เฉลี่ย	0.5047	51.2031	101.45	
CMC-g-PAM DS 1.2	1	0.5049	90.9076	180.05	0.10
	2	0.5103	91.7090	179.72	
	3	0.5039	90.5975	179.79	
	เฉลี่ย	0.5064	91.0714	179.85	

ตารางที่ ข.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
CMC-g-PAM CMC 3 กรัม	1	0.5025	45.4048	90.36	1.76
	2	0.5029	43.8987	87.29	
	3	0.5149	45.4829	88.33	
	เฉลี่ย	0.5068	44.9288	88.66	
CMC-g-PAM CMC 5 กรัม	1	0.5049	90.9076	180.05	0.10
	2	0.5103	91.7090	179.72	
	3	0.5039	90.5975	179.79	
	เฉลี่ย	0.5064	91.0714	179.85	
CMC-g-PAM CMC 6 กรัม	1	0.5114	47.8265	93.52	0.92
	2	0.5123	47.0551	91.85	
	3	0.5034	46.8132	92.99	
	เฉลี่ย	0.5090	47.2316	92.79	

ตารางที่ ข.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	Std.
CMC-g-PAM CMC 12 กรัม	1	0.5146	46.5463	90.45	1.56
	2	0.5018	45.1698	90.02	
	3	0.5114	44.9275	87.85	
	เฉลี่ย	0.5093	45.5479	89.44	

ตารางที่ ข.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
CMC-g-PAM AM 6 กรัม	1	0.5049	96.9745	192.07	0.75
	2	0.5103	96.7339	189.56	
	3	0.5039	95.5401	189.60	
	เฉลี่ย	0.5064	96.4162	190.41	
CMC-g-PAM AM 10 กรัม	1	0.5049	90.9076	180.05	0.10
	2	0.5103	91.7090	179.72	
	3	0.5039	90.5975	179.79	
	เฉลี่ย	0.5064	91.0714	179.85	
CMC-g-PAM AM 18 กรัม	1	0.5034	26.1046	51.86	4.00
	2	0.5025	24.1020	47.96	
	3	0.5114	25.9603	50.76	
	เฉลี่ย	0.5058	25.3890	50.19	
CMC-g-PAM AM 24 กรัม	1	0.5038	17.9218	35.57	0.45
	2	0.5149	18.4749	35.88	
	3	0.5030	18.0132	35.81	
	เฉลี่ย	0.5072	18.1366	35.76	
CMC-g-PAM AM 30 กรัม	1	0.5037	13.9261	27.65	1.27
	2	0.5080	14.4058	28.36	
	3	0.5037	14.0968	27.99	
	เฉลี่ย	0.5051	14.1429	28.00	

ตารางที่ ข.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
CMC-g-PAM MBA 0.18 g	1	0.5164	69.6739	192.07	0.74
	2	0.5075	69.0280	189.56	
	3	0.5149	69.0144	189.60	
	เฉลี่ย	0.5129	69.2388	190.41	
CMC-g-PAM MBA 0.25 g	1	0.5049	90.9076	180.05	0.10
	2	0.5103	91.7090	179.72	
	3	0.5039	90.5975	179.79	
	เฉลี่ย	0.5064	91.0714	179.85	
CMC-g-PAM MBA 0.36 g	1	0.5091	37.2652	51.86	2.21
	2	0.5044	38.5455	47.96	
	3	0.5044	38.0921	50.76	
	เฉลี่ย	0.5060	37.9676	50.19	
CMC-g-PAM MBA 0.75 g	1	0.5044	25.0239	35.57	2.06
	2	0.5029	24.1724	35.88	
	3	0.5103	25.5018	35.81	
	เฉลี่ย	0.5059	24.8994	35.76	

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบ ionic strength และความเข้มข้นของตัวกลางต่อการบวมน้ำ
ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตารางที่ ค.1 ผลของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง

สารละลาย	ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
NaCl	0.005	1	0.5055	30.9550	61.24	3.18
		2	0.5152	33.5524	65.13	
		3	0.5060	31.5575	62.37	
		เฉลี่ย	0.5089	32.0216	62.91	
	0.01	1	0.5106	28.1360	55.10	3.46
		2	0.5141	26.4670	51.48	
		3	0.5086	27.4407	53.95	
		เฉลี่ย	0.5111	27.3479	53.51	
	0.05	1	0.5099	22.5438	44.21	3.23
		2	0.5033	23.7314	47.15	
		3	0.5073	23.3358	46.00	
		เฉลี่ย	0.5068	23.2037	45.79	
	0.1	1	0.5215	20.8236	39.93	3.36
		2	0.5125	19.4545	37.96	
		3	0.5133	20.7790	40.48	
		เฉลี่ย	0.5158	20.3524	39.46	

ตารางที่ ค.2 ผลของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ

สารละลาย	ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
Na ₂ CO ₃	0.005	1	0.5056	35.8615	70.93	3.60
		2	0.5109	38.6222	75.60	
		3	0.5073	36.1295	71.22	
		เฉลี่ย	0.5079	36.8711	72.58	
	0.01	1	0.5119	31.4883	61.51	3.05
		2	0.5113	29.9540	58.58	
		3	0.5064	29.4741	58.20	
		เฉลี่ย	0.5099	30.3055	59.43	
	0.05	1	0.5058	25.0371	49.50	1.37
		2	0.5103	25.0097	49.01	
		3	0.5090	25.6310	50.36	
		เฉลี่ย	0.5084	25.2259	49.62	
	0.1	1	0.5089	21.1908	41.64	4.35
		2	0.5090	23.0916	45.37	
		3	0.5065	21.7717	42.98	
		เฉลี่ย	0.5081	22.0180	43.33	

ตารางที่ ค.2 ผลของสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ

สารละลาย	ความเข้มข้น (โมลาร์)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
Na ₃ PO ₄	0.005	1	0.5092	40.1604	78.87	3.64
		2	0.5083	41.1049	80.87	
		3	0.5080	38.2270	75.25	
		เฉลี่ย	0.5085	39.8308	78.33	
	0.01	1	0.5067	32.5237	64.19	1.71
		2	0.5108	31.7169	62.09	
		3	0.5086	31.8827	62.69	
		เฉลี่ย	0.5087	32.0411	62.99	
	0.05	1	0.5073	28.4019	55.99	4.25
		2	0.5086	27.0208	53.13	
		3	0.5166	26.6018	51.49	
		เฉลี่ย	0.5108	27.3415	53.54	
	0.1	1	0.5056	24.4494	48.36	1.64
		2	0.5102	24.5446	48.11	
		3	0.5082	23.8296	46.89	
		เฉลี่ย	0.5080	24.2745	47.79	

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบเวลาต่อการบวมตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตารางที่ ง ผลการทดสอบการบวมน้ำที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
1	1	0.0672	5.9818	89.01	1.56
	2	0.0604	5.4811	90.75	
	3	0.0665	6.0353	90.76	
	4	0.0721	6.5724	91.16	
	5	0.0682	6.3419	92.99	
	เฉลี่ย	0.0669	6.0825	90.93	
2	1	0.0672	9.0277	134.34	0.66
	2	0.0604	8.2453	136.51	
	3	0.0665	9.0198	135.64	
	4	0.0721	9.7918	135.81	
	5	0.0682	9.3118	136.54	
	เฉลี่ย	0.0669	9.0793	135.77	
3	1	0.0672	11.7446	174.77	0.80
	2	0.0604	10.6775	176.78	
	3	0.0665	11.5428	173.58	
	4	0.0721	12.5608	174.21	
	5	0.0682	12.0358	176.48	
	เฉลี่ย	0.0669	11.7123	175.16	
4	1	0.0672	12.3737	184.13	0.41
	2	0.0604	11.0749	183.36	
	3	0.0665	12.3270	185.37	
	4	0.0721	13.3209	184.76	
	5	0.0682	12.5562	184.11	
	เฉลี่ย	0.0669	12.3305	184.34	

ตารางที่ ๕ ผลการทดสอบการบวมน้ำที่เวลาต่างๆ (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
5	1	0.0672	12.8960	191.90	0.48
	2	0.0604	11.6787	193.36	
	3	0.0665	12.8968	193.94	
	4	0.0721	13.8950	192.72	
	5	0.0682	13.2427	194.17	
	เฉลี่ย	0.0669	12.9218	193.22	
6	1	0.0672	12.9405	192.57	0.54
	2	0.0604	11.6645	193.12	
	3	0.0665	12.9593	194.88	
	4	0.0721	13.9507	193.49	
	5	0.0682	13.2910	194.88	
	เฉลี่ย	0.0669	12.9612	193.79	
7	1	0.0672	12.9189	192.25	0.90
	2	0.0604	11.4942	190.30	
	3	0.0665	12.9527	194.78	
	4	0.0721	13.8617	192.26	
	5	0.0682	13.2294	193.98	
	เฉลี่ย	0.0669	12.8914	192.71	
8	1	0.0672	13.0034	193.50	0.72
	2	0.0604	11.5911	191.91	
	3	0.0665	12.9027	194.03	
	4	0.0721	13.8170	191.64	
	5	0.0682	13.2894	194.86	
	เฉลี่ย	0.0669	12.9207	193.19	

ตารางที่ ง ผลการทดสอบการบวมน้ำที่เวลาต่างๆ (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
12	1	0.0672	12.9725	193.04	1.25
	2	0.0604	11.5323	190.93	
	3	0.0665	13.0262	195.88	
	4	0.0721	13.7095	190.15	
	5	0.0682	13.2724	194.61	
	เฉลี่ย	0.0669	12.9026	192.92	
24	1	0.0672	12.9021	192.00	1.14
	2	0.0604	11.6283	192.52	
	3	0.0665	13.0010	195.50	
	4	0.0721	13.6630	189.50	
	5	0.0682	13.2040	193.61	
	เฉลี่ย	0.0669	12.8797	192.63	
48	1	0.0672	12.9321	192.44	0.94
	2	0.0604	11.5108	190.58	
	3	0.0665	12.7760	192.12	
	4	0.0721	13.6076	188.73	
	5	0.0682	13.1841	193.32	
	เฉลี่ย	0.0669	12.8021	191.44	

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบความเป็นกรดต่างต่อการบวมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตาราง จ ผลการบวมน้ำที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ

pH	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
1	1	0.5084	6.1129	12.02	3.51
	2	0.5075	6.3539	12.52	
	3	0.5192	6.0627	11.68	
	เฉลี่ย	0.5117	6.1765	12.07	
2	1	0.5111	6.3174	12.36	8.18
	2	0.5076	6.8994	13.59	
	3	0.5098	5.8939	11.56	
	เฉลี่ย	0.5095	6.3702	12.50	
3	1	0.5068	18.2448	36.00	4.81
	2	0.5121	19.9042	38.87	
	3	0.5102	20.1079	39.41	
	เฉลี่ย	0.5097	19.4190	38.09	
4	1	0.5056	64.9967	128.55	0.58
	2	0.5088	65.7104	129.15	
	3	0.5118	65.3456	127.68	
	เฉลี่ย	0.5087	65.3509	128.46	
5	1	0.5091	87.6547	172.18	1.36
	2	0.5113	89.6902	175.42	
	3	0.5060	86.4417	170.83	
	เฉลี่ย	0.5088	87.9288	172.81	
6	1	0.5119	99.4377	194.25	1.57
	2	0.5068	99.8247	196.97	
	3	0.5123	102.6724	200.41	
	เฉลี่ย	0.5103	100.6449	197.21	

ตาราง ๑ ผลการบวมน้ำที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ (ต่อ)

pH	ครั้งที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	Swelling Ratio	%RSD
7	1	0.5105	110.6424	216.73	0.90
	2	0.5082	108.7362	213.96	
	3	0.5085	110.6975	217.69	
	เฉลี่ย	0.5091	110.0253	216.13	
8	1	0.5261	106.2520	201.96	0.50
	2	0.5134	103.4731	201.54	
	3	0.5079	103.3416	203.47	
	เฉลี่ย	0.5158	104.3556	202.32	
9	1	0.5106	92.2982	180.76	0.85
	2	0.5102	92.6663	181.63	
	3	0.5093	93.5907	183.76	
	เฉลี่ย	0.5100	92.8517	182.05	
10	1	0.5055	73.7570	145.91	1.76
	2	0.5071	71.7297	141.45	
	3	0.5088	74.1923	145.82	
	เฉลี่ย	0.5071	73.2263	144.39	
11	1	0.5077	55.0426	108.42	0.67
	2	0.5075	54.6747	107.73	
	3	0.5098	55.6670	109.19	
	เฉลี่ย	0.5083	55.1281	108.45	
12	1	0.5108	39.0526	76.45	2.44
	2	0.5097	37.1135	72.81	
	3	0.5074	37.9727	74.84	
	เฉลี่ย	0.5093	38.0463	74.70	

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบ การโหลดโพแทสเซียมไนเตรตของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตารางที่ จ.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM 2.0 KGy	0.0206	0.0262	27.18	2.52
	0.0203	0.0258	27.09	
	0.0206	0.0263	27.67	
	0.0206	0.0261	26.70	
	0.0200	0.0257	28.50	
เฉลี่ย	0.0204	0.0260	27.43	
CMC-g-PAM 4.0 KGy	0.0209	0.0264	26.32	2.59
	0.0210	0.0265	26.19	
	0.0201	0.0252	25.37	
	0.0203	0.0256	26.11	
	0.0202	0.0252	24.75	
เฉลี่ย	0.0205	0.0258	25.75	
CMC-g-PAM 6.0 KGy	0.0209	0.0261	24.88	2.62
	0.0201	0.0250	24.38	
	0.0205	0.0253	23.41	
	0.0208	0.0260	25.00	
	0.0202	0.0252	24.75	
เฉลี่ย	0.0205	0.0255	24.49	
CMC-g-PAM 8.0 KGy	0.0207	0.0258	24.64	1.54
	0.0200	0.0249	24.50	
	0.0202	0.0253	25.25	
	0.0207	0.0259	25.12	
	0.0205	0.0255	24.39	
เฉลี่ย	0.0204	0.0255	24.78	

ตารางที่ ค.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM 10.0 KGy	0.0207	0.0256	23.67	3.15
	0.0204	0.0253	24.02	
	0.0200	0.0245	22.50	
	0.0201	0.0246	22.39	
	0.0206	0.0253	22.82	
เฉลี่ย	0.0204	0.0251	23.08	

ตารางที่ ค.2 ผลของ DS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM DS 0.7	0.0205	0.0257	25.37	2.70
	0.0205	0.0257	25.37	
	0.0200	0.0248	24.00	
	0.0203	0.0252	24.14	
	0.0209	0.0260	24.40	
เฉลี่ย	0.0204	0.0255	24.65	
CMC-g-PAM DS 0.9	0.0201	0.0254	26.37	2.29
	0.0198	0.0248	25.25	
	0.0201	0.0253	25.87	
	0.0206	0.0261	26.70	
	0.0203	0.0257	26.60	
เฉลี่ย	0.0202	0.0255	26.16	
CMC-g-PAM DS 1.2	0.0206	0.0262	27.18	2.52
	0.0203	0.0258	27.09	
	0.0206	0.0263	27.67	
	0.0206	0.0261	26.70	
	0.0200	0.0257	28.50	
เฉลี่ย	0.0204	0.0260	27.43	

ตารางที่ ๑.3 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM CMC 3.6 กรัม	0.0209	0.0251	20.10	6.74
	0.0209	0.0252	20.57	
	0.0202	0.0246	21.78	
	0.0210	0.0248	18.10	
	0.0209	0.0250	19.62	
เฉลี่ย	0.0208	0.0249	20.03	
CMC-g-PAM CMC 5 กรัม	0.0206	0.0262	27.18	2.52
	0.0203	0.0258	27.09	
	0.0206	0.0263	27.67	
	0.0206	0.0261	26.70	
	0.0200	0.0257	28.50	
เฉลี่ย	0.0204	0.0260	27.43	
CMC-g-PAM CMC 6 กรัม	0.0200	0.0232	16.00	6.04
	0.0207	0.0242	16.91	
	0.0196	0.0225	14.80	
	0.0206	0.0237	15.05	
	0.0209	0.0244	16.75	
เฉลี่ย	0.0204	0.0236	15.90	
CMC-g-PAM CMC 12 กรัม	0.0203	0.0225	10.84	10.35
	0.0201	0.0228	13.43	
	0.0204	0.0231	13.24	
	0.0204	0.0232	13.73	
	0.0208	0.0238	14.42	
เฉลี่ย	0.0204	0.0231	13.13	

ตารางที่ ๑.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM AM 6 กรัม	0.0200	0.0243	21.50	5.90
	0.0200	0.0241	20.50	
	0.0202	0.0248	22.77	
	0.0205	0.0247	20.49	
	0.0205	0.0245	19.51	
เฉลี่ย	0.0202	0.0245	20.95	
CMC-g-PAM AM 10 กรัม	0.0206	0.0262	27.18	2.52
	0.0203	0.0258	27.09	
	0.0206	0.0263	27.67	
	0.0206	0.0261	26.70	
	0.0200	0.0257	28.50	
เฉลี่ย	0.0204	0.0260	27.43	
CMC-g-PAM AM 18 กรัม	0.0208	0.0234	12.50	5.54
	0.0209	0.0234	11.96	
	0.0202	0.0228	12.87	
	0.0204	0.0227	11.27	
	0.0202	0.0228	12.87	
เฉลี่ย	0.0205	0.0230	12.30	
CMC-g-PAM AM 24 กรัม	0.0206	0.0233	13.11	8.01
	0.0203	0.0226	11.33	
	0.0206	0.0231	12.14	
	0.0205	0.0229	11.71	
	0.0204	0.0232	13.73	
เฉลี่ย	0.0205	0.0230	12.40	

ตารางที่ ๑.4 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM AM 30 กรัม	0.0205	0.0227	10.73	11.03
	0.0209	0.0227	8.61	
	0.0201	0.0218	8.46	
	0.0209	0.0228	9.09	
	0.0202	0.0223	10.40	
เฉลี่ย	0.0205	0.0225	9.46	

ตารางที่ ๑.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM MBA 0.18 กรัม	0.0207	0.0248	19.81	3.48
	0.0210	0.0251	19.52	
	0.0209	0.0248	18.66	
	0.0202	0.0240	18.81	
	0.0209	0.0247	18.18	
เฉลี่ย	0.0207	0.0247	19.00	
CMC-g-PAM MBA 0.25 กรัม	0.0206	0.0262	27.18	2.52
	0.0203	0.0258	27.09	
	0.0206	0.0263	27.67	
	0.0206	0.0261	26.70	
	0.0200	0.0257	28.50	
เฉลี่ย	0.0204	0.0260	27.43	
CMC-g-PAM MBA 0.36 กรัม	0.0199	0.0228	14.57	7.20
	0.0206	0.0237	15.05	
	0.0197	0.0223	13.20	
	0.0207	0.0240	15.94	
	0.0208	0.0237	13.94	
เฉลี่ย	0.0203	0.0233	14.54	

ตารางที่ ๑.5 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริอะคริลาไมด์ต่อการโหลดโพแทสเซียมไนเตรต (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลัง โหลด (กรัม)	% loading of NKO_3	%RSD
CMC-g-PAM MBA 0.75 กรัม	0.0205	0.0222	8.29	14.63
	0.0208	0.0226	8.65	
	0.0210	0.0233	10.95	
	0.0208	0.0231	11.06	
	0.0200	0.0217	8.50	
เฉลี่ย	0.0206	0.0226	9.49	

ภาคผนวก ช

ผลการทดสอบ การปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตารางที่ ช.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำของกราฟต์โคพอลิ-
เมอร์

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM 2.0 KGy	1	0.538	0.429	0.102	0.277	0.052	0.121	0.070
	2	0.493	0.449	0.142	0.208	0.205	0.161	0.063
	3	0.417	0.407	0.307	0.237	0.194	0.146	0.078
	4	0.566	0.328	0.167	0.172	0.125	0.074	0.089
	5	0.424	0.249	0.135	0.124	0.111	0.099	0.109
	เฉลี่ย	0.488	0.372	0.170	0.203	0.137	0.120	0.082
	%RSD	13.61	22.27	46.72	28.92	46.16	29.27	22.23
CMC-g-PAM 4.0 KGy	1	0.487	0.175	0.275	0.210	0.101	0.130	0.124
	2	0.289	0.406	0.268	0.219	0.166	0.134	0.130
	3	0.429	0.356	0.235	0.148	0.121	0.109	0.129
	4	0.553	0.394	0.117	0.201	0.089	0.129	0.082
	5	0.441	0.245	0.114	0.146	0.126	0.115	0.104
	เฉลี่ย	0.440	0.315	0.202	0.185	0.121	0.123	0.114
	%RSD	22.15	31.99	39.81	18.92	24.56	8.72	18.10
CMC-g-PAM 6.0 KGy	1	0.336	0.299	0.240	0.109	0.086	0.109	0.066
	2	0.322	0.206	0.104	0.113	0.122	0.095	0.134
	3	0.316	0.161	0.218	0.185	0.132	0.135	0.119
	4	0.363	0.206	0.266	0.163	0.184	0.125	0.125
	5	0.401	0.143	0.116	0.244	0.162	0.090	0.122
	เฉลี่ย	0.348	0.203	0.189	0.163	0.137	0.111	0.113
	%RSD	10.06	29.78	39.33	34.15	27.32	17.21	23.76

ตารางที่ ข.1 ผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำของกราฟต์โคพอลิ-
เมอร์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM 8.0 KGy	1	0.423	0.134	0.112	0.119	0.068	0.106	0.077
	2	0.442	0.215	0.243	0.204	0.192	0.078	0.106
	3	0.396	0.301	0.120	0.186	0.057	0.066	0.116
	4	0.416	0.317	0.134	0.190	0.186	0.141	0.125
	5	0.379	0.133	0.118	0.154	0.080	0.142	0.126
	เฉลี่ย	0.412	0.220	0.145	0.171	0.117	0.106	0.110
	%RSD	5.92	39.98	37.95	19.98	57.30	32.72	18.58
CMC-g-PAM 10.0 KGy	1	0.387	0.272	0.235	0.105	0.080	0.114	0.119
	2	0.391	0.331	0.102	0.190	0.105	0.079	0.071
	3	0.343	0.248	0.110	0.172	0.077	0.121	0.089
	4	0.288	0.341	0.237	0.217	0.061	0.132	0.061
	5	0.505	0.167	0.248	0.100	0.080	0.122	0.113
	เฉลี่ย	0.383	0.272	0.186	0.157	0.081	0.113	0.091
	%RSD	20.86	25.89	39.49	33.10	19.83	18.09	27.91

ตารางที่ ข.2 ผลของปริมาณรังสีต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตสะสมของกราฟต์โคพอลิ-
เมอร์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อยสะสม (มิลลิกรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
2.0 KGy	0.488	0.860	1.030	1.234	1.371	1.491	1.573
4.0 KGy	0.440	0.755	0.957	1.142	1.263	1.386	1.500
6.0 KGy	0.348	0.647	0.887	0.997	1.083	1.192	1.258
8.0 KGy	0.412	0.632	0.777	0.948	1.064	1.171	1.281
10.0 KGy	0.383	0.654	0.841	0.998	1.078	1.192	1.283

ตารางที่ ข.3 ผลของDS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำ
ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM DS 0.7	1	0.299	0.368	0.358	0.217	0.166	0.139	0.102
	2	0.414	0.143	0.124	0.117	0.176	0.114	0.078
	3	0.257	0.342	0.283	0.093	0.164	0.098	0.075
	4	0.262	0.338	0.213	0.183	0.087	0.157	0.115
	5	0.319	0.167	0.094	0.152	0.122	0.141	0.121
	เฉลี่ย	0.310	0.272	0.214	0.152	0.143	0.130	0.098
	%RSD	20.49	39.58	51.05	32.45	26.18	18.07	21.62

ตารางที่ ข.3 ผลของDS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM DS 0.9	1	0.394	0.253	0.118	0.234	0.086	0.157	0.060
	2	0.386	0.315	0.120	0.100	0.126	0.124	0.128
	3	0.399	0.358	0.117	0.131	0.090	0.096	0.074
	4	0.372	0.400	0.157	0.250	0.184	0.196	0.083
	5	0.180	0.396	0.200	0.127	0.215	0.148	0.125
	เฉลี่ย	0.346	0.344	0.143	0.168	0.140	0.144	0.094
	%RSD	26.98	17.83	25.54	40.60	41.00	25.88	32.56
CMC-g-PAM DS 1.2	1	0.538	0.429	0.102	0.277	0.052	0.121	0.070
	2	0.493	0.449	0.142	0.208	0.205	0.161	0.063
	3	0.417	0.407	0.307	0.237	0.194	0.146	0.078
	4	0.566	0.328	0.167	0.172	0.125	0.074	0.089
	5	0.424	0.249	0.135	0.124	0.111	0.099	0.109
	เฉลี่ย	0.488	0.372	0.170	0.203	0.137	0.120	0.082
	%RSD	13.61	22.27	46.72	28.92	46.16	29.27	22.23

ตารางที่ ข.4 ผลของDS ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตสะสมของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อยสะสม (มิลลิกรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
DS 0.7	0.310	0.581	0.796	0.948	1.091	1.221	1.319
DS 0.9	0.346	0.691	0.833	1.002	1.142	1.286	1.380
DS 1.2	0.488	0.860	1.030	1.234	1.371	1.491	1.573

ตารางที่ ข.5 ผลของปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำ
ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM CMC 3.6 กรัม	1	0.260	0.501	0.390	0.260	0.175	0.139	0.134
	2	0.321	0.448	0.277	0.198	0.240	0.175	0.161
	3	0.168	0.283	0.305	0.229	0.235	0.174	0.142
	4	0.222	0.321	0.313	0.179	0.229	0.164	0.155
	5	0.173	0.280	0.187	0.249	0.182	0.135	0.118
	เฉลี่ย	0.229	0.367	0.295	0.223	0.212	0.157	0.142
	%RSD	27.95	27.73	24.76	15.38	14.54	12.22	11.93
CMC-g-PAM CMC 5 กรัม	1	0.538	0.429	0.102	0.277	0.052	0.121	0.070
	2	0.493	0.449	0.142	0.208	0.205	0.161	0.063
	3	0.417	0.407	0.307	0.237	0.194	0.146	0.078
	4	0.566	0.328	0.167	0.172	0.125	0.074	0.089
	5	0.424	0.249	0.135	0.124	0.111	0.099	0.109
	เฉลี่ย	0.488	0.372	0.170	0.203	0.137	0.120	0.082
	%RSD	13.61	22.27	46.72	28.92	46.16	29.27	22.23
CMC-g-PAM CMC 6 กรัม	1	0.113	0.298	0.209	0.208	0.285	0.125	0.127
	2	0.358	0.442	0.231	0.260	0.205	0.158	0.100
	3	0.260	0.302	0.360	0.226	0.247	0.130	0.160
	4	0.287	0.456	0.318	0.297	0.278	0.145	0.144
	5	0.297	0.478	0.327	0.272	0.258	0.145	0.128
	เฉลี่ย	0.263	0.395	0.289	0.253	0.255	0.140	0.132
	%RSD	34.67	22.18	22.54	14.17	12.50	9.45	16.85

ตารางที่ ข.5 ผลของปริมาณระดับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรต
ในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM CMC 12 กรัม	1	0.207	0.492	0.333	0.320	0.260	0.185	0.152
	2	0.303	0.522	0.334	0.309	0.198	0.141	0.145
	3	0.222	0.445	0.329	0.359	0.270	0.240	0.187
	4	0.337	0.332	0.293	0.370	0.226	0.246	0.198
	5	0.315	0.646	0.410	0.289	0.288	0.177	0.201
	เฉลี่ย	0.277	0.487	0.340	0.329	0.248	0.198	0.177
	%RSD	21.13	23.49	12.55	10.34	14.48	22.48	14.92

ตารางที่ ข.6 ผลของปริมาณระดับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรต
สะสมของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อยสะสม (มิลลิกรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
CMC 3.6 g	0.229	0.595	0.890	1.113	1.325	1.482	1.624
CMC 5 g	0.488	0.860	1.030	1.234	1.371	1.491	1.573
CMC 6 g	0.263	0.562	0.771	0.979	1.264	1.388	1.516
CMC 12 g	0.277	0.764	1.104	1.433	1.682	1.880	2.056

ตารางที่ ข.7 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM AM 6 กรัม	1	0.343	0.588	0.390	0.133	0.212	0.200	0.124
	2	0.385	0.287	0.290	0.319	0.243	0.098	0.095
	3	0.176	0.388	0.364	0.257	0.255	0.148	0.161
	4	0.397	0.511	0.481	0.323	0.289	0.165	0.143
	5	0.377	0.427	0.289	0.354	0.201	0.138	0.112
	เฉลี่ย	0.335	0.440	0.363	0.277	0.240	0.150	0.127
	%RSD	27.24	26.21	21.93	31.71	14.62	24.85	20.48
CMC-g-PAM AM 10 กรัม	1	0.538	0.429	0.102	0.277	0.052	0.121	0.070
	2	0.493	0.449	0.142	0.208	0.205	0.161	0.063
	3	0.417	0.407	0.307	0.237	0.194	0.146	0.078
	4	0.566	0.328	0.167	0.172	0.125	0.074	0.089
	5	0.424	0.249	0.135	0.124	0.111	0.099	0.109
	เฉลี่ย	0.488	0.372	0.170	0.203	0.137	0.120	0.082
	%RSD	12.65	21.31	38.12	22.76	27.59	29.29	20.11
CMC-g-PAM AM 18 กรัม	1	0.173	0.300	0.165	0.153	0.084	0.103	0.113
	2	0.187	0.268	0.230	0.146	0.087	0.082	0.055
	3	0.133	0.152	0.135	0.116	0.192	0.104	0.071
	4	0.117	0.180	0.107	0.227	0.110	0.074	0.081
	5	0.170	0.242	0.124	0.194	0.110	0.131	0.078
	เฉลี่ย	0.156	0.228	0.152	0.167	0.117	0.099	0.080
	%RSD	19.07	26.79	31.85	26.13	37.59	22.50	26.46

ตารางที่ ข.7 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM AM 24 กรัม	1	0.095	0.221	0.119	0.103	0.095	0.104	0.079
	2	0.143	0.200	0.175	0.099	0.128	0.061	0.100
	3	0.167	0.182	0.092	0.205	0.111	0.089	0.079
	4	0.176	0.180	0.147	0.149	0.117	0.089	0.059
	5	0.157	0.245	0.117	0.141	0.117	0.112	0.062
	เฉลี่ย	0.148	0.206	0.130	0.139	0.113	0.091	0.076
	%RSD	8.72	13.01	23.62	25.84	5.66	20.75	21.98
CMC-g-PAM AM 30 กรัม	1	0.232	0.103	0.179	0.146	0.093	0.101	0.055
	2	0.201	0.141	0.220	0.077	0.145	0.107	0.078
	3	0.199	0.088	0.112	0.103	0.099	0.098	0.080
	4	0.085	0.148	0.205	0.162	0.053	0.108	0.062
	5	0.221	0.154	0.223	0.140	0.126	0.093	0.076
	เฉลี่ย	0.188	0.127	0.188	0.126	0.103	0.101	0.070
	%RSD	29.99	20.09	24.09	26.99	32.99	6.24	10.16

ตารางที่ ข.8 ผลของปริมาณอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตสะสมของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อยสะสม (มิลลิกรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
AM 6 g	0.335	0.775	1.138	1.415	1.655	1.806	1.933
AM 10 g	0.488	0.860	1.030	1.234	1.371	1.491	1.573
AM 18 g	0.156	0.385	0.537	0.704	0.821	0.920	0.999
AM 24 g	0.148	0.353	0.483	0.623	0.736	0.827	0.903
AM 30 g	0.188	0.314	0.502	0.628	0.731	0.832	0.902

ตารางที่ ข.9 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM MBA 0.18 กรัม	1	0.251	0.202	0.210	0.106	0.139	0.115	0.121
	2	0.238	0.211	0.184	0.168	0.162	0.166	0.121
	3	0.346	0.170	0.258	0.129	0.155	0.133	0.110
	4	0.317	0.209	0.194	0.152	0.109	0.126	0.073
	5	0.436	0.428	0.416	0.251	0.162	0.168	0.111
	เฉลี่ย	0.318	0.244	0.252	0.161	0.146	0.141	0.107
	%RSD	25.23	42.65	37.96	34.28	15.35	16.95	18.25

ตารางที่ ข.9 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำ
ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ชุดที่/ วันที่	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรตที่ปลดปล่อย (มิลลิกรัม)						
		1	2	3	4	5	6	7
CMC-g-PAM MBA 0.25 กรัม	1	0.538	0.429	0.102	0.277	0.052	0.121	0.070
	2	0.493	0.449	0.142	0.208	0.205	0.161	0.063
	3	0.417	0.407	0.307	0.237	0.194	0.146	0.078
	4	0.566	0.328	0.167	0.172	0.125	0.074	0.089
	5	0.424	0.249	0.135	0.124	0.111	0.099	0.109
	เฉลี่ย	0.488	0.372	0.170	0.203	0.137	0.120	0.082
	%RSD.	13.61	22.27	46.72	28.92	46.16	29.27	22.23
CMC-g-PAM MBA 0.36 กรัม	1	0.323	0.325	0.293	0.156	0.140	0.148	0.107
	2	0.260	0.424	0.272	0.256	0.222	0.107	0.123
	3	0.190	0.371	0.242	0.154	0.195	0.125	0.116
	4	0.310	0.304	0.197	0.254	0.208	0.156	0.091
	5	0.279	0.319	0.267	0.248	0.196	0.150	0.162
	เฉลี่ย	0.272	0.349	0.254	0.214	0.192	0.137	0.120
	%RSD	19.21	14.08	14.50	25.08	16.16	14.96	22.20
CMC-g-PAM MBA 0.75 กรัม	1	0.230	0.275	0.189	0.211	0.147	0.122	0.095
	2	0.237	0.269	0.161	0.182	0.145	0.112	0.111
	3	0.243	0.337	0.285	0.136	0.156	0.117	0.111
	4	0.272	0.700	0.351	0.250	0.213	0.214	0.186
	5	0.219	0.300	0.191	0.158	0.157	0.125	0.108
	เฉลี่ย	0.240	0.376	0.236	0.187	0.164	0.138	0.122
	%RSD	8.28	48.57	33.74	23.76	17.24	31.00	29.60

ตารางที่ ข.10 ผลของปริมาณเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ต่อการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรดสะสม
ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียมไนเตรดที่ปลดปล่อยสะสม (มิลลิกรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
MBA 0.18 g	0.318	0.562	0.814	0.975	1.121	1.262	1.369
MBA 0.25 g	0.488	0.860	1.030	1.234	1.371	1.491	1.573
MBA 0.36 g	0.272	0.597	0.890	1.046	1.187	1.335	1.442
MBA 0.75 g	0.240	0.617	0.852	1.040	1.203	1.342	1.464

ภาคผนวก ซ

หลักการของเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์

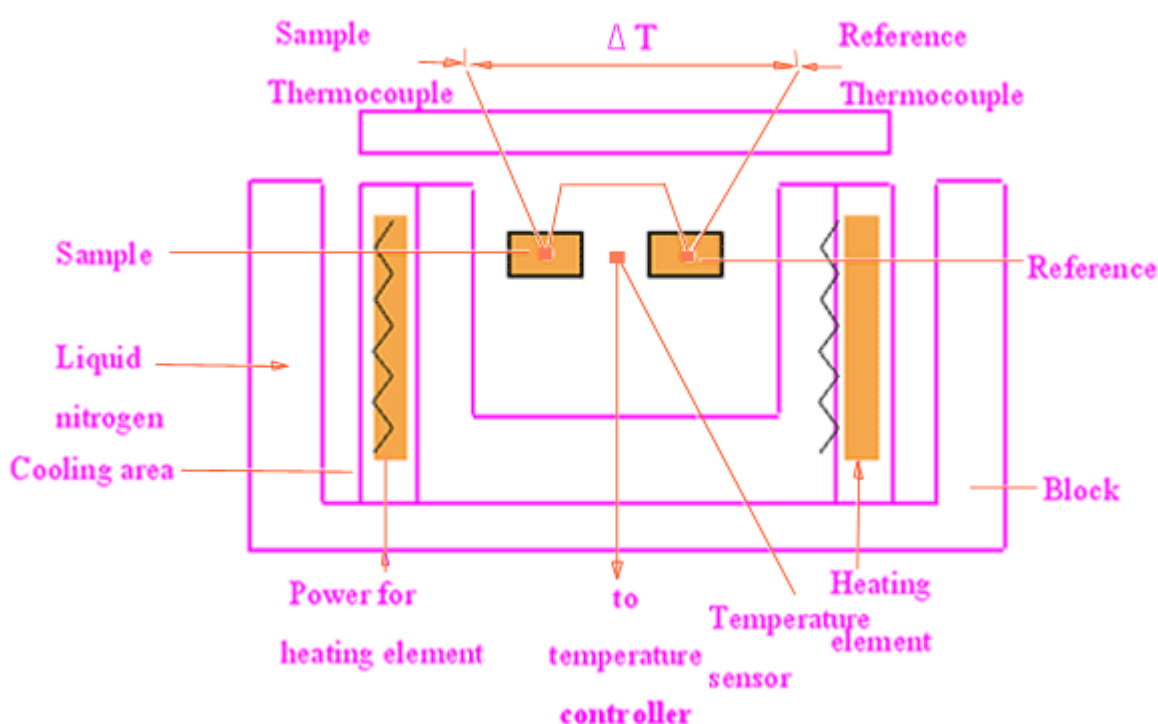
1. เครื่องมือวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform spectroscopy : FT-IR spectroscopy)

เครื่องมือวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform spectroscopy : FT-IR spectroscopy) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ โดยใช้หลักการการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืน พลังงานนั้นจะถูกเปลี่ยน เป็นพลังงานการหมุนและสั่นของโมเลกุล โดยโมเลกุลของสารแต่ละชนิด จะให้สเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของพันธะในโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพิสูจน์หาสูตรโครงสร้างของสารประกอบ ซึ่งในปัจจุบันมี IR Spectrum Libraries ของสารประกอบต่างๆ ที่จัดไว้เป็นกลุ่มๆ ตามคุณสมบัติทางเคมีที่สามารถเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารตัวอย่างกับ IR Spectrum Libraries โดยอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถบอกชนิดของสารตัวอย่างได้ พร้อมทั้งสามารถคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างได้เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน

2. เครื่องมือวิเคราะห์ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter : DSC)

เครื่องมือวิเคราะห์ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter : DSC) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่าง เช่น พอลิเมอร์ ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในบรรยากาศที่ถูกควบคุม หลักพื้นฐานของ DSC ก็คือ นำถ้วยอะลูมิเนียม 2 ถ้วย (หากใช้ถ้วยทองแดง หรือ แกรไฟต์เป็นถ้วยใช้สำหรับการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 °C) ถ้วยแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ถ้วยที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถ้วยเปล่าไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ชนิดเดียวกัน ซึ่งวางอยู่ข้าง ๆ กัน เมื่อเริ่มการทดลอง Furnace จะเริ่มให้ความร้อนแก่

ด้วยทั้งสองในบรรยากาศไนโตรเจน โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) แต่ที่สำคัญที่สุดก็คือ เครื่อง DSC จะควบคุมให้ Furnace ทั้งสอง (Furnace ของ Sample Pan และของ Reference Pan) เพิ่มอุณหภูมิด้วยทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลองจากนั้นสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในตัวอย่างจะถูกตรวจวัด และแปรผล

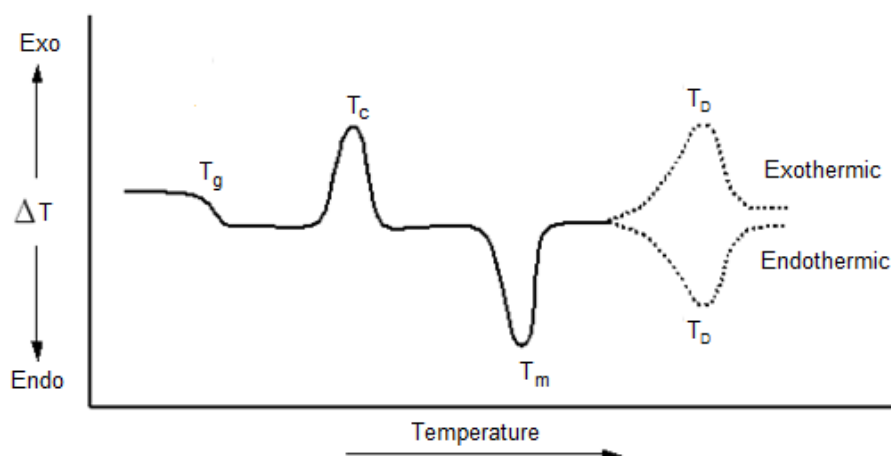


ภาพที่ ช.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือวิเคราะห์ DSC

ขนาดของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์อยู่ในช่วง 0.5 - 1.0 mg ระหว่างสารตัวอย่างและสารอ้างอิงจะถูกบันทึก เมื่อเริ่มให้ความร้อนถ้าอุณหภูมิของตัวอย่างต่ำกว่าสารอ้างอิงแสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน (endothermic) แต่ถ้าอุณหภูมิของตัวอย่างสูงกว่าสารอ้างอิงแสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน (exothermic) สำหรับเทคนิค DSC สารตัวอย่างและ สารอ้างอิงจะถูกให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานสองแหล่งที่แยกกัน (รูปที่ ค.1) ค่าพลังงาน

ความร้อน ($d\Delta Q/dt$) ที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิของตัวอย่าง และ สารอ้างอิงให้เท่ากันจะถูกบันทึกไว้

ข้อมูลที่ถูกนำมาพลอตกราฟกับอุณหภูมิ คือ $d\Delta Q/dt$ กราฟที่ได้เรียกว่า เทอร์โมแกรม (thermogram) ข้อดีของเทคนิค DSC คือ พื้นที่ใต้พีคจะสัมพันธ์โดยตรงกับเอนทาลปี (enthalpy) หรือการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความจุความร้อน ความร้อนของการหลอมเหลว หรือ เอนทาลปีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ตัวอย่างของเทอร์โมแกรมที่ได้จาก DSC แสดงดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ข.2 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

3. วิธีการทดลองเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟดีโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอนาลิซิส (Thermal Gravimetric Analysis : TGA)

การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis: TGA) ซึ่งจะวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทุกช่วงอุณหภูมิ การทดลองจะทำในระบบปิด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (Thermogravimetric Analyzer) เครื่องจะประกอบด้วยเตาเผา (Furnace) ที่มีโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Programmer) ควบคุมบรรยากาศ ความดัน และมีระบบการชั่งน้ำหนักเข้ามาประกอบ ซึ่งโดยทั่วไปการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะสามารถทดสอบได้ถึงอุณหภูมิ 1,000 องศา

เซลล์เดียว และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสาร ตัวอย่างที่ทดสอบ เช่น การสูญเสียองค์ประกอบ (Decomposition) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นสารใหม่ (Formation)

ภาคผนวก ซ

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ เรื่อง

Synthesis and Characterization of Superabsorbent Polymer Prepared by Gamma Radiation-Induced Graft Copolymerization of Crosslinked Polyacrylamide onto Carboxymethyl Cellulose



สมาคมโพลิเมอร์แห่งประเทศไทย
POLYMER SOCIETY OF THAILAND

ที่ สพท. 208/2554

7 กันยายน 2554

เรื่อง ขอแจ้งผลการพิจารณาบทความสำหรับนำเสนอในการประชุมวิชาการโพลิเมอร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 (PCT-2)

เรียน คุณอรุณรักษ์ จันทะวงษ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิชาการเรื่อง "Synthesis and Characterization of Superabsorbent Polymer Prepared by Gamma Radiation-Induced Graft Copolymerization of Crosslinked Polyacrylamide onto Carboxymethyl Cellulose" เพื่อนำเสนอในการประชุมวิชาการโพลิเมอร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 (PCT-2) ซึ่งจะจัดขึ้นระหว่างวันที่ 20-21 ตุลาคม 2554 ณ ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพมหานคร นั้น

บัดนี้ คณะกรรมการตรวจและประเมินบทความได้ดำเนินการตรวจและประเมินบทความของท่านเรียบร้อยแล้ว ผลการพิจารณาเห็นสมควรให้นำเสนอในรูปแบบโปสเตอร์ใน Session: POLYMERS FOR FOOD AND AGRICULTURE ของการประชุม PCT-2 ได้ โดยท่านสามารถดูข้อเสนอนี้และข้อแก้ไขของกรรมการตรวจได้จากข้อมูลในระบบลงทะเบียนของท่าน

สำนักงานคณะกรรมการจัดการประชุม PCT-2 ขอแสดงความกรุณาท่านแก้ไขบทความฉบับย่อ (Short Paper) หากได้รับข้อเสนอนี้จากกรรมการตรวจ ให้แก้ไข (แต่ในกรณีที่ท่านมีความจำเป็นต้องส่งเป็นบทความฉบับเต็ม (Full Paper) ขอให้ท่านส่งบทความฉบับเต็ม (4-6 หน้า) แทนฉบับย่อดังกล่าว) และส่งไปยังสำนักงาน เพื่อจัดทำ Proceedings ของการประชุมฯ โดยโปรดส่งผ่านระบบได้ที่เว็บไซต์ <http://www.thaipolymersociety.org/pct-2/register> ภายในวันที่ 20 กันยายน 2554 และสำนักงานฯ จะแจ้งกำหนดการนำเสนอบทความให้ท่านทราบต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.กฤษฏา สุชีวะ)

ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม PCT-2
และนายกสมาคมโพลิเมอร์แห่งประเทศไทย

Synthesis and Characterization of Superabsorbent Polymer
Prepared by Gamma Radiation-Induced Graft Copolymerization of
Crosslinked Polyacrylamide onto Carboxymethyl Cellulose

Auraruk Chanthawong^{1*}, Phiriyatorn Suwanmala², *Kasinee Hemvichian*²
and Doonyapong Wongsawaeng¹

¹Program in Nuclear Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Bangkok, 10330 Phone +66 2218 6781, Fax +66 2218 6780,

*E-Mail: auraruk_8@hotmail.com

²Nuclear Research and Development Group, Thailand Institute of Nuclear Technology
(Public Organization),

Nakhon Nayok, 26120 Phone +66 37 392 944, Fax +66 373 392 942,

E-Mail: phiriyatorn@hotmail.com

Abstract

The aim of this research is to synthesize a superabsorbent polymer by grafting polyacrylamide chain onto carboxymethyl cellulose using gamma irradiation as an initiator. The amount of total dose, carboxymethyl cellulose (CMC), acrylamide monomer (AM) and *N,N'*-methylene *bis* acrylamide (MBA) were studied to determine the most suitable condition. It was found that the optimum condition for preparation was obtained when total dose of 2 kGy, 5 g of CMC, 6 g of AM monomer and 0.25 g of MBA were used. The obtained superabsorbent polymer exhibited a swelling ratio of 190 g/ g of dry gel. Characterization of superabsorbent polymer was performed by Fourier transform infrared spectroscopy, differential scanning calorimeter and thermal gravimetric analysis techniques.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอุรารักษ์ จันทะวงษ์ เกิดวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2527 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิเวศวิทยาและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551 ได้รับทุนสนับสนุนในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ ด้านการแพทย์และสาธารณสุข หน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี