

การเตรียมตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลส  
ด้วยเมทิลอะครีเลต โดยการนายรังสีแกมมา



นางสาววรัญญา ภิบาลวงษ์

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF A METAL ADSORBENT CONTAINING HYDROXAMIC ACID  
GROUPS FROM CELLULOSIC FIBER GRAFTED METHYL ACRYLATE  
BY GAMMA IRRADIATION



Miss Waranya Pibanwong

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมตัวดูดซับ โลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการ  
กราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลตโดยการฉายรังสี  
แกมมา

โดย

นางสาววรัญญา ภิบาลวงษ์

สาขาวิชา

นิเวศลิยร์เทคโนโลยี

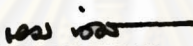
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. พริยารช สุวรรณมาลา


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

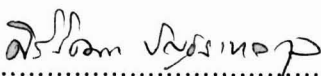
.....  ..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

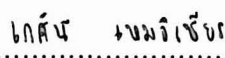
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร. พริยารช สุวรรณมาลา)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

.....  ..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. เกศินี เหมวิเชียร)

วรัญญา กิบาลวงษ์: การเตรียมตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลตโดยการฉายรังสีแกมมา. (PREPARATION OF A METAL ADSORBENT CONTAINING HYDROXAMIC ACID GROUPS FROM CELLULOSIC FIBER GRAFTED METHYL ACRYLATE BY GAMMA IRRADIATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ชยกริต ศิริอุปถัมภ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. พิริยธร สุวรรณมาลา, 66 หน้า

ได้ทำการเตรียมตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลต (Methyl Acrylate, MA) โดยใช้เทคนิค simultaneous irradiation ตัวแปรหลักที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำ ปริมาณรังสีและอัตราปริมาณรังสี โดย Trunk polymer ที่ใช้เป็นเส้นใยเซลลูโลสจากผ้าฝ้าย 100 % ซึ่งมีน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ 150 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไครเซชันเมทิลอะครีเลตบนเส้นใยเซลลูโลส คือสารละลายผสมของเมทิลอะครีเลต 45% (โดยปริมาตร) กับ สารละลายผสมเมทานอลต่อน้ำ (ในอัตราส่วน 1:1) ที่ปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ และอัตราปริมาณรังสี 0.1417 กิโลเกรย์ต่ออนาทีสภาวะดังกล่าวให้ค่า Degree of Grafting เท่ากับ 133 (6.63 มิลลิโมลต่อกรัม ของหมู่ เมทิลอะครีเลต) และวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของโคพอลิเมอร์ด้วย FTIR Spectroscopy, DSC และ TGA

การศึกษาเพื่อระบุสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคัดแปรหมู่ฟังก์ชันจากหมู่เอสเทอร์ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีน 25% (โดยน้ำหนัก) ในสารละลายผสมเมทานอลต่อน้ำ (ในอัตราส่วน 5:1) ที่มีค่า pH 13 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส การคัดแปรหมู่ฟังก์ชันนี้ให้ค่า Conversion 54% ตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกสามารถดูดซับแคดเมียม และตะกั่ว ในปริมาณ 90.59% และ 91.29% ที่ pH 5.0 และ 3.0 ตามลำดับ เมื่อสารละลายโลหะมีความเข้มข้น 100 ส่วนในพันล้านส่วน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....  
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....  
ปีการศึกษา.....2552.....

ลายมือชื่อนิสิต.....จิวชญ.....  
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....



# #5070605621: MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : GRAFT COPOLYMER/ METHYL ACRYLATE/ CELLULOSIC/  
GAMMA IRRADIATION

WARANYA PIBANWONG: PREPARATION OF A METAL ADSORBENT CONTAINING HYDROXAMIC ACID GROUPS FROM CELLULOSIC FIBER GRAFTED METHYL ACRYLATE BY GAMMA IRRADIATION. ADVISOR: ASSOC.PROF.CHYAGRIT SIRI-UPATHUM, CO-ADVISOR: PHIRIYATORN SUWANMALA, Ph. D., 66 pp.

Preparation of a metal adsorbent containing hydroxamic acid group from cellulose fiber grafted methyl acrylate by simultaneous irradiation technique was conducted. Major parameters put to study included: monomer concentration, solvent media concentration, total dose and dose rate. Cellulose from 100% cotton fabric of  $150 \text{ g/cm}^2$  was used as a trunk polymer. The optimum condition for grafting methyl acrylate onto cotton fabric was found to be as follows: grafting was performed in a solution of 45% MA (v/v) and methanolic solution (Methanol:H<sub>2</sub>O = 1:1) radiation dose of 50 kGy and dose rate of 0.1417 kGy/min. The degree of grafting at these conditions was 133 (6.63 mmol/g of MA group). Characterization of graft copolymers was done by FTIR spectroscopy, DSC and TGA.

A study to determine the suitable condition for modification of ester functional group to hydroxamic acid group revealed the optimum condition to be: 25% (w/v) hydroxylamine solution in methanolic solution (Methanol:H<sub>2</sub>O = 5:1), pH of 13, 2 hours reaction time and temperature of 75°C. This functionalization condition gave % conversion of 54. The adsorbent so obtained containing hydroxamic acid groups could adsorb cadmium and lead up to 90.59% and 91.29% at pH of 5.0 and 3.0 respectively, after coming into contact with 100 ppb of those heavy metals for 24 hours.

Department : Nuclear Technology  
Field of Study : Nuclear Technology  
Academic Year : 2009

Student's Signature .....  
Advisor's Signature .....  
Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.พิริยธร สุวรรณมาลา ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ และ ดร. ยุทธนา คุ่มน้อย นักวิจัยที่รับผิดชอบโครงการวิจัยที่รองรับ สำหรับข้อเสนอ ให้คำปรึกษาที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล และ ดร.เกศินี เหมวิเชียร ผู้เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ทุนใน โครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและ พัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่ คุณธีรวิภา ฅงกักดิ์ และ คุณฐปนรรม ฅงกักดิ์ ที่ให้ กำลังใจตลอดการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคุณโกมล เชียสกุล และ คุณสมบุญ จิระชาญชัย ผู้ซึ่งเป็น ผู้บังคับบัญชาและอดีตผู้บังคับบัญชาที่ให้โอกาสไปศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษาพร้อมทั้งนี้ ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือกันมาตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	3
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	4
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 เซลลูลอส.....	7
2.2 ลักษณะทั่วไปของเมทิลอะครีเลต.....	8
2.2.1 การบ่งลักษณะ.....	9
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ.....	9
2.3 สารแลกเปลี่ยนประจุหรือเรซิน.....	9
2.4 พอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา.....	11
2.4.1 Initiation.....	11
2.4.2 Propagation.....	12
2.4.3 Termination.....	13
2.5 เทคนิคการพอลิเมอไรเซชัน.....	13
2.5.1 Simultaneous irradiation technique หรือ Direct irradiation technique.....	13

2.5.2 Pre-irradiation technique.....	14
2.6 โคอพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วม.....	15
2.6.1 พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม.....	16
2.6.2 พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ.....	16
2.6.3 พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก.....	16
2.6.4 พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง.....	16
2.7 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี.....	17
บทที่ 3. วัสดุอุปกรณ์สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์.....	19
3.2 รายการสารเคมี.....	20
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.3.1 การเตรียมผ้าฝ้ายเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน ของเมทิลอะครีเลตกับเส้นใยเซลลูโลส.....	20
3.3.2 ศึกษาชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยา กราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมาโดยใช้วิธี <b>simultaneous irradiation</b> .....	21
3.3.3 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของเมทิลอะครี เลตกับเส้นใยเซลลูโลส.....	22
3.3.3.1 ปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	22
3.3.3.2 ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	22
3.3.3.3 อัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิคต่อเปอร์เซ็นต์การ กราฟต์.....	23
3.3.3.4 อัตราปริมาณสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	23
3.3.4 การเตรียมสารละลายไฮดรอกซิลเอมีน ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) เพื่อการศึกษาสภาวะ ที่เหมาะสมสำหรับการตัดแปรรูปร่างฟังก์ชันเมทิลอะครีเลตของกราฟต์ โคพอลิเมอร์ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก.....	23



3.3.5	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดัดแปรหมู่ฟังก์ชันเมทิลอะครีเลตของกราฟต์โคพอลิเมอร์ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก.....	24
3.3.5.1	ความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	24
3.3.5.2	เวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	24
3.3.5.3	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	24
3.3.5.4	ความเป็นกรดต่าง (pH) ในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	24
3.3.6	การพิสูจน์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้.....	25
3.3.6.1	เทคนิค FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy).....	25
3.2.6.2	เทคนิค DSC (Differential Scanning Calorimetry Analysis)...	25
3.3.6.3	เทคนิค TGA (Thermogravimetric Analysis).....	25
3.3.7	การศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับโลหะ.....	26
3.3.7.1	ความเป็นกรดเบส (pH) ของสารละลายโลหะแคลเซียมและตะกั่ว.....	26
3.3.7.2	เวลาที่ใช้ดูดซับสารละลายโลหะแคลเซียมและตะกั่ว.....	26
3.3.8	การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับโลหะ.....	26
บทที่ 4.	ผลการวิจัย.....	27
4.1	ผลการศึกษาชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันด้วยรังสีแกมมาโดยวิธี simultaneous irradiation.....	27
4.2	ผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	27
4.3	ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	28
4.4	ผลอัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิคต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	29
4.5	ผลอัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	30

4.6	ผลความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน หมู่ฟังก์ชัน.....	31
4.7	ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	33
4.8	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	34
4.9	ผลของความเป็นกรดต่างต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	36
4.10	ผลการพิสูจน์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วย FTIR..	37
4.11	ผลการพิสูจน์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วย DSC..	38
4.12	ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วย TGA.....	39
4.13	ผลของความเป็นกรดต่างต่อการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่ว.....	41
4.14	ผลของเวลาที่ใช้ดูดซับสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว.....	42
4.15	ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดของสารละลายโลหะแคดเมียม และตะกั่ว.....	43
บทที่ 5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1	การกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลตโดยการฉายรังสีแกมมาตาม เงื่อนไขต่างๆ.....	44
5.2	การตัดแปรหมู่เอสเทอร์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก	44
5.3	การวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ และประสิทธิภาพสูงสุดที่มีผลต่อการดูดซับ สารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว.....	44
5.4	ข้อเสนอแนะ.....	45
รายการอ้างอิง.....		46
ภาคผนวก.....		48
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		66

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีเมทิลอะครีเลต.....	9
2.2	หมู่ฟังก์ชันของสารแลกเปลี่ยนประจุหรือเรซินแบบต่างๆ.....	10
2.3	เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเทคนิค <b>Direct irradiation technique</b> กับเทคนิค <b>Pre-irradiation technique</b> .....	15
2.4	ชนิดของพอลิเมอร์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อได้รับรังสีในสูญญากาศ.....	18
4.1	ผลของปริมาณรังสีที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	27
4.2	ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	29
4.3	ผลของอัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	30
4.4	ผลอัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์.....	31
4.5	ผลความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	32
4.6	ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	33
4.7	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	35
4.8	ผลของความเป็นกรดต่างต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน.....	36

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างแบบ Fischer ของ D-glucose.....	7
2.2	โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์แบบเก้าอี้ (chair form) ชนิด Trans และ Cis.....	7
2.3	โครงสร้างของเมทิลอะครีเลต.....	8
2.4	กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของเมทิลอะครีเลต.....	8
2.5	โครงสร้างของตัวแลกเปลี่ยนประจุบวกและตัวแลกเปลี่ยนประจุลบ.....	10
2.6	สารประกอบอินทรีย์เมื่อได้รับการฉายรังสีแกมมาจะแตกตัวได้อนุมูลอิสระ.....	11
2.7	การเกิดโมเลกุลสะเทินจากอนุมูลอิสระ.....	11
2.8	กลไกการเกิดของอนุมูลอิสระ.....	12
2.9	การเข้าทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับ โมเลกุลของพอลิเมอร์.....	12
2.10	ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณของมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์.....	12
2.11	การเกิดกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างเซลลูโลสกับเมทิลอะครีเลต.....	14
2.12	การกราฟต์แบบ peroxidizes polymer.....	14
2.13	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม.....	16
2.14	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ.....	16
2.15	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก.....	16
2.16	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง.....	16
2.17	การเกิดการเชื่อมโยงข้าม (Cross-linking) ของพอลิเมอร์.....	17
2.18	การเกิดการต่อกิ่ง (Grafting) ของพอลิเมอร์.....	17
2.19	การเกิดการตัดทอนโมเลกุล (Degradation) ของพอลิเมอร์.....	17
3.1	การต่ออุปกรณ์ชุดคลื่นสำหรับการเตรียมผ้าฝ้าย.....	21
3.2	ตัวอย่างผ้าฝ้ายที่เติมสารละลายเมทิลอะครีเลตในสารละลายเมทาโนอิกก่อน นำเข้าฉายรังสีแกมมา.....	22
3.3	อุปกรณ์การตัดแปรหมู่เอสเตอร์เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกของกราฟต์โคพอลิ เมอร์ที่สังเคราะห์ได้.....	25
4.1	ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ : 20% MA (v/v), (MeOH:H <sub>2</sub> O), (50:50) (v/v) ที่ อัตราปริมาณรังสี 0.1417 kGy/min.....	28

ภาพที่	หน้า	
4.2	ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ : ((MeOH:H <sub>2</sub> O), (50:50) (v/v)), ปริมาณรังสี 50 kGy ที่ อัตราปริมาณรังสี 0.1417 kGy/min.....	29
4.3	ผลอัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ : 45% MA (v/v), ปริมาณรังสี 50 kGy ที่อัตราปริมาณรังสี 0.1417 kGy/min.....	30
4.4	ผลอัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ : 45% MA ((MeOH:H <sub>2</sub> O), (50:50) (v/v)), ปริมาณรังสี 50 kGy ที่ อัตราปริมาณรังสี 0.1417 kGy/min.....	31
4.5	ผลความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน: pH 13, เวลาทำปฏิกิริยา 2 hrs, อุณหภูมิ 75°C.....	32
4.6	ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน : 25 % NH <sub>2</sub> OH (w/v), pH 13, อุณหภูมิ 75°C.....	34
4.7	ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน: 25 % NH <sub>2</sub> OH (w/v), เวลา 2 hrs, pH 13.....	35
4.8	ผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน: 25 % NH <sub>2</sub> OH (w/v), เวลา 2 hrs, อุณหภูมิ 75°C.....	37
4.9	FTIR spectrum ของ . Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA.....	38
4.10	DSC curve ของ Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA	39
4.11	TGA Curve ของ Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA	40
4.12	dTGA Curve ของ Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA.....	41
4.13	ผลของความเป็นกรดต่างต่อการดูดซับสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว.....	41
4.14	ผลของเวลาต่อค่าการดูดซับโลหะของสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 100 ppb ที่อุณหภูมิห้อง.....	42
4.15	ผลของเวลาต่อค่าการดูดซับโลหะของสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 100 ppb ที่อุณหภูมิห้อง.....	42



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

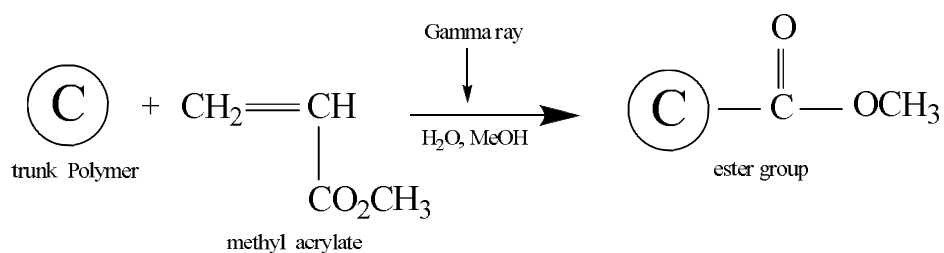
น้ำเป็นทรัพยากรที่มีค่าและมีความสำคัญต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช ถ้าน้ำที่ใช้ในการดำรงชีวิตประจำวันต้องปนเปื้อน โลหะหนักจะทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์และพืชที่ใช้น้ำในการดำรงชีวิตหรือการใช้ประโยชน์จากน้ำในด้านอื่นๆ ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหามลพิษทางน้ำซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว อะลูมิเนียม ทองแดง เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยขาดการบำบัดน้ำเสียทำให้เกิดสารตกค้างลงสู่แหล่งน้ำซึ่งน้ำเสียส่วนใหญ่มาจากภาคอุตสาหกรรมการผลิต เช่น ผลิตปุ๋ยเคมี ผลิตยาฆ่าแมลง หรือน้ำจากเหมืองแร่ เป็นต้น โดยเฉพาะน้ำจากเหมืองแร่แบบกรดจะพัดพาตะกอนต่างๆ เช่น เศษดิน หินทราย และเศษแร่ไหลปะปนไปกับน้ำที่ชะล้างเศษแร่ดังกล่าว ลงสู่แม่น้ำลำธารซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช ในปัจจุบันประเทศไทยดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยวิธีการทางเคมี ทางชีวภาพ หรือ เทคนิคอื่นๆ ตามความสามารถหรืองบประมาณที่มีอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าใช้จ่ายที่สูง และบางเทคนิคจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ตามมา

การใช้รังสีแกมมาเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุหรือปรับปรุงวัสดุพอลิเมอร์ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้องและไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารตั้งต้น เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำ ดังกล่าว โดยรังสีจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชัน (Graft Polymerization) แล้วนำหมู่ฟังก์ชันจากปฏิกิริยาดังกล่าว ที่มีคุณสมบัติต่างๆ เชื่อมต่อกับสายโซ่ของพอลิเมอร์สายหลักแบบต่อกิ่ง จากนั้นใช้กระบวนการทางเคมีเข้าช่วยในการดัดแปรคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันให้มีคุณสมบัติเฉพาะเจาะจงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน

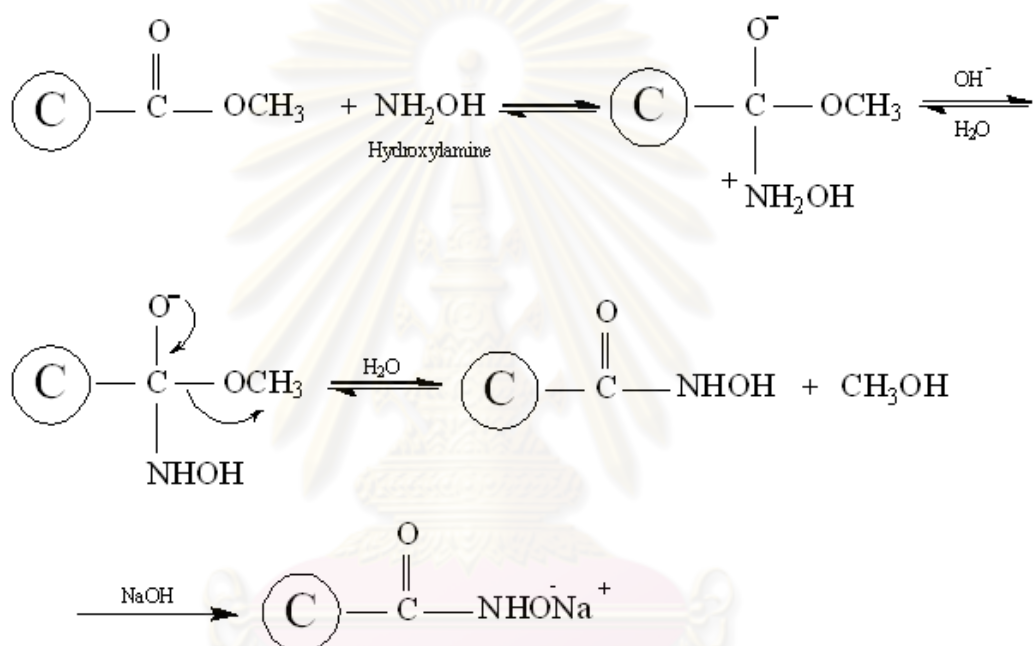
เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural Polymer) ที่มีปริมาณมากที่สุด ในธรรมชาติ<sup>[1]</sup> มีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ (biodegradability) ไม่เป็นพิษ (non-toxicity) เข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ราคาถูก และสามารถหาได้ง่าย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้รังสีแกมมาและเส้นใยเซลลูโลสมาทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับโลหะหนักด้วยวิธีการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสกับเมทิลอะครีเลต โดยการฉายรังสีแกมมา หลังจากนั้นจะทำการดัดแปรหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีทางเคมีเพื่อเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกโดยการทำปฏิกิริยากับสารละลายอัลคาไลด์ของไฮดรอกซิลเอไมด์ ทำให้ได้อนุพันธ์ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วที่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนการเตรียมอนุพันธ์ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดังนี้

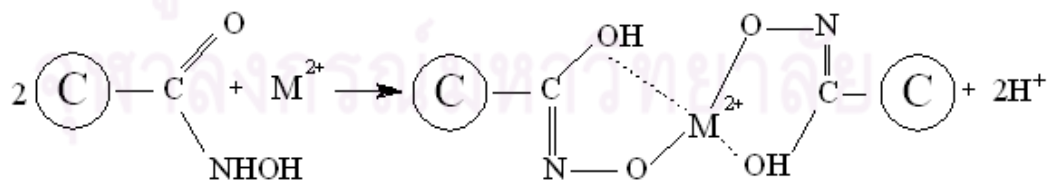
## . Radiation grafting (การกราฟต์ด้วยรังสีแกมมา)



## 2. Modification (การดัดแปรหมู่เอสเทอร์เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก)



## 3. Adsorption of Metal Ions (การดูดซับโลหะ)



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเตรียมตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลตโดยการฉายรังสีแกมมา

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสม เช่น เส้นใยจากฝ้ายที่ทอแล้ว สำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมา โดยใช้วิธี **simultaneous irradiation**

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของหมู่ฟังก์ชันเมทิลอะครีเลตกับเส้นใยเซลลูโลส

1.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตัดแปรหมู่ฟังก์ชันเมทิลอะครีเลตของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกซึ่งมีความสามารถในการดูดซับโลหะ

1.3.4 ศึกษาคุณสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้รับการตัดแปรและประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะชนิดต่างๆ ของตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้

1.3.5 ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับโลหะ ได้แก่

- ความเป็นกรดเบสของสารละลาย
- เวลาที่ใช้ดูดซับโลหะ

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี ข้อมูล และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมาโดยใช้วิธี **simultaneous irradiation**

1.4.3 ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชัน ประกอบด้วย

- ปริมาณรังสี (dose)
- ความเข้มข้นของมอนอเมอร์
- อัตราส่วนของสารละลายเมทานอลิก (MeOH : H<sub>2</sub>O)
- อัตราปริมาณรังสี (dose rate)

1.4.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตัดแปรหมู่ฟังก์ชันเมทิลอะครีเลตของกราฟต์โคพอลิเมอร์ ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกซึ่งมีความสามารถในการดูดซับโลหะ ประกอบด้วย

- อุณหภูมิ
- ความเป็นกรดเบส

- เวลาในการทำปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของตัวกระทำ
- % Conversion

#### 1.4.5 วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy, DSC และ TGA

##### 1.4.6 ตรวจสอบกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยหาค่าต่างๆ ดังนี้

- % grafting

##### 1.4.7 ทำการสกัดแยกโซ่โพลิเมอร์ออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

##### 1.4.8 ทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะชนิดต่างๆ ของตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้

##### 1.4.9 ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับโลหะ ประกอบด้วย

- ความเป็นกรดเบสของสารละลายโลหะ
- เวลาที่ตัวดูดซับใช้ในการดูดซับโลหะชนิดต่างๆ

##### 1.4.10 วิเคราะห์ผล สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ซึ่งได้จากเส้นใยเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านดูดซับโลหะหนักและโลหะที่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม

### 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Yuliya Bondar และคณะ<sup>[2]</sup> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์ตัวดูดซับโลหะโดยการตัดแปรรายโซ่แบบต่อกิ่งของไกลซิดอลเมทาอะครีเลตบนเส้นใยพอลิโพรพิลีน ในการทดลองได้เตรียมตัวดูดซับโลหะโดยใช้ถ้ำอิเล็กตรอนเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันซึ่งใช้เทคนิคการฉายรังสีพอลิโพรพิลีน (polypropylene) ก่อนเพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระจากนั้นนำไปจุ่มลงในไกลซิดอลเมทาอะครีเลต (glycidyl methacrylate) ทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่มีคุณสมบัติเฉพาะแล้วนำไปตัดแปรรายโซ่ โดยการเติมโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ (sodium hydrogensulfite) น้ำ และไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethylformamide) ในอัตราส่วน 2:7:3 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะได้ตัวดูดซับโลหะที่มีกลุ่มซัลโฟเนต (sulfonate group) เกิดขึ้น จากนั้นนำไปทดสอบการดูดซับโลหะ ซึ่งในการทดลองนี้เตรียมสารละลายโลหะทองแดงเข้มข้น 0.1588 โมลาร์ พบว่าที่เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 180 มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด

2. Noriaki Seko และคณะ<sup>[3]</sup> ได้ทำการวิจัยเรื่อง การเตรียมตัวดูดซับที่มีหมู่เอมีนจากกราฟต์และใช้ในการดูดซับ Au (III) ในการทดลองได้เตรียมตัวดูดซับทองจากการใช้ถ้ำ

อิเล็กตรอนเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์ผสมระหว่าง กรดเมทาอะคริลิก (methacrylic acid, MAA) กับ อัลคิลเอมีน (allylamine, AAm) หรือ เอ็น-ไวนิลอะเซตามายด์ (N-vinylacetamide, NVA) กับ อัลคิลเอมีน บนเส้นใยผ้าไม่ทอ (nonwoven fabric, NF) ซึ่งสังเคราะห์จาก พอลิเอทิลีน (polyethylene) เคลือบบน พอลิโพรพิลีน (polypropylene) จากนั้นนำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ไปดูดซับทอง โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง พบว่าการทดลองแบบการแช่ตัวดูดซับพร้อมกับสารละลายทองให้การดูดซับดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนของมอนอเมอร์เป็น 50:50 โดยปริมาตร ส่วนการทดลองที่ 2 เป็นการนำตัวดูดซับบรรจุในคอลัมน์แล้วทำการผ่านสารละลายทอง ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง (pH) 3 ที่อัตราการไหลแตกต่างกันเป็น 260, 520 และ 1,040 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง พบว่าค่าการดูดซับทอง เป็น 163, 150 และ 144 ตามลำดับ

3. M.R. Lutfor และคณะ<sup>[4]</sup> ได้ทำการวิจัยเรื่อง **การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของตัวแลกเปลี่ยนประจุจากการกราฟต์อะคริไลไนไตรลกับแป้งสาธู** ในการทดลองได้ศึกษาตัวแลกเปลี่ยนประจุที่มีหมู่ อะมิโดคซิม (amidoxime) โดยเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของอะคริไลไนไตรล (acrylonitrile) กับแป้งสาธู โดยการเติม ซีริกแอมโมเนียมไนเตรท (Ceric ammonium nitrate) ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา จากนั้นทำการเปลี่ยนหมู่ไนไตรลให้เป็นหมู่อะมิโดคซิมโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายอัลคาไลด์ของไฮดรอกซิลเอไมด์ และทำการตรวจสอบคุณสมบัติโดยใช้ FTIR, TG และ DSC ผลปรากฏว่าตัวแลกเปลี่ยนประจุที่สังเคราะห์ได้สามารถแลกเปลี่ยนประจุกับโลหะไอออนได้ดีเรียงลำดับดังนี้  $\text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{As}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$

4. M.R. Lutfor และคณะ<sup>[5]</sup> ได้ทำวิจัยเรื่อง **การสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติของตัวแลกเปลี่ยนประจุจากการกราฟต์เมทิลอะคริเลตกับแป้งสาธู** ในการทดลองได้ศึกษาตัวแลกเปลี่ยนประจุที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกโดยเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลอะคริเลตกับแป้งสาธู โดยการเติม ซีริกแอมโมเนียมไนเตรท (Ceric ammonium nitrate) ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา จากนั้นทำการเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายอัลคาไลด์ของไฮดรอกซิลเอไมด์ และทำการตรวจสอบคุณสมบัติโดยใช้ FTIR, TG และ DSC ผลปรากฏว่าตัวแลกเปลี่ยนประจุที่สังเคราะห์ได้สามารถแลกเปลี่ยนประจุกับโลหะไอออนได้ดีเรียงลำดับดังนี้  $\text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{As}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$

5. Phiriyatorn Suwanmala และคณะ<sup>[6]</sup> ได้ทำวิจัยเรื่อง **การเตรียมตัวดูดซับชนิดใหม่ที่มีหมู่ไฮดรอกซามิกแอซิดโดยใช้ล้าอิเล็กตรอนเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์สำหรับดูดจับโลหะไอออน** ในการทดลองได้สังเคราะห์ตัวดูดจับชนิดใหม่ โดยใช้ล้าอิเล็กตรอนเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลอะคริเลตบนแผ่นผ้าฝ้ายไม่ทอ (Nonwoven) ที่ประกอบด้วย พอลิเอทิลีน (polyethylene) เคลือบบน พอลิโพรพิลีน (polypropylene) จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายอัลคาไลด์ของไฮดรอกซิลเอไมด์ ตัวดูดจับที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกแอซิดสามารถดูดจับ



$UO_2^{2+}$ ,  $V^{5+}$ ,  $Pb^{2+}$  และ  $Al^{3+}$  ในปริมาณร้อยละ 99, 98, 97 และ 96 ที่ pH 5, 4, 6 และ 4 ตามลำดับเมื่อสัมผัสกับสารละลายโลหะเข้มข้น 100 ส่วนในพันล้านส่วนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

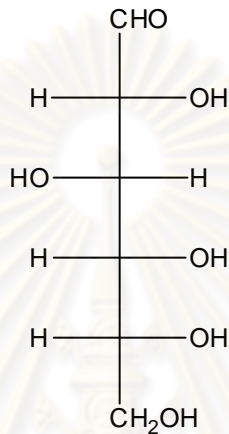
6. N. Shiraishi และคณะ<sup>[7]</sup> ได้ทำวิจัยเรื่อง **การกราฟต์ด้วยรังสีของไวนิลบนเส้นใยฝ้าย** ในการทดลองได้ศึกษาผลของรังสีที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอไรเซชันของเมทิลอะครีเลตบนเส้นใยฝ้ายโดยได้ทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้รังสีแกมมาที่มาจากโคบอลต์-60 (Co-60) และการใช้รังสีจากลำอิเล็กตรอน ซึ่งพบว่าอัตราปริมาณรังสีที่สูงมีผลต่อ Degree of Grafting สำหรับการใช้รังสีแกมมากว่าคือเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีค่า Degree of Grafting จะเพิ่มขึ้นด้วยแต่เมื่อปริมาณรังสีเกิน 0.5 เมกกะเรด (Mrad) พบว่าค่า Degree of Grafting ต่ำลงอธิบายได้ว่าเกิดการแตกสลายของกิ่ง แต่เมื่อเติม เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาอะครีเลต (ethylene glycol dimethacrylate) ปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ค่า Degree of Grafting เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากเกิดการเชื่อมต่อสายโซ่เพิ่มมากขึ้น ส่วนการใช้ลำอิเล็กตรอนถ้าปริมาณรังสีเกิน 5 เมกกะเรด (Mrad) ก็ให้ผลเช่นเดียวกับการใช้รังสีแกมมาผลิตภัณฑ์ของการกราฟต์โดยการใช้รังสีจะมีคุณสมบัติชอบน้ำและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านกระบวนการกราฟต์ด้วยรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2 ทฤษฎี

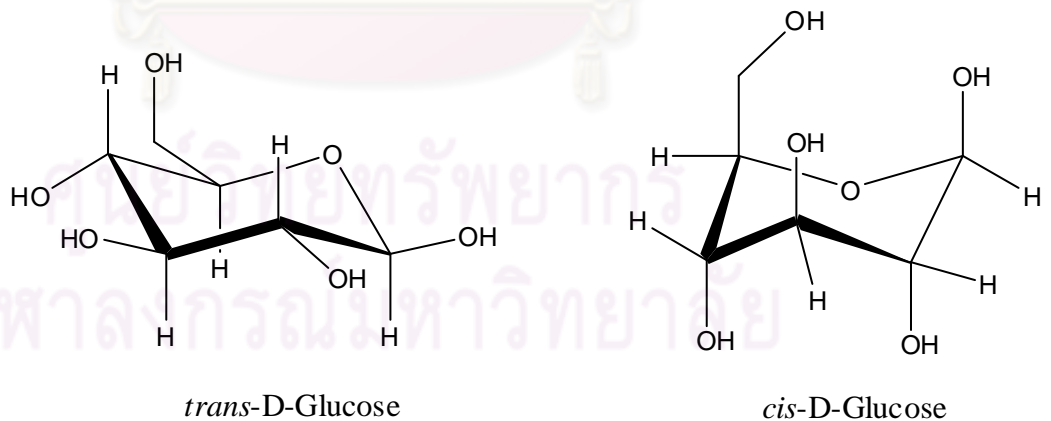
### 2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) โดยโครงสร้างทางเคมีพื้นฐานของเซลลูโลส คือ Mono-saccharine D-glucose มีสูตรโมเลกุลทั่วไป คือ (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) โครงสร้างของเซลลูโลสมีหลายรูปแบบ เช่น โครงสร้างของ Fischer เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างแบบ Fischer ของ D-glucose

หรือโครงสร้างการจัดเรียงตัวของหน่วยมอนอเมอร์ D-glucose อาจปรากฏในการจัดเรียงตัวแบบเก้าอี้ (Chair form) 2 แบบ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์แบบเก้าอี้ (chair form) ชนิด Trans และ Cis

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวในลักษณะผลึกที่เป็นระเบียบ (Crystalline) อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก และมีความสามารถในการละลาย

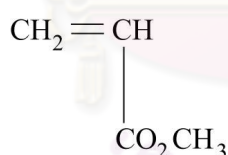
ค่า เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลส มีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ ไม่ดี การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณของเซลลูโลสสามารถกระทำโดยการวัดความหนืด

Freudenberg และคณะ ได้ทำการวัดความหนืดของเซลลูโลสซึ่งแสดงให้เห็นว่า เซลลูโลสมีโครงสร้างที่ใหญ่มากเป็น **Macromolecule** และเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของ  **$\beta$ -D-glucose** เชื่อมที่คาร์บอนตำแหน่ง  $C_1 \rightarrow C_4$  ขนาดโมเลกุลของเซลลูโลสซึ่งได้มาจาก **Degree of Polymerization** หรือ **DP** ซึ่งพบว่าประกอบด้วยหน่วยของ **D-glucose** อยู่หลายพันหน่วย

เซลลูโลสมีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก (**Hydrochloric acid**) หรือกรดซัลฟูริก (**Sulfuric acid**) เป็นต้น โดยเซลลูโลส จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง แต่ปฏิกิริยาจะหยุดที่ อุณหภูมิต่ำเซลลูโลสรวมตัวในสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (**Alkali hydroxide**) ซึ่งทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้<sup>[8]</sup>

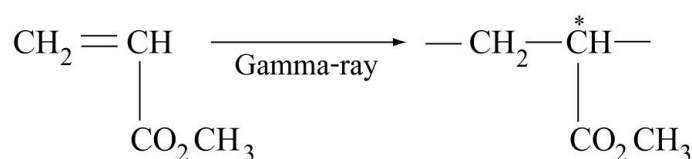
## 2.2 ลักษณะทั่วไปของเมทิลอะครีเลต (Methyl Acrylate)

เมทิลอะครีเลตเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถเกิดพอลิเมอร์ได้ง่าย ระเหยกลายเป็นไอได้ดีมาก ไอทำให้แสบตาและน้ำตาไหลอย่างรุนแรง ประโยชน์ที่สำคัญของ เมทิลอะครีเลต คือ ใช้ผลิตเรซินและไฟเบอร์ เมทิลอะครีเลตมีพิษเฉียบพลันระดับปานกลางในสัตว์เลี้ยง ลูกด้วยนม และไม่เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลองและมนุษย์เมทิลอะครีเลตในสิ่งแวดล้อมสลายตัวได้ อย่างรวดเร็วในสภาวะที่มีออกซิเจน มีสูตร โมเลกุล คือ  $C_4H_6O_2$  และมีสูตร โครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเมทิลอะครีเลต

เมื่อเมทิลอะครีเลต ถูกฉายรังสีแกมมาจะเกิดอนุมูลอิสระ (**free radical**) ได้โดยตรงกับมอนอเมอร์ ดัง กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่พันธะของ **C-C** ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของมอนอเมอร์



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระของเมทิลอะครีเลต

### 2.2.1 การบ่งลักษณะ (identification)

- (1) ชื่อสามัญ methyl acrylate
- (2) ชื่อเคมี 2-propenoic acid methyl ester
- (3) ชื่ออื่น acrylic acid methyl ester  
curithane 103  
methoxycarbonylethylene  
methylacrylate  
methyl 2-propenoate เป็นต้น

- (4) น้ำหนักโมเลกุล 86.09 กรัม/โมล

### 2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (Chemical and Physical properties)

เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ติดไฟได้ ละลายได้ทั้งเอทานอล (Ethanol) และอีเทอร์ (Ether) คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของเมทิลอะครีเลตแสดงในตารางที่ 2.1

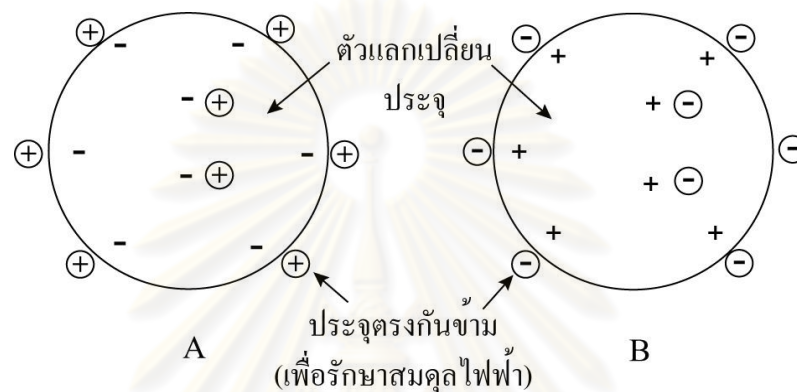
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีเมทิลอะครีเลต

คุณลักษณะ	คุณสมบัติ
- สถานะ	เป็นของเหลว
- สี	มีสีเล็กน้อย
- น้ำหนักโมเลกุล	86.09
- กลิ่น	มีกลิ่นฉุน
- ความถ่วงจำเพาะ	0.9561 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- จุดเดือด	80.5 องศาเซลเซียส
- จุดหลอมเหลว	-76.5 องศาเซลเซียส
- จุดเยือกแข็ง	-75 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิติดไฟได้เอง	468 องศาเซลเซียส
- ความหนืดที่ 20 องศาเซลเซียส	0.49 มิลลิพาสคาล.วินาที
- ความร้อนจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน	950 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
- ความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียส	90.5 มิลลิเมตรบาร์

### 2.3 สารแลกเปลี่ยนประจุหรือเรซิน (Ion exchanger or Resin)

สารแลกเปลี่ยนประจุหรือเรซิน<sup>[9],[10]</sup> เป็นสารที่มีคุณสมบัติแลกเปลี่ยนประจุที่ประกอบด้วยตัวค้ำจุน (matrix) เป็นของแข็ง ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีหมู่ที่มีประจุติดกับตัวค้ำจุนด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) และมีประจุตรงกันข้ามเรียกว่า เคาน์เตอร์ไอออน (counter ions) จับกับหมู่ที่มี

ประจุบนตัวกำจุนด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond) ตัวกำจุนและเคาเตอร์ไอออน จะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของสารแลกเปลี่ยนประจุ เช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยน ถ้าตัวกำจุนมีประจุลบ จะจับกับเคาเตอร์ไอออนก็จะมีประจุบวก ก็เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchanger) เพื่อรักษาสมดุลไฟฟ้า เมื่อเติมประจุบวกอีกชนิดหนึ่งลงไป ประจุบวกชนิดที่ 2 จะเข้าไปแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกับประจุบวกชนิดแรก และถ้าตัวกำจุนเป็นประจุบวก เคาเตอร์ไอออนก็มีประจุลบ และทำหน้าที่เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion exchanger)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของตัวแลกเปลี่ยนประจุบวกและตัวแลกเปลี่ยนประจุลบ

เมื่อ A คือ ตัวแลกเปลี่ยนประจุบวกมีหมู่ประจุลบเกาะอยู่บนตัวกำจุนและจับกับประจุตรงกันข้ามที่เป็นประจุบวก

เมื่อ B คือ ตัวแลกเปลี่ยนประจุลบมีหมู่ประจุบวกเกาะอยู่บนตัวกำจุนและจับกับประจุตรงกันข้ามที่มีประจุลบ

ในงานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์เรซินที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลต โดยการฉายรังสีแกมมาซึ่งหมู่กรดนี้เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยมีความสามารถในการดูดซับโลหะชนิดต่างๆเช่น  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{As}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  เป็นต้น<sup>[4]</sup>

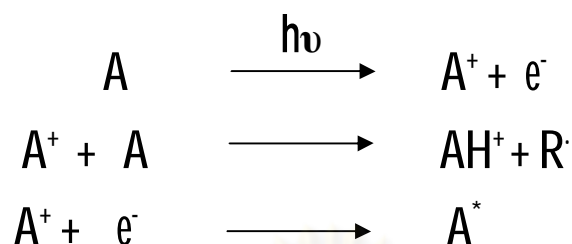
ตารางที่ 2.2 หมู่ฟังก์ชันของสารแลกเปลี่ยนประจุหรือเรซินแบบต่างๆ<sup>[11]</sup>

หมู่ฟังก์ชันของสารแลกเปลี่ยนประจุหรือเรซิน	ประเภทของสารละลาย
Sulfonic, Methylene sulfonic	Strong acid
Carboxylic, Phosphonic, Phenolic hydroxyl	Weak acid
Quarternary ammonium	Strong base
Primary amine, Secondary amine, Tertiary amine	Weak base



## 2.4 พอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา (Polymerization Induced by Gamma-ray)

เมื่อสารประกอบอินทรีย์ได้รับการฉายรังสีแกมมา โมเลกุลของสารจะถูกกระตุ้นให้แตกตัวเป็นอ็อกซิเจนและอนุมูลอิสระ ดังรูปที่ 2.6<sup>[12]</sup>



รูปที่ 2.6 สารประกอบอินทรีย์เมื่อได้รับการฉายรังสีแกมมาจะแตกตัวได้อนุมูลอิสระ

จะรวมกันเป็น โมเลกุลสะเทินตามลำดับปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิด โมเลกุลสะเทินจากอนุมูลอิสระ

กระบวนการพอลิเมอไรเซชันจะเป็นแบบอ็อกซิเจนหรือแบบอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอนอเมอร์และเงื่อนไขประกอบอื่นๆ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระเพราะอ็อกซิเจนจะเสถียรและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ดีเฉพาะในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ เท่านั้น<sup>[13]</sup> ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ 3 ขั้นตอนดังนี้

### 2.4.1 Initiation

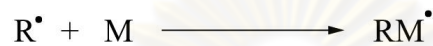
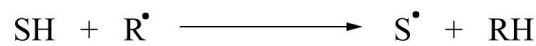
การเริ่มลูกโซ่เป็นกระบวนการกระตุ้นให้โมเลกุลอยู่ในสภาวะไวต่อปฏิกิริยา หรือที่เรียกว่ากระบวนการสร้างแอกทีฟเซนเตอร์ (active center) ซึ่งเป็นตัวที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลางแต่มี unshared electron เช่นพวก free radical หรือ carbanion (-) carbonium (+) โดยวิธีการนี้จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ คือ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.8



### รูปที่ 2.8 กลไกการเกิดของอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลของพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.9



### รูปที่ 2.9 การเข้าทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับ โมเลกุลของพอลิเมอร์

เมื่อ SH คือ scavenger หรือ sensitizer

เมื่อ M คือ monomer

## 2.4.2 Propagation

เป็นขั้นตอนการเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อีกตัวหนึ่งเป็นอนุมูลอิสระอีกทีซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวต่อไปทีละตัวอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.10



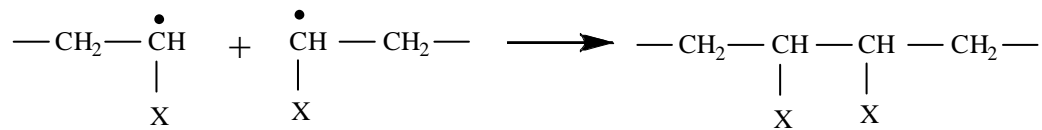
### รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณของมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์

เมื่อ n แทนจำนวนหน่วยของมอนอเมอร์ที่รวมเข้าไปในโซ่ของพอลิเมอร์

## 2.4.3 Termination

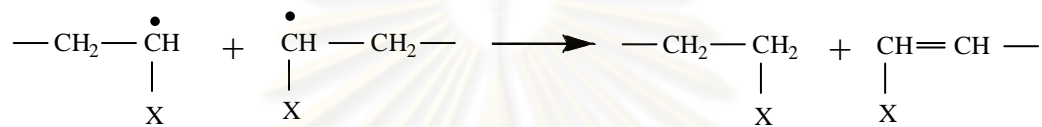
เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อนุมูลอิสระหมดความว่องไวหรือหมดความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่อไปโดยอนุมูลอิสระจะไม่สร้างปลายโซ่ด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาขึ้นอีก การสิ้นสุดของอนุมูลอิสระอาจเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ

1) เป็นการสิ้นสุดเนื่องจากการรวมสองโมเลกุลเข้าเป็นหนึ่งโมเลกุลเรียกว่า **Coupling** หรือ **combination**



เมื่อ X คือ functional group ใดๆ หรือ หมู่อัลคิล

2) เป็นการสิ้นสุดของอนุมูลอิสระเนื่องจากการแบ่งหรือแยกสองโมเลกุลที่ว่องไว ต่อปฏิกิริยาเป็นสองโมเลกุลที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีกเรียกว่า **Disproportionation**



การฉายรังสีแกมมาสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้โดยตรงจากพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ที่ใช้หรือจากสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ร่วมกัน เป็น โซโมเลกุลที่มีสถานะเป็นอนุมูลอิสระ โดยเกิดจากการต่อเติมมอนอเมอร์จำนวน n โมเลกุลเข้าด้วยกันและมีปลายหนึ่งเป็นด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทในการรับถ่ายโอนด้านที่ไวต่อปฏิกิริยามาจาก โซโมเลกุลอื่นๆ สารนี้อาจเป็นได้ทั้งมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มหรือโมเลกุลของพอลิเมอร์การกราฟต์พอลิเมอร์และโฮโมพอลิเมอร์เป็นพอลิเมอร์สุดท้ายที่ไม่ก่อให้เกิดลูกโซ่อีก อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีจะขึ้นอยู่กับอัตราปริมาณรังสีนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ตลอดจนการควบคุมเงื่อนไขอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา

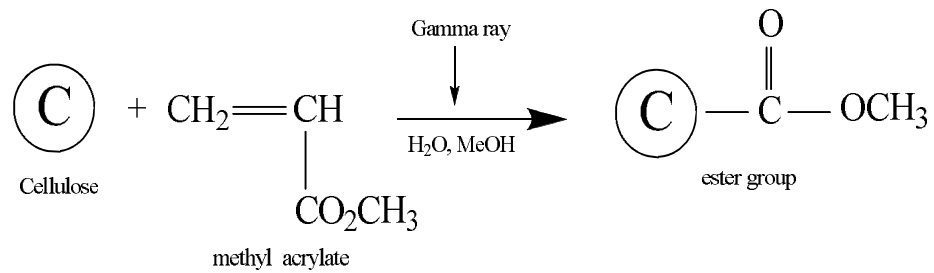
## 2.5 เทคนิคการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization technique)

เทคนิคการพอลิเมอไรเซชัน แบ่งออกเป็น 2 เทคนิค คือ

### 2.5.1 Simultaneous irradiation technique หรือ Direct irradiation technique <sup>[14]</sup>

เป็นเทคนิคพื้นฐานของกระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสี เนื่องจากเตรียมง่ายวิธีการของเทคนิคนี้ พอลิเมอร์และมอนอเมอร์จะถูก ฉายรังสีพร้อมๆ กัน เช่น นำเส้นใยเซลลูโลสซึ่งตามงานวิจัยนี้ใช้ผ้าฝ้ายที่ทอแล้วจุ่มลงในเมทิลอะครีเลตซึ่งเป็นของเหลวการกระจายตัวของมอนอเมอร์เข้าไปภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นปัจจัยที่สำคัญของเทคนิคนี้เนื่องจากการกระจายตัวของมอนอเมอร์เป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาจะเกิดที่พื้นผิวของพอลิเมอร์หรือเกิดตลอดทั่วทั้งปริมาตรของพอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสีสภาวะบรรยากาศภายในของระบบอาจจะอยู่ในสภาวะออกซิเจน สภาวะสูญญากาศ หรือสภาวะบรรยากาศก๊าซเฉื่อย สภาวะบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญจะหลุด

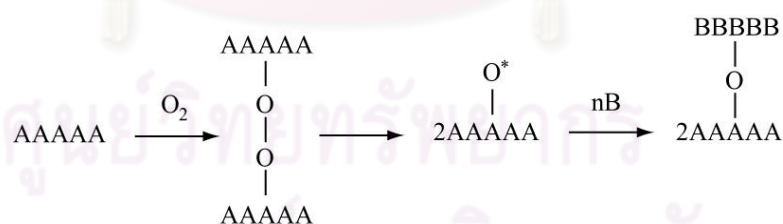
ออกเกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาส่วนมอนอเมอร์เมื่อได้รับรังสีจะเกิดอนุมูลอิสระขึ้นที่พันธะคู่ของมอนอเมอร์จากนั้นจะเกิดการกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชัน



รูปที่ 2.11 การเกิดกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างเซลลูโลสกับเมทิลอะครีเลต

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

การกราฟต์แบบ **peroxidizes polymer** เมื่อนำพอลิเมอร์ไปทำการฉายรังสีในสภาวะบรรยากาศออกซิเจน โมเลกุลของพอลิเมอร์จะดูดกลืนพลังงานของรังสีทำให้เกิด **hydroperoxides** หรือ **diperoxide** และ โมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะกระตุ้นแล้วแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระ **peroxidize** อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้อยู่ในสถานะเสถียรทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้ ดังนั้นหลังจากฉายรังสีแล้วจึงนำมอนอเมอร์มารวมกับพอลิเมอร์ซึ่งมอนอเมอร์นั้นอาจจะละลายหรือไม่ละลายในตัวทำละลายก็ได้แล้วให้ความร้อนกับระบบพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ในบรรยากาศออกซิเจนซึ่งจะทำให้ **hydroperoxides** แตกตัวเป็น **hydroxyl radical** เกิดเป็นพอลิเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์บนสายโซ่หลักพอลิเมอร์ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์



รูปที่ 2.12 การกราฟต์แบบ peroxidizes polymer

การกราฟต์แบบ **Trapped radical** เทคนิคนี้ทำได้โดยการนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำซึ่งจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระภายในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์เป็นแบบ **trapped** ในรูปของ **polymeric species** ถ้าอุณหภูมิ **glass transition** ของพอลิเมอร์ต่ำจะทำให้ระยะเวลาการเกิด **trapped** บนสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ **trapped** ที่เกิดขึ้นนี้จะว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นอย่างดี ความสามารถในการแพร่กระจายของมอนอเมอร์เป็นปัจจัยสำคัญมากถ้ามอนอเมอร์

แพร่กระจายเข้าไปในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ได้มากก็จะทำให้เกิดพื้นที่การเกิด ปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์กับ **trapped** ที่เกิดบนพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่ง **trapped radical** นี้เป็นตัวริเริ่มของการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เช่นกัน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเทคนิคการกราฟต์ด้วยวิธี **Direct irradiation technique** กับเทคนิค **Pre-irradiation technique**<sup>[13]</sup>

ตัวแปร	Direct irradiation	Pre-irradiation
1. ปริมาณรังสี	ต่ำ	สูง
2. อัตราปริมาณรังสี	ต่ำ	ไม่จำกัด
3. สภาพบรรยากาศขณะทำการฉายรังสี	สุญญากาศหรือบรรยากาศไนโตรเจน	สุญญากาศ ในโตรเจนหรือในอากาศ
4. ชนิดของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการได้รับรังสี	อนุมูลอิสระ	Trapped Peroxide และ hydroperoxide
5. ชนิดมอนอเมอร์	Non-functional	Functional
6. ชนิดพอลิเมอร์	มีความไวต่อรังสี	สามารถทนรังสีสูงได้
7. อัตราการเกิดโซโม่พอลิเมอร์	สูง	ต่ำ
8. อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยา	ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ	ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์เช่นกัน
9. ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสี	ไม่ขึ้นกับปริมาณรังสี

## 2.6 โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymers)

โคพอลิเมอร์ (Copolymers)<sup>[15-17]</sup> เป็นประเภทของพอลิเมอร์ที่แบ่งตามลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ซึ่งในสายโซ่โม่เลกุลประกอบด้วยมอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปสามารถจำแนกออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ที่ซ้ำๆ กันในโม่เลกุลออกเป็น 4 ชนิด คือ

2.6.1 พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (random copolymers) คือ พอลิเมอร์ร่วมประกอบด้วยมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B อยู่ปะปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบโดย มอนอเมอร์ A อาจพบ 1 หน่วย หรือ 2 หน่วย ก็ได้ไม่แน่นอน ส่วนมอนอเมอร์ B ก็เช่นกันอาจพบ 1 หน่วยหรือ 2 หน่วยหรือมากกว่าก็ได้



~AABABAAABBAABAABABBA~

รูปที่ 2.13 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม

2.6.2 พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ (Alternating copolymers) คือ พอลิเมอร์ร่วมจะประกอบด้วยมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B เรียงสลับกันไปอย่างเป็นระเบียบ

~ABABABABABABABABABAB~

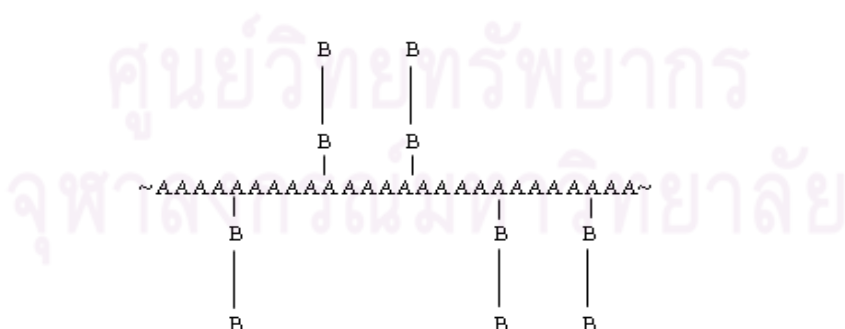
รูปที่ 2.14 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ

2.6.3 พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (Block copolymers) คือ การสลับกันด้วยจำนวนมอนอเมอร์ ชนิดเดียวกันมากกว่า 1 ตัวขึ้นไปโดยจะอยู่กันเป็นกลุ่มๆ ในสายโซ่พอลิเมอร์

~AAAAAABBBBBBBBBBAAAAAA~

รูปที่ 2.15 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก

2.6.4 พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่ง (Graft copolymers) คือ พอลิเมอร์ร่วมที่มีลักษณะเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีกิ่งก้านแยกจากสายโซ่หลัก แต่หน่วยของมอนอเมอร์ในสายโซ่หลักจะเป็นชนิดเดียวกัน



รูปที่ 2.16 การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ใน โมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่ง

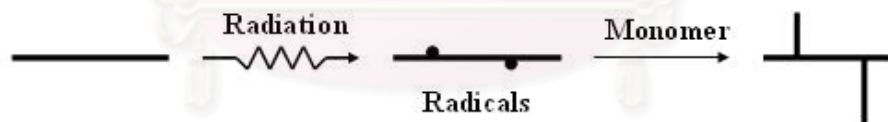
## 2.7 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี (Modification of Polymer by Radiation)

เมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสี (Irradiation) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ เช่น เกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linking) คือ การเกิดพันธะเคมีที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ โครงสร้างมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น เมื่อเกิดการเชื่อมโยงข้ามจะทำให้พอลิเมอร์มีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น มีความเหนียว มีความแข็งแรง หรือ มีความทนทานต่อสารเคมี เป็นต้น



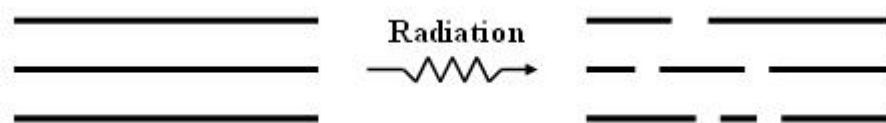
รูปที่ 2.17 การเกิดการเชื่อมโยงข้าม (Cross-linking) ของพอลิเมอร์

เกิดการตอก (grafting) คือ การต่อมอนอเมอร์ต่างชนิดเข้ากับพอลิเมอร์ที่สนใจ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่สนใจไปฉายรังสีจะทำให้หมู่ฟังก์ชัน (functional group) อาจหลุดจากสายโซ่ของพอลิเมอร์และกลายเป็นจุดตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ ทำให้เกิดเป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์เส้นใหม่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์เส้นเดิม ซึ่งวิธีนี้มีประโยชน์มากสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของพอลิเมอร์<sup>[18]</sup>



รูปที่ 2.18 การเกิดการตอก (Grafting) ของพอลิเมอร์

เกิดการตัดทอนโมเลกุล (degradation) คือ การทำให้แตกสลายของพันธะเคมี ซึ่งทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง



รูปที่ 2.19 การเกิดการตัดทอนโมเลกุล (Degradation) ของพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.4 ชนิดของพอลิเมอร์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อได้รับรังสีในสุญญากาศ<sup>[17]</sup>

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์

- (1) ขวดก้นกลม
- (2) Hot plate
- (3) คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- (4) ตู้ดูดควัน
- (5) โถดูดความชื้น
- (6) แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสารละลาย
- (7) กระดาษลิตมัส
- (8) ตู้อบความร้อน
- (9) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- (10) หลอดทดลอง
- (11) ผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ที่ทอแล้วน้ำหนักต่อพื้นที่ 150, 208, 275 g/cm<sup>2</sup>  
(บริษัท ไทยนาโซค), ผ้าอ้อมเด็ก, สำลี, ผ้าฝ้ายทอมือ
- (12) บีกเกอร์
- (13) กระจกนาฬิกา
- (14) คีม
- (15) พาราฟิล์ม
- (16) ปิเปต
- (17) กระจบอกลง
- (18) ขวดเตรียมสารละลาย
- (19) ตะกั่วกำบังรังสีแกมมาจาก Co-60 ให้ลดลง 90%, 70%, 50%
- (20) เครื่องกรองดูด
- (21) เทอร์โมมิเตอร์
- (22) กรวยกรอง
- (23) ขวดพลาสติกบรรจุสารละลาย
- (24) เครื่องฉายรังสีแกมมา Co-60 Gammacell 220 excel. Canada
- (25) เครื่อง CHNS-Analyzer 932, Leco corporation U.S.A
- (26) เครื่อง pH meter รุ่น PP20-P11, Sartorius Germany.
- (27) เครื่องเขย่าสารละลาย รุ่น DS-500, LISTED Laboratory Equipment U.S.A

- (28) เครื่อง ICP Optima 5300DV, Perkin Elmer U.S.A
- (29) เครื่อง FTIR รุ่น TENSOR 27, Bruker Germany
- (30) เครื่อง TGA รุ่น SDTA851, Mettler Toledo U.S.A
- (31) เครื่อง DSC รุ่น DSC822, Mettler Toledo U.S.A

### 3.2 รายการสารเคมี

- (1) เอทานอล, J.T. BAKER, Malaysia
- (2) โซเดียมไฮดรอกไซด์, Merck, Germany
- (3) เมทิลอะครีเลต, Sigma-Aldrich, Germany
- (4) เมทานอล, Merck, Germany
- (5) ก๊าซไนโตรเจน
- (6) ไฮดรอกซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์, Merck, Germany
- (7) กรดไฮโดรคลอริก, Merck, Germany
- (8) น้ำกลั่น
- (9) ซิลิโคนออยล์
- (10) กรดไนตริก, Merck, Germany
- (11) แอมโมเนียเข้มข้น, Merck, Germany
- (12) สายละลายมาตรฐานแคดเมียมไนเตรดเข้มข้น 1,000 ส่วนในล้านส่วน VWR International Ltd, England
- (13) สายละลายมาตรฐานตะกั่วไนเตรดเข้มข้น 1,000 ส่วนในล้านส่วน SCP Science, Canada

หมายเหตุ สารเคมีทุกรายการใช้ระดับ AR-Grade

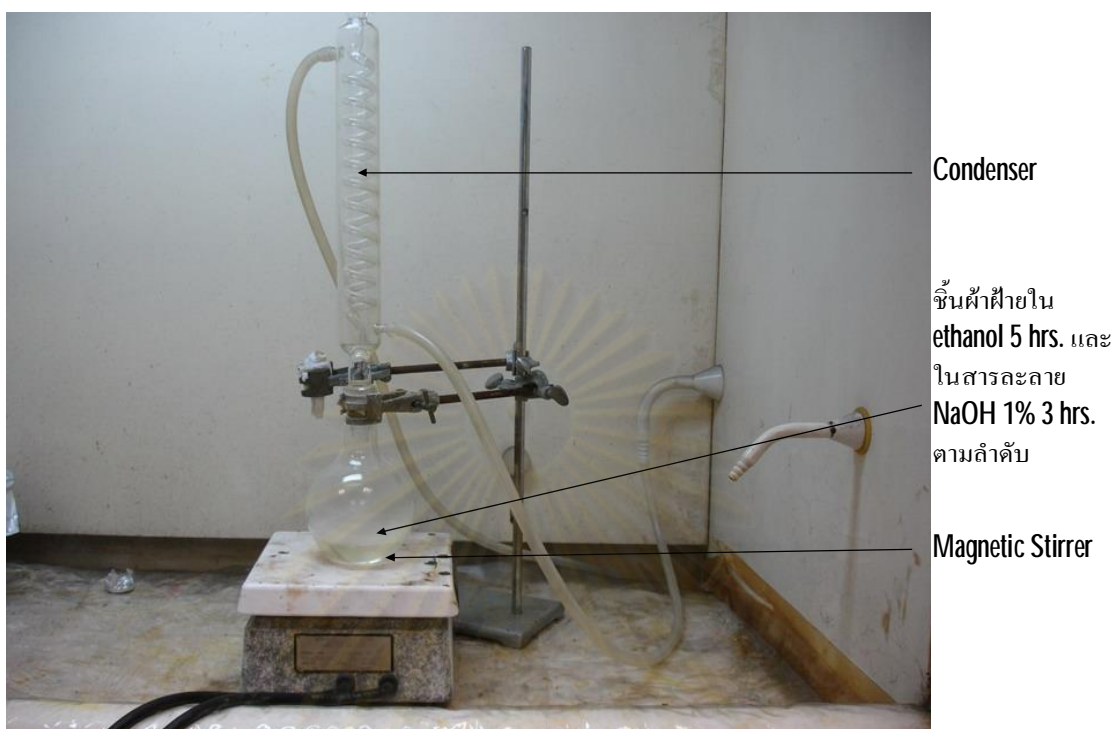
### 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมผ้าฝ้ายเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของเมทิลอะครีเลตกับเส้นใยเซลลูโลส<sup>[19]</sup>

ผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ทอแล้วน้ำหนักต่อพื้นที่ 150, 208, 275 g/cm<sup>2</sup> ผ้าอ้อมเด็ก, สำลี, ผ้าฝ้ายทอมือ มาตรฐานให้มีขนาด 3×3 ตารางเซนติเมตร บรรจุในขวดกัมกลมเติมเอทานอลต้มเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามด้วยสายละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อกำจัดแป้ง สีข้อม สารเจือปนและไขมัน จากนั้นล้างชิ้นผ้าฝ้ายด้วยน้ำกลั่นเป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อล้างค่าและสารตกค้างออกไปให้หมดซึ่งขั้นตอนนี้ทดสอบน้ำล้างด้วย



กระดาษลิตมัสจนเป็นกลางจึงนำผ้าฝ้ายดังกล่าวมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่เก็บในโถสุญญากาศเพื่อรอการใช้งานครั้งต่อไป



รูปที่ 3.1 การต่ออุปกรณ์ชุดกลั่นสำหรับการเตรียมผ้าฝ้าย

### 3.3.2 ศึกษาชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันด้วยรังสีแกมมาโดยใช้วิธี **simultaneous irradiation**

นำผ้าฝ้ายจากข้อ 3.3.1 ชั่งน้ำหนักผ้าฝ้ายเป็นน้ำหนักของพอลิเมอร์เริ่มต้นนำมาบรรจุลงหลอดทดลองเติมสารละลายผสมเมทิลอะครีเลตความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายเมทานอลิก ( $\text{MeOH:H}_2\text{O}$  อัตราส่วน 50: 50 โดยปริมาตร) เป็นจำนวน 25 มิลลิลิตร ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระจากนั้นปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของก๊าซไนโตรเจนนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ ที่อัตราปริมาณรังสี 0.1417 กิโลเกรย์ต่อนาที หลังจากฉายรังสีจะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์นำไปสกัดโซโม่พอลิเมอร์ออกด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์เป็นเวลา 40 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่และชั่งน้ำหนักนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เพื่อเลือกชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันด้วยรังสีแกมมาโดยใช้วิธี **simultaneous irradiation**

3.3.3 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของเมทิลอะครีเลตกับเส้นใยเซลลูโลส

### 3.3.3.1 ปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

นำผ้าฝ้ายชนิด  $150 \text{ g/cm}^2$  ที่ผ่านการล้างซึ่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักของพอลิเมอร์ เริ่มต้นนำมาบรรจุลงหลอดทดลองเติมสารละลายผสมเมทิลอะครีเลตความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายเมทานอลิก ( $\text{MeOH:H}_2\text{O}$  อัตราส่วน 50: 50 โดยปริมาตร) เป็นจำนวน 25 มิลลิลิตร ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระจากนั้นปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของก๊าซไนโตรเจนนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 10, 20, 30, 40, 50, 60 กิโลเกรย์ตามลำดับที่อัตราปริมาณรังสี 0.1417 กิโลเกรย์ต่ออนาที หลังจากฉายรังสีจะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์นำไปสกัดไฮโดรพอลิเมอร์ออกด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์เป็นเวลา 40 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่และชั่งน้ำหนักนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์



ตัวอย่างผ้าฝ้ายใน  
Methyl acrylate +  
Methanolic  
solution

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างผ้าฝ้ายที่เติมสารละลายเมทิลอะครีเลตในสารละลายเมทานอลิก ก่อนนำเข้าฉายรังสีแกมมา

### 3.3.3.2 ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

นำผ้าฝ้ายชนิด  $150 \text{ g/cm}^2$  ที่ผ่านการล้างซึ่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักของพอลิเมอร์ เริ่มต้นนำมาบรรจุลงหลอดทดลองเติมสารละลายผสมเมทิลอะครีเลตความเข้มข้น 20, 25, 30, 35, 40, 45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในสารละลายเมทานอลิก ( $\text{MeOH:H}_2\text{O}$  อัตราส่วน 50: 50 โดย

ปริมาตร) เป็นจำนวน 25 มิลลิลิตร ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระจากนั้นปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของก๊าซไนโตรเจนนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ อัตราปริมาณรังสี 0.1417 กิโลเกรย์ต่ออนาที หลังจากฉายรังสีจะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์นำไปสกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์เป็นเวลา 40 ชั่วโมงจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่และชั่งน้ำหนักนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

### 3.3.3.3 อัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

นำผ้าฝ้ายชนิด  $150 \text{ g/cm}^2$  ที่ผ่านการล้างชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักของพอลิเมอร์เริ่มต้นนำมาบรรจุลงหลอดทดลองเติมสารละลายผสมเมทิลอะครีเลตความเข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายเมทาโนอิก อัตราส่วน (40:60), (50:50), (60:40), (80:20) โดยปริมาตรตามลำดับเป็นจำนวน 25 มิลลิลิตรผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระจากนั้นปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของก๊าซไนโตรเจนนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ อัตราปริมาณรังสี 0.1417 กิโลเกรย์ต่ออนาที หลังจากฉายรังสีจะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์นำไปสกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์เป็นเวลา 40 ชั่วโมงจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่และชั่งน้ำหนักนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

### 3.3.3.4 อัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

นำผ้าฝ้ายชนิด  $150 \text{ g/cm}^2$  ที่ผ่านการล้างชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักของพอลิเมอร์เริ่มต้นนำมาบรรจุลงหลอดทดลองเติมสารละลายผสมเมทิลอะครีเลตความเข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายเมทาโนอิก อัตราส่วน (50:50) โดยปริมาตรเป็นจำนวน 25 มิลลิลิตร ผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อกำจัดออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระจากนั้นปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของก๊าซไนโตรเจนนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ อัตราปริมาณรังสี 0.1417, 0.0728, 0.0430, 0.0140 กิโลเกรย์ต่ออนาที ตามลำดับ หลังจากฉายรังสีจะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์นำไปสกัดไฮโมพอลิเมอร์ออกด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์เป็นเวลา 40 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่และชั่งน้ำหนักนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

3.3.4 การเตรียมสารละลายไฮดรอกซิลเอมีน ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) เพื่อการศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการดัดแปรหมู่ฟังก์ชันเมทิลอะครีเลตของกราฟต์โคพอลิเมอร์ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก

ชั่งไฮดรอกซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ 75 กรัม ละลายในสารละลายเมทาโนอิกอัตราส่วน 5:1 โดยปริมาตร เป็นจำนวน 300 มิลลิลิตร ปรับ pH 13 โดยการเติมโซเดียมไฮดร

อกไซค์จะเกิดเกลือโซเดียมคลอไรด์ขึ้นกรองเกลือดังกล่าวจะได้สารละลายไฮดรอกซิลเอมีนความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 13

**3.3.5** การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคัดแปรหมู่ฟังก์ชันเมทิลอะคริเลตของกราฟต์โคพอลิเมอร์ให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก

**3.3.5.1** ความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

ซึ่งกราฟต์โคพอลิเมอร์หนัก 0.05 กรัม ต้มในสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนความเข้มข้น 20, 25, 30, 35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับที่สภาวะ pH 13 จำนวน 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นนำพอลิเมอร์ดังกล่าวมาล้างด้วยสารละลายเมทานอลอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งตามด้วยแช่ในสารละลายเมทานอลไฮดรอกลไรด์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ จำนวน 30 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที และล้างด้วยสารละลายเมทานอลอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่นำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

**3.3.5.2** เวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

ซึ่งกราฟต์โคพอลิเมอร์หนัก 0.05 กรัม ต้มในสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะ pH 13 จำนวน 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1, 3, 4 ชั่วโมงตามลำดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นนำพอลิเมอร์ดังกล่าวมาล้างด้วยสารละลายเมทานอลอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งตามด้วยแช่ในสารละลายเมทานอลไฮดรอกลไรด์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ จำนวน 30 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที และล้างด้วยสารละลายเมทานอลอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่นำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

**3.3.5.3** อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

ซึ่งกราฟต์โคพอลิเมอร์หนัก 0.05 กรัม ต้มในสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะ pH 13 จำนวน 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมงอุณหภูมิ 70, 80, 85 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำพอลิเมอร์ดังกล่าวมาล้างด้วยสารละลายเมทานอลอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งตามด้วยแช่ในสารละลายเมทานอลไฮดรอกลไรด์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ จำนวน 30 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที และล้างด้วยสารละลายเมทานอลอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่นำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

**3.3.5.4** ความเป็นกรดต่าง (pH) ในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

ซึ่งกราฟต์โคพอลิเมอร์หนัก 0.05 กรัม ต้มในสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ที่สภาวะ pH 10, 11, 12 ตามลำดับ จำนวน 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นนำพอลิเมอร์ดังกล่าวมาล้างด้วยสารละลายเมทานอล



อัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งตามด้วยแซในสารละลายเมทาโนอิกไฮดรอกลอไรด์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ จำนวน 30 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที และล้างด้วยสารละลายเมทาโนอิกอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรหลายครั้งอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ นำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน



**รูปที่ 3.3** อุปกรณ์การตัดแปรมุ่เอสเทอร์เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

### 3.3.6 การพิสูจน์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้

#### 3.3.6.1 เทคนิค FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)

นำตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการล้างแล้ว กราฟต์โคพอลิเมอร์ และตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิก โดยในงานวิจัยนี้ใช้ช่วงความยาวคลื่น 500-4,000  $\text{cm}^{-1}$  หัววัดแบบ ATR ทำการทดลองซ้ำ 16 ครั้ง ใช้ความละเอียดของความยาวคลื่น 2  $\text{cm}^{-1}$  ใช้เครื่อง FTIR Spectroscopy (SENSOR 27, Bruker Germany)

#### 3.3.6.2 เทคนิค DSC (Differential Scanning Calorimetry Analysis)

นำตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการล้างแล้ว กราฟต์โคพอลิเมอร์ และตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิก โดยในงานวิจัยนี้ใช้อัตราการปล่อยไนโตรเจน 60 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้เครื่อง DSC (DSC822, Mettler Toledo)

#### 3.3.6.3 เทคนิค TGA (Thermogravimetric Analysis)

นำตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการล้างแล้ว กราฟต์โคพอลิเมอร์ และตัวดูดซับโลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิก โดยในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราความร้อน 10 องศา



เซลล์เชื้อสต่อหน้าที่ และอัตราการปล่อยไนโตรเจน 60 มิลลิลิตรต่อหน้าที่ ใช้เครื่อง TGA (SDTA851, Mettler Toledo)

### 3.3.7 การศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับโลหะ

#### 3.3.7.1 ความเป็นกรดเบส (pH) ของสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว

ชั่งตัวดูดซับโลหะ 0.5 กรัม แฉ่งลงในสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 100 ส่วนในพันล้านส่วน ปริมาณ 100 มิลลิลิตรที่สภาวะ pH 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ แบ่งสารละลายโลหะเป็นสองขวดๆ ละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้แช่ในสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วก่อนแช่ตัวดูดซับโลหะและหลังแช่ตัวดูดซับโลหะไปวิเคราะห์ความเข้มข้นแคดเมียมและตะกั่วด้วยเครื่อง ICP (Optima 5300DV, Perkin Elmer)

#### 3.3.7.2 เวลาที่ใช้ดูดซับสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว

ชั่งตัวดูดซับโลหะ 0.5 กรัม แฉ่งลงในสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 100 ส่วนในพันล้านส่วน ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่สภาวะ pH 5.0 และ 3.0 ตามลำดับ แบ่งสารละลายโลหะเป็นสองขวดๆ ละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้แช่ในสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20, 40, 60, 80 และ 100 นาที นำสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วก่อนแช่ตัวดูดซับโลหะและหลังแช่ตัวดูดซับโลหะไปวิเคราะห์ความเข้มข้นแคดเมียมและตะกั่วด้วยเครื่อง ICP (Optima 5300DV, Perkin Elmer)

### 3.3.8 การศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับโลหะ

ชั่งตัวดูดซับโลหะ 0.5 กรัม แฉ่งลงในสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วนปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่สภาวะ pH 5.0 และ 3.0 ตามลำดับ แบ่งสารละลายโลหะเป็นสองขวดๆ ละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้แช่ในสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วก่อนแช่ตัวดูดซับโลหะและหลังแช่ตัวดูดซับโลหะไปวิเคราะห์ความเข้มข้นแคดเมียมและตะกั่วด้วยเครื่อง ICP (Optima 5300DV, Perkin Elmer) และนำไปคำนวณประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับโลหะ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการศึกษาชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมาโดยวิธี **simultaneous irradiation**

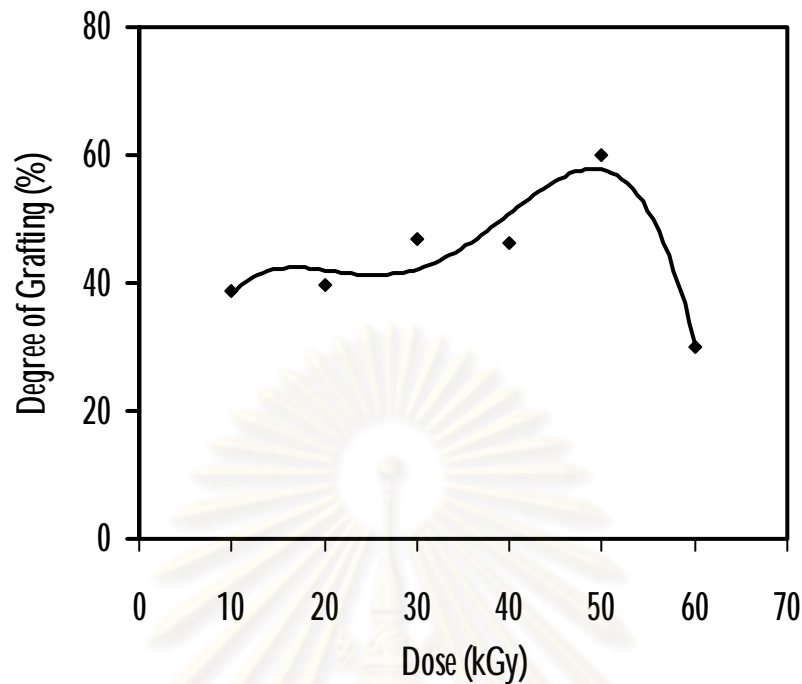
ผลการศึกษาชนิดของเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยรังสีแกมมาโดยวิธี **simultaneous irradiation** พบว่าตัวอย่างผ้าฝ้ายชนิด 208, 275 g/cm<sup>2</sup> ผ้าอ้อมเด็ก, ลำลีและผ้าฝ้ายทอมือ เมื่อทำการกราฟต์แล้วได้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ต่ำ (2-5 เปอร์เซ็นต์) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดลองจึงเลือกเฉพาะ ผ้าฝ้าย 150 g/cm<sup>2</sup> มาทำการทดลองเรื่องการศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลอะครีเลตกับเส้นใยเซลลูโลสต่อไป

#### 4.2 ผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

จากการทดลองผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เส้นใยเซลลูโลสและเมทิลอะครีเลตมากขึ้นเป็นผลให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มากขึ้นซึ่งแสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ในการทดลองนี้ใช้รังสีแกมมาปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงที่สุด แต่ถ้าปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 60 กิโลเกรย์ ผลก็คือค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ต่ำลงอันเนื่องมาจากเกิดการตัดทอน โมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสซึ่งผลดังตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีแกมมาที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ของเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลต

ปริมาณรังสี (kGy)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	% grafting
10	0.1432	0.1986	38.68
20	0.1369	0.1913	39.73
30	0.1632	0.2395	46.75
40	0.2471	0.3613	46.21
50	0.1646	0.2634	60.02
60	0.2159	0.2806	29.96



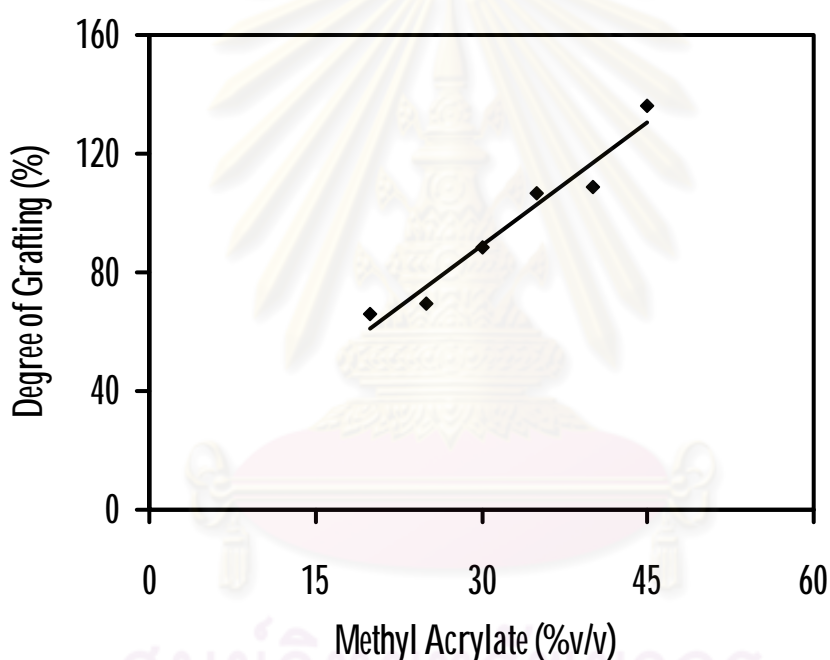
รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ : 20% MA (v/v), ((MeOH:H<sub>2</sub>O),(50:50) (v/v)) ที่ อัตราปริมาณรังสี 0.1417 kGy/min

#### 4.3 ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

จากการทดลองผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์มากขึ้นจะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงขึ้นเพราะเมื่อมอนอเมอร์ได้รับรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นจากนั้นอนุมูลอิสระก็จะเข้าตอกิ่งกับเส้นใยเซลลูโลสทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูง อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอนอเมอร์มากขึ้นเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร พบว่าสารละลายผสมแยกชั้น ในการทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นของเมทิลอะครีเลตที่ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุด คือ 133.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลดังตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

ความเข้มข้นของเมทิลอะครีเลต (v/v)	$W_0$ (g)	$W_1$ (g)	% grafting
20	0.1317	0.2182	65.67
25	0.1401	0.2380	69.87
30	0.1440	0.2713	88.40
35	0.1444	0.2984	106.64
40	0.1342	0.2804	108.94
45	0.7548	1.7606	133.25



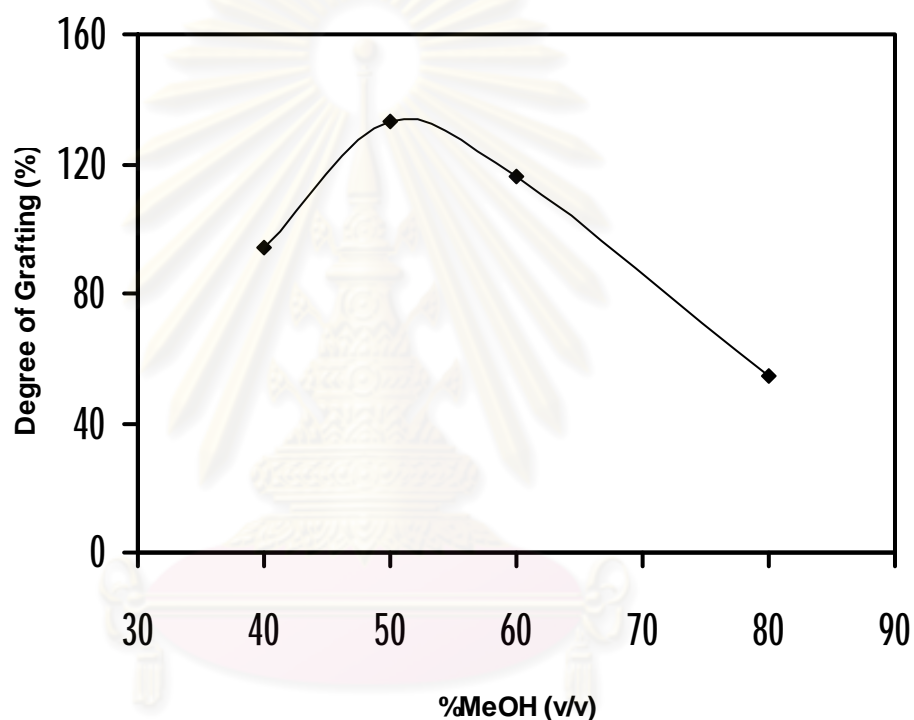
รูปที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ :  
((MeOH:H<sub>2</sub>O), (50:50) (v/v)), ปริมาณรังสี 50 kGy ที่อัตราปริมาณรังสี 0.1417 kGy/min

#### 4.4 ผลอัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

จากการทดลองผลอัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์แสดงให้เห็นว่าสถานะที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงสุดคือ อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร เนื่องจากมอนอเมอร์มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในกลุ่มสารละลายที่มีประจุบวก เช่น เมทาโนล เป็นต้น โดยการทดลองอัตราส่วนที่เหมาะสมเมื่อเติมเมทิลอะครีเลตในสารละลายเมทาโนอิกเป็นอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตรซึ่งผลดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

สารละลายเมทาโนอิก (MeOH:H <sub>2</sub> O) (v/v)	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	% grafting
40:60	0.6078	1.1799	94.12
50:50	0.7548	1.7606	133.25
60:40	0.1553	0.3353	115.96
80:20	0.5563	0.8588	54.37



รูปที่ 4.3 ผลอัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ : 45% MA (v/v), ปริมาณรังสี 50 kGy ที่อัตราปริมาณรังสี 0.1417 kGy/min

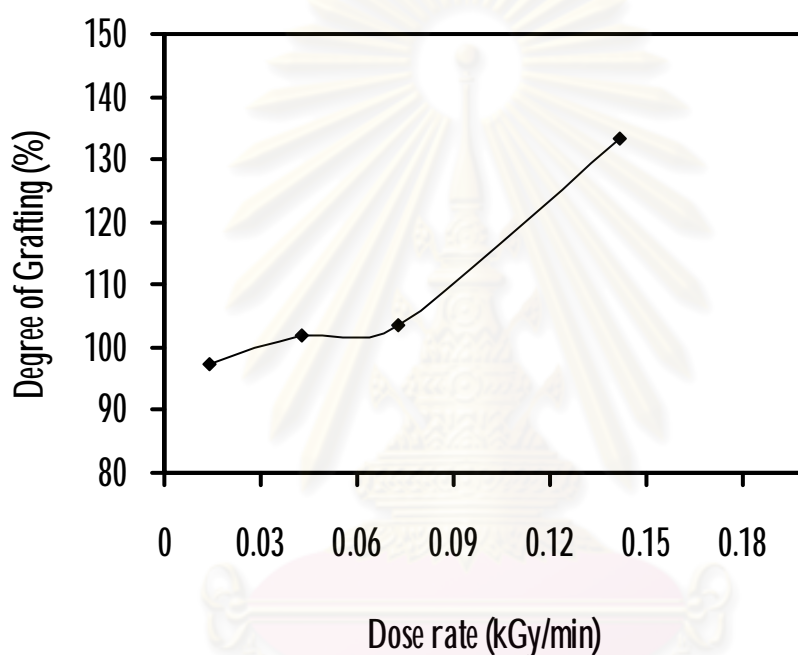
#### 4.5 ผลอัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

จากผลการทดลองผลอัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์แสดงให้เห็นว่า สภาวะที่ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงที่สุดคือ ที่อัตราปริมาณรังสี 0.1417 กิโลเกรย์ต่อนาที เนื่องจากเมื่อ พอลิเมอร์และมอนอเมอร์ได้รับรังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นทำให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มากขึ้นมี ผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงเป็น 133.25 ซึ่งผลดังตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 ผลอัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

อัตราการเปล่งรังสี (kGy/min)	$W_0$ (g)	$W_1$ (g)	% grafting
0.1417	0.7548	1.7606	133.25
0.0728	0.2739	0.5579	103.68
0.0430	0.2444	0.4936	101.96
0.0140	0.2896	0.5717	97.41



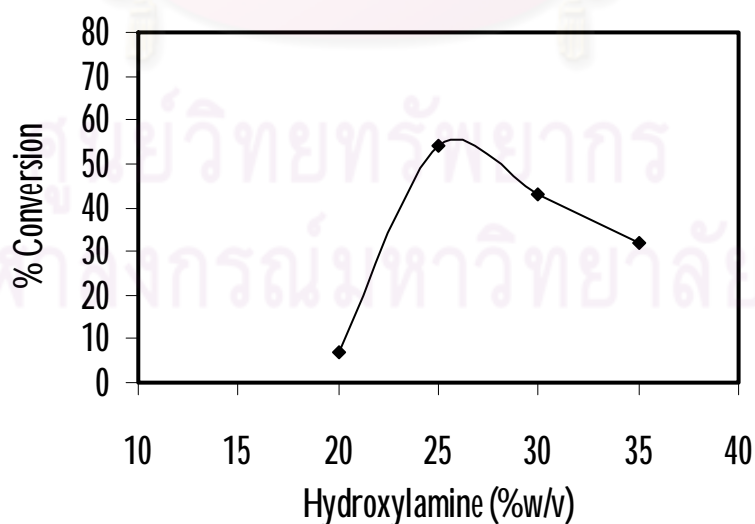
รูปที่ 4.4 ผลอัตราปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ : 45% MA (v/v), ((MeOH:H<sub>2</sub>O), (50:50) (v/v))

#### 4.6 ผลความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

จากผลการทดลองผลความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันพบว่าที่สภาวะความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีน 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ให้ผลของการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันสูงสุด ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ของสารละลาย $\text{NH}_2\text{OH}$ (w/v)	การทดลองที่	$W_s$ (mg)	% Nitrogen	ค่าเฉลี่ย % Conversion
20	1	1.966	0.648	7
	2	1.921	0.572	
	3	2.107	0.592	
25	1	2.004	5.153	54
	2	2.026	4.853	
	3	2.062	5.018	
30	1	2.062	3.998	43
	2	1.957	3.648	
	3	1.901	4.254	
35	1	2.128	2.690	32
	2	2.052	2.953	
	3	2.000	3.143	



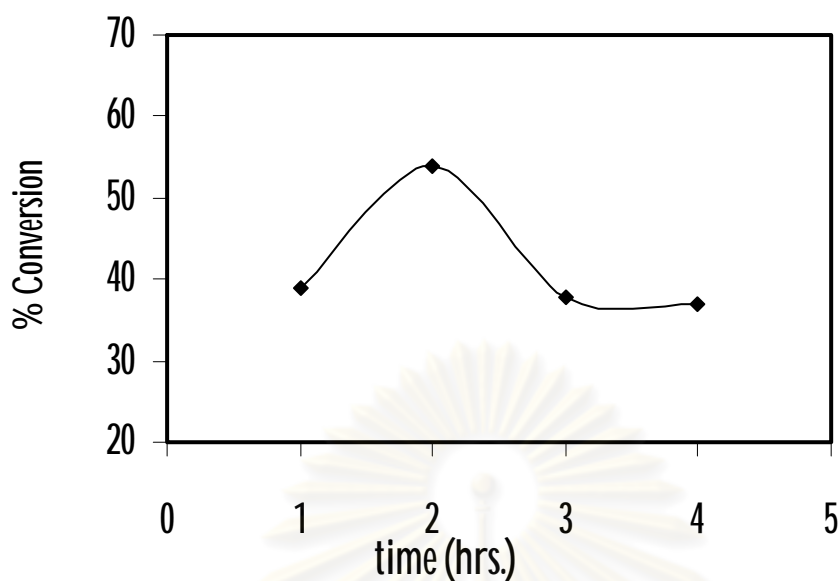
รูปที่ 4.5 ผลความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน: pH 13, เวลาทำปฏิกิริยา 2 hrs, อุณหภูมิ 75°C

#### 4.7 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

จากผลการทดลองผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันพบว่าเมื่อการเปลี่ยนแปลงเวลามีผลต่อการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน โดยที่เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดใช้เวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้สามารถเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน ได้สูงที่สุด ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

เวลา (hrs.)	การทดลองที่	W <sub>s</sub> (mg)	% Nitrogen	ค่าเฉลี่ย % Conversion
1	1	1.996	3.477	39
	2	1.986	3.563	
	3	2.102	3.783	
2	1	2.004	5.153	54
	2	2.026	4.853	
	3	2.062	5.018	
3	1	2.099	3.383	38
	2	2.071	3.526	
	3	2.106	3.636	
4	1	2.062	3.775	42
	2	2.141	3.905	
	3	-	-	



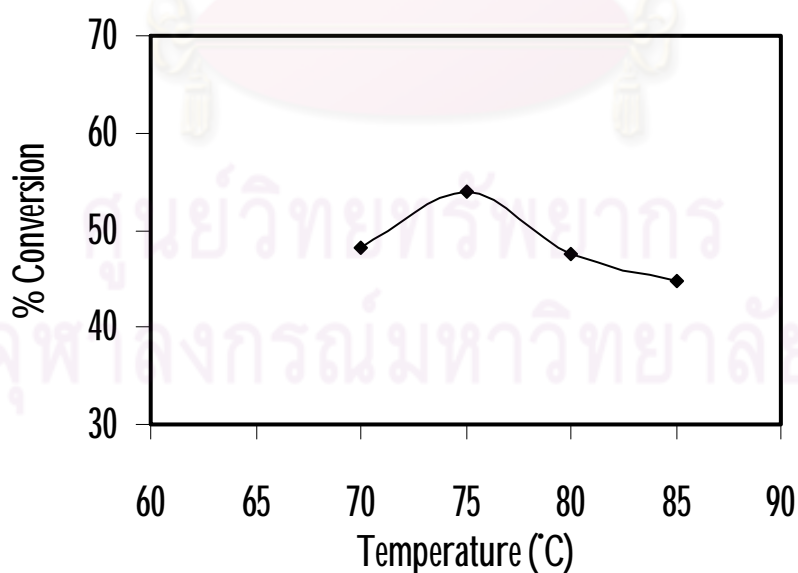
รูปที่ 4.6 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน : 25%  $\text{NH}_2\text{OH}$  (w/v), pH 13, อุณหภูมิ 75°C

#### 4.8 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

จากผลการทดลองผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันพบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมิมีผลต่อการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน โดยที่ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสสามารถเกิดหมู่กรดไฮดรอกซามิกมากขึ้นเป็น 54% ผลแสดงดังตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน

อุณหภูมิ (°C)	การทดลองที่	W <sub>s</sub> (mg)	% Nitrogen	ค่าเฉลี่ย % Conversion
70	1	2.123	4.621	48
	2	2.121	4.278	
	3	2.125	4.515	
75	1	2.004	5.153	54
	2	2.026	4.853	
	3	2.062	5.018	
80	1	2.055	4.642	48
	2	2.154	4.306	
	3	1.942	4.276	
85	1	2.099	4.178	45
	2	2.099	4.143	
	3	2.184	4.157	



รูปที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน: 25% NH<sub>2</sub>OH (w/v), เวลา 2 hrs, pH 13



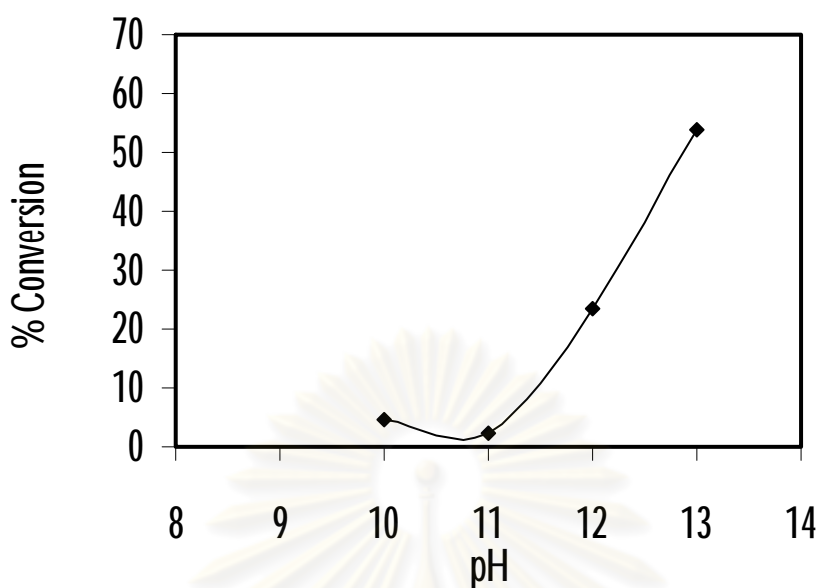
#### 4.9 ผลของความเป็นกรดต่างต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่น้ำฟังก์ชัน

จากผลการทดลองผลความเป็นกรดต่างต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่น้ำฟังก์ชันพบว่า เมื่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างมีผลทำให้การเปลี่ยนหมู่น้ำฟังก์ชันแตกต่างกัน โดยที่ pH 13 สามารถเกิดหมู่นกรดไฮดรอกซามิกมากขึ้น ผลแสดงดังตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่น้ำฟังก์ชัน

pH	การทดลองที่	W <sub>s</sub> (mg)	% Nitrogen	ค่าเฉลี่ย % Conversion
10	1	1.992	0.465	5
	2	2.157	0.432	
	3	2.137	0.408	
11	1	2.134	0.216	2
	2	2.032	0.196	
	3	1.985	0.183	
12	1	2.112	2.358	23
	2	2.047	2.400	
	3	1.990	2.106	
13	1	2.004	5.153	54
	2	2.026	4.853	
	3	2.062	5.018	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

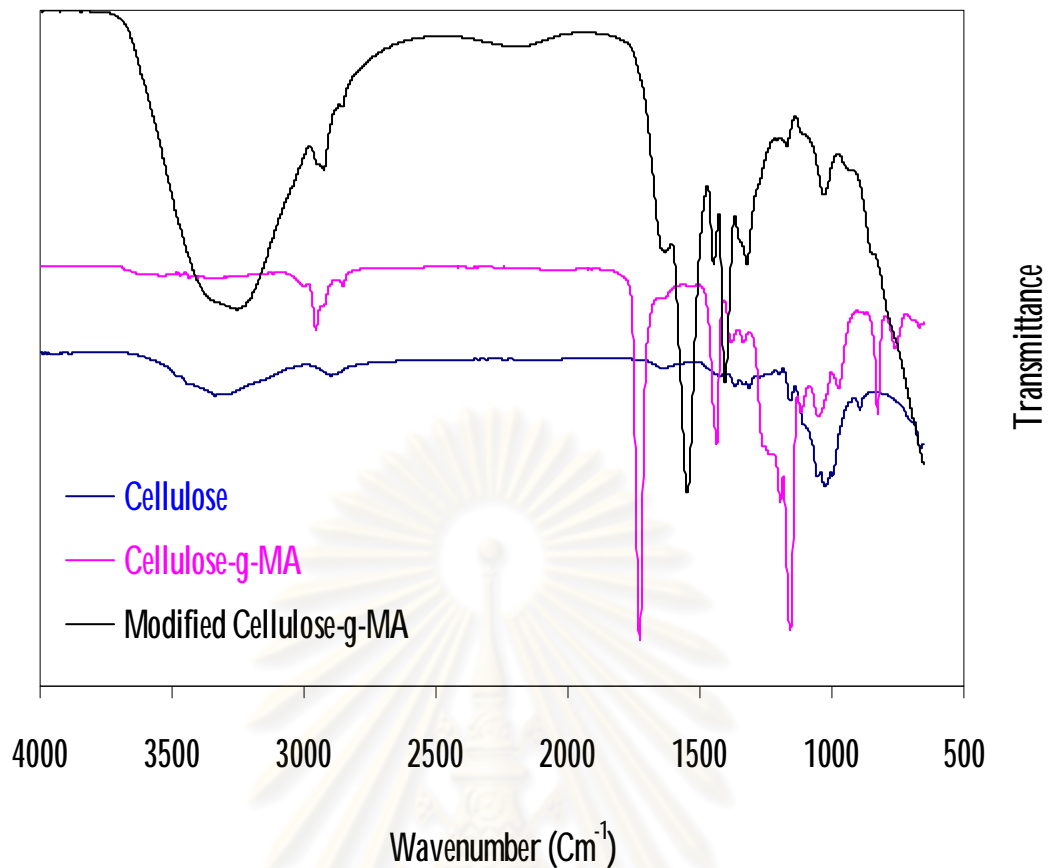


รูปที่ 4.8 ผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน: 25%  $\text{NH}_2\text{OH}$  (w/v), เวลา 2 hrs, อุณหภูมิ  $75^\circ\text{C}$

#### 4.10 ผลการพิสูจน์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วย FTIR

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ด้วย FTIR spectrum ดังรูปที่ 4.9 Cellulose (ผ้าฝ้ายทอ) แสดงการดึงยืดของหมู่ไฮดรอกซามิกที่  $3,307\text{ cm}^{-1}$  และพีคการดึงยืดของพันธะ C-H (C-H stretching) ที่  $2,873\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ สำหรับ FTIR spectrum ของ Cellulose-g-MA ที่แสดงหมู่เอสเทอร์ที่  $1,726\text{ cm}^{-1}$  ในขณะที่ FTIR spectrum ของ Modified Cellulose-g-MA จะเกิดหมู่กรดไฮดรอกซามิก (C=O) และ อะไมด์ ที่  $1,614\text{ cm}^{-1}$ ,  $1,542\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

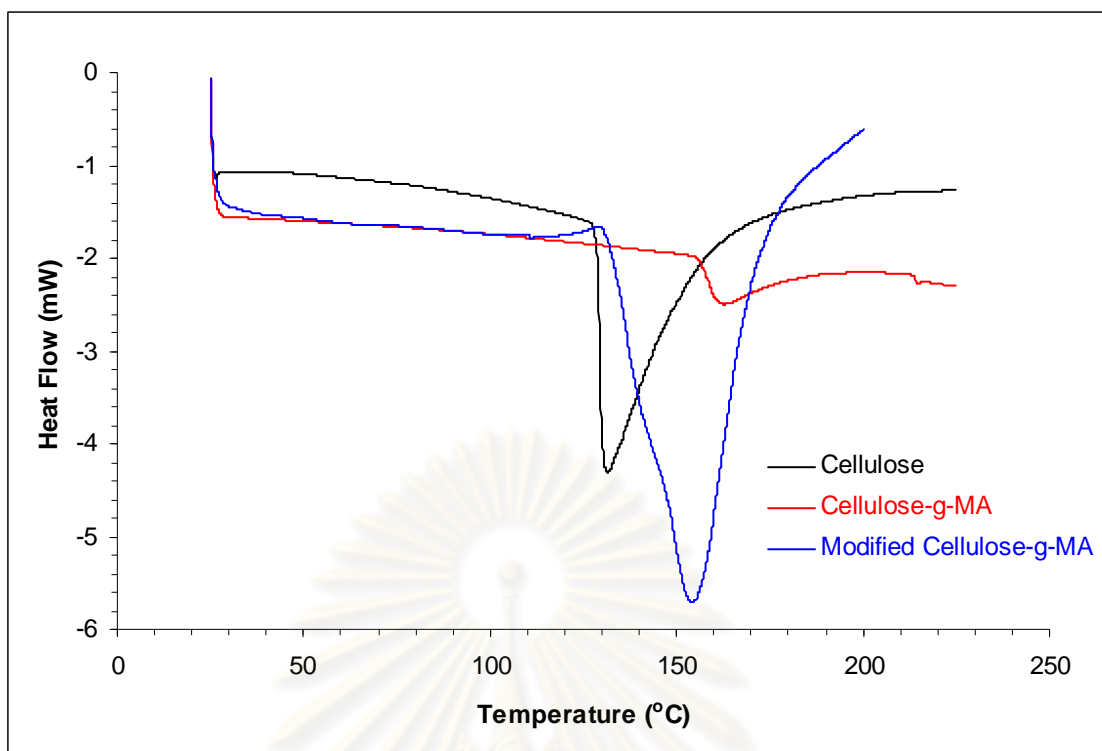


รูปที่ 4.9 FTIR spectrum ของ Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA

#### 4.11 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วย DSC

จากเทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.10 พบว่าพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิต่างกันกล่าวคือ Cellulose มีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส Cellulose-g-MA มีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 164 องศาเซลเซียส ส่วน Modified Cellulose-g-MA มีการดูดความร้อนที่อุณหภูมิ 156 องศาเซลเซียสซึ่งความแตกต่างของพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดสามารถอธิบายรายละเอียดได้ชัดเจนที่ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติด้วย TGA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

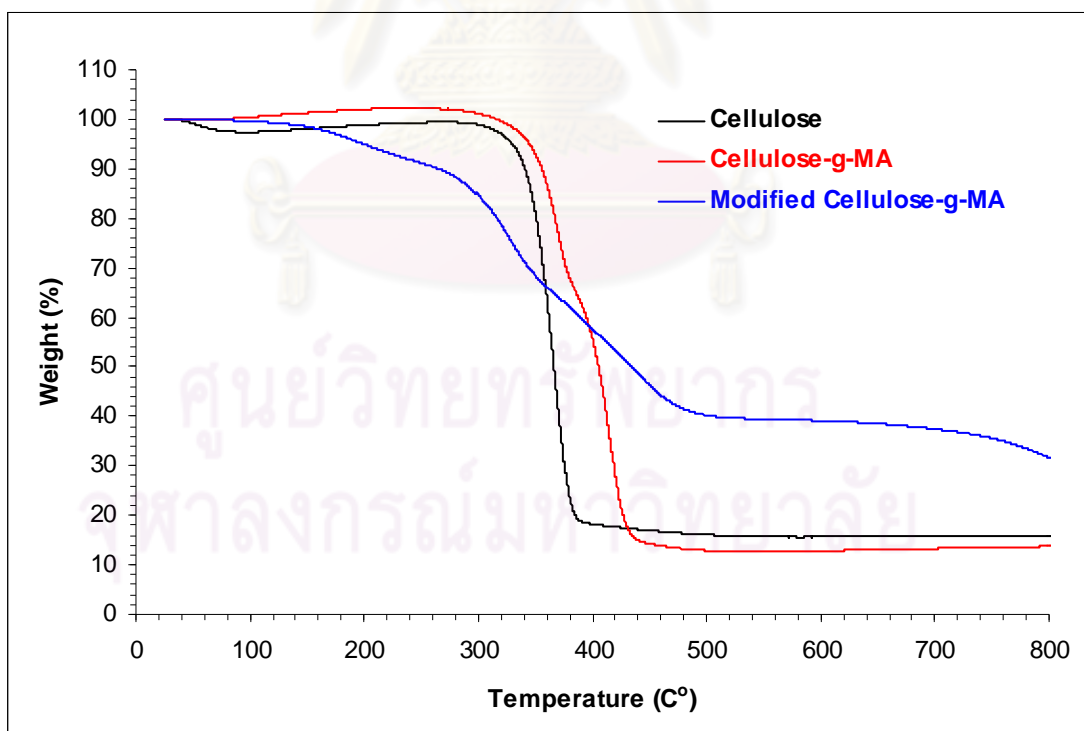


รูปที่ 4.10 DSC curve ของ Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA

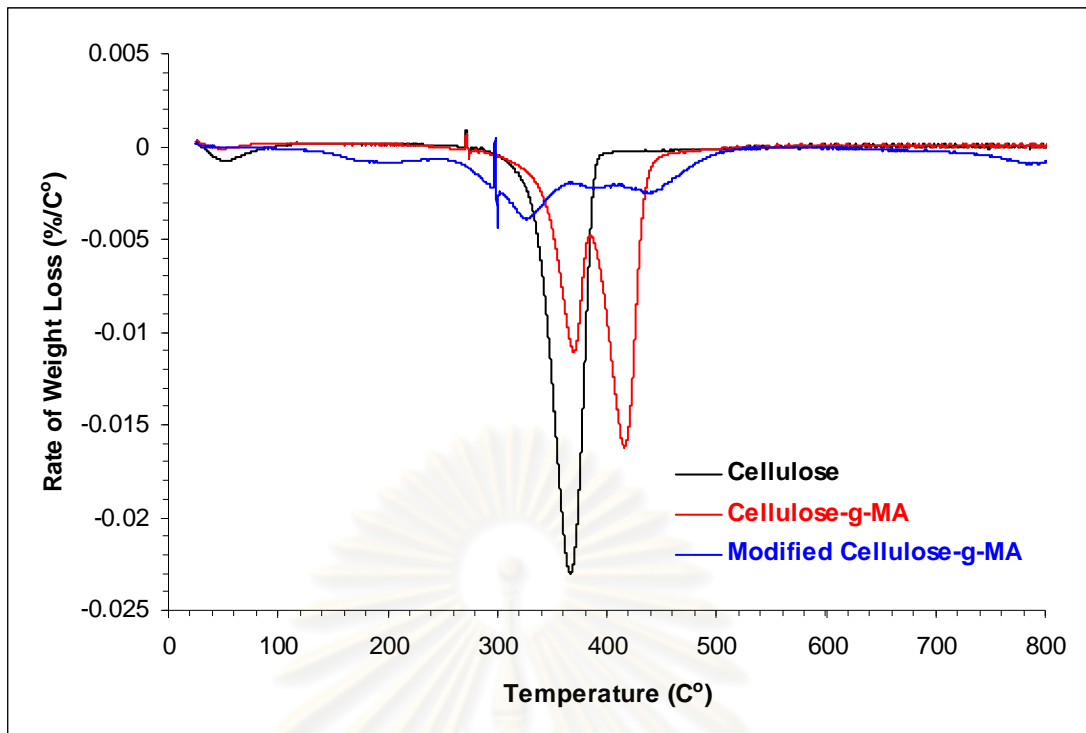
#### 4.12 ผลการพิสูจน์ลักษณะสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ด้วย TGA

จากเทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.11 พบว่า Cellulose มีการสูญเสียน้ำหนัก 1 ช่วง [ดูกราฟ 1st Derivative (dTGA) ในรูปที่ 4.12 ประกอบ] ระหว่างอุณหภูมิ 300 - 400 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 370 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส Cellulose มีถ่านเหลือประมาณร้อยละ 16 (Char Yield = 16%) สำหรับเทอร์โมแกรมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ (Cellulose-g-MA) พบว่าการสูญเสียน้ำหนัก 2 ช่วง [ดูกราฟ 1st Derivative (dTGA) ในรูปที่ 4.12 ประกอบ] โดยการสูญเสียน้ำหนักช่วงที่ 1 อยู่ระหว่างช่วงอุณหภูมิ 300 - 390 องศาเซลเซียส ซึ่งตรงกับการสูญเสียน้ำหนักของ Cellulose และมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 370 องศาเซลเซียสเช่นกัน การสูญเสียน้ำหนักช่วงที่ 1 นี้ช่วยยืนยันการมีอยู่ของ Cellulose ใน Cellulose-g-MA ส่วนการสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่ 2 อยู่ระหว่างช่วงอุณหภูมิ 390 - 480 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำหนักของ Poly(methyl acrylate) [PMA] ซึ่งกราฟต์ติดอยู่บนสายเส้นหลักของ Cellulose ใน Cellulose-g-MA โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 420 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส Cellulose-g-MA มีถ่านเหลือประมาณร้อยละ 14 (Char Yield = 14%) ส่วนเทอร์โมแกรมของตัวดูดซับโลหะที่แสดงหมู่กรดไฮดรอกซามิก (Modified Cellulose-g-MA) แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำหนักถึง 4 ช่วง คือการสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่ 1 เกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิ 120 - 260

องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำ และคาดว่าเป็นการสูญเสียน้ำหนักของสารโมเลกุลเล็กๆ เช่น ตัวทำละลายที่ถูกดูดซับไว้ข้างใน หรือ โอลิโกเมอร์ซึ่งเป็นผลพลอยได้ของการแตกสลายของ Cellulose ที่ถูกเหนี่ยวนำจากการฉายรังสี (Radiation-Induced Degradation) การสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่ 2 เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 260 - 370 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของ Cellulose การสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่ 3 เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 370 - 420 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของ Cellulose-g-MA การสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่ 4 เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 420 - 540 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส Modified Cellulose-g-MA มีถ่านเหลือประมาณร้อยละ 35 (Char Yield = 35%) ถึง Modified Cellulose-g-MA จะมีการสูญเสียน้ำหนักถึง 4 ช่วง แต่ว่าแต่ละช่วงมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของ Cellulose และ Cellulose-g-MA [ดูกราฟ 1st Derivative (dTGA) ในรูปที่ 4.12 ประกอบ] นอกจากนี้แล้ว Modified Cellulose-g-MA ยังให้ Char Yield ที่สูงที่สุด (35%) เมื่อเทียบกับ Cellulose และ Cellulose-g-MA ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสีเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมพันธะระหว่างสายเส้น (Radiation-Induced Crosslinking) ซึ่งทำให้ Modified Cellulose-g-MA สามารถทนความร้อนได้ดีขึ้น และทนทานต่อการย่อยสลายทางความร้อนได้ดีขึ้น



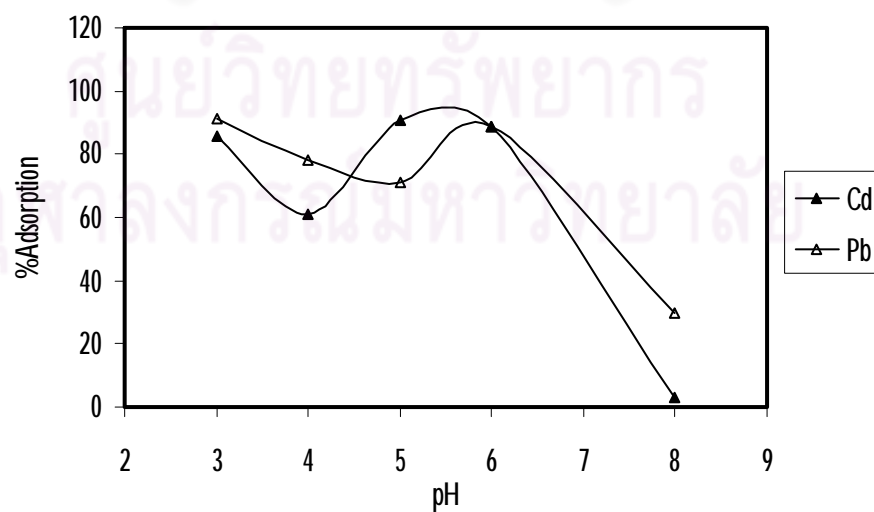
รูปที่ 4.11 TGA curve ของ Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA



รูปที่ 4.12 DSC curve ของ Cellulose, Cellulose-g-MA และ Modified Cellulose-g-MA

#### 4.13 ผลของความเป็นกรดต่อการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่ว

จากการทดลองการนำตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้ซึ่งมีหมู่กรดไฮดรอกซามิก สามารถดูดซับโลหะได้ที่ค่าความเป็นกรดของสารละลายโลหะต่างกัน โดยที่สารละลายแคดเมียมและสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 100 ส่วนในพันล้านส่วน สามารถดูดซับโลหะได้ 90.59, 91.29 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 5.0, 3.0 ตามลำดับ ซึ่งผลดังรูปที่ 4.13

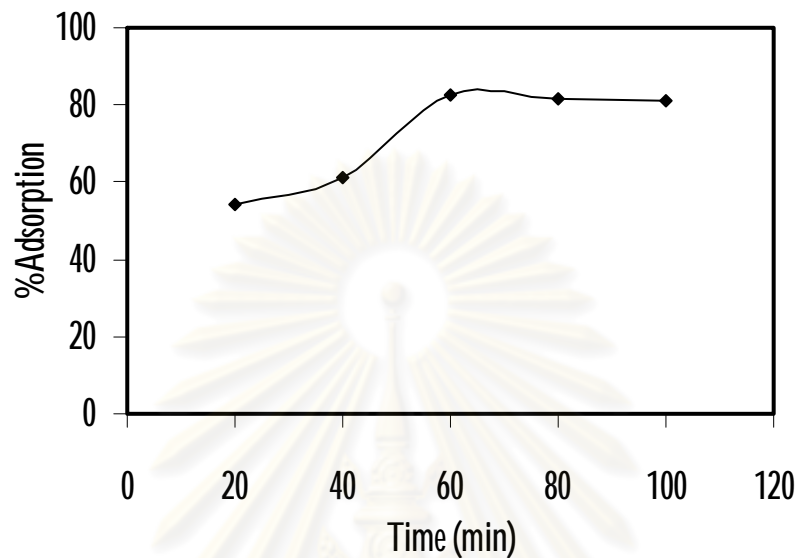


รูปที่ 4.13 ผลของความเป็นกรดต่อการดูดซับสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว

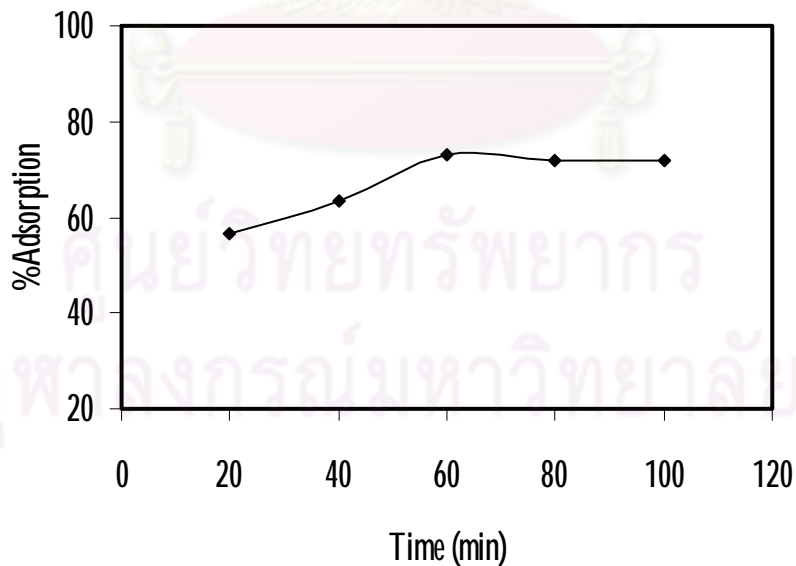


#### 4.14 ผลของเวลาที่ใช้ดูดซับสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว

จากการทดลองการใช้เวลาที่แตกต่างกันมีผลต่อการดูดซับโลหะแต่เมื่อเวลาผ่านไป การดูดซับคงที่เนื่องจากเกิดการอิ่มตัวในการดูดซับโดยที่สารละลายแคดเมียมและตะกั่วความเข้มข้น 100 ส่วนในพันล้านส่วน pH 5.0 และ 3.0 ตามลำดับ ใช้เวลา 60 นาที ซึ่งผลแสดงดังรูปที่ 4.14 และ 4.15



รูปที่ 4.14 ผลของเวลาต่อค่าการดูดซับโลหะของสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 100 ppb ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.15 ผลของเวลาต่อค่าการดูดซับโลหะของสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 100 ppb ที่อุณหภูมิห้อง

#### 4.15 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดของสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดของสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่วของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้โดยวิธี **batch adsorption** พบว่าการที่ตัวดูดซับโลหะซึ่งมีหมู่กรดไฮดรอกซามิกเกิดขึ้นสามารถรวมตัวกับไอออนโลหะของสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่วที่ความเข้มข้น 5 ส่วนในพันส่วน pH 5.0 และ 3.0 ตามลำดับ ให้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดเป็น  $3.11 \times 10^{-3}$  มิลลิโมลต่อกรัม ของตัวดูดซับ และ  $2.20 \times 10^{-3}$  มิลลิโมลต่อกรัม ของตัวดูดซับตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 การกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลตโดยการฉายรังสีแกมมาตามเงื่อนไขต่างๆ

จากการทดลองการกราฟต์เส้นใยเซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลตซึ่งในการทดลองนี้เลือกเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากผ้าฝ้ายที่ทอแล้วโดยเงื่อนไขที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ฉาย ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เมทิลอะครีเลต อัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิก อัตราปริมาณรังสีซึ่งจากการทดลองที่สภาวะ ปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ ความเข้มข้นของเมทิลอะครีเลตเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร อัตราส่วนของสารละลายเมทาโนอิกเป็น 50:50 โดยปริมาตรและที่อัตราปริมาณรังสี 0.1417 กิโลเกรย์ต่ออนาที ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 133 (6.63 มิลลิโมลต่อกรัม ของหมู่เมทิลอะครีเลต)

#### 5.2 การตัดแปรหมู่เอสเทอร์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิก

จากการทดลองการตัดแปรหมู่เอสเทอร์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดหมู่กรดไฮดรอกซามิกได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนที่เข้าทำปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา และค่าความเป็นกรดต่างในการทำปฏิกิริยา ซึ่งในการทดลองการเกิดหมู่กรดไฮดรอกซามิกสามารถนำตัวอย่างที่ทำการตัดแปรหมู่ไปวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนโดยเครื่อง CHNS-Analyzer 932 วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนซึ่งที่สภาวะที่ความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกซิลเอมีน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส, เวลา 2 ชั่วโมง และ pH 13 ให้ค่าเฉลี่ย % Conversion ดีที่สุด คือ 54 แสดงว่าจากการตัดแปรหมู่เอสเทอร์ของการกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับสารละลายอัลคาไลด์ของไฮดรอกซิลเอมีนสามารถเกิดหมู่กรดไฮดรอกซามิกได้ 54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ FTIR, DSC และ TGA

#### 5.3 การวิเคราะห์ตัวแปรและประสิทธิภาพสูงสุดที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายโลหะแคดเมียมและตะกั่ว

จากการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะซึ่งในการทดลองใช้โลหะแคดเมียมและโลหะตะกั่วผลที่ตัวดูดซับชนิดใหม่ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถดูดซับโลหะแคดเมียมได้ 90.59 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดูดซับโลหะตะกั่วได้ 91.29 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของสารละลาย 100 ส่วนในพันล้านส่วน ซึ่งการดูดซับโลหะชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับตัวแปรของสารละลายโดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรในสภาวะความเป็นกรดเบสของสารละลายและเวลาที่

ใช้ในการดูดซับซึ่งสำหรับโลหะแคดเมียมตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับได้ดีที่สถานะ pH 5.0 ใช้เวลาในการดูดซับ 60 นาที ในขณะที่โลหะตะกั่วตัวดูดซับสามารถดูดซับได้ดีที่สถานะ pH 3.0 ใช้เวลาในการดูดซับใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้ซึ่งมีหมู่กรดไฮดรอกซามิกเป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนสามารถรวมตัวกับไอออนของโลหะที่ศึกษาได้หลายชนิดและจากการทดสอบประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะแคดเมียมและโลหะตะกั่วมีค่าเท่ากับ  $3.11 \times 10^3$  มิลลิโมลต่อกรัม ของตัวดูดซับและ  $2.20 \times 10^3$  มิลลิโมลต่อกรัม ของตัวดูดซับตามลำดับ โดยมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่าสารละลายโลหะแคดเมียมและสารละลายโลหะตะกั่วปริมาณเข้มข้นไม่เกิน 0.03 และ 0.02 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ สามารถปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมได้

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ ได้แก่ ขนาดของเส้นใย เซลลูโลส ลักษณะการทอเส้นใย และชนิดของเส้นใย เช่น เส้นใยจากมะพร้าว เส้นใยผักตบชวา เส้นใยปอแก้ว เส้นใยไผ่ เป็นต้น

(2) ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเป็นดัดแปรหมู่ฟังก์ชันให้เป็นหมู่กรดไฮดรอกซามิกเพราะเมื่อเกิดหมู่กรดไฮดรอกซามิกมากก็จะสามารถดูดซับโลหะได้มาก เช่น ผลของไอออนบวกของธาตุหลักต่อการดูดซับแคดเมียมและตะกั่ว การเพิ่มลดปริมาณกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ และการห่อหุ้มส่วนที่เหมาะสมของตัวทำละลายเมทาโนลอื่น ๆ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้อัตราส่วน (MeOH:H<sub>2</sub>O) 5:1 โดยปริมาตร เป็นต้น

(3) ควรนำไปทดลองกับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะผสมหลายชนิดเพื่อดูประสิทธิภาพการดูดซับโลหะของตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้

(4) ควรทำการทดลองกับสารละลายที่ปนเปื้อนสารรังสีชนิดต่างๆ ว่าตัวดูดซับโลหะที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับสารละลายที่ปนเปื้อนสารรังสีได้หรือไม่

(5) ควรพัฒนารูปแบบตัวดูดซับโลหะให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงจากเดิมที่เป็นชิ้นผ้าก็อาจนำมาเปลี่ยนรูปแบบให้เป็นรูปทรงต่างๆ ที่พร้อมใช้งาน

รายการอ้างอิง

- [1] Ghanshyam S. Chauhan, Swati Mahajan, Lalit K. Guleria. Polymers from renewable resources: sorption of  $\text{Cu}^{+2}$  ions by cellulose graft copolymers. *Desalination* 130 (2000) : 85-88.
- [2] Yuliya Bondar, Hong Je Kim, Seok Han Yoon, Yong Jin Lim. Synthesis of cation-exchange adsorbent for anchoring metal ions by modification of poly(glycidyl methacrylate) chains grafted onto polypropylene fabric. *Reactive & Functional Polymers* 58 (2004) : 43-51.
- [3] Noriaki Seko, Yuji Ueki, Hiroyuki Hoshina, Masao Tamada. Preparation of graft adsorbent having amine groups and its Au(III) adsorption performance. *Quantum Beam Science Directorate* 18 (2007) : 232-235.
- [4] M.R. Lutfor, Sidik Silong, Wan Md Zin, M.Z. Ab Rahman, Mansor Ahmad, Jelas Haron. Preparation and characterization of poly(amidoxime) chelating resin from polyacrylonitrile grafted sago starch. *European Polymer Journal* 36 (2000) : 2105-2113.
- [5] M.R. Lutfor, S. Sidik, W.M.Z. Wan Yunus, M.Z.A. Rahman, A. Mansor, M.J. Haron. Synthesis and Characterization of Poly(hydroxamic acid) Chelating Resin from Poly(methyl acrylate)-Grafted Sago Starch. *Journal of Applied Polymer Science* 79 (2001) : 1256-1264.
- [6] Phiriyatorn Suwanmala, Hiroyuki Hoshina, Noriaki Seko, Masao Tamada. Preparation of New Adsorbent Containing Hydroxamic Acid Groups by Electron Beam-Induced Grafting for Metal Ion Adsorption. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นวัตกรรมครั้งที่ 10, 2550.
- [7] N. Shiraishi, J.L. Williams, V. Stannett. The Radiation grafting of vinyl monomers to cotton fabrics-I. *Radiat.Phys.Chem* 19 (1982) : 73-78.
- [8] ศุภลักษณ์ สูดขาว. การคัดเลือกเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์ *endoglucanase* และสภาวะในการสร้างเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.
- [9] หฤทัย ศิระวงษ์. การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับประจุโลหะของกากมันสำปะหลังโดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟิเคชันกับกรดซิตริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

- [10] Available from: [http://www.bmb.leeds.ac.uk/agb/ProtLab%20Python/locale/th/files/Ion\\_Exchange.html](http://www.bmb.leeds.ac.uk/agb/ProtLab%20Python/locale/th/files/Ion_Exchange.html)
- [11] มั่นสิน คัททูลเวศ. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2529.
- [12] O. Geprge. Principle of Polymerization. New York : A John Willey & Sons, Inc, 2004.
- [13] 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 (June 2004) : 499-561.
- [14] ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2527.
- [15] นิตศน์ จิระอรุณ. วัสดุพอลิเมอร์ 1. โครงการเอกสารและตำราภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม :  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2543.
- [16] ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง คณะ  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2540.
- [17] R.J. Wood, K.P. Alexci. Applied Radiation Chemistry. Radiation Processing. United  
States : John Willey & Sons, Inc, 1994.
- [18] Available from: [http://www.sterigenics.com/advanced\\_applications/HowRadiation.aspx](http://www.sterigenics.com/advanced_applications/HowRadiation.aspx)
- [19] Liu Jianqin, Zhai Maolin, Ha Hongfei. Pre-irradiation grafting of temperature sensitive  
hydrogel on cotton cellulose fabric. Radiation Physics and Chemistry 55 (1999) :  
55-59.





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก  
รายงานผลการวัดปริมาณรังสี  
(การกระจายของปริมาณรังสี)

ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานผลการวัดปริมาณรังสี  
(การกระจายของปริมาณรังสี)

ชื่อโครงการ การเตรียมตัวดูดซับ โลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการกราฟต์เส้นใย เซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลต โดยการฉายรังสีแกมมา

ผู้ขอวัดปริมาณรังสี วรรณญา ภีบาลวงษ์ (นักศึกษาปริญญาโท นวัตกรรมเทคโนโลยี)

วันที่ฉายรังสี 9 มีนาคม 2552

เครื่องฉายรังสี Gammacell 220 excell

ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี Red perspex

ผลิตภัณฑ์ที่ฉายรังสี

ชื่อผลิตภัณฑ์ สายละลายเมทิลอะครีเลต

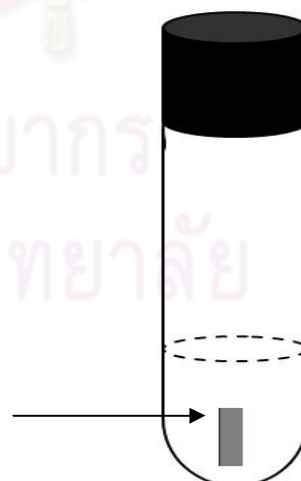
ภาชนะบรรจุ หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร

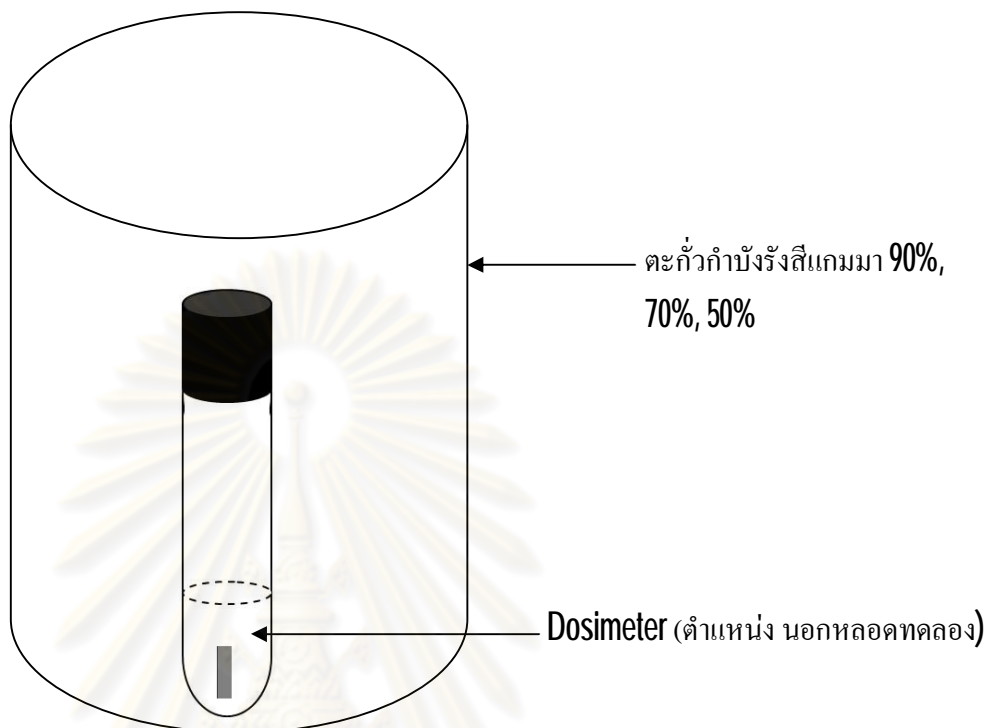
รายละเอียดการฉายรังสี (9 มีนาคม 2552)

- สารละลายเมทิลอะครีเลตปริมาตร 30 มิลลิลิตร บรรจุในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตรติด Red Perspex ที่ตำแหน่งด้านนอกหลอดทดลองเพื่อหาอัตราปริมาณรังสี (kGy/min)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Dosimeter (ตำแหน่ง นอกหลอดทดลอง)





ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### รายงานผลการวัดปริมาณรังสี

**ชื่อโครงการ** การเตรียมตัวดูดซับ โลหะที่มีหมู่กรดไฮดรอกซามิกจากการกราฟต์เส้นใย เซลลูโลสด้วยเมทิลอะครีเลต โดยการฉายรังสีแกมมา

**ผู้ขอวัดปริมาณรังสี** วรรณญา ภีบาลวงษ์ (นักศึกษาปริญญาโท นวัตกรรมเทคโนโลยี)

**วันที่ฉายรังสี** 9 มีนาคม 2552

**เครื่องฉายรังสี** Gammacell 220 excell

**ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี** Red Perspex

**อ้างอิง** การกระจายของปริมาณรังสี (Dose Mapping) วันที่ ....(mapping).....  
เลขที่ .....

#### ผลการวัดปริมาณรังสี

Required Dose (kGy)	Position	Dose (kGy)	Average dose	Note
50	ex	33.98	-	ใช้เวลาในการฉาย 240 นาที
		51.33		ใช้เวลาในการฉาย 705 นาที
		50.57		ใช้เวลาในการฉาย 1,176 นาที
		49.53		ใช้เวลาในการฉาย 3,528 นาที

ผู้ทำการวัด/ตรวจสอบผลการวัด .....

(นายอาร์กษั วิทธีรานนท์)



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ [Degree of grafting (%)]

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

### จากสูตร

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

เมื่อ  $W_0$  คือ น้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น

$W_1$  คือ น้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด

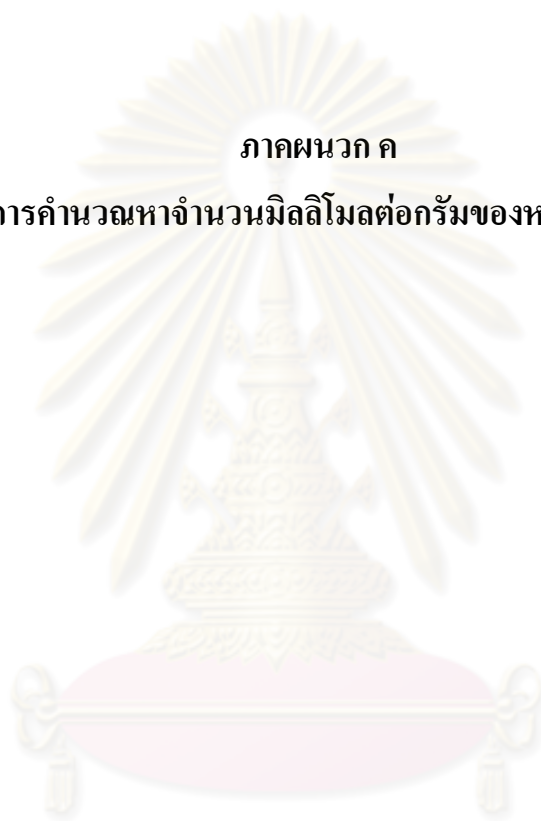
ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์จากตารางที่ 4.1 ปริมาณรังสีรวม 50 kGy

ค่าน้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น ( $W_0$ )	=	0.1646 g
ค่าน้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด ( $W_1$ )	=	0.2634 g
Degree of grafting (%)	=	$[(0.2634 - 0.1646) / 0.1646] \times 100$
	=	60.0243

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนมิลลิโมลต่อกรัมของหมู่เมทิลอะครีเลต



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### วิธีการคำนวณหาจำนวนมิลลิโมลต่อกรัมของหมู่เมทิลอะครีเลต

#### จากสูตร

$$MA \text{ (mmol/g)} = [(W_1 - W_0) / W_1] \times (1,000/M_{MA})$$

เมื่อ  $W_0$  คือ น้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น

$W_1$  คือ น้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด

$M_{MA}$  คือ น้ำหนักโมเลกุลของเมทิลอะครีเลต = 86.09 g/mol

ตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนมิลลิโมลต่อกรัมของหมู่เมทิลอะครีเลตจากตารางที่ 4.3 ที่สารละลายเมทาโนลิก 50: 50 ปริมาตรรังสี 50 kGy

ค่าน้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น ( $W_0$ ) = 0.5617 g

ค่าน้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด ( $W_1$ ) = 1.3204 g

Degree of grafting (%) =  $[(1.3204 - 0.5617) / 0.5617] \times 100$

= 135

จำนวนมิลลิโมลต่อกรัมของหมู่เมทิลอะครีเลต =  $[(1.3204 - 0.5617) / 1.3204] \times (1,000 / 86.09)$

= 6.67 mmole/g

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน (%Conversion)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน (%Conversion)

### จากสูตร

$$\begin{aligned} \% \text{ Conversion} &= A/B \times 100 \\ A &= X/W_S \\ B &= ((W_1 - W_0)/W_1)/M_{MA} \\ X &= ((W_S \times N)/100)/14 \end{aligned}$$

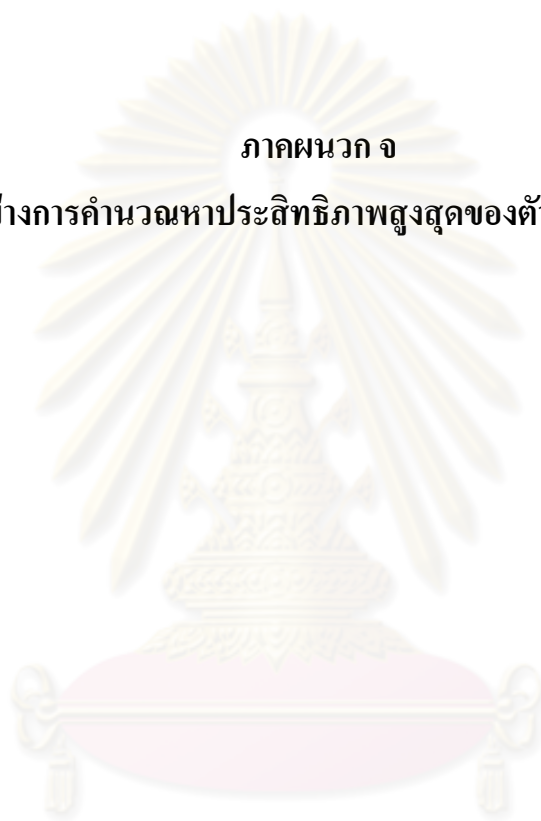
เมื่อ N คือ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน  
 $W_0$  คือ น้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น  
 $W_1$  คือ น้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด  
 $M_{MA}$  คือ น้ำหนักโมเลกุลของเมทิลอะครีเลต = 86.09 g/mol  
 $W_S$  คือ น้ำหนักตัวอย่าง

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน (%Conversion) จากตารางที่ 4.5 ที่ %ความเข้มข้นของสารละลาย  $NH_2OH$  25% ครั้งที่ 1

ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน	=	5.153
ค่าน้ำหนักพอลิเมอร์เริ่มต้น	=	0.7548 g
ค่าน้ำหนักกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังสกัด	=	1.7606 g
ค่าน้ำหนักตัวอย่าง	=	2.004 mg
X	=	$((2.004 \times 5.153)/100)/14$
	=	$7.37 \times 10^{-3}$
A	=	$7.37 \times 10^{-3}/2.004$
	=	$3.68 \times 10^{-3}$
B	=	$((1.7606 - 0.7548)/1.7606)/86.09$
	=	$6.63 \times 10^{-3}$
% Conversion	=	$(3.68 \times 10^{-3}/6.63 \times 10^{-3}) \times 100$
	=	55.51

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพสูงสุดของตัวดูดซับโลหะ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพสูงสุดของตัวดูดซับโลหะ

### จากสูตร

$$\text{Metal ions adsorbed} = (C_0 - C) \times V / W$$

เมื่อ	$C_0$	คือ	ความเข้มข้นก่อน
	$C$	คือ	ความเข้มข้นหลังใส่ตัวดูดซับโลหะ
	$V$	คือ	ปริมาตรสารละลายโลหะ
	$W$	คือ	น้ำหนักของตัวดูดซับโลหะ

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพสูงสุดของตัวดูดซับโลหะตะกั่ว

ความเข้มข้นก่อน	4.997	ppm
ความเข้มข้นหลังใส่ตัวดูดซับโลหะ	0.436	ppm
ปริมาตรสารละลายตะกั่ว	50	ml
น้ำหนักของตัวดูดซับโลหะ	0.5	g

$$\begin{aligned} \text{Metal ions adsorbed} &= [(4.997 - 0.436) \times 50 / 1000] / 0.5 \\ &= 0.4561 / 207 \\ &= 2.20 \times 10^{-3} \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ เรื่อง กราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของเมทิลอะครีเลตบนเส้นใยเซลลูโลส  
โดยการใช้รังสีแกมมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)  
Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization)

9/9 หมู่ 7 ต. ทรายมูล อ.องครักษ์ จ. นครนายก 26120 โทรศัพท์ 037-392901, 037392920 โทรสาร 037-392913 www.tint.or.th

9/9 M.7 Syamoon sub district, Ongkharak district, Nakhonayok 26120 (Thailand) Tel 66237-392-920 Fax 6637-392913

ที่ วท 5904 / 55

10 มิถุนายน 2552

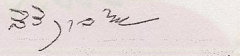
เรื่อง คอรับการเข้าร่วมเสนอผลงานวิชาการ ในการประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 11  
เรียน คุณ วรรณญา กิบาลวงษ์

ตามที่ท่านได้ส่งผลงานวิชาการเรื่อง “กราฟต์โคพอลิเมอร์ไอโซไซยานูเรตของเมทิลอะคริลิเตบนเส้นใยเซลลูโลสโดยการใช้รังสีแกมมา” เพื่อเสนอในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 11 ในระหว่างวันที่ 2-3 กรกฎาคม 2552 ณ ห้องประชุมมหิศร ธนาคารไทยพาณิชย์สำนักงานใหญ่ นั้น บัดนี้คณะกรรมการพิจารณาผลงานวิชาการได้พิจารณาแล้วมีความเห็นว่าผลงานของท่าน มีคุณค่า และมีประโยชน์ทางวิชาการเป็นอย่างสูงต่อสังคมและประเทศชาติ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดเข้าร่วมเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ในหัวข้อเรื่องดังกล่าวข้างต้นจะ  
ขอพระคุณยิ่ง รหัสโปสเตอร์ของท่านคือ PC06 โดยสามารถติดโปสเตอร์ขนาด 80 เซนติเมตร X 100 เซนติเมตรได้ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2552 สำหรับรายละเอียดอื่นๆสามารถติดตามได้จาก  
www.nst.11.com

อนึ่งคณะกรรมการจัดการประชุม วท.11 ขอสงวนสิทธิ์ในการเผยแพร่ผลงานวิชาการในกรณีที่มีการลงทะเบียนแล้วเท่านั้น

ขอแสดงความนับถือ

  
(นางสิรินาฏ เลหาโรจนพันธ์)

ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม วท.11

คณะทำงานจัดการประชุมวท.11

โทร 02-5967600 ต่อ 2323

โทรสาร 02-5620121



ผู้ประสานงาน นางสาวพิริยธร สุวรรณมาลา



การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์

**“เทคโนโลยีนิวเคลียร์ สู่สังคมไทย”** ครั้งที่ **11**

วันที่ 2-3 กรกฎาคม 2552  
ณ หอประชุมหิคร ไทยพาณิชย์ปาร์ค พลาซ่า กรุงเทพฯ

## กราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของเมทิลอะครีเลตบนเส้นใยเซลลูโลสโดยใช้รังสี

### แถมมา

\*วรัญญา ภิบาลวงษ์<sup>1</sup> พิริยาทร สุวรรณมาลา<sup>2</sup> เกศินี เหมวิเชียร<sup>2</sup> และชยากริต ศิริอุปกัมภ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 0 22186781 โทรสาร 0 2 2186780 E-Mail: pi\_waranya@hotmail.com

<sup>2</sup>กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

โทรศัพท์ 0 25967600 ต่อ 2323 โทรสาร 0 2 5620121 E-Mail: phiriyatorn@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของเมทิลอะครีเลต (Methyl Acrylate, MA) บนเส้นใยเซลลูโลส โดยใช้เทคนิค Simultaneous Irradiation ซึ่งใช้รังสีแกมมาเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาการกราฟต์ ตัวแปรหลักที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณรังสี ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำ ในการทดลอง Trunk polymer ที่ใช้คือเส้นใยเซลลูโลสของผ้าฝ้าย 100 % ซึ่งมีน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ 150 กรัมต่อตารางเซนติเมตรสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันเมทิลอะครีเลตบนเส้นใยเซลลูโลส คือในสารละลายผสมของเมทิลอะครีเลต 45% (โดยปริมาตร) กับ สารละลายผสมเมทานอลต่อน้ำ (ในอัตราส่วน 1:1) ที่ปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ สภาวะดังกล่าวให้ค่า Degree of Grafting เท่ากับ 135 (6.67 มิลลิโมลต่อกรัม ของหมู่ เมทิลอะครีเลต) วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของโคพอลิเมอร์ด้วย Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

คำสำคัญ: กราฟต์โคพอลิเมอร์ เมทิลอะครีเลต เซลลูโลส รังสีแกมมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Graft Copolymerization of Methyl Acrylate onto Cellulose Fiber by Gamma Radiation

\*Waranya Pibanwong<sup>1</sup>, Phiriyatorn Suwanmala<sup>2</sup>, Kasinee Hemvichian<sup>2</sup> and Chyagrit Siri-Upathum<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Phone: 0 2218 6781, Fax: 0 2186 6780, E-Mail: pi\_waranya@hotmail.com

<sup>2</sup>Nuclear Research and Development Group, Thailand Institute Nuclear Technology

Phone: 0 2596 7600 Ext. 2323, Fax: 0 2562 0121, E-Mail: phiriyatorn@hotmail.com

## Abstract

This research investigated the graft copolymerization of methyl acrylate (MA) onto cellulose fiber by simultaneous irradiation technique induced by gamma radiation. Major parameter included total dose (kGy), monomer concentration, and methanol-to-water ratio. The 100% cotton fabric of 150 g/cm<sup>2</sup> was used as a trunk polymer. The optimum condition for grafting methyl acrylate onto cotton fabric was found at the following condition: mixture solution of 45% MA (v/v) and methanolic solution (Methanol:H<sub>2</sub>O = 1:1) at the radiation dose of 50 kGy. The degree of grafting at this condition was 135 (6.67 mmol/g of MA group). Characterization of grafted copolymers was done by FTIR spectroscopy.

Keywords: Graft Copolymer, Methyl Acrylate, Cellulose, Gamma Radiation

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรัญญา ภิบาลวงษ์ เกิดวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2520 ที่ จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 ได้รับทุนสนับสนุนในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปัจจุบันรับราชการใน ตำแหน่ง นักฟิสิกส์รังสี ระดับปฏิบัติการ กลุ่มกำกับดูแลความปลอดภัยการใช้รังสี ด้านอุตสาหกรรม สำนักกำกับดูแลความปลอดภัยทางรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย