

การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการกราฟต์
เมทอะคริลิกแอซิดและอะครีโลไนไตรล์ลงบนเส้นใยพอลีเอทิลีนโดยการฉายลำอิเล็กตรอน



นางสาวอัมพิกา จาจะนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF URANIUM ADSORBENT BY GRAFTING METHACRYLIC ACID AND
ACRYLONITRILE ONTO POLYETHYLENE FIBERS USING ELECTRON BEAM IRRADIATION

Miss Ampika Jawana



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 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการกราฟต์เมทอะคริลิกแอซิดและอะคริโลไนไตรล์ลงบนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการฉายลำอิเล็กตรอน
โดย	นางสาวอัมพิกา จาวะนา
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

อัมพิการ์ จาจะนา : การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการกราฟต์เมทอะคริลิกแอซิดและอะคริโลไนไตรล์ลงบนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการฉายลำอิเล็กตรอน (SYNTHESIS OF URANIUM ADSORBENT BY GRAFTING METHACRYLIC ACID AND ACRYLONITRILE ONTO POLYETHYLENE FIBERS USING ELECTRON BEAM IRRADIATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสง, 56 หน้า.

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมทำด้วยวิธี Simultaneous irradiation grafting technique โดยนำเส้นใยพอลิเอทิลีนและสารละลายมอนอเมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile, AN) และเมทอะคริลิกแอซิด (Methacrylic acid, MAA) มาฉายพร้อมกันด้วยลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง เพื่อให้เกิดการกราฟต์หมู่ฟังก์ชันไซยาโนบนเส้นใยพอลิเอทิลีน จากนั้นเปลี่ยนฟังก์ชันไซยาโนเป็นหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิมโดยทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ จากการทดลองที่ปริมาณรังสีรวม 250 กิโลเกรย์ (kGy) และพลังงานลำอิเล็กตรอนเท่ากับ 4 MeV ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์โคพอลิเมอร์สูงที่สุด 60 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้องปกติขณะฉายลำอิเล็กตรอนทำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์สูงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สัดส่วนของมอนอเมอร์ที่ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์มากที่สุดคือ 80:20 (AN:MAA) ผลการดูดซับยูเรเนียมจากการจุ่มแช่ที่ชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ตเป็นเวลา 3 สัปดาห์ สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 0.038 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ (mg/g)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5570463221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: URANIUM ADSORBENT / GRAFT POLYMERIZATION / URANIUM ADSORPTION IN SEAWATER

AMPIKA JAWANA: SYNTHESIS OF URANIUM ADSORBENT BY GRAFTING METHACRYLIC ACID AND ACRYLONITRILE ONTO POLYETHYLENE FIBERS USING ELECTRON BEAM IRRADIATION. ADVISOR: ASSOC. PROF. DOONYAPONG WONGSAWAENG, Ph.D., 56 pp.

The objective of this study was to synthesize the amidoxime uranium adsorbent. Synthesis of the uranium adsorbent was performed by simultaneous irradiation grafting technique. Polyethylene fibers and monomer (acrylonitrile and methacrylic acid) were co-irradiated with high-energy electron beam and the produced cyano group was converted into the amidoxime group by reaction with hydroxylamine hydrochloride. The optimum degree of grafting of 60% was achieved from the total dose of 250 kGy at 4 MeV electron beam energy. Irradiation at room temperature yielded higher degree of graft polymerization than at low temperature. The 80:20 (AN:MAA) monomer ratio resulted in the highest degree of graft polymerization. Adsorption results from submerging the adsorbent at the coastal region of the Andaman Sea at Phuket province yielded the uranium adsorption capacity of 0.038 mg/g adsorbent.

Department: Nuclear Engineering

Student's Signature

Field of Study: Nuclear Technology

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง สำหรับการให้คำแนะนำ ปรึกษา และให้การช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ ที่ให้ความกรุณาในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบ แนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณศูนย์ฉายรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเร่งอิเล็กตรอน และขอบพระคุณ พี่ๆ ที่ศูนย์ฉายรังสีทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกตลอดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงศักดิ์ ศรีธนาอนันต์ ภาควิชาเคมี คณะ-วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FITR

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่เข้าใจ ให้ความช่วยเหลือ และคอยสนับสนุน

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ศูนย์การแพทย์โรงพยาบาลกรุงเทพทุกคนที่ให้โอกาส กำลังใจ ช่วยเหลือและสนับสนุนมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำทะเล.....	5
2.2 พอลิเอทิลีน.....	9
2.2.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene).....	10
2.2.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene).....	10
2.3 การฉายรังสีพอลิเมอร์	11
2.3.1 การทำลายโดยรังสี (Damage by radiation)	11
2.3.2 การปรับปรุงโดยรังสี (Improvement by radiation).....	12
2.3.3 การพอลิเมอไรเซชันโดยรังสี (Polymerization by radiation).....	13

2.3.4 การกราฟต์โดยรังสี (Grafting by radiation).....	13
2.3.4.1 Preirradiation Technique.....	13
2.3.4.2 Peroxidation Technique.....	14
2.3.4.3 Simultaneous Method.....	14
2.4 อันตรกิริยาของอนุภาคมีประจุกับตัวกลาง.....	15
2.4.1 Specific Ionization.....	15
2.4.2 Linear energy transfer.....	16
2.4.3 Range.....	17
2.4.4 Bremsstrahlung.....	19
2.4.5 Annihilation.....	20
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์.....	21
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดย การฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy.....	22
3.3.2 การศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมในการเตรียมตัวดูดซับ ยูเรเนียมเอมีดอกซิม.....	24
3.3.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิขณะฉายลำอิเล็กตรอนในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียม เอมีดอกซิม.....	24
3.3.4 การศึกษาผลของสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดในการเตรียม ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม.....	25
3.3.5 การพิสูจน์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM.....	26
3.3.6 การพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยด้วยเทคนิค FITR.....	26

3.3.7 การทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม.....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	30
4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการฉาย ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy	30
4.2 ผลการศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมในการเตรียมตัวดูดซับ ยูเรเนียมเอมีดอกซิม	30
4.3 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิท่าขณะฉายลำอิเล็กตรอนในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียม เอมีดอกซิม.....	32
4.4 ผลการศึกษาผลของสัดส่วนขององค์ประกอบมอโนเมอร์สองชนิดในการเตรียมตัวดูดซับ ยูเรเนียมเอมีดอกซิม	33
4.5 ผลการพิสูจน์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM.....	34
4.6 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FITR.....	37
4.7 ผลการทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	42
5.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการ ฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy.....	42
5.2 ผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่ อุณหภูมิห้อง.....	42
5.3 ผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิ ต่ำ.....	42
5.4 ผลการศึกษาสัดส่วนของมอโนเมอร์ในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม	43
5.5 ผลการพิสูจน์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM.....	43
5.6 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FITR.....	43
5.7 ผลการทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม	44
5.8 ข้อเสนอแนะ	45

ญ

หน้า

รายการอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก.....	50
ภาคผนวก ข.....	51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	56



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นและการประมาณจำนวนของโลหะไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล เปรียบเทียบกับค่าประมาณแหล่งทรัพยากรบนพื้นดิน.....	7
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพอลิเอทิลีนแต่ละชนิด.....	11
ตารางที่ 2.3 ผลของรังสีต่อการเลือกพอลิเมอร์.....	12
ตารางที่ 2.4 ค่า LET ของรังสีบางชนิดในเนื้อเยื่อ.....	17
ตารางที่ 4.1 ผลของพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ ..	31
ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่ำขณะฉายลำอิเล็กตรอนต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	32
ตารางที่ 4.3 ผลของสัดส่วนมอนอเมอร์สองชนิดต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	33
ตารางที่ ข.1 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ในการศึกษาการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีรวม 50-500 kGy พลังงานลำอิเล็กตรอน 8 MeV.....	51
ตารางที่ ข.2 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ในการศึกษาการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีรวม 50-500 kGy พลังงานลำอิเล็กตรอน 8 MeV (ต่อ).....	52
ตารางที่ ข. 3 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV.....	52
ตารางที่ ข. 4 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 6 MeV.....	53
ตารางที่ ข.5 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ที่อุณหภูมิต่ำ..	53
ตารางที่ ข.6 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 6 MeV ที่อุณหภูมิต่ำ..	54
ตารางที่ ข.7 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 8 MeV ที่อุณหภูมิต่ำ..	54
ตารางที่ ข.8 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดต่อการ กราฟต์ที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy.....	55
ตารางที่ ข.9 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล ที่พลังงาน ลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy.....	55

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัดส่วนองค์ประกอบเคมีในน้ำทะเล 1000 กรัม	5
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของธาตุส่วนใหญ่ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลที่ความความเค็ม 35 ‰	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของยูรานิลไตรคาร์บอเนต	8
รูปที่ 2.4 กระบวนการสังเคราะห์ตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีตอกซิม โดยวิธี Simultaneous technique	9
รูปที่ 2.5 พอลิเมอไรเซชันของพอลิเอทิลีน	9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ.....	10
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง.....	10
รูปที่ 2.8 การทำลายพันธะคาร์บอนของพอลิไตรฟลูออโรเอทิลีนโดยรังสี	11
รูปที่ 2.9 การเกิดกิ่งสาขาของพอลิเอทิลีนโดยรังสี.....	13
รูปที่ 2.10 เทคนิคการกราฟต์แบบ Preirradiation technique	14
รูปที่ 2.11 เทคนิคการกราฟต์แบบ Peroxidation techniques.....	14
รูปที่ 2.12 เทคนิคการกราฟต์แบบ Simultaneous method	15
รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึก (Depth) และ Relative dose ในอิเล็กตรอน โฟตอน โปรตอน และคาร์บอนไอออน โดยโปรตอนและคาร์บอนไอออนสามารถทำให้เกิด Bragg peak.....	16
รูปที่ 2.14 อนุภาคแอลฟาและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง (A) อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่ในทิศทางเป็นเส้นตรง (B) อิเล็กตรอนเคลื่อนที่แบบซิกแซก.....	18
รูปที่ 2.15 Mean range และ straggling ของอนุภาคมีประจุในตัวกลาง	19
รูปที่ 2.16 อันตรกิริยา Annihilation และ Coincidence detection	20
รูปที่ 3.1 เส้นใย LDPE ที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกเอนกประสงค์.....	23
รูปที่ 3.2 การจัดวางกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LPDE และมอนอเมอร์บนอุปกรณ์สำหรับฉายลำอิเล็กตรอน.....	23

รูปที่ 3.3 การจัดวางตัวอย่างสำหรับฉายลำอิเล็กตรอนที่พลังงาน 4, 6 และ 8 MeV	24
รูปที่ 3.4 กล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LDPE มอนอเมอร์ และน้ำแข็งแห้ง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกราฟต์พอลิเมอไรเซชัน.....	25
รูปที่ 3.5 บริเวณหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต	27
รูปที่ 3.6 ภาพซ้ายมือเส้นใยเอมีดอกซิมที่บรรจุอยู่ในถุงตาข่าย ภาพขวามือเส้นใยเอมีดอกซิมที่บรรจุอยู่ในถุงตาข่ายยึดติดกับตะกร้าพลาสติกหิ้วเพื่อจุ่มแช่ในทะเล	28
รูปที่ 3.7 ทดสอบการดูดซับยูเรเนียมโดยนำตัวดูดซับจุ่มแช่ในทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน	28
รูปที่ 3.8 ทดสอบการดูดซับยูเรเนียมโดยนำตัวดูดซับจุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	29
รูปที่ 4.1 กราฟผลการศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy	30
รูปที่ 4.2 กราฟผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิห้อง.....	31
รูปที่ 4.3 กราฟผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิต่ำ.....	32
รูปที่ 4.4 กราฟผลการศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์ในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม.....	33
รูปที่ 4.5 กราฟผลการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม	34
รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวเส้นใย LDPE และเส้นใย LDPE ผ่านการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีรวม 50-500 kGy.....	35
รูปที่ 4.7 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE.....	37
รูปที่ 4.8 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์.....	38
รูปที่ 4.9 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยเอมีดอกซิม	38
รูปที่ 4.10 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับยูเรเนียมที่เตรียมโดยการฉายลำอิเล็กตรอน (ซ้าย) และกราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับยูเรเนียมที่เตรียมโดยการฉายรังสีแกมมา (ขวา)...	39
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้กับระยะเวลาจุ่มแช่ในน้ำทะเล ...	40

รูปที่ 4.12 กราฟสเปกตรัม EDS ของตัวดูดจับเอมีตอกซิมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างนาน	
1 สัปดาห์	41
รูปที่ 4.13 กราฟสเปกตรัม EDS ของตัวดูดจับเอมีตอกซิมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างนาน	
2 สัปดาห์	41



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยพึ่งพาก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าในสัดส่วนสูงมากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ (%) ของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและประมาณ 1/3 ของก๊าซธรรมชาตินำเข้าจากประเทศเมียนมาร์ [1] ลักษณะโครงสร้างแหล่งพลังงานเช่นนี้อาจนำมาสู่ความไม่เสถียรทางด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศได้ ประเทศไทยควรรหาแหล่งทรัพยากรสำรองรวมถึงการใช้พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากถ่านหิน และพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น พลังงานนิวเคลียร์ในปัจจุบันทั่วโลกมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่เดินเครื่องอยู่จำนวน 437 โรง และอยู่ระหว่างการก่อสร้างอีก 71 โรง [2] เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์คือแร่ยูเรเนียม ยูเรเนียมเป็นธาตุที่ปรากฏอยู่ทั่วไปในธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นในดิน หิน หรือตามแหล่งน้ำ ไอโซโทปของยูเรเนียมที่พบอยู่ในธรรมชาติมีอยู่ 3 ไอโซโทปหลักด้วยกันได้แก่ ยูเรเนียม-238 ประมาณ 97.27% ยูเรเนียม-235 ประมาณ 0.72% และยูเรเนียม-234 ประมาณ 0.0055% สำหรับยูเรเนียม-235 ได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตพลังงาน เนื่องจากเป็นไอโซโทปที่เกิดฟิชชัน (fission) ได้ง่ายเมื่อถูกระดมยิงด้วยนิวตรอนระหว่างการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันยูเรเนียมจะจับกับนิวตรอนที่ถูกระดมยิงทำให้นิวเคลียสของอะตอมแบ่งออกเป็นสองส่วนและปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อน รังสี และนิวตรอนอีก 2-3 ตัว นิวตรอนที่ปล่อยออกมาจะไปทำปฏิกิริยากับอะตอมอื่นเกิดการแตกตัวอย่างต่อเนื่องเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ยูเรเนียมได้มาจากการทำเหมืองบนดินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในน้ำทะเลนั้นก็มียูเรเนียมละลายอยู่ด้วยเช่นกัน ยูเรเนียมละลายอยู่ในน้ำทะเลที่ความเข้มข้นประมาณ 3 มิลลิกรัมยูเรเนียมต่อลูกบาศก์เมตร (mg U/m^3) ในทุกๆที่ในทุกมหาสมุทร โดยคิดเป็นปริมาณของยูเรเนียมในน้ำทะเลทั้งหมดประมาณ 4.5 พันล้านตัน [3] ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่ายูเรเนียมในเหมืองบนดินถึง 1,000 เท่า [4] ในอนาคตข้างหน้าถ้าประเทศส่วนใหญ่หันมาใช้พลังงานนิวเคลียร์มากขึ้นความต้องการเชื้อเพลิงยูเรเนียมก็ต้องเพิ่มมากขึ้นด้วยปริมาณยูเรเนียมที่ได้จากการทำเหมืองยูเรเนียมนั้นคงจะไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นหากสามารถนำทรัพยากรยูเรเนียมที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลมาใช้ได้จะนับว่ามีความสำคัญมากในอนาคตข้างหน้า

ในปี ค.ศ. 1987 Kyoichi Saito และคณะ [5] ได้เตรียมเมมเบรนรูพรุนที่มีองค์ประกอบของหมู่เอมิโดกซิม (Amidoxime group) เพื่อใช้ในการดูดซับยูเรเนียมที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล ต่อมาในปี ค.ศ. 1995 Nalan Kabay และคณะ [6] ได้สังเคราะห์เส้นใยตัวดูดซับที่มีองค์ประกอบของหมู่

เอมีดอกซิมเพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล และนับจากนั้นเป็นต้นมาก็ได้มีการศึกษาวิจัยเรื่อยมา

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการกราฟต์เมทอะคริลิก-แอซิด (Methacrylic, MAA) และอะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile, AN) ลงบนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการฉายลำอิเล็กตรอน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม โดยการกราฟต์เมทอะคริลิกแอซิดและอะคริโลไนไตรล์ลงบนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการฉายลำอิเล็กตรอน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับเอมีดอกซิมโดยเทคนิคการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่โดสในช่วง 50-500 kGy ได้แก่ สัดส่วนของมอนอเมอร์สองชนิด พลังงานของลำอิเล็กตรอน และอุณหภูมิขณะฉายรังสี

1.3.2 ทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับเอมีดอกซิมที่เตรียมได้ โดยจุ่มแช่ในน้ำทะเล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการกราฟต์เมทอะคริลิกแอซิดและอะคริโลไนไตรล์ลงบนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการฉายลำอิเล็กตรอน เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สงวนศักดิ์ ไช้กันยา [7] ได้พัฒนาพอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมเพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด โดยฉายรังสีแผ่นเอทิลีนร่วมกับมอนอเมอร์ด้วยรังสีแกมมาเพื่อให้เกิดการโคกราฟต์จากการศึกษาผลของปริมาณรังสีต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์โซเชชัน พบว่าปริมาณรังสี 40 kGy ได้เปอร์เซ็นต์กราฟต์มากที่สุด และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับยูเรเนียม พบว่าการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับเอมีดอกซิมที่ปริมาณรังสี 30 kGy สามารถชะยูเรเนียมออกมาได้มากที่สุด

T. Kawai และคณะ [8] ศึกษาการโคกราฟต์ระหว่าง MAA และ ไดไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) โดยโคกราฟต์ร่วมกับ AN บนเส้นใยพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ฉายรังสีชักนำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์โรเซชัน มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินส่วนประกอบมอนอเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อโคกราฟต์บนเส้นใย PE และทดสอบอัตราการดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเล จากการศึกษาพบว่าค่า Weight ratio (x/y) ของ AN/MAA และ AN/HEMA ในส่วนผสมของมอนอเมอร์ โดยสัดส่วน x/y เป็นตัวควบคุม Amidoxime (AO) group density และ Water content ของเส้นใยตัวดูดซับที่เตรียมได้ เมื่อ x/y เพิ่มขึ้น AO group density ของเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่ Water content ลดลง ตัวดูดซับ AO/MAA ที่ x/y = 60/40 แสดงอัตราการดูดซับยูเรเนียมสูงที่สุดใน Submerged mode และ Flow-through mode

T. Kawai และคณะ [9] ศึกษาเปรียบเทียบการโคกราฟต์ระหว่าง MAA และ HEMA โคกราฟต์ร่วมกับ AN บนเส้นใย PE โดยการฉายรังสีชักนำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์โรเซชัน เพื่อศึกษาค่า Weight ratio ที่แตกต่างกันของ AN/MAA และ AN/HEMA ของส่วนผสมมอนอเมอร์ จากการศึกษาพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของ Weight ratio คือ AN/MAA ที่ 60/40 โดยทดสอบทั้งใน Submerged mode และ Flow through mode และศึกษาตัวดูดซับที่แช่ในน้ำทะเลที่ทะเลเปิด 20 วัน ที่อุณหภูมิ 293-298 เคลวิน ปริมาณของยูเรเนียมที่ดูดซับได้คือ 0.90 กรัมต่อกิโลกรัมของเส้นใยตัวดูดซับ

N. Kabay และคณะ [6] สังเคราะห์เส้นใยตัวดูดซับที่มีองค์ประกอบของหมู่เอมีดอกซิม โดยการฉายรังสีชักนำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์โรเซชันของอะคริโนไนไตรล์บนเส้นใยพอลิโพรไพลีน (Polypropylene fiber, PP) เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ระดับการกราฟต์ที่สูงที่สุด และเพิ่มคุณสมบัติการดูดซับสำหรับดูดซับทองแดงและยูเรานิลไอออน พบว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นที่ผ่านกระบวนการแอลคาไลน์ทรียทเมนต์ (Alkaline treatment) แสดงอัตราการดูดซับยูเรเนียมสูงเมื่อเทียบกับตัวดูดซับที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการแอลคาไลน์ทรียทเมนต์

K. Saito และคณะ [5] เตรียมเมมเบรนรูพรุนที่มีองค์ประกอบของหมู่เอมีดอกซิม โดยการฉายรังสีชักนำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์ของอะคริโนไนไตรล์บนพอลิเอทิลีนฟิล์มที่มีรูพรุน หมู่เอมีดอกซิมกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอบนคิเลตเมมเบรน และปริมาณของหมู่เอมีดอกซิมคือ 1.8 โมลต่อกิโลกรัมของตัวดูดซับ จากการศึกษาพบว่าเมมเบรนดูดซับยูเรานิลไอออนจากน้ำทะเลได้ในอัตราที่สูงมากพอสมควรคือ 0.85 กรัมต่อกิโลกรัมของตัวดูดซับ ใช้เวลาแช่ในน้ำทะเลนาน 50 วัน

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.6.1 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย
- 1.6.2 กำหนดขอบเขตของการศึกษาวิจัยร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.6.3 วางแผนการทดลอง โดยนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย
- 1.6.4 ทดลองตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้
- 1.6.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 1.6.6 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง
- 1.6.7 เขียนเล่มวิทยานิพนธ์

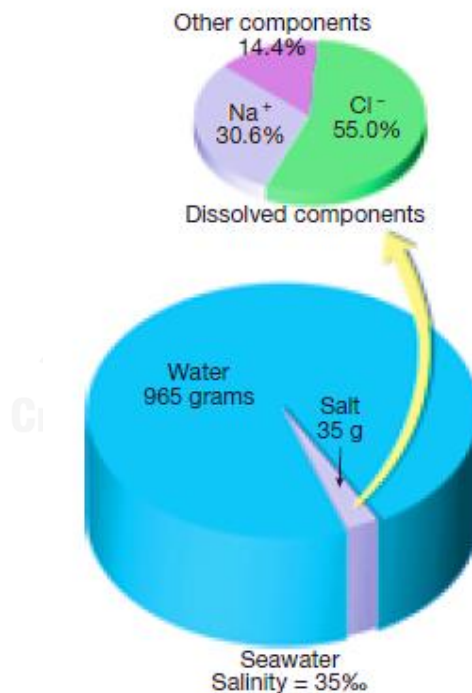


บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

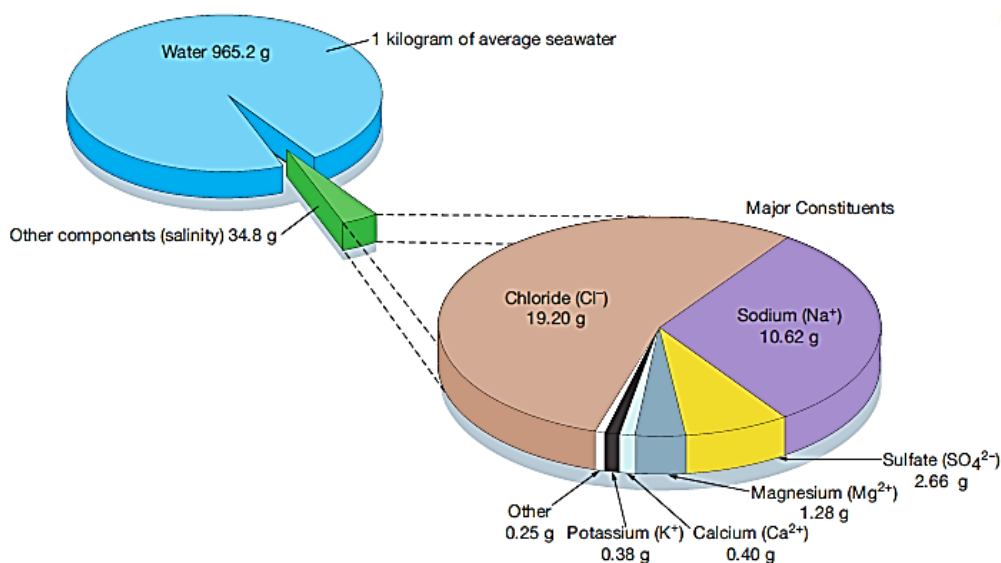
2.1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำทะเล

น้ำทะเลกับน้ำบริสุทธิ์มีความแตกต่างที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือน้ำทะเลมีรสเค็ม ความเค็ม (Salinity) ของน้ำทะเลเกิดจากเกลือที่ละลายในน้ำ คำจำกัดความของความเค็มแสดงถึงจำนวนของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดต่อมวลของน้ำตัวอย่าง โดยสัดส่วนแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ (%) หมายถึงส่วนต่อร้อยส่วน แต่เนื่องจากสัดส่วนของสสารที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลนั้นมีจำนวนน้อยมากจึงมักแสดงในรูปของส่วนต่อพันส่วน (‰) ไอออนของโซเดียม (Na^+) และคลอไรด์ (Cl^-) มีละลายอยู่ในน้ำทะเลมากที่สุด นอกจากนั้นเป็นเกลืออื่นๆ โลหะ และแก๊สที่ละลายน้ำได้น้ำทะเลทั่วโลกมีความเค็มเฉลี่ย 3.5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.1 สัดส่วนองค์ประกอบเคมีในน้ำทะเล 1000 กรัม [10]

องค์ประกอบหลัก (Major constituent) ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อน้ำทะเล 1 กิโลกรัม ได้แก่ ไอออนซัลเฟต (SO_4^{2-}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) แคลเซียม (Ca^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) โบรไมด์ (Br^-) โบรอน (B^+) และฟลูออไรด์ (F^-) ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเลมีปริมาณค่อนข้างคงที่โดยอยู่ในสภาพสมดุลในน้ำทะเลและความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจึงจัดเป็นกลุ่มธาตุประเภทยุทธภัณฑ์ (Conservative constituent) ส่วนองค์ประกอบปริมาณรอง (Minor constituent) คือองค์ประกอบที่มีความเข้มข้นในน้ำทะเลน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 กิโลกรัม แต่ในกรณีที่มีความเข้มข้นน้อยมากในระดับส่วนในพันล้านส่วน เรียกว่าองค์ประกอบปริมาณน้อย (Trace constituent) ได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส เหล็ก ทองแดง แคดเมียม สังกะสี ไอโอดีน และเซลีนียม เป็นต้น เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีทำให้พบธาตุทุกชนิดในน้ำทะเล ธาตุเหล่านี้มีความไวในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดี และส่วนใหญ่จะจับกับสารแขวนลอยในน้ำได้ดี และตกตะกอนร่วมกับสารแขวนลอย [11, 12]

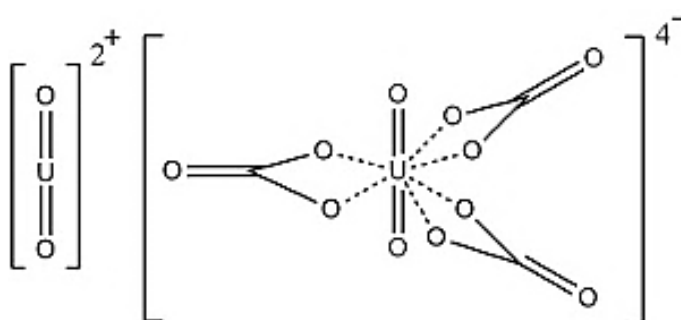


รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของธาตุส่วนใหญ่ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลที่ความเค็ม 35 ‰ [11]

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นและการประมาณจำนวนของโลหะไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล
เปรียบเทียบกับค่าประมาณแหล่งทรัพยากรบนพื้นดิน [13]

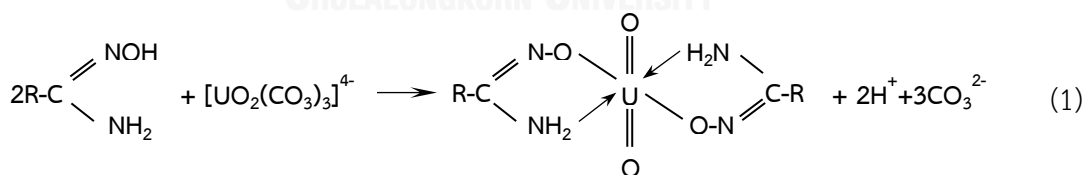
ธาตุ	ความเข้มข้นในน้ำทะเล (ppm)	ปริมาณที่มีในทะเลทั้งหมด (ตัน)	ปริมาณแร่สำรองบนพื้นดิน (ตัน)
Na	10,800	1.40×10^{16}	-
Mg	1,290	1.68×10^{15}	2.20×10^9
Ca	411	5.34×10^{14}	-
K	392	5.10×10^{14}	8.30×10^9
Li	0.178000	2.31×10^{11}	4.10×10^6
Ba	0.021000	2.73×10^{10}	1.90×10^8
Mo	0.010000	1.30×10^{10}	8.60×10^6
Ni	0.006600	8.58×10^9	6.70×10^7
Zn	0.00500	6.50×10^9	1.80×10^8
Fe	0.034000	4.42×10^9	1.50×10^{11}
U	0.003300	4.29×10^9	$2.60 \times 10^6 - 5.47 \times 10^6$
V	0.001900	2.47×10^9	1.30×10^7
Ti	0.001000	1.30×10^9	7.30×10^8
Al	0.001000	1.30×10^9	2.50×10^{10}
Cu	0.000900	1.17×10^9	4.90×10^8
Mn	0.000400	5.20×10^8	4.60×10^8
Co	0.000390	5.07×10^8	7.00×10^8
Sn	0.000280	3.64×10^8	6.10×10^6
Cr	0.000200	2.60×10^8	4.75×10^8
Cd	0.000110	1.43×10^8	4.90×10^5
Pb	0.000030	3.90×10^7	7.90×10^7
Au	0.000011	1.43×10^7	4.20×10^4
Th	0.0000004	5.20×10^5	1.30×10^6

ยูเรเนียมละลายอยู่ในน้ำทะเลอย่างสม่ำเสมอที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมยูเรเนียมต่อลูกบาศก์เมตร (mg U/m^3) ความเข้มข้นโมลาร์ของยูเรเนียม 1.4×10^{-8} โมลาร์ (Molar, M) คิดเป็น 3 ส่วนของพันล้านส่วนของคลอไรด์ มียูเรเนียมละลายอยู่ในน้ำทะเลทั้งหมดประมาณ 4.5 พันล้านตัน ยูเรเนียมที่พบในทะเลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบยูรานิลไตรคาร์บอเนต (Uranyl-tricarbonate complex), $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ [14]

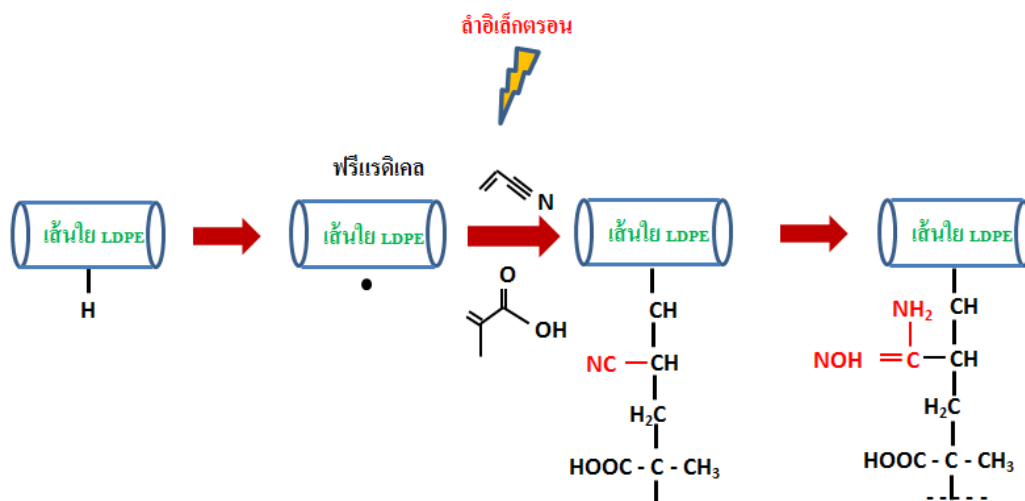


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของยูรานิลไตรคาร์บอเนต [15]

สำหรับตัวดูดซับยูเรเนียมจะต้องสามารถดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลธรรมชาติหรือในสภาวะแวดล้อมปกติได้ หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับต้องสามารถสร้างสารประกอบเชิงซ้อนยูเรนิล (Uranyl complex) ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง (pH) และอุณหภูมิของน้ำทะเลธรรมชาติได้ ในกรณีของหมู่เอมีตอกซิมจะจับกับไอออนบวก UO_2^{2+} ผ่านปฏิกิริยาแทนที่หมู่ฟังก์ชันคาร์บอเนต (Carbonate) โดยตรง ดังแสดงในสมการต่อไปนี้



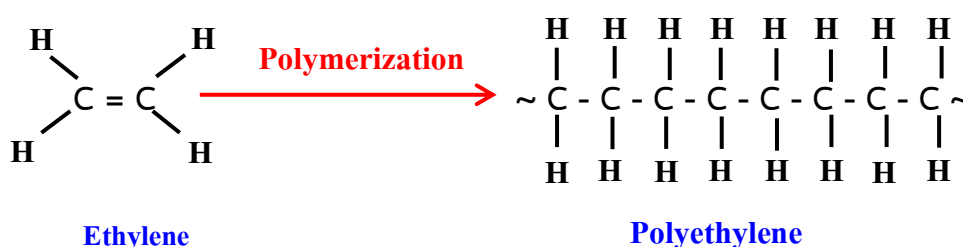
การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลสามารถสังเคราะห์โดยการฉายพอลิเมอร์ด้วยลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงพร้อมกับมอนอเมอร์ที่มีส่วนผสมระหว่าง AN กับ MAA ทำให้เกิดการกราฟต์ของสายโซ่มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮยาโนบนผิวของพอลิเมอร์ จากนั้นทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine Hydrochloride, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) เพื่อให้ได้หมู่ฟังก์ชันเอมีตอกซิม ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สามารถจับกับยูรานิลไตรคาร์บอเนตไอออนได้



รูปที่ 2.4 กระบวนการสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม โดยวิธี Simultaneous technique

2.2 พอลิเอทิลีน

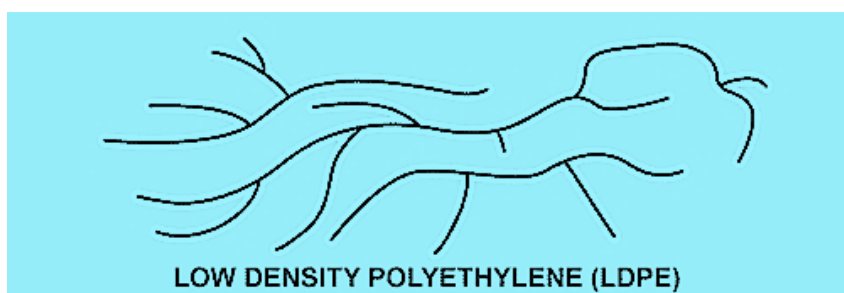
พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งอยู่ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เกิดขึ้นจากการรวมตัวของคาร์บอนอะตอมเดี่ยวเข้าหลายอะตอมด้วยกันเพื่อสร้างสายโซ่คาร์บอนอะตอมที่ยาว สายโซ่ยาวนี้เรียกว่าโมเลกุลใหญ่ (Macromolecule) โดยแต่ละคาร์บอนอะตอมมักจะติดอยู่กับสองไฮโดรเจนอะตอม ความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เช่นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของพลาสติกเพื่อสร้างความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene, MDPE) และความหนาแน่นที่สูงมาก (Ultra high molecular weight, UHMWPE) คุณสมบัติของพอลิเอทิลีนแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับรูปร่าง และความยาวของสายโซ่คาร์บอน [16, 17]



รูปที่ 2.5 พอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิเอทิลีน

2.2.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene)

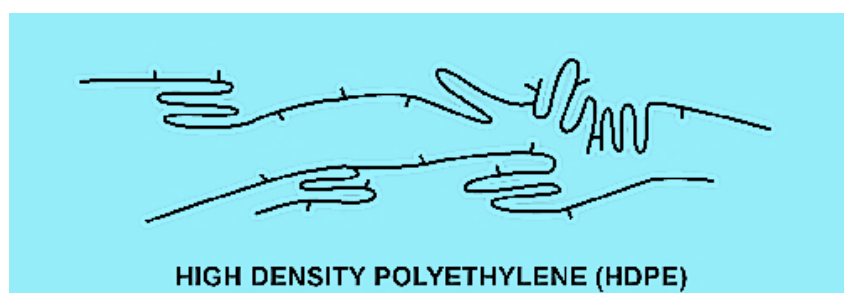
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ หรืออาจจะเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีสาขาโซ่ (Branched polyethylene) เพราะโครงสร้างประกอบด้วยโซ่ยาวของ CH_2 ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไป เนื่องจากกระบวนการผลิตใช้ความดันสูงมาก (มากถึง 45,000 psig) นอกจากนี้สามารถเติมไวนิลอะซิเตท (Vinyl acetate, VA) เพื่อผลิตโคพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ [18]

2.2.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene)

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงอาจจะเรียกว่า พอลิเอทิลีนเชิงเส้นตรงได้เช่นเดียวกัน เพราะพอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด (มีสาขาบ้างแต่น้อยมาก) หรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันต่ำ เพราะกระบวนการเตรียมพอลิเมอร์นี้โดยทั่วไปใช้ความดันต่ำกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเตรียมพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำดังได้กล่าวมาแล้ว พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงนี้ผลิตขึ้นในเชิงการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1955



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง [18]

โครงสร้างของพอลิเอทิลีน

ความยาวของสายโซ่คาร์บอนและขนาดของกิ่งสาขามีผลต่อคุณสมบัติของพลาสติก พลาสติกที่มีปริมาณของการจัดเรียงตัวของผลึกคริสตัล (Crystalline arrangement) สูง จะมีความแข็งกว่าแต่จะมีความเปราะมากกว่าด้วยเช่นกัน การแตกกิ่งสาขาและปริมาณของผลึกในพอลิเอทิลีนทำให้เกิดคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพอลิเอทิลีนแต่ละชนิด [17]

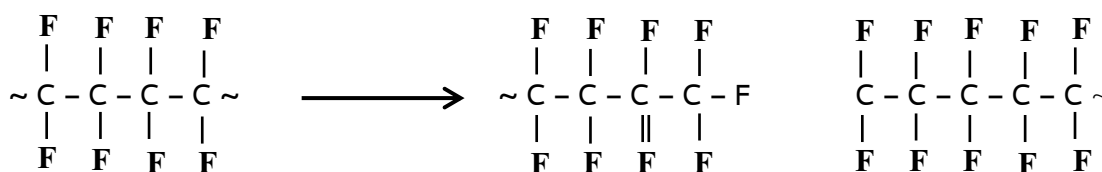
ชนิด	ความหนาแน่น (g/cc)	อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป (องศาเซลเซียส)
LDPE	0.91 – 0.92	40 - 50
MDPE	0.93 – 0.94	60 - 70
HDPE	0.94 – 0.96	70 - 90
UHMWPE	> HDPE	> HDPE

2.3 การฉายรังสีพอลิเมอร์

พลังงานจากต้นกำเนิดรังสีที่ส่งผ่านไปยังวัสดุนั้นทำให้เกิดการทำลายพันธะและการจัดเรียงอะตอมทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ โดยหลายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเข้าไปแทนที่ในพันธะโควาเลนต์โดยตรงก่อให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ผลของรังสีต่อพลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ [15]

2.3.1 การทำลายโดยรังสี (Damage by radiation)

การทำลายพันธะโควาเลนต์ด้วยรังสีเรียกว่า การตัด (Scission) การแยกกันของพันธะคาร์บอนต่อคาร์บอน (carbon-to-carbon bond) ทำให้พอลิเมอร์มีมวลโมเลกุลต่ำลง ยกตัวอย่างเช่น การฉายรังสีพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene) ทำให้สายโซ่ยาวของพลาสติกแตกออกเป็นสายสั้นๆ ส่งผลให้พลาสติกสูญเสียความแข็งแรงและทำให้เกิดการแตกในท้ายที่สุด



รูปที่ 2.8 การทำลายพันธะคาร์บอนของพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีนโดยรังสี

2.3.2 การปรับปรุงโดยรังสี (Improvement by radiation)

ในขณะที่พอลิเมอร์บางชนิดถูกทำลายด้วยรังสี แต่ถ้าควบคุมปริมาณรังสีที่ให้กับพอลิเมอร์ได้ ก็จะเกิดประโยชน์ได้เช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น รังสีทำให้พันธะของพอลิเอทิลีนแตกออกจากกัน และเกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ทำให้เกิดโครงสร้างของกิ่งที่ต่อกับพอลิเอทิลีน โดยโครงสร้างของกิ่งนี้จะทำให้พอลิเอทิลีนมีจุดเดือดสูงกว่าจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย ในทางกลับกันปริมาณรังสีที่มากเกินไปทำให้สายโซ่หลักของพอลิเอทิลีนแตกออกจากกันได้

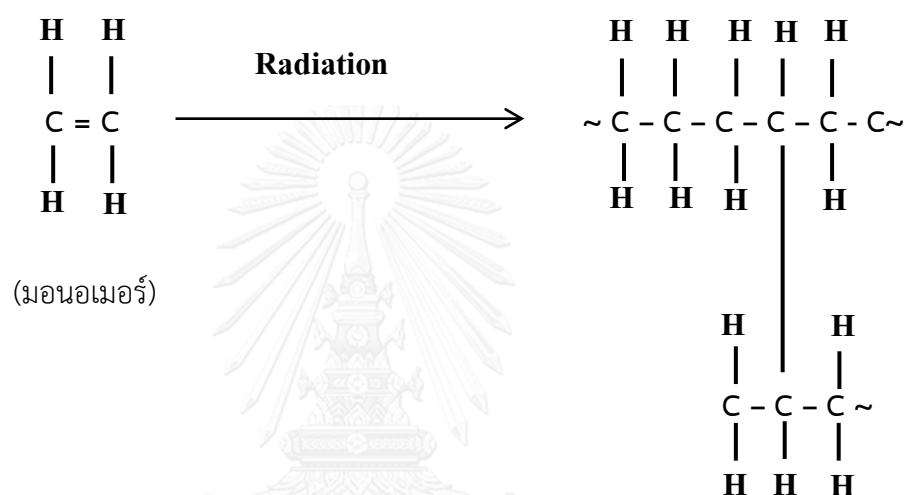
ตารางที่ 2.3 ผลของรังสีต่อการเลือกพอลิเมอร์ [19]

พอลิเมอร์	ความทนต่อรังสี (Radiation Resistance)	Radiation Dose for Significant Damage (kGy)
ABS	ดี	1,000
EP	ดีมาก	1,000-100,000
FEP	ปานกลาง	200
PC	ดี	1,000+
PCTFE	ปานกลาง	100-200
PE	ดี	1,000
PFV, PFV ₂ , PETFE, PECTFE	ดี	1,000
PI	ดีมาก	1,000-100,000
PMMA	ปานกลาง	50
Polyesters (aromatic)	ดี	1,000
Polyesters (unsaturated)	ดี	10,000
Polymethylpentene	ดี	300-500
PP	ปานกลาง	100
PS	ดีมาก	10,000
PSO	ดีมาก	1,000
PTFE	ต่ำ	20
PU	ดีมาก	10,000+
PVC	ดี	500-1,000

2.3.3 การพอลิเมอไรเซชันโดยรังสี (Polymerization by radiation)

เมื่อฉายรังสีพอลิเมอร์รังสีทำให้พันธะโควาเลนต์แตกออกจากกันและเกิดการสร้างฟรีแรดิคัล (Free radical) โดยฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นสามารถทำให้เกิดการแตกพอลิเมอร์ (Depolymerization) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดครอสลิงค์และพอลิเมอไรเซชันของพอลิเมอร์

พอลิเมอไรเซชันและครอสลิงค์ใช้ในการเคลือบผิว (Coating) และการติด (Adhesives) เป็นต้น โดยทั่วไปปริมาณรังสีที่สามารถทำให้เกิดการครอสลิงค์พอลิเมอร์ได้ สำหรับพอลิเอทิลีนอยู่ในช่วง 200-300 kGy และ PVC 50-80 kGy เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การเกิดกิ่งสาขาของพอลิเอทิลีนโดยรังสี

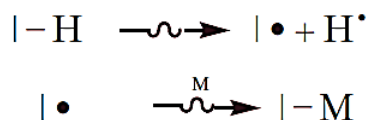
2.3.4 การกราฟต์โดยรังสี (Grafting by radiation)

การใช้รังสีพลังงานสูงสำหรับการเตรียมการกราฟต์และการครอสลิงค์พอลิเมอร์ ได้เริ่มขึ้นตั้งแต่ต้นปี ค.ศ. 1960 และหลังจากนั้นได้ถูกทดสอบเรื่อยมา แหล่งกำเนิดรังสีหลักๆ ได้แก่ รังสีแกมมาพลังงานสูง และลำไอออน (Ion beam) โดยรังสีจะเกิดอันตรกิริยากับสารอินทรีย์ (Organic) และโมเลกุลอื่นๆ เพื่อสร้างอนุมูลอิสระ ไอออนบวก และไอออนลบ หรืออาจจะเกิดทั้งสามชนิดในเส้นทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ผ่าน กระบวนการกราฟต์มีอยู่ 3 วิธีการหลักๆ ดังต่อไปนี้ [20]

2.3.4.1 Preirradiation Technique

การกราฟต์พอลิเมอร์โดยวิธีการนี้ Polymeric backbone (| - H) จะถูกฉายรังสีก่อน โดยมักจะฉายรังสีในสภาวะสุญญากาศ หรือในสภาวะก๊าซเฉื่อยเพื่อสร้างอนุมูลอิสระที่มีความเสถียร จากนั้นทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ (M) การทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์มักจะทำที่อุณหภูมิสูง เทคนิคนี้มอนอเมอร์จะไม่ถูกฉายรังสี ข้อดีคือไม่ทำให้เกิดการสร้างโฮโมโพลิเมอร์ขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม

ข้อเสียของเทคนิคนี้คือถ้าพอลิเมอร์เป็นชนิดเสื่อมคุณภาพได้ การฉายรังสีโดยตรงนั้นรังสีจะตัดสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดการบดบังมากกว่าการกราฟต์โคโพลิเมอร์ ดังนั้นถ้าพอลิเมอร์ไม่สามารถที่จะจับอนุมูลอิสระได้เป็นเวลานานก็จะไม่เกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ตามมา

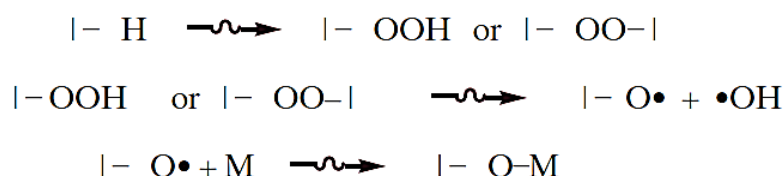


(|– H is the polymer and M is the monomer)

รูปที่ 2.10 เทคนิคการกราฟต์แบบ Preirradiation technique

2.3.4.2 Peroxidation Technique

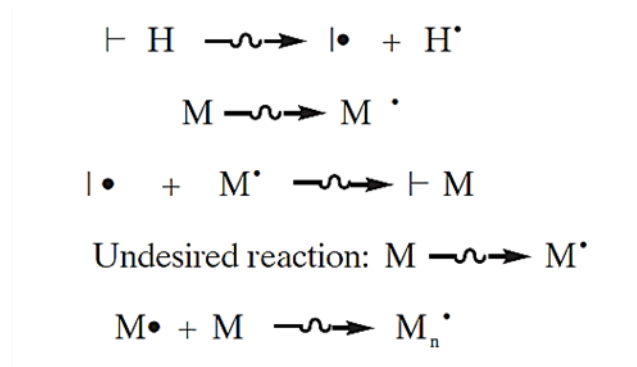
เทคนิคนี้มีความคล้ายคลึงกับเทคนิค Preirradiation คือจะฉายรังสีพอลิเมอร์ก่อน แต่จะแตกต่างกันที่พอลิเมอร์จะถูกฉายในสภาวะอากาศปกติหรือสภาวะที่มีออกซิเจน ผลที่ได้คือจะเกิดการสร้าง Hydroperoxide หรือ Diperoxide ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพอลิเมอร์แต่ละชนิดและสภาวะในการฉายรังสี จากนั้นจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่อุณหภูมิสูง ข้อดีกับข้อเสียของเทคนิคนี้ จะมีความคล้ายคลึงกับเทคนิค Preirradiation การเก็บเส้นใยไว้เป็นระยะเวลาสั้น ก่อนที่เข้าสู่กระบวนการกราฟต์จะมีประโยชน์มากสำหรับเทคนิคนี้



รูปที่ 2.11 เทคนิคการกราฟต์แบบ Peroxidation techniques

2.3.4.3 Simultaneous Method

เทคนิคนี้พอลิเมอร์จะถูกฉายไปพร้อมกับมอนอเมอร์ มอนอเมอร์อาจจะอยู่ในรูปไอของเหลว หรือสารละลาย ทั้งมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ที่ถูกฉายรังสีไปพร้อมกันทำให้เกิดการสร้างตำแหน่งที่กระตุ้น (Active site) ทั้งในมอนอเมอร์และตัวกลาง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับการสร้างฟรีแรดิคัลบนพอลิเมอร์หรือมอนอเมอร์ ถ้ามอนอเมอร์มีค่า G (M ·) หรือ Radiation yield สูง จะเกิดการสร้างไฮโดรพอลิเมอร์มากกว่าการกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชัน ในทางปฏิบัติปริมาณรังสีที่ทำให้เกิดการกราฟต์ในเทคนิค Simultaneous method จะต่ำกว่าทั้งสองเทคนิคที่กล่าวไปข้างต้น



รูปที่ 2.12 เทคนิคการกราฟต์แบบ Simultaneous method

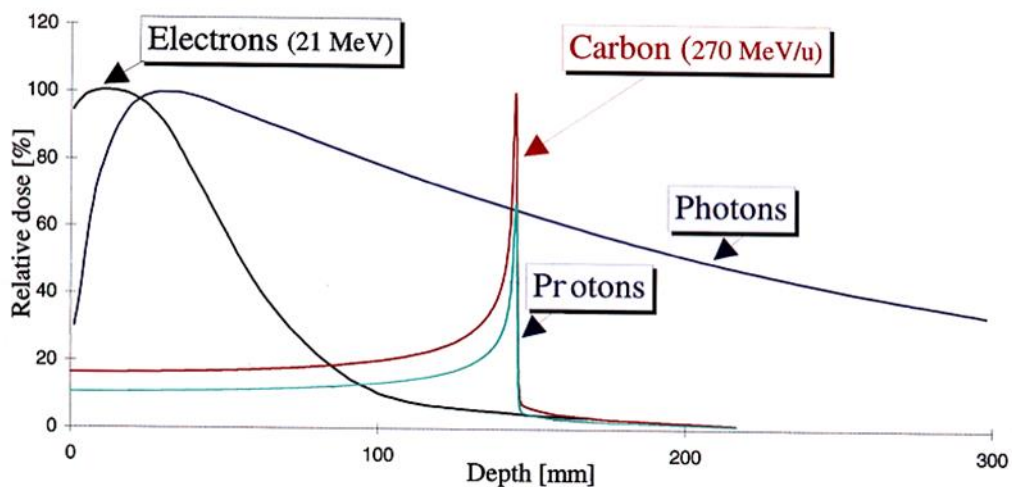
2.4 อันตรกิริยาของอนุภาคมีประจุกับตัวกลาง

อนุภาคมีประจุพลังงานสูงเช่นอนุภาคแอลฟา โปรตอน ดิวเทอรอน และอนุภาคบีตา (อิเล็กตรอน) เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลางในขณะที่เคลื่อนที่ผ่าน การเกิดอันตรกิริยามักจะเกิดกับอิเล็กตรอนวงนอก (Orbital electron) ของอะตอมก่อน และจะเกิดอันตรกิริยากับนิวเคลียสของอะตอมในบางครั้ง ในการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางของอนุภาคมีประจุมีค่าที่มีความสำคัญและสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีประจุผ่านตัวกลางได้แก่ Specific ionization Linear energy transfer และ Range [21, 22]

2.4.1 Specific Ionization

Specific ionization (SI) เป็นจำนวนของคู่อิออนทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นต่อระยะทาง (Range) ของรังสีที่เคลื่อนผ่านตัวกลาง

Specific ionization เพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานของอนุภาคมีประจุลดลง เนื่องจากโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดอันตรกิริยาเพิ่มขึ้นที่พลังงานต่ำ ดังนั้นที่บริเวณตอนปลายระยะทางพลังงานของอนุภาคมีประจุลดต่ำลงมากๆ ทำให้ประจุไฟฟ้าลดลงจากกราฟแสดงให้เห็นว่าบริเวณตอนปลายของกราฟจะมีลักษณะแหลมเนื่องจากการ ionization เกิดขึ้นมากที่บริเวณตอนปลายเส้นทางการเคลื่อนที่ซึ่งเรียกลักษณะกราฟดังกล่าวนี้เรียกว่า Bragg peak โดยเหตุการณ์นี้มักเกิดกับอนุภาคมีประจุมวลหนัก เช่น โปรตอน คาร์บอน



รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึก (Depth) และ Relative dose ในอิเล็กตรอน โฟตอน โปรตอน และคาร์บอนไอออน โดยโปรตอนและคาร์บอนไอออนสามารถทำให้เกิด Bragg peak [23]

2.4.2 Linear energy transfer

Linear energy transfer (LET) เป็นพลังงานที่รังสีถ่ายเทให้กับตัวกลางที่เคลื่อนที่ผ่านไปในหนึ่งหน่วยระยะทาง

$$LET = SI \times W \quad (2)$$

โดย

LET = Linear energy transfer

SI = Specific Ionization

W = พลังงานที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุ

LET แสดงในหน่วยเป็น keV/ μ m รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอนุภาคบีตา เมื่อเกิดอันตรกิริยากับสสารจะสูญเสียพลังงานบางส่วนต่ออันตรกิริยาและมีค่า LET ต่ำ ในทางกลับกันอนุภาคหนัก (Heavy particle) ได้แก่ อนุภาคแอลฟา นิวตรอนและโปรตรอน จะสูญเสียพลังงานอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการแตกตัวมากมายในระยะทางสั้นๆ และมีค่า LET สูง

ตารางที่ 2.4 ค่า LET ของรังสีบางชนิดในเนื้อเยื่อ [22]

Radiation	LET (keV/ μ m)
3 MV x-rays	0.5
250 KV x-rays	3.0
5-MeV α -particles	100.0
1-MeV electrons	0.25
14-MeV neutrons	20.0

2.4.3 Range

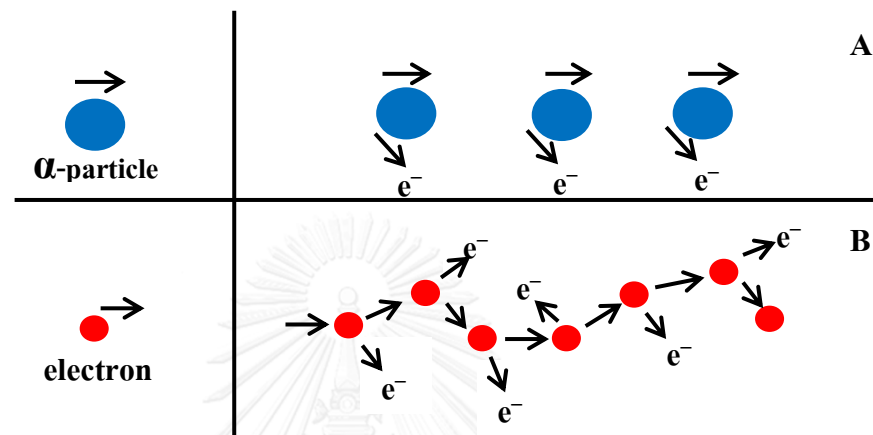
พิสัย (Range, R) ของอนุภาคขึ้นอยู่กับมวล ประจุ พลังงานจลน์ของอนุภาค และความหนาแน่นของตัวกลาง อนุภาคที่หนักกว่า มีประจุมากกว่าจะมีพิสัยที่สั้นกว่าอนุภาคที่เบาและมีประจุน้อยกว่า พิสัยของอนุภาคมีประจุเพิ่มขึ้นตามพลังงานของอนุภาค ดังนั้นอนุภาคที่มีพลังงาน 10 MeV จะมีพิสัยยาวกว่าอนุภาคที่มีพลังงาน 1 MeV พิสัยของอนุภาคขึ้นอยู่กับตัวกลางด้วยโดยตัวกลางที่ทึบอนุภาคจะมีพิสัยน้อยกว่า พิสัยมีหน่วยเป็น mg/cm^2 ของตัวกลาง โดยระยะทางทั้งหมดอาจจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับระยะทางเริ่มต้น หรือมีการเบี่ยงเบนไปจากทิศทางเดิม สำหรับอนุภาคแอลฟาเนื่องจากมีมวลมากจะสูญเสียพลังงานเพียงบางส่วนในการชนกับอิเล็กตรอน และไม่ถูกเบี่ยงเบนในการชน เส้นทางของอนุภาคแอลฟาจึงมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรงตามทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้น (แสดงในรูป 2.14(A)) ส่วนอนุภาคบีตาหรืออิเล็กตรอนเมื่อเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจร ซึ่งมีมวลเท่ากับมวลของอนุภาคบีตาจะสูญเสียพลังงานมากทำให้ถูกเบี่ยงเบนไปได้มากทำให้เส้นทางของอนุภาคบิดเบี้ยว (แสดงในรูป 2.14(B)) และระยะทางจริงจะน้อยกว่าระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่

Energy straggling เมื่ออนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง จะมีพฤติกรรมทางสถิติคือเกิด Statistical fluctuation ขึ้นกับจำนวนในการชนตามเส้นทางเคลื่อนที่ และจำนวนพลังงานที่สูญเสียไปในการชนแต่ละครั้ง ดังนั้นถึงแม้ว่าจะใช้อนุภาคมีประจุที่มีพลังงานเดียว (Monoenergetic) แต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็มีการกระจายตัว (Distribution) ของ

- 1) พลังงานสุดท้ายหลังจากเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง \rightarrow Energy Straggling
- 2) Path length ของการเคลื่อนที่ก่อนที่จะหยุดในตัวกลาง \rightarrow Range Straggling

ค่า Range straggling สามารถหาได้จากการทดลอง คือให้ Mono-energetic incident particle วิ่งผ่าน Gas-filled cylindrical proportional counter ซึ่งเมื่อชนกับอิเล็กตรอนของก๊าซ

จะก่อให้เกิด Ion pair ที่เหนี่ยวนำให้เกิดเป็น Pulse height ที่ขนาดแปรผันกับปริมาณพลังงานที่อนุภาคมีประจุถ่ายเทให้กับหัววัด ทำให้สามารถศึกษาการกระจายตัว (Distribution) ของพลังงานที่อนุภาคมีประจุสูญเสียให้กับก๊าซที่บรรจุอยู่ได้ ค่า Range straggling นี้เกิดจาก Statistical nature ซึ่งขึ้นกับทั้งจำนวนในการชนตามเส้นทางการเคลื่อนที่ และปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปในการชนแต่ละครั้ง



รูปที่ 2.14 อนุภาคแอลฟาและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง (A) อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่ในทิศทางเป็นเส้นตรง (B) อิเล็กตรอนเคลื่อนที่แบบซิกแซก

อนุภาคบีตา หรืออิเล็กตรอนจะทำอันตรกิริยากับอะตอมตัวกลางขณะที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางนั้น ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอก และอาจจะเกิดอันตรกิริยากับนิวเคลียสของอะตอมตัวกลางบ้างเป็นบางครั้ง อนุภาคอิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้สองทางด้วยกันคือ สูญเสียพลังงานผ่านการชน (Energy loss by collision) และสูญเสียพลังงานผ่านการแผ่รังสี (Energy loss by EM radiation) อนุภาคอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางสามารถทำให้ตัวกลางเกิดการแตกตัว (Ionization) และการกระตุ้น (Excitation) ในขั้นตอนการกระตุ้นอนุภาคจะถ่ายเทพลังงานทั้งหมด หรือบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนวงนอกทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นและไปอยู่ในชั้นพลังงานที่สูงกว่า ในขั้นตอนการแตกตัวพลังงานที่ถ่ายเทให้กับอิเล็กตรอนนั้นจะมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอมนี้เรียกว่า Primary electron ซึ่งอาจจะมีพลังงานจลน์เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวและการกระตุ้นในตัวกลางต่อไป ดังนั้นค่า Total energy loss หรือ Stopping power สำหรับอนุภาคอิเล็กตรอนและโพซิตรอน จึงเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{tot} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{coll} + \left(\frac{dE}{dx}\right)_{rad} \quad (3)$$

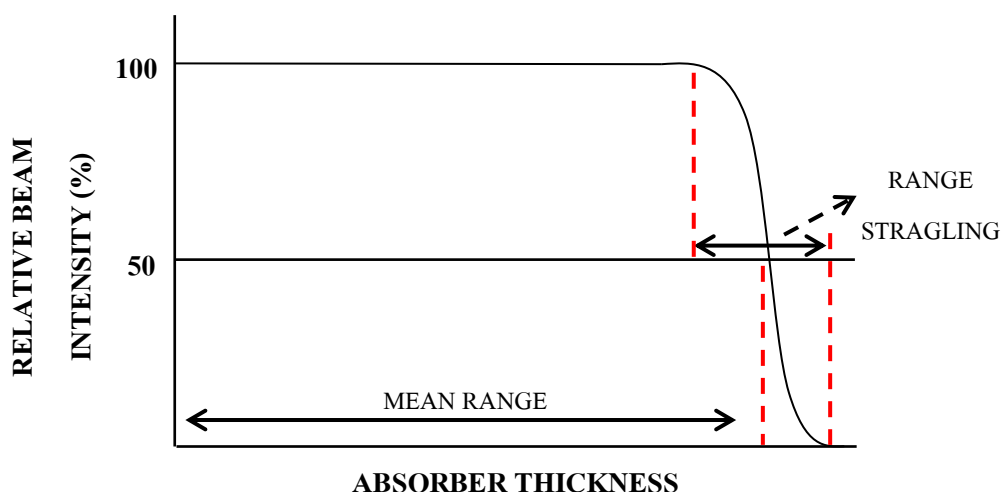
โดย

$$\begin{aligned} (dE/dx)_{tot} &= \text{พลังงานที่สูญเสียไปทั้งหมด} \\ (dE/dx)_{coll} &= \text{พลังงานที่สูญเสียโดยการชน} \\ (dE/dx)_{rad} &= \text{พลังงานที่สูญเสียโดยการแผ่รังสี} \end{aligned}$$

2.4.4 Bremsstrahlung

เมื่ออนุภาคมีประจุพลังงานสูง โดยเฉพาะอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางและเข้าใกล้กับนิวเคลียสของอะตอม อิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการลดความเร็วในสนามคูลอมบ์ของนิวเคลียส การสูญเสียพลังงานจะปลดปล่อยออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เรียกว่า เบรมสตราลุง (Bremsstrahlung)

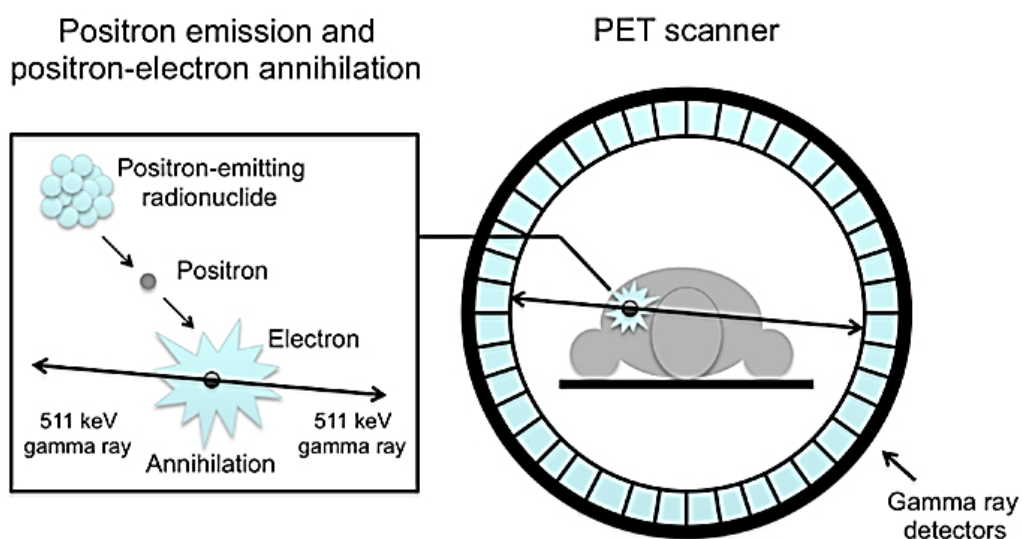
เบรมสตราลุงจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานจลน์ของอนุภาคและเลขอะตอม (Z) ของตัวกลาง ตัวอย่างเช่น 10 MeV อิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงาน 50% ออกมาในรูปของเบรมสตราลุง ในขณะที่ 90 MeV อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่ที่ประมาณ 90% ในกระบวนการนี้เบรมสตราลุงที่ถูกสร้างขึ้นเป็นสัดส่วนกับ Z^2 ของอะตอมตัวกลาง อนุภาคบีตาพลังงานสูงจากนิวไคลด์รังสี เช่น ^{32}P สามารถทำให้เกิดเบรมสตราลุงในโลหะหนัก เช่น ตะกั่วและทังสเตน ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการเก็บนิวไคลด์รังสีที่สลายตัวโดยการปลดปล่อยอนุภาคบีตาในวัสดุที่มีเลขอะตอมต่ำ เช่น คอนเทนเนอร์พลาสติก และไม่เก็บในคอนเทนเนอร์ตะกั่ว



รูปที่ 2.15 Mean range และ stragling ของอนุภาคมีประจุในตัวกลาง

2.4.5 Annihilation

เมื่ออนุภาคบีตาบวก (β^+ particle) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง จะสูญเสียพลังงานผ่านการเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนวงนอก (Orbital electron) ของอะตอมตัวกลาง เมื่ออนุภาค β^+ สูญเสียพลังงานจนหมดสุดท้ายจะรวมกับอิเล็กตรอนวงนอกของอะตอมตัวกลางและสร้าง 511 keV annihilation radiation 2 ตัว ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาในทิศทางตรงกันข้ามกัน Annihilation radiation นี้เป็นหลักการในการตรวจวินิจฉัยของเครื่อง Positron Emission Tomography (PET)



รูปที่ 2.16 อันตรกิริยา Annihilation และ Coincidence detection [24]

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

- (1) อะครีโลไนไตรล์
- (2) เมทอะคริลิกแอซิด
- (3) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์
- (4) N,N-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์
- (5) เมทานอล
- (6) ไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์
- (7) โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์
- (8) กรดไฮโดรคลอริก
- (9) กรดไนตริก
- (10) น้ำกลั่น
- (11) น้ำแข็งแห้ง
- (12) เส้นใย LDPE
- (13) ปีกเกอร์
- (14) กระจกตวง
- (15) แท่งแก้วคนสาร
- (16) แท่งแม่เหล็กกวนสาร
- (17) กรวยกรอง
- (18) พาราฟิล์ม
- (19) กระจกกรอง
- (20) ซ้อนตักสาร
- (21) กรรไกร
- (22) ถังตาข่าย
- (23) ตะกร้าหิ้ว
- (24) เชือก
- (25) ถังซีปล็อก
- (26) เข็มสอย



- (27) ด้ายสีต่างๆ
- (28) กล่องพลาสติกเอนกประสงค์
- (29) ถุงมือ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- (1) Hot plate
- (2) ตู้ดูดควัน
- (3) ตู้อบความร้อน
- (4) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo model AB204-S
- (5) เครื่องวัด pH meter ยี่ห้อ Consort รุ่น C532
- (6) เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน ยี่ห้อ Mevex Corporation model MB 20-10 S/N 021
- (7) เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
- (8) เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)
- (9) เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy

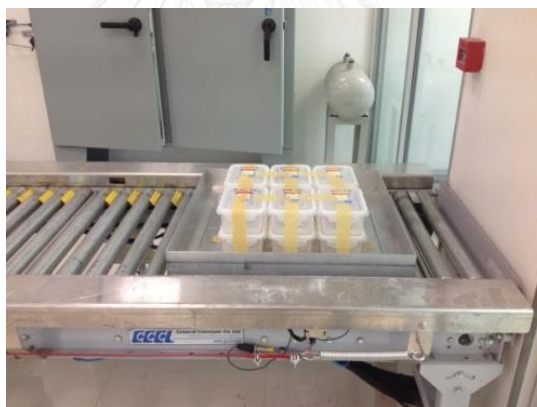
3.3.1.1 การเตรียมเส้นใย LDPE ก่อนการกราฟต์พอลิเมโรเซชัน ล้างเส้นใย LDPE ด้วยเมทานอลและน้ำกลั่น (Deionized Water, DI) ตามลำดับ จากนั้นอบเส้นใย LDPE ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (Degree Celsius, C°) เป็นเวลานาน 7 ชั่วโมง [7] ซึ่งน้ำหนักเส้นใย LDPE และบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้น

3.3.1.2 บรรจุเส้นใย LDPE ในกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ เติมสารละลายมอนอเมอร์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร (ml) ที่เตรียมจากสารละลาย AN และ MAA สัดส่วนของสารละลายมอนอเมอร์สารละลาย AN:MAA เท่ากับ 60:40 โดยใช้สารละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide, DMSO) เป็นตัวทำละลายที่ 50 (w/w)%



รูปที่ 3.1 เส้นใย LDPE ที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกเอนกประสงค์

3.3.1.3 จัดวางกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LDPE และมอนอเมอร์บนอุปกรณ์สำหรับฉายลำอิเล็กตรอน จากนั้นฉายด้วยลำอิเล็กตรอนพลังงาน 8 MeV ที่ปริมาณรังสีรวม 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 kGy



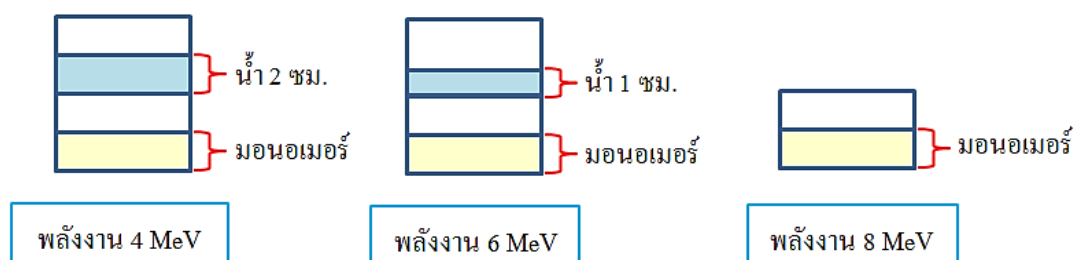
รูปที่ 3.2 การจัดวางกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LPDE และมอนอเมอร์บนอุปกรณ์สำหรับฉายลำอิเล็กตรอน

3.3.1.4 หลังจากฉายลำอิเล็กตรอน ล้างโฮโมพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นด้วย N,N-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (Dimethylformamide, DMF) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นล้างด้วยเมทานอล 3 ครั้ง และน้ำกลั่น 3 ครั้ง อบเส้นใยที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเส้นใย LDPE หลังการกราฟต์และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.3.2 การศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิม

3.3.2.1 เตรียมเส้นใย LDPE ดังที่ได้ให้รายละเอียดในข้อ 3.3.1.1 ชั่งน้ำหนักเส้นใย LDPE และบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น นำเส้นใย LDPE บรรจุในกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ เต็มมอนอเมอร์ ปริมาตร 200 ml ปิดฝากล่องพลาสติกเอนกประสงค์

3.3.2.2 ศึกษาที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4, 6 และ 8 MeV ปริมาณรังสีรวม 200, 250 และ 300 kGy เนื่องจากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนสามารถตั้งค่าพลังงานลำอิเล็กตรอนได้ต่ำสุด 8 MeV จึงใช้น้ำในการลดพลังงานลำอิเล็กตรอน โดยความสูงของน้ำ 1 ซม. สามารถลดพลังงานลำอิเล็กตรอนได้ 2 MeV ดังนั้นในขั้นตอนการฉายลำอิเล็กตรอนที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 และ 6 MeV นำกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุน้ำเปล่าความสูงของน้ำเท่ากับ 2 และ 1 ซม. วางบนกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LDPE และมอนอเมอร์ด้วย ตามลำดับ เพื่อลดพลังงานงานของลำอิเล็กตรอน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



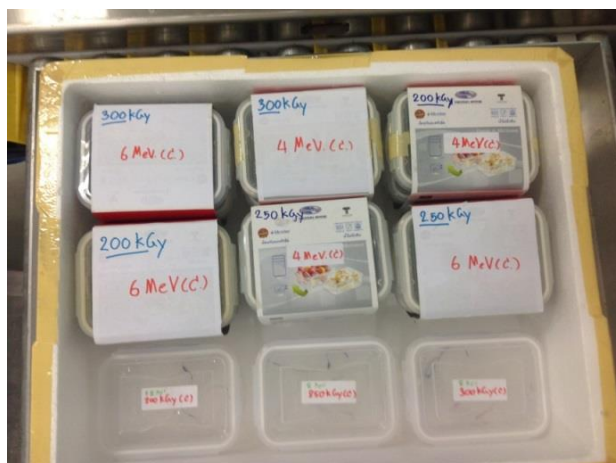
รูปที่ 3.3 การจัดวางตัวอย่างสำหรับฉายลำอิเล็กตรอนที่พลังงาน 4, 6 และ 8 MeV

3.3.2.3 หลังจากฉายลำอิเล็กตรอน ล้างโซโม่พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นด้วย DMF โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 C° จากนั้นล้างเส้นใยด้วยเมทานอล 3 ครั้ง และน้ำ DI 3 ครั้ง อบเส้นใยให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 C° เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเส้นใย LDPE หลังการกราฟต์ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.3.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อขณะฉายลำอิเล็กตรอนในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิม

3.3.3.1 เตรียมเส้นใย LDPE ดังที่ได้ให้รายละเอียดในข้อ 3.3.1.1 ชั่งเส้นใย LDPE และบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้น นำเส้นใย LDPE บรรจุในกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ เต็มมอนอเมอร์ ปริมาตร 200 ml ปิดฝากล่องพลาสติกเอนกประสงค์

3.3.3.2 วางกล่องโฟมบนภาชนะลุ่มิเนียมที่ใช้สำหรับฉายอิเล็กตรอน ใส่ น้ำแข็งแห้ง ในกล่องโฟม วางชุดกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ในกล่องโฟม สำหรับพลังงานลำอิเล็กตรอน 4 และ 6 MeV นำกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุน้ำเปล่าความสูงของน้ำเท่ากับ 2 และ 1 ซม. วางบนกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LDPE และมอนอเมอร์ ตามลำดับ จากนั้นปิดฝากล่องโฟม



รูปที่ 3.4 กล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LDPE มอนอเมอร์ และน้ำแข็งแห้ง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกราฟต์พอลิเมอร์เซชัน

3.3.3.3 ศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอน 4, 6 และ 8 MeV ปริมาณรังสีรวม 200, 250 และ 300 kGy

3.3.3.4 ล้างโซโม่พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นด้วย DMF โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นล้างเส้นใยด้วยเมทานอล 3 ครั้ง และน้ำ DI 3 ครั้ง อบ เส้นใยที่อุณหภูมิ 50 °C นานเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเส้นใย LDPE หลังการกราฟต์ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.3.4 การศึกษาผลของสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

3.3.4.1 เตรียมสารละลายมอนอเมอร์จากสารละลาย AN และ MAA โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนองค์ประกอบของสารละลาย AN:MAA อัตราส่วนเท่ากับ 20:80, 40:60, 60:40 และ 80:20 โดยใช้สารละลาย DMSO เป็นตัวทำละลายที่ 50 (w/w)%

3.3.4.2 เตรียมเส้นใย LDPE ดังที่ได้ให้รายละเอียดในข้อ 3.3.1.1 ชั่งเส้นใย LDPE และบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้น นำเส้นใย LDPE บรรจุในกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ เติมนอนอเมอร์ ปริมาตร 200 ml ปิดฝากล่องพลาสติกเอนกประสงค์

3.3.4.3 ศึกษาที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวมเท่ากับ 250 kGy โดยวางกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุน้ำเปล่าความสูง 2 ซม. บนกล่องพลาสติกเอนกประสงค์ที่บรรจุเส้นใย LDPE และมอนอเมอร์ด้วย

3.3.4.4 ล้างโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นด้วย DMF โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นล้างเส้นใยด้วยเมทานอล 3 ครั้ง และน้ำ DI 3 ครั้ง อบเส้นใยที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งและบันทึกน้ำหนักเส้นใย LDPE หลังการกราฟต์ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์โพลิเมอร์

3.3.5 การพิสูจน์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM

นำเส้นใย LDPE และเส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์ มาส่องดูลักษณะพื้นผิวเส้นใย โดยใช้ขนาดโฟกัส 10 ไมโครเมตร (μm) กำลังขยาย 750 เท่า

3.3.6 การพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

นำเส้นใย LDPE เส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์ และเส้นใยเอมีตอกซิม มาตรวจสอบเอกลักษณ์ของเส้นใยแต่ละชนิด โดยหาองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชันไซยาโน หมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล และหมู่ฟังก์ชันเอมีตอกซิมบนเส้นใย

3.3.7 การทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิม

3.3.7.1 เตรียมเส้นใย LDPE ดังที่ได้ให้รายละเอียดในข้อ 3.3.1.1 ชั่งเส้นใย LDPE และบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น บรรจุเส้นใย LDPE ในกล่องพลาสติกเอนกประสงค์จากนั้นเติมมอนอเมอร์ที่เตรียมจากสารละลาย AN:MAA อัตราส่วน 60:40 ปิดฝากล่องพลาสติกเอนกประสงค์

3.3.7.2 ศึกษาที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy

3.3.7.3 ล้างโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นด้วย DMF โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นล้างเส้นใยด้วยเมทานอล 3 ครั้ง และน้ำ DI 3 ครั้ง อบเส้นใยที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเส้นใย LDPE หลังการกราฟต์ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์โพลิเมอร์

3.3.7.4 เปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันบนเส้นใย LDPE ที่กราฟต์แล้วจากหมู่ไซยาโนให้เป็นหมู่เอมีตอกซิม โดยทำปฏิกิริยากับ $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ที่อุณหภูมิ 77 °C นาน 1.5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาล้างเส้นใยด้วยสารละลายผสมระหว่างเมทานอลและน้ำ DI ในอัตราส่วน 50:50 โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง แช่เส้นใยเอมีตอกซิมในกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ความเข้มข้น 1 M นาน 15 นาที เมื่อครบเวลาแล้วนำเส้นใยเอมีตอกซิมมาล้างด้วยน้ำ DI ซ้ำ 3 ครั้ง อบเส้นใยที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเส้นใยเอมีตอกซิมและบันทึกน้ำหนักเส้นใยเอมีตอกซิม

3.3.7.5 ปรับสภาพ pH เส้นใยให้มีสภาพเป็นด่าง (Alkaline treatment) นำเส้นใยที่ผ่านการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่เดมิตอกซิมเรียบร้อยแล้วมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) ที่อุณหภูมิ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำกลั่นซ้ำๆ จน pH ของเส้นใยมีค่าเท่ากับ 9 จากนั้นนำเส้นใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง

3.3.7.6 ทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมขึ้น โดยจุ่มแช่ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอันดามัน หน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต จุ่มแช่ในทะเลระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 6 และ 8 สัปดาห์



รูปที่ 3.5 บริเวณหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต

3.3.7.7 บรรจุเส้นใยตัวดูดซับยูเรเนียมในถุงตาข่ายและระบุหมายเลขตัวดูดซับ นำเส้นใยตัวดูดซับใส่ในตะกร้าหิ้วเพื่อจุ่มแช่ในน้ำทะเล เมื่อครบระยะเวลาการจุ่มแช่ในน้ำทะเลนำเส้นใยตัวดูดซับขึ้นจากทะเล ล้างด้วยน้ำ DI 3 ครั้ง อบเส้นใยที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 30 นาที

3.3.7.8 เตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจวิเคราะห์ธาตุยูเรเนียมด้วยเทคนิค ICP-OES แช่เส้นใยตัวดูดซับในกรด HCl ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 200 ml ที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง นำเส้นใยตัวดูดซับออกและระเหยสารละลายกรด HCl จนแห้ง จากนั้นเติมกรดไนตริก 1% ปริมาตร 100 ml คนให้ตะกอนที่ติดที่ก้นบีกเกอร์ละลาย กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง

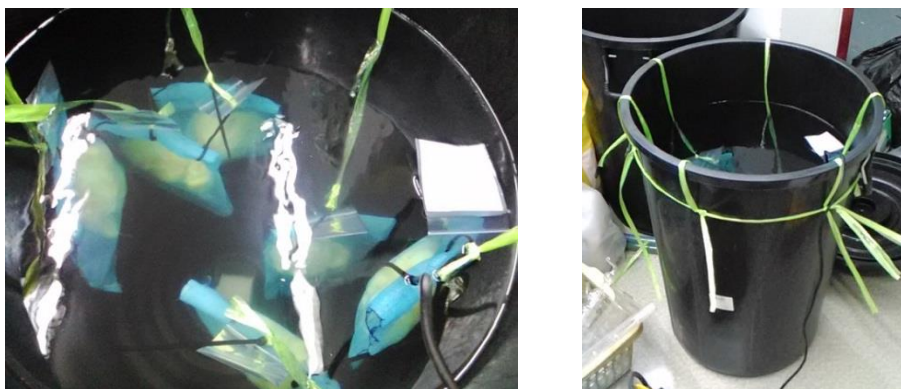


รูปที่ 3.6 ภาพซ้ายมือเส้นใยเอมีดอกซิมที่บรรจุอยู่ในถุงตาข่าย ภาพขวามือเส้นใยเอมีดอกซิมที่บรรจุอยู่ในถุงตาข่ายยึดติดกับตะกร้าพลาสติกหิ้วเพื่อจุ่มแช่ในทะเล



รูปที่ 3.7 ทดสอบการดูดซับยูเรเนียมโดยนำตัวดูดซับจุ่มแช่ในทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน

3.3.7.9 ทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมขึ้น โดยจุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ ใช้ น้ำทะเลตัวอย่าง 15 ลิตร เติมสารละลาย สารประกอบยูรานิลไตรคาร์บอเนตให้มีความเข้มข้น 1 ppm จุ่มแช่ตัวดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล ตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1, 2, และ 3 สัปดาห์



รูปที่ 3.8 ทดสอบการดูดซับยูเรเนียมโดยนำตัวดูดซับจุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

3.3.7.10 นำเส้นใยตัวดูดซับเอมีดอกซิมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างจนครบระยะเวลา มาล้างด้วยน้ำ DI 3 ครั้ง จากนั้นอบเส้นใยที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 30 นาที

3.3.7.11 นำเส้นใยตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการมาวิเคราะห์หาธาตุที่อยู่บนเส้นใยตัวดูดซับด้วยเทคนิค EDS

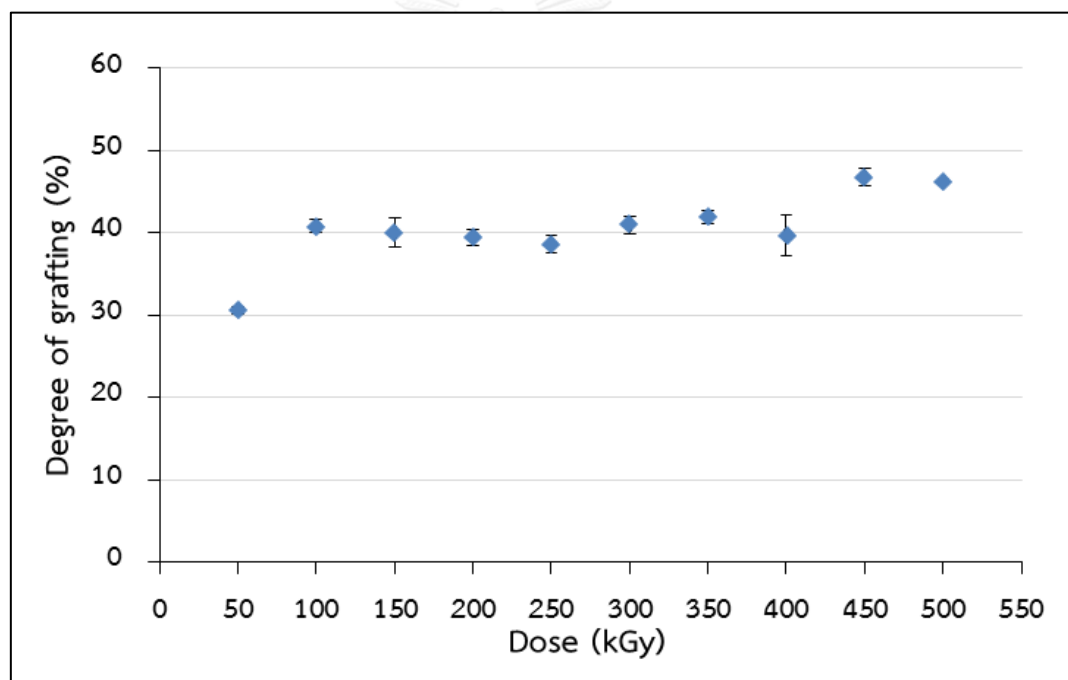
3.3.7.12 เตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมด้วยเทคนิค ICP-OES โดยนำเส้นใยตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมมาแช่ในกรด HCl ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 50 ml ที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเส้นใยตัวดูดซับออก ระเหยสารละลายกรด HCl จนแห้ง จากนั้นเติมกรดไนตริก 1% ปริมาตร 30 ml คนให้ตะกอนที่ติดที่ก้นบีกเกอร์ละลาย กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง 8 MeV ที่ปริมาณรังสีรวม 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 kGy ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์เท่ากับ 30.58, 40.82, 40.02, 39.43, 38.55, 40.89, 41.89, 39.72, 46.53 และ 46.11% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



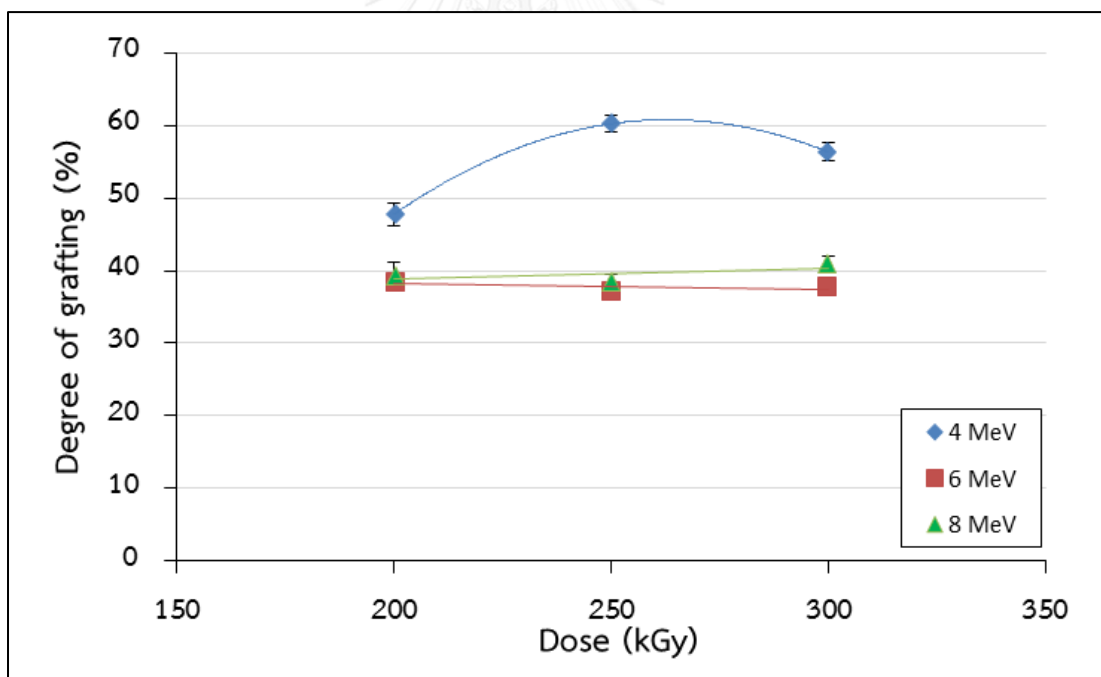
รูปที่ 4.1 กราฟผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy

4.2 ผลการศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

ผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4, 6 และ 8 MeV ปริมาณรังสีรวม 200, 250 และ 300 kGy แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลของพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

พลังงานลำอิเล็กตรอน (MeV)	ปริมาณรังสีรวม (kGy)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์เฉลี่ย \pm SD (%)
4 MeV	200	47.76 \pm 1.61
	250	60.23 \pm 1.09
	300	56.35 \pm 1.20
6 MeV	200	38.52 \pm 0.76
	250	37.15 \pm 0.58
	300	37.85 \pm 0.15
8 MeV	200	39.43 \pm 1.74
	250	38.55 \pm 0.96
	300	40.89 \pm 1.09



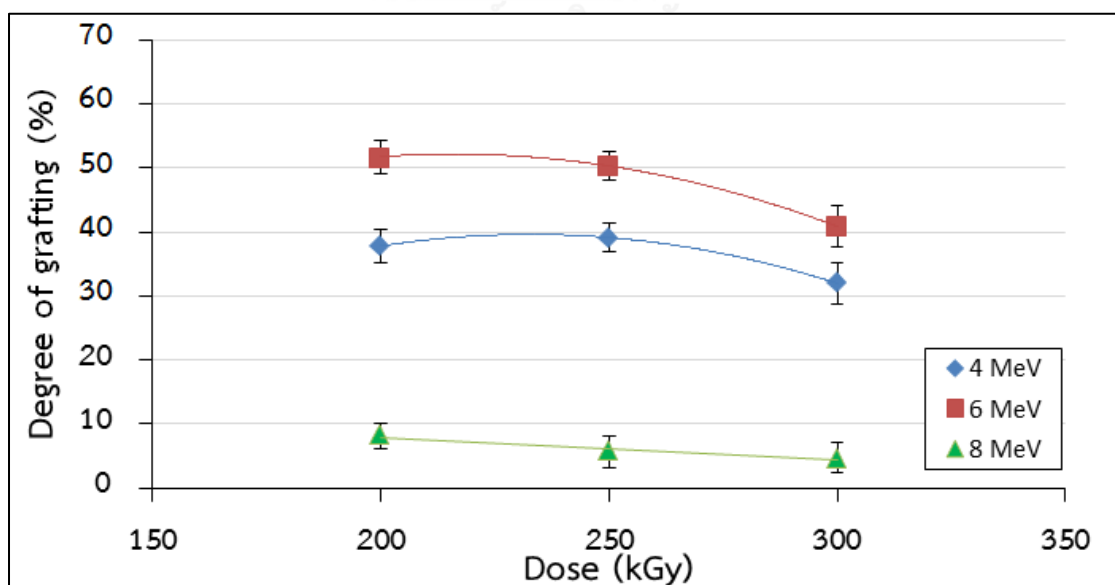
รูปที่ 4.2 กราฟผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่ อุณหภูมิห้อง

4.3 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ำขณะฉายลำอิเล็กตรอนในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิม

ผลการศึกษาอุณหภูมิต่ำขณะฉายลำอิเล็กตรอนต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิมที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4, 6 และ 8 MeV ปริมาณรังสีรวม 200 และ 300 kGy แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่ำขณะฉายลำอิเล็กตรอนต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

พลังงานลำอิเล็กตรอน (MeV)	ปริมาณรังสีรวม (kGy)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์เฉลี่ย \pm SD (%)
4 MeV	200	37.77 \pm 2.52
	250	39.10 \pm 1.28
	300	31.96 \pm 2.88
6 MeV	200	51.72 \pm 2.58
	250	50.28 \pm 2.22
	300	40.85 \pm 3.21
8 MeV	200	8.17 \pm 1.92
	250	5.67 \pm 2.57
	300	4.68 \pm 2.36



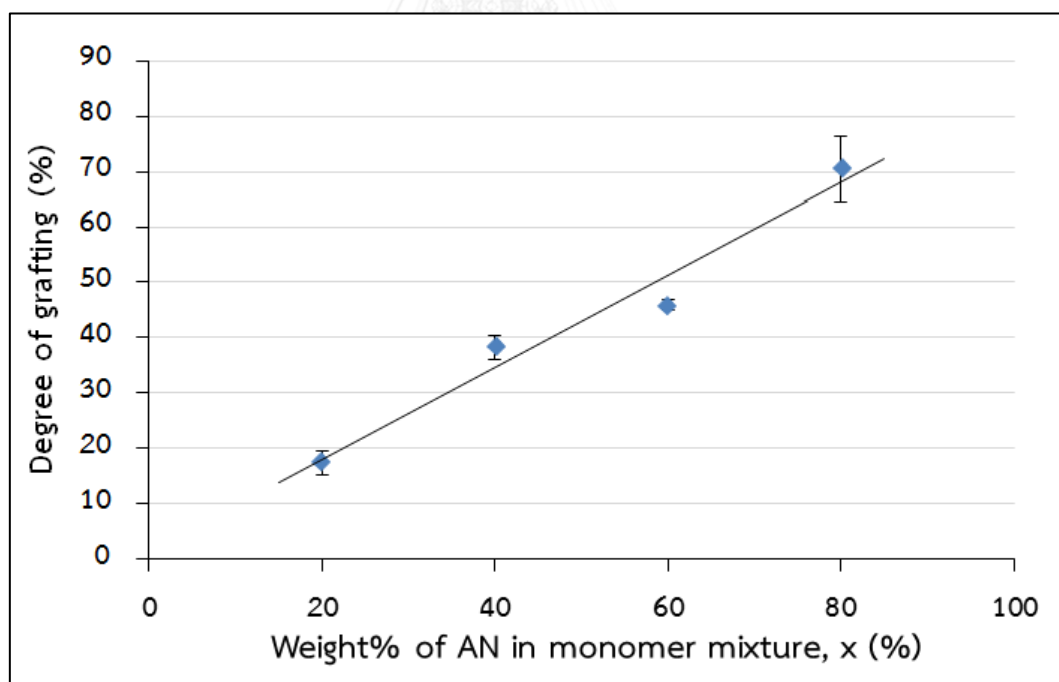
รูปที่ 4.3 กราฟผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิต่ำ

4.4 ผลการศึกษาผลของสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

ผลการศึกษาสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดที่มีต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy แสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

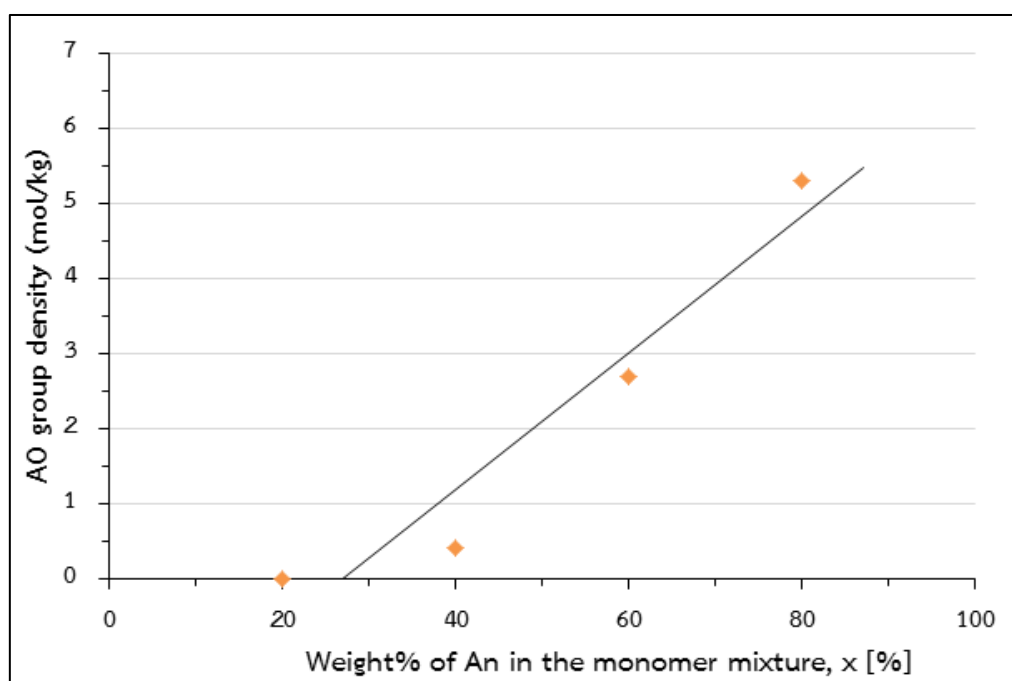
ตารางที่ 4.3 ผลของสัดส่วนมอนอเมอร์สองชนิดต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

สัดส่วน AN:MAA	เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์เฉลี่ย \pm SD (%)
20:80	17.34 \pm 2.12
40:60	38.23 \pm 2.25
60:40	45.94 \pm 0.90
80:20	70.44 \pm 5.89



รูปที่ 4.4 กราฟผลการศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์ในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

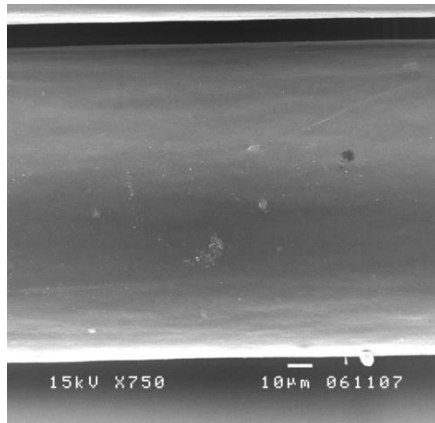
ผลการศึกษาผลของสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีตอกซิมบนเส้นใยในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิมที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy แสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าที่สัดส่วน AN:MAA เท่ากับ 20:80 40:60, 60:40 และ 80:20 ปริมาณความหนาแน่นของหมู่เอมีตอกซิมบนเส้นใยตัวดูดซับเท่ากับ 0.00, 0.40, 2.70 และ 5.32 mol/kg ตามลำดับ



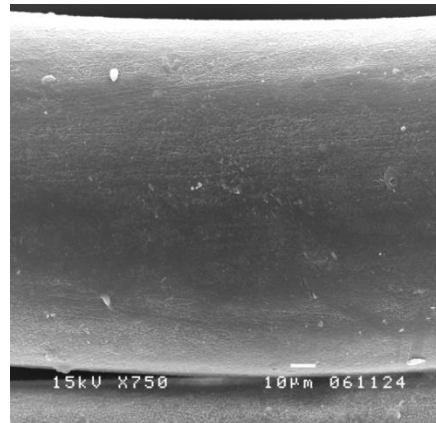
รูปที่ 4.5 กราฟผลการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีตอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิม

4.5 ผลการพิสูจน์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM

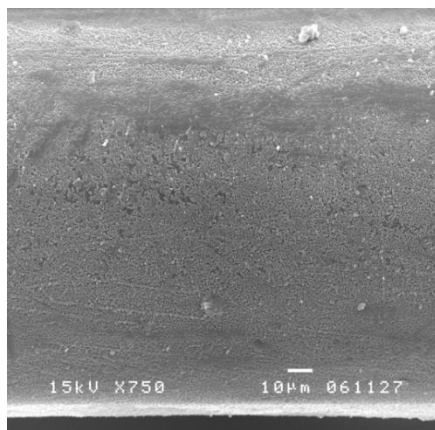
ผลการพิสูจน์ลักษณะพื้นผิวเส้นใย LDPE และเส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์ พบว่าพื้นผิวของเส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์มีลักษณะขรุขระ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวของเส้นใย LDPE ที่ไม่ผ่านการกราฟต์ ซึ่งแสดงถึงการกราฟต์ของมอนอเมอร์บนเส้นใย LDPE ดังแสดงในรูปที่ 4.6



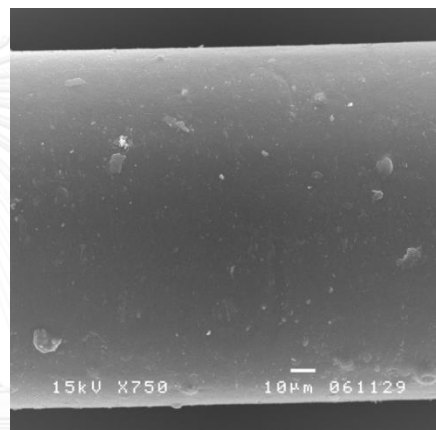
Blank



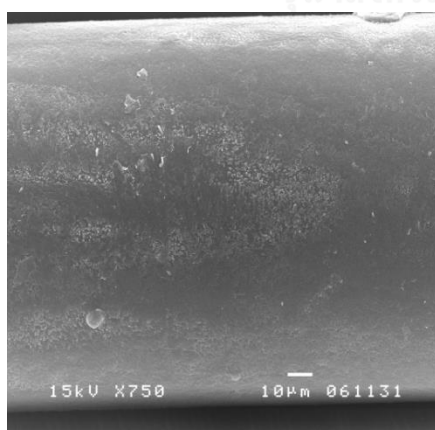
50 kGy



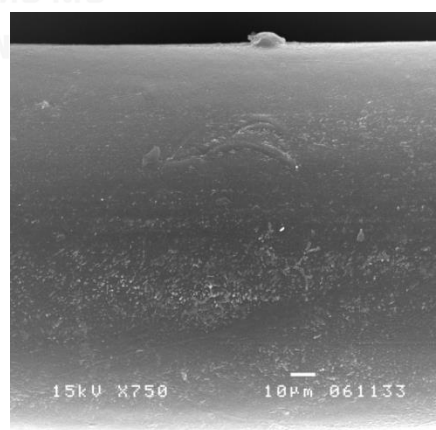
100 kGy



150 kGy

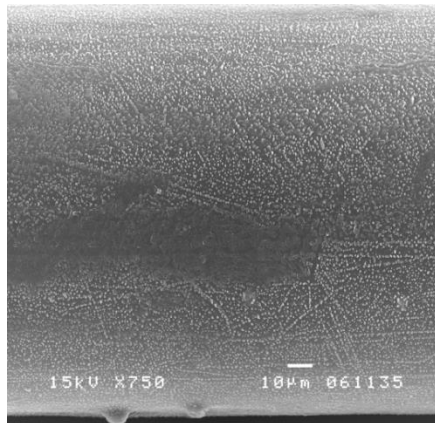


200 kGy

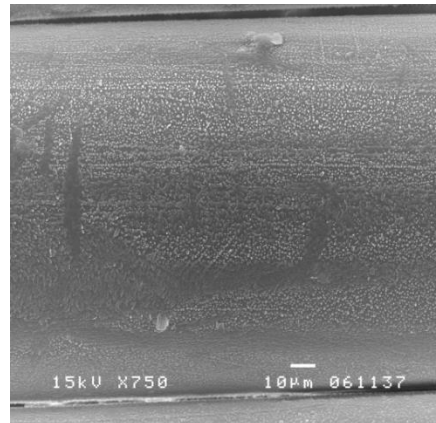


250 kGy

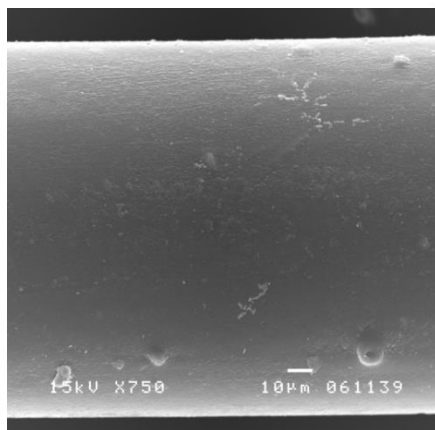
รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวเส้นใย LDPE และเส้นใย LDPE ผ่านการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีรวม 50-500 kGy



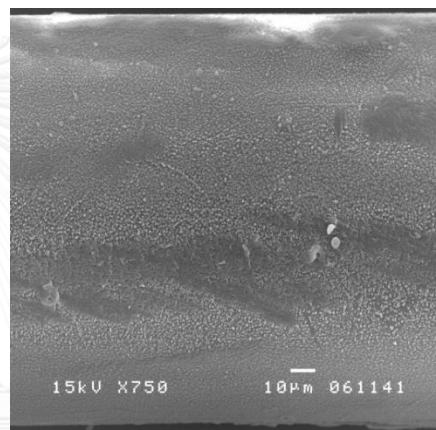
300 kGy



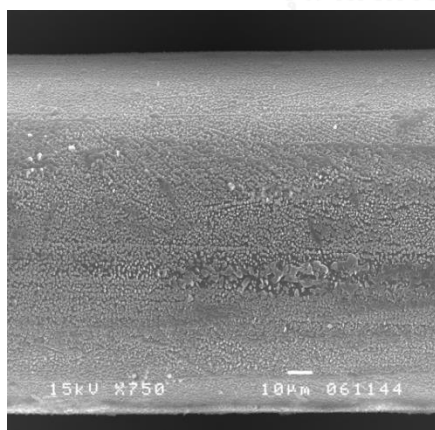
350 kGy



400 kGy



450 kGy

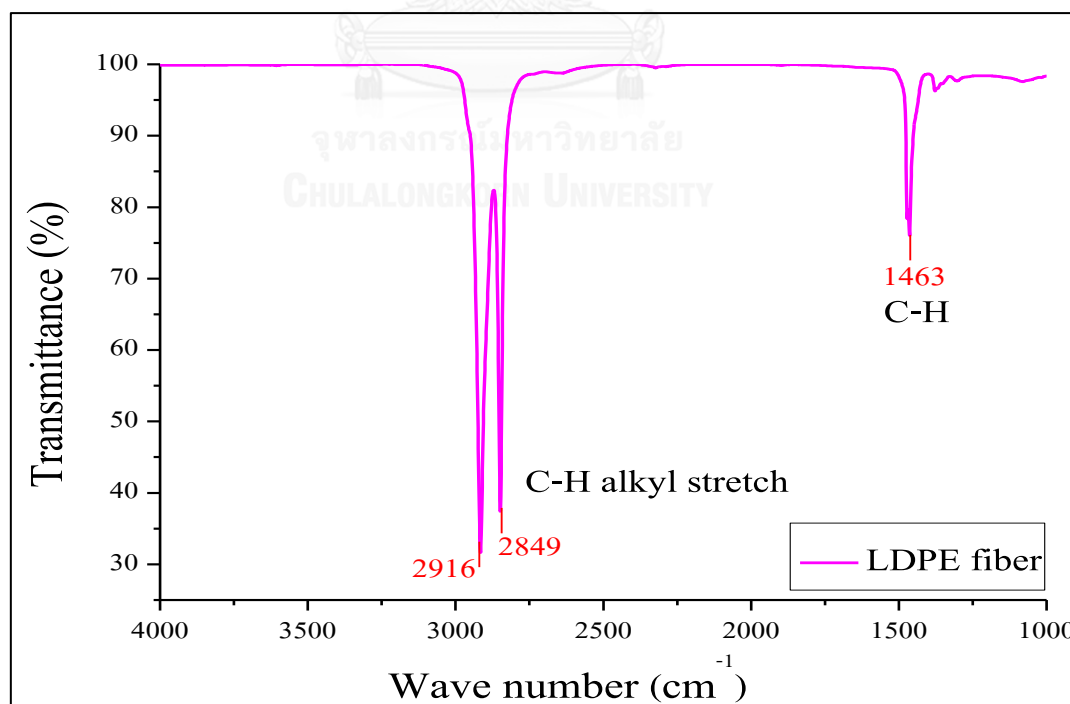


500 kGy

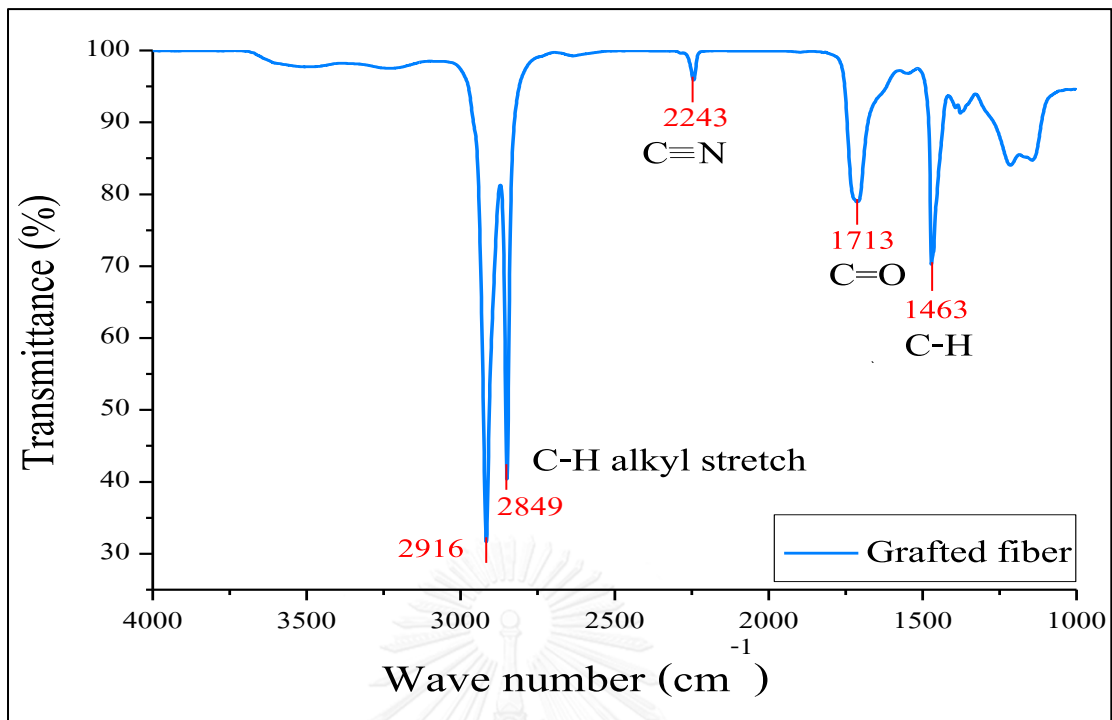
รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวเส้นใย LDPE และเส้นใย LDPE ผ่านการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีรวม 50-500 kGy (ต่อ)

4.6 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

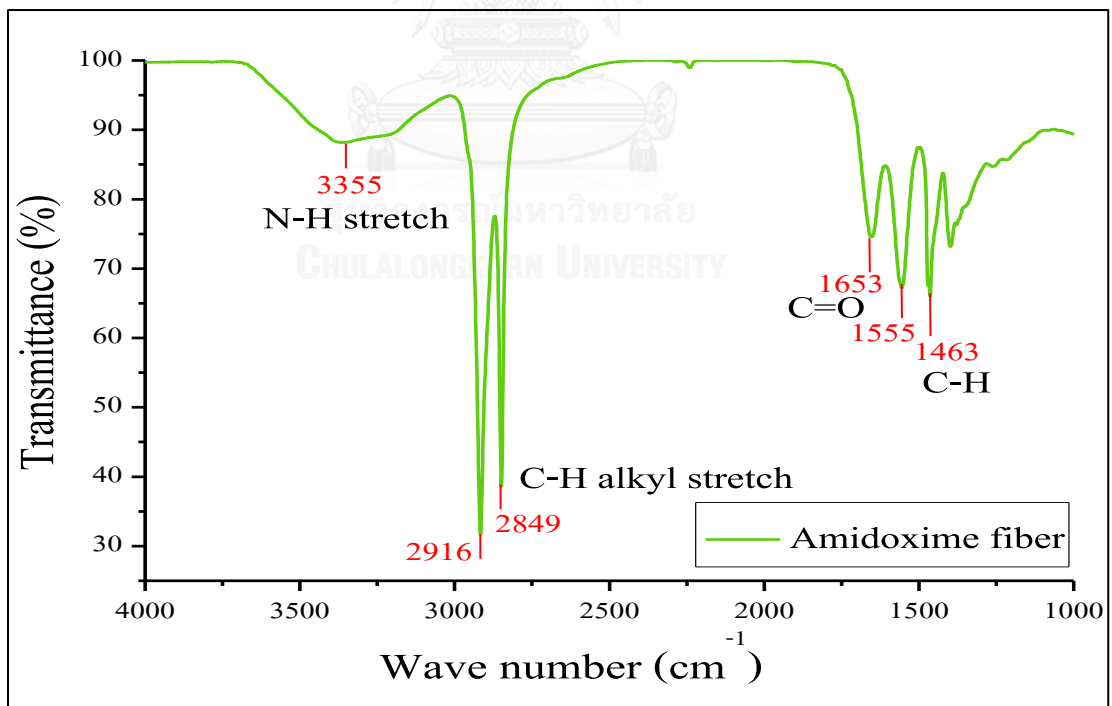
จากการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันของเส้นใย LDPE เส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์ และเส้นใยเอมีตอกซิมด้วยเทคนิค FTIR พบว่ากราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE ปรากฏแถบดูดกลืน C-H alkyl stretch ที่เลขคลื่น 2849 cm^{-1} และ C-H ที่เลขคลื่น 1463 cm^{-1} บ่งบอกลักษณะเฉพาะของเส้นใยพอลิเอทิลีน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์ ปรากฏแถบดูดกลืน C-H alkyl stretch ที่เลขคลื่น 2849 cm^{-1} และ C-H ที่เลขคลื่น 1463 cm^{-1} นอกจากนี้ยังปรากฏแถบดูดกลืน $\text{C}\equiv\text{N}$ (Nitrile) stretch ที่เลขคลื่น 2243 cm^{-1} และแถบดูดกลืน $\text{C}=\text{O}$ ที่เลขคลื่น 1713 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึงการกราฟต์มอนอเมอร์ลงบนเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 4.8 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยเอมีตอกซิม ปรากฏแถบดูดกลืน C-H alkyl stretch ที่เลขคลื่น 2849 cm^{-1} และแถบดูดกลืน C-H ที่เลขคลื่น 1463 cm^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์พบว่าแถบดูดกลืน $\text{C}\equiv\text{N}$ ได้หายไป และปรากฏแถบดูดกลืนของ N-H stretch ที่เลขคลื่น 3355 cm^{-1} แถบดูดกลืน $\text{C}=\text{O}$ ที่เลขคลื่น 1653 cm^{-1} นอกจากนี้ยังปรากฏแถบดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันอื่นที่เลขคลื่น 1555 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งไม่ปรากฏแถบดูดกลืนที่เลขคลื่นดังกล่าวบนกราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิมที่เตรียมโดยการฉายรังสีแกมมาดังแสดงในรูปที่ 4.10



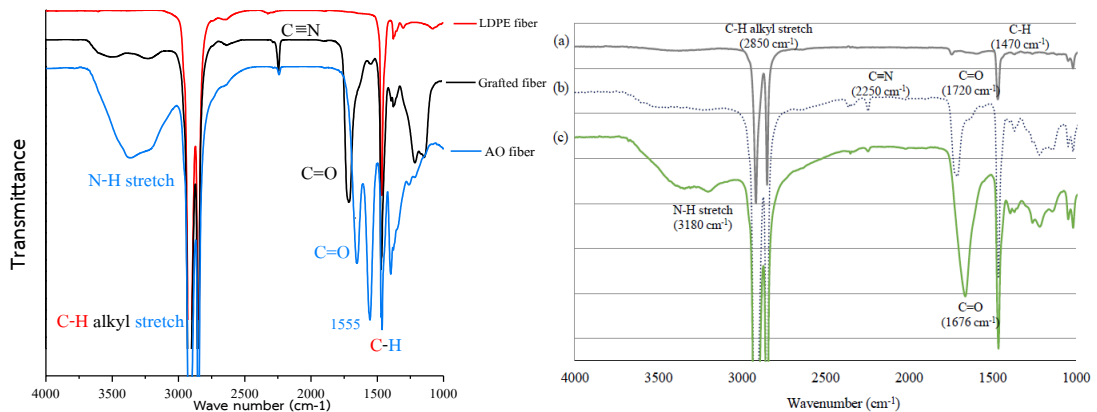
รูปที่ 4.7 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE



รูปที่ 4.8 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE ที่ผ่านการกราฟต์



รูปที่ 4.9 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยเอมีดอกซิม

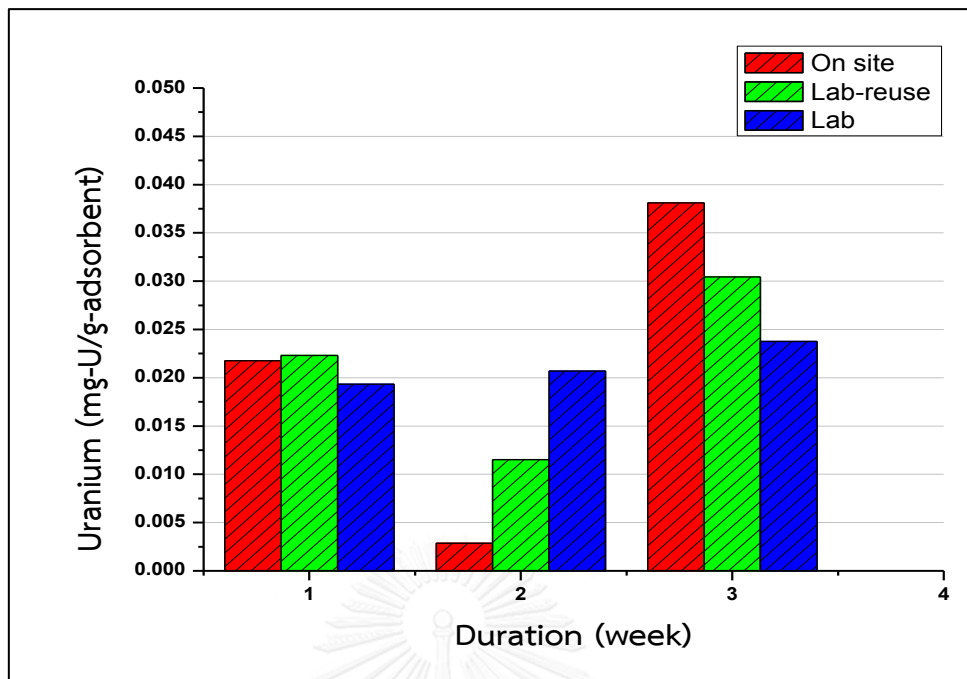


รูปที่ 4.10 กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับยูเรเนียมที่เตรียมโดยการฉายลำอิเล็กตรอน (ซ้าย) และกราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับยูเรเนียมที่เตรียมโดยการฉายรังสีแกมมา (ขวา)

4.7 ผลการทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

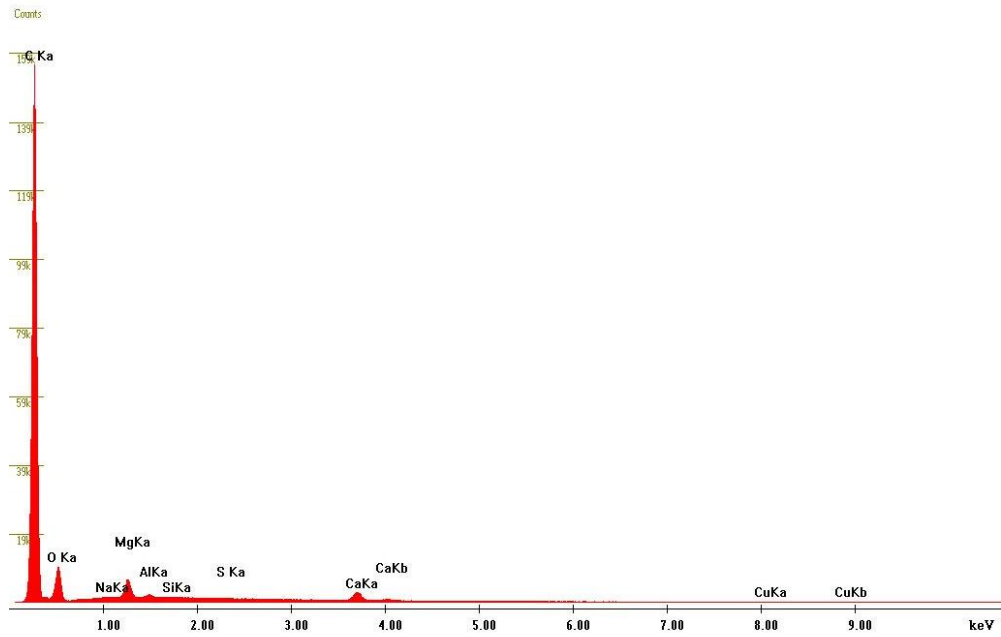
ผลการทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมขึ้นโดยจุ่มแช่ในน้ำทะเลธรรมชาติบริเวณชายฝั่งอันดามัน หน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต ระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ วิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมด้วยเทคนิค ICP-OES ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าที่สัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถดูดซับยูเรเนียมได้เท่ากับ 0.022, 0.003 และ 0.038 mg/g ตัวดูดซับตามลำดับ ที่สัปดาห์ที่ 4, 6 และ 8 ไม่สามารถวัดค่าได้

ผลการทดสอบการดูดซับยูเรเนียมของนำตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมขึ้นโดยจุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมด้วยเทคนิค ICP-OES ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยจุ่มแช่ตัวดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการที่ระยะเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ พบว่าตัวดูดซับยูเรเนียมที่ผ่านการชะยูเรเนียมแล้วนำกลับมาใช้ซ้ำ สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 0.022, 0.012, 0.030 mg/g ตัวดูดซับ ตามลำดับ ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 0.019, 0.021, และ 0.024 mg/g ตัวดูดซับ ตามลำดับ

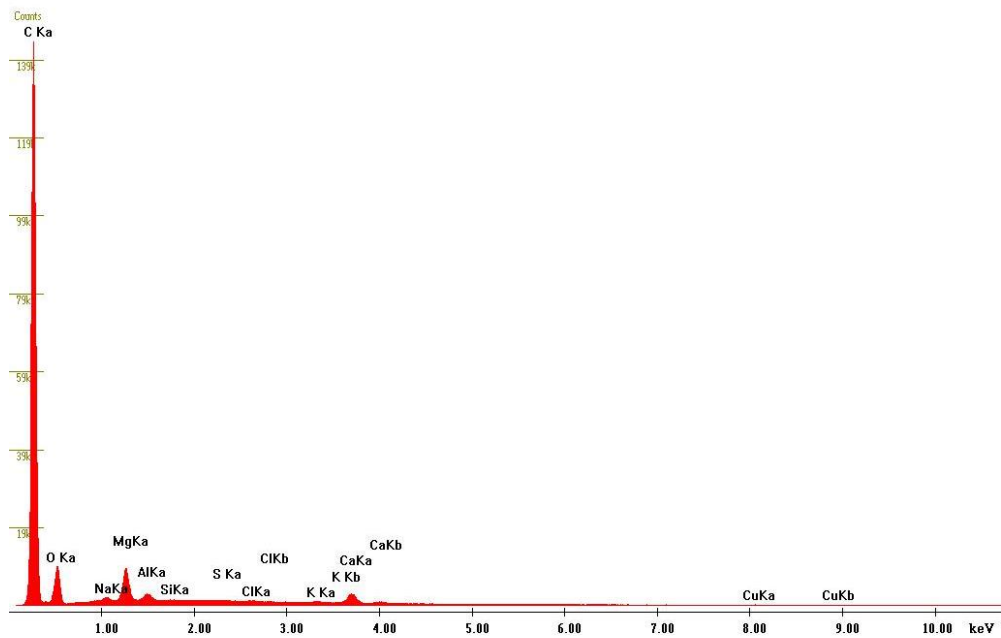


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้กับระยะเวลาจุ่มแช่ในน้ำทะเล

จากผลการวิเคราะห์ธาตุบนเส้นใยตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีตอกซิมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิค EDS พบว่าตัวดูดซับยูเรเนียมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างนาน 1 สัปดาห์ ปรากฏกราฟสเปกตรัมของแมกนีเซียม อะลูมิเนียม และแคลเซียม ดังแสดงในรูป 4.11 ตัวดูดซับยูเรเนียมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างนาน 2 สัปดาห์ ปรากฏกราฟสเปกตรัมของโซเดียม แมกนีเซียม อะลูมิเนียม และแคลเซียม ดังแสดงในรูป 4.12 จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS ไม่ปรากฏกราฟสเปกตรัมของยูเรเนียม



รูปที่ 4.12 กราฟสเปกตรัม EDS ของตัวดูดจับเอมีดอกซิมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างนาน 1 สัปดาห์



รูปที่ 4.13 กราฟสเปกตรัม EDS ของตัวดูดจับเอมีดอกซิมที่จุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างนาน 2 สัปดาห์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy

จากผลการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่ปริมาณรังสีรวมในช่วง 50-500 kGy พบว่าที่ปริมาณรังสีรวมสูงให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์มากกว่าที่ปริมาณรังสีรวมต่ำ เนื่องจากที่ปริมาณรังสีรวมสูงจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากกว่าที่ปริมาณรังสีรวมต่ำ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมากกว่าจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้มากกว่าเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ได้มากกว่า นอกจากปริมาณรังสีรวมสูงจะทำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์โซชันมากกว่าที่ปริมาณรังสีรวมต่ำแล้วยังมีผลในการทำลายโครงสร้างของพอลิเมอร์มากกว่าที่ปริมาณรังสีรวมต่ำเช่นกัน ดังนั้นจึงเลือกปริมาณรังสีรวม 200, 250 และ 300 kGy เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นตอนในขั้นตอนถัดไป

5.2 ผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิห้อง

จากผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมที่อุณหภูมิห้อง พบว่าที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์สูงที่สุดเท่ากับ 60.23% พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์สูงกว่าพลังงานลำอิเล็กตรอน 6 และ 8 MeV โดยพลังงานลำอิเล็กตรอน 6 และ 8 MeV ปริมาณรังสีรวม 200, 250 และ 300 kGy ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 40%

5.3 ผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายลำอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิต่ำ

จากผลการศึกษาพลังงานลำอิเล็กตรอนและปริมาณรังสีรวมขณะฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 6 MeV ปริมาณรังสีรวม 200 kGy ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์สูงที่สุด 51.72% โดยพลังงานลำอิเล็กตรอน 6 MeV ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์มากกว่าพลังงานลำอิเล็กตรอน 4 และ 8 MeV ตามลำดับ เมื่อปริมาณรังสีรวมเพิ่มมากขึ้นเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลง สาเหตุมาจากการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีรวมสูงต้องใช้เวลาในการฉายมากกว่าที่ปริมาณรังสีรวมต่ำ ทำให้มอนอเมอร์อยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน ซึ่งส่งผลให้

ประสิทธิภาพของมอนอเมอร์ลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณรังสีรวมที่เพิ่มสูงขึ้น

5.4 ผลการศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์ในการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

จากผลการศึกษาสัดส่วนมอนอเมอร์สองชนิดในการเตรียมตัวดูดซับเอมีดอกซิม พบว่าเมื่อสัดส่วนของ AN:MAA เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่สัดส่วน AN:MAA เท่ากับ 80:20 ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์สูงที่สุดเท่ากับ 70.44%

จากผลการศึกษาผลของสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดที่มีต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม พบว่าสัดส่วน AN:MAA เท่ากับ 80:20 ให้ความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมสูงที่สุดเท่ากับ 5.32 mol/kg เมื่อสัดส่วนของ AN:MAA เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kawai T. และคณะ [8,9] ได้ศึกษาสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์ AN:MAA ที่สัดส่วน 100:0, 80:20, 60:40 และ 0:100 พบว่าที่สัดส่วน AN:MAA เท่ากับ 100:0 ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์สูงที่สุดแต่เมื่อทดสอบการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลพบว่าที่สัดส่วน AN:MAA เท่ากับ 60:40 แสดงปริมาณการดูดซับยูเรเนียมสูงที่สุด เนื่องจากความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนเส้นใยมากเกินไปทำให้ยูเรเนียมในน้ำทะเลไม่สามารถแพร่เข้าไปถึงเส้นใยได้ ดังนั้นการเลือกสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์ควรให้มีความสมดุลของความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนเส้นใยเพื่อให้ น้ำทะเลสามารถแพร่ผ่านมาถึงเส้นใยได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้มอนอเมอร์ที่มีสัดส่วน AN:MAA เท่ากับ 60:40 ในการเตรียมเส้นใยตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

5.5 ผลการพิสูจน์ลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM

จากผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM พบว่าเส้นใยที่ผ่านการกราฟต์โคพอลิเมอร์จะมีลักษณะขรุขระเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะเส้นใย LDPE แสดงว่ามีการกราฟต์เมทอะคริลิกแอซิดและอะคริโลไนไตรล์บนเส้นใย

5.6 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

จากผลการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR พบว่ากราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย LDPE แสดงแถบดูดกลืนที่บ่งบอกถึงพอลิเอทิลีน กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย-LDPE ที่ผ่านการกราฟต์แสดงแถบดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไซยาโนและหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล ซึ่งบ่ง

บอกการกราฟต์เมทอะคริลิกแอซิดและอะคริโลไนไตรล์ลงบนเส้นใย LDPE ได้สำเร็จ และกราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยเอมีดอกซิมแสดงแถบดูดกลืน N-H stretch และคาร์บอกซิล ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิม นอกจากนี้กราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยเอมีดอกซิมปรากฏแถบดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันอื่นที่เลขคลื่น 1555 cm^{-1} ซึ่งไม่ปรากฏแถบดูดกลืนที่เลขคลื่นดังกล่าวในตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมโดยการฉายรังสีแกมมา เนื่องจากขั้นตอนการกราฟต์พอลิเมโรเซชันพลังงานของลำอิเล็กตรอนสูงกว่าพลังงานของรังสีแกมมา ทำให้เกิดผลผลิตพลอยได้ (by-product) ขึ้นบนเส้นใย เมื่อทำปฏิกิริยากับ NH_2OH เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันอื่นบนเส้นใยตัวดูดจับยูเรเนียมที่เตรียมขึ้น ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดจากข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ควรศึกษาเพิ่มเติมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อื่น

5.7 ผลการทดสอบการดูดจับยูเรเนียมของตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

จากผลการทดสอบการดูดจับยูเรเนียมของตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมขึ้นโดยจุ่มแช่ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอันดามัน หน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต พบว่าตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถดูดจับยูเรเนียมได้ในสัปดาห์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0.022, 0.003 และ 0.038 mg/g ตัวดูดจับ ตามลำดับ ส่วนสัปดาห์ที่ 4, 6 และ 8 ไม่สามารถวัดค่าได้ เนื่องมาจากปัจจัยภายนอก เช่น ตะกอนในน้ำทะเลยังมีผลต่อการดูดจับยูเรเนียมของเส้นใยโดยตะกอนมาเกาะที่ผิวของเส้นใยทำให้ยูเรเนียมไม่สามารถเข้าจับกับหมู่เอมีดอกซิมบนเส้นใยได้

ผลการทดสอบการดูดจับยูเรเนียมของนำตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมขึ้นโดยจุ่มแช่ในน้ำทะเลตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ พบว่าตัวดูดจับยูเรเนียมที่ผ่านการชะยูเรเนียมแล้วนำกลับมาใช้ซ้ำระยะเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ สามารถดูดจับยูเรเนียมได้ 0.022, 0.012, 0.030 mg/g ตัวดูดจับ ตามลำดับ ตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถดูดจับยูเรเนียมได้ 0.019, 0.021, และ 0.024 mg/g ตัวดูดจับ ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการจุ่มแช่นาน 2 สัปดาห์ทั้งในแหล่งน้ำทะเลธรรมชาติและน้ำทะเลตัวอย่างปรากฏว่าปริมาณยูเรเนียมที่ดูดจับได้น้อยกว่าสัปดาห์แรกสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนในการสังเคราะห์เส้นใยตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

ตัวดูดจับยูเรเนียมเอมีดอกซิมที่เตรียมโดยการฉายลำอิเล็กตรอนแสดงปริมาณการดูดจับยูเรเนียมน้อยกว่าตัวดูดจับยูเรเนียมที่เตรียมโดยการฉายรังสีแกมมา เนื่องจากเกิดหมู่ฟังก์ชันอื่นบนตัวดูดจับยูเรเนียมที่เตรียมขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการดูดจับยูเรเนียมมีประสิทธิภาพกว่า เมื่อเทียบกับตัวดูดจับยูเรเนียมที่เตรียมโดยการฉายรังสีแกมมา

ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS ปรากฏกราฟสเปกตรัมของโซเดียม แมกนีเซียม อะลูมิเนียม และแคลเซียม แต่ไม่ปรากฏกราฟสเปกตรัมของยูเรเนียม เนื่องจากปริมาณยูเรเนียมเกินกว่าขีดความสามารถในการตรวจวัดด้วยเทคนิค EDS

5.8 ข้อเสนอแนะ

- 5.8.1 ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลในการยับยั้งการดูดจับยูเรเนียมของเส้นใยเอมีดอกซิม
- 5.8.2 ศึกษาการดูดจับยูเรเนียมเปรียบเทียบปริมาณในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ
- 5.8.3 ศึกษาทดลองวิธีลดพลังงานอิเล็กตรอน
- 5.8.4 ศึกษาเอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันด้วยด้วยเทคนิค FITR ของเส้นใยเอมีดอกซิมที่เตรียมฉายด้วยลำอิเล็กตรอนพลังงาน 6 และ 8 MeV เพิ่มเติม
- 5.8.4 ศึกษาผลของสัดส่วนองค์ประกอบมอนอเมอร์ที่มีผลต่อการกราฟต์และการดูดจับยูเรเนียมเพิ่มเติม
- 5.8.4 ศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบมอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น อะครีโลไนไตรล์และอะคริลิกแอซิดเนื่องจากอะคริลิกแอซิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี

รายการอ้างอิง

1. ทางออกวิกฤตพลังงานไฟฟ้าของไทย, in เดลินิวส์. 2557.
2. *Number of nuclear reactors operable and under construction*. 2014; Available from: <http://www.world-nuclear.org/Nuclear-Basics/Global-number-of-nuclear-reactors>.
3. Seko N., et al., *Aquaculture of uranium in seawater by a fabric-adsorbent submerged system*. Nuclear Technology, 2003. 144: p. 274-278.
4. Liu X., et al., *Adsorption of the Uranyl Ions on an Amidoxime-Based Polyethylene Nonwoven Fabrication Prepared by Preparation-Induced Emulsion Graft Polymerization*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012. 51: p. 15089-15095.
5. Saito K. , et al., *Porous Amidoxime-Group-Containing Membrane for the Recovery of Uranium from Seawater*. American Chemical Society, 1987. 26: p. 1977-1981.
6. Kabay N. , Katakai A., and Sugo T., *Preparation of Amidoxime-fiber adsorbent by radiation-induced grafting*. Radiation Physics and Chemistry, 1995. 46: p. 833-836.
7. สงวนศักดิ์ ไส้กันยา, การพัฒนาพอลิเอทิลีนพอลิเมออร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมเพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด, in สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิศวกรรมนิวเคลียร์. 2554, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. Kawai T., et al., *Preparation of hydrophylic amidoxime fibers by cograftering acrylonitrile and methacrylic acid from an optimized monomer composition*. Radiation Physics and Chemistry, 2000. 59: p. 405-411.
9. Kawai T, et al., *Comparison of Amidoxime Adsorbents Prepared by Cograftering Methacrylic Acid and 2-Hydroxyethyl Methacrylate with Acrylonitrile onto Polyethylene*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2000. 39: p. 2910-1915.
10. Chai Nakpiban, *Lesson 6.04 – The Composition of Seawater*. 2014: PB WORKS.

11. Trujillo A. P. and Thurman V. H., *Essentials of Oceanography* 2011, Peason Education, Inc.
12. มนูวดี หังสพฤกษ์, et al., *สาระวิทยาศาสตร์ทางทะเล*. 2014.
13. Bardi U, *Extracting Minerals from Seawater: An Energy Analysis*. Sustainability, 2010. 2: p. 980-992.
14. วรวิกรม รัตนิสสัย, การสกัดยูเรเนียมจากน้ำทะเลโดยใช้เส้นใยพอลิเอทิลีน (อะครีโลไนไตรล์) เอมีตอกซิมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดโครมิก, in สาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์ 2557, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
15. Craig Gorin, *Extraction of Uranium from Seawater*. coursework for Physics 240, Stanford University, Fall 2010.
16. Mckeen W. L., *Introduction to Plastics and Polymers*, in *PERMEABILITY PROPERTIES OF PLASTICS AND ELASTOMERS*. 2012, Elsevier Inc. p. 21-30.
17. *Polyethylene - Its Properties and uses*. 2014; Available from: <http://www.slideshare.net/bin95/183-polyethylene-itspropertiesanduses>.
18. *Polyethylene*. 2013; Available from: <http://steinwall.le8.getliveedit.com/pages/Polyethylene>.
19. Lokensgard E, *Radiation Processes, in Industrial Plastics Theory and Applications*. 2004, Delmar Learning, a division of Thomson Learning, Inc. p. 335-343.
20. Bhattacharya A., Rawlines W J., and Paramita R., eds. *Polymer grafting and crossling*. 2009, John Wiley & Sons, Inc.
21. Subrahmanyam N., Lal B., and Seshan J., *Interaction of charged particles and neutrons with matter*, in *ATOMIC AND NUCLEAR PHYSICS*. 2000, S. CHAND & COMPANY LTD. p. 187-193.
22. Saha G. B., *Interaction of Radiation with Matter*, in *Physics and Radiology of Nuclear Medicine* 2001, Springer - Verlag New York, Inc. p. 51-65.
23. Gagnon, P. *The hidden face of CERN*. 2013; Available from: <http://www.quantumdiaries.org/2012/02/15/the-hidden-face-of-cern/>.
24. Astrid A. M. van der Veldt, Smit E. F., and Lammertsma A. A. , *Positron emission tomography as a method for measuring drug delivery to tumors in vivo: the example of [11C]docetaxel*. *frontierars in ONCOLOGY*, 2013. 3: p.1-7.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

1. การคำนวณหาระดับการกราฟต์

$$\% \text{grafting} = \frac{(W_g - W_i)}{W_i} \times 100$$

โดย

W_g = น้ำหนักเส้นใย LDPE หลังกราฟต์

W_i = น้ำหนักเส้นใย LDPE ก่อนกราฟต์

2. การเตรียมสารละลาย 3% (W/V) $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$

เตรียมจาก $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ บริษัท Fluka มวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 162.21

ใน Methanol : DI water 100 ml มี $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ อยู่ 3 กรัม

ต้องการเตรียม 1,800 ml ต้องชั่ง $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 54 กรัม

ชั่ง $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ โดยคำนวณจากสมการ

$$g = \frac{1,800 \text{ ml} \times 3 \text{ g}}{100 \text{ ml}} = 54 \text{ g}$$

ซึ่งจริงเท่ากับ 54.0429 กรัม เติมสารละลาย Methanol : DI water ปริมาตร 1,801.43 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้สารละลาย 3% (W/V) $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$

3. การเตรียมสารละลาย 2.5% (W/V) KOH

เตรียมจาก $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ บริษัท Fluka มวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 162.21

ในน้ำ 100 ml มี $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ อยู่ 2.5 กรัม

ต้องการเตรียม 1,800 ml ต้องชั่ง $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 45 กรัม

ชั่ง KOH โดยคำนวณจากสมการ

$$g = \frac{1,800 \text{ ml} \times 2.5 \text{ g}}{100 \text{ ml}} = 45 \text{ g}$$

ซึ่งจริงเท่ากับ 45.8385 กรัม เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 1,833.54 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้สารละลาย 2.5% (W/V) KOH

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ในการศึกษาการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีรวม 50-500 kGy
พลังงานลำอิเล็กตรอน 8 MeV

ปริมาณรังสีรวม (kGy)	น้ำหนักเส้นใยก่อนการ กราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการ กราฟต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์ โคพอลิเมอร์ (%)
50	0.5794	0.7582	30.86
	0.5739	0.7475	30.25
	0.5846	0.7636	30.62
100	0.5609	0.7882	40.52
	0.5994	0.8468	41.27
	0.5882	0.8274	40.67
150	0.5386	0.7575	40.64
	0.5652	0.7934	40.38
	0.5253	0.7304	39.04
200	0.5621	0.7940	41.26
	0.5462	0.7606	39.25
	0.5517	0.7602	37.79
250	0.5536	0.7716	39.38
	0.5580	0.7744	38.78
	0.5641	0.7756	37.49
300	0.5662	0.7956	40.52
	0.5534	0.7865	42.12
	0.5478	0.7671	40.03
350	0.5574	0.7845	40.74
	0.5528	0.7872	42.40
	0.5572	0.7941	42.52

ตารางที่ ข.2 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ในการศึกษาการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีรวม 50-500 kGy พลังงานลำอิเล็กตรอน 8 MeV (ต่อ)

ปริมาณรังสีรวม (kGy)	น้ำหนักเส้นใยก่อนการกราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการกราฟต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ (%)
400	0.5473	0.7685	40.42
	0.5399	0.7549	39.82
	0.5574	0.7744	38.93
450	0.5704	0.8532	49.58
	0.5322	0.7756	45.73
	0.5639	0.8174	44.95
500	0.5662	0.8342	47.33
	0.5726	0.8324	45.37
	0.5694	0.8292	45.63

ตารางที่ ข. 3 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV

ปริมาณรังสีรวม (kGy)	น้ำหนักเส้นใยก่อนการกราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการกราฟต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ (%)
200	1.1870	1.7442	46.94
	1.1880	1.7430	46.72
	1.4916	2.2317	49.62
250	1.5876	2.4940	57.09
	1.5597	2.5468	63.29
	1.6921	2.7128	60.32
300	1.3858	2.2115	59.58
	1.4008	2.1457	53.18
	1.4431	2.2557	56.31

ตารางที่ ข. 4 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 6 MeV

ปริมาณรังสีรวม (kGy)	น้ำหนักเส้นใยก่อนการ กราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการ กราฟต์(กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์ โคพอลิเมอร์ (%)
200	1.1618	1.6161	39.1
	1.3213	1.8363	38.98
	1.4486	1.9941	37.66
250	1.3241	1.8127	36.9
	1.2777	1.7472	36.74
	1.1603	1.5991	37.82
300	1.0080	1.3877	37.67
	1.1893	1.6404	37.93
	1.2677	1.7487	37.94

ตารางที่ ข.5 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ที่อุณหภูมิต่ำ

ปริมาณรังสีรวม (kGy)	น้ำหนักเส้นใยก่อนการ กราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการ กราฟต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์ โคพอลิเมอร์ (%)
200 kGy	1.1629	1.5317	31.71
	1.332	1.8254	36.92
	1.3711	1.9835	44.66
250 kGy	1.3825	1.9036	37.69
	1.3323	1.8574	39.41
	1.2081	1.6938	40.20
300 kGy	1.3260	1.7691	33.42
	1.0702	1.3211	23.44
	1.3498	1.8763	39.00

ตารางที่ ข.6 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 6 MeV ที่อุณหภูมิต่ำ

ปริมาณรังสีรวม (kGy)	น้ำหนักเส้นใยก่อนการกราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการกราฟต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์ โคลพอลิเมอร์ (%)
200 kGy	1.1651	1.7488	50.10
	1.1549	1.7366	50.37
	1.3699	2.1193	54.70
250 kGy	1.2281	1.8743	52.62
	1.2607	1.8683	48.20
	1.2987	1.9483	50.02
300 kGy	1.4153	1.9486	37.68
	1.1458	1.6513	44.12
	1.1352	1.5978	40.75

ตารางที่ ข.7 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลของพลังงานลำอิเล็กตรอน 8 MeV ที่อุณหภูมิต่ำ

ปริมาณรังสีรวม (kGy)	น้ำหนักเส้นใยก่อนการกราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการกราฟต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์ โคลพอลิเมอร์ (%)
200	1.3365	1.4750	10.36
	1.0594	1.1378	7.40
	1.1032	1.1777	6.75
250	1.0750	1.1057	2.86
	1.2446	1.3221	6.23
	1.3860	1.4957	7.91
300	1.1184	1.1993	7.23
	1.1704	1.2007	2.59
	1.2063	1.2572	4.22

ตารางที่ ข.8 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาผลขององค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดต่อการกราฟต์ที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy

อัตราส่วน AN:MAA	น้ำหนักเส้นใยก่อนการ กราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังการ กราฟต์ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์กราฟต์ โคพอลิเมอร์ (%)
20:80	1.5794	1.8867	19.46
	1.4989	1.7592	17.37
	1.6541	1.9057	15.21
40:60	1.6768	2.3252	38.67
	1.6816	2.2836	35.80
	1.6881	2.3672	40.22
60:40	1.3878	2.0183	45.43
	1.1965	1.7587	46.99
	1.3787	2.0048	45.41
80:20	1.5929	2.6337	65.34
	1.6794	2.9706	76.88
	1.4173	2.3968	69.11

ตารางที่ ข.9 น้ำหนักเส้นใย LDPE ที่ใช้ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล ที่พลังงานลำอิเล็กตรอน 4 MeV ปริมาณรังสีรวม 250 kGy

ชุดที่	น้ำหนักเส้นใย ที่ผ่านกราฟต์ (กรัม)	น้ำหนักเส้นใย เอมีตอกซิม (กรัม)	น้ำหนักเส้นใยหลังผ่าน กระบวนการ Alkaline treatment (กรัม)
1	14.8078	16.8178	16.9121
2	15.2522	17.3414	17.7562
3	15.4545	17.6188	17.7247
4	14.6213	16.5882	17.3839
5	15.0658	17.1466	17.3704
6	15.0310	17.0018	16.9122

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัมพิกา จาวะนา เกิดวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2531 ภูมิลำเนาอยู่บ้านเลขที่ 32/1 หมู่ที่ 3 บ้านป่าสัก ตำบลเชียงของ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2553 เมื่อจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่ศูนย์การแพทย์โรงพยาบาลกรุงเทพ ตำแหน่งนักรังสีการแพทย์ และในปีการศึกษา 2555 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญาโทที่ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

