

การพัฒนาพอลิเอทิลีนพอลิเมอริกที่มีหมู่เอมีดอกซึมเพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด

นายสงวนศักดิ์ ไข่มุกดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEVELOPMENT OF POLYETHYLENE POLYMER CONTAINING AMIDOXIME GROUP TO
BE USED FOR URANIUM ADSORPTION IN FRESH WATER

Mr. Sanguansak Hykunya

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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาพอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมเพื่อใช้
	ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด
โดย	นายสงวนศักดิ์ ใ้แก่นยา
สาขาวิชา	นิเวศวิทยาระบบนิเวศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปลัมภ์)

สงวนลิขสิทธิ์ ใ้กันยา : การพัฒนาพอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมเพื่อใช้ดูดซับ ยูเรเนียมในน้ำจืด.(DEVELOPMENT OF POLYETHYLENE POLYMER CONTAINING AMIDOXIME GROUP TO BE USED FOR URANIUM ADSORPTION IN FRESH WATER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง, 67 หน้า.

ได้เตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมจากปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไฮดรอกซิลโดยรังสีแกมมา และใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด การเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเตรียมได้โดยนำพอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ผสมกับมอนอเมอร์ อะคริโลไนไตรล์ (AN)/เมทาคริลิกแอซิด (MAA) ที่ความดันบรรยากาศต่ำ และฉายรังสีแกมมา แล้วเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันไฮยาโนเป็นหมู่เอมีดอกซิมด้วย ไฮโดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) ซึ่งจะทำให้เกิดหมู่เอมีดอกซิมขึ้นบนแผ่นพอลิเอทิลีน (PEAO) ได้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 144 % จากการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 40 kGy แต่ที่ 30 kGy สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดจากสารละลายยูเรนิลคาร์บอนเนต 10 ppm ที่เตรียมขึ้น และจากการชะล้างยูเรเนียมที่ความเข้มข้นไฮโดรคลอริกแอซิด 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ ที่ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ สามารถชะล้างได้มากที่สุด คือ 10.44 mg/g ตัวดูดซับ หลังจากนั้นนำตัวดูดซับที่เตรียมได้จากการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 30 kGy ไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับยูเรเนียมจากน้ำจืดที่แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ผลการทดสอบคือ PEOA สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ที่ 5.44 และ 3.32 mg/g ตัวดูดซับตามลำดับโดยใช้เวลาในการดูดซับ 2 สัปดาห์ จากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของการเตรียมตัวดูดซับ $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ นอกจากนี้ตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นสามารถนำไปใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืดได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมนิวเคลียร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554.....

5270528121: MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : POLYETHYLENE / AMIDOXIME / URANIUM ADSORPTION / FRESH WATER.

SANGUANSAK HYKUNYA: DEVELOPMENT OF POLYETHYLENE POLYMER CONTAINING AMIDOXIME GROUP TO BE USED FOR URANIUM ADSORPTION IN FRESH WATER. ADVISOR: ASST.PROF.DOONYAPONG WONGSAWAENG, Ph.D., 67 pp.

Uranium adsorbent was prepared from graft copolymerization using gamma radiation and applied to uranium adsorption in fresh water. The adsorbent was prepared by mixing polyethylene polymer with acrylonitrile (AN) /methacrylic acid (MAA) monomers under low atmospheric pressure and irradiated with gamma radiation. The functional cyano group was subsequently converted into the amidoxime group hydroxylamine hydrochloride ($\text{NH}_2\text{OH.HCl}$), yielding the amidoxime group on polyethylene sheet (PEAO). The degree of grafting was 144 % at the gamma dose of 40 kGy. However, at 30 kGy, uranium adsorption was highest with the prepared 10 ppm uranyl carbonate solution. The uranium was eluted with the concentration gradient of 0.25, 0.5, 1.0 and 2.0 M hydrochloric acid was found the concentration 2.0 M has a most elution efficiency is 10.44 mg/g adsorbent. The prepared adsorbent, 30 kGy gamma dose, was performance-tested by submerging in the chao phraya and bangpakong river. Tested results revealed that the adsorption efficiency of PEAO was 5.44 and 3.32 mg/g adsorbent respectively at the adsorption time for 2 weeks. The reaction time converting of $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ is effect to percent grafting on the adsorbent. Moreover, the adsorbent can be used uranium adsorption in fresh water.

Department : Nuclear Engineering..... Student's Signature.....

Field of Study : Nuclear Technology..... Advisor's Signature.....

Academic Year : 2011.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ และรองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ผู้เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ทุนการศึกษาในโครงการความร่วมมือในการผลิต นักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่ คุณหนูเทียน ไข่มุกกันยา และ คุณสมพงษ์ ไข่มุกกันยา ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ คุณนินนาท วีระวัฒน์ คุณโกมล เขียวสกุล และ คุณจตุพล แสงสุริยันต์ ผู้ซึ่งเป็นผู้บังคับบัญชาที่ให้โอกาสไปศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.เกศินี เหมวิเชียร คุณวรวรณี ศรีนุตตระกุล และ คุณสำราญ หงษ์สาหิน ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ และขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือโดยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 พอลิเอทิลีน.....	7
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีน.....	7
2.3 ลักษณะทั่วไปของมอนอเมอร์.....	8
2.4 คุณสมบัติทั่วไปของยูเรเนียม.....	9
2.5 ประโยชน์ของยูเรเนียม.....	11
2.5.1 การนำยูเรเนียมไปใช้ในด้านอื่น.....	11
2.6 ไอโซโทปของยูเรเนียม.....	14
2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	14
2.6.2 ยูเรเนียมในรูปของสารประกอบ.....	15
2.6.3 ความเป็นพิษ.....	15
2.7 ค่า G value ของการเชื่อมโยงและการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยรังสี.....	16
2.8 การพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา (polymerization).....	17

2.8.1 การเริ่มปฏิกิริยา (Initiation).....	18
2.8.2 การดำเนินปฏิกิริยา (Propagation).....	18
2.8.3 การสิ้นสุดปฏิกิริยา (Termination).....	19
2.9 เทคนิคการพอลิเมอไรเซชัน.....	20
2.9.1 Simultaneous irradiation technique.....	20
2.9.2 Pre – irradiation technique.....	20
2.10 โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymers).....	21
2.10.1 พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymers).....	21
2.10.2 พอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ (Alternating copolymers).....	22
2.10.3 พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (Block copolymers).....	22
2.10.4 พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง (Graft copolymers).....	22
2.11 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี (Modification of Polymer by Radiation).....	23
2.12 ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี.....	24
บทที่ 3. วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์.....	25
3.2 รายการสารเคมี.....	26
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.3.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของหมู่เอมีดอกซิมกับพอลิเอทิลีน.....	26
3.3.1.1 การเตรียมสารละลายอะคริโลไนไตรล์กับเมทอะคริลิกแอซิด..	26
3.3.1.2 การเตรียมสารละลายไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์.....	27
3.3.1.3 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	27
3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมาโดยใช้วิธี simultaneous irradiation.....	27
3.3.3 การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีดอกซิมบนแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	27
3.3.4 การศึกษาผลของปริมาณรังสี (Total dose) ต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอไรเซชัน.....	27

3.3.5 การพิสูจน์ลักษณะสมบัติเฉพาะของกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	28
3.3.5.1 เทคนิค FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)..	28
3.3.5.2 เทคนิค SEM (Scanning electron microscope).....	28
3.3.6 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับยูเรเนียม.....	28
3.3.6.1 การเตรียมยูเรเนียมเพื่อที่จะใช้ในการดูดซับในห้องปฏิบัติการ...	28
3.3.6.2 ปริมาณรังสีที่ใช้ดูดซับสารละลายยูเรเนียม.....	29
3.3.7 การศึกษาหาประสิทธิภาพในการชะล้างยูเรเนียม.....	29
3.3.7.1 นำตัวดูดซับไปดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดภายในประเทศ 2 แห่ง.....	29
บทที่ 4. ผลการทดลอง.....	30
4.1 ผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	30
4.2 ผลของการทดสอบด้วย FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)..	30
4.3 ผลของการทดสอบด้วย SEM (Scanning electron microscope).....	33
4.4 ผลของการดูดซับยูเรเนียมที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy.....	34
4.5 ผลของการชะล้างยูเรเนียมด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1 และ 2 โมลาร์.....	36
4.6 ผลของเวลาต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืด.....	37
4.6.1 ผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 1 แม่น้ำ เจ้าพระยา.....	37
4.6.2 ผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 2 แม่น้ำ บางปะกง.....	39
บทที่ 5. สรุปผลการทดลอง.....	42
5.1 ผลการทดลองปริมาณรังสีที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	42
5.2 ผลการทดสอบด้วย FTIR-Spectrometer.....	42
5.3 ผลการทดสอบด้วย SEM(scanning electron microscope).....	42
5.4 ผลการทดลองการชะล้างยูเรเนียม.....	42
5.5 ผลการทดลองการดูดซับยูเรเนียมที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy.....	43
5.6 ผลการทดลองระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดที่ 1 และ 2..	43

	ญ
	หน้า
5.7 ข้อเสนอแนะ.....	44
รายการอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก.....	47
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	คุณสมบัติทั่วไปของอะคริไลโนไตรล์.....	9
2.	คุณสมบัติทั่วไปของเมทอะคริลิกแอซิด.....	9
3.	คุณสมบัติทางกายภาพของยูเรเนียม.....	14
4.1	ผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	30
4.2	ปริมาณรังสีที่มีผลต่อการดูดซับยูเรเนียมที่ 10, 20, 30, และ 40 kGy.....	34
4.3	ผลของการชะล้างยูเรเนียมด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1 และ 2 โมลาร์.....	36
4.4	ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 1.....	37
4.5	ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 2.....	39
4.6	ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้มากที่สุดจากแหล่งน้ำจืดที่ 1 และ 2	40

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมที่มีหมู่เอมิดอกซิมโดยการกราฟต์ด้วย รังสีแกมมา.....	3
2.1	โครงสร้างของพอลิเอทิลีน.....	7
2.2	โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์อะคริโลไนไตรล์.....	8
2.3	โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์เมทอะคริลิกแอซิด.....	8
2.4	แสดง Decay scheme ของอนุกรมยูเรเนียม 238.....	12
2.5	แสดง Decay scheme ของอนุกรมยูเรเนียม 235.....	13
2.6	การแตกตัวของอนุมูลอิสระ.....	17
2.7	การเกิดอนุมูลสะเทินจากอนุมูลอิสระ.....	17
2.8	กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ.....	18
2.9	การทำปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระกับโมเลกุลพอลิเมอร์.....	18
2.10	การเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์.....	19
2.11	การเกิดกราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างพอลิเอทิลีนกับอะคริโลไนไตรล์และ เมทอะคริลิกแอซิด.....	20
2.12	การกราฟต์แบบเปอร์ออกไซด์พอลิเมอร์.....	21
2.13	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม.....	22
2.14	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบสลับ.....	22
2.15	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก.....	22
2.16	การจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในโมเลกุลพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ่กิ่ง.....	22
2.17	การเกิดการเชื่อมโยงข้ามของพอลิเมอร์.....	23
2.18	การเกิดการตอ่กิ่งกราฟต์ของพอลิเมอร์.....	23
2.19	การเกิดการตัดทอนโมเลกุลของพอลิเมอร์.....	23
2.20	ปฏิกิริยาการฉายรังสีพอลิเมอร์ในอากาศ.....	24
4.1	FTIR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนที่มี $-C \equiv N$ ที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy.....	31

ภาพที่		หน้า
4.2	FTIR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนที่หมูเอมีดอกซิมที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy.....	31
4.3	ผลของปริมาณรังสีที่มีต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์.....	32
4.4	พอลิเอทิลีนก่อนการกราฟต์.....	33
4.5	พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 10 kGy.....	33
4.6	พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 20 kGy.....	33
4.7	พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 30 kGy.....	34
4.8	พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 40 kGy.....	34
4.9	ผลของปริมาณรังสีที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียม.....	35
4.10	ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อการชะล้างยูเรเนียม.....	36
4.11	ผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 1.....	38
4.12	ผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 2.....	39
4.13	เปรียบเทียบผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมทั้ง 2 แห่ง.....	40

บทที่ 1

บทนำ

พอลิเมอร์ (polymer) ความหมายของพอลิเมอร์นั้นมาจากรากศัพท์ภาษากรีกที่สำคัญ 2 คำ คือ Poly (จำนวนมาก) และ Meros (ส่วน หรือ หน่วย) พอลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) ซึ่งจะประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกันของมอนอเมอร์ (Monomer) หลายๆ หน่วยมาทำปฏิกิริยากัน มอนอเมอร์นี้จัดเป็นสารไมโครโมเลกุล (Micromolecule) ชนิดหนึ่ง พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมด จัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) แต่ถ้ามีมอนอเมอร์ต่างกันตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป จัดเป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymer) สารบางอย่างที่มีสมบัติอย่างพอลิเมอร์ เช่น สารพวกไขมันที่มีแต่ละหน่วยที่ไม่ซ้ำกันนั้นจะเป็นเพียงแค่สารแมโครโมเลกุลเท่านั้น ไม่จัดเป็นพอลิเมอร์

พอลิเมอร์มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural polymer) และมีทั้งที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ (Synthetic polymer) พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาตินี้ได้แก่ เซลลูโลส แป้ง กรดนิวคลีอิก โปรตีน และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์นั้น เช่น พลาสติก เส้นใย โฟม และกาว พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน เราจำเป็นต้องใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์แต่ละชนิดนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป จึงทำหน้าที่หรือนำไปใช้งานที่แตกต่างกันได้

พอลิเมอร์ที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดคือพลาสติก ซึ่งเป็นคำที่ใช้อ้างถึงกลุ่มของวัสดุธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์กลุ่มใหญ่ที่มีคุณสมบัติและการใช้งานต่างกัน พอลิเมอร์ธรรมชาติเช่น อัมพัน ซึ่งมีการใช้มาเป็นเวลากว่าศตวรรษ พอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น โปรตีนและกรดนิวคลีอิกที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพ พอลิเมอร์ธรรมชาติอื่นๆ เช่น เซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษและไม้ พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ บากาไลต์, ไนลอน, พีวีซี, พอลิสไตรีน, พอลิเอทิลีน, โพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต และพีวีบี

พอลิเมอร์สังเคราะห์ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด พอลิเมอร์มีการใช้ในการยึดเกาะและการหล่อลื่นอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างจนถึงยานอวกาศ มีการใช้เป็นตัวดูดซับของเหลวหรือไอออนของโลหะบางชนิด ผ่านกระบวนการทางเคมีแต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์โดยใช้วิธีการทางนิวเคลียร์ เช่น ฉายรังสีพอลิเมอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กระบวนการกราฟต์ด้วยรังสี (Radiation Grafting) ถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์วัสดุต่างๆ มากมาย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่าย ประหยัดพลังงาน สามารถทำปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง ควบคุมปฏิกิริยาได้ดีกว่ากระบวนการทางเคมี และไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารริเริ่มปฏิกิริยา

การใช้รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยา (Graft Polymerization) สามารถนำหมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติต่างๆ เชื่อมต่อกับสายโซ่ของพอลิเมอร์สายหลักแบบต่อกิ่ง หลังจากนั้นใช้กระบวนการทางเคมีเข้าช่วยในการดัดแปลงคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันให้มีคุณสมบัติเฉพาะเจาะจงกับการใช้งาน (Choi and Nho, 2000)

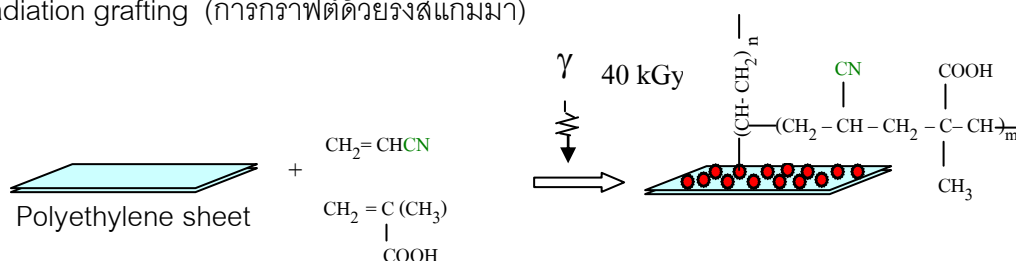
ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญที่ต้องการให้เกิดในพอลิเมอร์โดยรังสี ได้แก่ การครอสลิงค์ หรือการเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติ หรือการทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ขาดโดยรังสีนั้น เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับในสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ปฏิกิริยาอื่นๆ เช่นการเชื่อมสลายโดยรังสีในสารอินทรีย์ก็เกิดในพอลิเมอร์ เช่นเดียวกันในรูปของการเกิดพันธะคู่เป็นต้น แต่เนื่องจากพอลิเมอร์มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าสารอินทรีย์ทั่วไป การเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยรังสีเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไปได้มาก ซึ่งทำให้เกิดลักษณะสมบัติที่เปลี่ยนไปและทำให้การใช้รังสีเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้นเป็นไปได้ง่าย

กระบวนการทางรังสี (Radiation processing) ถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติเด่นเฉพาะทางกายภาพและทางเคมี เช่นพอลิเมอร์เมื่อได้รับรังสีจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่ง (graft polymerization) การเกิดพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงข้าม (cross linking) หรือการทำให้แตกสลาย (degradation) ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์และปริมาณรังสี ข้อดีของการใช้รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่ง คือ หมู่ functional ทำหน้าที่ที่มีสมบัติเฉพาะสามารถเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่ง (grafting) กับพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสายโซ่หลัก ที่มีรูปแบบหลากหลายเช่น เส้นใย พิล์ม เยื่อ หลังการเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่ง พอลิเมอร์หลักยังคงมีสมบัติคงเดิม การกระจายของหมู่ทำหน้าที่ที่มีสมบัติเฉพาะบนสายโซ่พอลิเมอร์หลัก สามารถควบคุมได้ง่าย โดยการเลือกสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น ปริมาณรังสีรวม (total dose) และอัตราปริมาณรังสี (dose rate) โดยใช้รังสีที่มีพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่พอลิเมอร์หลัก ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ ทำให้ไม่ต้องใช้สารริเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนของสารริเริ่มปฏิกิริยา และลดขั้นตอนการกำจัดสารริเริ่มปฏิกิริยาหลังการเกิดปฏิกิริยา กระบวนการทางรังสีถูก

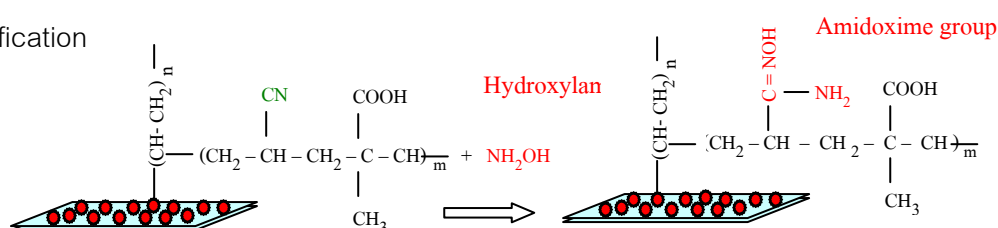
นำมาใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับโลหะ ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจงในการดูดซับโลหะชนิดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับไอออนยูเรเนียมจากพอลิเมอร์โดยการฉายรังสีแกมมา (Nalan, Akio, and Sugo, 1995) แล้วต่อกิ่งเอมีดอกซิมบนแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ กระบวนการดังกล่าวอาศัยปฏิกิริยาการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์แบบต่อกิ่งจากการทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์ผสมระหว่าง อะคริโลไนไตรล์ (AN)/เมทอะคริลิก แอซิด (MAA) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (Choi et al., 2003) โดยมอนอเมอร์ AN/MAA จะทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันไซยาโนและคาร์บอกซิล แล้วเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันไซยาโนเป็นเอมีดอกซิม จากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นมาสามารถที่จะดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำได้ ดังภาพที่ 1.1

1. Radiation grafting (การกราฟต์ด้วยรังสีแกมมา)



2. Modification



ภาพที่ 1.1 การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมที่มีหมู่เอมีดอกซิมโดยการกราฟต์ด้วยรังสีแกมมา

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อพัฒนาพอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมสำหรับใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 สังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิม

1.3.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับยูเรเนียมในห้องทดลอง

1.3.3 นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดในประเทศอย่างน้อย 2 แห่ง

1.3.4 หาประสิทธิภาพในการชะล้างยูเรเนียมในพอลิเมอร์

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 คำนวณรวบรวมข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ทดลองพอลิเอทิลีนโดยการใช้เทคนิค Simultaneous irradiation ทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา

1.4.3 ศึกษาผลของปริมาณรังสี (total dose) ต่อการเกิดปฏิกิริยา กราฟต์พอลิเมอไรเซชัน

1.4.4 ทำการสกัดแยกไฮโมพอลิเมอร์ออกจากกราฟต์โคพอลิเมอร์

1.4.5 วิเคราะห์คุณสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค FTIR- Spectroscopy

1.4.6 ทำการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีดออกซิมบนแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์

1.4.7 ตรวจสอบกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยหาค่า % grafting

1.4.7 วิเคราะห์คุณสมบัติของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค FTIR-Spectroscopy และ SEM (Scanning electron microscope)

1.4.8 ทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้โดยทำในห้องทดลอง

1.4.9 หาประสิทธิภาพในการชะล้างยูเรเนียมในพอลิเมอร์

1.4.10 นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดในประเทศอย่างน้อย 2 แห่งโดยจุ่มในแต่ละแหล่งน้ำ

1.4.11 วิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมด้วย ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer)

1.4.12 สรุปผลการทดลอง

1.4.13 เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้พอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมสำหรับใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด และ เจือปนที่ผสมในการดูดซับและการชะล้างยูเรเนียม

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(พิริยาธร สุวรรณมาลา และคณะ, 2551) ได้ทำการทดลองเรื่อง การเตรียมตัวดูดซับโลหะชนิดใหม่โดยการใช้ล้าอิลิกตรอนเหนี่ยวนำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่ง โดยการทดลองได้ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับไอออนโลหะชนิดใหม่จากพอลิเมอร์โดยการต่อกิ่งเมทิลอะครีเลตบนแผ่นเส้นใยชนิดไม่ถักทอ ซึ่งประกอบด้วยพอลิเอทิลีนเคลือบบนเส้นใยพอลิโพรพิลีนด้วยล้าอิลิกตรอน โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่งเกิดในอิมัลชันเมทิลอะครีเลต (Methyl acrylate emulsion) ซึ่งมีโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate, SDS) เป็นตัวกระทำอิมัลชันและมีน้ำเป็นตัวทำละลาย จากนั้นทำการดัดแปลงด้วยวิธีการทางเคมี โดยการเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ของพอลิเมอร์ต่อกิ่งรวมเป็นหมู่ไฮดรอกซามิก โดยการทำปฏิกิริยากับสารละลาย Alkali ทำให้พอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะได้ การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์แบบดังกล่าวเป็นวิธีการใหม่สำหรับใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับโลหะ เนื่องจากใช้น้ำเป็นตัวทำละลายทำให้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังใช้ปริมาณมอนอเมอร์เมทิลอะครีเลต 1 % โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.1 % ซึ่งน้อยกว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีอื่น รวมถึงการทำปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิต่ำ ปริมาณไฮโดรพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่า และเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูง

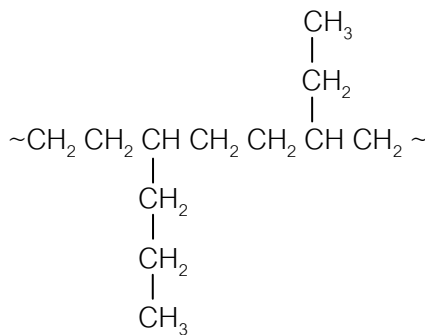
(Anyun, Toshihide and Gunzo, 2003) ได้ทำการทดลองเรื่อง ดูดซับยูเรเนียม-VI จากน้ำทะเลโดยใช้ macroporous fibrous polymeric (FPAO) ที่มีหมู่เอมีดอกซิมเป็นตัวดูดซับ โดยในการทดลองได้ทำการดูดซับยูเรเนียม VI จากน้ำทะเล โดยใช้ FPAO ที่มีหมู่เอมีดอกซิมเป็นตัวดูดซับ ทำการสังเคราะห์โดยนำไปฉายรังสีแล้วกราฟต์ methacrylic acid (MAA) การดูดซับของยูเรเนียม VI บน FPAO จะขึ้นอยู่กับค่า pH ความสามารถในการดูดซับยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้นจากช่วง pH 2.0 ถึง 6.0 และจะลดลงในช่วง pH 6.0 ถึง 9.0 ประสิทธิภาพในการดูดซับโดย FPAO จะดูดซับได้ดีที่สุดที่ pH 6.0 และองค์ประกอบของโครงสร้างโมโนนิวเคลียร์ $UO_2 \cdot 2R-C(NO)NH_2$ เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง U(VI), FPAO, H^+ และ Cl^- จะทำให้เกิดการดูดซับของ U(VI) บนตัวดูดซับ FPAO ดังสมการ $UO_2(OH)^+_{(aq)} + 2R-C(-CNOH)NH_{2(fp)} \longrightarrow O_2 \quad 2R-C(NO)NH_{2(fp)} + H^+_{(aq)} + H_2O$ โครงสร้างของชั้นโมเลกุล (Monolayer) ระหว่าง U(VI) และ FPAO จะขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาของไอออนต่างๆ รวมถึงค่า pH และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาด้วย

(Choi and Nho, 2000) ได้ทำการทดลองเรื่อง การฉายรังสีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา กราฟต์โคพอลิเมอร์ไอโซไซแนของมอนอเมอร์ผสมสองชนิดกับ acrylonitrile บนแผ่นพอลิเอทิลีน โดยทำการกราฟต์โคพอลิเมอร์ไอโซไซแนของ acrylonitrile (AN)/acrylic acid (AA), acrylonitrile-(AN)/methacrylic acid (MA) และ acrylonitrile (AN)/glycidyl methacrylate (GMA) ด้วยวิธีการฉายรังสีแผ่นพอลิเอทิลีน เพื่อหาสถานะของตัวทำละลายแต่ละตัวและเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ จากการทดลองเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะเพิ่มขึ้น ผลของมอนอเมอร์ AN/AA เมื่อนำพอลิเอทิลีนฉายรังสีในอากาศที่ 30 kGy แล้ว Graft มอนอเมอร์ AN/AA บนพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 70 °C เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกโดยอัตราส่วน AN น้อยกว่า AA ผลของมอนอเมอร์ AN/MA เมื่อนำพอลิเอทิลีนฉายรังสีในอากาศที่ 30 kGy แล้วกราฟต์บนพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 70 °C เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก โดยใช้อัตราส่วนของ AN สูงกว่า MA ผลของมอนอเมอร์ AN/GMA เมื่อนำแผ่นพอลิเอทิลีนไปฉายรังสีในอากาศที่ 30 kGy ที่อุณหภูมิ 70°C เปอร์เซ็นต์การกราฟต์จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและอัตราการเพิ่มของ AN มากกว่า GMA มีผลทำให้ เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ดีขึ้น

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจากสารตั้งต้นเอทิลีน ซึ่งเป็นผลผลิตจากปิโตรเลียม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) และชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ชนิดความหนาแน่นสูงจะมีความหนาแน่นกว่าและมีความแข็งแรงมากกว่าชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยทั่วไปแล้ว พอลิเอทิลีนมีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่น หยุนตัวได้ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า ใสสีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิหลอมตัวสูงขึ้น และมีอัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้อัตราการเสื่อมสลายของผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ผิวจะแตกกร่อนได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิเอทิลีน

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีน

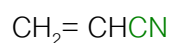
- ยืดหยุ่นได้ดี เหนียวมากที่อุณหภูมิต่ำ
- มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก
- ทนต่อสภาวะอากาศได้ดีพอสมควร อากาศสามารถซึมผ่านได้ดี
- หดตัวบนแม่พิมพ์ได้ดีมาก ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
- ผสมสีได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตได้ทั้งชนิด ฟิล์มใส ฟิล์มสี ฟิล์มโปร่งแสงหรือทึบแสง
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส

2.3 ลักษณะทั่วไปของมอนอเมอร์อะคริโลไนไตรล์ (acrylonitrile) และเมทอะคริลิกแอซิด (methacrylic acid)

อะคริโลไนไตรล์

มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.2 มอนอเมอร์ชนิดนี้สามารถละลายได้ในเอทานอล (Ethanol)

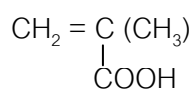


Acrylonitrile

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์อะคริโลไนไตรล์

เมทอะคริลิกแอซิด

มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.3 มอนอเมอร์ชนิดนี้สามารถละลายได้ในน้ำอุ่นและแอลกอฮอล์



Methacrylic acid

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของหน่วยมอนอเมอร์เมทอะคริลิกแอซิด

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทั่วไปของอะคริโลไนไตรล์

คุณลักษณะ	คุณสมบัติ
สถานะ	เป็นของเหลว
สี	ใส มีสีเหลืองจางๆ
น้ำหนักโมเลกุล	53.1 g/mol
กลิ่น	มีกลิ่นฉุน
จุดเดือด	77.3 °C
จุดเยือกแข็ง	-82 °C
ความดันไอที่ 23 °C	100 mm Hg

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทั่วไปของเมทอะคริลิกแอซิด

คุณลักษณะ	คุณสมบัติ
สถานะ	เป็นของเหลว
สี	ใส ไม่มีสี
น้ำหนักโมเลกุล	86.09 g/mol
กลิ่น	มีกลิ่นฉุน
จุดเดือด	163 °C
จุดเยือกแข็ง	16 °C
ความดันไอที่ 25.5 °C	1 mm Hg

2.4 คุณสมบัติของยูเรเนียม

ยูเรเนียมเป็นธาตุชนิดหนึ่งในตารางธาตุ มีสัญลักษณ์ U มีเลขอะตอม 92 เป็นโลหะหนักยูเรเนียมบริสุทธิ์มีสีขาวเงิน เป็นโลหะที่มีกัมมันตภาพรังสีอ่อน มีความแข็งน้อยกว่าเหล็กเล็กน้อย มีความอ่อนตัว บิดงอได้ มีความเป็นแม่เหล็กเล็กน้อย โลหะยูเรเนียมมีความหนาแน่นสูงมาก โดยมีความหนาแน่นมากกว่าตะกั่ว 65% แต่มีความหนาแน่นน้อยกว่าทอง เมื่อโลหะยูเรเนียมถูกอากาศจะทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิดยูเรเนียมออกไซด์ ยูเรเนียมสกัดออกมาจากแร่โดยวิธีเคมี ทำให้อยู่ในรูป U_3O_8 หรือสารประกอบรูปอื่นเพื่อนำมาใช้ทางอุตสาหกรรม

โลหะยูเรเนียมธรรมชาติ ประกอบด้วย U-235 ประมาณ 0.71%, U-238 ประมาณ 99.28% และ U-234 ประมาณ 0.0054% การเสริมสมรรถนะยูเรเนียม (uranium-enrichment) ใช้กระบวนการแยกไอโซโทป (isotope separation) เพื่อเพิ่มสัดส่วนหรือความเข้มข้นของไอโซโทป U-235 สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ หรืออาวุธนิวเคลียร์ ส่วนที่เหลืออยู่เรียกว่า ยูเรเนียมด้อยสมรรถนะ (depleted uranium) จะมี U-235 เหลืออยู่ 0.2% ถึง 0.4% เนื่องจากยูเรเนียมธรรมชาติมีสัดส่วนของ U-235 น้อยอยู่แล้ว กระบวนการเสริมสมรรถนะจึงทำให้มียูเรเนียมด้อยสมรรถนะจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การผลิตยูเรเนียมเสริมสมรรถนะ 5% จำนวน 1 กิโลกรัม ต้องใช้ยูเรเนียมธรรมชาติ 11.8 กิโลกรัม ทำให้มียูเรเนียมด้อยสมรรถนะ ที่มี U-235 อยู่ 0.3% จำนวน 10.8 กิโลกรัม

ยูเรเนียมธรรมชาติมี 2 ไอโซโทปหลัก ได้แก่ U-235 และ U-238 และมีไอโซโทป U-234 ที่เกิดจากการสลายตัวของ U-238 อีกเล็กน้อย ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะที่มี U-235 สูงขึ้นมีความสำคัญสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงาน ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์และอาวุธนิวเคลียร์ เนื่องจากเป็นไอโซโทปธรรมชาติที่เรียกว่า ฟิชไซล์ (fissile) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้ (fissionable) ด้วยนิวตรอนพลังงานต่ำหรือเทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutrons) U-238 มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจาก U-238 ที่ดูดกลืนนิวตรอนแล้วจะกลายเป็นไอโซโทปรังสีที่สลายตัวไปเป็นพลูโตเนียม-239 (Pu-239) ซึ่งเป็นวัสดุฟิชไซล์เช่นกัน ยูเรเนียม-233 (U-233) เป็นวัสดุฟิชไซล์ โดยเป็นไอโซโทปที่เกิดจากการยิงทอเรียม-232 (Th-232) ด้วยนิวตรอน ยูเรเนียมเป็นธาตุแรกที่พบว่าเป็นฟิชไซล์ โดยการยิงด้วยนิวตรอนพลังงานต่ำ โดยไอโซโทปยูเรเนียม-235 จะกลายเป็นยูเรเนียม-236 ในเวลาสั้นๆ จากนั้นจะแตกออกเป็นสองส่วนกลายเป็น 2 นิวเคลียสที่เล็กลง พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานและนิวตรอนจำนวนมากขึ้นออกมา เรียกว่าปฏิกิริยาฟิชชัน นิวตรอนที่ปลดปล่อยออกมาจะถูก U-235 นิวเคลียสอื่นดูดกลืนและเกิดฟิชชันเพิ่มขึ้น กลายเป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่อเนื่อง ถ้าไม่มีการดูดจับนิวตรอนออกไปเพื่อควบคุมให้ปฏิกิริยาลดลงก็จะเกิดการระเบิดขึ้น ระเบิดปรมาณูลูกแรกทำงานด้วยหลักการของปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ส่วนอาวุธนิวเคลียร์ (nuclear weapon) เป็นชื่อที่ใช้เรียกโดยรวมทั้งระเบิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันและระเบิดไฮโดรเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน

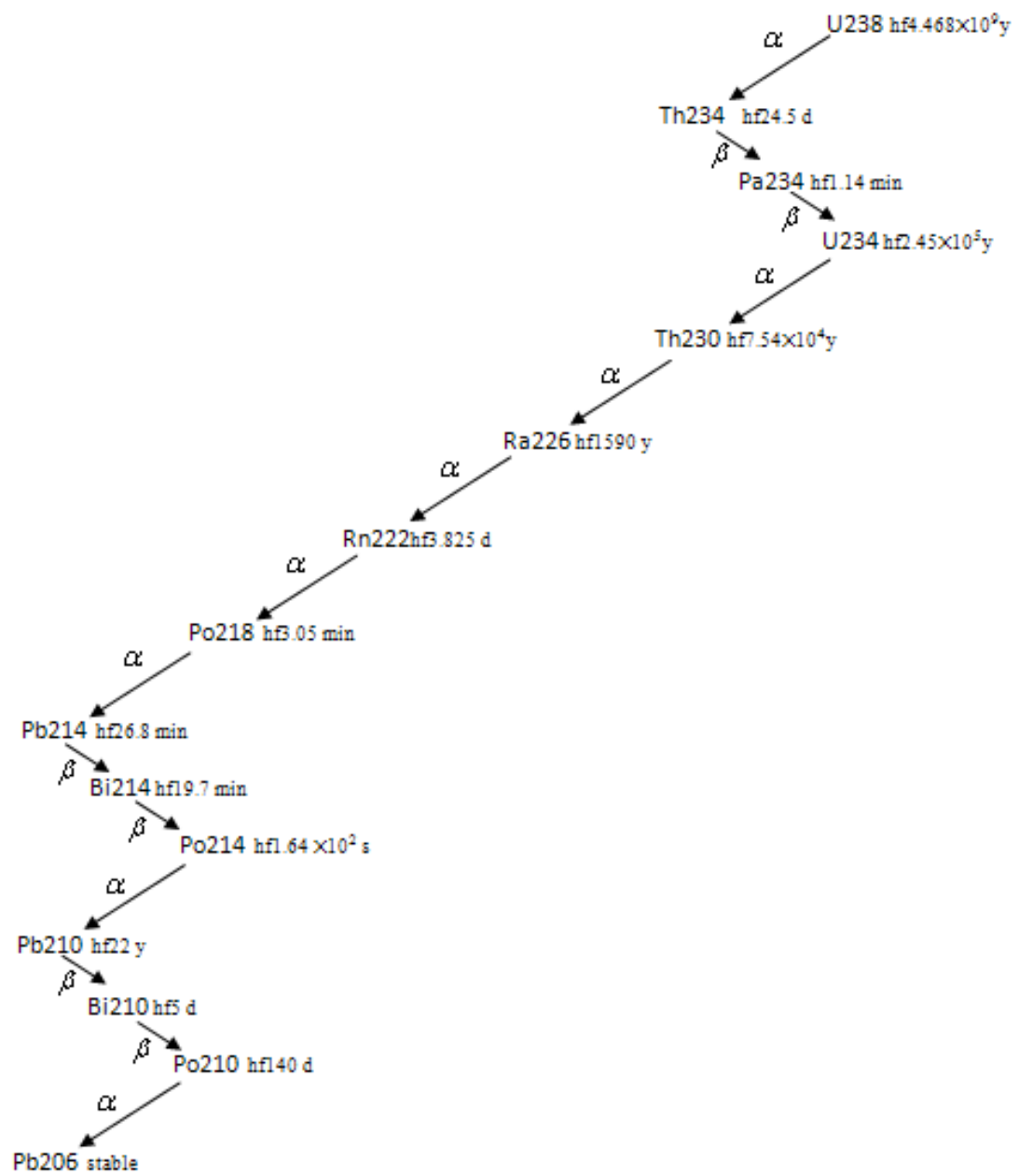
2.5 ประโยชน์ของยูเรเนียม

ยูเรเนียมส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ทางด้านพลเรือน คือใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยทั่วไปจะทำให้อยู่ในรูปของยูเรเนียมเสริมสมรรถนะ โดยผ่านกระบวนการที่ทำให้ระดับของ U-235 สูงกว่าธรรมชาติ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชิงพาณิชย์โดยทั่วไป ใช้ยูเรเนียมที่มีการเสริมสมรรถนะ U-235 ที่เสริมสมรรถนะ 3–5% แต่ก็มีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์บางชนิดที่ออกแบบมาให้สามารถใช้เชื้อเพลิงที่เป็นยูเรเนียมธรรมชาติได้ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ breeder reactor U-238 จะถูกเปลี่ยนเป็นพลูโตเนียมได้ ส่วนเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในเรือดำน้ำหรือเรือบรรทุกเครื่องบินรบของกองทัพเรือใช้ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะที่มี U-235 สูง (Highly enriched uranium)

2.5.1 การนำยูเรเนียมไปใช้ด้านอื่น

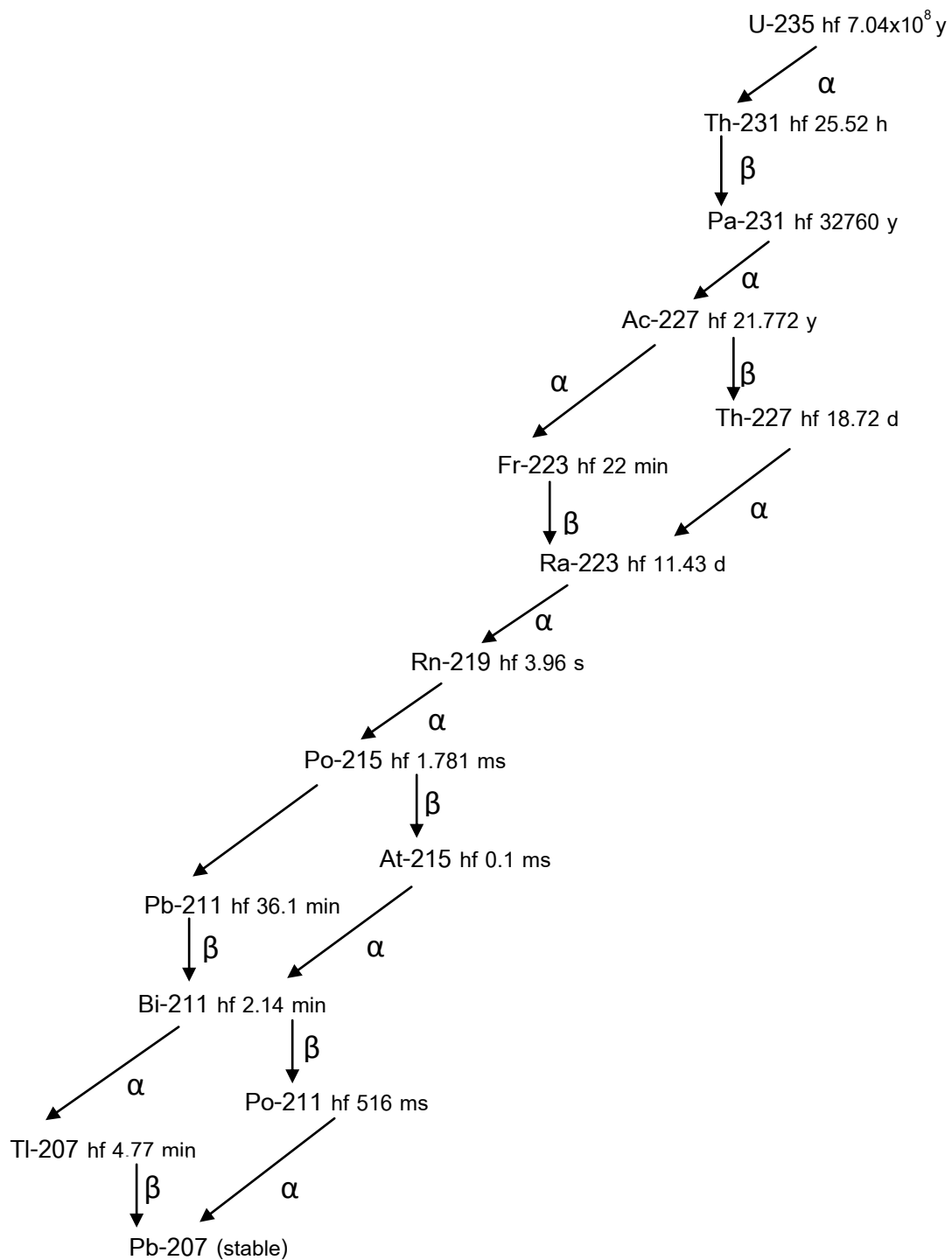
ใช้ Uranyl acetate, $\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$, ในงานด้านเคมีวิเคราะห์ โดยใช้ในรูปของเกลือโซเดียมที่ไม่ละลายน้ำ โลหะยูเรเนียมสามารถใช้เป็นเป้าของรังสีเอกซ์ เพื่อทำให้เกิดรังสีเอกซ์พลังงานสูง เนื่องจากยูเรเนียมมีมวลอะตอมสูงจึงเหมาะสำหรับใช้ทำวัสดุป้องกันรังสี (radiation shielding) และยังสามารถใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้อีก เช่น ใช้ในการหาอายุของหินและหาอายุทางธรณีวิทยา กัมมันตภาพที่แตกต่างกันของไอโซโทป U-235/U-238 สามารถนำไปใช้เป็นสารติดตามด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อหาแหล่งน้ำใต้ดิน การผสมยูเรเนียมในการขึ้นรูปอัลลอยด์ทำให้เหล็กกล้ามีความแข็งแรงมากขึ้นทนความร้อนสูงขึ้น และยูเรเนียมด้อยสมรรถนะในอดีตถูกนำไปใช้ทำวัสดุป้องกันรังสี และใช้ในการถ่วงน้ำหนักของเครื่องบินแต่ปัจจุบันได้เลิกใช้ไปแล้ว เนื่องจากหากเครื่องบินตกอาจทำให้ยูเรเนียมด้อยสมรรถนะถูกเป็นไฟและปล่อยไอโซโทปรังสีอื่นออกมา ซึ่งเป็นอันตรายต่อประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น ส่วนในปัจจุบันนี้ได้มีการนำยูเรเนียมด้อยสมรรถนะมาใช้ในการทำกระสุนเจาะเกราะ และใช้ทำเกราะรถถังซึ่งมีความแข็งแรงมาก

อนุกรมยูเรเนียม 238



ภาพที่ 2.4 Decay scheme ของอนุกรมยูเรเนียม 238

อนุกรมยูเรเนียม 235



ภาพที่ 2.5 Decay scheme ของอนุกรมยูเรเนียม 235

2.6 ไอโซโทปของยูเรเนียม

ยูเรเนียมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมีอยู่ 3 ไอโซโทป คือ U-234, U-235 และ U-238 ส่วน U-233 และ U-236 นั้นเป็นฟิชชันไอโซโทป U-232 มี half-life 68.9 ปี เป็นฟิชชันไอโซโทป สลายตัวเป็น Th-228 ให้รังสีแอลฟา มีพลังงาน 5.414 MeV U-233 มี half-life 1.592×10^5 ปี เป็นฟิชชันไอโซโทป โดยเป็นไอโซโทปที่เกิดจากการยิง Th-232 ด้วยนิวตรอน แล้วสลายตัวเป็น Th-229 ให้รังสีแอลฟา มีพลังงาน 4.909 MeV U-234 มี half-life 2.455×10^5 ปี เกิดจากการสลายตัวของ U-238 และสลายตัวต่อไปเป็น Th-230 ที่ให้รังสีแอลฟา มีพลังงาน 4.859 MeV U-235 มี half-life 7.038×10^8 ปี เป็นไอโซโทปที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติ โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.71 % สลายตัวเป็น Th-231 ให้รังสีแอลฟา มีพลังงาน 4.679 MeV U-236 มี half-life 2.342×10^7 ปี เป็นฟิชชันไอโซโทปจากนั้นสลายตัวเป็น Th-232 ให้รังสีแอลฟา มีพลังงาน 4.572 MeV U-238 มี half-life 4.468×10^9 ปี เป็นไอโซโทปที่พบมากในธรรมชาติมีถึง 99.28 % สลายตัวเป็น Th-234 ให้รังสีแอลฟา มีพลังงาน 4.270 MeV

2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของยูเรเนียม

คุณสมบัติทางกายภาพของยูเรเนียม	
ลักษณะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น	19.1 g.cm^{-3}
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	17.3 g.cm^{-3}
จุดหลอมเหลว	1405.3 k, 1132.2 °C, 2070 °F
จุดเดือด	4404 k, 4131 °C, 7468 °F
ความร้อนของ fusion	9.14 kJ.mol^{-1}
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	$417.1 \text{ kJ.mol}^{-1}$
ความจุความร้อนจำเพาะ	$27.665 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$

2.6.2 ยูเรเนียมในรูปแบบของสารประกอบเค้กเหลือง (yellow cake) เป็นยูเรเนียมเข้มข้น มีวิธีการผลิตโดยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้ได้ออกมาเป็นลักษณะสีเขียวอ่อนไปจนถึงสีดำ ส่วนของกระบวนการที่ตกตะกอนขั้นสุดท้ายในกระบวนการผลิตคือ ammonium diuranate หรือ sodium diuranate ส่วนจะได้สารประกอบตัวใดนั้นขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ ส่วนเค้กเหลืองในสารประกอบรูปอื่น เช่น Uranium dioxide มีลักษณะเป็นผงของผลึก มีสีน้ำตาลเข้ม Uranyl nitrate ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลือง มีความเป็นพิษสูง ละลายได้ในเกลือ ยูเรเนียม Uranium carbonate ($\text{UO}_2(\text{CO}_3)$) พบทั้งในแร่และในส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และเถ้าลอย (fly ash) ของถ่านหิน เป็นองค์ประกอบหลักของยูเรเนียมในน้ำที่ซึมออกจากเหมือง Uranium trihydride (UH_3) มีลักษณะเป็นผงสีดำ มีความไวทางเคมีสูงและเกิดการลุกไหม้เองได้ Uranium rhodium germanium (URhGe) เป็นอัลลอยด์ชนิดแรกๆ ที่พบว่ามีความเหมาะสมเป็นสารตัวนำยิ่งยวด (superconductor) เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความเข้มสูง

Uranium tetrafluoride (UF_4) เป็นของแข็งสีเขียวหยก (emerald-green) เรียกว่า "green salt" เป็นสารประกอบที่อยู่ระหว่างกระบวนการผลิต Uranium hexafluoride (UF_6) ซึ่งเป็นผลึกไม่มีสี จะระเหิดเป็นไอเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 56.4°C UF_6 เป็นสารประกอบยูเรเนียมที่ใช้ในกระบวนการเสริมสมรรถนะยูเรเนียมมี 2 แบบ คือ การเสริมสมรรถนะยูเรเนียมโดยการแพร่ก๊าซ (gaseous diffusion enrichment) และการหมุนเหวี่ยงก๊าซ (gas centrifuge enrichment) ในทางอุตสาหกรรมมีชื่อเรียกง่ายๆ ว่า hex เป็นสารที่มีการกักกักร้อนสูง เกิดปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำและน้ำมัน

2.6.3 ความเป็นพิษ สารประกอบยูเรเนียมทุกไอโซโทปเป็นสารพิษ และมีความเป็นพิษสูง ถ้าได้รับในปริมาณที่ต่ำ อาจจะได้รับผลจากความเป็นพิษต่อไต ผลที่เกิดจากรังสีส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเฉพาะที่เนื่องจากรังสีแอลฟาซึ่งส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของ U-238 เคลื่อนที่ได้ในระยะสั้นเท่านั้น สารประกอบยูเรเนียมมักจะไม่ค่อยถูกดูดซึมโดยเยื่อบุอด จึงอาจทำให้ได้รับอันตรายจากรังสีที่ตำแหน่งเดิมอยู่ตลอดเวลา ในการทดสอบกับสัตว์ทดลอง ไอออนของยูเรนิล (UO^{2+}) ที่มาจากยูเรเนียมไตรออกไซด์ หรือยูเรนิลไนเตรท และสารประกอบยูเรเนียมที่มีเฮกซะวาเลนต์ชนิดอื่น ทำให้มีการเกิดที่ผิดปกติหรือทำให้ระบบภูมิคุ้มกันเสียหาย โลหะยูเรเนียมที่แบ่งเป็นชิ้นเล็กๆ จะติดไฟได้ เนื่องจากยูเรเนียมสามารถลุกไหม้ได้เอง (pyrophoric) ถ้าอยู่ในรูปที่เป็นเม็ดเล็กๆ อาจติดไฟได้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง มนุษย์สามารถรับยูเรเนียมเข้าไปในร่างกายจากฝุ่นผงที่ลอยอยู่ในอากาศ หรือดูดควันบุหรี่จากใบยาสูบที่ปลูก

โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต หรือโดยการดื่มน้ำหรือทานอาหาร สำหรับคนทั่วไปที่ได้รับยูเรเนียมจากการรับประทาน อาหาร โดยเฉลี่ยจะได้รับยูเรเนียม 0.07 ถึง 1.1 ไมโครกรัมต่อวัน ปริมาณยูเรเนียมในอากาศมีน้อยมาก แต่สำหรับประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้กับสถานที่ผลิตหรือทดลองอาวุธนิวเคลียร์ หรือสถานที่ทำเหมืองหรือโรงงานเสริมสมรรถนะยูเรเนียมสำหรับผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์อาจจะได้รับยูเรเนียมเพิ่มขึ้น บ้านหรืออาคารที่สร้างบนพื้นที่มีแร่ยูเรเนียมอาจจะได้รับก๊าซเรดอนที่มาจากยูเรเนียม ซึ่งมีกัมมันตภาพรังสีและเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ยูเรเนียมนอกจากจะสามารถเข้าสู่ร่างกายเมื่อหายใจหรือรับประทานแล้ว ในบางกรณีอาจจะเข้าสู่ร่างกายทางบาดแผลได้ ยูเรเนียมจะไม่ซึมผ่านผิวหนัง และรังสีแอลฟาที่มาจากยูเรเนียมก็ไม่สามารถทะลุผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายได้ ยูเรเนียมที่อยู่ภายนอกร่างกายจึงมีอันตรายน้อยกว่าเมื่อเข้าไปในร่างกาย ยูเรเนียมไม่ใช่สารก่อมะเร็งแต่เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อไตได้

2.7 ค่า G-value ของการเชื่อมโยงและการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์โดยรังสี

ปริมาณรังสีสามารถบ่งบอกถึงผลของรังสีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของสาร ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของสารใดโดยรังสีอาจทำให้เกิดสารใหม่ เกิดอนุมูลอิสระ เกิดสปีชีส์ (species) ใดๆ หรือเกิดการลดลงของสารเดิม การเกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุล การแตกของพันธะเคมีใดๆ และกระบวนการฉายรังสี มักจะใช้ค่า G-value ซึ่งหมายถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวที่เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดกลืนพลังงาน 100 eV

ในตัวอย่างพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะประกอบด้วยสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่มีความยาวต่างๆ กันรวมกันอยู่ ดังนั้นเมื่อจะระบุน้ำหนักโมเลกุลของตัวอย่างพอลิเมอร์นั้นจึงต้องระบุเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งทำได้ 2 แบบ คือ น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน M_n (number average molecular weight) และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามน้ำหนัก M_w (weight average molecular weight)

เมื่อเกิดการเชื่อมโยงและการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ขึ้นพร้อมๆ กันโดยรังสี การเปลี่ยนแปลงของค่า M_n จะหาได้จากสมการ

$$M_n/M_{n,0} = 1/[1 + u(y - x)] \quad (1)$$

$$M_w/M_{w,0} = 1/[1 + u(y - 4x)] \quad (2)$$

เมื่อ $M_{n,0}$ และ $M_{w,0}$ คือ M_n และ M_w เมื่อเริ่มต้น

U คือ number average degree of polymerization

x คือ number of cross-links per structural unit ($x = X/N$),

y คือ number of main chain scission per structural unit ($y = Y/N$)

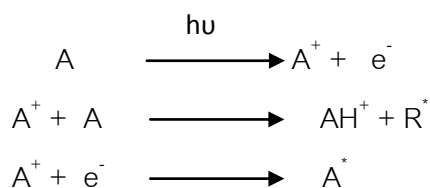
ค่า G-value ของการเชื่อมโยง $G(x)$ และค่า G-value ของการเกิดสายโซ่ขาด $G(s)$ คำนวณได้จาก $G(x) = 100N_A x/D$ และ $G(s) = 100N_A y/D$ เมื่อ D คือ ปริมาณรังสีดูดกลืนต่อหน่วยน้ำหนักในหน่วย kGy

นอกจากนี้การฉายรังสีอาจทำให้เกิดก๊าซขึ้นและอาจทำให้เกิดพันธะคู่ขึ้นมา เช่น เมื่อฉายรังสีพอลิเอทิลีนนอกจากจะได้พอลิเอทิลีนที่มีสายโซ่เชื่อมโยงแล้วยังจะเกิด *trans*-vinylene (-CH=CH-) ขึ้นมาด้วย

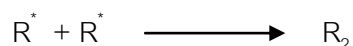
ค่า G-value ของการชักนำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยรังสีในพอลิเมอร์ การฉายรังสีจะทำให้เกิดก๊าซขึ้นและยังทำให้เกิดพันธะคู่ขึ้นมา เช่น เมื่อฉายรังสีพอลิเอทิลีนนอกจากจะได้พอลิเอทิลีนที่มีสายโซ่เชื่อมโยงแล้วยังจะเกิด *trans*-vinylene (-CH=CH-) ขึ้นมาด้วย

2.8 การพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีแกมมา (polymerization)

เมื่อฉายรังสีสารประกอบอินทรีย์ โมเลกุลของสารจะถูกกระตุ้นให้แตกตัวเป็นไอออนและอนุมูลอิสระ (free radical) ดังภาพที่ 2.6 และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันเป็นอนุมูลอิสระสะเทิน ดังแสดงในภาพที่ 2.7



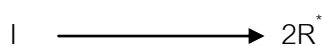
ภาพที่ 2.6 การแตกตัวของอนุมูลอิสระ



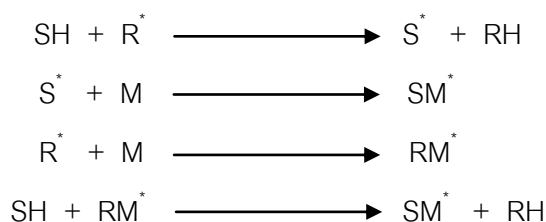
ภาพที่ 2.7 การเกิดอนุมูลสะเทินจากอนุมูลอิสระ

กระบวนการพอลิเมอไรเซชันจะเกิดแบบไอออนิกหรือแบบอนุมูลอิสระนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอนอเมอร์และเงื่อนไขประกอบอื่นๆ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ เนื่องจากไอออนการพอลิเมอไรเซชันจะมีความเสถียร และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ดีเฉพาะในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ เท่านั้น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.8.1 การเริ่มปฏิกิริยา (Initiation) การเริ่มลูกโซ่เป็นกระบวนการกระตุ้นให้โมเลกุลอยู่ในสภาวะไวต่อปฏิกิริยา เรียกว่า กระบวนการสร้าง (active center) ซึ่งเป็นตัวที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลางแต่มี unshared electron เช่นอนุมูลอิสระ วิธีการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ ดังแสดงในภาพที่ 2.8 และการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ



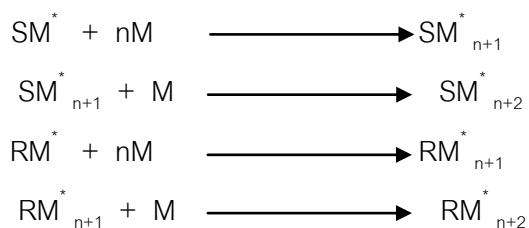
ภาพที่ 2.9 การทำปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระกับโมเลกุลพอลิเมอร์

เมื่อ SH คือ scavenger หรือ sensitizer

M คือ monomer

2.8.2 การดำเนินปฏิกิริยา (Propagation)

เป็นขั้นตอนการเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์กลายเป็นอนุมูลอิสระอีกตัวหนึ่งแล้วเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวต่อไป ดังภาพที่ 2.10

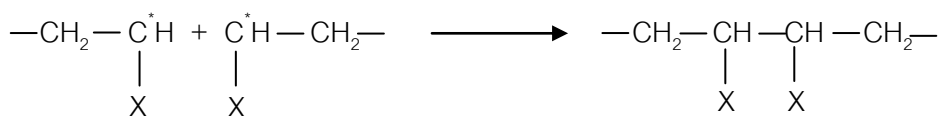


ภาพที่ 2.10 การเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่พอลิเมอร์

เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยของมอนอเมอร์ที่เพิ่มเข้าไปในสายโซ่พอลิเมอร์

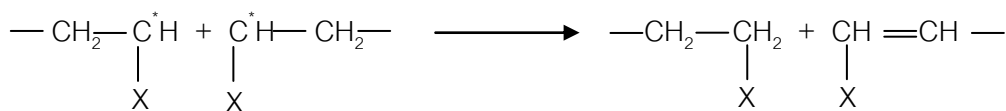
2.8.3 การสิ้นสุดปฏิกิริยา (Termination) เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อนุมูลอิสระหมดความว่องไวในการทำปฏิกิริยาต่อไป โดยอนุมูลอิสระจะไม่สร้างปลายโซ่ด้านที่ไวต่อปฏิกิริยาขึ้นอีก การสิ้นสุดสามารถเกิดขึ้นได้ 2 วิธี ดังนี้

1. Coupling หรือ combination คือ การรวมโมเลกุลเข้าเป็นหนึ่งโมเลกุล



เมื่อ X คือ functional group

2. Disproportional คือ เป็นการสิ้นสุดของอนุมูลอิสระเนื่องจากการแบ่งหรือการแยกสองโมเลกุลที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาให้เป็นโมเลกุลที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก



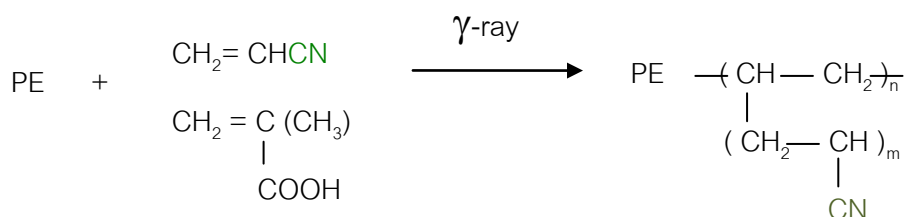
การฉายรังสีแกมมาสามารถทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้โดยตรงจากพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ที่ใช้ เป็นโซ่โมเลกุลที่มีสภาวะเป็นอนุมูลอิสระโดยการเกิดจากการต่อเติมมอนอเมอร์จำนวน n โมเลกุลเข้าด้วยกันและมีปลายหนึ่งเป็นด้านที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทในการรับถ่ายโอนด้านที่ไวต่อปฏิกิริยามาจากสายโซ่โมเลกุลอื่นๆ สารนี้อาจเป็นได้ทั้งมอนอเมอร์ตัวริเริ่มหรือโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ทำให้การกราฟต์พอลิเมอร์และไฮโมพอลิเมอร์กลายเป็นพอลิเมอร์

สุดท้ายที่ไม่ก่อให้เกิดลูกโซ่อีก อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสีจะขึ้นอยู่กับอัตราปริมาณรังสีที่ฉาย และยังขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ด้วย

2.9 เทคนิคการพอลิเมอไรเซชัน

เทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแบ่งออกเป็น 2 เทคนิค คือ

2.9.1 Simultaneous irradiation technique หรือ Direct irradiation technique เป็นเทคนิคพื้นฐานของกระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยรังสี เนื่องจากเตรียมได้ง่าย เทคนิคนี้จะนำพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ผสมกันแล้วนำไปฉายรังสีพร้อมๆกัน ตามงานวิจัยนี้จะนำพอลิเอทิลีนผสมกับมอนอเมอร์สองชนิดซึ่งจะทำให้มอนอเมอร์กระจายตัวไปบนพื้นที่ผิวของพอลิเมอร์เมื่อพอลิเมอร์ถูกฉายรังสีที่สภาวะสูญญากาศ หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญจะหลุดออกเกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาส่งมอนอเมอร์ที่ได้รับรังสีจะเกิดอนุมูลอิสระที่มีพันธะคู่ขึ้นและเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอไรเซชัน

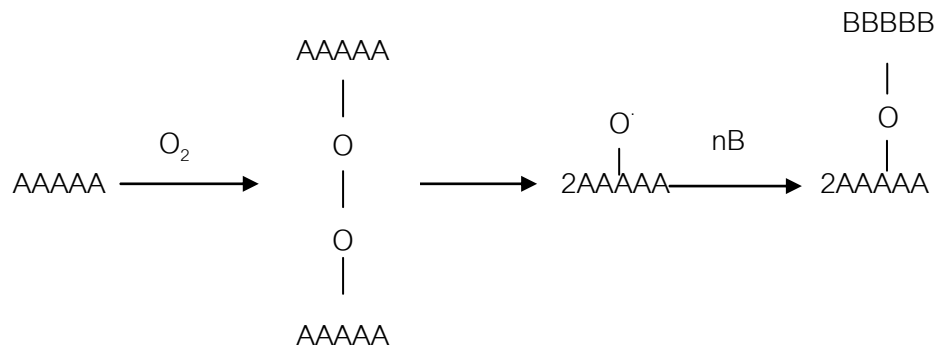


ภาพที่ 2.11 การเกิดกราฟต์พอลิเมอไรเซชันระหว่างพอลิเอทิลีนกับอะคริโลไนไตรล์และเมทอะคริลิกแอซิด

2.9.2 Pre – irradiation technique เป็นเทคนิคที่เกิดขึ้น 2 ขั้นตอนซึ่งจะแบ่งชนิดของตำแหน่งความว่องไวต่อปฏิกิริยา (Active site) โดยแบ่งเป็น peroxide และ trapped ซึ่งทั้งสองชนิดนี้จะเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยากราฟต์มอนอเมอร์เข้ากับสายโซ่หลักของพอลิเมอร์

การกราฟต์แบบเปอร์ออกไซด์พอลิเมอร์ (peroxidizes polymer) เมื่อนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีในสภาวะบรรยากาศออกซิเจน โมเลกุลของพอลิเมอร์จะดูดกลืนพลังงานของรังสีทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์หรือไดเปอร์ออกไซด์ และโมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกกระตุ้นให้อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นแล้วแตกออกเป็นอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้อยู่ในสถานะเสถียรทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้ ดังนั้นหลังจากฉายรังสีแล้วจึงนำมอนอเมอร์มารวมกับพอลิ

เมอร์ซึ่งมอนอเมอร์นั้นอาจจะละลายหรือไม่ละลายในตัวทำละลายก็ได้ หลังจากนั้นให้ความร้อนกับพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ในบรรยากาศออกซิเจนซึ่งจะทำให้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) เกิดเป็นพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์บนสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ผลลัพธ์สุดท้ายได้เป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์



ภาพที่ 2.12 การกราฟต์แบบเปอร์ออกไซด์พอลิเมอร์

การกราฟต์แบบ Trapped radical เทคนิคนี้ทำได้โดยการนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำซึ่งจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระภายในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์เป็นแบบ trapped ในรูปของพอลิเมอริกสปีชีส์ ถ้าอุณหภูมิ glass transition ของพอลิเมอร์ต่ำจะทำให้ระยะเวลาการเกิด trapped บนสายโซ่หลักของพอลิเมอร์นั้นเร็วขึ้น trapped ที่เกิดขึ้นนี้จะว่องไวต่อปฏิกิริยา ความสามารถในการแพร่กระจายของมอนอเมอร์อย่างสม่ำเสมอจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์กับ trapped ที่เกิดขึ้นบนพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง trapped radical นี้เป็นตัวริเริ่มของการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน

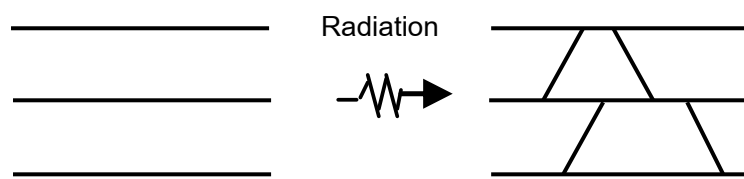
2.10 โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymers)

โคพอลิเมอร์ (Copolymers) เป็นประเภทของพอลิเมอร์ที่แบ่งตามลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ซึ่งในสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วยมอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปสามารถจำแนกออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ที่ซ้ำๆ กันในโมเลกุลออกเป็น 4 ชนิด คือ

2.10.1 พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymers) คือ พอลิเมอร์ร่วมประกอบด้วยมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B อยู่ปะปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบโดยมอนอเมอร์ A อาจพบ 1 หน่วยหรือ 2 หน่วยก็ได้ไม่แน่นอน ส่วนมอนอเมอร์ B ก็เช่นกันอาจพบ 1 หน่วยหรือ 2 หน่วยหรือมากกว่าก็ได้

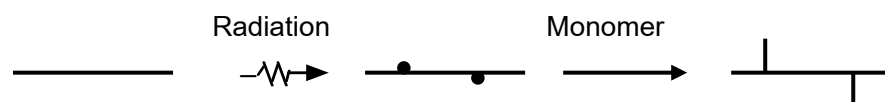
2.11 การปรับปรุงคุณสมบัติพอลิเมอร์ด้วยรังสี (Modification of Polymer by Radiation)

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



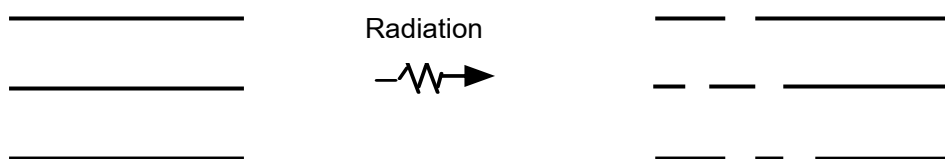
ภาพที่ 2.17 การเกิดการเชื่อมโยงข้ามของพอลิเมอร์

เกิดการตอ้ง คือการต่อมอนอเมอร์ต่างชนิดเข้ากับพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ไปฉายรังสีจะทำให้หมู่ฟังก์ชันหลุดจากสายโซ่ของพอลิเมอร์และกลายเป็นจุดตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ ทำให้เกิดเป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์เส้นใหม่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์เส้นเดิม



ภาพที่ 2.18 การเกิดการตอ้งของพอลิเมอร์

เกิดการตัดทอนโมเลกุล (degradation) คือ การทำให้แตกสลายของพันธะเคมี ซึ่งทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง



ภาพที่ 2.19 การเกิดการตัดทอนโมเลกุลของพอลิเมอร์

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์

- (1) พอลิเอทิลีน
- (2) บีกเกอร์
- (3) แท่งแม่เหล็ก สำหรับกวนสารละลาย
- (4) กระดาษลิตมัส
- (5) ขวดเตรียมสารละลาย
- (6) กระจกตวง
- (7) กรวยกรอง
- (8) กระดาษกรอง
- (9) บีเปต
- (10) ซ้อนตักสาร
- (11) พาราฟิล์ม
- (12) จุกยาง
- (13) Hot plate
- (14) ตู้ดูดควัน
- (15) ตู้อบความร้อน
- (16) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo model AB204-S
- (17) เครื่องฉายรังสีแกมมา Co-60
- (18) เครื่อง pH meter ยี่ห้อ Consort รุ่น C532
- (19) เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) รุ่น Bruker Type Tensor 27
- (20) เครื่อง SEM (Scanning electron microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6400SEM ใช้ Microspec Model WDX-600USA
- (21) เครื่อง ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer

3.2 รายการสารเคมี

- (1) เมทานอล
- (2) ไนตริกแอซิด
- (3) โซเดียมไฮดรอกไซด์
- (4) น้ำกลั่น
- (5) ก๊าซไนโตรเจน
- (6) อะคริโลไนไตรล์
- (7) เมทอะคริลิกแอซิด
- (8) ไฮดรอกซีลลามีนไฮโดรคลอไรด์
- (9) สารละลายมาตรฐานยูเรเนียม
- (10) เมทานอล
- (11) โซเดียมไบคาร์บอเนต
- (12) เปอร์คลอริกแอซิด
- (13) โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์
- (14) ไฮโดรคลอริกแอซิด
- (15) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์
- (16) N,N-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยากากราฟต์โคพอลิเมอร์เซ-
 ชั้นของหมู่เอมีดออกซิมกับพอลิเอทิลีน (Choi and Nho. 2000) นำแผ่นพอลิเอทิลีนความหนาแน่น
 0.92 g/cm^2 ความหนา 30 ไมครอน มาตัดให้มีขนาด 2×3 ตารางเซนติเมตร ล้างด้วยเมทานอล
 แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายอะคริโลไนไตรล์กับเมทอะคริลิกแอซิด
 อัตราส่วน 60:40 ละลายในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ โดยทำการตวงสารละลายอะคริ-
 โนไนไตรล์ 30 มิลลิลิตร จากสารละลายอะคริโลไนไตรล์เข้มข้น 99 % ผสมกับสารละลายเมทอะคริ-
 ลิกแอซิดเข้มข้น 99 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 99.9 %
 ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ จากนั้นแบ่งตวงสารละลายผสม ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเตรียมสาร
 ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์ โดยทำการชั่งไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์ 3.03 กรัม จากไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้น 99 % แล้วละลายด้วย (เมทานอล : น้ำ อัตราส่วน 50 : 50) ปรับ pH 7 ด้วย 5 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 3 %

3.3.1.3 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อที่จะใช้ในการปรับสภาพตัวดูดซับ โดยทำการชั่งสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.5 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยากกราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันด้วยรังสีแกมมาโดยใช้วิธี simultaneous irradiation นำแผ่นพอลิเอทิลีนจากข้อ 3.3.1 มาชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์เริ่มต้น นำพอลิเอทิลีนบรรจุในขวดเตรียมสารละลาย เต็มมอโนเมอร์ผสมระหว่างอะคริโลไนไตรล์กับเมทอะคริลิกแอซิด อัตราส่วน 60:40 โดยละลายใน 99.9 % ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ 50:50 (V/V)% ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ดูดอากาศออกจนความดันบรรยากาศต่ำ เพื่อกำจัดออกซิเจนออกและปิดฝาขวดเพื่อป้องกันอากาศเข้าไปภายในขวด จากนั้นฉายรังสีแกมมาภายใต้อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ปริมาณรังสี 10 kGy เมื่อฉายรังสีเสร็จล้างไฮโมพอลิเมอร์ด้วย N,N-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ 99.5% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเมทานอล 30 มิลลิลิตร นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

3.3.3 การเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีดออกซิมบนแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยการนำแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ผ่านการอบแล้วมาเติม 3 % ไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์ ให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดออกซิมแล้วทำการปรับสภาพกรดที่ทำให้เกิดเกลือ โดยใช้ 2.5 % โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นซ้ำๆ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักสุดท้ายเพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

3.3.4 การศึกษาผลของปริมาณรังสี (Total dose) ต่อการเกิดปฏิกิริยากกราฟต์พอลิเมอร์เซชัน ชั่งน้ำหนักแผ่นพอลิเอทิลีนใส่ในขวดเตรียมสารขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 12 ขวด เต็มมอโนเมอร์ผสมในอัตราส่วน 60 : 40 ที่ความเข้มข้น 99.9 % โดยละลายใน 99.9 % ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ 50:50 (V/V)% จำนวน 30 มิลลิลิตร ปิดจุกยางดูดอากาศออก และปิดฝาขวด จากนั้นนำขวดที่บรรจุพอลิเอทิลีนไปฉายรังสีแกมมาภายใต้อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณรังสี 20, 30 และ 40 กิโลเกรย์ ตามลำดับ เมื่อฉายรังสีเสร็จแล้วนำมาล้างไฮโมพอลิเมอร์

ด้วยการเติม 99.5 % N,N-ไดเมทิลฟออร์มาไมด์ ให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยเมทานอล 30 มิลลิลิตร นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

ทำการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีดออกซิมบนแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยการนำแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ผ่านการอบให้แห้งแล้วมาเติม 3 % ไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์ โดยละลายใน (เมทานอล : น้ำ อัตราส่วน 50 : 50) ให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดออกซิม (Zhang, Asakura, and Uchiyama, 2003) แล้วทำการปรับสภาพของกรดที่ทำให้เกิดเกลือ โดยใช้ 2.5 % โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นซ้ำๆ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักสุดท้ายเพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

3.3.5 การพิสูจน์ลักษณะสมบัติเฉพาะของกราฟต์โคพอลิเมอร์

3.3.5.1 เทคนิค FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)

นำตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ยังไม่ได้ผ่านการกราฟต์ แผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ และตัวดูดซับเอมีดออกซิมที่เตรียมได้ไปหาคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันไซยาโน คาร์บอกซิล และเอมีดออกซิม โดยใช้เครื่อง FTIR-spectroscopy รุ่น Bruker Type Tensor 27

3.3.5.2 เทคนิค SEM (Scanning electron microscope)

นำตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ยังไม่ได้ผ่านการกราฟต์ และตัวดูดซับเอมีดออกซิมที่เตรียมได้ไปสแกนดูดพื้นผิว โดยใช้ขนาดโฟกัสที่ 10 μm เครื่องยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6400SEM ใช้ Microspec Model WDX-600USA

3.3.6 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับยูเรเนียม

3.3.6.1 การเตรียมยูเรเนียมเพื่อที่จะใช้ในการดูดซับในห้องปฏิบัติการ โดย

นำยูเรเนียมด้อยสมรรถนะ มาทำการสกัดให้อยู่ในรูปของสารประกอบยูเรนิลเปอร์คลอเรต (Geipel, Amayri, and Bernhard, 2003) จากนั้นทำปฏิกิริยากับโซเดียมไบคาร์บอเนต ทำได้โดยการชั่งยูเรเนียมด้อยสมรรถนะ 1 กรัม เติมเปอร์คลอริกแอซิด เข้มข้น 70 % ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 130 องศาเซลเซียส ยูเรเนียมจะทำปฏิกิริยากับเปอร์คลอริกแอซิด จากที่เป็นผงสีดำ ภายเป็นสารละลายสีเหลือง แล้วระเหยตัวทำละลายออกจนแห้งจะได้ยูเรเนียมที่อยู่ในรูปเปอร์คลอเรต จากนั้นเตรียมยูเรนิลคาร์บอเนต โดยชั่งยูเรนิลเปอร์คลอเรต 1 มิลลิกรัม ละลายใน 0.1 มิลลาร์ เปอร์คลอริกแอซิด 50 มิลลิลิตร จากนั้นชั่ง 0.1814 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนตปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 5.4×10^{-3} มิลลาร์ แล้วแบ่งตวงสารละลายโซเดียมไบ-

คาร์บอนเนต 5.4×10^{-6} โมลาร์ 50 มิลลิลิตร เติมนลงในสารละลายยูเรเนียมเปอร์คลอเรตที่เตรียมไว้ 50 มิลลิลิตร ปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 10 ppm ปรับ pH 8 ด้วย 5 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์กับ 2 โมลาร์ เปอร์คลอริกแอซิด แบ่งตัวสารละลายปริมาณ 25 มิลลิลิตร เพื่อทำการทดลองจะได้ยูเรเนียมคาร์บอนเนตเป็นองค์ประกอบหลักในสารละลาย

3.3.6.2 ปริมาณรังสีที่ใช้ดูดซับสารละลายยูเรเนียม นำตัวดูดซับที่เตรียมได้จากปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy (Tomomi et al., 2000) แร่ลงในสารละลายยูเรเนียม ความเข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ pH 8 (Zhang et al., 2005) แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวดูดซับไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วทำการชะล้างเอายูเรเนียมออกด้วยการเติม 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิด ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวดูดซับออกและนำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกจนแห้งแล้วเติม 1 % ไนตริกแอซิด 5 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณของยูเรเนียมด้วยเครื่อง ICP – MS (ยี่ห้อ Perkin Elmer) เพื่อที่จะหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับยูเรเนียมได้ดีที่สุด

3.3.7 การศึกษาหาประสิทธิภาพในการชะล้างยูเรเนียม

นำตัวดูดซับที่มียูเรเนียมเกาะติดอยู่ขึ้นจากแหล่งน้ำที่แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ไปทำการชะล้างยูเรเนียมด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ (Das et al., 2008) โดยแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำแผ่นตัวดูดซับออกและนำสารละลายยูเรเนียมที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกจนแห้งสนิท แล้วละลายสารที่ได้ด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1 % ปริมาตร 5 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองแล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมที่ชะล้างได้ด้วยเครื่อง ICP-MS

3.3.7.1 นำตัวดูดซับไปดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดภายในประเทศ 2

แห่งเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับยูเรเนียม นำตัวดูดซับที่เตรียมได้จากปริมาณรังสี 30 kGy ไปแช่ในแหล่งน้ำจืดภายในประเทศ 2 แห่ง โดยแต่ละแห่งทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นเก็บตัวดูดซับขึ้นจากแหล่งน้ำแล้วนำไปชะล้างยูเรเนียมด้วย 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิด ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำตัวดูดซับออก ระบายสารละลายให้แห้งแล้วเติม 1% ไนตริกแอซิด 5 มิลลิลิตร เขย่าให้ผงที่ติดอยู่กับบีกเกอร์ละลาย กรองด้วยกระดาษกรองแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของยูเรเนียมด้วยเครื่อง ICP – MS เพื่อที่จะหาเวลาที่เหมาะสมที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุด

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

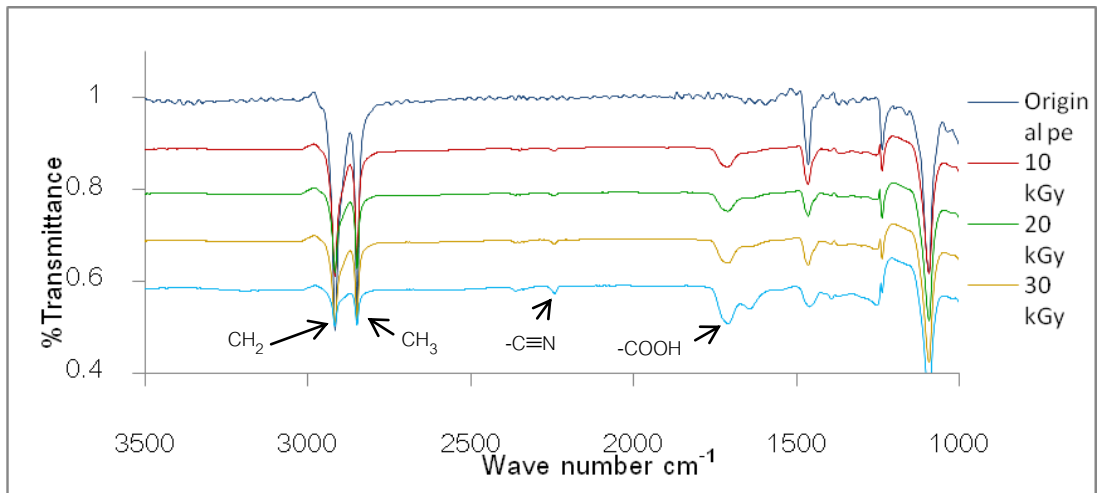
เมื่อนำแผ่นพอลิเอทิลีน ผสมกับมอนอเมอร์ AN/MAA ในอัตราส่วน 60:40 ละลายในตัวทำละลายไดเมทิลซัลโฟลไซด์ภายใต้ความดันบรรยากาศต่ำไปทำการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy แล้วเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีดอกซิมด้วย $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ จำนวนเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

ปริมาณรังสี (Dose) kGy	% grafting
10	65.56
20	94.71
30	123.61
40	144.55

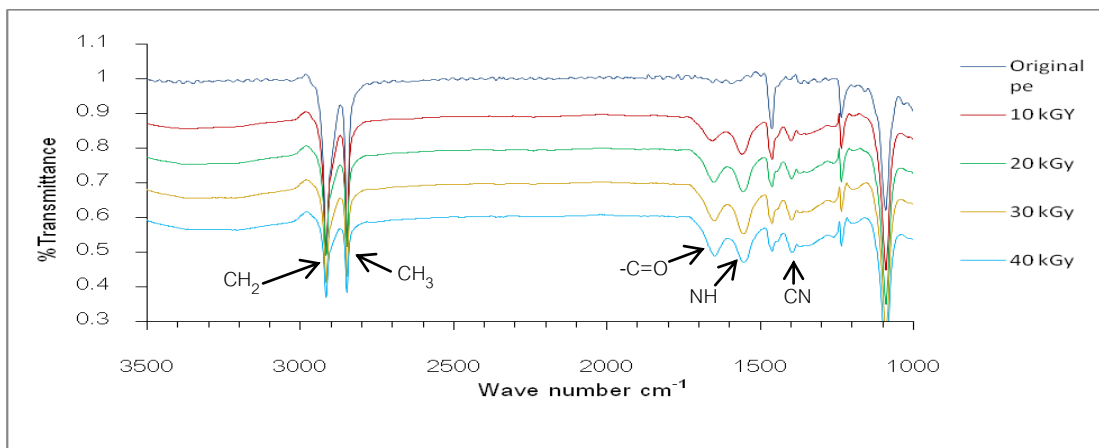
4.2 ผลของการทดสอบด้วย FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)

เมื่อนำแผ่นพอลิเอทิลีน ผสมกับมอนอเมอร์ AN/MAA ในอัตราส่วน 60:40 ละลายในตัวทำละลายไดเมทิลซัลโฟลไซด์ ภายใต้ความดันบรรยากาศต่ำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy ได้ผลดังภาพที่ 4.1



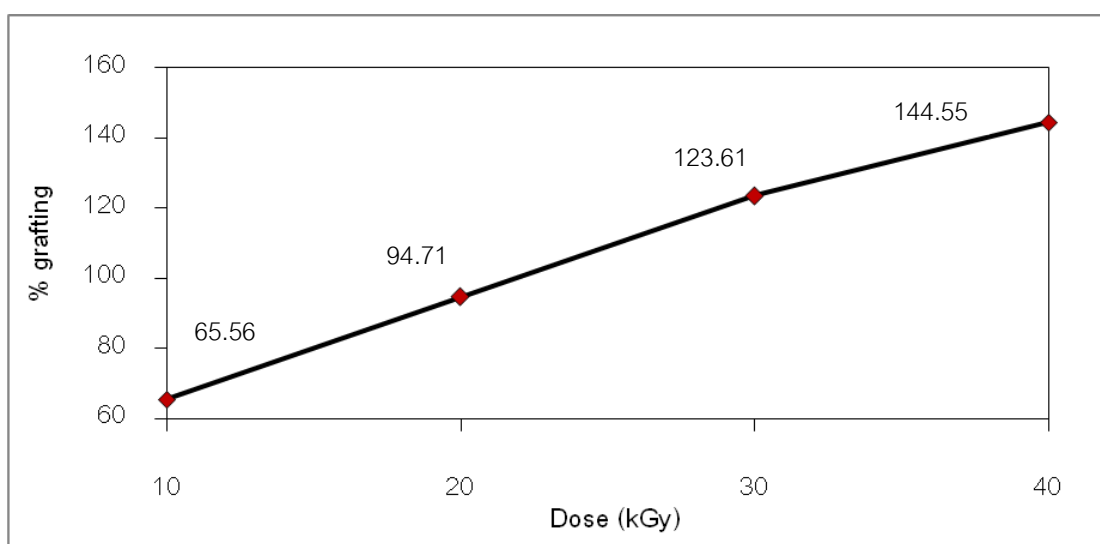
ภาพที่ 4.1 FTIR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนที่มี $-C \equiv N$ ที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy

จากภาพที่ 4.1 หลังจากการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy แล้ว วัดด้วย FTIR จะปรากฏเห็นพีคของ $-C \equiv N$ ที่ 2243.123 cm^{-1} เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.97454, 0.98207, 0.98489 และ 0.98804 ตามลำดับ ซึ่งเป็นหมู่ไซยาโนที่มีความว่องไว ต่อปฏิกิริยาเคมี และที่ 1708.863 cm^{-1} เป็นพีคของ $-COOH$ เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.90896, 0.94041, 0.94953 และ 0.96355 ตามลำดับ ส่วน CH_2 และ CH_3 ของพอลิเอทิลีนจะ ปรากฏที่ 2916.253 cm^{-1} , 2848.748 cm^{-1} เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.49503 และ 0.51652 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 FTIR สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนที่หมู่เอมีดอกซิมที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy

จากภาพที่ 4.2 หลังจากการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy แล้ว เปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีดออกซิมด้วย $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ วัดด้วย FTIR จะปรากฏเห็นพีคของ $-\text{NH}$ ที่ 1554.564 cm^{-1} เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.85627, 0.85844, 0.86984 และ 0.87004 ตามลำดับ ซึ่งเป็นหมู่เอมีดออกซิมที่สามารถจับกับยูเรเนียม และที่ 1651.001 cm^{-1} เป็นพีคของ $-\text{C}=\text{O}$ เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.88864, 0.88906, 0.90084 และ 0.9152 ตามลำดับ ส่วน CN-Stretching ขึ้นที่ 1398.336 cm^{-1} เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.89199, 0.89836, 0.91195 และ 0.91642 ตามลำดับ N-H Deformation (out-of-plane) ขึ้นที่ 719.4197 cm^{-1} เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.81365, 0.83354, 0.83746 และ 0.91642 ตามลำดับ ส่วน CH_2 และ CH_3 ของพอลิเอทิลีนจะปรากฏที่ 2916.253 cm^{-1} และ 2848.748 cm^{-1} เปอร์เซ็นต์ Transmittance เท่ากับ 0.49503 และ 0.51652 ตามลำดับ

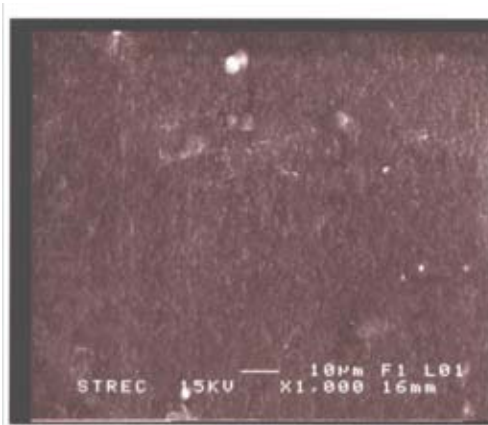


ภาพที่ 4.3 ผลของปริมาณรังสีที่มีต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

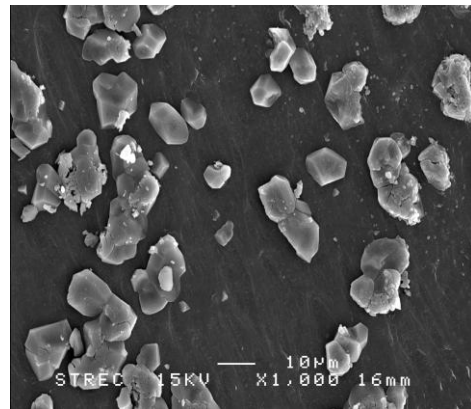
จากภาพที่ 4.3 ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy มีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ เท่ากับ 65.56, 94.71, 123.61 และ 144.55 % ตามลำดับ จากการเพิ่มปริมาณรังสีส่งผลทำให้เกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การกราฟต์จึงเพิ่มขึ้นตามลำดับ

4.3 ผลของการทดสอบด้วย SEM (Scanning electron microscope)

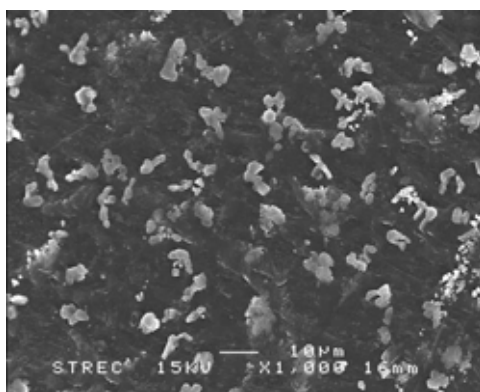
ผลการทดสอบด้วย Scanning electron microscope ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จุดโฟกัสที่ 10 μm พื้นผิวของพอลิเอทิลีนก่อนการกราฟต์มีพื้นที่ผิวราบเรียบไม่มีรอยแตก ร้าว ดังรูปที่ 4.4 แต่เมื่อนำแผ่นพอลิเอทิลีนที่ผ่านการกราฟต์แล้วไปทดสอบด้วย Scanning electron microscope ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จุดโฟกัสที่ 10 μm พบว่าพื้นผิวของพอลิเอทิลีนหลังกราฟต์มีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม คือ มีพื้นที่ผิวขรุขระ มีช่องว่างเกิดขึ้นและเกิดเป็นก้อนขนาดเล็กเกาะเป็นกลุ่มกัน ดังภาพที่ 4.5 ถึง 4.8



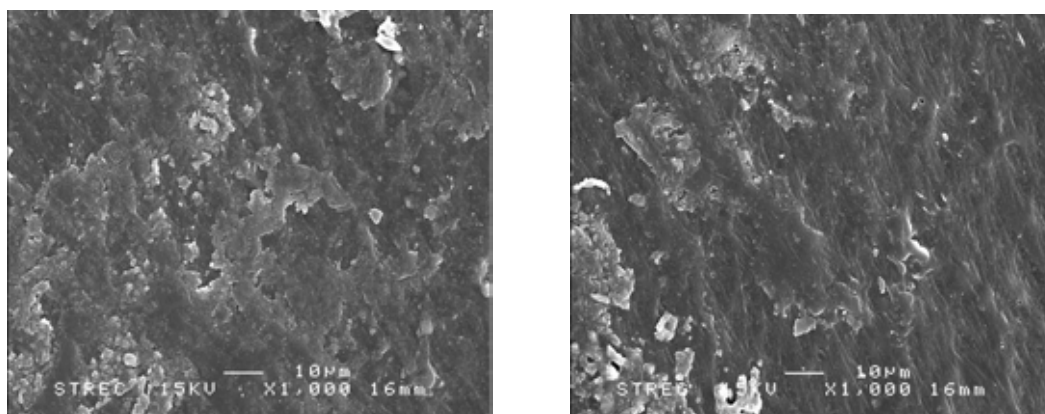
ภาพที่ 4.4 พอลิเอทิลีนก่อนการกราฟต์



ภาพที่ 4.5 พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 10 kGy



ภาพที่ 4.6 พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 20 kGy

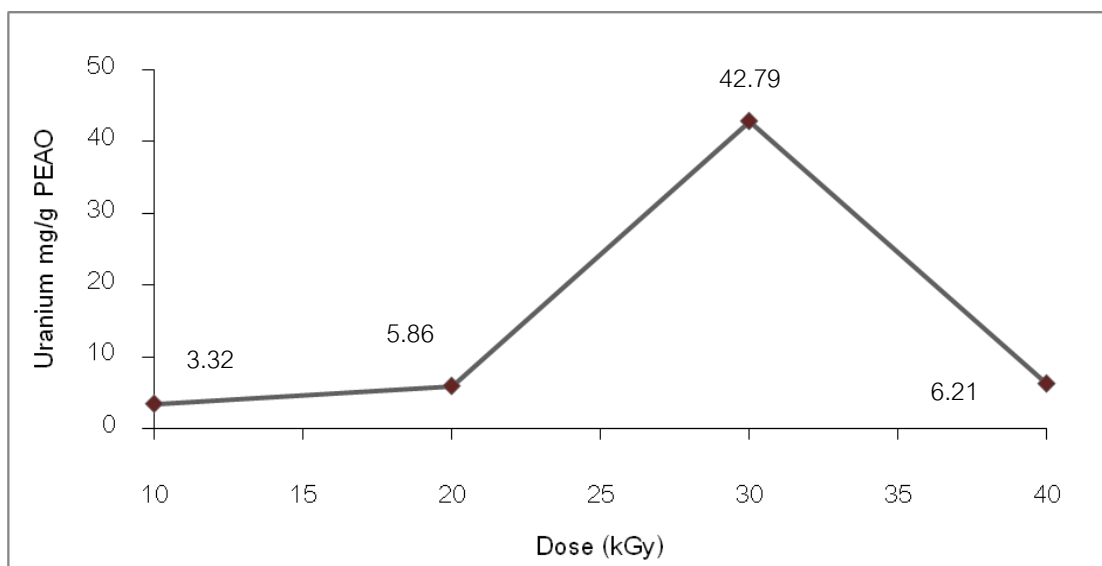


ภาพที่ 4.7 พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 30 kGy ภาพที่ 4.8 พอลิเอทิลีนหลังการกราฟต์ 40 kGy

4.4 ผลของการดูดซับยูเรเนียมที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy

ตารางที่ 4.2 ปริมาณรังสีที่มีผลต่อการดูดซับยูเรเนียมที่ 10, 20, 30, และ 40 kGy

Dose (kGy)	ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ 3 ครั้ง (mg/g PEO)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	3.31	3.32	0.15
	3.16		
	3.47		
20	5.8	5.86	0.05
	5.9		
	5.9		
30	40.2	42.79	2.35
	43.5		
	44.69		
40	6.24	6.21	1.45
	6.5		
	5.9		



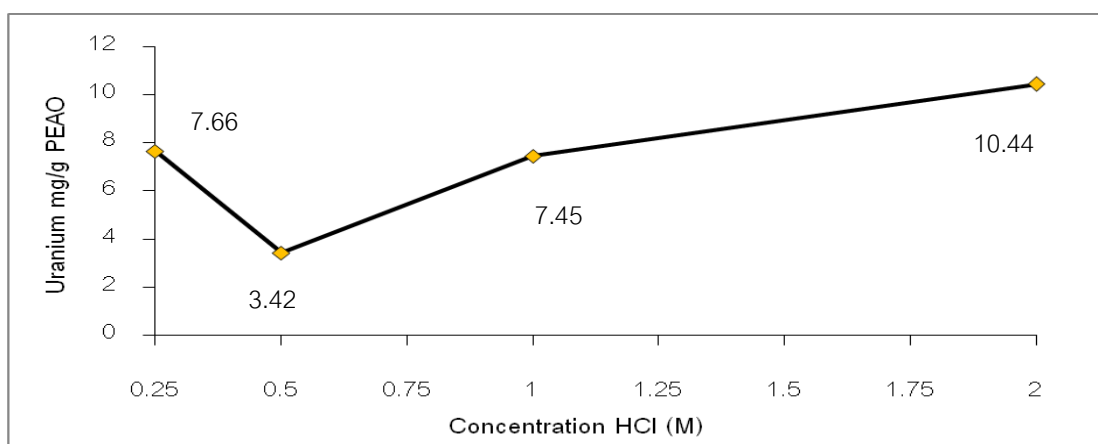
ภาพที่ 4.9 ผลของปริมาณรังสีที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียม

จากภาพที่ 4.9 แสดงการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับเอมีดอกซิมที่ปริมาณรังสี 10 kGy ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 3.32 mg/g PEO ที่ปริมาณรังสีรังสี 20 kGy ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 5.86 mg/g PEO ที่ปริมาณรังสีรังสี 30 kGy ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 42.79 mg/g PEO และที่ปริมาณรังสี 40 kGy ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 6.21 mg/g PEO ซึ่งเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถดูดซับได้ดีขึ้นจนถึงปริมาณรังสีค่าหนึ่งก็จะเริ่มลดลง ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณยูเรเนียมลดลงเนื่องมาจากตัวดูดซับไม่สามารถจับกับไอออนยูเรเนียมได้ดีเพราะว่า ในปฏิกิริยาการกราฟต์ที่ปริมาณรังสีสูงจะทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันอื่นที่ไม่ใช่เอมีดอกซิมเกิดขึ้นด้วย หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะมีโมเลกุลที่กีดขวางการจับไอออนยูเรเนียมของหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิม เมื่อไอออนยูเรเนียมที่มีอะตอมขนาดใหญ่เข้าจับกับเอมีดอกซิมพร้อมๆกันกับไอออนของอะตอมอื่นที่เข้าจับกับหมู่ฟังก์ชันอื่น ทำให้เกิดการกีดขวางและการบดบังระหว่างแรงดึงดูดของไอออนขึ้น ดังนั้นไอออนของยูเรเนียมที่มีอะตอมขนาดใหญ่จึงไม่สามารถเข้าจับกับหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิมได้ส่งผลทำให้ไอออนที่มีขนาดอะตอมที่เล็กกว่าเข้าไปแทรกจับกับหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิมแทน

4.5 ผลของการชะล้างยูเรเนียมด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1 และ 2 โมลาร์

ตารางที่ 4.3 ผลของการชะล้างยูเรเนียมด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1 และ 2 โมลาร์

HCl (M)	ปริมาณยูเรเนียมที่ชะล้างได้ 3 ครั้ง (mg/g PEO)	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.25	6.13	7.66	1.52
	9.18		
	7.68		
0.5	2.05	3.42	1.36
	4.78		
	3.44		
1.0	7.53	7.45	1.06
	8.47		
	6.35		
2.0	9.82	10.44	1.10
	11.72		
	9.79		



ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกที่มีผลต่อการชะล้างยูเรเนียม

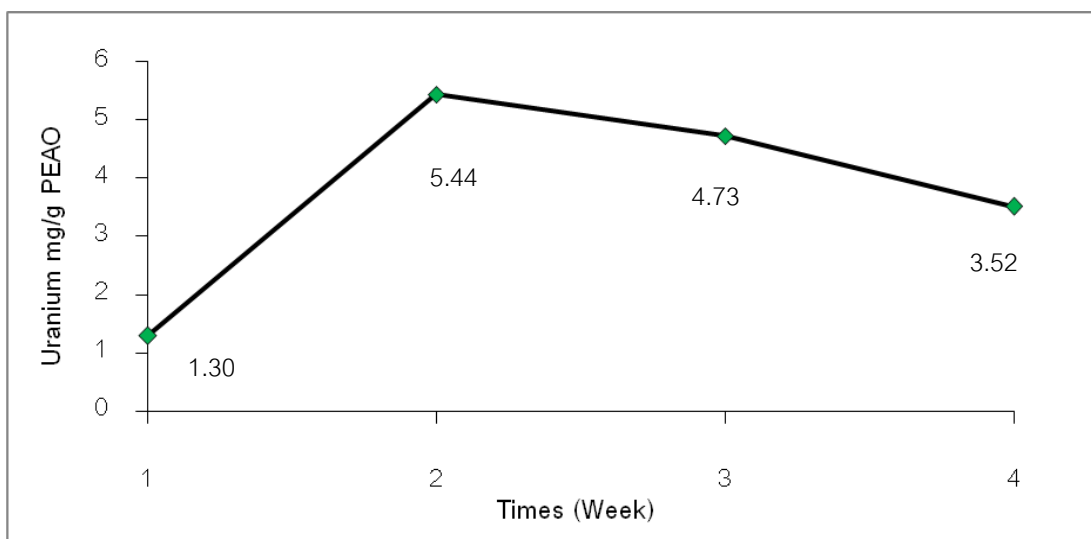
จากภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมีผลต่อการชะล้างยูเรเนียมที่ 0.25 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดสามารถชะล้างได้เฉลี่ย 7.66 mg/g PEO, ที่ 0.5 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดชะล้างได้เฉลี่ย 3.42 mg/g PEO, ที่ 1 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดชะล้างได้เฉลี่ย 7.45 mg/g PEO และ ที่ 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดชะล้างได้เฉลี่ย 10.44 mg/g PEO จากผลดังกล่าวที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดสามารถชะล้างยูเรเนียมได้มากที่สุดจากความเข้มข้นที่ใช้ในการชะล้าง 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์

4.6 ผลของเวลาต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืด

4.6.1 ผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 1 แม่น้ำเจ้าพระยา

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 1

เวลา (สัปดาห์)	ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ (mg/g PEO)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	1.07	1.39	1.44	1.30	0.20
2	5.24	3.49	7.60	5.44	2.06
3	9.69	2.12	2.39	4.73	4.29
4	5.60	2.62	2.32	3.52	1.81



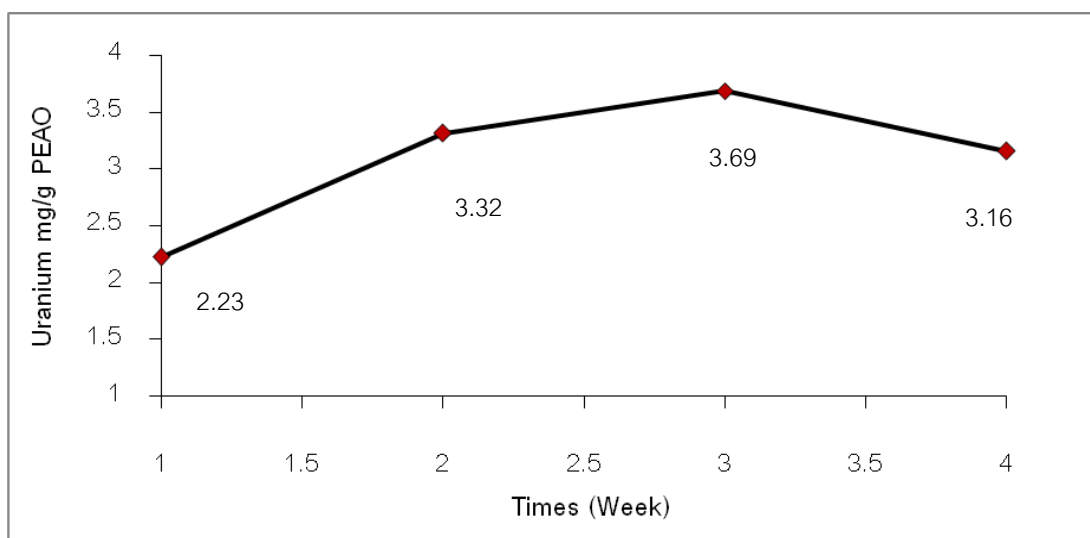
ภาพที่ 4.11 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 1

จากภาพที่ 4.11 แสดงระยะเวลาในการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับเอมีดอกซิม ที่เวลา 1 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 1.30 mg/g PEAO ที่เวลา 2 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 5.44 mg/g PEAO ที่เวลา 3 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 4.73 mg/g PEAO และเวลา 4 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 3.52 mg/g PEAO ซึ่งเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะสามารถดูดซับได้ดีขึ้นจนถึงช่วงเวลานึงก็จะเริ่มลดลงเล็กน้อย ปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปถึงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 คือ อัตราการไหลของกระแสน้ำที่ไม่คงที่การกระจายของไอออนไม่สม่ำเสมอ มีไอออนของธาตุอื่นมาจับกับตัวดูดซับแทนทำให้ไอออนยูเรเนียมไม่สามารถจับกับตัวดูดซับได้ดี และความสกปรกของน้ำทำให้มีตะกอนดินมาเกาะบนพื้นผิวของตัวดูดซับเนื่องจากกระแสน้ำไหลไม่สม่ำเสมอเมื่อเวลานานขึ้นจึงทำให้มีตะกอนดินเกาะมากขึ้น

4.6.2 ผลของเวลาต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 2 แม่น้ำบางปะกง

ตารางที่ 4.5 ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 2

เวลา (สัปดาห์)	ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ (mg/g PEO)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	3.16	2.06	1.48	2.23	0.85
2	4.01	2.00	3.95	3.32	1.14
3	5.03	2.63	3.42	3.69	1.22
4	2.42	4.00	3.05	3.16	0.79



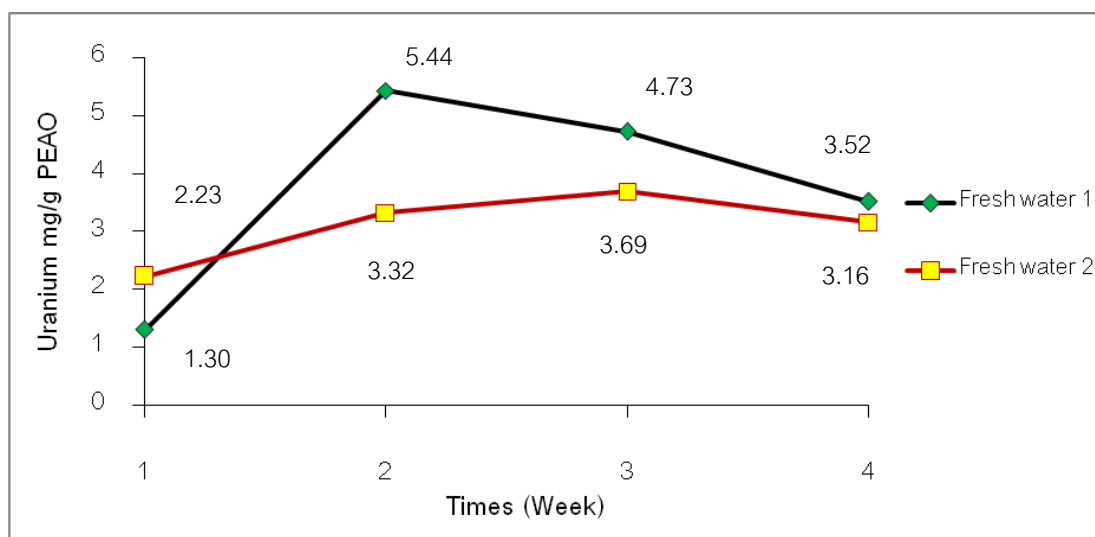
ภาพที่ 4.12 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแห่งที่ 2

จากภาพที่ 4.12 แสดงระยะเวลาในการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับเอมีดออกซิม ที่เวลา 1 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 2.23 mg/g PEO ที่เวลา 2 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 3.32 mg/g PEO ที่เวลา 3 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย

3.69 mg/g PEO และที่เวลา 4 สัปดาห์ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เฉลี่ย 3.16 mg/g PEO ซึ่งเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะสามารถดูดซับได้ดีขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งก็จะเริ่มลดลงเล็กน้อย ปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปถึงสัปดาห์ที่ 4 คือ อัตราการไหลของกระแสน้ำที่ไม่คงที่การกระจายของไอออนไม่สม่ำเสมอ มีไอออนของธาตุอื่นมาจับกับตัวดูดซับแทนทำให้ไอออนยูเรเนียมไม่สามารถจับกับตัวดูดซับได้ดี และความสกปรกของน้ำทำให้มีตะกอนดินมาเกาะบนพื้นผิวของตัวดูดซับเนื่องจากกระแสน้ำไหลไม่สม่ำเสมอเมื่อเวลานานขึ้นจึงทำให้มีตะกอนดินเกาะมากขึ้น

ตารางที่ 4.6 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้มากที่สุดจากแหล่งน้ำจืดที่ 1 และ 2

แหล่งน้ำจืด	ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้มากที่สุด (mg/g PEO)
1	5.44
2	3.69



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมทั้ง 2 แห่ง

จากภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำตัวดูดซับไปแช่ในแหล่งน้ำทั้งสองแห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นนำมาชะล้างด้วย 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดแล้ววิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมด้วย ICP-MS ผลที่ได้ คือ แหล่งน้ำจืดที่ 1 สามารถดูดซับยูเรเนียมได้เท่ากับ 5.44 mg/g PEO และแหล่งน้ำจืดที่ 2 สามารถดูดซับยูเรเนียมได้เท่ากับ 3.32 mg/g PEO เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของยูเรเนียมที่ดูดซับได้ทั้งสองแห่ง ผลปรากฏว่าแห่งที่ 1 มีปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้มากกว่าแห่งที่ 2 และจากการวัดปริมาณยูเรเนียมในตัวอย่างไม่ำของทั้งสองแหล่งพบว่าแห่งที่ 1 คือแม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณยูเรเนียมเท่ากับ 1.95 ppb ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าแห่งที่ 2 โดยได้สุ่มเก็บตัวอย่างตรงบริเวณที่แช่ตัวดูดซับอยู่ตรงปากแม่น้ำติดกับท่าเรือ และแห่งที่ 2 คือแม่น้ำบางปะกงมีปริมาณยูเรเนียมเท่ากับ 3.83 ppb โดยได้สุ่มเก็บตัวอย่างตรงบริเวณที่แช่ตัวดูดซับอยู่ข้างสะพานใกล้กับวัดโสธรวรารามวรวิหาร ปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จากแม่น้ำเจ้าพระยาได้มากกว่าแม่น้ำบางปะกงทั้งๆที่ปริมาณยูเรเนียมในแม่น้ำบางปะกงมีมากกว่าเนื่องมาจากอัตราการไหลของกระแสน้ำนั้นเร็วกว่าทำให้ไอออนยูเรเนียมถูกพัดผ่านตัวดูดซับได้มากกว่าจึงจับได้มากกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองปริมาณรังสีที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์

จากผลการทดลองปริมาณรังสีที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ ผลปรากฏว่า ปริมาณรังสี 10 kGy ได้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 65% ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์น้อยที่สุดและที่ ปริมาณรังสี 40 kGy มีเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดคือ 144% เนื่องจากปริมาณรังสีมีผลต่อการ เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ ที่ปริมาณรังสีสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระได้ ดีกว่าที่ปริมาณรังสีต่ำ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ทำให้ ปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เกิดขึ้นได้ในปริมาณมาก

5.2 ผลการทดสอบด้วย FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)

จากผลการทดสอบการนำแผ่นพอลิเอทิลีน แผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์และแผ่นตัว ดูดซับไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันไฮยาโน คาร์บอกซิล และเอมีดออกซิม ผลปรากฏว่าแผ่นตัวอย่าง ข้างต้นนั้นมีหมู่ฟังก์ชันทั้งสามเกิดขึ้น จึงสรุปได้ว่าสามารถเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมที่มีหมู่ เอมีดออกซิมได้

5.3 ผลการทดสอบด้วย SEM (Scanning electron microscope)

จากผลการทดลองการถ่ายภาพพื้นผิวของตัวดูดซับระหว่างตัวที่ผ่านการกราฟต์ แล้วและที่ยังไม่ผ่านการกราฟต์ ผลปรากฏว่า แผ่นพอลิเอทิลีนที่ยังไม่ผ่านการกราฟต์มีลักษณะ พื้นผิวราบเรียบ และเมื่อนำแผ่นพอลิเอทิลีนไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy พื้นผิวแตกต่างกันไปจากเดิมจากผิวราบเรียบกลายเป็นผิวที่หนาขึ้นมีรอยแตกกร้าว และมีลักษณะ เป็นกลุ่มก้อนสรุปได้ว่าการฉายรังสีนั้นทำให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้น ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันไฮยา- โนที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นเอมีดออกซิมได้

5.4 ผลการทดลองการชะล้างยูเรเนียม

จากผลการทดลองการชะล้างยูเรเนียมที่สภาวะความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอ- ริกที่ต่างกัน ผลปรากฏว่า ที่ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดสามารถชะล้างยูเรเนียม ได้เท่ากับ 7.66 mg/g PEO ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ชะล้างได้ 3.42 mg/g PEO ที่ความ เข้มข้น 1 โมลาร์ ชะล้างได้ 7.45 mg/g PEO และที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ สามารถชะล้างได้

ปริมาณมากที่สุดที่ 10.44 mg/g PEAO จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดว่าที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดสามารถชะล้างยูเรเนียมออกได้หมด และชะล้างได้ดีที่สุดในช่วงความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 โมลาร์

5.5 ผลการทดลองการดูดซับยูเรเนียมที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy

จากการทดลองการดูดซับยูเรเนียมของตัวดูดซับเอมีดอกซิมที่ปริมาณรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy ผลปรากฏว่าเมื่อนำตัวดูดซับไปชะล้างยูเรเนียมออกด้วย 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดที่ปริมาณรังสี 30 kGy สามารถชะล้างยูเรเนียมออกมาได้มากที่สุด จึงสรุปได้ว่าตัวดูดซับที่เตรียมได้จากปริมาณรังสี 30 kGy นั้นเหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมที่สุด

5.6 ผลการทดลองระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดที่ 1 และ 2

จากการทดลองผลของเวลาต่อการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแหล่งที่ 1 ผลปรากฏว่า เมื่อทำการชะล้างยูเรเนียมออกจากตัวดูดซับด้วย 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดแล้วนำไปวัดด้วย ICP-MS ได้ปริมาณยูเรเนียม 5.44 mg/g และจากการดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดแหล่งที่ 2 ผลปรากฏว่า เมื่อทำการชะล้างยูเรเนียมออกจากตัวดูดซับด้วย 2 โมลาร์ ไฮโดรคลอริกแอซิดแล้วนำไปวัดด้วย ICP-MS ได้ปริมาณยูเรเนียม 3.32 mg/g สรุปได้ว่าระยะเวลาที่ 2 สัปดาห์เหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมมากที่สุด เนื่องจากการจับยูเรเนียมของตัวดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงอัตราการดูดซับค่าหนึ่งก็จะเริ่มลดลงเล็กน้อย สาเหตุเนื่องมาจากอัตราการไหลของกระแสน้ำที่ไม่คงที่การกระจายของไอออนไม่สม่ำเสมอ มีไอออนของธาตุอื่นมาจับกับตัวดูดซับแทนทำให้ไอออนยูเรเนียมไม่สามารถจับกับตัวดูดซับได้ดี

จากการวัดปริมาณยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดที่ 1 แม่น้ำเจ้าพระยามีน้อยกว่าแหล่งน้ำจืดที่ 2 แม่น้ำบางปะกง ปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จากแม่น้ำเจ้าพระยาได้มากกว่าแม่น้ำบางปะกงทั้งๆที่ปริมาณยูเรเนียมในแม่น้ำบางปะกงมีมากกว่าเนื่องมาจากอัตราการไหลของกระแสน้ำนั้นเร็วกว่าทำให้ไอออนยูเรเนียมถูกพัดผ่านตัวดูดซับได้มากกว่าจึงจับได้มากกว่า

5.7 ข้อเสนอแนะ

- (1) ควรใช้พอลิเมอร์หลายๆ ชนิดในการเตรียมตัวดูดซับจะได้ทราบว่าพอลิเมอร์ชนิดใดสามารถนำมาพัฒนาเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด
- (2) ควรศึกษาคุณสมบัติของน้ำที่ทำการดูดซับเพราะคุณสมบัติมีผลต่ออัตราการดูดซับยูเรเนียมด้วย
- (3) ควรศึกษาองค์ประกอบของธาตุอื่นที่เขามาจับกับตัวดูดซับแทนที่การจับของยูเรเนียม

รายการอ้างอิง

- Choi, S. H., Choi, M. H., Park, Y. T., Lee, K. P., and kang, H. D. Adsorption of uranium ions by resins with amidoxime and amidoxime/carboxyl group prepared by radiation-induced polymerization. Radiation Physics and Chemistry 67 (2003): 387- 390.
- Choi, S. H., and Nho, Y.C. Adsorption of UO_2^{+2} by polyethylene adsorbents with Amidoxime carboxyl and amidoxime/carboxyl group. Radiation Physics and Chemistry 57 (July 2000): 187-139.
- Choi, S. H., and Nho.,Y.C. Radiation-induced graft copolymerization of binary monomer Mixture containing acrylonitrile onto polyethylene films. Radiation Physics and Chemistry 58 (August 2000): 157-168.
- Das, S., Pendey, A. K., Anjali, A., Virendra K., Bhardwaj, Y. K., Sabharwal, S., and Manchanda, V. K. Chemical aspects of uranium recovery from seawater by Amidoximated electron beam grafted polypropylene membranes. Desalination 232 (September 2008): 243-253.
- Geipel, G., Amayri, S., and Bernhard, G. Mixed complexes of alkaline earth uranyl carbonates: A laser-induced time-resolved fluorescence spectroscopic study. Spectrochimica Acta Part A 71 (November 2008): 53-58.
- Nalan, K., Akio, K., and Sugo, T. Preparation of amidoxime fiber adsorbents by Radiation induced grafting. Radiat phys chem. Elsevier science Ltd 4 (1995): 833-836.
- Tomomi, K., et al. Preparation of hydrophilic amidoxime fiber by cografting acrylonitrile and methacrylic acid from an optimized monomer composition. Radiation Physics and Chemistry 59 (April 2000): 405-411.
- Zhang, A., Uchiyama, G., and Asakura, T. pH Effect on the uranium adsorption from seawater by a macroporous fibrous polymeric material containing amidoxime chelating functional group. Reactive & Functional Polymers 63 (April 2005): 143-153.

Zhang, A., Uchiyama, G., and Asakura, T. The adsorption mechanism of uranium (VI) from seawater on a macroporous fibrous polymeric adsorbent containing amidoxime chelating functional group. Reactive & Functional Polymers 57 (July 2003): 67–76.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ [Degree of grafting (%)]

วิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การกราฟต์

วิธีคำนวณ

จากสูตร
$$\left(\frac{W_a - W_o}{W_o}\right) \times 100$$

เมื่อ $W_a = 0.0314 \quad \text{g}$

$W_o = 0.0191 \quad \text{g}$

แทนค่าในสูตร

$$\left(\frac{0.0314 - 0.0191}{0.0191}\right) \times 100$$

$$= 64.3979$$

เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ = 64.3979

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมยูเรนิลเปอร์คลอเรต, $\text{UO}_2(\text{ClO}_4)_2$

วิธีการคำนวณ การเตรียม $\text{UO}_2(\text{ClO}_4)_2$

วิธีคำนวณ

จากสูตร
$$W_g = \frac{M \times MW \times V}{1000}$$

เมื่อ
$$W_g = 0.001 \text{ g}$$

$$MW = 468.95$$

$$V = 100$$

แทนค่าในสูตร

$$0.001 = \frac{M \times 468.95 \times 100}{1000}$$

$$M = \frac{0.001 \times 1000}{468.95 \times 100}$$

ความเข้มข้น $= 2.13 \times 10^{-5}$ โมลาร์

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณการหาไน้หนักเอมีดอกซิม (AO) mmol/g PE

วิธีการคำนวณหาน้ำหนักเอมีตอกซิม (AO) mmol/g PE

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad \text{AO mmol/g} &= \left((W_a - W_0) \times W_a \right) \times (1000/86) \\ \text{เมื่อ} \quad W_a &= 0.0314 \\ W_0 &= 0.0191 \text{ g} \end{aligned}$$

Factor of methacrylic acid = 86

แทนค่าในสูตร

$$\begin{aligned} \text{AO mmol/g} &= \left((0.0314 - 0.0191) / 0.0314 \right) \times (1000/86) \\ \text{AO mmol/g} &= 4.5548 \end{aligned}$$

น้ำหนักของเอมีตอกซิม (AO) mmol/g PE มีค่าเท่ากับ 4.5548 mmol/g

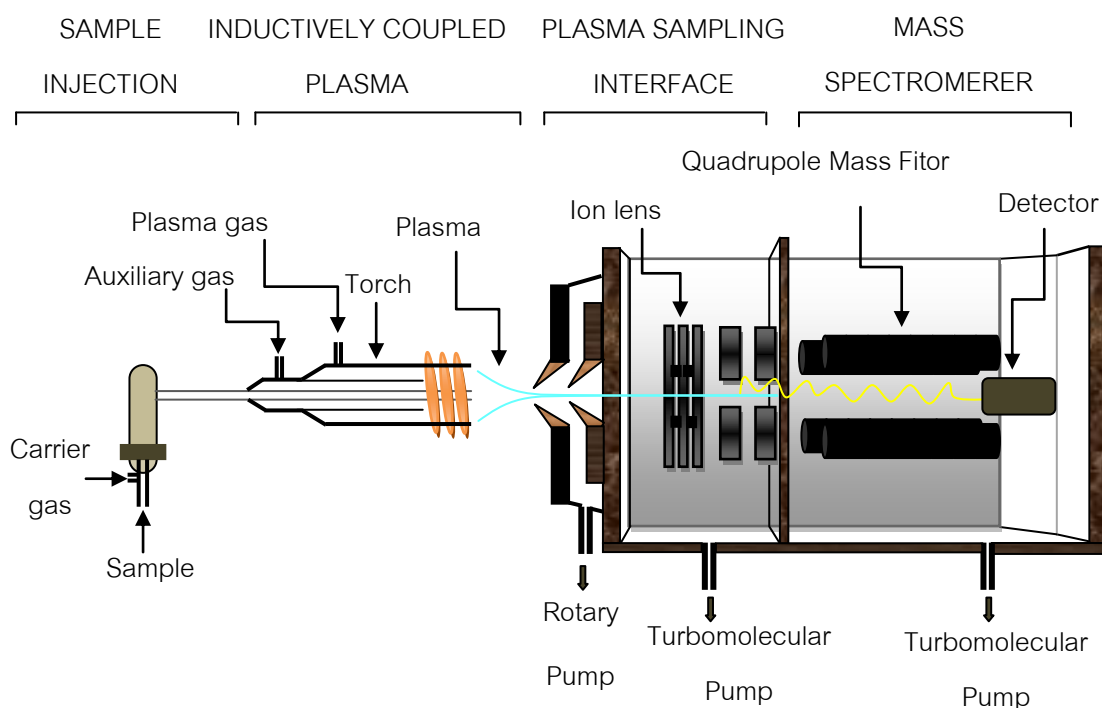
ภาคผนวก ง
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer, ICP-MS

ICP-MS เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยหลักการการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมที่เกิดจากการเผาตัวอย่างโดยพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูง สามารถ atomize ธาตุได้ทุกชนิด วิเคราะห์ได้หลายธาตุพร้อมๆกัน อาศัยการแยกมวลและประจุไฟฟ้าแต่ละชนิดแล้วเข้าสู่หัววัดสามารถวิเคราะห์ไอโซโทปของธาตุได้อย่างถูกต้องและเที่ยงตรง detection limit ของ ICP-MS นั้นสามารถวัดได้ถึงในระดับ ppb-ppt จึงเป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณต่ำมาก

หลักการของ ICP-MS อาศัยหลักการ atomize ธาตุให้กลายเป็นไอออนด้วย plasma ที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 10000 องศาเซลเซียส plasma มีลักษณะคล้าย flame ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี แหล่งกำเนิด plasma ประกอบด้วยท่อควอตซ์มีท่อทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าขดรอบ ภายในท่อควอตซ์มีแก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สอาร์กอนไหลผ่านจากด้านล่างเข้าสู่ภายใน ท่อทองแดงจะต่อกับเครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ (Radiofrequency generator, RF generator) ความถี่ที่ใช้อยู่ระหว่าง 4-50 MHz ส่วนใหญ่จะใช้ 27 MHz เมื่อให้ประกายไฟฟ้าจะทำให้แก๊สอาร์กอนแตกตัวให้อิเล็กตรอนซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดพลาสมา การเหนี่ยวนำนั้นต้องอาศัยการเกิดสนามแม่เหล็ก (H) ขึ้นภายในท่อควอตซ์โดยมีเส้นแรงแม่เหล็กขนานไปตามแนวยาวของท่อควอตซ์ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (E) ที่มีเส้นแรงเป็นวงกลมขึ้นภายในท่อควอตซ์อิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้นด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในท่อควอตซ์เมื่ออิเล็กตรอนชนกับอะตอมอื่นๆ ของแก๊สอาร์กอน จะทำให้เกิดการไอออนไนซ์เพิ่มมากขึ้น และในขณะเดียวกันนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมสูงขึ้นไปตามท่อควอตซ์จะเกิดแรงต้านทานจากสนามแม่เหล็กทำให้เกิด Ohmic heat ที่มีอุณหภูมิสูงมาก

การนำสารละลายผ่าน ICP torch สารละลายตัวอย่างจะถูกนำเข้ามาด้วยแรงผลักดันของแก๊ส Ar ทางท่อตรงกลาง (อัตราของแก๊ส Ar ประมาณ 1 L/min) เข้าสู่ตรงกลางของพลาสมาในขณะเดียวกันจะมีแก๊ส Ar ที่มีอัตราการไหลสูงประมาณ 10 L/min เข้ามาหล่อทางท่อรอบนอกเพื่อทำให้พลาสมานิ่ง มีรูปร่างคงที่ และแยกพลาสมาจากสิ่งแวดล้อม ส่วนแก๊ส Ar ที่เข้ามาทางท่อชั้นที่สองนั้นมีใน ICP บางยี่ห้ออุณหภูมิของ plasma torch อยู่ระหว่าง 9,000-10,000 °C



ภาพที่ 1 แผนผังส่วนประกอบของเครื่อง ICP-MS

เมื่อโมเลกุลของสารกลายเป็นประจุไฟฟ้าบวกโดย ion source จากนั้นจะเคลื่อนที่เข้าไปใน Chamber ผ่านช่องสลิตเดี่ยวที่มีสามช่องและมีค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ประจุบวกจะถูกเร่งให้มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น mass analyzer จะทำหน้าที่แยกประจุไฟฟ้าและมวลของสาร โดยประจุบวกจะถูกหักเหโดยสนามแม่เหล็ก ไอออนที่มีประจุบวกลดจะหักเหน้อยกว่าไอออนที่มีประจุบวกมาก และไอออนที่มีมวลน้อยจะหักเหมากกว่าไอออนที่มีมวลมาก จากนั้นจะถูกวัดด้วย detector โดยไอออนที่มีประจุบวกเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยัง Detector และกระทบกับแท่งโลหะแล้วรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นกลางทางไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอน จะทำให้สามารถวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ การวิเคราะห์นี้จึงมีความแม่นยำและเทคนิคนี้กลายเป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยมาก ๆ (Ultra trace analysis) อย่างไรก็ตามองค์ประกอบในแมทริกซ์ที่ปริมาณสูง หรือเกลือที่อยู่ในสารตัวอย่างสามารถก่อให้เกิดการรบกวนในรูปแบบต่างๆ ได้

2. Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารที่อาศัยหลักการการสั่น (vibration) ของโมเลกุลของสารเมื่อดูดกลืนพลังงานแสงในย่านอินฟราเรด ($12,800 - 10 \text{ cm}^{-1}$) เข้าไป เมื่อสารดูดกลืนแสงอะตอมที่ยึดกันด้วยพันธะเคมีจะเกิดการสั่น 2 แบบคือ Stretching คือการสั่นเหมือนสปริง และ Bending คือการสั่นแบบเปลี่ยนมุมของพันธะ แต่ละโมเลกุลจะเกิดการสั่นด้วยความถี่ที่แตกต่างกัน ความถี่ที่เกิดจากการสั่นเหล่านี้จะอยู่ในช่วง FTIR spectrum

FTIR นำเอาหลักการของ Michelson Interferometer มาใช้แทนอุปกรณ์กระจายแสง (slit) แล้ววัดความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เทียบกับเวลา (Time-Domain spectroscopy) จากนั้น time-domain spectrum จะถูกเปลี่ยนเป็น frequency-domain spectrum ด้วย Fourier transform โดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย

หัววัด (Detectors) อาศัยหลักการวัด 2 ทางคือ photoconductive effect และ heating effect

1 Photoconductive effect Photon detector เป็นแผ่นแก้วฉาบด้วย Semiconductor เช่น Ge doped Cu, PbS และ PbTe จะมีความต้านทานเกิดขึ้นค่าหนึ่งแสงตกกระทบจะทำให้ความต้านทานลดลง สัญญาณ IR ได้จากผลต่างของความต้านทานที่เปลี่ยนไป

2 Heating effect การเปลี่ยนแปลงความร้อนทำให้ความต้านทานเปลี่ยนไป Thermocouple Detector จะมีการกระแสไฟฟ้าขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ปลายลวดโลหะ 2 ชนิด (ที่เชื่อมต่อกัน) แตกต่างกัน

Thermistor Detector อาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่วงจร Wheatstone bridge เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

Golay Cell Detector อาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันของแก๊สใน Cell เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

Pyroelectric Detector ประกอบด้วยผลึกที่มี dipole moment ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่น Triglycine sulphate; TGS, Deuterated triglycine sulphate; DTGS, Lithium tantalate. โดยผลึกนี้จะอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่เป็นแผ่นโลหะต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า เมื่อแสงตกกระทบผลึกนี้ จะเกิดการเปลี่ยน dipole moment (อุณหภูมิเปลี่ยน) เกิดประจุขึ้นและเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นที่ขั้ว กระแสที่เกิดขึ้นแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

3. Scanning electron microscope, SEM

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยสายตาประเภท กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนฉาย หรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบ ให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรืออาจบันทึกภาพที่บนแผ่นฟิล์มได้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนมีชื่อ"ภาษาอังกฤษ"คำเต็มว่า Scanning Electron Microscope และโดยทั่วไปแล้วผู้ที่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ชนิดนี้มักจะเรียกชื่อย่อเป็น"ภาษาอังกฤษว่า"SEM" (ออกเสียงว่าเอสอีเอ็ม) ส่วนกล้องจุลทรรศน์อีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นต้นกำเนิดของ SEM นั้นเป็นกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่เรียกว่า TEM (อ่านว่าทีอีเอ็ม) คำนี้ย่อมาจาก Transmission Electron Microscope ซึ่งหมายถึงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนส่องผ่านตัวอย่างที่บางมาก และภาพที่เกิดขึ้นก็คือเงาที่ปรากฏบนแผ่นรับภาพ ซึ่งสามารถบันทึกบนแผ่นฟิล์ม (ถ่ายภาพ) ได้เช่นกัน ทั้ง SEM และ TEM มีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานคล้ายคลึงกันในระบบโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับระบบสุญญากาศ การทำให้มีลำแสงอิเล็กตรอนและระบบเส้นส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีบทบาทในการรวมหรือกระจายลำแสงอิเล็กตรอนตัวอย่างที่ต้องการศึกษาหรือตรวจสอบ ระบบอื่นๆ ของกล้องทั้งสองประเภทมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ ระบบของการสร้างภาพและลักษณะของภาพที่ปรากฏ นั่นคือ TEM มีระบบของการเกิดภาพได้ง่ายๆ ภาพที่เกิดขึ้นจะปรากฏให้ผู้ใช้เห็นได้โดยตรงบนแผ่นรับภาพ และภาพนั้นเกิดความแตกต่างระหว่างความโปร่งใสและความทึบแสงที่ลำแสงอิเล็กตรอนผ่านหรือไม่สามารถผ่านได้ ภาพที่ปรากฏก็คือเงาของตัวอย่าง ส่วนระบบการเกิดภาพใน SEM เป็นระบบที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก ไม่ใช่เป็นเงาที่ภาพที่เกิดขึ้นโดยตรงอันเกิดจากลำแสงอิเล็กตรอนผ่านหรือไม่สามารถผ่านตัวอย่างภาพใน SEM จึงเป็นภาพที่เกิดโดยทางอ้อม ซึ่งเป็นการรวบรวมสัญญาณที่เกิดภายหลังการกระทบลำแสงอิเล็กตรอน แล้วเปลี่ยนไปเป็นภาพให้ปรากฏบนจอภาพที่มีลักษณะคล้ายจอโทรทัศน์หรืออีกนัยหนึ่งภาพที่เกิดขึ้นใน SEM ก็คือ ผลจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นภาพ ถึงแม้ว่าภาพซึ่งเป็นผลหรือข้อมูลที่ได้รับมาโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้ง 2 ประเภทดังกล่าวคือ ทั้ง TEM และ SEM จะเป็นภาพของตัวอย่างที่เป็นภาพขยายและมีรายละเอียดสูงก็ตามภาพที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ทั้ง 2 ประเภทมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก ภาพที่ได้รับจากการใช้ TEM เป็นภาพขยายที่มีการแจ่มแจ้งรายละเอียดสูง และมีลักษณะ 2 มิติ ส่วนภาพที่ได้รับจาก SEM นั้นนอกเหนือจากเป็นภาพที่มีคุณสมบัติในด้านกำลังขยายและรายละเอียดแล้ว ภาพที่ปรากฏจากการใช้ SEM ยังมีลักษณะพิเศษคือเป็นภาพที่มีความลึกหรือเป็นภาพประเภท 3 มิติ

3.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM

SEM โดยทั่วไปประกอบด้วยโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน โครงสร้างง่าย ๆ ที่เห็นได้ชัดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่มีลักษณะคล้ายปล่องภายในกลวงเรียกว่า column และส่วนที่เป็นตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมดเรียกว่า console unit ทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถเห็นได้ชัดเพราะเป็นลักษณะภายนอกทั่วไปของ SEM จะขาดอย่างใดอย่างหนึ่งเสียมิได้ เพราะ column ประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐานที่ให้กำเนิดอิเล็กตรอนจากนั้นจะรวบรวมอิเล็กตรอนให้ส่งไปยังพื้นผิวของตัวอย่างที่วางอยู่ภายในช่องตัวอย่าง ซึ่งอยู่บริเวณฐานของ column อุปกรณ์รับสัญญาณที่เกิดขึ้นภายหลังจากอิเล็กตรอนกระทบตัวอย่างจะถูกจัดวางไว้อย่างเหมาะสมในบริเวณนี้เช่นกัน ส่วนภายใน console unit ซึ่งประกอบด้วยแผงควบคุม ระบบควบคุมไฟฟ้า ระบบสุญญากาศ และระบบถ่ายภาพนั้นประกอบด้วยชิ้นส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จัดไว้เป็นระบบ เช่น การควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนภายใน column จำเป็นต้องใช้ปุ่มบังคับที่อยู่บนแผงควบคุมของ console unit นอกเหนือจาก column และ console unit ที่เป็นส่วนจำเป็นอย่างยิ่งแล้ว SEM ยังมีส่วนประกอบที่จำเป็นเช่นเดียวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TEM คือระบบทำสุญญากาศ (vacuum system) ระบบทำไฟฟ้าแรงสูง (high voltage generator) และระบบทำความเย็นโดยการหมุนเวียนน้ำเย็น (water cooling system)

3.2 ส่วนประกอบของ SEM มีดังนี้

3.2.1 แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากถังแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจาก 110 volts หรือ 220 volts เป็นไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูง คือ ระหว่าง 1-30 Kilovolts ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยหลอดโลหะ Tungsten ที่บิดเป็นรูปตัววี เรียกว่า filament และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehnelt cylinder) มีรูอยู่ตรงปลายกรวยเมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1,000 volts ขึ้นไปเข้ามาสู่ filament หลอดตัววีดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูงประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจายออกมา ในสภาวะสุญญากาศภายใน column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือลงสู่สนามแม่เหล็กที่สามารถรวบรวมประจุอิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งมี filament และ Wehnelt cylinder อยู่ภายในสามารถทำให้ขยับเขยื้อนได้ด้วยสกรูที่อยู่รอบๆ ด้านนอกแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ทั้งนี้เพื่อปรับให้แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนอยู่ในแนวตรง ศูนย์กลางหรือตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของเลนส์ สนามแม่เหล็กภายใน column

ใน SEM สมัยใหม่นอกจากจะมีปั๊มหรือสกรูที่ช่วยปรับแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ให้ได้ศูนย์แล้วยังมีขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณแผ่น anode เพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่ศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กในเลนส์ชุดแรก ขดลวดดังกล่าวเรียกว่า alignment coil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับได้ตามต้องการโดยหมุนและปรับปุ่ม (alignment knobs) บนแผงของ console-unit เหตุที่ต้องปรับแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ก็เพื่อจะให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เป็นรูปทรงกระบอกที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเลี้ยวเบนออกไปจากศูนย์กลาง หากมีการบิดของลำแสงอิเล็กตรอนออกนอกทิศทาง อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) บางส่วนจะถูกกั้นออกไปซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron)

3.2.2 เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสง

อิเล็กตรอน (electromagnetic lens & scan coils) เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ลำแสงดังกล่าวจะไปตกกระทบบนผิวตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการ บริเวณรูปลี่เหลี่ยมจัตุรัสของเลนส์แต่ละชุดจะมี aperture ซึ่งเป็นโลหะประเภททองขาวหรือทองเหลืองที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน (50 um - 400 um) และสามารถเปลี่ยนได้ตามขนาดที่ต้องการ aperture ดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเลนส์แต่ละชุดภายในบริเวณที่ไร่นามแม่เหล็กของเลนส์ aperture เหล่านี้ทำหน้าที่กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่ผ่านสนามแม่เหล็กของเลนส์แต่ละชุดให้มีรูปกรวยที่สมมาตรกับ aperture ของเลนส์ชุดสุดท้ายก่อนที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะมาสัมผัสกับตัวอย่างเป็น aperture พิเศษเรียกว่า objective aperture มีไว้เพื่อกลั่นกรองลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวยขนาดเล็กที่มีความสมมาตรที่สุด และกำหนดขนาดปริมาณของอิเล็กตรอนให้กระทบจุดต่างๆ บนผิวตัวอย่างเพื่อให้ภาพที่ได้มีความลึกมากกว่าปกติ ขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้กวาดไปบนผิวของตัวอย่าง ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์นี้เรียกว่า scan coils ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้าและยังควบคุมการกวาดของลำแสงที่เป็นเส้นในจอรับภาพ (CRT) ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทาง และเวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอน

3.2.3 ช่องใส่ตัวอย่าง (specimen chamber) ของ SEM เป็นช่องว่างใต้เลนส์สุดท้าย ส่วนที่สำคัญของช่องใส่ตัวอย่างคือฐานวางตัวอย่างและปุ่มควบคุมโดยใช้เฟืองขนาดต่างๆ เพื่อเลื่อนฐานนี้ไปมาภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทาง ฐานวางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า goniometer stage

3.3.4 อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (collector & scintillator) เป็นแท่งแก้วใส

มีปลายมนทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวกขนาด 30 – 250 โวลท์ เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่าง

3.3.5 อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (imaging & photographic devices)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพ และภาพที่ปรากฏบนจอ CRT ก็พร้อมที่จะทำการบันทึกที่อุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อนำแสง เครื่องขยาย และอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนให้เป็นกระแสไฟฟ้า การสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้ แล้วผ่านเข้าสู่แท่งแก้วใสประเภทท่อนำแสงในลักษณะของแสง แสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง (photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิด photons นี้ไปเป็นอิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพ (CRT) ที่ติดตั้งไว้บน console unit

4. แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Co-60

Co-60 เป็นไอโซโทปรังสี มีครึ่งชีวิต 5.26 ปี และสลายตัวไปเป็นนิเกิล-60 โดยการปล่อยอนุภาคบีตาพลังงาน 0.318 MeV และรังสีแกมมาพลังงาน 1.33 MeV และ 1.17 MeV ซึ่งเราสามารถประโยชน์จากรังสีแกมมานี้ได้หลายด้าน เช่น การแพทย์ อุตสาหกรรม การศึกษาวิจัย และการเกษตร ยกตัวอย่าง เช่น การฉายรังสีอาหารเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้รังสีแกมมาจาก Co-60 ซึ่งจะไม่ทำให้อาหารกลายเป็นสารกัมมันตรังสีได้ ทั้งนี้เพราะว่ารังสีแกมมาจาก Co-60 มีพลังงานไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการก่อกัมมันต์ (Activation)

การเตรียม Co-60 ทำได้โดยนำ Co-59 ซึ่งเป็นไอโซโทปที่เสถียรที่เป็นผง ขึ้นรูปให้เป็นเม็ดเล็กๆ และเป็นแบบแท่งโดยใช้ Co-59 ที่มีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.9 เคลือบเม็ดและแท่งเหล่านั้นด้วยนิเกิลเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Co-59 กับออกซิเจนในอากาศ ลักษณะของเม็ดหรือแท่งโคบอลต์ที่ใช้กันโดยทั่วไป มี 2 ลักษณะ ดังนี้

1. สำหรับใช้ในทางการแพทย์ เม็ดโคบอลต์จะทำเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาด 1 มิลลิเมตร x 1 มิลลิเมตร

2. สำหรับใช้ในทางอุตสาหกรรม จะเป็นแท่งยาว มีลักษณะเป็นทรงกระบอก เช่นเดียวกับแบบเม็ด แต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.4 มิลลิเมตร และสูง 25.5 มิลลิเมตร

สำหรับแท่งโคบอลต์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม จะถูกบรรจุเข้าไปในท่อที่ทำด้วยโลหะผสมของเซอร์โคเนียม เรียกว่า เซอร์คัลลอย (zircaloy) หลังจากบรรจุเรียบร้อยแล้ว ปลายทั้ง

สองจะถูกผนึกโดยการเชื่อม เพื่อใช้เป็นแท่งต้นกำเนิด แท่งต้นกำเนิดเหล่านี้ จะถูกนำมารวมกันให้เป็นมัดแล้วนำไปอบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะทำให้ Co-59 กลายเป็น Co-60 จากนั้นเคลื่อนย้ายแท่งโคบอลต์มาบรรจุในถังที่ทำเป็นพิเศษโดยทำด้วยตะกั่วหนาและหุ้มด้วยเหล็กกล้า ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากโคบอลต์กันอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้วินิจฉัยโรคมะเร็งในผู้ป่วยทางการแพทย์ การฆ่าเชื้อในผลผลิตทางการเกษตร และการตรวจระดับของเหลวในถัง การฉายรังสีอัญมณี การใช้ควบคุมความหนาของแผ่นพลาสติกในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นพลาสติก เป็นต้น

ภาคผนวก จ

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ เรื่อง การประยุกต์ใช้พอลิเอทิลีนพอลิเมออร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิม
เพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด



มหาวิทยาลัยรังสิต
เมืองเอก อ.พหลโยธิน
จ.ปทุมธานี 12000

Rangsit University
Muang-Aek, Pathayothin Rd.
Pathumthani 12000, Thailand

T. (66) 2991 2200-30
F. (66) 2533 9470
E. info@rsu.ac.th

ที่ สวจ.6500/4๐๐

13 มีนาคม 2555

เรื่อง ตอบรับการเข้าร่วมงานประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2555

เรียน คุณสงวนศักดิ์ ไร่กันยา

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. ใบแจ้งรับเงินค่าลงทะเบียนเข้าร่วมประชุมวิชาการ และนำเสนอผลงานประชุมวิชาการ ประจำปี 2555
2. แบบฟอร์มยินยอมถ่ายโอนลิขสิทธิ์ในการเผยแพร่ผลงาน

ตามที่ท่านได้จัดส่งนิพนธ์ต้นฉบับ เพื่อร่วมนำเสนอในงานประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2555 ในรูปแบบโปสเตอร์นั้น ขณะนี้ต้นฉบับของท่านได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว โดยเห็นสมควรให้เข้าร่วมการประชุม และตีพิมพ์ ในรูปแบบโปสเตอร์

ในการนี้ สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต ใคร่ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2555 ในวันอังคารที่ 10 เมษายน 2555 ทั้งนี้ ขอให้ท่านโปรดจัดเตรียมโปสเตอร์เพื่อนำมาติดในงานวันดังกล่าว โดยจัดทำโปสเตอร์ตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

บอร์ดที่จะนำโปสเตอร์ติดนั้นมีขนาด กว้าง 1 เมตร สูง 1.5 เมตร 2. การจัดทำโปสเตอร์ต้องมีขนาด A0 เท่านั้น (88 เซนติเมตร x 120 เซนติเมตร) โดยระบุ 1) หัวเรื่องงานวิจัย ขนาด Font 120 points 2) ชื่อผู้ทำการวิจัย ขนาด Font 60 points 3) เนื้อเรื่อง ขนาด Font 40 points 4) รูปภาพประกอบงานวิจัย ควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 Pixels เพื่อคุณภาพในการจัดพิมพ์ และ 5) เว้นระยะขอบโดยรอบ อย่างน้อย 7 เซนติเมตร

ทั้งนี้ ขอความกรุณาให้ผู้นำเสนอผลงานโปสเตอร์ที่จัดพิมพ์เรียบร้อยแล้ว ส่งทางไปรษณีย์มายัง "ตบ.บั้นวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต ซอยพหลโยธิน 87 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12000" โปรดแจ้งชื่อ-นามสกุล Paper ID พร้อมชื่อผลงานวิจัยบนซองเอกสารให้ชัดเจน และโปรดกรอกข้อมูลการยินยอมถ่ายโอนลิขสิทธิ์ลงในแบบฟอร์มดังสิ่งที่ส่งมาด้วย 2 และ โปรดส่งกลับมายังสถาบันวิจัยภายใน 26 มีนาคม 2555 สำหรับในวันจัดงานประชุมนั้น ขอให้ท่านยื่นประจำบอร์ดในช่วงเวลา 8.30 – 9.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่คณะกรรมการจะพิจารณาผลงานวิจัยดีเด่นประเภท โปสเตอร์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดดำเนินการและขอขอบคุณท่านล่วงหน้า ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์จันทร์ อนุแพทย์)

คณะกรรมการจัดงานและบรรณาธิการ

ติดต่อประสานงาน : สถาบันวิจัย โทร. 0-2791-56๖๖ โทรสาร. 0-2791-5689



มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

ขอมอบเกียรติบัตรนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

สงวนศักดิ์ ใสกันษา

ได้ร่วมนำเสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์

เรื่อง การประยุกต์ใช้พอลิเอทิลีนพอลิเมออร์ที่มีหมู่เอมิดอกซิมเพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด

ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ประจำปี ๒๕๕๕

ในวันที่ ณ วันที่ ๑๐ เดือนเมษายน พุทธศักราช ๒๕๕๕

(ดร.อาภรณ์ อุไรรัตน์)

อธิการบดี



Program Brochure of **RSU** 
Research Conference 2012

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยรังสิต
10 เมษายน 2555

แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ
และวิทยาศาสตร์สุขภาพ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
วิจัยพัฒนาการเรียนการสอน



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสงวนศักดิ์ ใ้กัณยา เกิดวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ.2527 ที่จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552 โดยบทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ คือ การประยุกต์ใช้พอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิม เพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด ชื่อวารสาร การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2555 หน้าที่ 186-187 และได้รับทุนสนับสนุนในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนา ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปัจจุบันเป็นลูกจ้าง ปฏิบัติงานด้านการผลิตสารเภสัชรังสี ศูนย์ไอโซโทปรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)