

การสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลเอมีดอกซิมสำหรับดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล



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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF AMIDOXIME POLYMER GEL URANIUM ADSORPTION IN SEAWATER

Mr. Chaiyaruang Kanokworakan



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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลเอมีดอกซิมสำหรับดูดจับ ยูเรเนียมในน้ำทะเล |
| โดย | นายชัยเรือง กนกวรรณกาญจน์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมนิวเคลียร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง)

.....กรรมการ
(ดร.พรณี แสงแก้ว)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

ชัชเรือง กนกรวกรกฤษฎณ์ : การสังเครษะห์พอลิเมอรเจลเอมีตอกซิมสำหรับดูดจับยูเรเนียมในน้ำทะเล (SYNTHESIS OF AMIDOXIME POLYMER GEL URANIUM ADSORPTION IN SEAWATER) อ.ที่ปริภษวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ดลยพงศ์ วงศ์แสวง, 55 หน้า.

การวิจัยการสกัดยูเรเนียมจากน้ำทะเลโดยใช้ตัวดูดจับเอมีตอกซิมเจลซึ่งสังเครษะห์จากมอนอเมอร์ผสมและสารเชื่อมโยงโดยใช้เทคนิคฉายรังสีอัลตราไวโอเลต การสังเครษะห์ทำโดยใช้สารละลายมอนอเมอร์ผสมระหว่างอะครีโลไนไตรล์กับเมทาคริลิกแอซิดโดยใช้ไดเมทิลซัลไฟออกไซด์เป็นตัวทำละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวกำเนิตอนุมูลอิสระและเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นสารเชื่อมโยง และฉายรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง โดยศึกษาอัตราส่วนของมอนอเมอร์สองชนิดได้แก่ อะครีโลไนไตรล์และเมทาคริลิกแอซิดที่ 80:20, 60:40 และ 40:60 ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 50, 60, 80 และ 100 ml ต่อ 100 ml มอนอเมอร์ และสารเชื่อมโยงที่ 1, 2 และ 4 กรัมต่อ 100 ml มอนอเมอร์ เมื่อทดลองนำตัวดูดจับเอมีตอกซิมเจลมาจุ่มในน้ำทะเลในห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ พบว่าที่อัตราส่วน 80:20 ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60 ml และสารเชื่อมโยง 1 กรัม ได้ค่าการดูดจับยูเรเนียมสูงสุดเท่ากับ 2.36 mg U/g adsorbent และหากลดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงมาเป็น 50 ml ได้ค่าการดูดจับยูเรเนียมเท่ากับ 2.2 mg U/g adsorbent ส่วนที่อัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่ 60:40 ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60 และ 50 ml และปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 1 กรัม ได้ค่าการดูดจับที่ 1.42 และ 1.23 mg U/g adsorbent ตามลำดับการดูดจับยูเรเนียมที่สูงขึ้นอย่างมากนี้เป็นผลมาจากการที่ใช้เอมีตอกซิมเจลโดยตรง โดยที่ไม่ต้องให้หมู่เอมีตอกซิมเกาะบนเส้นใยไฟเบอร์ซึ่งเพิ่มน้ำหนักของตัวดูดจับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภควิทยศ วิศวกรรมนิวเคลียร์

ลายมือชื่อนิสิต

ศษขววิทยศ วิศวกรรมนิวเคลียร์

ลายมือชื้อ อ.ที่ปริภษหลัก

ปีการศีกษศ 2559

5870135721 : MAJOR NUCLEAR ENGINEERING

KEYWORDS: POLYMER GEL / AMIDOXIME / URANIUM EXTRACTION

CHAIYARUANG KANOKWORAKAN: SYNTHESIS OF AMIDOXIME POLYMER GEL
URANIUM ADSORPTION IN SEAWATER. ADVISOR: ASSOC. PROF. DOONYAPONG
WONGSAWAENG, Ph.D., 55 pp.

Uranium extraction from seawater using amidoxime adsorbent gel was researched. The gel was synthesized from a mixture of monomers and crosslink agent irradiated with ultraviolet ray. Synthesis was performed by using acrylonitrile and methacrylic acid monomers dissolved in dimethyl sulfoxide, hydrogen peroxide as a free radical generator and methylene bisacrylamide as a crosslink agent, and irradiated with ultraviolet ray for 8 hours. Studied parameters were ratio of acrylonitrile to methacrylic acid at 80:20, 60:40 and 40:60, volume of hydrogen peroxide at 50, 60, 80 and 100 ml per 100 ml monomer and crosslink agent at 1, 2 and 4 g per 100 ml monomer. After submersion in seawater in a laboratory for 4 weeks, it was found that at the ratio 80:20, volume of hydrogen peroxide 60 ml and 1 g of crosslink-agent, uranium adsorption was evaluated to be 2.36 mg U/g adsorbent, which was highest. If the volume of hydrogen peroxide was reduced to 50 ml, the adsorption became 2.2 mg U/g adsorbent. For the monomer ratio of 60:40, the volume of hydrogen peroxide 60 and 50 ml and 1 g of crosslink agent, the adsorption was 1.42 and 1.23 mg U/g adsorbent, respectively. The highly enhanced uranium adsorption was a direct result of using the amidoxime gel without having the amidoxime groups grafted onto fibers, which increased the weight of the adsorbent.

Department: Nuclear Engineering Student's Signature

Field of Study: Nuclear Engineering Advisor's Signature

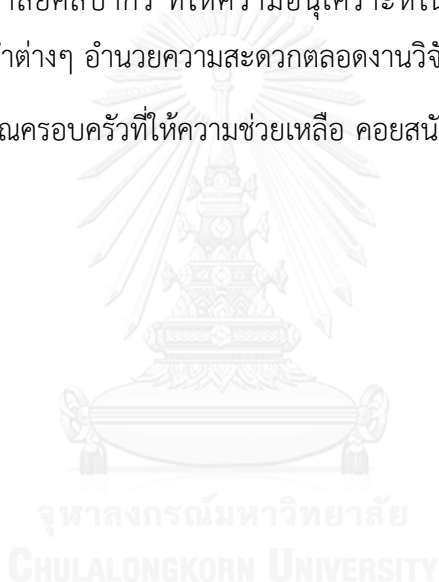
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสงสว่าง สำหรับการให้คำแนะนำ ปรึกษาและให้การช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการ รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล และ ดร.พรรณี แสงแก้ว ที่ให้ความกรุณาในการสอบวิทยานิพนธ์ ให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบ และแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ ฉิมพาลี อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบรายละเอียดระเบียบ คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ อำนวยความสะดวกตลอดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือ คอยสนับสนุน และให้กำลังใจ



สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.5 สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สำคัญ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 7 |
| 2.1 ทฤษฎี..... | 7 |
| 2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำทะเล..... | 7 |
| 2.1.2 อัลตราไวโอเลต (Ultraviolet, UV)..... | 11 |
| 2.1.3 อนุมูลอิสระ (Free radicals)..... | 13 |
| 2.1.4 พอลิเมอร์ (Polymer)..... | 14 |
| 2.1.5 พอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization)..... | 19 |
| 2.1.6 การพอลิเมอร์ไรเซชันโดยรังสี (Polymerization by radiation)..... | 20 |
| บทที่ 3 วิธีการทดลอง..... | 21 |
| 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์..... | 21 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.2 | ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอซิเมเจลโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต | 22 |
| 3.3 | ขั้นตอนการแยกยูเรเนียมออกจากตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอซิเมพอลิเมอร์เจล | 24 |
| บทที่ 4 | ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย | 27 |
| 4.1 | การสังเคราะห์พอลิเมอร์เจล..... | 27 |
| 4.1.1 | เอมีดอซิเมชัน..... | 27 |
| 4.1.2 | ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเอมีดอซิเมบนผิวเอมีดอซิเมเจลโดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)..... | 30 |
| 4.1.3 | ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เจลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning electron microscope (SEM) | 31 |
| 4.1.4 | ระยะเวลาที่เหมาะสมในการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้เกิดพอลิเมอร์เจล | 32 |
| 4.2 | ผลของสัดส่วนของมอนอเมอร์ต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย | 34 |
| 4.3 | ผลของปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย..... | 36 |
| 4.4 | ผลของสารเชื่อมโยงต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยโดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60 ml..... | 37 |
| 4.5 | ผลของสารเชื่อมโยงต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยโดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ml | 39 |
| 4.6 | ผลการทดลองการดูดซับยูเรเนียมที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล และชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต..... | 40 |
| บทที่ 5 | สรุปผลการวิจัย..... | 44 |
| 5.1 | สรุปผลการทดลอง | 44 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ | 47 |
| | รายการอ้างอิง | 48 |
| | ภาคผนวก ก..... | 51 |

ณ

หน้า

ภาคผนวก ข.....52

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 55



สารบัญตาราง

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นและการประมาณจำนวนของโลหะไอออนที่ละลายอยู่ในทะเล เปรียบเทียบกับประมาณแหล่งทรัพยากรบนพื้นดิน | 9 |
| ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของพอลิเมอร์เจล (W_1), เอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล (W_2) และ ความหนาแน่นหมู่เอมีดอกซิม | 27 |
| ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของพอลิเมอร์เจล (W_1), เอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล (W_2) และ ความหนาแน่นหมู่เอมีดอกซิม ที่ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ | 28 |
| ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของพอลิเมอร์เจล Polymer gel (W_1), เอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล (W_2) และ ความหนาแน่นหมู่เอมีดอกซิม ที่ปริมาตรของสารเชื่อมโยงต่างๆ | 29 |
| ตารางที่ 4.4 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มตัวดูดซับในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ใน ห้องปฏิบัติการวิจัยโดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ | 35 |
| ตารางที่ 4.5 ปริมาณยูเรเนียมที่จุ่มในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยโดยเก็บ ตัวอย่างที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ | 37 |
| ตารางที่ 4.6 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ วิจัยโดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ | 38 |
| ตารางที่ 4.7 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ วิจัยโดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ | 39 |
| ตารางที่ 4.8 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จากการจุ่มแช่ตัวดูดซับที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและ พัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต โดยเก็บตัวอย่าง ที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ โดยเลือกใช้ตัวดูดซับจากสถานะที่ดีที่สุดจากการ ทดลองในห้องปฏิบัติการวิจัย | 42 |
| ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จากการจุ่มแช่ตัวดูดซับที่ชายฝั่งทะเลของ ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ตและ ในห้องปฏิบัติการวิจัย โดยเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ | 43 |

สารบัญรูป

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 2.1 | เกลือในน้ำทะเล | 7 |
| รูปที่ 2.2 | องค์ประกอบของธาตุส่วนใหญ่ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล | 8 |
| รูปที่ 2.3 | โครงสร้างของยูรานิลไตรคาร์บอเนตไอออน (Uranyl tricarbonate ion)..... | 10 |
| รูปที่ 2.4 | ปฏิกิริยาแทนที่หมู่ฟังก์ชันคาร์บอเนต..... | 10 |
| รูปที่ 2.5 | แถบสเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ | 11 |
| รูปที่ 2.6 | การแบ่งชนิดของแสงยูวี | 12 |
| รูปที่ 2.7 | ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน..... | 14 |
| รูปที่ 2.8 | ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเอสเทอร์..... | 15 |
| รูปที่ 2.9 | ปฏิกิริยารวมตัวการเกิดพอลิเมอร์..... | 15 |
| รูปที่ 2.10 | พอลิเมอร์ที่มีโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยซ้ำๆกัน | 16 |
| รูปที่ 2.11 | พอลิเมอร์ในสายโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยซ้ำๆกัน 2 ชนิด..... | 16 |
| รูปที่ 2.12 | มอนอเมอร์ A และ B สลับกันอย่างไม่เป็นระเบียบ | 16 |
| รูปที่ 2.13 | โคพอลิเมอร์แบบสลับ | 17 |
| รูปที่ 2.14 | บล็อกโคพอลิเมอร์..... | 17 |
| รูปที่ 2.15 | กราฟต์โคพอลิเมอร์..... | 17 |
| รูปที่ 2.16 | พอลิเมอร์แบบเส้น | 18 |
| รูปที่ 2.17 | พอลิเมอร์แบบกิ่ง | 18 |
| รูปที่ 2.18 | พอลิเมอร์แบบร่างแห..... | 19 |
| รูปที่ 2.19 | ปฏิกิริยาการเกิดฟรีเรดิเคิล | 19 |
| รูปที่ 2.20 | ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น..... | 20 |
| รูปที่ 2.21 | การเกิดกิ่งสาขาของพอลิเอทิลีนโดยรังสี..... | 20 |
| รูปที่ 3.1 | ทิศทางการฉายรังสี UV | 23 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 3.2 พอลิเมอร์เจล | 23 |
| รูปที่ 3.3 ไอออนหลักของยูเรเนียมที่มีในน้ำทะเล | 24 |
| รูปที่ 3.4 ตัวดูดซับในถังน้ำที่มีปริมาตรน้ำ 60/80 ลิตร ในห้องปฏิบัติการทดลอง | 25 |
| รูปที่ 3.5 เกลียูเรเนียม | 26 |
| รูปที่ 3.6 สารละลายยูเรเนียม | 26 |
| รูปที่ 4.1 ผลการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบมอโนเมอร์สองชนิดต่อความหนาแน่นของหมู่ เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม | 28 |
| รูปที่ 4.2 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิม บนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม | 29 |
| รูปที่ 4.3 ผลการศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยงต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับ ยูเรเนียมเอมีดอกซิม | 30 |
| รูปที่ 4.4 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของพอลิเมอร์เจล | 30 |
| รูปที่ 4.5 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของเอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล | 31 |
| รูปที่ 4.6 สันฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์เจลก่อนจุ่มน้ำทะเล | 32 |
| รูปที่ 4.7 ระยะเวลาในการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้เกิดพอลิเมอร์เจล | 33 |
| รูปที่ 4.8 สีของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับยูเรเนียม | 34 |
| รูปที่ 4.9 พอลิเมอร์เจลที่ไม่แข็งตัว | 34 |
| รูปที่ 4.10 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่ สัดส่วนมอโนเมอร์ต่างกัน ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.4 | 35 |
| รูปที่ 4.11 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่ ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.5 | 37 |
| รูปที่ 4.12 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ วิจัยที่สารเชื่อมโยงปริมาณต่างๆ โดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60 ml ข้อมูล แสดงในตารางที่ 4.6 | 38 |

รูปที่ 4.13 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดจับได้ในการจุ่มในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการที่
วิจัยปริมาณสารเชื่อมโยง ต่างๆโดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ml ข้อมูล
แสดงในตารางที่ 4.7 39

รูปที่ 4.14 พอลิเมอร์เจลที่ปริมาณสารเชื่อมโยง 2 g/100 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
100 ml..... 40

รูปที่ 4.15 การติดตั้งตัวดูดจับในน้ำทะเล 40

รูปที่ 4.16 ตัวดูดจับหลังจากจุ่มทะเล 41

รูปที่ 4.17 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดจับได้ที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล
และชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต ข้อมูลแสดงตารางที่ 4.8 42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในช่วงวันที่ 5-14 เมษายน 2556 นั้น เนื่องจากทางประเทศพม่าต้องหยุดจ่ายก๊าซธรรมชาติให้กับประเทศไทย เนื่องจากแท่นขุดเจาะก๊าซธรรมชาติในทะเลทรุดตัวลง และได้ทำการซ่อมแซมจึงทำให้ส่งก๊าซธรรมชาติให้กับประเทศไทยไม่ได้ ในทุกวันนี้ประเทศไทยยังต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติในการผลิตกระแสไฟฟ้าถึงร้อยละ 70 ของพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่และพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 1 ใน 3 นั้นเราต้องนำเข้าจากประเทศพม่า ดังนั้นจะก่อให้เกิดความไม่เสถียรในด้านของพลังงานโดยเฉลี่ยแล้วประเทศไทยของเรา นั้นผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงร้อยละ 65-70 โดยเป็นสัดส่วนที่สูงมาก

ถ้าเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาหรือประเทศในยุโรป ซึ่งมีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานก๊าซธรรมชาติประมาณร้อยละ 25-35 [1] โดยที่ปริมาณการบริโภคและใช้กระแสไฟฟ้าทั้งประเทศจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5-6 หรือปีละ 1,350 เมกะวัตต์ ดังนั้นถ้าพิจารณาในอีก 10 ปีข้างหน้าจะมีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นถึง 13,500 เมกะวัตต์ ดังนั้นประเทศไทยควรรีบแก้ไขปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจังและรวมถึงการใช้พลังงานทางเลือกอื่น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานถ่านหินสะอาด และพลังงานนิวเคลียร์สำหรับพลังงานนิวเคลียร์ในปัจจุบันนี้ทั่วโลกมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ทำการเดินเครื่องอยู่ 437 โรงและก่อสร้างอีก 71 โรง [2] ซึ่งแน่นอนว่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์คือ แร่ยูเรเนียม

ยูเรเนียมเป็นธาตุที่พบเจอในธรรมชาติ เช่น ในดิน หิน และแหล่งน้ำอื่นๆ โดยไอโซโทปของยูเรเนียมที่พบอยู่ในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป คือ ยูเรเนียม 238 (U-238) ประมาณร้อยละ 97.27, ยูเรเนียม 235 (U-235) ร้อยละ 0.72 และ ยูเรเนียม 234 (U-234) ร้อยละ 0.0055 สำหรับเชื้อเพลิงยูเรเนียมที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ส่วนใหญ่จะใช้ยูเรเนียมที่เสริมสมรรถนะ U-235 ที่ร้อยละ 3-5 เนื่องจากเป็นไอโซโทปที่เกิดฟิชชันได้ง่ายเมื่อยิงด้วยนิวตรอนในช่วงระหว่างการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันจะจับกับนิวตรอนที่ถูกยิงทำให้นิวเคลียสของอะตอมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน และปล่อยพลังงานในรูปของรังสีและความร้อนในปัจจุบันยูเรเนียมได้มาจากการทำเหมืองบนดินเป็นส่วนใหญ่แต่ในน้ำทะเลก็มี

ยูเรเนียมละลายอยู่ด้วยเช่นกันโดยยูเรเนียมละลายอยู่ในน้ำทะเลที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมยูเรเนียม/ลูกบาศก์เมตร (mg U/m^3) โดยถ้าคิดเป็นปริมาณของยูเรเนียมในน้ำทะเลทั้งหมดประมาณ 4.5 พันล้านตันซึ่งมีปริมาณมากกว่ายูเรเนียมในเหมืองบนพื้นดินถึง 1000 เท่า และหากในอนาคตโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นต้องมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน นั้นหมายความว่าทั่วโลกนั้นจะมีความต้องการเชื้อเพลิงนิวเคลียร์หรือยูเรเนียมมากขึ้นจึงเป็นที่น่าสนใจที่ในน้ำทะเลนั้นมีปริมาณยูเรเนียมที่มากกว่าในเหมืองถึง 1000 เท่า หมายความว่า ถ้าหากสามารถสกัดยูเรเนียมนำมาใช้ได้จะสามารถจ่ายเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ทั่วโลกได้นานถึง 6500 ปี และที่แน่นอนยูเรเนียมในน้ำทะเลจัดว่าเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมดและไม่มีเจ้าของจึงเป็นโอกาสอันดียิ่งในการที่จะเริ่มศึกษาวิจัยการสกัดยูเรเนียมจากน้ำทะเลตั้งแต่วេลานี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลเอมีดอกซิมจากมอนอเมอร์ผสมและสารเชื่อมโยงโดยใช้เทคนิคการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) สำหรับดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

หาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม โดยใช้เทคนิคการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากมอนอเมอร์อะครีโลไนไตรล์ (Acrylonitrile, AN), เมทอะคริลิกแอซิด (Methacrylic acid, MAA) และสารเชื่อมโยงเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (N,N'-Methylenebisacrylamide) โดยศึกษาผลของตัวแปรเหล่านี้ได้แก่

1. สัดส่วนของมอนอเมอร์สองชนิดได้แก่ อะครีโลไนไตรล์ และเมทอะคริลิกแอซิด
2. ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2)
3. ปริมาณของสารเชื่อมโยงเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลเอมีดอกซิมจากมอนอเมอร์ผสมและสารเชื่อมโยงโดยใช้เทคนิคการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต สำหรับดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล

1.5 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สำคัญ

วริภรณ์ รัตนิสสัย [3] ได้ศึกษาการสกัดยูเรเนียมโดยใช้ตัวดูดซับเอมีดอกซิมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดโครมิก โดยปรับปรุงด้วยกรดโครมิกที่เวลาต่างๆจนถึง 90 นาที อัตราส่วนของอะคริ-โลไนไตรล์ (AN) : เมทอะคริลิกแอซิด (MAA) 60:40 โดยปริมาตรและฉายรังสีที่ 40 kGy พบว่าประสิทธิภาพการต่อกิ่งมากที่สุดคือ 90 % และทดลองผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ช่วงต่างๆ พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9 จะได้ประสิทธิภาพการดูดซับของยูเรเนียมเท่ากับ 2.06 กรัม ยูเรเนียมต่อกิโลกรัมตัวดูดซับ

K.Saito, S.Yamada และ S.Furusak [4] ได้ศึกษาคุณสมบัติของตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมโดยใช้เส้นใยซึ่งด้านในประกอบไปด้วยหมู่เอมีดอกซิมที่ใช้ในการดูดซับยูเรเนียมโดยศึกษาเส้นใยสองชนิดระหว่างเส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยที่มีความหนาแน่นสูง และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับยูเรเนียม พบว่าเส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำนั้นสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากกว่าเส้นใยความหนาแน่นสูงและค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดูดซับยูเรเนียมอยู่ในช่วงระหว่าง 5-7

N.Kabay และ H.Egawa [5] ได้ศึกษาพฤติกรรมของสารเชื่อมโยงที่มีเอมีดอกซิมสำหรับการดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลโดยใช้สาร Divinylbenzene (5mol%) เป็นสารเชื่อมโยงและอัตราส่วนของ Dichloroethane และ Chloroform ในช่วง 60-120 vol% พบว่าตัวดูดซับที่ถูกเตรียมตั้งแต่ 80-120 vol% ของ Dichloroethane และ Chloroform สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ถึง 98 % และได้ศึกษาเพิ่มเติมผลของการทำ Alkaline Treatment อุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับของยูเรเนียมและสาร Elution ที่มีผลต่อการชะล้างยูเรเนียมออกจากตัวดูดซับพบว่าการทำ Alkaline Treatment เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะช่วยเพิ่มการดูดซับของยูเรเนียมถึง 98 % โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้การสกัดยูเรเนียมคือ 35 °C และกรดไฮโดรคลอริกที่ 1 M เป็นสารที่ใช้ชะล้างยูเรเนียมที่ดีที่สุด

F.Vernon และ T.Shah [6] ได้ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมโดยใช้เส้นใย Poly-amidoxime และเส้นใย Polyhydroxamic acid จากการทดลองพบว่าสามารถดูดซับได้ 68 % ของยูเรเนียมโดยเส้นใย Poly-amidoxime และเส้นใย Polyhydroxamic acid สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 1.8 mg U/g fiber

S.Katragadda, H.D.Gesser และ A.Chow [7] ได้ศึกษาสารกลุ่มของไนเตรดในเส้นใย Polyacrylonitrile (OrlonTM) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สามารถเปลี่ยนเป็นหมู่เอมีดอกซิมได้โดยผลิตจาก Amidoximated Orlon Fabric โดยทำการ เปรียบเทียบระหว่าง เส้นใยที่แช่ด้วยกรดกับที่ไม่ทำการแช่ด้วยกรด ในการสกัดยูเรเนียมที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่จุดต่างๆ พบว่าตัวดูดซับที่ไม่ได้ทำการแช่ด้วยกรด สามารถสกัดยูเรเนียมได้น้อยกว่าเส้นใยที่ได้ทำการแช่ด้วยกรด โดยที่อุณหภูมิที่ 40 °C ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.5 เส้นใยที่ทำการแช่ด้วยกรด สามารถดูดซับยูเรเนียมถึง 93 % เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ทำการแช่ด้วยกรด มีการดูดซับได้เพียง 40 % อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับยูเรเนียมเท่ากับ 40 °C และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.7

N.Kabay, A.Kataka I และ T.Sugo [8] ได้ศึกษาหาการ grafting ของสารอะครีโลไนไตรล์ (AN) บนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยทดลองเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 40, 25, 1-5 μm ที่เวลาต่างๆ เพื่อหาจุดที่ทำให้เกิดการ Grafting และค่า Degree of grafting และการดูดซับยูเรเนียมที่สูงที่สุดพบว่าเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-5 μm ได้การ Grafting ถึง 96.6 % และสามารถดูดซับยูเรเนียมได้ถึง 10 mg U/ L

S.M.Badawya, H.H.Sokkerb, S.H.Othmanc และ A.Hashemd [9] ได้ศึกษาการสกัดยูเรเนียมจากกากัมถร์รังสีโดยใช้ Cloth filter โดย Cloth filter ได้มาจากการสังเคราะห์โดยใช้สารอะครีโลไนไตรล์ : เมทอะครีลิกแอซิด ในอัตราส่วน 80:20 และศึกษาอัตราส่วนของอะครีโลไนไตรล์ต่อการเกิด Grafting จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การ Grafting มากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเมทอะครีลิกแอซิด และได้ทดลองอัตราส่วน 80:20 % wt พบว่า Degree of hydrophilic และ % Grafting ลดลงแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนกลุ่มไนไตรด์ ที่เปลี่ยนไปเป็นหมู่เอมีดอกซิมมีค่าลดลงแสดงให้เห็นว่าเมทอะครีลิกแอซิด นั้นมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเอมีดอกซิเมชัน เมื่อนำมาสกัดยูเรเนียมสามารถสกัดได้ถึง 95 % เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.0-9.5

T.Kawai [10] ได้ศึกษาเปรียบเทียบ % Grafting ของเมทอะครีลิกแอซิดและไฮดรอกซิลเอทิลเมทอะครีล (HEMA) กับอะครีโลไนไตรล์บนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการฉายรังสีด้วยลำอิเล็กตรอนพบว่าอัตราส่วนของอะครีโลไนไตรล์ : เมทอะครีลิกแอซิด 60:40 % wt ในมอนอเมอร์สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 0.9 g/kg ของเมทอะครีลิกแอซิด

อัมพิการ์ จาวะนา [2] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมทำด้วยวิธี Simultaneous Irradiation Grafting Technique โดยนำเส้นใยพอลิเอทิลีนและสารละลายมอนอ

เมอร์ที่ประกอบด้วยอะคริโลไนไตรล์ และเมทอะคริลิกแอซิด มาฉายพร้อมกันด้วยลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง เพื่อให้เกิดการกราฟต์หมู่ฟังก์ชันไซยาโนเบนซีนไยพอลิเอทิลีนจากนั้นเปลี่ยนฟังก์ชันไซยาโนเป็นหมู่ฟังก์ชันเอมีดออกซิมโดยทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ จากการทดลองที่ปริมาณรังสีรวม 250 กิโลเกรย์ (kGy) และพลังงานลำอิเล็กตรอนเท่ากับ 4 MeV ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟโคพอลิเมอร์สูงสุด 60 % อุณหภูมิห้องปกติขณะฉายลำอิเล็กตรอนทำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์ไอโซไซแนมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สัดส่วนของมอนอเมอร์ที่ให้เปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์มากที่สุดคือ 80:20 (AN:MAA) ผลการดูดซับยูเรเนียมจากการจุ่มแช่ที่ชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ตเป็นเวลา 3 สัปดาห์สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 0.038 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ (mg U/g)

ดูลยพงศ์ วงศ์แสง [1] ได้สังเคราะห์ตัวดูดซับ Amidoxime fiber โดยการฉายรังสีแกมมา Low-density polyethylene fiber ในสารละลาย Monomer ของ Acrylonitrile และ Methacrylic acid ที่ความแรงรังสี 40 kGy ซึ่งทำให้ได้ค่า % Grafting ที่ประมาณ 80 % หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน Cyano group ให้เป็น Amidoxime functional group ซึ่งได้ค่า Amidoxime group density เท่ากับ 1.85 mol/kg จากการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-MS พบว่ามียูเรเนียมที่ประมาณ 3 ppb ในทุกบริเวณของทะเล รวมถึงที่บริเวณผิวน้ำและบริเวณที่ลึกถึง 150 เมตร ได้ทำการจุ่มแช่ตัวดูดซับในทะเลเปิดที่ฝั่งอ่าวไทยและทะเลอันดามันพบว่าที่ฝั่งอ่าวไทยมีน้ำขุ่น ทำให้มีตะกอนมาเกาะติดตัวดูดซับและไม่สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ ส่วนตัวดูดซับที่ฝั่งอันดามัน จากการจุ่มแช่เป็นเวลา 4 วันในทะเลเปิดที่ความลึก 30 เมตร พบว่าดูดซับได้ที่ 0.27 mg U/g adsorbent ส่วนที่ความลึก 100 เมตรเป็นเวลาเท่ากัน พบว่าดูดซับได้ที่ 0.09 mg U/g adsorbent ส่วนที่ความลึก 150 เมตรเป็นเวลาเท่ากัน ไม่สามารถตรวจวัดการดูดซับได้ ส่วนตัวดูดซับที่จุ่มแช่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันที่ความลึกประมาณ 3 – 6 เมตรเป็นเวลา 0.5, 1, 1.5 และ 2 เดือนพบว่าดูดซับได้ที่ 0.48, 1.55, 1.61 และ 1.63 mg U/g adsorbent ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของ Amidoxime fiber สูงที่สุดที่ pH ของน้ำทะเลที่ประมาณ 8 และจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำทะเล สามารถใช้ตัวดูดซับซ้ำได้หลายครั้งมาก โดยประสิทธิภาพการดูดซับยูเรเนียมจะลดลงเหลือประมาณ 50% หลังผ่านการใช้งานประมาณ 14 ครั้ง ได้ทดลองเตรียมตัวดูดซับด้วยการฉายลำอิเล็กตรอน พบว่าสามารถ Graft ได้สำเร็จและการล้าง Homopolymer ออกทำได้ง่ายกว่ามากเพราะไม่เกาะเป็นเจลแข็งเหมือนการเตรียมด้วยการฉายรังสีแกมมา แต่ก็ได้ % Grafting สูงสุดที่ประมาณ 47 % ที่โดส 450 kGy ซึ่งน้อยกว่าการเตรียมโดยการ

ฉายรังสีแกมมา จากการศึกษาพบว่าไม่เหมาะสมที่จะสกัดยูเรเนียมจาก Brine concentrate ในโรงงานสกัดน้ำจืดจากน้ำทะเลที่ทำการศึกษา ถึงแม้ว่า Brine concentrate จะมียูเรเนียมอยู่ที่ประมาณ 4.8 ppb มีอุณหภูมิสูงประมาณ 40 °C และมีการไหลเวียนของน้ำอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากมีตะกอนจำนวนมากเกาะติดบนตัวดูดซับ ได้คำนวณต้นทุนในการสกัดยูเรเนียมจากน้ำทะเล โดยประเมินปริมาณยูเรเนียมที่จะสกัดที่ 10 ตันต่อปี จะอยู่ที่ประมาณ 2,960 US\$/kg U_3O_8 หรือสูงกว่าราคาอ้างอิงยูเรเนียมที่ 162 US\$/kg U_3O_8 ประมาณ 18 เท่า ดังนั้นสามารถสกัดยูเรเนียมจากน้ำทะเลบริเวณทะเลอันดามันได้ แต่ยังไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในปัจจุบัน



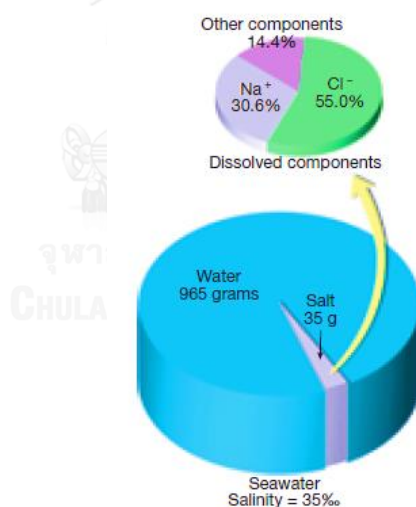
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำทะเล

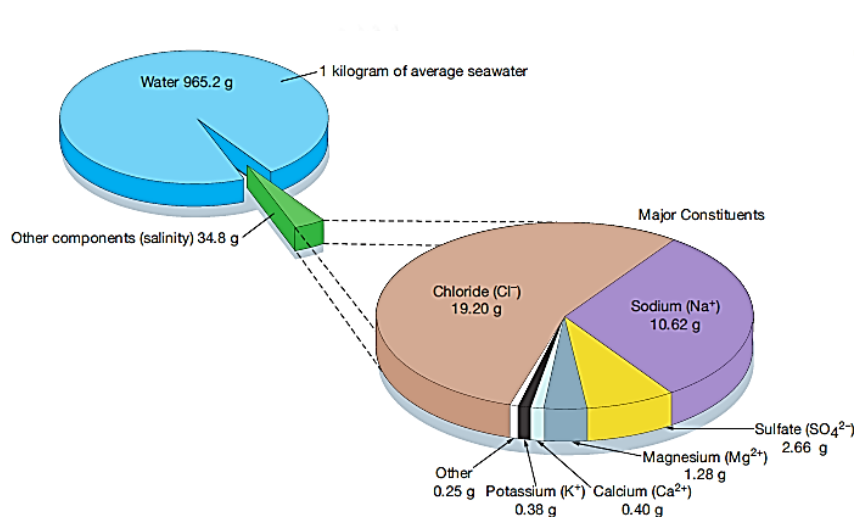
น้ำทะเลกับน้ำบริสุทธิ์มีความแตกต่างที่สามารถเห็นได้คือน้ำทะเลนั้นมีรสเค็มความเค็ม (Salinity) ของน้ำทะเลเกิดจากเกลือที่ละลายในน้ำ ค่าจำกัดความของความเค็มแสดงถึงจำนวนของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดต่อมวลของน้ำตัวอย่าง โดยสัดส่วนแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ (%) หมายถึงส่วนต่อร้อยส่วน แต่เนื่องจากสัดส่วนของสสารที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลนั้นมีจำนวนน้อยมากจึงมักแสดงในรูปของส่วนต่อพันส่วน อนุโมลโซเดียม (Na^+) และคลอไรด์ (Cl^-) เป็นธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลมากที่สุดนอกจากนั้นเป็นเกลืออื่นๆ โลหะและแก๊สที่ละลายน้ำได้ น้ำทะเลทั่วโลกมีความเค็มเฉลี่ย 3.5 % ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์จะดูน้อยแต่แท้จริงแล้วเป็นปริมาณที่มากเนื่องจากทะเลนั้นกว้างใหญ่มาก



รูปที่ 2.1 เกลือในน้ำทะเล [11]

องค์ประกอบหลัก (Major constituents) มีความเข้มข้นมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อน้ำทะเล 1 กิโลกรัม องค์ประกอบหลักในน้ำทะเลได้แก่ อนุโมลซัลเฟต (SO_4^{2-}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) แคลเซียม (Ca^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) โบรไมด์ (Br^-) โบรอน (B^+) และฟลูออไรด์ (F^-) ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเลมีปริมาณค่อนข้างคงที่โดยอยู่ในสภาพสมดุลในน้ำทะเล และมีความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจึงจัดเป็นกลุ่มธาตุประเภทรักษา (Conservative constituents)

องค์ประกอบปริมาณรอง (Minor constituents) คือองค์ประกอบที่มีความเข้มข้นในน้ำทะเลน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 กิโลกรัม แต่ในกรณีที่มีความเข้มข้นน้อยมากในระดับส่วนในพันล้านส่วน เรียกว่าองค์ประกอบปริมาณน้อย (Trace constituents) ได้แก่ ตะกั่ว (Lead, Pb) แมงกานีส (Manganese, Mn) เหล็ก (Iron, Fe) ทองแดง (Copper, Cu) แคดเมียม (Cadmium, Cd) สังกะสี (Zinc, Zn) ไอโอดีน (Iodine, I) และ เซเลเนียม (Selenium, Se) เป็นต้น เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีทำให้พบธาตุทุกชนิดในน้ำทะเลธาตุเหล่านี้มีความไวในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆได้ดี และส่วนใหญ่จะจับกับสารแขวนลอยในน้ำได้ดีและตกตะกอนร่วมกับสารแขวนลอย

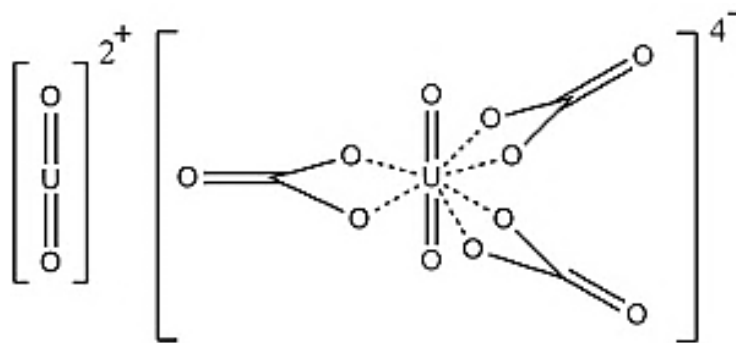


รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของธาตุส่วนใหญ่ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล [12]

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นและการประมาณจำนวนของโลหะไอออนที่ละลายอยู่ในทะเลเปรียบเทียบกับ
การประมาณแหล่งทรัพยากรบนพื้นดิน [13]

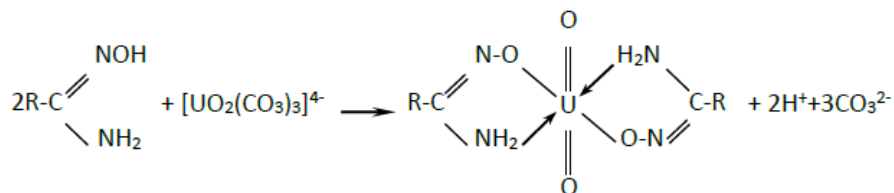
| ธาตุ | ความเข้มข้นในน้ำทะเล (ppm) | ปริมาณที่มีในทะเลทั้งหมด (ตัน) | ปริมาณแร่สำรองบนพื้นดิน (ตัน) |
|------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Na | 10,800 | 1.40×10^{16} | - |
| Mg | 1,290 | 1.68×10^{15} | 2.20×10^9 |
| Ca | 411 | 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 (M) คิดเป็น 3 ส่วนของพื้นล้านส่วนของคลอไรด์ โดยปริมาณของยูเรเนียมในน้ำทะเลทั้งหมดประมาณ 4.5 พันล้านตัน ยูเรเนียมที่พบในทะเลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของยูรานิลไตรคาร์บอเนตไอออน (Uranyl tricarbonate ion, $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของยูรานิลไตรคาร์บอเนตไอออน (Uranyl tricarbonate ion) [12]

สำหรับตัวดูดซับยูเรเนียม ต้องสามารถจับยูเรเนียมในน้ำทะเลธรรมชาติ หรือในสภาวะแวดล้อมปกติได้ หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับต้องสามารถสร้างสารประกอบยูเรนิล (Uranyl complex) ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง (pH) และอุณหภูมิของน้ำทะเลธรรมชาติธรรมชาติได้ สารประกอบที่ได้จะต้องมีความคงที่เมื่อเทียบกับ $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ ในกรณีของหมู่เอมีนออกซิมจะจับกับไอออนบวก UO_2^{2+} ผ่านปฏิกิริยาแทนที่หมู่ฟังก์ชันคาร์บอเนต (Carbonate) โดยตรง ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

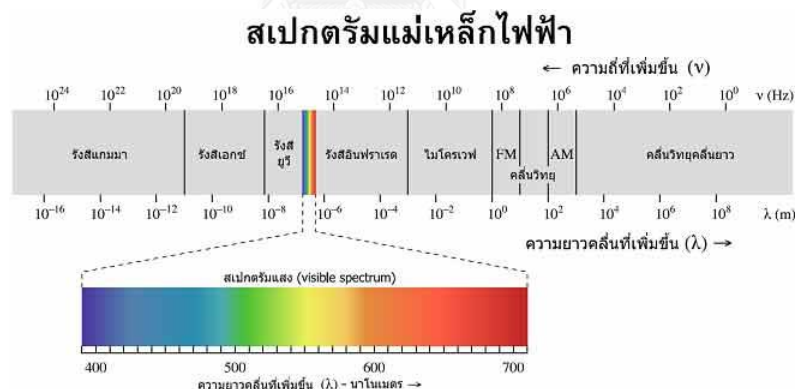


รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาแทนที่หมู่ฟังก์ชันคาร์บอเนต

การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลสามารถสังเคราะห์จากพอลิเมอร์โดยการฉายพอลิเมอร์ด้วยลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงหรือรังสีแกมมาพร้อมกับมอนอเมอร์ที่มีส่วนผสมระหว่างอะครีโลไนไตรล์ (Acrylonitrile, AN) กับเมตะคริลิกแอซิด (Methacrylic acid, MAA) เกิดการกราฟต์ของสายโซ่มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันไซยาโนเบนซิลของพอลิเมอร์ จากนั้นทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซามาไต์ไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) เพื่อให้ได้หมู่ฟังก์ชันเอมีดออกซิม ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สามารถจับกับยูรานิลไดรคาร์บอเนตไอออนได้

2.1.2 อัลตราไวโอเลต (Ultraviolet, UV)

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือแสงยูวีนั้นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีลักษณะที่คล้ายกับ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ หรือแสงแดด โดยรวมทั้งหมดนี้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกันแต่จะมีช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตาของมนุษย์สามารถรับรู้ได้จึงทำให้เราสามารถมองเห็นได้เราเรียกว่า แสงสว่างหรือแสงที่ตามองเห็น (Visible light) รังสีทั้งหมดนี้กล่าวมาต่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกันหมดเพียงแต่แต่ละแสงนั้นมีความยาวคลื่นที่ต่างกันไป



รูปที่ 2.5 แถบสเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมาก ซึ่งความยาวคลื่นและแปรผกผันกับความถี่ กล่าวคือ แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น ความถี่จะสูง และแสงที่มีความยาวคลื่นยาวจะมีความถี่ต่ำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงจากรูปที่ 2.5 คลื่นแสงที่ตามองเห็น จะมีความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร (1 นาโนเมตรเท่ากับ 10^{-9} เมตร) ซึ่งคลื่นแสงนี้จะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า

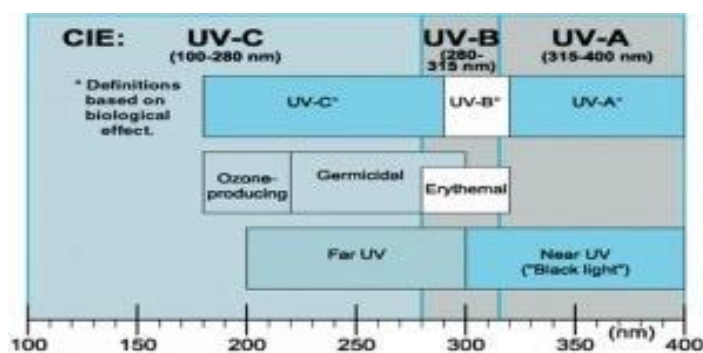
(Photochemistry) เช่น เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและสาหร่าย หรือปฏิกิริยาการฟอกสีของเม็ดสีเป็นต้น เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเนื่องจากสสารดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเราเรียกว่าปฏิกิริยาเคมีทางแสง โดยปกติคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100-1,000 นาโนเมตร จะสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ถ้าความยาวคลื่นมากกว่า 1,000 นาโนเมตร จะมีพลังงานต่ำจนไม่สามารถกระตุ้นให้สสารเกิดปฏิกิริยาเคมีได้คลื่นแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 700-1,000 นาโนเมตร ที่เรียกว่า Near infrared จะมีพลังงานที่ใช้กระตุ้นสสารให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้น้อยมากยกเว้น แขนกที่เรียกว่า ชนิดที่สามารถเก็บสะสมพลังงานที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร แต่ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1,000 นาโนเมตร ช่วงคลื่นอินฟราเรดที่เรียกว่า Far infrared จะไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เลย แสงยูวีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100-400 นาโนเมตร ซึ่งมีพลังงานสูงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้มาก ถ้าแสงยูวีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 200 นาโนเมตร มีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะทางเคมีได้อาจทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radicals) ที่มีพลังงานสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้อย่างต่อเนื่อง

แสงยูวีแบ่งเป็น 3 ช่วงตามลักษณะที่มีผลต่อมนุษย์ ได้แก่

UV-A จะมีความยาวคลื่นช่วง 315-400 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีพลังงานต่ำสุดของแสงยูวี เป็นคลื่นที่อยู่ใกล้กับแสงที่ตาเรามองเห็นได้เรียกว่า Near UV ผลกระทบต่อมนุษย์คือจะทำให้ผิวหนังมีสีน้ำตาล (Sun tanning)

UV-B จะมีความยาวคลื่นช่วง 200-280 nm จะมีพลังงานสูงกว่า UV-A ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง และทำให้ผิวไหม้

UV-C จะมีความยาวคลื่นช่วง 100-280 nm จะมีพลังงานสูงกว่า UV-A และ UV-B เซลล์มะเร็งถ้าเราได้รับแสงยูวีด้วยตาเปล่าอาจทำให้ตาบอดได้และแสงยูวีมีช่วงความยาวคลื่นน้อยกว่า 200 nm ที่เราเรียกว่า Vacuum UV มีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะเคมี

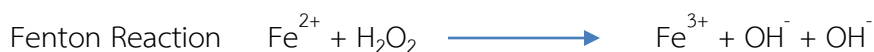
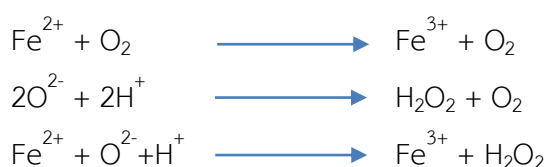


รูปที่ 2.6 การแบ่งชนิดของแสงยูวี

โดยปกติแสงยูวีในธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านมาจนถึงบรรยากาศของโลกซึ่งในชั้นบรรยากาศ ชั้นโอโซนเพียร์ ซึ่งมีโอโซนที่สามารถดูดกลืนแสงยูวีซี (UV-C) เกือบทั้งหมดจะเหลือแสงยูวีบี (UV-B) และแสงยูวีเอ (UV-A) ที่ส่องถึงผิวโลกที่เราใช้ในการอาบแดดเพื่อปรับสีผิวให้เป็นสีน้ำตาล (Sun tanning) แต่ทุกวันนี้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลงจึงทำให้แสงยูวีซีทะลุผ่านถึงพื้นโลกมากขึ้น ดังนั้นในการอาบแดดเพื่อปรับสีผิวหรือต้องการให้ผิวหนังผลิตวิตามินดีก็ต้องระวังรังสียูวีซีที่อาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง

2.1.3 อนุมูลอิสระ (Free radicals)

เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Unpaired electron) อยู่ในวงนอกของอะตอมหรือโมเลกุล ในวงจรของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนจะมีอนุมูลอิสระของออกซิเจน เช่น Hydroxy radical (OH), Hydroperoxyl radical (HOO), Superoxide anion (O_2^-) และ Alkoxyl radical (RO) โดยเป็นผลพลอยได้จากการที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) โดยนอกจากนี้ยังมีปัจจัยภายนอกที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้เช่น รังสียูวี และควันบุหรี่ ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้มีการก่อตัวของอนุมูลอิสระเหล่านี้เพิ่มขึ้นได้โดยที่อนุมูลอิสระส่วนใหญ่มีความไม่คงตัวและไวต่อการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะพวกอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) ซึ่งเป็นสารออกซิไดส์แรงสูง (Reactive oxygen species, ROS) มีความว่องไวสูงสุดสามารถทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆที่อยู่รอบข้างได้ทันทีที่ถูกสร้างขึ้น และยังสามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบอื่นๆได้ อนุมูลไฮดรอกซิลนี้ถูกสร้างขึ้นจากสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยปฏิกิริยาต่อไปนี้จะปฏิกิริยาระหว่างโลหะทรานซิชันในระบบคือ เหล็ก (Fe^{2+}) กับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยที่เหล็กจะทำลายพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างออกซิเจนของสารเปอร์ออกไซด์อนุมูลไฮดรอกซิล (OH^-) และไฮดรอกไซด์ไอออน (Hydroxide ion, OH^-) ดังปฏิกิริยาที่เกิดดังสมการนี้เรียกว่า Fenton Reaction

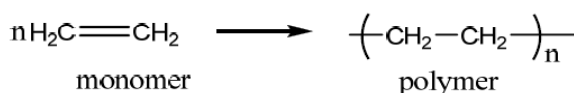


และถ้ามีแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมด้วยจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิด OH เพิ่มขึ้นได้

$\text{Fe(OH)}_2 + \text{UV} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{OH}$ ส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานจากแสง สามารถแตกตัวได้เป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล $\text{H}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2\text{OH}$

2.1.4 พอลิเมอร์ (Polymer)

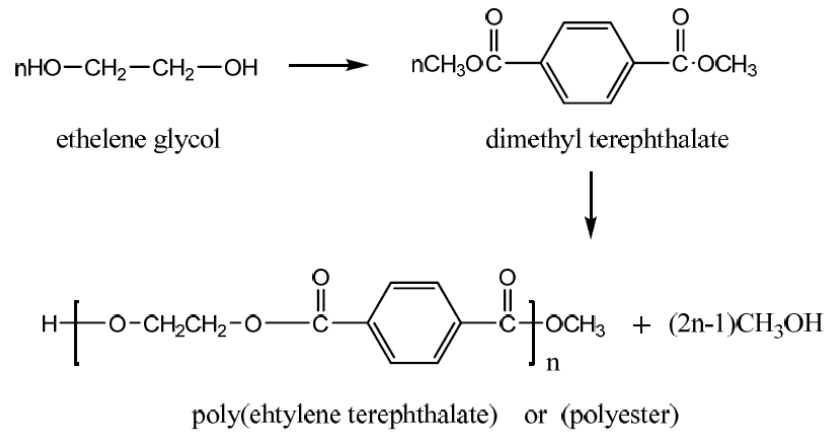
มอนอเมอร์ (Monomer) จะทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) เกิดพันธะโคเวเลนต์ไปเชื่อมมอนอเมอร์อื่นเข้าด้วยกันและเกิดเป็นพอลิเมอร์ขึ้น โดยพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์โดยองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน และไฮโดรเจน แต่บางประเภทที่เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นสารอนินทรีย์เช่น ซิลิโคน (Silicone) ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุซิลิกอน และออกซิเจน เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

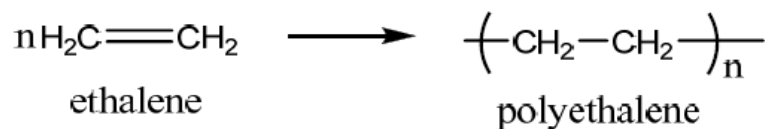
การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ตามกระบวนการสังเคราะห์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ควบแน่น (Condensation polymer) และ พอลิเมอร์แบบเติม (Addition polymer)

พอลิเมอร์ควบแน่น เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบควบแน่น เกิดจากมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นพอลิเมอร์และได้สารโมเลกุลขนาดเล็กเช่น น้ำ และแอมโมเนีย ตัวอย่างเช่น เอทิลีนไกลคอลเกิดปฏิกิริยากับไดเมทิลเทเลฟทาเลตเกิดเป็นพอลิเอสเตอร์



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเอสเตอร์

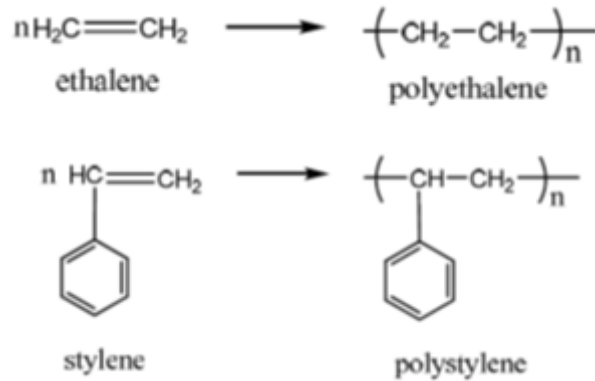
พอลิเมอร์แบบเติม เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยารวมตัว การเกิดพอลิเมอร์นั้นเกิดจากมอนอเมอร์ที่ไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแล้วไม่มีโมเลกุลเล็กๆหายไป เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethalene)



รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยารวมตัวการเกิดพอลิเมอร์

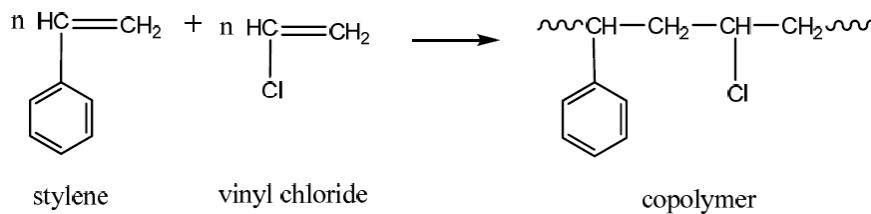
การจำแนกพอลิเมอร์ตามชนิดของมอนอเมอร์สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) และ โคพอลิเมอร์ (Copolymer)

โฮโมพอลิเมอร์ คือพอลิเมอร์ที่มีโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยซ้ำๆกันชนิดเดียว เช่น พอลิเอทิลีน มีหน่วยซ้ำๆกันคือ เอทิลีน จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์แบบเติมที่ได้จากมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียวทั้งหมดล้วนเป็นโฮโมพอลิเมอร์ทั้งสิ้น



รูปที่ 2.10 พอลิเมอร์ที่มีโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยซ้ำๆกัน

โคพอลิเมอร์ คือพอลิเมอร์ในสายโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยซ้ำๆกัน 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิด เช่น พอลิเมอร์ของสไตรีนและไวนิลคลอไรด์ โดยจะมีทั้งสไตรีนและไวนิลคลอไรด์ในโซ่ของพอลิเมอร์



รูปที่ 2.11 พอลิเมอร์ในสายโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยซ้ำๆกัน 2 ชนิด

โคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (Random copolymer) โดยโคพอลิเมอร์ประเภทนี้มีหน่วยที่ซ้ำกันทั้งสองชนิดจะจัดเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบ สมมุติถ้าให้ A และ B เป็นมอนอเมอร์สามารถเขียนโครงสร้างได้ดังนี้

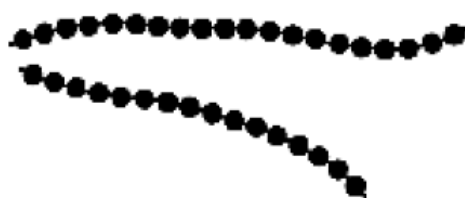


random copolymer

รูปที่ 2.12 มอนอเมอร์ A และ B สลับกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

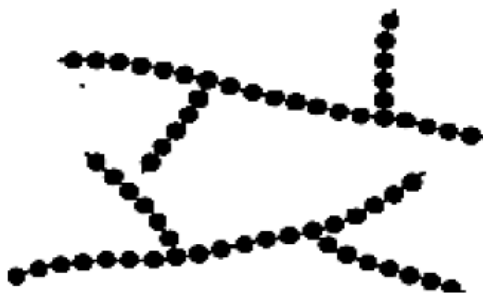
สำหรับโครงสร้างของพอลิเมอร์โดยทั่วไปมีโครงสร้างหลายแบบ ได้แก่ พอลิเมอร์แบบเส้น (Linear Polymer) พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched Polymer) และพอลิเมอร์แบบร่างแห (Network Polymer)

พอลิเมอร์แบบเส้น เกิดจากมอนอเมอร์ที่สร้างพันธะโคเวเลนต์เป็นโซ่ยาว เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และพอลิเอทิลีน พอลิเมอร์พวกนี้เป็นโซ่ตรงทำให้สายโซ่แต่ละเส้นเรียงชิดติดกันแน่นจึงทำให้พอลิเมอร์ขุ่นและเหนียว แต่พอลิสไตรีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ มีสายโซ่กิ่งยื่นออกมาทำให้เกิดการผลึกของสายจึงมีความใสมากกว่า พอลิเอทิลีน



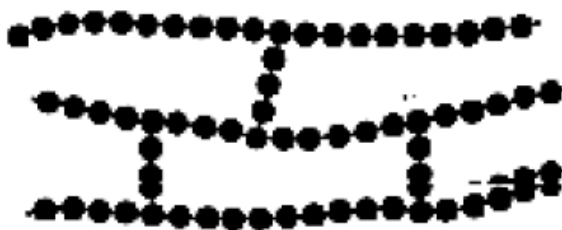
รูปที่ 2.16 พอลิเมอร์แบบเส้น

พอลิเมอร์แบบกิ่ง เป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ที่มีกิ่งที่สั้นหรือยาวก็ได้ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ไม่สามารถเรียงตัวชิดติดกันได้ พอลิเมอร์ชนิดนี้จึงยืดหยุ่นมีความหนาแน่นต่ำ และมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าพอลิเมอร์แบบเส้น



รูปที่ 2.17 พอลิเมอร์แบบกิ่ง

พอลิเมอร์แบบร่างแห เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเส้นหรือแบบกิ่งต่อกันเป็นร่างแหโดยพอลิเมอร์ชนิดนี้ถ้าหากไม่มีการเชื่อมโยงมากจะมีสมบัติยืดหยุ่นอ่อนตัวแต่ถ้ามีจำนวนพันธะมากพอลิเมอร์จะแข็งไม่ยืดหยุ่น

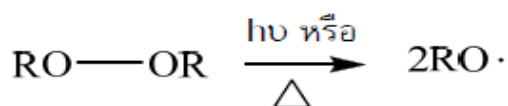


รูปที่ 2.18 พอลิเมอร์แบบร่างแห

2.1.5 พอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization)

พอลิเมอร์ไรเซชัน คือ ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักมี 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติม (Addition polymerization) และพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation)

พอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติม คือกลไกที่เกิดปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบฟรีเรดิเคิล หรือแบบไอออนิกก็ได้ ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดแบบลูกโซ่ต่อไปเรื่อยๆมี 3 ขั้นตอนคือ ขั้นที่หนึ่ง อินิชิเอชัน (Initiation) เป็นขั้นเริ่มปฏิกิริยา ขั้นที่สองเรียกว่า โพรพาเกชัน (Propagation) ซึ่งขั้นตอนนี้เกิดพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วได้โมเลกุลที่มีหน่วยซ้ำๆกัน และขั้นตอนที่สามเรียกว่า เทอร์มิเนชัน (Termination) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการเกิดพอลิเมอร์และเทอร์มิเนชัน เป็นขั้นหยุดปฏิกิริยา Initiation สารที่ใช้ในการเริ่มปฏิกิริยาเรียกว่าอินิชิเอเตอร์ (Initiator) โดยทั่วไปจะใช้สารจำพวกเปอร์ออกไซด์ เมื่อถูกความร้อนหรือแสงจะแตกตัวเป็นเรดิคัลเป็นขั้นตอนที่สิ้นสุดการเกิดพอลิเมอร์โดยเกิดโมเลกุลที่เป็นฟรีเรดิคัลทำปฏิกิริยากัน



รูปที่ 2.19 ปฏิกิริยาการเกิดฟรีเรดิเคิล

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

1. อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile, AN)
2. เมทาคริลิกแอซิด (Methacrylic acid, MAA)
3. ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide, DMSO)
4. ไดเมทิลฟอร์มามายด์ (N,N'-dimethylformamide, DMF)
5. ไฮดรอกซิลามีน ไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride, $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$)
6. เมทานอล (Methanol, CH_3OH)
7. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH)
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
9. น้ำทะเล (Seawater sample)
10. เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (N,N'-Methylenebisacrylamide)
11. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide, H_2O_2)
12. ระบบฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV)
13. ไฮโดรคลอริกแอซิด (Hydrochloric acid, HCl)
14. ไนตริกแอซิด (Nitric acid, HNO_3)
15. Deionized water (DI water)
16. Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum GX
17. Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) ยี่ห้อ Optima รุ่น 7000 DV
18. Scanning Electron Microscopy (SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Quanta 400

3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมเจลโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต

3.2.1 ทฤษฎี

การดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลสามารถใช้วัสดุพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของเอมีดอกซิมโดยการแทนที่คาร์บอเนตไอออนใน $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$ ซึ่งเป็นรูปไอออนหลักของยูเรเนียมในน้ำทะเล การสังเคราะห์วัสดุพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมมี 2 ขั้นตอนหลักดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Irradiation-Induced Polymerization โดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ในการช่วยทำลายพันธะ O-H ภายในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น (Free radical) และทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายอะครีโลไนไตรล์ ซึ่งผสมอยู่กับสารละลายเมทาคริลิคแอซิด โดยมีสารเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ซึ่งเป็นสารเชื่อมโยง (Crosslink-agent) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

ขั้นตอนที่ 2 Amidoximation ใช้กระบวนการทางเคมีภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิมในเจลขึ้น

3.2.2 วิธีการทดลอง

การสังเคราะห์วัสดุพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดอกซิมฟังก์ชันประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 Irradiation-induced polymerization สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลายมอนอเมอร์ประกอบด้วย อะครีโลไนไตรล์ ผสมกับเมทาคริลิคแอซิด ในอัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 โดยใช้ไดเมทิลซัลไฟออกไซด์ 50 % (w/w) เป็นตัวทำละลายและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 50 ml และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ซึ่งเป็นสารเชื่อมโยง จำนวน 1 กรัม

2. เลือกอัตราส่วนสารละลายมอนอเมอร์ที่เกิดเป็นเจลที่ดีที่สุด จากนั้นนำมาผสมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาตร 50ml, 60ml, 80ml และ 100 ml ตามลำดับ

3. เลือกอัตราส่วนสารละลายมอนอเมอร์และปริมาตรของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดเป็นเจลที่ดีที่สุด โดยใช้เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ซึ่งเป็นสารเชื่อมโยงจำนวน 1, 2 และ 4 กรัม ตามลำดับ

4. นำสารละลายดังกล่าวฉายรังสี UV-C โดยมีทิศทางการฉายรังสีดังรูป



รูปที่ 3.1 ทิศทางการฉายรังสี UV

5. เมื่อฉายรังสี UV-C จะเกิดพอลิเมอร์เจลดังรูป



รูปที่ 3.2 พอลิเมอร์เจล

6. ล้างไฮโดรเจลพอลิเมอร์ออก โดยใช้สารละลายไดเมทิลซัลไฟฟอกไซด์
7. อบเจลในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักบันทึกค่าเป็น W_1
8. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ไซยาโน (Cyano) บนพอลิเมอร์เจลโดยใช้เครื่อง FTIR

ขั้นตอนที่ 2 Amidoximation สามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอนดังนี้

1. นำพอลิเมอร์เจลแช่ในสารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ มีความเข้มข้น 3 % (W/V) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 7 ซึ่งปรับค่าโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1.5 hr
2. ล้างเอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล (Amidoxime polymer gel) ในสารละลายเมทานอล และ Deionized water ในอัตราส่วน 50:50 เข้าตู้อบเป็นเวลา 24 hr
3. จุ่มเอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจลในสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 M
4. ล้างเอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจลใน Deionized water
5. อบเอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจลในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลานาน 24 hr
6. ชั่งน้ำหนักของเอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล บันทึกค่าเป็น W_2
7. คำนวณหาค่า Amidoxime group density จากสมการที่ 3.1

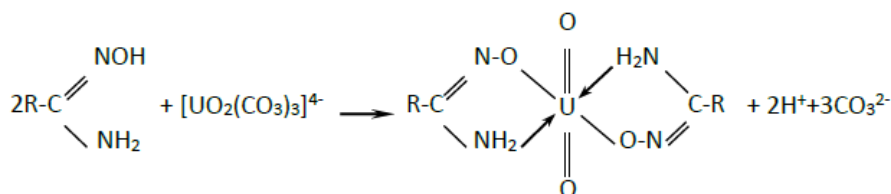
$$\text{Amidoxime group density (mol/kg)} = \frac{(W_2 - W_1)}{69.5 W_2} \times 1000 \quad (3.1)$$

8. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิมบนผิวพอลิเมอร์เจล โดยใช้เครื่อง FTIR

3.3 ขั้นตอนการแยกยูเรเนียมออกจากตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล

3.3.1 ทฤษฎี

เมื่อสังเคราะห์วัสดุพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิม (Amidoxime functional group) อยู่บนผิวของพอลิเมอร์เจลได้แล้วนำไปดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลโดยใช้หลักการแทนที่คาร์บอเนต ไอออนใน $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ ซึ่งจัดเป็นรูปไอออนหลักของยูเรเนียมที่มีในน้ำทะเล



รูปที่ 3.3 ไอออนหลักของยูเรเนียมที่มีในน้ำทะเล

หลังจากการดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลโดยใช้วัสดุที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิม แล้วนำวัสดุพอลิเมอร์มาแยกยูเรเนียมออก โดยวิธีการ Elution โดยสารละลายที่ใช้จำพวกเช่น กรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น

3.3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการแยกยูเรเนียมออกจากพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1. นำวัสดุพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิม มาจุ่มในตัวอย่างน้ำทะเลโดยเติม $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_3]^{4-}$ ลงในตัวอย่างน้ำทะเลธรรมชาติเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของยูเรเนียมให้เป็น 600 ppb เพื่อให้มีปริมาณยูเรเนียมมากขึ้นซึ่งจะทำให้ดูดซับได้มากขึ้นและง่ายต่อการวิเคราะห์การหาปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้เป็นเวลานาน 30 วันที่อุณหภูมิห้องดังรูป



รูปที่ 3.4 ตัวดูดซับในถังน้ำที่มีปริมาตรน้ำ 60/80 ลิตร ในห้องปฏิบัติการทดลอง

2. นำวัสดุพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิม ที่ดูดซับยูเรเนียมจากตัวอย่างน้ำทะเลและแช่ด้วยน้ำ Deionized water 1-2 วัน เพื่อล้างเกลือจากตัวอย่างน้ำทะเล
3. แช่วัสดุพอลิเมอร์ในสารละลายไฮโดรคลอริก 1 M ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
4. นำสารละลายไฮโดรคลอริกที่มียูเรเนียมอยู่มาต้มให้เดือดจนแห้งดังรูป



รูปที่ 3.5 เกลือยูเรเนียม

5. เจือจางผงที่ได้จากกระบวนการ Elution ด้วยกรดไนตริก 1 % ดังรูป



รูปที่ 3.6 สารละลายยูเรเนียม

6. วิเคราะห์หาความเข้มข้นของยูเรเนียมโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์เจล

จากขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิม สามารถแสดงผลการทดลองตามขั้นตอนของการสังเคราะห์ได้ดังนี้

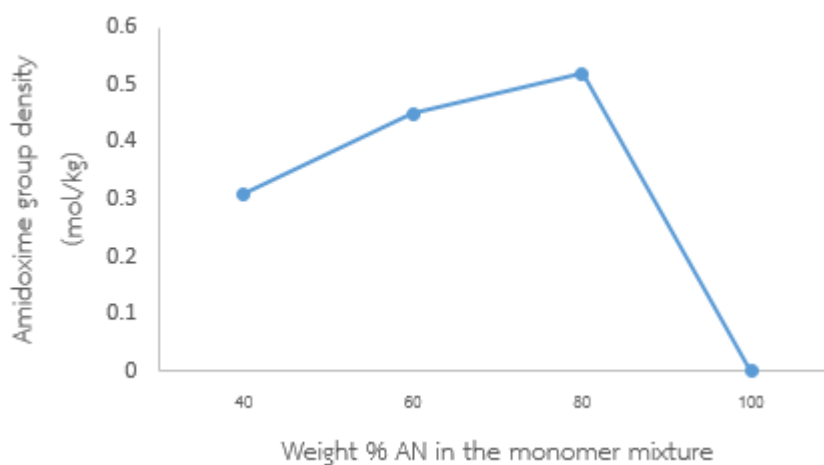
4.1.1 เอมีดอกซิเมชัน

นำพอลิเมอร์เจลที่สังเคราะห์แล้วมาเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันจากหมู่ไฮยาโนเป็นหมู่เอมีดอกซิม โดยใช้สารละลายไฮดรอกซิลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ความเข้มข้น 3 % (w/v) ที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นคำนวณหาค่าความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมของแต่ละอัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่ต่างกัน

จากการศึกษาผลของสัดส่วนขององค์ประกอบมอนอเมอร์ต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม พบว่าสัดส่วน อะคริโลไนไตรล์ : เมทอะคริลิกแอซิดเท่ากับ 100:0 ไม่สามารถนำมาดูดซับยูเรเนียมได้ เนื่องจากเกิดเป็นพอลิเมอร์เจลที่ไม่แข็งแรง ซึ่งมีลักษณะเป็นขุยผง และสัดส่วน อะคริโลไนไตรล์ : เมทอะคริลิกแอซิด เท่ากับ 80:20 มีความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมสูงที่สุดเท่ากับ 0.52 mol/kg เมื่อสัดส่วนของ อะคริโลไนไตรล์ : เมทอะคริลิกแอซิด ลดลงส่งผลให้ความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลพบว่าที่สัดส่วน อะคริโลไนไตรล์ : เมทอะคริลิกแอซิด เท่ากับ 80:20 แสดงปริมาณการดูดซับยูเรเนียมมากที่สุด

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของพอลิเมอร์เจล (W_1), เอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล (W_2) และ ความหนาแน่นหมู่เอมีดอกซิม

| สัดส่วน AN:MAA ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ml ปริมาณสารเชื่อมโยง 1 กรัม | W_1 (g) | W_2 (g) | Amidoxime group density (mol/kg) |
|---|-----------|-----------|-------------------------------------|
| 100:0 | 0 | 0 | 0 |
| 80:20 | 3.63 | 3.77 | 0.52 |
| 60:40 | 4.61 | 4.75 | 0.45 |
| 40:60 | 6.82 | 6.97 | 0.31 |

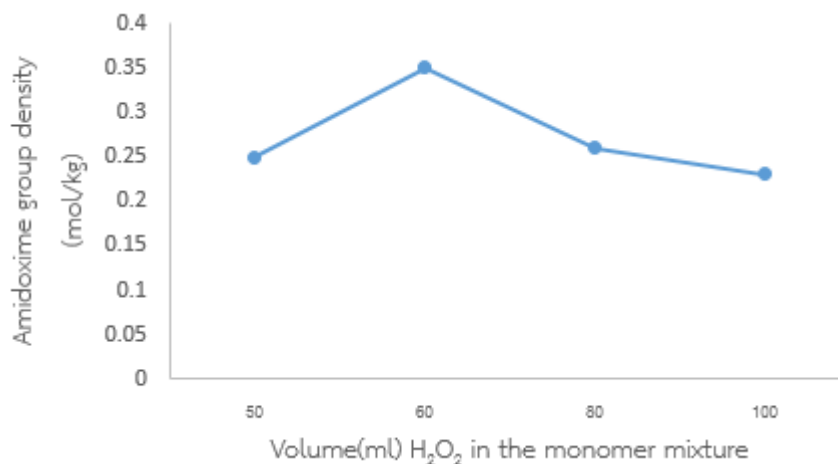


รูปที่ 4.1 ผลการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบมอนอเมอร์สองชนิดต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

จากการศึกษาผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม พบว่าที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 60 ml ให้ความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมสูงที่สุดเท่ากับ 0.35 mol/kg เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมลดลง เมื่อทดสอบการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 60 ml แสดงปริมาณการดูดซับยูเรเนียมสูงที่สุด

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของพอลิเมอร์เจล (W_1), เอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล (W_2) และ ความหนาแน่นหมู่เอมีดอกซิม ที่ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

| ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ml) AN:MAA (60:40) ปริมาณสารเชื่อมโยง 1 กรัม | W_1 (g) | W_2 (g) | Amidoxime group density (mol/kg) |
|---|-----------|-----------|----------------------------------|
| 50 | 19.41 | 19.75 | 0.25 |
| 60 | 5.42 | 5.563 | 0.35 |
| 80 | 14.63 | 14.9 | 0.26 |
| 100 | 12.80 | 13.01 | 0.23 |



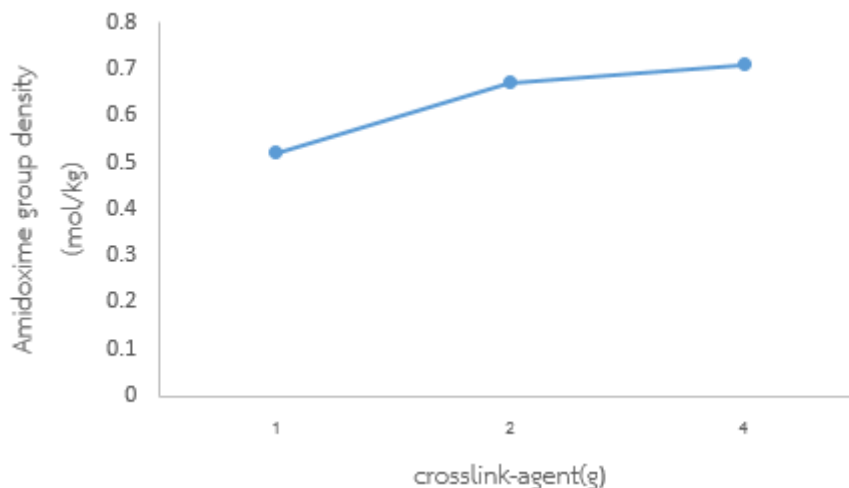
รูปที่ 4.2 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิม

บนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

การศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม พบว่าที่ปริมาณสารเชื่อมโยงเท่ากับ 4 g/100 ml ให้ความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมสูงที่สุดเท่ากับ 0.71 mol/kg เมื่อปริมาณของสารเชื่อมโยงลดลงส่งผลให้ความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิมลดลงตามลำดับ (อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล พบว่าปริมาณสารเชื่อมโยงเท่ากับ 1 g/100 ml แสดงปริมาณการดูดซับยูเรเนียมสูงที่สุด)

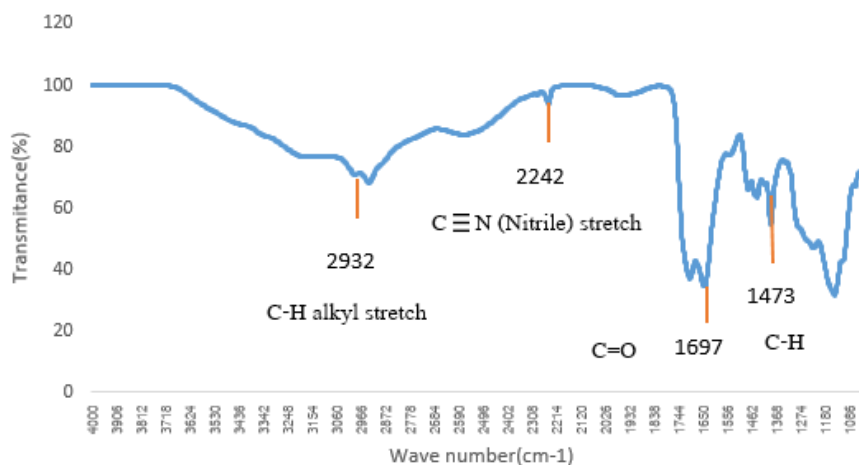
ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของพอลิเมอร์เจล Polymer gel (W_1), เอมีดอกซิมพอลิเมอร์เจล (W_2) และความหนาแน่นหมู่เอมีดอกซิม ที่ปริมาณของสารเชื่อมโยงต่างๆ

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 60 ml | W_1 (g) | W_2 (g) | Amidoxime group density (mol/kg) |
|--|-----------|-----------|-------------------------------------|
| 1 | 3.63 | 3.77 | 0.52 |
| 2 | 7.46 | 7.81 | 0.67 |
| 4 | 8.19 | 8.6 | 0.71 |



รูปที่ 4.3 ผลการศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยงต่อความหนาแน่นของหมู่เอมีดอกซิมบนตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดอกซิม

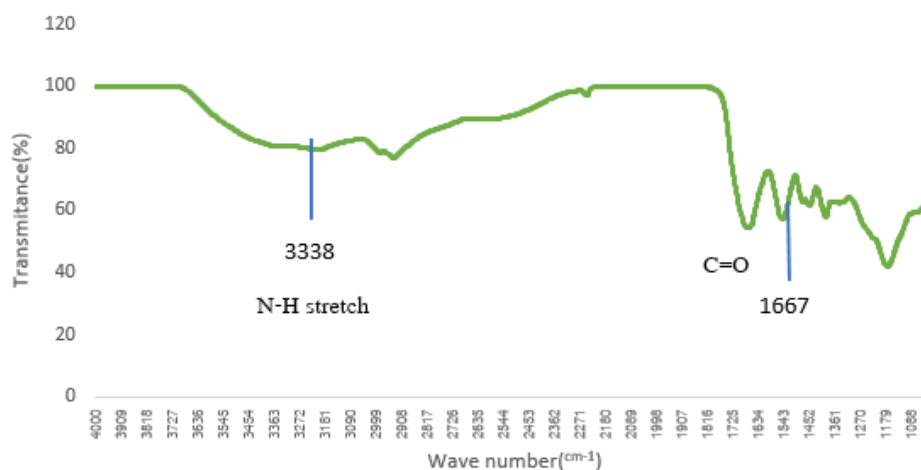
4.1.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิมบนผิวเอมีดอกซิมเจลโดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของพอลิเมอร์เจล

จากการพิสูจน์เอกลักษณ์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์เจลที่สังเคราะห์ขึ้น และเอมีดอกซิมเจลด้วยเทคนิค FTIR พบว่า FTIR สเปกตรัมของพอลิเมอร์เจลที่สังเคราะห์ขึ้น ปรากฏแถบดูดกลืน C-H alkyl stretch ที่เลขคลื่น 2932 cm⁻¹ และ C-H ที่เลขคลื่น 1473 cm⁻¹ นอกจากนี้ยังปรากฏแถบ

ดูดกลืน $C\equiv N$ (Nitrile) stretch ที่เลขคลื่น 2242 cm^{-1} และแถบดูดกลืน $C=O$ ที่เลขคลื่น 1697 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดหมู่ไซยาโน ดังแสดงในรูปที่ 4.4

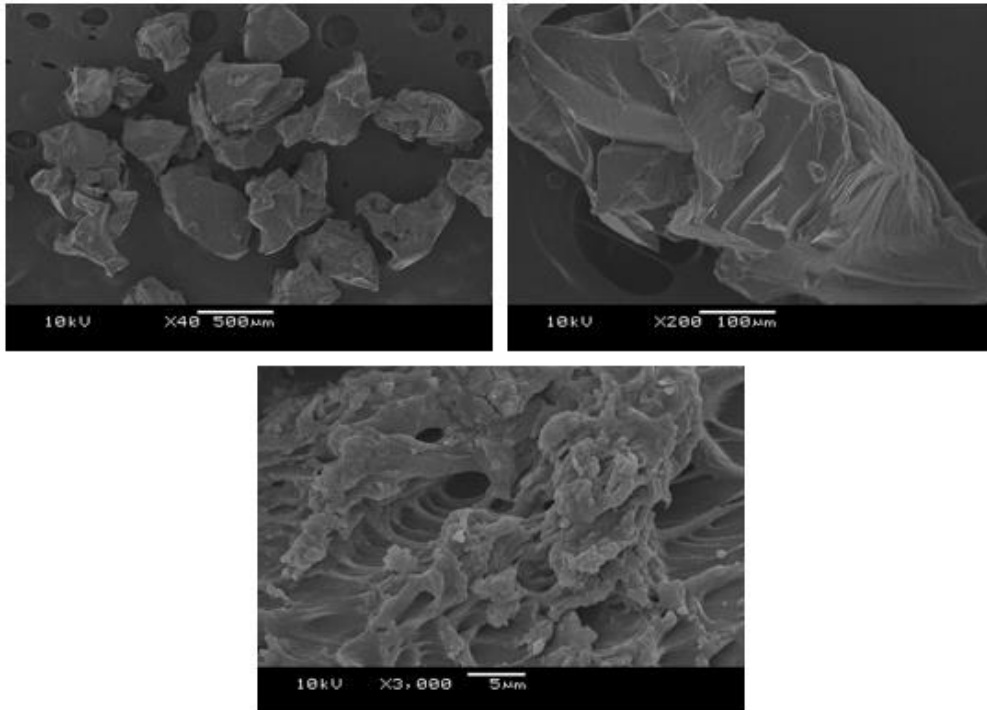


รูปที่ 4.5 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของเอมิดอกซิมพอลิเมอร์เจล

สำหรับ FTIR สเปกตรัมของพอลิเมอร์เจล ที่ผ่านการสังเคราะห์ โดยเปลี่ยนจากหมู่ไซยาโนเป็นหมู่เอมิดอกซิม ปรากฏแถบดูดกลืนของ N-H stretch ที่เลขคลื่น 3338 cm^{-1} แถบดูดกลืน $C=O$ ของหมู่เอมิดอกซิม ที่เลขคลื่น 1653 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบแถบดูดกลืน $C\equiv N$ (Nitrile) stretch ที่เลขคลื่น 2242 cm^{-1} ลดลงอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหมู่ไซยาโนถูกเปลี่ยนเป็นหมู่เอมิดอกซิม

4.1.3 ศึกษาพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์เจลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning electron microscope (SEM)

จากรูปที่ 4.6 พบว่าพื้นผิวของพอลิเมอร์เจลมีสภาพขรุขระมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวมากสำหรับการสัมผัสกับน้ำทะเลส่งผลให้น้ำทะเลและยูเรเนียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์เจลก่อนจุ่มน้ำทะเล

4.1.4 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตให้เกิดพอลิเมอร์เจล

ทำการทดลองโดยฉายรังสีอัลตราไวโอเลต-C เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการฉายรังสีให้เกิดพอลิเมอร์เจล คือ 8 ชั่วโมง



1 ชั่วโมง



2 ชั่วโมง



3 ชั่วโมง



4 ชั่วโมง



5 ชั่วโมง



6 ชั่วโมง



7 ชั่วโมง



8 ชั่วโมง

รูปที่ 4.7 ระยะเวลาในการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้เกิดพอลิเมอร์เจล

เมื่อทำการทดลองฉายรังสีพบว่าระยะเวลาที่ 1-4 ชั่วโมงสารละลายมอนอเมอร์มีลักษณะเป็นน้ำเริ่มขุ่นและไม่เป็นเจล หลังจากระยะเวลาที่ 5-7 ชั่วโมงสารละลายมอนอเมอร์เริ่มแข็งตัวเป็นเจล และในระยะเวลาที่ 8 ชั่วโมงเป็นพอลิเมอร์เจลที่แข็งแรง

สีของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สีของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับยูเรเนียม

4.2 ผลของสัดส่วนของมอนอเมอร์ต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย

จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของมอนอเมอร์ 100:0 ไม่สามารถนำมาดูดซับได้ เนื่องจากเกิดเป็นพอลิเมอร์เจลที่ไม่แข็งตัว และมีลักษณะเป็นขุย

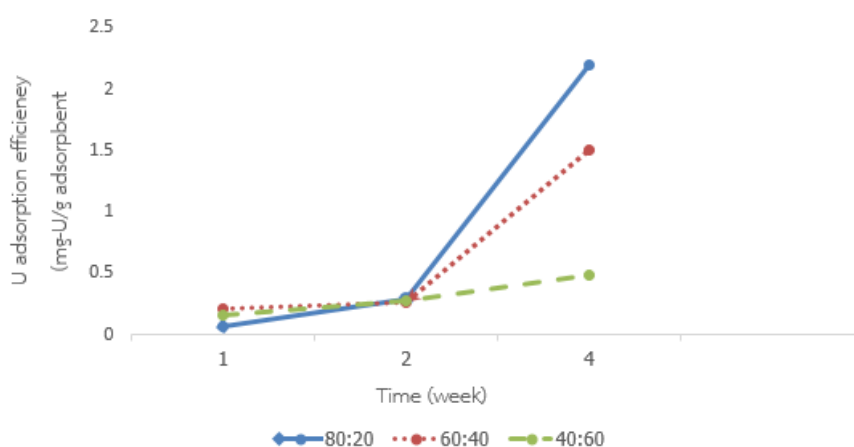


รูปที่ 4.9 พอลิเมอร์เจลที่ไม่แข็งตัว

จากการทดลองศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์ ระหว่างอะคริโลไนไตรล์กับเมทอะคริลิกแอซิด ที่มีสัดส่วน 80:20, 60:40 และ 40:60 โดยจุ่มในน้ำทะเลในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยเก็บผลการทดลองที่ 1, 2 และ 4 สัปดาห์พบว่าที่อัตราส่วนของ อะคริโลไนไตรล์ : เมทอะคริลิกแอซิด 80:20 สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 2.2 mg U/g adsorbent และการดูดซับยูเรเนียมจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อสัดส่วนของอะคริโลไนไตรล์ : เมทอะคริลิกแอซิดลดลง เนื่องจากสารอะคริโลไนไตรล์เป็นสารที่มีหมู่ไซยาโนซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นหมู่เอมีดอกซิม โดยการดูดซับยูเรเนียมนั้นจะต้องใช้หมู่เอมีดอกซิมในการดูดซับ กล่าวคือถ้าอัตราส่วนของอะคริโลไนไตรล์มากขึ้นการเกิดหมู่เอมีดอกซิมจะมากขึ้นจึงทำให้การจับยูเรเนียมมากขึ้น ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มตัวดูดซับในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยโดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์

| สัดส่วนมอนอเมอร์ (AN:MAA) ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ml ปริมาณสารเชื่อมโยง 1 กรัม | ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับ (mg U/g adsorbent) | | |
|--|--|-----------|-----------|
| | 1 สัปดาห์ | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 80:20 | 0.06 | 0.29 | 2.2 |
| 60:40 | 0.21 | 0.26 | 1.51 |
| 40:60 | 0.16 | 0.28 | 0.49 |



รูปที่ 4.10 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่สัดส่วนมอนอเมอร์ต่างกันข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.4

4.3 ผลของปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาด ใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย

จากการทดลองศึกษาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยศึกษาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 50, 60, 80 และ 100 ml พบว่าปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 60 ml เกิดเป็นพอลิเมอร์เจลที่ดีที่สุดและดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดและเมื่อเพิ่มปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่าค่านี้ พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นสามารถดูดซับยูเรเนียมได้ลดลง เนื่องจากเมื่อมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้นเกินกว่าค่าที่ดีที่สุดจะเกิดฟรียูเรติคัลมากเกินไป ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทำลายโครงสร้างพันธะของพอลิเมอร์แทน

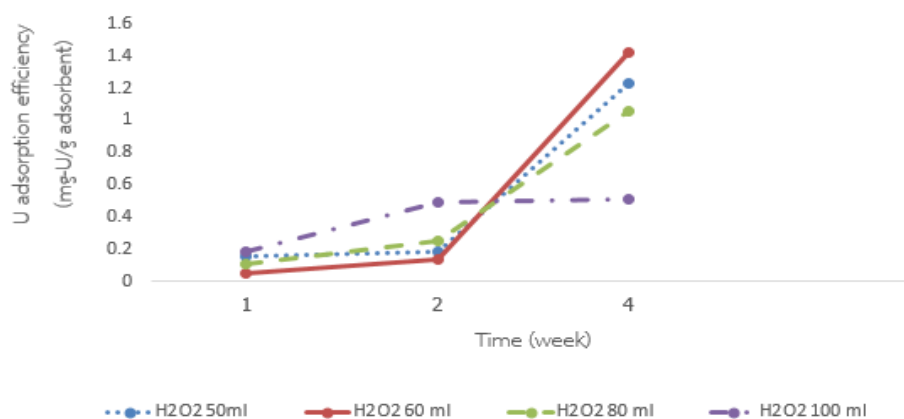
สาเหตุที่เลือกสัดส่วนของมอนอเมอร์อะครีโลไนไตรล์กับเมทอะคริลิกแอซิดที่ 60:40 เพราะว่าราคาของสารอะครีโลไนไตรล์ค่อนข้างสูงจึงส่งผลทำให้ใช้งบประมาณงานวิจัยสูงขึ้นและจากการทดลองการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของมอนอเมอร์อะครีโลไนไตรล์กับเมทอะคริลิกแอซิดที่ 80:20 และ 60:40 สามารถสรุปได้ดังนี้

| สัดส่วนของมอนอเมอร์ AN:MAA | ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ml) | mg U/g adsorbent (4week) |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 80:20 | 60 | 2.36 |
| 80:20 | 50 | 2.2 |
| 60:40 | 60 | 1.42 |
| 60:40 | 50 | 1.23 |

จากการทดลองพบว่าสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่ 80:20 และ 60:40 ที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 ml สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 2.2 และ 1.23 mg U/g adsorbent และเมื่อเพิ่มปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 60 ml สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ 2.36 และ 1.42 mg U/g adsorbent ตามลำดับ แสดงว่าสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของอะครีโลไนไตรล์และปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สูงขึ้นส่งผลให้สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.5 ปริมาณยูเรเนียมที่จุ่มในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยโดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์

| ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ml) AN:MAA (60:40) ปริมาณสารเชื่อมโยง 1 กรัม | ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับ (mg U/g adsorbent) | | |
|--|---|-----------|-----------|
| | 1 สัปดาห์ | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 50 | 0.15 | 0.18 | 1.23 |
| 60 | 0.05 | 0.13 | 1.42 |
| 80 | 0.11 | 0.25 | 1.06 |
| 100 | 0.18 | 0.49 | 0.51 |



รูปที่ 4.11 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.5

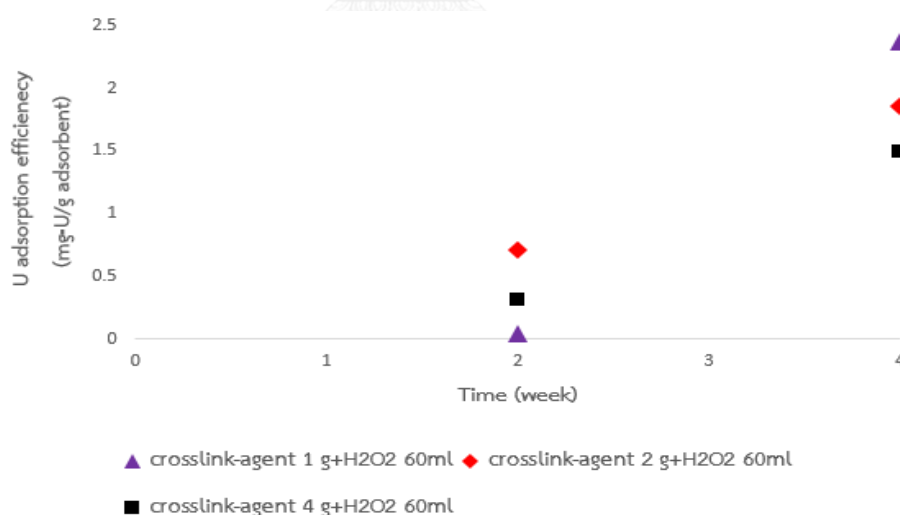
4.4 ผลของสารเชื่อมโยงต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยโดยใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60 ml

จากการทดลองศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยง โดยศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 1, 2 และ 4 g/100 ml โดยใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 60 ml พบว่าปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 1 g/100 ml สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 2.36 mg U/g adsorbent ที่เวลา 4 สัปดาห์และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ วรวิภรณ์ รัตนิสสัย [3] โดยใช้ตัวดูดซับแบบเส้นใยเอมิดอกซิม พบว่าสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 1.56 mg U/g adsorbent ที่เวลา 4 สัปดาห์ แสดงให้

เห็นว่าตัวดูดซับเอมีตอกซิมพอลิเมอร์เจลนั้นสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากกว่าตัวดูดซับแบบเส้นใย และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเชื่อมโยงมากกว่า 1 กรัม พบว่าสามารถดูดซับยูเรเนียมได้ลดลง ดังแสดงตารางที่ 4.6 เนื่องจากการเพิ่มสารเชื่อมโยงนั้นจะทำให้โครงสร้างมีความหนาแน่นสูงขึ้น ส่งผลให้หมู่เอมีตอกซิมอยู่ชิดกันมากขึ้น และขัดขวางการเคลื่อนที่ของยูเรเนียมไอออนทำให้ไม่สามารถแพร่เข้าไปถึงภายในอนุภาคของพอลิเมอร์เจลได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kawai T. และคณะ [8]

ตารางที่ 4.6 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มถึงบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย โดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 60 ml | ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับ (mg U/g adsorbent) | |
|--|---|-----------|
| | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 1 | 0.04 | 2.36 |
| 2 | 0.79 | 1.86 |
| 4 | 0.30 | 1.48 |



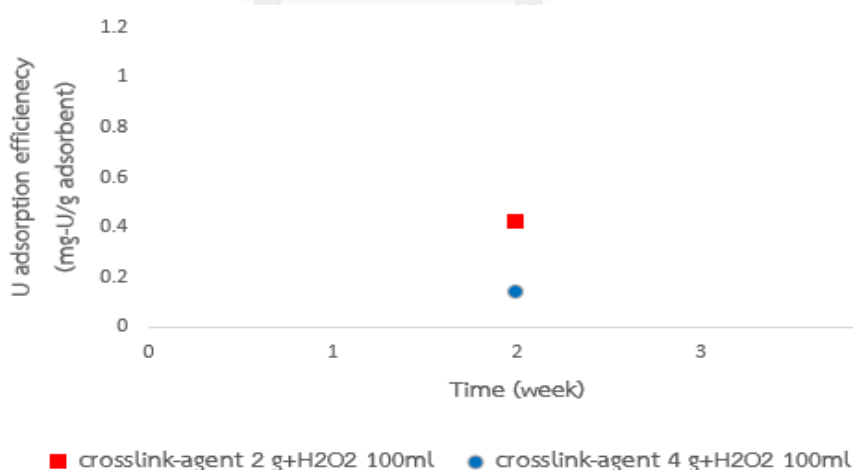
รูปที่ 4.12 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มในถังบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่สารเชื่อมโยงปริมาณต่างๆ โดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60 ml ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.6

4.5 ผลของสารเชื่อมโยงต่อการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ วิจัยโดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ml

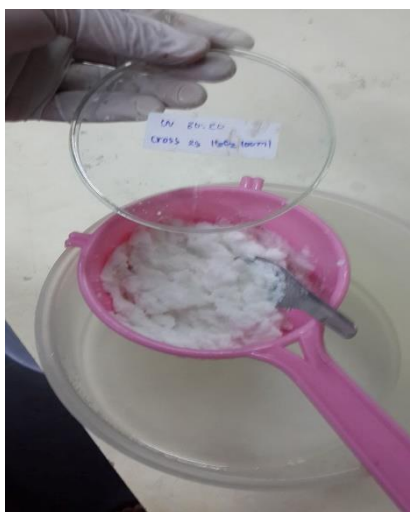
จากการทดลองศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยง โดยศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 2 และ 4 g/100 ml โดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 100 ml พบว่าปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 4 g/100 ml ดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดและการดูดซับลดลงเมื่อมีสารเชื่อมโยงน้อยลง เนื่องจากมีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทำให้เกิดแรติเคิล ทำให้เกิดความไม่เสถียรระหว่างแรติเคิลกับสารเชื่อมโยง

ตารางที่ 4.7 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ วิจัยโดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 100ml | ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับ (mg U/g adsorbent) | |
|--|---|-----------|
| | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 2 | 0.42 | 0.76 |
| 4 | 0.13 | 1.1 |



รูปที่ 4.13 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในการจุ่มในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการที่วิจัย ปริมาณสารเชื่อมโยง ต่างๆโดยใช้ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์100 ml ข้อมูลแสดงใน ตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.14 พอลิเมอร์เจลที่ปริมาณสารเชื่อมโยง 2 g/100 ml และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ml
 4.6 ผลการทดลองการดักจับยูเรเนียมที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล
 และชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต



รูปที่ 4.15 การติดตั้งตัวดักจับในน้ำทะเล

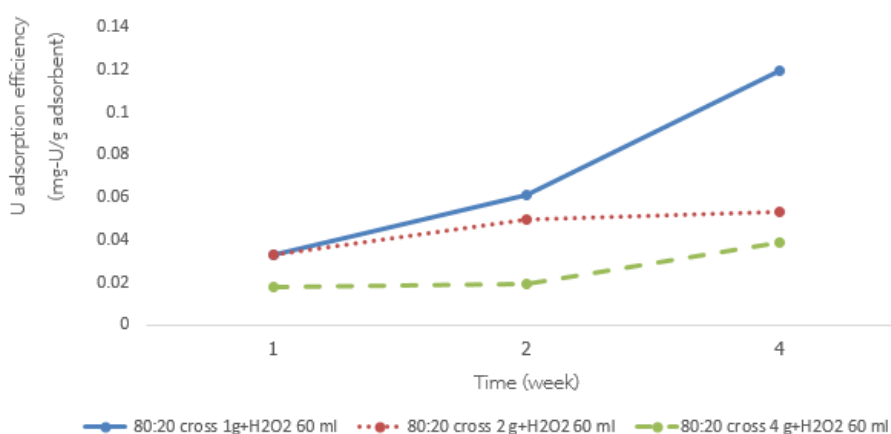


รูปที่ 4.16 ตัวดูดจับหลังจากจุ่มทะเล

จากการทดลองวางตัวดูดจับยูเรเนียมที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต โดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่าที่อัตราส่วนของอะครีโลไนไตรล์ : เมทอะคริลิกแอซิด 80:20 ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 60 ml และปริมาณสารเชื่อมโยง 1 g/100 ml สามารถดูดจับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 0.12 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.8 การดูดจับยูเรเนียมที่ได้น้อยอาจเนื่องมาจากช่วงที่ทำการทดลองจุ่มแช่ตัวดูดจับในน้ำทะเลเป็นช่วงฤดูฝน ส่งผลให้มีตะกอนดินปนอยู่ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งจำนวนมาก ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะเกาะติดกับตัวดูดจับและขัดขวางการแพร่ของยูเรเนียมเข้าไปภายในอนุภาคของตัวดูดจับ ทำให้เกิดการดูดจับยูเรเนียมได้น้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสารสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลโดยใช้รังสีแกมมา โดยทำการวางตัวดูดจับยูเรเนียมที่ตำแหน่งเดียวกันและในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าสามารถดูดจับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 0.08 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของ อัมพิการ์ จาวะนา [2] พบว่าสามารถดูดจับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 0.03 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยและใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสะอาดของน้ำทะเลมีผลต่อการดูดจับยูเรเนียมในน้ำทะเลมาก

ตารางที่ 4.8 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จากการจุ่มแช่ตัวดูดซับที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต โดยเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 1, 2 และ 4 สัปดาห์ โดยเลือกใช้ตัวดูดซับจากสถานะที่ดีที่สุดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิจัย

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 60ml | ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับ (mg U/g adsorbent) | | |
|---|---|-----------|-----------|
| | 1 สัปดาห์ | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 1 | 0.033 | 0.061 | 0.119 |
| 2 | 0.032 | 0.049 | 0.052 |
| 4 | 0.017 | 0.019 | 0.038 |



รูปที่ 4.17 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต ข้อมูลแสดงตารางที่ 4.8

จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จากการจุ่มแช่ตัวดูดซับที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต และในห้องปฏิบัติการวิจัยพบว่าปริมาณยูเรเนียมที่ทดลองในห้องปฏิบัติการวิจัยสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดคือ 2.36 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์และปริมาณยูเรเนียมของการแช่ตัวดูดซับที่ชายฝั่งทะเลสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดคือ 0.12 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากแสดงให้เห็นว่าความสะอาดของน้ำทะเลมีผลต่อการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลมาก ดังแสดงตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จากการจุ่มแร่ตัวดูดซับที่ชายฝั่งทะเลของ ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ตและใน ห้องปฏิบัติการวิจัย โดยเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 60ml | ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับ (mg U/g adsorbent) | | | |
|--|---|----------------|-----------|----------------|
| | 2 สัปดาห์ | | 4 สัปดาห์ | |
| | ทะเล | ห้องปฏิบัติการ | ทะเล | ห้องปฏิบัติการ |
| 1 | 0.061 | 0.04 | 0.199 | 2.36 |
| 2 | 0.049 | 0.79 | 0.052 | 1.86 |
| 4 | 0.019 | 0.30 | 0.038 | 1.48 |



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์อะครีโลไนไตร์และเมทอะคริลิกแอซิด ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และปริมาณสารเชื่อมโยง ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลโดยใช้เทคนิคการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต-C เพื่อใช้ในการดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

5.1.1 ผลของสัดส่วนของมอนอเมอร์ในการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย

จากการทดลองศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์ระหว่างอะครีโลไนไตร์และเมทอะคริลิกแอซิดที่มีสัดส่วน 80:20, 60:40 และ 40:60 โดยจุ่มน้ำทะเลเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยเก็บผลการทดลอง 1, 2 และ 4 สัปดาห์พบว่าที่อัตราส่วนของอะครีโลไนไตร์: เมทอะคริลิกแอซิด 80:20 สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 2.2 mg U/g adsorbent และจากการทดลองพบว่าที่สัดส่วนของมอนอเมอร์ 100:0 ไม่สามารถนำมาดูดซับได้ เนื่องจากเกิดเป็นพอลิเมอร์เจลที่ไม่แข็งตัว ดังนั้นควรใช้สัดส่วนของมอนอเมอร์อะครีโลไนไตร์กับเมทอะคริลิกแอซิดที่ 80:20

5.1.2 ผลของปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย

จากการทดลองศึกษาปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีสัดส่วนของมอนอเมอร์อะครีโลไนไตร์กับเมทอะคริลิกแอซิดที่ 60:40 โดยศึกษาปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 50, 60, 80 และ 100 ml พบว่าปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 60 ml ดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุด ดังนั้นควรใช้ปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 60 ml

5.1.3 ผลของสารเชื่อมโยงในการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย

จากการทดลองศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยง โดยศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 1, 2 และ 4 g/100 ml โดยใส่ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60 ml พบว่าปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 1 g/100ml ดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุด ดังนั้นจึงควรใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ 1 g/100ml

5.1.4 ผลของสารเชื่อมโยงที่ต่างกันโดยมีปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ml ในการดูดซับยูเรเนียมในถังบรรจุน้ำทะเลขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการวิจัย

จากการทดลองศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยง โดยศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 2 และ 4 g/100 ml โดยใส่ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ml พบว่าปริมาณของสารเชื่อมโยงที่ 4 g/100 ml ดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุด

5.1.5 เวลาที่เหมาะสมในการฉายรังสีของการเกิดพอลิเมอร์เจลโดยใช้เทคนิคฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

คือ 8 ชั่วโมง ซึ่งหากฉายที่ระยะเวลาสั้นกว่านี้จะไม่เกิดเป็นพอลิเมอร์เจลหรือเป็นพอลิเมอร์เจลที่ไม่แข็งแรง

5.1.6 ผลการทดลองวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเอมีดอกซิมบนผิวเอมีดอกซิมเจลโดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

ปรากฏแถบดูดกลืน C-H alkyl stretch ที่เลขคลื่น 2932 cm^{-1} และ C-H ที่เลขคลื่น 1473 cm^{-1} นอกจากนี้ยังปรากฏแถบดูดกลืน $\text{C} \equiv \text{N}$ (Nitrile) stretch ที่เลขคลื่น 2242 cm^{-1} และแถบดูดกลืน $\text{C}=\text{O}$ ที่เลขคลื่น 1697 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดหมู่ไซยาโน ส่วนกราฟอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์เจลที่ผ่านการสังเคราะห์โดยเปลี่ยนจากหมู่ไซยาโนเป็นหมู่เอมีดอกซิม ปรากฏแถบหมู่ดูดกลืนของ N-H stretch ที่เลขคลื่น 3338 cm^{-1} แถบดูดกลืน $\text{C}=\text{O}$ ของหมู่เอมีดอกซิมที่เลขคลื่น 1653 cm^{-1} นอกจากนี้แถบดูดกลืน $\text{C} \equiv \text{N}$ (Nitrile) stretch ที่เลขคลื่น 2242 cm^{-1} ลดลงอย่างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหมู่ไซยาโนถูกเปลี่ยนเป็นหมู่เอมีดอกซิม

5.1.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของพอลิเมอร์เจล

พบว่าพื้นผิวของพอลิเมอร์เจลมีสภาพขรุขระมากทำให้มีพื้นที่ผิวมากสำหรับการสัมผัสกับน้ำทะเลส่งผลให้น้ำทะเลและยูเรเนียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.8 ผลการทดลองการดูดซับยูเรเนียมที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต

พบว่าที่อัตราส่วนของอะคริโลไนไตรล์: เมทอะคริลิกแอซิด 80:20 ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 60 ml และปริมาณสารเชื่อมโยง 1 กรัม สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 0.123 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์ การดูดซับยูเรเนียมที่ได้น้อยอาจจะเป็นเพราะว่าช่วงทำการทดลองจุ่มตัวดูดซับในน้ำทะเลเป็นช่วงฤดูฝน ส่งผลให้มีตะกอนดินปนอยู่ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งจำนวนมาก ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะเกาะติดกับตัวดูดซับและขัดขวางการแพร่ของยูเรเนียมเข้าไปภายในอนุภาคของตัวดูดซับ ทำให้เกิดการดูดซับยูเรเนียมเกิดน้อยซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลโดยใช้รังสีแกมมา โดยทำการวางตัวดูดซับยูเรเนียมที่ตำแหน่งเดียวกันและในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 0.08 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของ อัมฟิการ์ จาวะนา พบว่าสามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดที่ 0.03 mg U/g adsorbent ที่ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยและใกล้เคียงกัน

โดยสรุปแล้ว สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลในการดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลคือสัดส่วนของอะคริโลไนไตรล์: เมทอะคริลิกแอซิดที่ 80:20 ปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 60 ml และปริมาณสารเชื่อมโยง 1 กรัม ซึ่งสามารถดูดซับยูเรเนียมจากน้ำทะเลได้ดีกว่าการใช้เส้นใยดูดซับยูเรเนียมเนื่องจากจะไม่มีมวลของเส้นใย Polyethylene และผิวของพอลิเมอร์เจลมีสภาพขรุขระมากทำให้มีพื้นที่ผิวมากสำหรับการสัมผัสกับน้ำทะเลส่งผลให้น้ำทะเลและยูเรเนียมไอออนสามารถแพร่เข้าไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งไม่ควรวางตัวดูดซับยูเรเนียมในช่วงฤดูฝน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่ต่างๆเพิ่มเติมโดยศึกษาที่มีสัดส่วนที่สูงขึ้น
2. ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมเปรียบเทียบกับทะเลที่ต่างๆที่ตำแหน่งอื่นๆ
3. ศึกษาปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มเติมโดยศึกษาที่มีสัดส่วนที่สูงขึ้น
4. ศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มเติม โดยศึกษาที่มีสัดส่วนที่สูงขึ้นและศึกษาสารเชื่อมโยงชนิดอื่นด้วย
5. ศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น อะคริโลไนไตรล์ และอะคริลิกแอซิด ซึ่งอะคริลิกแอซิด มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีเช่นกัน
6. ไม่ควรวางตัวดูดซับในฤดูฝนเนื่องจากมีตะกอนดินปนอยู่ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งจำนวนมาก ซึ่งตะกอนเหล่านี้จะเกาะติดกับตัวดูดซับและขัดขวางการแพร่ของยูเรเนียมเข้าไปภายในอนุภาคของตัวดูดซับ ทำให้เกิดการดูดซับยูเรเนียมได้น้อย

รายการอ้างอิง

1. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง. การศึกษาการสกัดยูเรเนียมจากน้ำทะเลในประเทศไทย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2013.
2. อัมพิการ์ จาวะนา. การสังเคราะห์ตัวดูดซับยูเรเนียมเอมีดออกซิมโดยการกราฟต์เมทอะคริลิกแอซิดและอะครีโลไนไตรล์ลงบนเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการฉายลำอิเล็กตรอน: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2014.
3. Ratnitsai V, Wongsawaeng D, Chankow N. Enhancement of uranium extraction from seawater using chromic-acid-treated amidoxime adsorbent prepared by simultaneous irradiation grafting technique. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2015;52(9):1151-61.
4. Saito K, Yamada S, Furusaki S, Sugo T, Okamoto J. Characteristics of uranium adsorption by amidoxime membrane synthesized by radiation-induced graft polymerization. *Journal of Membrane Science*. 1987;34(3):307-15.
5. H.Egawa NKa. Adsorption-elution behaviours of lightly crosslinked porous amidoxime resins for uranium recover from sea water. *Advances and Applications*. 1994:378-82.
6. Vernon F, Shah T. The extraction of uranium from seawater by poly(amidoxime)/poly(hydroxamic acid) resins and fibre. *Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents*. 1983;1(4):301-8.
7. Katragadda S, Gesser HD, Chow A. The extraction of uranium by amidoximated orlon. *Talanta*. 1997;45(2):257-63.
8. Kabay N, Katakai A, Sugo T. Preparation of amidoxime-fiber adsorbents by radiation-induced grafting. *Radiation Physics and Chemistry*. 1995;46(4):833-6.
9. Badawy SM, Sokker HH, Othman SH, Hashem A. Cloth filter for recovery of uranium from radioactive waste. *Radiation Physics and Chemistry*. 2005;73(2):125-30.
10. Kawai T, Saito K, Sugita K, Kawakami T, Kanno J-i, Katakai A, et al. Preparation of hydrophilic amidoxime fibers by cografiting acrylonitrile and methacrylic

acid from an optimized monomer composition. Radiation Physics and Chemistry. 2000;59(4):405-11.

11. เกลือในน้ำทะเล [Internet]. 2016. Available from:
<http://cossience1.pbworks.com/w/page/8286076/Lesson%206-04%20The%20Composition%20of%20Seawater>.
12. ธาตุในน้ำทะเล [Internet]. 2016. Available from:
<http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/gorin2/>.
13. ความเข้มข้นของธาตุในน้ำทะเล [Internet]. 2016. Available from:
<http://www.eppo.go.th/doc/doc-AlterFuel.html>.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

1. การเตรียมสารละลาย 3% (W/V) NH₂OH-HCl

เตรียมจาก NH₂OH.HCl บริษัท Fluka มวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 162.21
ใน Methanol : DI water 100 ml มี NH₂OH.HCl อยู่ 3 กรัม
ต้องการเตรียม 1,800 ml ต้องชั่ง NH₂OH.HCl 54 กรัม
ชั่ง NH₂OH.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) NH₂OH.HCl

2. การเตรียมสารละลาย 2.5% (W/V) KOH

เตรียมจาก NH₂OH.HCl บริษัท Fluka มวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 162.21
ในน้ำ 100 ml มี NH₂OH.HCl อยู่ 2.5 กรัม
ต้องการเตรียม 1,800 ml ต้องชั่ง NH₂OH.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 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลก่อนและหลังเอมีตอกซิม ที่ใช้ในการศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์สองชนิด

| สัดส่วน AN:MAA | น้ำหนักก่อน เอมีตอกซิม(g) | น้ำหนักหลัง เอมีตอกซิม(g) | น้ำหนักหลัง Alkaline treatment (g) |
|----------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 100:0 | 0 | 0 | 0 |
| 80:20 | 3.6313 | 3.7710 | 3.7945 |
| 60:40 | 4.6112 | 4.7532 | 4.7893 |
| 40:60 | 6.8200 | 6.9712 | 7.0133 |

ตารางที่ ข-2 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลก่อนและหลังเอมีตอกซิม ที่ใช้ในการศึกษาปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

| ปริมาตรไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (ml) | น้ำหนักก่อน เอมีตอกซิม(g) | น้ำหนักหลัง เอมีตอกซิม(g) | น้ำหนักหลัง Alkaline treatment (g) |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 50 | 19.4101 | 19.7546 | 20.0534 |
| 60 | 5.4223 | 5.5634 | 5.6211 |
| 80 | 14.6356 | 14.9509 | 15.1123 |
| 100 | 12.8024 | 13.0197 | 13.4674 |

ตารางที่ ข-3 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลก่อนและหลังเอมีตอกซิม ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยง

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) | น้ำหนักก่อน เอมีตอกซิม(g) | น้ำหนักหลัง เอมีตอกซิม(g) | น้ำหนักหลัง Alkaline treatment (g) |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 3.6314 | 3.7731 | 3.8047 |
| 2 | 7.4609 | 7.8123 | 7.8864 |
| 4 | 8.1905 | 8.6356 | 8.7896 |

ตารางที่ ข-4 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลหลัง Elude ที่ใช้ในการศึกษาสัดส่วนของมอนอเมอร์สองชนิด

| ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ml) AN:MAA (60:40) | น้ำหนักหลัง Elude (g) | | |
|--|-----------------------|-----------|-----------|
| | 1 สัปดาห์ | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 50 | 0.0326 | 0.058 | 0.0702 |
| 60 | 0.0566 | 0.0494 | 0.11 |
| 80 | 0.0283 | 0.0527 | 0.0878 |
| 100 | 0.0307 | 0.0439 | 0.1112 |

ตารางที่ ข-5 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลหลัง Elude ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

| สัดส่วน AN:MAA | น้ำหนักหลัง Elude (g) | | |
|----------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | 1 สัปดาห์ | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 100:0 | 0 | 0 | 0 |
| 80:20 | 0.0548 | 0.0801 | 0.288 |
| 60:40 | 0.0581 | 0.0658 | 0.1422 |
| 40:60 | 0.0477 | 0.0442 | 0.1285 |

ตารางที่ ข-6 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลหลัง Elude ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยง

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 60 ml | น้ำหนักหลัง Elude (g) | |
|--|-----------------------|-----------|
| | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 1 | 1.213 | 1.34 |
| 2 | 0.726 | 1.936 |
| 4 | 0.781 | 1.936 |

ตารางที่ ข-7 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลหลัง Elude ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยง โดยมีปริมาตรไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 ml

| ปริมาณสารเชื่อมโยง (g) AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 100 ml | น้ำหนักหลัง Elude (g) | |
|---|-----------------------|-----------|
| | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 2 | 0.2 | 0.248 |
| 4 | 1.136 | 1.6647 |

ตารางที่ ข-8 น้ำหนักมวลของพอลิเมอร์เจลหลัง Elude ที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับยูเรเนียมที่ชายฝั่งทะเลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดภูเก็ต

| ปริมาณสารเชื่อมโยง AN:MAA (80:20) H ₂ O ₂ 60 ml | น้ำหนักหลัง Elude (g) | | |
|--|-----------------------|-----------|-----------|
| | 1 สัปดาห์ | 2 สัปดาห์ | 4 สัปดาห์ |
| 1 | 0.3 | 0.375 | 0.355 |
| 2 | 0.35 | 0.354 | 0.34 |
| 4 | 0.3988 | 0.3565 | 0.35 |

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นาย ชัยเรือง กนกวรรณกาญจน์ เกิดวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2535 ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 30 ซอยบางแวก 37 แขวง บางแวก เขต ภาษีเจริญ จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10160 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร และได้เข้าศึกษาระดับมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เคยผ่านการอบรม ในโครงการ 2016 Training course for foreign young researchers and engineers, Japan มีผลงานวิจัยได้แก่ เสถียรภาพเมมเบรนของการสกัดไอออนดีไอต์เมียมโดยใช้กระบวนการเส้นใย กลวงแบบคอนแทคเตอร์โดยมีสารสกัด D2EHPA เป็นตัวพาหะและการสังเคราะห์พอลิเมอร์เจลเอ มิตรอกซิมสำหรับดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล

