

## การประยุกต์ใช้พอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมิดอกซิมเพื่อใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด

### Application of Polyethylene Polymer Containing Amidoxime Group for Uranium Adsorption in Fresh Water

สงวนศักดิ์ ไร่กันยา และ ดุยพงษ์ วงศ์แสวง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### บทคัดย่อ

ได้เตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมจากปฏิกิริยากราฟต์พอลิเมอร์ไรเซชันโดยรังสีแกมมา และใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืด การเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมเตรียมได้โดยนำพอลิเอทิลีนพอลิเมอร์ผสมกับมอนอเมอร์ อะคริโลไนไตรล์ (AN)/เมทาคริลิกแอซิด (MAA) ที่ความดันบรรยากาศต่ำ และฉายรังสีแกมมา แล้วเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันไซยาโนเป็นหมู่เอมิดอกซิมด้วย ไฮโดรอกซิลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) ซึ่งจะทำให้เกิดหมู่เอมิดอกซิมขึ้นบนแผ่นพอลิเอทิลีน (PEAO) ได้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 144 % จากการฉายรังสีแกมมาที่ความแรง 40 kGy แต่ที่ 30 kGy สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุดจากสารละลายยูเรเนียมคาร์บอนเนต 10 ppm ที่เตรียมขึ้น และจากการชะล้างยูเรเนียมที่ความเข้มข้น  $\text{HCl}$  0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 M ที่ความเข้มข้น 2.0 M สามารถชะล้างได้มากที่สุด คือ 10.44 mg/g ตัวดูดซับ หลังจากนั้นนำตัวดูดซับที่เตรียมได้จากการฉายรังสีแกมมาที่ความแรง 30 kGy ไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับยูเรเนียมจากน้ำจืดที่แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ผลการทดสอบคือ PEAO สามารถดูดซับยูเรเนียมได้ที่ 5.44 และ 3.32 mg/g ตัวดูดซับตามลำดับโดยใช้เวลาในการดูดซับ 2 สัปดาห์ จากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของการเตรียมตัวดูดซับ  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ นอกจากนี้ตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นสามารถนำไปใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืดได้

คำสำคัญ: พอลิเอทิลีน เอมิดอกซิม ดูดซับยูเรเนียม น้ำจืด

#### Abstract

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

( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ), 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 and the concentration 2.0 M had the most elution efficiency, which was 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 during the two weeks' adsorption time. The reaction time converting of  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  was effective to percent grafting on the adsorbent. Moreover, the adsorbent could be used for uranium adsorption in fresh water.

**Keywords:** polyethylene , amidoxime , uranium adsorption , fresh water

## 1. บทนำ

กระบวนการทางรังสี (Radiation processing) ถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีสมบัติเด่นเฉพาะทางกายภาพและทางเคมี สามารถใช้ดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเลได้โดยการกราฟต์พอลิเอทิลีนด้วยมอนอเมอร์ Acrylonitrile(AN)/Methacrylic acid (MAA) (Choi และ Nho, 2000) พอลิเมอร์เมื่อได้รับรังสีจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่ง (Graft polymerization) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์และปริมาณรังสี (Kabay, Katakai และ Sugou, 1995) อย่างไรก็ตามมีการใช้กระบวนการทางรังสีเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบต่อกิ่งเพื่อผลิตวัสดุสำหรับดูดซับยูเรเนียมในน้ำทะเล แต่ยังไม่มีการทดสอบมากนักกับน้ำจืด ทฤษฎีของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน คือ หมู่ Functional ทำหน้าที่ที่มีสมบัติเฉพาะสามารถเกิด ปฏิกิริยาการต่อกิ่ง (Grafting) กับพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสายโซ่หลัก ที่มีรูปแบบเป็นแผ่นฟิล์ม หลังการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์แบบต่อกิ่ง พอลิเมอร์หลักยังคงมี

สมบัติคงเดิม การกระจายของหมู่ทำหน้าที่ที่มีสมบัติเฉพาะบนสายโซ่พอลิเมอร์หลัก สามารถควบคุมได้ง่าย โดยการเลือกสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น ปริมาตรรังสีรวม (Total dose) และอัตราปริมาณรังสี (Dose rate) รังสีแกมมามีพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่พอลิเมอร์หลัก ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ ทำให้ไม่ต้องใช้สารเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ดังนั้นข้อดีของการใช้รังสีเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบต่อกิ่งคือ ช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนของสารเริ่มปฏิกิริยา และลดขั้นตอนการกำจัดสารเริ่มปฏิกิริยาหลังการเกิดปฏิกิริยากระบวนการทางรังสีถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์วัสดุดูดซับโลหะที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจงในการดูดซับโลหะชนิดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับไอออนยูเรเนียมด้วยพอลิเมอร์โดยการฉายรังสีแกมมา (Choi, Choi, Park, Lee และ kang, 2003) แล้วต่อกิ่งเอมีดออกซิมบนแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ กระบวนการดังกล่าวอาศัยปฏิกิริยาการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์แบบต่อกิ่งจากการทำปฏิกิริยา

ของมอนอเมอร์ผสมระหว่าง AN/MAA ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมอนอเมอร์ AN/MAA จะทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันไซยาโนและคาร์บอกซิล แล้วเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันไซยาโนเป็นเอมีดออกซิม จากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืดได้

## 2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีหมู่เอมีดออกซิม หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับยูเรเนียมในห้องทดลอง นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดภายในประเทศ 2 แห่ง และหาประสิทธิภาพในการชะล้างยูเรเนียมออกจากพอลิเมอร์

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยคือ เครื่องกำเนิดรังสีแกมมาจาก Co-60 โดยรังสีแกมมาจะทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดการแตกตัวเป็นไอออนและอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เกิดเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์บนสายโซ่หลักพอลิเมอร์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์ เครื่องมือวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่มีคุณสมบัติว่องไวต่อปฏิกิริยาและหมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติดูดซับยูเรเนียม โดยใช้เครื่อง FTIR-spectrometer (ยี่ห้อ Bruker Type Tensor 27) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลออกมาในรูปแบบของสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่างๆ เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมโดยใช้เครื่อง ICP-MS (ยี่ห้อ Perkin Elmer) ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาความเข้มข้นของยูเรเนียมในระดับ ppm-ppt ได้อย่างแม่นยำ

### 3.1 การเตรียมแผ่นพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ 0.92 g/cm<sup>3</sup> ที่ความหนา 30 ไมครอน (จากบริษัท สเปเชียลตี้ เท็ค คอร์ปอเรชัน จำกัด, ประเทศไทย) ตัดเป็นแผ่นขนาด 2×3 cm ล้างด้วยเมทานอลแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

### 3.2 การเตรียมสารละลายมอนอเมอร์

มอนอเมอร์ 99% อะคริโลไนไตรล์จาก Merck ผสมกับ 99% เมทอะคริลิคแอซิด จาก Merck ที่อัตราส่วน 60:40 (V/V)% นำมอนอเมอร์ผสมละลายในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) ที่อัตราส่วน 50:50 (V/V)% ล้างโซลิมพอลิเมอร์ด้วย N,N-dimethylformamide เปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีดออกซิม ด้วย 3 (W/V)% Hydroxylamine hydrochloride (NH<sub>2</sub>OH.HCl) โดยละลายใน 50:50 (V/V)% H<sub>2</sub>O/MeOH

### 3.3 กระบวนการกราฟต์โคพอลิเมอร์

นำแผ่นพอลิเอทิลีนที่ผ่านการล้างและอบให้แห้งแล้วใส่ลงในขวดเตรียมสารขนาด 100 มิลลิลิตร เติมมอนอเมอร์ AN/MAA ที่อัตราส่วน 60:40 ละลายใน DMSO ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศต่ำ โดยการดูดอากาศออก จากนั้นนำไปฉายรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่ความแรงรังสี 30 kGy ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ การฉายรังสีภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศต่ำ และอุณหภูมิต่ำนั้นจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดี เมื่อฉายรังสีเสร็จให้นำแผ่นพอลิเอทิลีนออกแล้วล้างโซลิมพอลิเมอร์ด้วย N,N-dimethyl formamide ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วล้างด้วย MeOH จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

### 3.4 กระบวนการเปลี่ยนหมู่เอมีดออกซิมและการดูดซับยูเรเนียม

นำแผ่นกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อบให้แห้งแล้วมาผ่านกระบวนการตัดแปรงหมู่ฟังก์ชันให้เป็นหมู่เอมีดออกซิม โดยใช้ 3 (W/V)%  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  ละลายในตัวทำละลาย 50:50 (V/V)%  $\text{H}_2\text{O}:\text{MeOH}$  ปรับ pH 7 แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Zhang, Uchiyama และ Asakura, 2005) หลังจากนั้นนำมาปรับสภาพด้วย 2.5% KOH ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $80^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นซ้ำๆ จนมีค่า pH ใกล้เคียงกับน้ำในธรรมชาติ นำไปอบที่อุณหภูมิ  $50^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ตามสมการที่ 1

$$\text{Degree of grafting (\%)} = \left( \frac{W_g - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $W_0$  เป็นน้ำหนักก่อนการกราฟต์

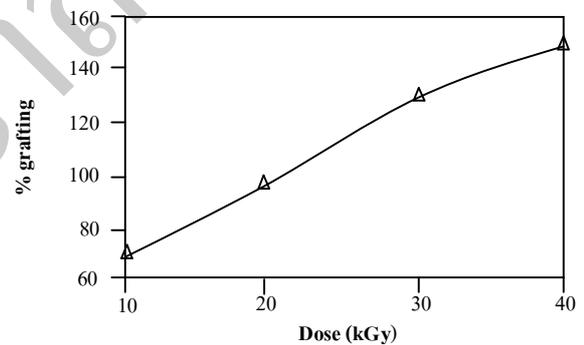
$W_g$  เป็นน้ำหนักหลังการกราฟต์

สำหรับกระบวนการดูดซับยูเรเนียม (Geipel, Amayri และ Bernhard, 2003) เตรียมสารละลายยูเรนิวคาร์บอนเนต 10 ppm โดยเตรียมสารละลายยูเรนิวเปอร์คลอเรต  $2.1 \times 10^{-5}$  M ปรับปริมาตรด้วย 0.1 M  $\text{HClO}_4$  เติม  $5.4 \times 10^{-6}$  M Sodium hydrogen carbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) ปรับ pH ด้วย NaOH และ  $\text{HClO}_4$  ได้ยูเรนิวคาร์บอนเนตเป็นองค์ประกอบหลักในสารละลาย แล้วนำตัวดูดซับเอมีดออกซิมใส่ลงในสารละลายยูเรเนียมทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวดูดซับออกแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $50^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปวัดหมู่ฟังก์ชันยูเรเนียมด้วย FTIR แล้วนำตัวดูดซับที่มียูเรเนียมมาชะ

ล้างยูเรเนียมออกด้วย 2 M HCl (Das, Pendey, Athawale, Kumar, Bhardwaj, Sabharwal และ Manchanda, 2008) นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ด้วย ICP-MS จากนั้นนำตัวดูดซับที่เตรียมได้ไปดูดซับยูเรเนียมในแหล่งน้ำจืดตามธรรมชาติสองแห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วนำมาชะล้างยูเรเนียมออกจากตัวดูดซับด้วย 2 M HCl แล้ววัดด้วย ICP-MS

### 4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

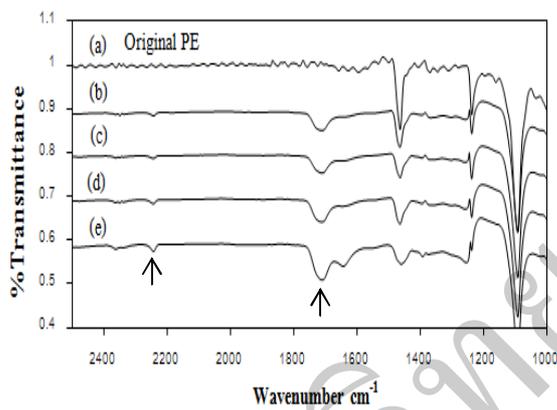
จากการทดลองการกราฟต์เอมีดออกซิมด้วยวิธีการผสมมอนอเมอร์ AN/MAA แล้วฉายรังสีแกมมา ที่ความแรงรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy ได้ผลดังรูปภาพที่ 1



รูปภาพที่ 1 เปอร์เซนต์การกราฟต์ที่ความแรงรังสี 10, 20, 30 และ 40 kGy

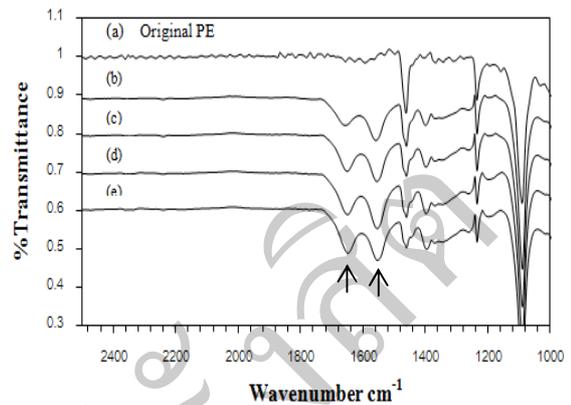
จากรูปภาพที่ 1 เปอร์เซนต์การกราฟต์ที่ความแรงรังสี 40 kGy มีค่ามากที่สุดคือ 144% ที่ความแรงรังสี 30 kGy ได้เท่ากับ 123% ที่ความแรงรังสี 20 kGy ได้เท่ากับ 94% และที่ความแรงรังสี 10 kGy ได้ค่าน้อยที่สุดคือ 65% จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อเทียบเปอร์เซนต์การกราฟต์กับงานวิจัยอื่นนั้นมีความใกล้เคียงกัน คือมีค่าประมาณ 130% (Tomomi, Kyoichi, Kazu yuki, Takashi, Junichi, Akio, Noriaki, และ Takanobu, 2000)

จากรูปภาพที่ 2 ผลของการวัดด้วย FTIR แสดงสเปกตรัมของ (a) คือแผ่น PE ก่อนการกราฟต์ (b) ถึง (e) คือผลของการฉายรังสีที่มีความแรง 10, 20, 30 และ 40 kGy ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์กราฟต์โคพอลิเมอร์เท่ากับ 40, 62, 80 และ 101 % ตามลำดับ จากการฉายรังสีจะทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้นที่สายโซ่พอลิเมอร์หลัก



รูปภาพที่ 2 FTIR-สเปกตรัมของ (a) แผ่น PE ก่อนการกราฟต์, (b) 40% -CN/C=O, (c) 62% -CN/C=O, (d) 80% -CN/C=O และ (e) 101% -CN/C=O

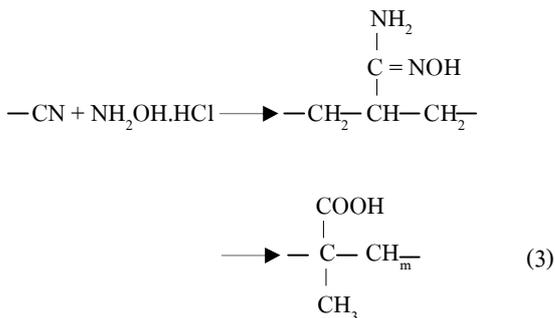
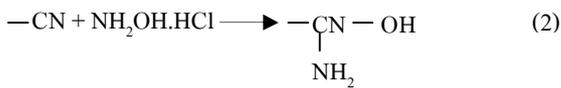
จากการผสมมอนอเมอร์ AN ใน MAA จะทำให้เกิดหมู่ไซยาโน (-CN) บนสายโซ่หลักพอลิเอทิลีนที่ 2243  $\text{cm}^{-1}$  และหมู่คาร์บอกซิล (-C=O) บนสายโซ่หลักพอลิเอทิลีนที่ 1651  $\text{cm}^{-1}$  หมู่ฟังก์ชันไซยาโน จะถูกเปลี่ยนเป็นเอมีดอกซิมด้วย  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  ดังในสเปกตรัม FTIR



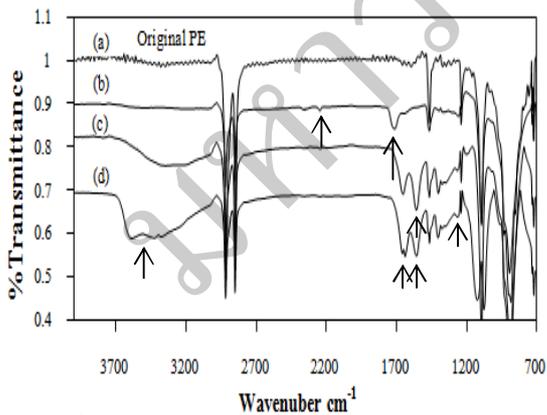
รูปภาพที่ 3 FTIR-สเปกตรัมของ (a) แผ่น PE ก่อนการกราฟต์, (b) 65% AO, (c) 94% AO, (d) 123% AO และ (e) 144% AO

จากรูปภาพที่ 3 ผลของการวัดด้วย FTIR แสดงสเปกตรัมของ (a) คือ แผ่นพอลิเอทิลีนก่อนการกราฟต์ (b) เอมีดอกซิม บนแผ่นพอลิเอทิลีนที่ความแรงรังสี 10 kGy เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 65 % (c) เอมีดอกซิมบนแผ่นพอลิเอทิลีนที่ความแรงรังสี 20 kGy เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 94 % (d) เอมีดอกซิมบนแผ่นพอลิเอทิลีนที่ความแรงรังสี 30 kGy เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 123 % และ (e) เอมีดอกซิมบนแผ่นพอลิเอทิลีนที่ความแรงรังสี 40 kGy เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ 144 %

จากการต่อกิ่งเอมีดอกซิมบนแผ่นพอลิเอทิลีนจะทำให้เกิดหมู่ -OH ขึ้นที่ 3200-3400  $\text{cm}^{-1}$  หมู่ =NO - ขึ้นที่ 940  $\text{cm}^{-1}$  หมู่ -NH<sub>2</sub> ของเอมีดอกซิมขึ้นที่ 1560  $\text{cm}^{-1}$  และหมู่ -C=O ของคาร์บอกซิลขึ้นที่ 1651  $\text{cm}^{-1}$  ปฏิกิริยาการเกิดดั่งสมการ ที่ 2 และ 3



จากสมการที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยา กราฟต์โคพอลิเมอร์ทำให้เกิดหมู่ -CN ขึ้นและเมื่อ  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$  เข้าทำปฏิกิริยากับ -CN ก็จะทำให้เกิด พันธะระหว่างหมู่เอมีน หมู่ไฮดรอกไซด์ กับหมู่ไซยาโน ทำให้เกิดหมู่เอมีนคอกซิม ( $\text{NH}_2-\text{C}=\text{NOH}$ ) และหมู่คาร์บอกซิลเกิดขึ้นที่สายโซ่หลักของกราฟต์โคพอลิเมอร์



รูปภาพที่ 4 FTIR-สเปกตรัมของ (a) แผ่น PE ก่อนการกราฟต์, (b) AN/MAA, (c) AO/MAA และ (d) AO จับกับ  $\text{UO}_2^{2+}$

จากรูปภาพที่ 4 แสดง FTIR สเปกตรัมของ (a) PE ก่อนการกราฟต์ (b) AN/MAA บนแผ่น PE (c) AO บนแผ่น PE และ (d) AO จับกับยูเรเนียมเกิดขึ้นที่  $1272 \text{ cm}^{-1}$  จากสเปกตรัม FTIR แสดงถึงการจับยูเรเนียมของตัวดูดซับเอมีนคอกซิม ( $\text{NH}_2-\text{C}=\text{NOH}$ ) กับ  $\text{UO}_2^{2+}$  และการดูดซับน้ำของหมู่ไฮดรอกไซด์ (-OH) ที่  $3200 - 3600 \text{ cm}^{-1}$

ตารางที่ 1 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ใน 24 ชั่วโมง ต่อความเข้มข้นที่เตรียมตัวดูดซับ โดยดูดซับในสารละลายยูเรเนียมคาร์บอนเนต 10 ppm ที่เตรียมขึ้น

Dose (kGy)	$\text{UO}_2^{2+}$ (mg/g PEAO)
10	5.14
20	28.76
30	87.65
40	4.58

จากตารางที่ 1 ผลการทดลองความเข้มข้นที่มีต่อการดูดซับยูเรเนียมในสารละลายยูเรเนียมคาร์บอนเนต 10 ppm ที่เตรียมขึ้น ผลปรากฏว่าที่ความเข้มข้น 10 kGy ปริมาณยูเรเนียมดูดซับได้ 5.14 mg/g PEAO จากการศึกษาความเข้มข้นรังสีเป็น 20, 30 และ 40 kGy สามารถดูดซับได้ 28.76, 87.65 และ 4.58 mg/g PEAO ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้น 30 kGy สามารถดูดซับยูเรเนียมได้มากที่สุด

ตารางที่ 2 ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ในครั้งที่ 1 แม่น้ำเจ้าพระยา และครั้งที่ 2 แม่น้ำบางปะกงต่อเวลาในการดูดซับที่ความเข้มข้นเตรียมตัวดูดซับ 30 kGy

Time (Weeks)	$\text{UO}_2^{2+}$ (mg/g PEAO)	
	Chao Phraya	Bangpakong
1	1.30	2.23
2	5.44	3.32

จากตารางที่ 2 ผลการทดลองระยะเวลาของการดูดซับยูเรเนียมที่เวลา 1 สัปดาห์แห่งที่ 1 และ 2 สามารถดูดซับยูเรเนียมได้เท่ากับ 1.30 และ 2.23 mg/g PEO ตามลำดับ ที่เวลา 2 สัปดาห์แห่งที่ 1 และ 2 สามารถดูดซับยูเรเนียมได้เท่ากับ 5.44 และ 3.32 mg/g PEO ตามลำดับ ซึ่งจากทั้งสองช่วงเวลาแสดงให้เห็นว่าปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้นั้นขึ้นอยู่กับเวลา แร่ธาตุที่ถูกพัฒมากับกระแสน้ำ และแหล่งน้ำที่ใช้ในการดูดซับ

ตารางที่ 3 ผลของการชะล้างยูเรเนียมด้วย HCl

HCl (M) concentration	UO <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (mg/g PEO)
0.25	7.66
0.5	3.42
1	7.45
2	10.44

จากตารางที่ 3 ผลการทดลองการชะล้างยูเรเนียมด้วย HCl ที่ความเข้มข้น 0.25 M มีปริมาณ 7.66 mg/g ที่ความเข้มข้น 0.5 M 3.42 mg/g ที่ความเข้มข้น 1 M 7.45 mg/g และที่ความเข้มข้น 2 M 10.44 mg/g ซึ่งที่ความเข้มข้น 0.25 ถึง 1.0 M ชะล้างยูเรเนียมได้ปริมาณน้อย ส่วนที่ความเข้มข้น 2 M สามารถชะล้างได้ดีที่สุด

### 5. การอภิปรายผล

การประยุกต์ใช้ตัวดูดซับยูเรเนียมในขั้นตอนแรกทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนเป็นหมู่เอมีนที่ใช้ในการดูดซับยูเรเนียม จากผลการทดลองสามารถดูดซับยูเรเนียมได้ดังแสดงในตารางที่ 1 และสามารถนำไปดูดซับยูเรเนียมในน้ำจืดซึ่งสามารถดูดซับได้มากที่สุด 5.44 mg/g PEO

โดยใช้เวลาในการดูดซับ 2 สัปดาห์ การชะล้างยูเรเนียมด้วย HCl ที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 M ที่ความเข้มข้น 2.0 M ชะล้างได้ดีที่สุด 10.44 mg/g PEO ตัวดูดซับที่เตรียมได้จากความแรงรังสี 10 ถึง 40 kGy ปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงความแรงรังสี 30 kGy จากนั้นปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้จะลดลง เนื่องจากที่ความแรงรังสีสูงส่งผลให้เกิดหมู่ฟังก์ชันอย่างอื่นขึ้นภายในพอลิเมอร์สายหลัก

### 6. บทสรุป

จากการเตรียมตัวดูดซับยูเรเนียมโดยใช้พอลิเอทิลีนผสมกับมอนอเมอร์ อะคริโลไนไตรล์/เมทอะคริลิกแอซิด แล้วฉายรังสีแกมมาผลปรากฏว่าได้หมู่เอมีนออกซิมที่สามารถจับยูเรเนียมได้ จากผลการทดลองการหาเปอร์เซ็นต์การการฟัดสรูปได้ว่าที่ความแรงรังสี 40 kGy ได้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์มากที่สุดที่ 144 % จากการหาประสิทธิภาพในการดูดซับยูเรเนียม ที่ความแรงรังสี 30 kGy สามารถดูดซับได้ดีที่สุด และปริมาณยูเรเนียมที่ดูดซับได้ขึ้นอยู่กับเวลา แร่ธาตุที่ถูกพัฒมากับกระแสน้ำ และแหล่งน้ำจืดที่ใช้ในการดูดซับ จากการหาประสิทธิภาพการชะล้างยูเรเนียม ผลปรากฏว่าความเข้มข้น 2 M HCl สามารถชะล้างยูเรเนียมได้ดีที่สุด ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงงานวิจัยคือ ควรศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของการเปลี่ยนหมู่เอมีนออกซิมและควรใช้พอลิเมอร์ หลายๆ ชนิดในการเตรียมตัวดูดซับจะได้ทราบว่าพอลิเมอร์ชนิดใดสามารถนำมาพัฒนาเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

### 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย และสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ  
(องค์การมหาชน)

### 8. เอกสารอ้างอิง

Choi, S. H. and Nho, Y. C. (2000). "Radiation-induced graft copolymerization of binary monomer mixture containing acrylonitrile onto polyethylene films" . Radiation physics and Chemistry. : 157-168.

Kabay, N., Katakai, A., and Sugo, T., (1995). "Preparation of amidoxime fiber adsorbents by radiation induced grafting" . Radiat phys chem. : Elsevier science Ltd, 833-836.

Choi, S. H. Choi, M. S. Park, Y. T. Lee, K. P. and Kang, H. D. (2003). "Adsorption of uranium ions by resins with amidoxime and amidoxime/carboxyl group prepared by radiation-induced polymerization" . Radiation Physics and Chemistry. : 387-390.

Zhang, A., Uchiyama, G., and Asakura, T. (2005). "pH Effect on the uranium adsorption from seawater by a macroporous fibrous polymeric material containing amidoxime chelating functional group" . Reactive & Functional Polymer. : 143-153.

Geipel, G., Amayri, S., and Bernhard, G., (2008) "Mixed complexes of alkaline earth uranyl carbonates a laser induced time resolved fluorescence spectroscopic study" . Spectrochimica Acta PartaA. : 53-58.

Das, S., Pendey, A. K. Athawale, A., Kumar, V., Bhardwaj, Y. K. Sabharwal, S., and Man chanda, V. K. (2008). Chemical aspects of uranium recovery from seawater by amidoximated electron-beam-grafted polypropylene membranes" . Desalination 232 : 243-253.

Tomomi, K., Kyoichi, S., Kazuyuki, S., Takashi, K., Junichi, K., Akio, K., Noriaki, S., and Takanobu, S. (2000). "Preparation of hydrophilic amidoxime fiber by cografting acrylonitrile and methacrylic acid from an optimized monomer composition" . Radiation Physics and Chemistry. 59 : 405-411.