

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาวิธีการสกัดยูเรเนียมจากแร่ซีโนไทม์ที่มีอยู่ในประเทศไทยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยมีทอเรียมเป็นผลพลอยได้จากการสกัด ด้วยวิธีการที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก สามารถจัดหาวัสดุและเคมีภัณฑ์ได้ง่าย ราคาไม่แพง เพื่อเป็นแนวทางในการสกัดแร่เพื่อการส่งออก ดังผลสรุปต่อไปนี้

#### 6.1.1. ผลการทดลองวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของแร่ซีโนไทม์

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของแร่ซีโนไทม์พบว่า ในแร่ซีโนไทม์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีอิตเทรียมเป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 32.49 มียูเรเนียมเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 1.04 และทอเรียมประมาณร้อยละ 0.68 และยังประกอบด้วยแร่หายากอีกหลายชนิด เช่น ซีเรียม อิตเทอร์เบียม ดิสโพรเซียม เป็นต้น เมื่อเทียบองค์ประกอบกับแร่ซีโนไทม์มาตรฐานทั่วไปจะเห็นได้ว่ามีอิตเทรียมเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าแร่ซีโนไทม์มาตรฐานแต่มีเปอร์เซ็นต์ยูเรเนียมและทอเรียมมากกว่าแร่ซีโนไทม์มาตรฐาน

#### 6.1.2. ผลการทดลองสกัดแร่ซีโนไทม์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากการทดลองสกัดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สภาวะต่างๆ พบว่าการสกัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่ที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้สารละลายหนืด แข็งตัว ทำให้ยากต่อการเทตะกอนไฮดรอกไซด์จากภาชนะ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้คือ  $200^{\circ}\text{C}$  ที่อุณหภูมิ  $220^{\circ}\text{C}$  ถึงแม้จะให้ผลการสกัดสูงกว่าแต่ก็ไม่มากนัก การสกัดจะสามารถสกัดได้ดีถ้ามีปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาก จากการทดลองครั้งนี้ได้เลือกที่จะใช้อัตราส่วนแร่ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1 : 2 เพราะการใช้อัตราส่วนที่มากกว่านี้แม้จะให้ผลของการสกัดสูงกว่าแต่ก็ไม่มากนักและยังทำให้เป็นการสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในการสกัดด้วย เวลาในการสกัดที่เลือกใช้คือ 3 ชั่วโมงเพราะที่เวลานานกว่านี้อัตราการสกัดจะลดลงเพราะเมื่อเวลาการสกัดนานขึ้นจะทำให้เกิดการดูดซับธาตุกลับคืนในเม็ดแร่ และการทดลองครั้งนี้ถึงแม้จะพยายามป้องกันไม่ให้ไอระเหยออกไปก็ตามแต่ก็ยังมียางที่ระเหยออกไปฉะนั้นเมื่อทำการสกัดเป็นเวลานานจึงทำให้เกิดการแข็งตัว ดังนั้นจึงเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมคือ สกัดที่อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  โดยใช้อัตราส่วนแร่ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 : 2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 3 ครั้ง สามารถสกัดยูเรเนียมออกมาได้ร้อยละเฉลี่ยประมาณ 91.35 และทอเรียมร้อยละ 86.23

ในการทดลองหาช่วง pH ตกตะกอนยูเรเนียมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ช่วง pH ที่ยูเรเนียมตกตะกอนได้ดีที่สุดคือ pH 3.5 - 7.00 สามารถตกตะกอนยูเรเนียมได้ 60.102 เปอร์เซ็นต์

### 6.1.3. การทำให้บริสุทธิ์

ผลจากการสกัดแรซีโนไมท์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งแรดังกล่าวมีส่วนประกอบของ ยูเรเนียม ทอเรียม และแรร์เอิร์ทต่างๆ ที่มีอยู่ในแร่ ดังนั้นเมื่อตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ตะกอนที่ได้จึงเป็นตะกอนผสมระหว่างยูเรเนียม ทอเรียมและแรร์เอิร์ทต่างๆ ถึงแม้จะตกตะกอนในช่วง pH 3.5 - 7.0 ซึ่งเป็นช่วงที่ยูเรเนียมสามารถตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้มากที่สุดก็ยังมีตะกอนของทอเรียมและแรร์เอิร์ทปน ดังนั้นถ้าต้องการยูเรเนียมที่ปราศจากสิ่งปลอมปนจึงต้องทำให้บริสุทธิ์การทำยูเรเนียมให้บริสุทธิ์นั้นมีหลายวิธีแต่วิธีที่เลือกใช้ในการทดลองนี้คือการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินไอออนลบ เมื่อทำการทดลองโดยการตกตะกอนสารละลายจากการสกัดทั้งหมดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วนำตะกอนเหล่านั้นมาละลายด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นจนหมดปรับ pH ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอนทอเรียมและแรร์เอิร์ทออกซาเลทโดยการเติมกรดออกซาลิก เมื่อแยกตะกอนออกซาเลทออกจากสารละลายยูเรเนียมแล้วนำสารละลายยูเรเนียมที่ได้มาทำการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซิน ไอ อาร์ เอ 400 ที่เปลี่ยนจากรูปคลอไรด์เป็นรูปซัลเฟตโดยการแช่เรซินด้วยกรดซัลฟูริกเจือจาง 10 เปอร์เซ็นต์ทิ้งไว้หนึ่งคืนเป็นตัวจับยูเรเนียมและใช้ซัลเฟตเป็นไอออนแอนด์ เหตุที่เลือกซัลเฟตเป็นไอออนแอนด์ถึงแม้ว่าต้องใช้ปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับไอออนแอนด์ตัวอื่นเพราะว่าเป็นไอออนแอนด์ที่เตรียมได้ง่าย มีราคาถูก และยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ในการไอออนครั้งต่อไปเพราะอยู่ในรูปเดียวกันกับสารละลาย ในขณะที่ไม่เตรตเป็นไอออนแอนด์ที่ดีที่สุดเพราะสามารถไอออนยูเรเนียมออกมาได้มากกว่าเมื่อเทียบไอออนแอนด์ตัวอื่นที่ปริมาณเบดเท่าๆกันแต่ไม่เตรตมีราคาแพงจึงไม่เหมาะที่จะใช้ เช่นเดียวกันคลอไรด์ถึงแม้ว่าจะไอออนได้ดีกว่าซัลเฟตแต่เนื่องจากมีอันตรายจากก๊าซคลอรีนซึ่งทำให้ยากในการเตรียมจึงไม่เหมาะที่จะใช้ เมื่อนำสารละลายไอออนที่ได้ออกมาตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ได้ตะกอนที่มีปริมาณยูเรเนียมร้อยละ 62.08 ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่ามาตรฐานของ USAEC และ Allied Chemical Co. แต่มีปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับมาตรฐานของ Kerr-McGee Co. ในการทำทอเรียมให้บริสุทธิ์นั้นในการทดลองนี้ได้เลือกใช้การสกัดด้วยไตรบิวทิลฟอสเฟตในน้ำมันก๊าด 40 เปอร์เซ็นต์โดยทำการสกัดถึง 4 ครั้งเพื่อแยกทอเรียมออกจากแรร์เอิร์ทให้ได้มากที่สุด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณทอเรียมบริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ในสารละลายทอเรียมในเตรต 0.035 โมลต่อลิตร ได้ร้อยละความบริสุทธิ์ 92.36

## จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องทดลองจึงควรมีการปรับปรุงวิธีการการทำการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อแนวทางในการขยายการผลิตในขั้นต่อไป

1. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณองค์ประกอบของแรซีโนไมท์นั้นค่อนข้างยุ่งยากและลำบากเพราะในแร่มีส่วนประกอบของธาตุแรร์เอิร์ทหลายตัว การแยกแยะพลังงานเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบของแรร์เอิร์ทต่างๆ ทำได้

ยากเพราะพลังงานรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของแรมี่เอิร์ทมีค่าใกล้เคียงกัน ควรใช้เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer ในการวิเคราะห์จะดีกว่าการใช้สารต้นกำเนิดรังสี

2. ในขั้นตอนการสกัดควรทำให้ต่อเนื่องทุกขั้นตอนโดยเฉพาะในช่วงย่อยแร่และละลายเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ถ้าเป็นไปได้ควรทำการแต่งแร่ก่อนการสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้มากขึ้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากขั้นตอนสกัดหลังจากแยกตะกอนไตรโซเดียมฟอสเฟตออกไปแล้วควรมานำมาใช้ใหม่ในการสกัดเพื่อเป็นการประหยัดสารเคมี

3. ในขั้นตอนการแลกเปลี่ยนไอออนควรใช้คอลัมน์ในการแลกเปลี่ยนหลายคอลัมน์ต่อกันเพื่อให้การแลกเปลี่ยนมีความต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. ในการตกตะกอนแอมโมเนียมโดยเรเนตควรใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เจือจางและค่อยๆเติมและการทำให้แห้งควรอบที่อุณหภูมิไม่สูงนักแต่ใช้เวลานานเพื่อตะกอนแห้งแต่ไม่แห้งจนเกินไปหรือไหม้

5. ทอริยมที่ได้จากการสกัดเมื่อทำให้บริสุทธิ์ด้วยการสกัดด้วยสารอินทรีย์แล้วควรมานำไปตกตะกอน เมาเพื่อเปลี่ยนรูปของสารละลายทอริยมไนเตรตเป็นตะกอนทอริยมออกไซด์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย