

การวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในเค้กเหลืองด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

วรรณิ ศรีนุตตระกูล^{1*} และ สุวัฒน์ จันทา²

¹กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในเค้กเหลืองด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ทำให้ใช้เวลานาน แต่เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ให้ผลถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์สารในตัวอย่างที่มีปริมาณมากและเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเค้กเหลืองประกอบด้วยยูเรเนียมเป็นส่วนใหญ่ และมีทอเรียม ธาตุหายากและธาตุอื่นๆ รวมอยู่ด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แอนไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซินสำหรับแยกยูเรเนียมออกจากธาตุอื่นๆ ในตัวอย่าง เพื่อให้ได้ยูเรเนียมที่มีความบริสุทธิ์สูงและเหมาะสำหรับการตกตะกอน แล้วเผาตะกอนให้ได้ยูเรเนียมในรูปของยูเรเนียมออกไซด์ (U_3O_8) ที่มีความเสถียรและสามารถชั่งน้ำหนักได้ ซึ่งจากผลการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกยูเรเนียมออกจากธาตุหายากและเหล็กพบว่า ได้ %Recovery ของยูเรเนียมใกล้เคียง 100% โดยมีค่าเท่ากับ $99.85 \pm 0.21\%$ และการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในเค้กเหลืองที่ได้จากการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก พบว่า เค้กเหลืองประกอบด้วยยูเรเนียมในรูปของ U_3O_8 เท่ากับ $78.85 \pm 2.03\%$

คำสำคัญ: การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก เค้กเหลือง เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน ยูเรเนียม

Gravimetric Analysis of Uranium in Yellow Cake

Wannee Srinuttrakul^{1*} and Suwat Jantha²

¹Research and Development Division, Thailand Institute of Nuclear Technology

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Udonthani Rajabhat University

E-Mail: neesrinut@yahoo.com

Abstract

The gravimetric analysis of uranium in yellow cake is composed of several stages. The analysis takes a long time, which is the disadvantage of this method. However, this gravimetric method provides accurate result for determining the major content of sample. Uranium is the main composition of yellow cake, while Thorium, rare earths and other elements are minor and trace elements. In this work, anion exchange resin was used to separate uranium from other elements to yield highly pure uranium suitable for precipitation. This pure uranium was burnt to U_3O_8 , a form that is stable enough to be weighed. From the optimal condition, the recovery of U_3O_8 after separating uranium from rare earths and iron is $99.85 \pm 0.21\%$. The application of anion exchange separation was used to analyze uranium in yellow cake obtained from monazite digestion process. It was found that U_3O_8 in yellow cake is $78.85 \pm 2.03\%$.

Keywords: Gravimetric Analysis, Yellow Cake, Anion Exchange Resin, Uranium

บทนำ

เกลือเหลือง⁽¹⁾ หรือ แอมโมเนียมไดยูเรเนต $[(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7]$ ได้จากการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ (monazite) ซึ่งเป็นแร่ที่ได้มาจากการบวนการแต่งแร่ดีบุก โดยจะอยู่ในส่วนของหางแร่ดีบุก ซึ่งพบมากทางภาคใต้ของประเทศไทย ในการย่อยแร่โมนาไซต์จะนิยมใช้ต่าง เพราะช่วยให้การย่อยแร่เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง จะได้ธาตุหายากเป็นผลิตภัณฑ์หลัก และยูเรเนียม รวมทั้งทอเรียมเจือปนอยู่ด้วย โดยยูเรเนียมได้จากการสกัดด้วยพัลส์เพอร์ฟอเรตเพลตคอลัมน์ (pulsed perforated-plate column) แล้วตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นแอมโมเนียมไดยูเรเนต ซึ่งประกอบด้วยยูเรเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก และมีทอเรียม ธาตุหายากและธาตุอื่นๆ ปนอยู่ด้วยเล็กน้อย ในการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมซึ่งเป็นสารส่วนใหญ่ นิยมใช้วิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำ แต่วิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนักนี้มีข้อเสีย คือ เป็นวิธีที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ทำให้ใช้เวลามากในการวิเคราะห์ และอาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ในแต่ละขั้นตอน

ในการทดลองนี้ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ยูเรเนียมด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก แล้วใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในเกลือเหลืองซึ่งได้จากการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ โดยใช้เทคนิคไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟีเพื่อแยกยูเรเนียมออกจากสารอื่นๆ และตกตะกอนยูเรเนียมที่ได้ แล้วจึงนำตะกอนที่ได้ไปเผาให้ได้ยูเรเนียมออกไซด์ในรูปของ U_3O_8 ซึ่งมีความเสถียร

วิธีการ

1. การศึกษาปริมาณการดูดซับยูเรเนียมด้วยเรซินในสภาวะของกรดไฮโดรคลอริกที่ต่างกันโดยการแช่เรซินในสารละลาย

1.1 เตรียมสารละลาย U(VI) 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 25.0 มิลลิลิตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 โมลาร์โดยใช้สารละลายมาตรฐาน U(VI) 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 2.5 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ระเหยให้แห้งนำมาปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นดังนี้ 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 โมลาร์ เป็น 25.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ

1.2 ปีเป็ดสารละลาย U(VI) 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 5.0 มิลลิลิตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน (ในข้อ 1.1) ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีเรซิน 0.1 กรัม คนสารละลายและปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองสารละลายเพื่อแยกเรซินออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40

1.3 วิเคราะห์ปริมาณ U(VI) ตั้งต้น (ข้อ 1.1) และ U(VI) ที่เหลือจากการดูดซับด้วยเรซิน (ข้อ 1.2) ด้วยเทคนิคยูวี/วิสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน ที่ความยาวคลื่น 651.36 นาโนเมตร

2. การศึกษาผลของธาตุต่าง ๆ ต่อการดูดซับยูเรเนียมด้วยเรซินในคอลัมน์

2.1 บรรจุเรซินหนักประมาณ 7 กรัม ในคอลัมน์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร แล้วผ่านสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร ลงไปในคอลัมน์

2.2 ชั่ง U_3O_8 ประมาณ 0.25 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้นประมาณ 3 มิลลิลิตรโดยใช้ความร้อนช่วย ระเหยจนแห้ง

2.3 ชั่ง Fe_2O_3 ประมาณ 0.15 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 1-2 มิลลิลิตรใช้ความร้อนช่วยในการละลายระเหยจนเกือบแห้งปล่อยให้เย็น เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ ลงไป 10 มิลลิลิตร เทสารละลายรวมกับข้อ 2.2 แล้วเทสารละลายทั้งหมดลงในคอลัมน์ข้อ 2.1

2.4 ชะยูเรเนียมในคอลัมน์ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ 40 มิลลิลิตร ระเหยสารละลายที่ชะออกมา จนเกือบแห้ง แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และตกตะกอนยูเรเนียมด้วยสารละลาย NH_4OH กรองตะกอนที่ได้และล้างตะกอนด้วยสารละลาย NH_4NO_3 2 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วเผาตะกอนที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ $U_3O_8^{(3)}$ ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณยูเรเนียม

2.5 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 ถึง 2.4 แต่เปลี่ยนจาก Fe_2O_3 เป็น La_2O_3 และ ThO_2 แทนตามลำดับ

3. การวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารละลายมาตรฐานที่มีเหล็กปน

3.1 บรรจุเรซินหนักประมาณ 7 กรัม ในคอลัมน์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร แล้วผ่านสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 6 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร ลงไปในคอลัมน์

3.2 ชั่ง U_3O_8 ประมาณ 0.25 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้นประมาณ 3 มิลลิลิตรโดยใช้ความร้อนช่วย ระเหยจนแห้ง

3.3 ชั่ง Fe_2O_3 ประมาณ 0.15 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 1-2 มิลลิลิตรใช้ความร้อนช่วยในการละลายระเหยจนเกือบแห้งปล่อยให้เย็นแล้วเติมสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ ลงไป 10 มิลลิลิตร เทสารละลายรวมกับข้อ 3.2 แล้วเทสารละลายทั้งหมดลงในคอลัมน์ข้อ 3.1

3.4 ชะสารถะลาย Fe^{2+} ในคอลัมน์ด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร และตามด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร เพื่อชะกรดแอสคอร์บิกในคอลัมน์ออกให้หมด

3.5 ชะยูเรเนียมในคอลัมน์ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ 40 มิลลิลิตร ระเหยสารละลายที่ชะออกมา จนเกือบแห้ง แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และตกตะกอนยูเรเนียมด้วยสารละลาย NH_4OH กรองตะกอนที่ได้และล้างตะกอนด้วยสารละลาย NH_4NO_3 2 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วเผาตะกอนที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ U_3O_8 ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณยูเรเนียม

4. การวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารมาตรฐานที่มีธาตุหายากและเหล็กปน

4.1 ผ่านสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร ลงไปในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่มีเรซินบรรจุอยู่ประมาณ 7 กรัม

4.2 ชั่ง U_3O_8 ประมาณ 0.2 กรัม และ La_2O_3 ประมาณ 0.1 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 3-5 มิลลิลิตรโดยใช้ความร้อนช่วย ระเหยจนแห้ง

4.3 ชั่ง Fe_2O_3 ประมาณ 0.10 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 1-2 มิลลิลิตรใช้ความร้อนช่วย ระเหยจนเกือบแห้ง เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายรวมกับข้อ 4.2 จากนั้นเทสารละลายผสมที่ได้ลงคอลัมน์ข้อ 4.1

4.4 ชะสารถะลาย La^{3+} ออกจากคอลัมน์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร

4.5 ชะยูเรเนียมและเหล็กด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ 40 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นำไประเหยจนเกือบแห้ง เหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็น เติมสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายที่ได้ลงในคอลัมน์ (ที่ผ่านกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 6 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร แล้ว)

4.6 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4 ถึง 3.5

5. การวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในเค้กเหลือง

5.1 ผ่านสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร ลงไปในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่มีเรซินบรรจุอยู่ประมาณ 7 กรัม

5.2 ชั่งเค้กเหลือง ประมาณ 0.4 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 3-5 มิลลิลิตรโดยใช้ความร้อนช่วย ระเหยจนแห้ง แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร และนำสารละลายผ่านลงคอลัมน์ข้อ 5.1

5.3 ษะสารละลายทอริยมและแรเอิร์ท ออกจากคอลัมน์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ 20 มิลลิลิตร

5.4 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.5 ถึง 4.6

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับยูเรเนียมด้วยเรซินในสถานะของกรดไฮโดรคลอริกที่ต่างกันโดยการแช่เรซินในสารละลาย

จากการทดลองการศึกษาปริมาณการดูดซับยูเรเนียมด้วยเรซินในสถานะของกรดไฮโดรคลอริกที่ต่างกันโดยการแช่เรซินในสารละลาย U(VI) ที่มีความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกระหว่าง 1-10 โมลาร์ ดังแสดงใน Figure 1 พบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ U(VI) ด้วยเรซินเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของกรดกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งการดูดซับ U(VI) ด้วยเรซินมีค่ามากที่สุดที่ความเข้มข้นของกรดกรดไฮโดรคลอริก เท่ากับ 10 โมลาร์ โดยเรซิน 0.1 กรัม ดูดซับ U(VI) ได้ 91.5 %

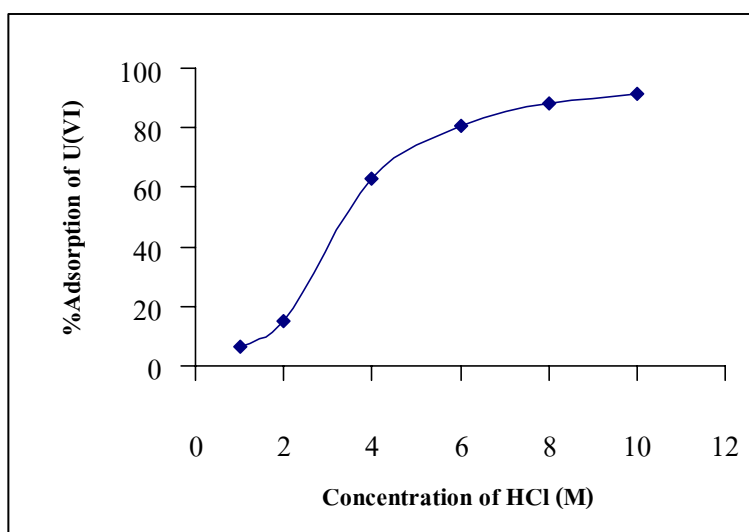


Figure 1 %Adsorption of U(VI) by Dowex 1x8 resin at various concentrations of HCl in batch method.

2. การศึกษาผลของธาตุต่าง ๆ ต่อการดูดซับยูเรเนียมด้วยเรซินในคอลัมน์

จากการศึกษาผลของธาตุต่าง ๆ ต่อการดูดซับยูเรเนียมด้วยเรซินในคอลัมน์แสดงดัง Table 1 พบว่า Fe^{3+} จะถูกดูดซับด้วยเรซินในสถานะของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ และถูกชะออกมาพร้อมยูเรเนียมในสถานะของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จึงทำให้ %Recovery ของ U_3O_8 มากกว่า 100% โดยมีค่าเท่ากับ $156.2 \pm 4.91\%$ ส่วน La^{3+} และ Th^{4+} จะไม่ถูกดูดซับด้วยเรซิน ซึ่งพบว่า %Recovery

ของ U_3O_8 ใกล้เคียง 100% โดยมีค่าเท่ากับ $98.94 \pm 0.57\%$ และ $99.04 \pm 0.34\%$ ตามลำดับ จึงสามารถแยก La^{3+} และ Th^{4+} ออกจากยูเรเนียมได้เลย

Table 1 Effect of matrix elements on %Recovery of U_3O_8 .

Matrix elements	%Recovery of U_3O_8
-	99.10 ± 0.24
Fe^{3+}	156.2 ± 4.91
La^{3+}	98.94 ± 0.57
Th^{4+}	99.04 ± 0.34

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารมาตรฐานที่มีเหล็กปน

เนื่องจาก Fe^{3+} จะถูกดูดซับด้วยเรซินในสถานะของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10 โมลาร์ และถูกชะออกจากเรซินพร้อมกับยูเรเนียมด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ทำให้ %Recovery ของ U_3O_8 มากกว่า 100% จึงต้องศึกษาวิธีการแยก Fe^{3+} ออกจาก UO_2Cl^+ ซึ่งพบว่าจะต้องเปลี่ยน Fe^{3+} ให้เป็น Fe^{2+} โดย Fe^{2+} จะไม่ถูกดูดซับด้วยเรซินในสถานะของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นน้อยกว่า 7 โมลาร์⁽²⁾ และได้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยน Fe^{3+} ให้เป็น Fe^{2+} โดยใช้กรดแอสคอร์บิก 7% ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ ซึ่งพบว่าปริมาณที่เหมาะสม คือ 10 มิลลิลิตร และปริมาณกรดแอสคอร์บิก 7% ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ ที่ใช้เปลี่ยน Fe^{3+} ให้เป็น Fe^{2+} นั้น จะต้องใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.5 โมลาร์ อีก 20 มิลลิลิตร ในการชะกรดแอสคอร์บิกออกจากคอลัมน์จนหมด และได้ใช้สถานะดังกล่าวทดลองวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารมาตรฐานที่มีเหล็กปน พบว่าสามารถแยก Fe^{3+} ออกจาก UO_2Cl^+ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า %Recovery ของ U_3O_8 เท่ากับ $98.52 \pm 1.32\%$ มีค่าใกล้เคียง 100%

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในสารมาตรฐานที่มีแลนทานัมและเหล็กปน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมที่มีแลนทานัมและเหล็กปน พบว่าสามารถแยกแลนทานัมและเหล็กออกจากยูเรเนียมได้ ซึ่งค่า %Recovery ของ U_3O_8 ⁽³⁾ มีค่าใกล้เคียง 100% โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมที่มีแลนทานัมและเหล็กปนได้ %Recovery ของ U_3O_8 เท่ากับ $99.85 \pm 0.21\%$

5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในกากเหลือง

จากผลการทดลองการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในกากเหลืองที่ได้จากการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ พบว่ากากเหลืองมี U_3O_8 $78.85 \pm 2.03\%$

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณการดูดซับยูเรเนียมด้วยเรซินในสถานะของกรดไฮโดรคลอริกที่ต่างกันโดยการแช่เรซินในสารละลาย พบว่าการดูดซับ U(VI) ด้วยเรซินมีค่ามากที่สุดที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 10 โมลาร์ โดยเรซิน 0.1 กรัม ดูดซับ U(VI) ได้ 91.5 %

จากการทดลองหาปริมาณยูเรเนียมด้วยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก โดยใช้เรซิน Dowex 1x8 ขนาด 100 –200 เมช ซึ่งเป็นเรซินชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน เมื่อผ่านสารละลายลงไปในคอลัมน์ นำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอน แล้วเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะได้ตะกอนอยู่ในรูปของ U_3O_8 และได้ %Recovery ระหว่าง 98.52-99.85% และการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในกากเหลืองได้ยูเรเนียมออกไซด์ในรูปของ U_3O_8 เท่ากับ $78.85 \pm 2.03\%$ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสถานะดังกล่าวสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมในตัวอย่างกากเหลืองได้ หรือนำไปใช้วิเคราะห์ตัวอย่างแร่อื่นๆ ที่มียูเรเนียมเป็นองค์ประกอบหลักได้

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก 2539., สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
2. Johann Korkisch, 1989, Handbook of ion exchange resin: Their application to inorganic analytical chemistry, CRC Press, Inc. Boca Raton.
3. Roy K.McAlpine and Byron A. Soule, 1933, Qualitative chemical analysis, D.van nostrand company, Inc, New York.