PC09: การแยกยูเรเนียมจากน้ำทิ้งโดยใช้เรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัด TBP

*พิพัฒน์ พิเชษฐพงษ์[1] และ อุทัยวรรณ อินทร์เจริญ[1]
[1]สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0 2562 0120 โทรสาร 0 2562 0120 E-Mail: pipat@tint.or.th

บทคัดย่อ

ในกระบวนการสกัดแยกยูเรเนียมให้มีความบริสุทธิ์และพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์นั้น อาจมีการปนเปื้อนของยูเรเนียมในน้ำทิ้ง ทำให้ต้องมีระบบบำบัดน้ำทิ้งที่เหมาะสม เพื่อกำจัดยูเรเนียมที่เป็นสารรังสีก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้เรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัดไตรบิวทิลฟอสเฟต (TBP) ในการแยกยูเรเนียมออกจากน้ำทิ้งที่จำลองจากน้ำทิ้งของกระบวนการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ ซึ่งน้ำทิ้งดังกล่าวประกอบด้วยยูเรเนียมและสารประกอบของกรดและด่างที่ใช้ในกระบวนการ คือ กรดเกลือ กรดไนทริก และโซดาไฟ โดยมีความเข้มข้นของยูเรเนียมในช่วง 1-5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และไนเทรตในช่วง 20-100 200-1000 และ 100-500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ผลจากการศึกษาพบว่าเรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัดนี้สามารถดูดซับยูเรเนียมได้สูงขึ้นตามความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้น และสามารถดูดซับยูเรเนียมได้สูงประมาณ 0.032 มิลลิกรัมต่อกรัมเรซิน โดยที่ความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และไนเทรตในช่วงที่ศึกษานี้ มีผลค่อนข้างน้อยต่อประสิทธิภาพการแยกยูเรเนียมโดยใช้เรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัดไตรบิวทิลฟอสเฟตนี้

คำสำคัญ: ยูเรเนียม น้ำทิ้ง ไตรบิวทิลฟอสเฟต เรซินชุ่มด้วยตัวสกัด

Separation of Uranium from Waste Water by TBP Impregnated Resin

*Pipat Pichestapong[1] and Uthaiwan Injarean[1]
[1]Thailand Institute of Nuclear Technology, Chatuchak, Bangkok 10900
Phone: 0 2562 0120, Fax: 0 2562 0120, E-Mail: pipat@tint.or.th

Abstract

In the process of uranium purification for nuclear material development, it is necessary to remove the uranium contaminated in the waste water effluent from the processing facility. For the waste water contains little amount of the polluted elements, the effective separation method must be used. In this study, tributyl phosphate (TBP) impregnated resin was used to separate uranium from the prepared waste water simulating the waste water generated from the processing of monazite ore. The prepared waste water composes of uranium and some chemical reagents such as sodium hydroxide, hydrochloric acid and nitric acid which are used in the process. The concentration of uranium in the waste water is 1-5 mg/L and the concentration of sodium, chloride and nitrate ions are 20-100, 200-1000 and 100-500 mg/L respectively. It has been found that the uranium adsorption capacity on

the TBP impregnated resin increases with the increasing uranium concentration and the highest adsorption capacity is about 0.032 mg U/g resin. The concentration of sodium, chloride and nitrate ions in this study slightly affect the extraction efficiency of the impregnated resin.

Keywords: uranium, waste water, TBP, solvent impregnated resin

1. บทนำ

ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการแยกยูเรเนียมให้มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์นั้น อาจมีการปนเปื้อนของยูเรเนียมในน้ำทิ้งได้ จึงจำเป็นต้องมีวิธีการบำบัดน้ำทิ้งที่เหมาะสม เพื่อกำจัดยูเรเนียมที่เป็นสารรังสีก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม โดยวิธีการบำบัดที่เลือกใช้จะพิจารณาจากปริมาณ ลักษณะ องค์ประกอบ และความเข้มข้นของสารที่เจือปนอยู่ในน้ำทิ้งเป็นหลัก

การแยกสารโดยใช้เรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัด เป็นการใช้เทคนิคที่ผสมผสานระหว่างการดูดซับสารโดยการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และการถ่ายโอนมวลสารของการสกัดด้วยตัวสกัด (solvent extraction) เพื่อทำให้การแยกสารมีความรวดเร็วสูงมากกว่าการแยกสารโดยการแลกเปลี่ยนไอออน และเครื่องมือและระบบที่ใช้ก็มีความซับซ้อนน้อยกว่าการสกัดด้วยตัวสกัด ซึ่งในการใช้งานเรซินจะถูกทำให้ชุ่มด้วยตัวสกัดที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ตัวสกัดแทรกซึมอยู่ในรูพรุนของเรซิน และตัวสกัดนี้จะทำการจับแยกธาตุที่ต้องการออกจากสารละลาย เมื่อมีการผ่านสารละลายเข้าไป ซึ่งการสกัดสารด้วยตัวสกัดนี้ จะมีความรวดเร็วกว่าการจับด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน

มีการใช้เรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัด (solvent impregnated resins) อย่างแพร่หลายในการแยกธาตุที่เป็นโลหะหนักในสารละลาย ทั้งการแยกโลหะที่มีค่า เช่น ทอง เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (metal recovery) การแยกธาตุหายากบางชนิด การแยกโลหะหนักในน้ำทิ้ง และการแยกธาตุวัสดุนิวเคลียร์ เช่น ยูเรเนียม และทอเรียม รวมถึงการใช้ดูดซับธาตุสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการใช้แยกธาตุที่มีปริมาณน้อยในสารละลาย ซึ่งวิธีอื่นอาจใช้ไม่ได้ผล หรือมีความซับซ้อนของเครื่องมือมากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถนำธาตุที่ถูกดูดซับไว้ออกมาได้โดยใช้วิธีการชะกลับ (stripping) ด้วยสารละลายอีกชนิด ซึ่งไม่ยุ่งยาก และสามารถนำเรซินกลับมาใช้ใหม่ได้อีก[1 - 3]

ตัวสกัดที่นิยมใช้ในการสกัดแยกยูเรเนียมในสารละลายจะเป็นสารประกอบเอมีน (amine) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง[4] ซึ่งอาจจำแนกง่าย ๆ ออกเป็น 3 ชนิด คือ ตัวสกัดที่เป็นกรด (acidic extractant) เช่น di(2-ethylhexyl) phosphoric acid (D2EHPA) ตัวสกัดที่เป็นกลาง (neutral extractant) เช่น tributyl phosphate (TBP) และตัวสกัดที่เป็นด่าง (basic extractant) เช่น tri-n-octylamine (TOA) ส่วนเรซิน (macroporous polymeric resin) ที่ใช้สำหรับการสกัดโดยวิธีนี้ ต้องผลิตจากพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรง ไม่ทำปฏิกิริยากับตัวสกัดและสารละลายที่ใช้ โครงสร้างต้องมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูง

สามารถดูดซับตัวสกัดเข้าไปได้จำนวนมาก และยึดตัวสกัดไว้ได้ดีในโครงสร้าง นอกจากนี้ต้องไม่มีการพองตัวมากจนเกินไปเมื่อมีการดูดซับตัวสกัดไว้ เพื่อไม่ให้มีการเสียรูปทรงได้ง่าย

2. วัสดุอุปกรณ์

ตัวสกัดที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ คือ tributyl phosphate (TBP) ของ BDH และเรซินที่ใช้ในการรองรับตัวสกัด คือ Amberlite XAD16 ของ Rohm & Haas ซึ่งเป็น polystyrene divinylbenzene มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 700 ไมโครเมตร พื้นที่ผิว 800 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดของรูพรุน 150 อังสตรอม ได้ใช้สารละลายมาตรฐานยูเรเนียม คลอไรด์ และไนเทรต ที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ Accustandard ในการเตรียมตัวอย่างน้ำทิ้ง เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมและโซเดียม คือ ICP-AES spectrometer รุ่น Optima 5300 DV ของ Perkin Elmer เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณไนเทรต คือ UV visible spectrophotometer รุ่น Cintra 10e ของ GBC Scientific Equipment ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ใช้วิธีไตรเทรตกับ silver nitrate

3. วิธีการ

3.1 การกระจายตัวของยูเรเนียมในตัวสกัด

ทำการทดลองสกัดแยกยูเรเนียมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่เตรียมขึ้น ซึ่งเป็นการจำลองน้ำทิ้งจากกระบวนการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ ของศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก โดยมีความเข้มข้นของยูเรเนียมในช่วง 0.5 – 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และไนเทรตคงที่ที่ 60 1000 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ได้ทำการทดลองสกัดด้วยการเขย่าในกรวยแยกขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วน 1:1 คือใช้ตัวอย่างน้ำทิ้ง 10 มิลลิลิตร ต่อ ตัวสกัด 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วแยกออกมาวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมที่เหลืออยู่ในตัวอย่างน้ำทิ้ง[5]

3.2 การเตรียมเรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัด

ตัวสกัด TBP ก่อนนำมาทำให้ชุ่มบนเรซิน ได้มีการผสมตัวเจือจาง คือ hexane ลงไป เพื่อทำให้ความหนืดของตัวสกัดลดลง จะได้เพิ่มการดูดซึมตัวสกัดเข้าไปในรูพรุนของเรซิน ซึ่งได้ใช้เรซิน XAD16 แช่ในตัวสกัดที่เจือจางแล้วนี้ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมีการกวนตลอดเวลา แล้วแยกเรซินออกมาอบที่อุณหภูมิ 60°C เพื่อให้ตัวเจือจางระเหยออกไป จนน้ำหนักของเรซินคงที่ แล้วนำไปแช่ในตัวสกัดที่ผสม hexane ซ้ำอีก 1 ชั่วโมง แยกเรซินออกมาอบจนน้ำหนักคงที่ และดำเนินการแช่ซ้ำจนน้ำหนักที่อบแล้วไม่แตกต่างจากครั้งก่อน จากนั้นล้างเรซินด้วยน้ำกลั่นก่อนนำไปใช้ในการสกัด

3.3 การสกัดยูเรเนียมด้วยเรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัด

นำเรซินที่เตรียมให้ชุ่มด้วยตัวสกัดแล้วมาทดลองสกัดแยกยูเรเนียมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่เตรียมขึ้น โดยใช้เรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัดประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในตัวอย่างน้ำทิ้ง 5 มิลลิลิตร เขย่าในขวดแก้วเป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองแยกเรซินออก นำตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนและหลังการสกัดมาวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียม โดยได้ทำการทดลองกับตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียมในช่วง 1–5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และไนเทรต ในช่วง 20-100 200-1000 และ 100-500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองการกระจายตัวที่สมดุลย์ (equilibrium) ของยูเรเนียมในตัวอย่างน้ำทิ้ง (aqueous) และในตัวสกัด TBP (organic) ได้แสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่าตัวสกัด TBP สามารถสกัดยูเรเนียมออกมาได้ระดับหนึ่ง โดยมีสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient) หรืออัตราส่วนความเข้มข้นของยูเรเนียมในตัวสกัดต่อตัวอย่างน้ำทิ้งประมาณ 0.4 เมื่อความเข้มข้นของยูเรเนียมในตัวอย่างน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของยูเรเนียมมีค่าต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

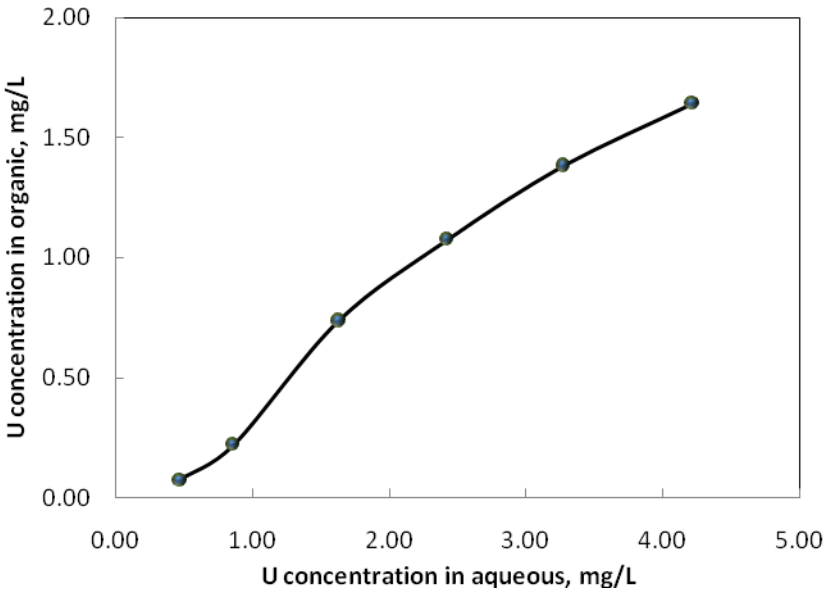

Fig 1 Equilibrium distribution of uranium in prepared waste water and TBP extractant.

ในการเตรียมเรซินให้ชุ่มด้วยตัวสกัดนั้น ใช้ hexane เป็นตัวเจือจางผสมกับตัวสกัด TBP ในอัตราส่วน ตัวสกัด 5 มิลลิลิตร ต่อตัวเจือจาง 1.5 มิลลิลิตร การเลือกใช้ hexane นี้ เนื่องจากได้มีการทดสอบแล้วว่า hexane สามารถระเหยออกมาจากสารผสมได้เร็วที่สุด หลังจากการแช่เรซินไว้ 1 ชั่วโมง แล้วแยกเรซินมาอบเพื่อไล่ตัวเจือจางออกจากเรซิน พบว่าน้ำหนักเรซินเริ่มคงที่เมื่อใช้เวลาอบประมาณ 2 ชั่วโมง และเมื่อนำเรซินมาแช่ซ้ำครั้งที่สองและอบระเหยตัวเจือจาง เรซินจะเริ่มมีน้ำหนักคงที่ แสดงถึงการอิ่มตัวด้วยตัวสกัด พบว่าเรซิน XAD16 สามารถดูดซึมตัวสกัด TBP ได้ประมาณ 2.24 กรัมต่อกรัมเรซิน หรือประมาณ 2.88 มิลลิลิตรต่อกรัมเรซิน

เมื่อนำเรซินที่ชุ่มด้วย TBP มาทดลองสกัดยูเรเนียมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียมในช่วงประมาณ 1–5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และไนเทรต คงที่ ที่ 60 1000 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองซึ่งคำนวณจากประสิทธิภาพของการสกัด และปริมาณยูเรเนียมที่ถูกดูดซับโดยเรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัดนี้ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการสกัดและความสามารถในการดูดยูเรเนียมของเรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัดนี้ มีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นของยูเรเนียมในตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่าสูงขึ้น โดยสามารถดูดซับยูเรเนียมได้สูงถึง 0.032 มิลลิกรัมต่อกรัมเรซิน ที่ความเข้มข้นของยูเรเนียมในตัวอย่างน้ำทิ้งประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพของการสกัดอยู่ที่ 11.24 %

Table 1 Extraction efficiency and uranium adsorbed in the extraction of uranium from prepared waste water with TBP impregnated resin.

U conc. in feed (mg/L)	Extraction eff. (%)	U adsorbed (mg/g resin)
0.916	5.39	0.015
1.888	7.43	0.021
2.928	9.72	0.028
3.956	10.58	0.030
5.026	11.24	0.032

ในการทดลองใช้เรซินที่ชุ่มด้วย TBP สกัดยูเรเนียมจากตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีความของยูเรเนียมคงที่ ประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และไนเทรต ในช่วง 20-100 200-1000 และ 100-500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่าความเข้มข้นของไอออนทั้ง 3 ชนิดในช่วงที่ใช้ศึกษานี้ มีผลค่อนข้างน้อยต่อประสิทธิภาพของการสกัดสำหรับการใช้เรซินที่ชุ่มด้วย TBP ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการสกัดมีแนวโน้มลดลง เมื่อน้ำทิ้งมีความเข้มข้นของไอออนทั้ง 3 ชนิดนี้สูงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพของการสกัดอยู่ในช่วง 6.6 – 11.9 %

Table 2 Extraction efficiency in the extraction of uranium with TBP impregnated resin from prepared waste water with various concentration of Na, Cl and NO_3 ions and uranium concentration about 5 mg/L.

Na conc. in feed (mg/L)	Extraction eff. (%)	Cl conc. in feed (mg/L)	Extraction eff. (%)	NO_3 conc. in feed (mg/L)	Extraction eff. (%)
20	10.20	200	11.33	100	10.64
40	9.40	400	11.94	200	7.70
60	8.87	600	10.13	300	7.06
80	7.41	800	8.99	400	6.58
100	8.81	1000	7.07	500	6.56

จากผลการทดลองนี้ การใช้เรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัด TBP ในการสกัดแยกยูเรเนียมจากน้ำทิ้งสามารถให้ประสิทธิภาพของการสกัดได้ประมาณ 11 % ซึ่งอาจไม่สูงมากนัก แต่ประสิทธิภาพของการสกัดนี้สามารถเพิ่มให้สูงได้ โดยการเพิ่มปริมาณเรซินที่ชุ่มด้วย TBP ที่ใช้ในการสกัดยูเรเนียม อย่างไรก็ตามอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมในการเลือกตัวสกัดชนิดอื่นที่เหมาะสมกว่า เช่น D2EHPA เพื่อทำให้ได้ประสิทธิภาพการสกัดที่สูงขึ้น และลดปริมาณเรซินที่ใช้ลงมา

5. สรุป

การใช้เรซิน Amberlite XAD16 ในการเตรียมเรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัด TBP นี้ พบว่าเรซิน 1 กรัมสามารถดูดซับตัวสกัดได้สูงถึง 2.24 กรัมหรือ 2.88 มิลลิลิตร โดยประสิทธิภาพของการสกัดและความสามารถในการดูดยูเรเนียมของเรซินที่ชุ่มด้วยตัวสกัดนี้ มีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นของยูเรเนียมในตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีค่าสูงขึ้น และสามารถดูดซับยูเรเนียมได้สูงถึง 0.032 มิลลิกรัมต่อกรัมเรซิน ที่ความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำทิ้งประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความเข้มข้นของโซเดียม คลอไรด์ และไนเทรตในช่วงที่ศึกษานี้ มีผลค่อนข้างน้อยต่อประสิทธิภาพการแยกยูเรเนียม โดยประสิทธิภาพของการสกัดมีแนวโน้มลดลง เมื่อน้ำทิ้งมีความเข้มข้นของไอออนทั้ง 3 ชนิดนี้สูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมจากส่วนงานกลาง สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

7. เอกสารอ้างอิง

1. Juang, R.S., 1999, Preparation, properties and sorption behavior of impregnated resins containing acidic organophosphorus extractants, Proc. Natl. Sci. Counc., 23 (3), 353-364.
2. Metilda P., Sanghamitra K., Mary Gladis J., Naidu, G.R.K., Rao T.P., 2005, Amberlite XAD-4 functionalized with succinic acid for the solid phase extractive preconcentration and separation of uranium(VI), Talanta, 65, 192-200.
3. Metwally, E., Saleh, A.Sh., El-Naggar, H.A., 2005, Extraction and separation of uranium(VI) and thorium(IV) using tri-n-dodecylamine impregnated resins, J. Nuclear and Radiochemical Sciences, 6, 119-126.
4. Marcus, Y., Kertr, A. S., 1969, Ion Exchange and Solvent Extraction of Metal Compleses, Wiley-Interscience, New York.
5. Pichestapong, P., Injarean, U., Analysis of uranium and thorium in waste water from Rare Earth Research and Development by ICP spectrometry, The 10th Conference on Nuclear Science and Technology Conf. Proc., Bangkok, Thailand, 2007.