

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองหากระบวนการสัทธิยูเรเนียมออกจากแร่โคดีมไบท์ - แทนทาไลต์ และการทำให้บริสุทธิ์ พบว่าแร่ชนิดนี้เป็นแร่ที่สัทธิยาก เนื่องจากมีธาตุที่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก เจือจาง เช่น แทนทาลัม (Ta) นีโอเบียม (Nb) และดีบุก (Sn) เป็นส่วนผสมอยู่มาก เมื่อบดแร่ให้ละเอียดขนาด - 200 เมช 50 เปอร์เซ็นต์ บดบดด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และใช้แมงกานีสไดออกไซด์ ปริมาณที่ต่างกัน ปรากฏว่าเมื่อใช้แมงกานีสไดออกไซด์มากขึ้นจะทำให้ผลการบดบดดีขึ้น ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 แต่เมื่อใช้ปริมาณแมงกานีสไดออกไซด์ 1.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแร่ ใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นต่างกัน โดยลว่ากรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 12.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใช้ปริมาณแร่ 17 เปอร์เซ็นต์ สามารถบดบดยูเรเนียมจากแร่ได้มากที่สุด คือ 37.8 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 ถ้าใช้กรดเข้มข้นมากกว่านี้การบดบดยูเรเนียมจะลดลง อาจเป็นเพราะปริมาณของอนุภาคเฟสในสารละลายมากเกินไปทำให้รวมตัวเป็นเกล็ดผลึกหุ้มแร่ ทำให้ยูเรเนียมละลายออกมาได้น้อยลง อีกสาเหตุหนึ่งคือยูเรเนียมที่ละลายออกมาแล้วตกตะกอนร่วมกับคิออนดีน (Co-precipitation)

การบดบดยูเรเนียมจะคงที่หลังจากบดได้ 7 ชั่วโมงแล้ว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะยูเรเนียมถูกหุ้มด้วยสารที่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริกเจือจาง ทำให้เงื่อนไตที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถละลายเอายูเรเนียมที่อยู่ข้างในออกมาได้ จะละลายได้เฉพาะยูเรเนียมที่อยู่ผิวแร่เท่านั้น การทดลองเกี่ยวกับการเติมออกซิเจน ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.3 โดยการเติมออกซิเจนตกลงไปชั่วโมงที่ 50 แล้วบดบดต่ออีก 7 ชั่วโมง จะเห็นว่าผลการบดบดของยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้น ส่วนที่เติมตัวออกซิเจนครั้งเดียวหลังจากบดบดได้ 30 นาที ตัวออกซิเจนจะถูกใช้ ในการออกซิไดส์สารที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย เช่น พวกรังสีไอต์ และสารอินทรีย์ที่ปนมากับแร่ และ

เหลือบางส่วนเท่านั้นที่จะไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} ให้เป็น Fe^{3+} ซึ่งจะไปออกซิไดซ์ U^{4+} ให้เป็น U^{6+} และละลายได้ในกรดเจือจาง กัวออกซิแดนซ์อาจจะไม่เพียงพอเป็นผลทำให้การย่อยสลายไม่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายยูเรเนียมจากแร่โคคัลไบต์ - แทนทาลอไซต์ ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ไซม์ปริมาณแร่ 17 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 12.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณของกัวออกซิแดนซ์ (MnO_2) 1.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแร่ จุดอุณหภูมิที่ไร่อยสลาย 80 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ในสภาวะที่ไร่ควมเร็ว 400 - 500 รอบต่อนาที

การทดลองหาประสิทธิภาพของตัวชะล้างยูเรเนียมออกจากเรซินโดยการแลกเปลี่ยนไอออน ใช้ตัวชะล้าง 3 ชนิด คือ กรดซัลฟูริก 1.0 โมลาร์ กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอลผสมกับโซเดียม คลอไรด์ 1.0 นอร์มอล และกรดไนตริก 0.1 นอร์มอล ผสมกับแอมโมเนียมไนเตรต 0.9 นอร์มอล ทำการทดลองโดยการเตรียมสารละลายยูเรเนียม ซัลเฟต เข้มข้น 0.5 กรัมยูเรเนียมต่อลิตร ปรับ pH ให้ได้ 1.4 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ผ่านเรซินจนหมด แล้วชะล้างยูเรเนียมด้วยตัวชะล้างแต่ละชนิด เก็บสารละลายแต่ละปริมาตรของเบดไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียม ปรากฏว่าตัวชะล้างยูเรเนียมออกจากเรซินได้ดีที่สุด คือ กรดไนตริกผสมกับแอมโมเนียมไนเตรต สามารถชะล้างยูเรเนียมออกมาได้มากในช่วงแรก ทำให้ปริมาณของตัวที่ใช้น้อย สารละลายยูเรเนียมที่ได้จะมีความเข้มข้นมาก จึงนับว่าเป็นตัวชะล้างยูเรเนียมที่ดีมาก ดังตารางที่ 5.6

ส่วนไฮโดรคลอริกผสมกับโซเดียม คลอไรด์ จะมีประสิทธิภาพในการชะล้างยูเรเนียมออกจากเรซินน้อยกว่ากรดไนตริกผสมกับแอมโมเนียมไนเตรต ชะล้างยูเรเนียมออกมาได้มากที่สุดใปริมาณของเบด (Bed volume) ที่ 4 และหลังจากนั้นก็ยังมียูเรเนียมออกมาเรื่อยๆ จนถึงปริมาตรที่ 16 ทำให้ช่วงของการชะล้างยูเรเนียมกว้าง ไซม์ปริมาณของตัวชะล้างมาก ความเข้มข้นของยูเรเนียมจะน้อยลง ส่วนกรดซัลฟูริก จะชะล้างยูเรเนียมออกจากเรซินได้มากที่สุดในปริมาณของเบดที่ 3 แล้วจะมียูเรเนียมออกมาในปริมาณที่ลดลงเรื่อยๆ ในช่วงที่กว้างมาก ดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.4 แต่เลือกใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวชะล้างยูเรเนียม ในการทดลอง

กับตัวอย่างแร่โคดีมไบต์ - แทนทาไลต์ เพราะมีราคาถูก หาง่าย และไม่สิ้นเปลืองในการเปลี่ยนรูปอนุภาคของสารละลาย เมื่อทำการทดลองในขั้นต่อไป เพราะถ้าใช้ตัวชะล้างตัวอื่นจะต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปซิลิเกตอีกครั้งหนึ่ง เพื่อจะทำการสกัดกั้นด้วยตัวละลายอินทรีย์ ดังนั้นการใช้กรดซิลิฟริกจึงประหยัดอีกหนึ่งขั้นก่อน

การทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเมื่อใช้เรซิน Amberlite IRA - 400 (SO_4^-) จะดูดซับเหล็กโคบอลต์ที่สุด ทำการทดลองโดยการปรับค่า pH ของสารละลายยูเรเนียมซิลิเกต ที่ pH ต่างกัน โดยใช้สารละลาย แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์แล้วผ่านเรซิน ชะล้างด้วยกรดซิลิฟริก 1.0 โมลาร์ นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ปรากฏว่า ที่ pH 1.4 เรซินจะดูดซับเหล็กโคบอลต์ที่สุดในสารละลายที่ชะล้างยูเรเนียมออกมา ซึ่งวัดได้ปริมาณเหล็กน้อยที่สุด ดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.5 ดังนั้นจึงใช้ค่า pH 1.4 ในการทดลองปรับสารละลายที่ย่อยสลายยูเรเนียมจากแร่โคดีมไบต์ - แทนทาไลต์ ก่อนผ่านเรซิน

ผลการทดลองเกี่ยวกับการสกัดยูเรเนียมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

การทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดยูเรเนียมจากสารละลายยูเรเนียมซิลิเกต ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

ผลการทดลองโดยวิธีการเขย่าสารละลาย ยูเรเนียมซิลิเกต กับตัวทำละลายอินทรีย์ ในอัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาต่างๆกัน แล้วนำสารละลายในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ไปวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียม ปรากฏว่า ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรเนียมซิลิเกต 5 กรัมยูเรเนียมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการทดลองสกัดยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ใช้เวลา 60 วินาที แล้วจะคงที่เมื่อถึงเวลาที่ใช้ 150 วินาที ดังรูปที่ 5.6 แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรเนียมซิลิเกต 1.25 กรัมยูเรเนียมต่อลิตร ปริมาณของยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ใช้เวลาในการเขย่านาน 60 วินาที จะเริ่มคงที่เมื่อใช้เวลา 240 วินาทีเป็นต้นไป ดังรูปที่ 5.7 ดังนั้นในการทดลองสกัดยูเรเนียมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จึงใช้เวลาเขย่านาน 5 นาที เพื่อให้ถึงจุดสมดุล ที่ยูเรเนียมถูกสกัดออกมามากที่สุด และทำการสกัดหลายครั้งโดยใช้ตัวทำละลายใหม่ทุกครั้งที่ทำ การสกัด

จากการทดลองหา Equilibrium Curve เพื่อศึกษาหาปริมาณยูเรเนียม ที่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ จนถึงจุดอิ่มตัว ที่ไม่สามารถจะสกัดออกมาได้อีกแล้ว นำไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสกัด (Extraction Coefficient) ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายยูเรเนียมชนิดเฟส ให้มีความเข้มข้นของยูเรเนียมต่างๆกัน สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ในอัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาในการเขย่านาน 5 นาที เมื่อแยกชั้นแล้ว จึงนำเอาสารละลายในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ไปหาปริมาณของยูเรเนียม ผลที่ได้คือตัวทำละลายอินทรีย์สามารถสกัดยูเรเนียมออกมาได้ไม่มากกว่า 6 กรัมต่อลิตร แล้วนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการสกัด ดังตารางที่ 5.11 รูปที่ 5.9 ถ้าได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสกัดมาก แสดงว่าเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ดี เพราะสามารถที่จะสกัดยูเรเนียมเข้ามาอยู่ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ได้มาก เหลืออยู่ในชั้นน้ำน้อย นอกจากนี้ยังใช้ในการหา Operating Line เพื่อหาจำนวนครั้งในการสกัดยูเรเนียมจนหมด

การทดลองหา Stripping Curve เมื่อทำการสกัดยูเรเนียมออกจากสารละลายมาอยู่ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ จะต้องสกัดเอายูเรเนียมกลับมากอยู่ในชั้นของน้ำอีกครั้ง ดังนั้นจึงต้องศึกษาหาสารละลายที่เหมาะสมที่จะสกัดเอายูเรเนียมจากชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์มาอยู่ในชั้นสารละลายให้ได้มากที่สุด ในการทดลองใช้สารละลาย 2 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.75 โมลาร์ และแอมโมเนียม ชนิดเฟส 1.50 โมลาร์ เข้มกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่มียูเรเนียมอยู่ นาน 5 นาที เมื่อแยกชั้นแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของยูเรเนียมในชั้นน้ำ ได้ผลว่าสารละลายโซเดียม คาร์บอเนต ใช้เป็นสารละลายที่สกัดเอายูเรเนียมจากชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีกว่าสารละลายแอมโมเนียม ชนิดเฟส ดังตารางที่ 5.14 , 5.15 รูปที่ 5.10 ในการทดลองจึงเลือกใช้สารละลายโซเดียม คาร์บอเนต เป็นตัว Strip ถึงแม้ว่าจะมีจุดต่ำงเกี่ยวกับการแยกชั้นก็ตาม เพราะว่าสารละลายโซเดียม คาร์บอเนต เวลา เข้มกับตัวทำละลายอินทรีย์ จะเกิดการคายคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องใช้เวลาในการแยกชั้นนานขึ้น

การใช้ข้อมูลจากการวิจัยมาทำการแปรสภาพแร่โคบอลต์ - แทนทาลัม มีกระบวนการ ดังนี้คือ บดแร่ละเอียดขนาด - 200 เมช 50 เปอร์เซ็นต์ บ่อยสลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 12.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อแร่ 50 กรัม ใช้ ปริมาณแมงกานีส ไดออกไซด์ 0.8 กรัม อุณหภูมิในการย่อยสลาย 80 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 ชั่วโมง บ่อยสลายยูเรเนียมได้ 37.8 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นก็นำมาผ่าน เรซิน Amberlite ในคอลัมน์ แล้วจะล้างด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เก็บสารละลายยูเรเนียมส่วนที่เข้มข้นแยกไว้ ตั้งแต่ปริมาตรของเบกที่ 2 ถึง 6. เพื่อใช้ในการ ทดลองสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

ทดลองโดยใช้สารละลายยูเรเนียม ชัดแสง จากที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โคบอลต์คอลัมน์เดี่ยว 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการสกัด 2 ครั้งๆละ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้ว Scrub ด้วยน้ำ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร Strip ด้วยสารละลายโซเดียม คาร์บอเนต 2 ครั้งๆละ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผลปรากฏว่า ตัวทำละลายอินทรีย์ สกัดยูเรเนียมได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ทำการ Strip ได้ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารละลาย 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ครั้งๆละ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร Scrub ด้วยน้ำ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร Strip 2 ครั้งๆละ 50ml ผลที่ได้คือ สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ได้ 99 เปอร์เซ็นต์ Strip ได้ 93 เปอร์เซ็นต์ ใช้คอลัมน์เล็ก 3 อัน จะได้สารละลายยูเรเนียมเข้มข้นมากขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การ Strip ลดลง ตารางของคอลัมน์ที่ 1 ได้ทำการ Stripping มากกว่า การสกัดด้วยตัวทำละลาย อินทรีย์ อาจมีเหตุผลเนื่องมาจากการวิเคราะห์ จากการทดลองทั้งหมดพอสรุปได้ว่า การใช้ ตัวทำละลายอินทรีย์ คือ เอมีน สามารถสกัดยูเรเนียมได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และการ Strip ด้วยโซเดียม คาร์บอเนต ได้มากกว่า 89 เปอร์เซ็นต์

นำสารละลายยูเรเนียมที่ได้มาต้มไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 60 องศาเซลเซียส ได้ตะกอนสีเหลือง นำไปอบให้แห้ง แล้ววิเคราะห์หาปริมาณสารเจือปน ปรากฏว่า สารเจือปนนี้มีปริมาณน้อยกว่ามาตรฐานของ USAEC ที่กำหนดไว้ ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 5.18 , 5.19

ข้อเสนอแนะ

1. ในการย่อยสลายแร่โคัลมโบต์ - แทนทาไลต์ ควรจะจิกค่า Redox Potential ทุกขณะ และปรับให้ได้ - 400 ถึง - 450 มิลลิโวลต์ โดยการเติมตัวออกซิแดนต์
2. แร่โคัลมโบต์ - แทนทาไลต์ มีปริมาณอยู่มาก ควรจะลดอุณหภูมิออกก่อน บูเรเนียมจะอยู่ในส่วนที่เป็น Slag แล้วจึงย่อยสลายส่วนที่เป็น Slag ซึ่งอาจจะทำให้ได้ผลดีขึ้น
3. ควรหาวิธีย่อยสลายบูเรเนียมออกจากแร่ให้ได้เปอร์เซ็นต์มากขึ้น
4. ในการทำบูเรเนียมให้บริสุทธิ์ ถ้าขยายให้อยู่ในสเกลกึ่งห้องทดลอง ต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการแยกชั้นระหว่างการ Stripping เพราะจะเกิดมีก๊าซ จึงต้องใช้เวลานานขึ้น
5. สารเคมีที่ใช้ควรจะเป็น Technical grade เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย