

PC01: การย่อยแร่โมนาไซต์ด้วยด่าง

*ชาวเลข ชยวัฒนางกูร¹ หทัยการ มิละโฮ² และผุสดี ช่วยแก้ว²

¹สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

29 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0 2577 2385 โทรสาร 0 2577 2384 E-Mail: chavalek@tint.or.th

²สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

โทรศัพท์ 0 2577 4166 โทรสาร 0 2577 2384

E-Mail: winnie_karn06@hotmail.com; yaimai388@hotmail.com

บทคัดย่อ

แร่โมนาไซต์ ซึ่งมีส่วนประกอบ คือ ยูเรเนียมประมาณ 0.3-0.5 % ทอเรียมประมาณ 5-8 % การแปรสภาพแร่โมนาไซต์ครั้งละ 100 กิโลกรัม ประกอบด้วยกระบวนการย่อยสลายแร่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 % ตามด้วยการละลายหรือชะล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น และการเลือกตกตะกอน ยูเรเนียม และ ทอเรียมผสมด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20 % การแยก ยูเรเนียม และ ทอเรียมด้วยกระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว และทำให้บริสุทธิ์สูงด้วยเทคนิคแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งจะทำให้ได้ ยูเรเนียม และ ทอเรียม ที่มีความบริสุทธิ์สูง จากการศึกษาพบว่า สามารถแปรสภาพแร่โมนาไซต์ครั้งละ 100 กิโลกรัมในอัตราส่วน แร่ ต่อ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ น้ำ 1:2:2 ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพของการย่อยแร่ที่สูงสุด

คำสำคัญ: แร่โมนาไซต์ การย่อยสลายแร่ด้วยด่าง ประสิทธิภาพการย่อย การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด

The alkaline digestion of monazite

*Chavalek Chayavadhanangkul¹, Hataikan Milaho² and Pussadee Chuoykaew¹

¹Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization)

29 moo 3 Technopolis, Klong-luang, Phatuntani 12120

Phone: 0 2577 2385, Fax: 0 2577 2384, E-Mail: chavalek@tint.or.th

²Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization)

29 moo 3 Technopolis, Klong-luang, Phatuntani 12120

Phone: 0 2577 4166, Fax: 0 2577 2384,

E-Mail: winnie_karn06@hotmail.com; yaimai388@hotmail.com

Abstract

The objective of this paper is to investigate a method that efficiently breakdown 100 kilograms monazite. Natural monazite contains 0.3-0.5 % of uranium and 5-8 % of thorium. Methods of monazite processing consist of digestion with 50 % sodium hydroxide solution, leaching or dissolution with conc. hydrochloric acid,

gradient precipitation of mixed uranium and thorium with 20 % sodium hydroxide solution, separation of uranium and thorium with solvent extraction and purification by ion-exchange. High purity of uranium and thorium were obtained from this bench-scale processing and it was found that the highest efficiency for 100 kilograms of monazite digestion was the ratio of monazite per sodium hydroxide and water 1:2:2

Keywords: Monazite ore, alkali digestion, digestion efficiency, total rare earth

1. บทนำ

แร่โมนาไซต์ มักเกิดร่วมกับแร่อื่นๆอีกเช่น แร่ซีโนไทม์ อิลเมนไนต์ เซอร์คอน วูโทล์ การ์เนต และ โคลัมไบต์-แทนทาลไลต์ โดยทั่วไปแร่โมนาไซต์จะมีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง มีความถ่วงจำเพาะ 4.4-5.1 องค์ประกอบของแร่โมนาไซต์ พบว่า มียูเรเนียม และ ทอเรียม ปริมาณร้อยละ 7-10 นอกจากนั้นยังมีธาตุหายากหรือแรเอิร์ท ร้อยละ 60 ขึ้นไป โดยองค์ประกอบของแร่โมนาไซต์อยู่ในรูปสารประกอบฟอสเฟต ของ ยูเรเนียม ทอเรียม และแรเอิร์ท หากสามารถแปรสภาพแร่โมนาไซต์เพื่อสกัดเอา ยูเรเนียม ทอเรียม และแรเอิร์ท เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ในด้านเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการวิจัยด้านเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ รวมทั้งองค์ความรู้ในด้านเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และ การนำ ยูเรเนียม ทอเรียม มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า

ขั้นตอนที่จัดเป็นหัวใจของกิจกรรมแปรสภาพแร่โมนาไซต์ ได้แก่ การบดแร่โมนาไซต์ให้ได้แร่โมนาไซต์ที่ละเอียดสามารถร่อนผ่านตะแกรกร่อนขนาด 325 เมช อันเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสขณะย่อยแร่โมนาไซต์ ช่วยให้การย่อยแร่เป็นไปอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูง และป้องกันการฟุ้งกระจายของแร่โมนาไซต์ ซึ่งมี ยูเรเนียม และ ทอเรียม เจือปนอยู่ด้วย เครื่องบดแร่ที่ใช้จึงได้รับการออกแบบเป็นเครื่องบดแร่แบบ ball mill และเป็นการบดเปียก ในปัจจุบันสามารถบดแร่โมนาไซต์ได้วันละ 50 กิโลกรัม

การย่อยแร่โมนาไซต์ ได้ใช้การย่อยด้วยโซดาไฟ (NaOH) เข้มข้น 50 % และใช้อุณหภูมิสูง 130-140 °C นาน 3 ชั่วโมง ทำให้คุณสมบัติของแร่เปลี่ยนจากสารประกอบฟอสเฟตเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ ซึ่งสารประกอบนี้จะถูกแยกได้ง่ายขึ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมีธรรมดา ภายใต้อุณหภูมิปกติ ในขั้นนี้ ยูเรเนียม ทอเรียม และ ธาตุหายากจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบในรูปของไฮดรอกไซด์ และจะได้ผลพลอยได้คือไตรโซเดียมฟอสเฟต ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการแปรสภาพแร่โมนาไซต์นี้ด้วย

2. วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการย่อยแร่โมนาไซต์ครั้งละ 100 กิโลกรัมประกอบด้วย

2.1 เครื่องย่อยแร่ (digester)

ขนาด 30 กิโลวัตต์ ซึ่งประกอบด้วยถังย่อยแร่ เป็นถัง 2 ชั้น ขนาด 500 ลิตร ทำด้วยโลหะไร้สนิมปิดมิดชิด มีช่องทางด้านบนสำหรับติดตั้งเครื่องควบแน่น (condenser) 1 ช่อง และ ใส้แร่ 1 ช่อง และมีท่อทางออกทางด้านล่าง 1 ช่อง ให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าขนาด 30 กิโลวัตต์ อยู่รอบนอกของถัง และหุ้มภายนอกด้วยฉนวนพร้อมเครื่องกวน

2.2 เครื่องกรองแบบสุญญากาศ (drum filter)

มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1200 มิลลิเมตร โดยมีปั๊มสุญญากาศขนาด 4 แรงม้า เป็นตัวทำสุญญากาศ

2.3 ถังกวนหลัก

ขนาด 3000 ลิตร เพื่อใช้ในการทำให้เจือจางของสารละลายที่ย่อยสลายแร่แล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้ไตรโซเดียมฟอสเฟตตกตะกอนได้

2.4 ถังหลัก

ขนาด 3000 ลิตร เพื่อเก็บสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟตก่อนที่จะนำไปประเหยและตกผลึก

3. วิธีการ

3.1 การย่อยแร่

นำแร่โมนาไซต์ที่ผ่านการบดและคัดขนาดจนมีขนาดเล็กกว่า 325 เมช จำนวน 100 กิโลกรัม ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เกล็ด จำนวน 200 กิโลกรัม และ น้ำ จำนวน 200 ลิตร โดยใช้อัตราส่วน แร่ ต่อ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำ คือ 1:2:2 (โดยน้ำหนัก) ผสม ทั้งแร่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ น้ำ ในถังย่อยแร่ โดยการกวนในขณะเติมส่วนผสมต่าง ๆ นี้ลงในถังย่อย ซึ่งอุณหภูมิของสารละลายนี้จะสูงขึ้นประมาณ 100 °C กวนและให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจนถึง 135 °C กวนต่อไปจนครบเวลา 4 ชั่วโมง ถ้ายแร่ที่ผ่านการย่อยลงสู่ถังกวนหลักขนาด 3000 ลิตร โดยให้เปิดกวนต่อเนื่องเพื่อป้องกันการตกตะกอนนอนก้นของแร่

3.2 การเจือจาง การกรอง และการตกผลึก

3.2.1 การเจือจาง

ใส่น้ำล้าง และ เจือจาง เครื่องย่อย ครั้งละ 100 ลิตร จำนวน 3 ครั้งแล้วปล่อยลงถังกวนหลัก เพื่อป้องกันไม่ให้ไตรโซเดียมฟอสเฟตตกผลึกออกมาซึ่งจะทำให้อุดตันกับระบบท่อต่าง ๆ

3.2.1 การกรอง และ การตกผลึก

ใช้ปั๊มดูดสารละลายที่เจือจางในถังกวนหลัก นำไปกรองขณะที่สารละลายยังร้อน เพื่อไม่ให้ไตรโซเดียมฟอสเฟตตกผลึกด้วยเครื่องกรองแบบดรัม (drum filter) ซึ่งจะสามารถแยกแร่ที่

ผ่านการย่อยแล้ว หรือ เรียกว่า hydrous metal oxide และ ได้สารละลายใส หรือ สารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต นำสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟตมาระเหยเพื่อเอาน้ำออกจนมีปริมาตรเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาตรเดิม

3.3 เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างของ hydrous metal oxide ไปหาประสิทธิภาพการย่อย และ ปริมาณธาตุต่อไป

3.4 การวิเคราะห์

3.4.1 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการย่อย

1. นำสารตัวอย่างล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง (ตัวอย่าง 1 ส่วน:น้ำ 3 ส่วน) กรองตะกอนน้ำตะกอนไปอบแห้งแล้วบดให้ละเอียด
2. ชั่งตัวอย่างจากข้อ 1 ใส่บีกเกอร์ประมาณ 2 กรัม จดน้ำหนักที่แน่นอน
3. ใส่กรดไฮโดรคลอริก (กรดไฮโดรคลอริกผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1) 20 ml ลงในตัวอย่างทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที
4. ชั่งน้ำหนักของกระดวยกรอง จดน้ำหนักที่แน่นอน
5. กรองตะกอนโดยใช้กระดวยกรองที่ทราบน้ำหนัก แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น
6. นำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C ½ - 1 ชั่วโมง
7. ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ คำนวณผลโดยใช้สูตร

$$\% \text{ digest} = \frac{\text{น้ำหนักสารเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสารที่ไม่ละลาย}}{\text{น้ำหนักสารเริ่มต้น}} \times 100$$

น้ำหนักสารที่ไม่ละลาย = น้ำหนักสารที่เหลือนบนกระดวยกรอง – น้ำหนักกระดวยกรอง

3.4.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้ ICP-AES

1. ชั่งสารตัวอย่าง 0.5 กรัม
2. ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 10–15 ml ถ้าสารตัวอย่างไม่ละลายให้อุ่นบน hot plate แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
3. กรองสารละลายด้วยกระดวยกรอง
4. นำสารละลายตัวอย่างดังกล่าวไปเจือจางให้มีความเข้มข้นให้เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยใช้ 1 % กรดไนตริก

5. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES

3.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแร่เอิร์ททั้งหมด (Total Rare Earths)

1. นำสารตัวอย่างมาชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) จนสารตัวอย่างละลาย

2. ถ้าสารตัวอย่างไม่ละลายให้กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 (ใช้กระดาษกรอง 2 ชั้น) จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 250 ml ด้วยน้ำกลั่น
3. ปิเปตสารละลายในข้อ 2 มา 50 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ปรับ pH ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc. NH_4OH) ให้ได้ pH ประมาณ 1.8–2.0 แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) 4 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 ml
4. นำสารละลายไปต้มจนเดือด ขกกลงเติมผงแอมโมเนียมออกซาลเลต 5 กรัม ขณะร้อนคนแรง ๆ ให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วจึงนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็งนาน 1–2 ชั่วโมง (หรือตั้งค้างคืน) เพื่อให้ตกตะกอนสมบูรณ์
5. กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 540 หรือ 40 (ใช้กระดาษกรอง 2 ชั้น) ล้างตะกอนด้วยสารละลายแอมโมเนียมออกซาลเลต (เตรียมจากแอมโมเนียมออกซาลเลต 30 กรัม ละลายใน 4% HNO_3 1000 ml) ประมาณ 50–100 ml
6. นำ crucible มาเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C นาน 1 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (อย่างน้อย ½ ชั่วโมง) แล้วนำไปชั่งน้ำหนักโดยละเอียด จดบันทึกน้ำหนักไว้
7. นำตะกอนพร้อมกระดาษกรองที่ได้ใส่ crucible นำไปเผาให้เป็น oxide ที่อุณหภูมิ 1000 °C นาน ½ ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (อย่างน้อย ½ ชั่วโมง) นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้ น้ำหนักตะกอน + น้ำหนัก crucible แล้วเอาน้ำหนัก crucible เป่ามาลบออก ซึ่งจะได้เป็นน้ำหนักตะกอนของ rare earth oxide + CaO + ThO_2
8. คำนวณผลการวิเคราะห์โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Total Rare Earth+ThO}_2 = \frac{\text{น้ำหนักของตะกอน (oxide)} \times \text{ปริมาตรที่เตรียม} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times \text{ปริมาตรที่ปิเปตมาใช้}}$$

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ ได้ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนของแร่ ต่อค่า ต่อ น้ำ ที่ 1:1:1 และ 1:2:2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลาย ดังนี้

4.1 การย่อยแร่ครั้งที่ 1

4.1.1 อัตราส่วน แร่ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ

1:1:1.5

4.1.2 ปริมาณ Total Rare Earth

21.63 %

4.1.3 ประสิทธิภาพการย่อย

32.78 %

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ Chloride solution

ตารางที่ 1 ปริมาณแร่เอิร์ท ทอเรียม และ ยูเรเนียมที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES
จากการย่อยแร่ครั้งที่ 1

ธาตุ	ความเข้มข้น (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ (%)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)
Y	202.9	3.23	88.91
La	1082.5	17.23	138.9
Ce	2417.5	38.48	140.12
Pr	265.05	4.22	140.9
Nd	1015	16.16	144.24
Sm	207.15	3.3	150.4
Eu	0.94	0.02	151.96
Gd	137.3	2.19	157.25
Dy	53.33	0.85	162.5
Yb	7.8	0.12	173.04
Th	800	12.73	232
U	92.55	1.47	238
รวม	6282.02	100	1918.22

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย} = \frac{1918.22}{12} = 159.85 \text{ g/mol}$$

แร่เอิร์ท ทอเรียม และยูเรเนียม มีความเข้มข้น 6282.02 mg/L หรือ 6.28202 g/L

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นโมลจาก } n &= \frac{g}{MW} = \frac{6.28202 \text{ g} / L}{159.85 \text{ g} / \text{mol}} \\ &= 0.0393 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

4.2 การย่อยแร่ครั้งที่ 2

4.2.1 อัตราส่วน แร่ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ

1:2:2

4.2.2 ปริมาณ Total Rare Earth

48.58 %

4.2.3 ประสิทธิภาพการย่อย

82.74 %

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ Chloride solution

ตารางที่ 2 ปริมาณแร่เอิร์ท ทอเรียม และ ยูเรเนียม ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES
จากการย่อยแร่ครั้งที่ 2

ธาตุ	ความเข้มข้น (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ (%)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)
Y	164.81	2.72	88.91
La	1087.44	17.94	138.9
Ce	2399.33	39.58	140.12
Pr	259.8	4.29	140.9
Nd	982.22	16.2	144.24
Sm	217.07	3.58	150.4
Eu	2.98	0.05	151.96
Gd	129.79	2.14	157.25
Dy	48.86	0.81	162.5
Yb	7.58	0.13	173.04
Th	696.89	11.5	232
U	65.64	1.08	238
รวม	6062.43	100	1918.22

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย} = \frac{1918.22}{12} = 159.85 \text{ g/mol}$$

แร่เอิร์ท ทอเรียม และยูเรเนียม มีความเข้มข้น 6062.43 mg/L หรือ 6.06243 g/L

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นโมลจาก } n &= \frac{g}{MW} = \frac{6.06243 \text{ g} / L}{159.85 \text{ g} / \text{mol}} \\ &= 0.0379 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

4.3 การย่อยแร่ครั้งที่ 3

4.3.1 อัตราส่วน แร่ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ

1:2:2

4.3.2 ปริมาณ Total Rare Earth

43.72 %

4.3.3 ประสิทธิภาพการย่อย

80.96 %

4.3.4 ผลวิเคราะห์ Chloride solution

ตารางที่ 3 ปริมาณแร่เอิร์ท ทอเรียม และ ยูเรเนียม ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES
จากการย่อยแร่ครั้งที่ 3

ธาตุ	ความเข้มข้น (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ (%)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)
Y	149.96	2.69	88.91
La	997	17.87	138.9
Ce	2214	39.68	140.12
Pr	244.56	4.38	140.9
Nd	924.11	16.56	144.24
Sm	197.82	3.55	150.4
Eu	2.57	0.05	151.96
Gd	122.58	2.2	157.25
Dy	41.69	0.75	162.5
Yb	7.03	0.13	173.04
Th	622	11.15	232
U	56.07	1	238
รวม	5579.39	100	1918.22

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย} = \frac{1918.22}{12} = 159.85 \text{ g/mol}$$

แร่เอิร์ท ทอเรียม และยูเรเนียม มีความเข้มข้น 5579.39 mg/L หรือ 5.57939 g/L

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นโมลจาก } n &= \frac{g}{MW} = \frac{5.57939 \text{ g} / L}{159.85 \text{ g} / \text{mol}} \\ &= 0.0349 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

4.4 การย่อยแร่ครั้งที่ 4

4.4.1 อัตราส่วน แร่ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ

1:2:2

4.4.2 ปริมาณ Total Rare Earth

65.37 %

4.4.3 ประสิทธิภาพการย่อย

86.26 %

4.4.4 ผลวิเคราะห์ Chloride solution

ตารางที่ 4 ปริมาณแร่เอิร์ท ทอเรียม และ ยูเรเนียม ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES

จากการย่อยแร่ครั้งที่ 4

ธาตุ	ความเข้มข้น (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ (%)	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)
Y	245.83	2.69	88.91
La	1660	18.14	138.9
Ce	3687	40.29	140.12
Pr	389.9	4.26	140.9
Nd	1486.75	16.25	144.24
Sm	292.7	3.2	150.4
Eu	1.46	0.02	151.96
Gd	186.7	2.04	157.25
Dy	67.9	0.74	162.5
Yb	6.74	0.07	173.04
Th	1037.75	11.34	232
U	87.73	0.96	238
รวม	9150.45	100	1918.22

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย} = \frac{1918.22}{12} = 159.85 \text{ g/mol}$$

แร่เอิร์ท ทอเรียม และยูเรเนียม มีความเข้มข้น 9150.45 mg/L หรือ 9.15045 g/L

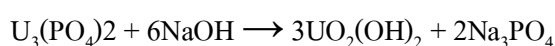
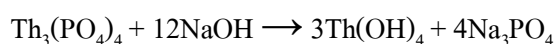
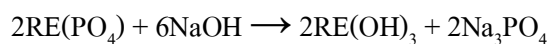
$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นโมลจาก } n &= \frac{g}{MW} = \frac{9.15045 \text{ g} / L}{159.85 \text{ g} / \text{mol}} \\ &= 0.0572 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

ตารางที่ 5 สรุปประสิทธิภาพของการย่อยแร่ จำนวน 4 ครั้ง

ครั้งที่	อัตราส่วน (โดยน้ำหนัก)	ประสิทธิภาพ (%)
1	1 : 1 : 1.5	32.78
2	1 : 2 : 2	82.74
3	1 : 2 : 2	80.96
4	1 : 2 : 2	86.26

5. สรุป

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การแปรสภาพแร่โมนาไซต์ด้วยกระบวนการ ค้าง เพื่อแยกย่อยสลายแร่จาก รูปของฟอสเฟตมาอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการที่มีความสำคัญและสามารถแยกเอา ยูเรเนียม ทอเรียม และ แร่เอิร์ท ออกจากแร่โมนาไซต์ ให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่สามารถแยกและตกตะกอนได้ง่ายขึ้น พบว่า ในการย่อยแร่โมนาไซต์ที่มีปริมาณมากกว่า 100 กิโลกรัมขึ้นไป จะต้องใช้อัตราส่วนของ แร่ ต่อค่าง ต่อน้ำ คือ 1:2:2 ที่อุณหภูมิ 140 °C และใช้เวลาในการย่อยสลาย 4 ชั่วโมง ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



นอกจากนี้ในการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ข้อควรระวัง คือ การไม่ให้สารละลายของไตรโซเดียมฟอสเฟตตกผลึกออกมา โดยการให้ความร้อนสารละลาย และระบบท่อ ที่ควรหุ้มฉนวนความร้อน ซึ่งหากไตรโซเดียมฟอสเฟตตกผลึกในถัง หรือตามท่อจะเกิดการอุดตัน ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับปั๊มและมอเตอร์ และยุ่งยากในการถอดระบบท่อเพื่อทะลุทะลวงการอุดตันที่เกิดขึ้น

สำหรับการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ จากการศึกษาพบว่าจะมีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 80% ในการประเมินประสิทธิภาพของการแปรสภาพแร่ระหว่างกระบวนการผลิต อาจคำนวณจากปริมาณแร่ที่ไม่ทำปฏิกิริยาเปรียบเทียบกับปริมาณแร่ที่ป้อน ซึ่งจะทำให้ผลที่รวดเร็วกว่าโดยไม่ต้องรอผลวิเคราะห์ ทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้ทันที ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการแปรสภาพแร่อย่างมาก สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ที่ให้ประสิทธิภาพสูง คือ เพียงประมาณ 140 °C ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของแร่โมนาไซต์ที่มีรูปผลึกเป็นโมโนคลินิก (monoclinic) ซึ่งย่อยสลายได้ดีกว่าทางแร่ตัวอื่น ๆ

ในการศึกษาการย่อยแร่ครั้งละ 100 กิโลกรัมนั้น ได้ทำการศึกษาการย่อยแร่ในระดับห้องทดลอง ครั้งละ 1 กิโลกรัม มาแล้วพบว่า ปริมาณแร่ ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำ ในอัตราส่วน 1:2:2 จะมีประสิทธิภาพสูงจึงได้ศึกษาเปรียบเทียบ โดยใช้อัตราส่วนของแร่ ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำ 1:1:1.5 และ 1:2:2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพพบว่า อัตราส่วนของแร่ ต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำ คือ 1:2:2 จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 80% และได้มีการทดลองย่อยแร่โมนาไซต์ 100 กิโลกรัม ในอัตราส่วนนี้จำนวน 3 ครั้ง ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าอัตราส่วนนี้ สามารถได้ประสิทธิภาพสูงถึง 80% เช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายสุเมธ ศิลาสน์ นายนาม เสาะแสง นางสาวสะอาด นุกุลธรรม นางสมบุญ ประทุมวรรณ ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวก และให้ความอนุเคราะห์ช่วยเดินเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และ ขอขอบคุณ นางสาวกัลยา ช่างเครื่อง นักนิวเคลียร์เคมี 5 ที่ให้ความอนุเคราะห์สอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-AES

7. เอกสารอ้างอิง

1. สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข, เขาวเลข ชยพัฒนางกูร, อุทัยวรรณ อินทร์เจริญ, 2535. การสำรวจปริมาณและคุณภาพแร่โมนาไซต์ในจังหวัดภาคใต้ของประเทศไทย
2. พิกพ ธรรมราชย์, แสงนวล ศิริรัตน์ชัชวาล, เขาวเลข ชยพัฒนางกูร, 2534. การศึกษาผลของอุณหภูมิในการแปรสภาพแร่ซีโนไทน์
3. เขาวเลข ชยพัฒนางกูร, สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข, 2535. การคำนวณสมดุลพลังงานและมวล