

การสกัดยูเรเนียมและทอเรียมจากซีโนไทม์

2.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับแร่ซีโนไทม์

แร่ซีโนไทม์ทั่วไปจะอยู่ในรูปฟอสเฟตของอิตเทรียมและแรร์เอิร์ทกลุ่มหนัก หรืออาจเรียกว่า กลุ่มย่อยอิตเทรียม ประกอบด้วย ธาตุอิตเทรียม (Yttrium) ลูทีเซียม (Lutecium) อิตเทอร์เบียม (Ytterbium) ทูเลียม (Thulium) เออร์เบียม (Erbium) โฮลเมียม (Holmium) ดิสโพรเซียม (Dysprosium) และเทอร์เบียม (Terbium) ยิ่งไปกว่านั้นยังประกอบด้วยแรร์เอิร์ทกลุ่มเบา หรือที่เรียกว่ากลุ่มย่อยซีเรียม อันประกอบด้วย ธาตุแลนทานัม (Lanthanum) ซีเรียม (Cerium) เพอร์ซีโอดีเมียม (Praseodymium) นีโอดีเมียม (Neodymium) โพรมิเทียม (Promethium) ซาแมเรียม (Samarium) ยูโรเพียม (Europium) และแกโดลิเนียม (Gadolinium) ปนอยู่ด้วยโดยสามารถเขียนสูตรทางเคมีได้เป็น YPO_4

คุณสมบัติทั่วไปของซีโนไทม์ อาจจำแนกได้ดังนี้

- ก. เป็นแร่ที่เปราะแตกง่าย
- ข. มีลักษณะเป็นมันวาวมีหลายสีคล้ายกับแร่โมนาไซต์ เช่น สีน้ำตาล สีน้ำตาลอมแดง สีน้ำตาลอมเหลือง สีเหลือง
- ค. มีความถ่วงจำเพาะ 4.4 ถึง 5.1 และมีความแข็ง 4 ถึง 5
- ง. ส่วนใหญ่จะพบปนอยู่กับแร่โมนาไซต์
- จ. มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูงกว่าแร่โมนาไซต์ ดังนั้นจึงสามารถแยกออกจากแร่โมนาไซต์ได้โดยอาศัยคุณสมบัติข้อนี้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของแร่โมนาไซต์และแร่อิทธิไมท์ทั่วไป¹

สารประกอบออกไซด์	แร่โมนาไซต์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	แร่อิทธิไมท์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
La ₂ O ₃	22	3.2
CeO ₂	44	4.4
Pr ₆ O ₁₁	5	0.8
Nd ₂ O ₃	15	2.8
Sm ₂ O ₃	2	1.2
Eu ₂ O ₃	0.05	0.1
Gd ₂ O ₃	1.0	2.8
Tb ₄ O ₇	0.002	0.9
Dy ₂ O ₃	0.1	7.6
Ho ₂ O ₃	0.03	1.8
Er ₂ O ₃	0.05	5.9
Tm ₂ O ₃	0.005	0.8
Yb ₂ O ₃	0.01	5.0
Lu ₂ O ₃	0.001	0.3
Y ₂ O ₃	2	61.5
ThO ₂	9	0.5

2.2 ผลผลิตและผลพลอยได้

ผลผลิตที่ได้จากการแปรสภาพแร่หนักขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ถ้าเป็นกระบวนการย่อยแร่โดยใช้กรด จะได้ผลผลิต คือ ยูเรเนียม ทอเรียม และแร่อิทธิไมท์ ส่วนการย่อยแร่โดยใช้ด่างนอกจากจะได้ยูเรเนียม ทอเรียม และแร่อิทธิไมท์แล้ว ยังได้ผลพลอยได้เป็นไตรโซเดียมฟอสเฟตอีกด้วย

¹ Kolthoft, Elving. "Systematic analytical chemistry of elements" *Treaties on analysis chemistry*. Part II Vol.8 (1969) : pp. 7.

2.2.1 ยูเรเนียม แร่ยูเรเนียมจะมีปนอยู่ในแร่ต่างๆประมาณ 150 ชนิด ซึ่งมีอยู่ไม่กี่ชนิดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ยูเรเนียมในธรรมชาติมีอยู่ 3 ไอโซโทป คือ ^{238}U , ^{235}U , และ ^{234}U ในสัดส่วน 99.28 %, 0.71 % และ 0.005 % ตามลำดับ และมีครึ่งชีวิต 4.5×10^9 , 7.00×10^8 และ 2.35×10^5 ปี ตามลำดับ ตามลักษณะการกำเนิดทางธรณีวิทยาแบ่งแร่ยูเรเนียมออกเป็น 2 พวกใหญ่ คือ

2.2.1.1 แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิ คือ แร่ยูเรเนียมที่มี U^{+4} โดยเกิดขึ้นมาจากภายในโลกพร้อมทั้งหินอัคนีในสภาพที่หลอมเหลวเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัวมีลักษณะเป็นสายแร่ แร่พวกนี้จะมีสีค่อนข้างแก่ เช่น สีดำ สีน้ำตาลดำ สีน้ำตาล และสีน้ำตาลเหลือง มีความถ่วงจำเพาะ 4 ถึง 10 ล้วนมีมลทินที่ปนอยู่ในแร่ เช่น แร่ยูเรไนต์ มี U_3O_8 ประมาณ 65-85 % แร่พิตช์เบลนด์ มี U_3O_8 ประมาณ 50-80 % เป็นต้น

2.2.1.2 แร่ยูเรเนียมทุติยภูมิ คือแร่ที่มี U^{+6} โดยกำเนิดจากการเปลี่ยนแปลงหรือสลายตัวของพวกแร่ปฐมภูมิ โดยวิธีการผุพังตามธรรมชาติและน้ำใต้ดินรวมทั้งการเกิดออกซิเดชันให้เกิดเป็นแร่ยูเรเนียมชนิดใหม่ ซึ่งอาจเกิดอยู่ ณ ที่เดิมหรืออาจถูกพัดพาไปในลักษณะที่เป็นสารละลายรวมกับธาตุอื่น ๆ แล้วตกตะกอนเป็นแร่ยูเรเนียม ดังนั้นแร่พวกนี้จึงมีมากมายหลายชนิดและมีสีสดใสมักพบปนอยู่ตั้งแต่หินหรือบนผิวดินมีลักษณะเป็นผงละเอียดเคลือบผิวหน้าของหินหรือเม็ดทรายหรือตามรอยแยกในหินต่างๆ บางครั้งจะรวมกันอยู่เป็นหย่อมๆ หรือเป็นแผ่นบางๆ ซ้อนกัน แร่พวกนี้ส่วนมากจะมีความเข้มข้นของยูเรเนียมปนอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าแร่ยูเรไนต์หรือแร่พิตช์เบลนด์ แร่ยูเรเนียมชนิดนี้มีมากกว่า 150 ชนิด เช่น แร่ยูเรเนลวานาเดียมมี U_3O_8 ประมาณ 50-55 % แร่ยูเรเนลฟอสเฟตมี U_3O_8 ประมาณ 60-63 % แร่ยูเรเนลซิลิเคตมี U_3O_8 ประมาณ 65 % แร่ยูเรเนลคาร์บอนเนตมี U_3O_8 ประมาณ 30 %

คุณสมบัติทั่วไปของยูเรเนียมอาจจำแนกได้ดังนี้

- ก. ความถ่วงจำเพาะประมาณ 18.85-19.05
- ข. จุดหลอมเหลว 1132.3°C
- ค. ถูกออกซิไดซ์โดยอากาศให้ UO , UO_2 , U_3O_8 , และ UO_3
- ง. ทำปฏิกิริยากับน้ำให้ UO_2 และ UH_3
- จ. เป็นธาตุกัมมันตรังสี
- ฉ. ยูเรเนียม 233 และยูเรเนียม 235 ใช้เป็นเชื้อเพลิงปรมาณูได้

โลหะยูเรเนียมมีรูปแบบอยู่ 3 แบบ คือ

- ก. แอลฟาเฟส จะคงตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 663 °ซ โดยมีโครงสร้างแบบอโรมบิก
- ข. เบตาเฟส จะคงตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 663-770 °ซ โดยมีโครงสร้างแบบเตตราโกนอล
- ค. แกมมาเฟส จะคงตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าสองแบบข้างต้น

ประโยชน์ของยูเรเนียม

- ก. ใช้ในการพัฒนาพลังงานนิวเคลียร์ตามเป้าหมายทางการทหาร เช่น การวิจัยและพัฒนาอาวุธนิวเคลียร์ต่างๆ และในด้านอวกาศ เช่น ยานอวกาศ ดาวเทียม เป็นต้น
- ข. ในทางการค้าที่สำคัญที่สุดคือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
- ค. นำพลังงานความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมเคมีต่างๆ เช่น โรงงานกระดาษ น้ำตาล ปูนและอื่นๆ โดยใช้ยูเรเนียมไดออกไซด์
 - ง. ใช้กำบังรังสีในเครื่องมือวิทยาศาสตร์
 - จ. ใช้ในอุตสาหกรรมการสร้างปีกเครื่องบิน
 - ฉ. ใช้ในอุตสาหกรรมวัตถุระเบิด เพื่อเจาะอุโมงค์และการทำเหมืองแร่
 - ช. นำพลังงานนิวเคลียร์ไปพัฒนาใช้เป็นตัวขับเคลื่อน

2.2.2 ทอเรียม แร่ทอเรียมในธรรมชาติมักเกิดรวมกับยูเรเนียมและแรมเอร์ท สำหรับแร่ธรรมชาติที่สำคัญของทอเรียมคือ ทอไรต์ และทอเรียไนต์ โดยทอไรต์อยู่ในรูปของทอเรียมซิลิเคตมีทอเรียมอยู่ประมาณ 62 % ส่วนทอเรียไนต์เป็นออกไซด์ของทอเรียม มีปริมาณทอเรียมถึง 90 %

คุณสมบัติทั่วไปของทอเรียม

- ก. เป็นโลหะอ่อนมีสีขาวเงินและที่อุณหภูมิห้องจะถูกออกซิไดซ์โดยอากาศเป็นสีค่อนข้างดำ
- ข. ความถ่วงจำเพาะประมาณ 11.5-11.65
- ค. จุดหลอมเหลว 1750 °ซ
- ง. ในทางนิวเคลียร์ทอเรียมเมื่อถูกยิงด้วยนิวตรอนพลังงานต่ำแล้วทิ้งไว้ให้สลายตัว โดยคายอนุภาคเบตาออกมาสองครั้งจะให้ยูเรเนียม 233 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงปรมาณู

ประโยชน์ของทอเรียม

- ก. ใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งมีการใช้แล้วในบางประเทศเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้เป็นพลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานน้ำตาล และอื่นๆ
- ข. ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ผสมในโลหะผสมแมกนีเซียม นิกเกิล เหล็กไร้สนิม และทังสเตน เพื่อให้โลหะเหล่านั้นมีคุณสมบัติแข็งและดีขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ผสมทำแว่นตาและในงานอุตสาหกรรมทำสีเรืองแสง
- ค. ใช้ทำเป็นผงอาบไล่ตะเกียงเจ้าพายุและวัสดุทนไฟ
- ง. ใช้ทำอิเล็กทรอนิกส์ในหลอดอิเล็กทรอนิกส์หรือหลอดเอกซเรย์
- จ. ในทางเคมีใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.3 แร่เอิร์ท เป็นกลุ่มของธาตุ 15 ธาตุ มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันอยู่ในกลุ่มที่ 3 ของตารางธาตุ ช่วงเลขอะตอมของแร่เอิร์ทอยู่ระหว่าง 57-71 คือตั้งแต่ธาตุแลนทานัมไปจนถึงลูทีเซียม ธาตุในแร่เอิร์ทสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ จากแลนทานัมถึงซาแมเรียมเรียกว่าซีเรียมเอิร์ท จากยูโรเปียมถึงดีสโพรเซียมเรียกว่าเทอร์เบียมเอิร์ท และจากธาตุโฮลเมียมถึงลูทีเซียมเรียกว่าดีเทรียมเอิร์ท แร่ธรรมชาติของแร่เอิร์ทส่วนใหญ่คือแร่ที่เกิดจากหินอัคนี เช่น แร่โมนาไซต์ ซีโนไทม์ อัลลาไนต์ และอูวาไลต์

คุณสมบัติทั่วไปของแร่เอิร์ท

- ก. ธาตุกลุ่มนี้ปกติมีวาเลนซ์ +3 สำหรับซีเรียม เพอร์ซีโอดิเมียม และเทอร์เบียม อาจถูกออกซิไดซ์ให้มีวาเลนซ์ +4 ได้ ส่วนซาแมเรียม ยูโรเปียม และอิตเทอร์เบียม อาจถูกรีดิวซ์ให้มีวาเลนซ์ +2 ได้ซึ่งคุณสมบัตินี้ไว้ใช้ในการแยกธาตุกลุ่มนี้ออกจากกัน
- ข. โลหะแร่เอิร์ทมีสีเทาเงินและลักษณะแวววาว ถ้าอยู่ในสภาพบริสุทธิ์เมื่อทิ้งไว้ในอากาศจะไม่ไหม้ นอกจากยูโรเปียมและอิตเทอร์เบียมที่เกิดปฏิกิริยาอย่างง่ายและสามารถใช้มีดตัดได้
- ค. ความแข็งของโลหะกลุ่มนี้จะเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอม
- ง. ความถ่วงจำเพาะแปรค่าจาก 6.2 ซึ่งเป็นของแลนทานัม ไปจนถึง 9.8 ของลูทีเซียม
- จ. จุดหลอมเหลวแปรจาก 795 °ซ ของซีเรียมไปจนถึง 1652 °ซ ของลูทีเซียม และจุดเดือดแปรผันจาก 1427 °ซ ไปจนถึง 3470 °ซ
- ฉ. แกλιοออกไซด์ คลอไรด์ ไนเตรต และซัลเฟตของแร่เอิร์ทละลายน้ำได้ดี ส่วนคาร์บอเนตออกซาลेट ไฮดรอกไซด์ ออกไซด์ ฟอสเฟต และฟลูออไรด์ไม่ละลายน้ำ

ประโยชน์ของแรร์เอิร์ท

ก. แรร์เอิร์ทออกไซด์ คลอไรด์ ฟลูออไรด์ ใช้ในงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็กหล่อเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์และชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล นอกจากนี้ยังใช้ในอาร์คคาร์บอนอิเล็กโทรดและใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนโดยการใช้ก๊าซไฮโดรเจน

ข. ซีเรียมออกไซด์และแลนทานัมออกไซด์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการขัดเลนส์ และใช้ในการทำตัวเก็บประจุที่ใช้ในทางอิเล็กทรอนิกส์

ค. นิโอติเมียมคาร์บอเนตใช้เป็นสารผสมสีในงานอุตสาหกรรมแก้ว ใช้เป็นตัวชดเชยอุณหภูมิในตัวเก็บประจุซึ่งใช้ในวิทยุ โทรทัศน์ และเรดาร์ ใช้ผสมในคาร์บอนอาร์ค ใช้ผสมลงในสแตนเลสตีลอัลลอยทำให้คุณสมบัติดีขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมทอผ้าโดยเป็นตัวป้องกันการซีมน้ำในเนื้อผ้า

2.2.4 ไตรโซเดียมฟอสเฟต สูตรทางเคมีคือ $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เป็นสารประกอบพลอยได้จากการย่อยแร่ซีโนไทม์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับวิธีอื่นทำได้โดยเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงในกรดฟอสฟอริกจะเกิดโซเดียมฟอสเฟตจากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้ไตรโซเดียมฟอสเฟต

คุณสมบัติทั่วไปของไตรโซเดียมฟอสเฟต

- ก. เป็นผลึกไม่มีสี
- ข. ละลายน้ำได้ดี
- ค. ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.618-1.645
- ง. จุดหลอมเหลว 77°C
- จ. ทำให้บริสุทธิ์ได้ด้วยการตกผลึกใหม่

ประโยชน์ของไตรโซเดียมฟอสเฟต

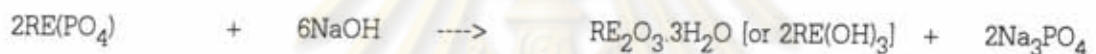
- ก. ส่วนใหญ่จะใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น ทอผ้า ผลิตกระดาษ กระบวนการทำน้ำตาลให้บริสุทธิ์ ผงซักฟอก และอุตสาหกรรมยา
- ข. ใช้เป็นสารประกอบในเครื่องผลิตไอน้ำ
- ค. เป็นตัวทำความสะอาดโลหะ
- ง. ใช้เป็นน้ำยาล้างฟิล์ม

2.3 การสกัดยูเรเนียมจากแร่ซีโนไทม์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

วิธีนี้จะไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนภาชนะที่ใช้ในการสกัดและสามารถสกัดยูเรเนียมที่มีอยู่ในแร่ออกมาได้สูงกว่าวิธีใช้กรดเพราะมีสารประกอบฟอสเฟตเกิดขึ้นทำให้สะดวกต่อการทำให้บริสุทธิ์ได้ง่ายขึ้น และพวกกากแร่จะละลายอยู่ในสารละลายไม่มีปนอยู่กับตะกอนที่ชั้นเหนียว นอกจากนี้ยังจัดซัลเฟตและฟอสเฟตให้อ่อนได้ดีกว่าและสามารถนำโซเดียมไฮดรอกไซด์มาใช้ใหม่ได้อีกและมีไตรโซเดียมฟอสเฟตเกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้อีกด้วย

2.3.1 ขั้นตอนหลักในการสกัดแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

2.3.1.1 การย่อย กระทำโดยการใส่แร่ซีโนไทม์ลงไปใสสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 120 - 180 °ซ พร้อมทั้งมีการกวนและการกั้นการระเหยของสารด้วย ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นคือ



ภายหลังจากการย่อยนั้นจะมีไตรโซเดียมฟอสเฟตเกิดขึ้นละลายอยู่ในสารละลาย ยูเรเนียมไฮดรอกไซด์ ทอเรียมไฮดรอกไซด์ และแอร์เธียไฮดรอกไซด์จะเหนียวข้นสามารถแยกออกจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟตได้ด้วยการกรองไตรโซเดียมฟอสเฟตเกิดขึ้นจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพียง 1/3 ส่วนอีก 2/3 ส่วนจะยังคงมีเหลืออยู่ในสารละลายนั้น เมื่อลดอุณหภูมิลงจะทำให้ไตรโซเดียมฟอสเฟตตกผลึกแยกออกมาเป็น $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ อาจทำให้มีการตกผลึกของไตรโซเดียมฟอสเฟตมากขึ้นได้โดยต้มให้เดือดแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก็จะมีผลึกเกิดขึ้นตามต้องการ เมื่อกรองเอาผลึกไตรโซเดียมฟอสเฟตออกไปแล้วก็สามารถนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือมาใช้ใหม่ได้อีก

ความสำเร็จของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับ

ก. ขนาดของแร่ซีโนไทม์ เป็นปัจจัยที่สำคัญของความเร็วและความสำเร็จของการเกิดปฏิกิริยา ขนาดของแร่ที่ใหญ่จะเกิดปฏิกิริยาละลายออกมาได้สมบูรณ์ก็ต่อเมื่อใช้อุณหภูมิสูง ปริมาณต่างจำนวนมาก และใช้เวลาในการย่อยนานที่สภาวะเดียวกันเมื่อใช้แร่ที่มีขนาดเล็กอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมากขึ้น แต่ถ้ามีขนาดเล็กเกินไปก็อาจเกิดการดูดซับกลับเข้าไปในเนื้อแร่ได้ ดังนั้นในการทำจึงควรใช้แร่ที่มีขนาดพอเหมาะ

ข. อัตราส่วนของปริมาณต่างต่อปริมาณแร่ การเพิ่มอัตราส่วนระหว่างปริมาณต่างและปริมาณแร่ทำให้การสักรัศยูเรเนียมและทอเรียมได้มากขึ้นแต่ไม่ควรใช้อัตราส่วนมากกว่า 3 : 1 เพราะไม่คุ้มทุนดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2 ในทางปฏิบัติอัตราส่วนต่างต่อแร่ที่ใช้คือ 1.5 : 1 โดยใช้ต่างเข้มข้น 100% จากที่มีการทดสอบสัดส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณแร่ในอัตราส่วนต่างๆมาแล้วในวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสกัดอิตเทรียมจากซีโนไทม์ของประไพสังข์ทอง ผลคือไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นก็ไม่ได้ทำให้มีปริมาณของผลผลิตมากขึ้นซ้ำแล้วยังเป็นการสิ้นเปลืองในการผลิตอีกด้วย อัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดตามรายงานนั้นคือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณแร่เท่ากับ 2 : 1

ค. ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่ควรมีความเข้มข้นมากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรงเกินไปหรือมีเหลือมากเกินไปและอาจทำให้สารละลายเหนียวเกินไปยากแก่การสกัดโดยปกติแล้วจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นประมาณ 40-50 %

ง. อุณหภูมิ ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิจะยิ่งเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาแต่ไม่ควรเกิน 220 °ซ เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้มวลของปฏิกิริยาแห้งไปยากแก่การกวน และอุณหภูมิสูงจะเป็นอุปสรรคต่อการละลายสารในกรดในขั้นการละลาย

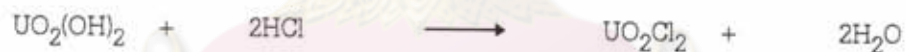
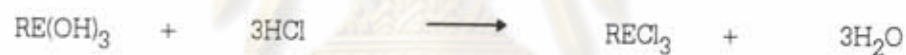
จ. เวลาในการย่อย อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลานานขึ้นปกติแล้วปฏิกิริยาจะเกิดสมบูรณ์เมื่อใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ถ้าเวลาในการสกัดนานกว่านี้จะทำให้มวลของปฏิกิริยาเกิดการแข็งตัวทำให้สักรัศยูเรเนียมออกมาได้น้อยหรือไม่ได้เลย

2.3.1.2 การละลาย เป็นการนำเอาตะกอนคล้ายเด็กของไฮดรอกไซด์ซึ่งประกอบไปด้วยแอร์เธีย ทอเรียม และยูเรเนียมมาทำเป็นสารละลายเพื่อสะดวกต่อการทำในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ซึ่งสามารถละลายได้ในกรดแร่ คือ กรดไฮโดรคลอริก ไนตริก และซัลฟูริก ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้กรดไฮโดรคลอริก

ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อแร่ในการสกัดแร่โมนาไซต์
ที่อุณหภูมิ 392 °F. เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง²

อัตราส่วนระหว่าง ไฮเดียมไฮดรอกไซด์ต่อแร่	ปริมาณแร่ ในสารละลาย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณทอเรียม ในสารละลาย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณยูเรเนียม ในสารละลาย (เปอร์เซ็นต์)
2:1	85	87	61
3:1	92	91	76
4:1	93	98	52
5:1	97	99	76

กรดไฮโดรคลอริกจะสามารถละลายตะกอนไฮดรอกไซด์ได้เป็นอย่างดี มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
เป็นดังนี้



2.3.1.3 การทำให้บริสุทธิ์ ด้วยการตกตะกอนแยกยูเรเนียม ทอเรียมและแรร์เอิร์ท โดยจาก
สารละลายไฮดรอกไซด์เราสามารถทำการตกตะกอนแยกยูเรเนียม ทอเรียม และแรร์เอิร์ท ออกจากกันได้
ด้วยการควบคุมสภาพความเป็นกรดเป็นด่างหรือการแลกเปลี่ยนไอออนหรือการสกัดด้วยสารอินทรีย์

² Cuthbert, F. L., Thorium production technology. (U.S.A : Addison-Wesley
Publishing Company, Inc., 1958), pp. 87.

2.4 การทำให้บริสุทธิ์

การทำให้บริสุทธิ์คือการแยกเอาตัวที่ต้องการคือ ทอเรียมและยูเรเนียมออกจากสิ่งเจือปนมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การตกตะกอน การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ การทำการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของสิ่งเจือปน ความยุ่งยากในการทำและความคุ้มทุน

2.4.1 การทำทอเรียมให้บริสุทธิ์

2.4.1.1 การตกตะกอน การแยกสิ่งเจือปนออกจากทอเรียมด้วยการตกตะกอนมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนเป็นคาร์บอเนต การตกตะกอนเป็นออกซาลาเลท การตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์

2.4.1.1.1 การตกตะกอนเป็นคาร์บอเนต ทำได้ 2 วิธี วิธีแรก คือการทำในขั้นตอนการละลายโดยละลายตะกอนเมททอลออกไซด์ด้วยสารละลายคาร์บอเนตหรือวิธีหลังเติมเกลือคาร์บอเนตที่มากพอในสารละลายกรดเกลือของเมททอลออกไซด์ โดยทอเรียมจะเกิดเป็นตะกอนทอเรียมคาร์บอเนตปนอยู่กับตะกอนของแรร์เอิร์ท ดังสมการ



เนื่องจากสามารถตกตะกอนทอเรียมได้น้อยและปนกับตะกอนของแรร์เอิร์ทจึงไม่เป็นที่นิยมกัน

2.4.1.1.2 การตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ โดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ตกตะกอนสารละลายตะกอนเมททอลออกไซด์ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย การใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มีข้อดี คือ ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย ราคาถูกกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่นิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่าเพราะสามารถใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการสกัดมาใช้ได้อีกทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ควรทำการเจือจางสารละลายด้วยน้ำอย่างน้อยประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ก่อนทำการตกตะกอน

³ นัยนา ศรีदारนพ. การสกัดและหาปริมาณของธาตุทอเรียมจากทรายโมนาไซต์ในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2517).

2.4.1.1.3 การตกตะกอนเป็นฟอสเฟต โดยการใส่ฟอสเฟตเป็นตัวตกตะกอนทอเรียม ฟอสเฟตจะตกตะกอนออกมาก่อนตามด้วยแอร์เวิร์ทออกไซด์ วิธีนี้ยุ่งยากในการทำให้บริสุทธิ์

2.4.1.1.4 การตกตะกอนเป็นเปอร์ออกไซด์ ยูเรเนียมและทอเรียมจะตกตะกอนที่ pH 2 ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ วิธีนี้เหมาะสำหรับแยกยูเรเนียมและทอเรียมออกจากแอร์เวิร์ทแต่ไม่นิยมใช้เพราะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีราคาแพง

2.4.1.2 การแยกโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ การสกัดเอาทอเรียมออกจากสิ่งเจือปนเพื่อทำให้บริสุทธิ์ด้วยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์นั้นอาจทำได้หลายวิธี มีการสกัดทอเรียมทั้งในสารละลายที่เป็นกรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก กรดไนตริก หรือในของผสมระหว่างกรดไนตริกกับเกลือไนเตรตด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน

2.4.1.2.1 ใช้เมลิติลออกไซด์ เมลิติลออกไซด์เป็นของเหลวที่มีลักษณะเป็นน้ำมัน ไม่มีสี มีความถ่วงจำเพาะ 0.856 ที่ 20 °ซ. จุดเดือด 128 °ซ. เป็นตัวสกัดทอเรียมเพื่อหาปริมาณทอเรียมจากแร่และเป็นวิธีที่ทำให้ปริมาณของทอเรียมเข้มข้นขึ้นจากสารละลายที่มีทอเรียมน้อยๆ วิธีสกัดทำโดยการตกตะกอนออกซาเลทหลังจากการละลายแร่ในกรดแล้วละลายตะกอนด้วยกรดไนตริก เติมนอะลูมิเนียมไนเตรตแล้วจึงสกัดทอเรียมด้วยเมลิติลออกไซด์โดยใช้ปริมาตรเท่าๆกัน ทอเรียมจะแยกออกมาจากสารอื่นที่เจือปนอยู่รวมทั้งแอร์เวิร์ทด้วยสามารถกำจัดแอร์เวิร์ทที่ติดออกมาเล็กน้อยด้วยสารละลายของกรดไนตริกผสมกับอะลูมิเนียมไนเตรต

2.4.1.2.2 ใช้ไตรบิวทิลฟอสเฟต สารนี้อยู่ตัวดี มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประมาณ 8 ไม่ระเหยที่อุณหภูมิห้อง ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย เสถียรต่อสารเคมีแม้จะเป็นกรดไนตริกเข้มข้นสูงถึง 16 โมล มีความหนืดสูง และมีความหนาแน่น 0.973 ที่ 25 °ซ. ไตรบิวทิลฟอสเฟตใช้เป็นตัวทำละลายกันอย่างกว้างขวางในการสกัดยูเรเนียมและทอเรียมออกจากแร่แต่เนื่องจากไตรบิวทิลฟอสเฟตมีความหนืดและค่า specific gravity เท่ากับ 0.98 ซึ่งใกล้เคียงกับของน้ำทำให้ยากต่อการแยกชั้นในการสกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเจือจางไตรบิวทิลฟอสเฟตด้วยสารทำละลายตัวอื่น เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) นอร์มอลบิวทิลอีเทอร์ (n-butyl ether) เฮพเทน (heptane) เบนซีน (benzene) น้ำมันก๊าด (kerosene) โดยจะทำให้เจือจางลงไป 10-40 % โดยปริมาตร แม้ว่าความสามารถในการสกัดจะลดลงแต่สารเจือปนอื่นๆ ที่จะถูกสกัดออกมาด้วยก็จะลดลงด้วยเช่นกัน ขั้นตอนการสกัดทำโดยการตกตะกอนออกซาเลทสารละลายทอเรียมซัลเฟตแล้วละลายตะกอนออกซาเลทด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 8 โมล การใช้กรดเข้มข้นจะทำให้สัมประสิทธิ์การกระจายของทอเรียมในสารละลายไตรบิวทิลฟอสเฟตเพิ่มขึ้นแล้วจึงนำไปสกัดด้วยไตรบิวทิลฟอสเฟตเจือจางในตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้เจือจาง คือ น้ำมันก๊าด ทอเรียมที่สกัดออกมานั้นจะอยู่ในชั้นของไตรบิวทิลฟอสเฟตสามารถทำให้กลับมามีอยู่ในชั้นน้ำได้ด้วยการเขย่าไตรบิวทิลฟอสเฟตที่มีทอเรียมอยู่กับน้ำกลั่นหรือสารละลายกรดเจือจาง

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของไตรบิวทิลฟอสเฟต⁴

Formula	(n-C ₄ H ₉ O) ₃ PO
Molecular weight	266.32
Color	Colorless
Density, g/ml at 25 °C	0.9730
Refractive point , n _D ²⁰	1.4245
Melting point , °C	< - 80
Specific heat , cal/g-°C at 25 °C	0.41
Latent heat of vaporization , cal/g-mol	14680
Boiling point , °C at 760 mm Hg pressure	289
Boiling point , °C at 1 mm Hg pressure	121
Vapor pressure , mm Hg at 100 °C	ca. 1.0
Vapor pressure , mm Hg at 25 °C	0.006
Flash point (Tag closed cup) , °C	146 (295 °F)
Viscosity , milipoises at 30 °C , 25 °C , 20 °C	29.5 , 33.2 , 37. 4
Solubility in water , g/l at 25 °C	0.39
Solubility of water in butyl phosphate , g/l at 25 °C	64
Surface tension , dynes/cm at 25 °C	25
Dielectric constant at 30 °C	7.97

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของน้ำมันก๊าด⁴

Flash point	38 °C (100 °F) minimum (closed cup)
Specific gravity	0.8 g/cc maximum at 25 °C (77/39 °F)
Boiling point range	149-205 °C (300-400 °F)
Viscosity	2.0 cp maximum at 25 °C (77 °F)
Olefin and aromatic content	2 % maximum by volume

⁴ Harrington, C. D. and Ruehle, A. E., Uranium production technology. (U.S.A : the Colonial Press Inc., 1959), pp. 28, 147.

2.4.2 การทำให้ยูเรเนียมบริสุทธิ์

เมื่อแยกตะกอนแร้วีร์ทและทอเรียมออกจาธาตุ จะเหลือยูเรเนียมซัลเฟตและสิ่งเจือปนอื่นๆอยู่ในสารละลายเพื่อให้เปอร์เซ็นต์ของยูเรเนียมบริสุทธิ์มากขึ้นต้องจำกัดสิ่งเจือปนเหล่านั้นออกจากยูเรเนียม อาจทำได้หลายวิธีเช่นเดียวกับการทำทอเรียมให้บริสุทธิ์ เช่น การตกตะกอน การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ และวิธีที่จะทำให้ยูเรเนียมปราศจากสิ่งเจือปนได้ดี คือ การแลกเปลี่ยนไอออน

2.4.2.1 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

หลักการของการแลกเปลี่ยนไอออนอาศัยหลักการที่ไอออนลบเชิงซ้อนของยูเรเนียมในสารละลายของกรดเจือจางถูกดูดซับจากน้ำชะล้างโดยใช้เรซินสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เมื่อยูเรเนียมถูกทำให้เข้มข้นในเรซินแล้วจะแทนที่ยูเรเนียมเหล่านั้นในเรซินด้วยสารละลายของกรดเกลือที่เหมาะสมจะได้น้ำล้างยูเรเนียมที่มียูเรเนียมบริสุทธิ์สูงมากขึ้น

การแลกเปลี่ยนไอออนนั้นจะประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่สองขั้นตอนคือ การดูดซับ และอีลูชัน

ก. การดูดซับ เป็นกระบวนการขจัดไอออนในสารละลายออกด้วยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนดูดซับเอาไว้ซึ่งปกติแล้วปริมาณยูเรเนียมที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับไอออนลบเชิงซ้อนที่มีอยู่ในสารละลาย ปกติแล้วตำแหน่งในเรซินแต่ละแห่งจะแย่งกันดูดซับไอออนลบในสารละลายเรซินที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนนั้นถือว่าเป็นกรดหรือต่างที่ไม่สามารถจะถูกละลายได้รวมทั้งเกลือของกรดหรือต่างเหล่านี้ก็จะไม่ถูกละลายได้เช่นกัน เรซินเหล่านี้ประกอบด้วยเมทิลโครโมเลกุลที่รวมตัวกันเป็นโพลีอิเล็กโตรไลต์สูงโซ่โดยลูกโซ่นี้จะเชื่อมโยงกันและมีกลุ่มที่เป็นกรดหรือต่างเป็นจำนวนมากบรรจุอยู่ซึ่งสามารถจะเกิดไอออนในเซชันได้ ทำให้พวกไอออนลบอิสระหรือไอออนบวกอิสระที่เกิดขึ้นสามารถจะแลกเปลี่ยนกับไอออนบวกหรือไอออนลบอื่นๆ ในสารละลายได้ ดังนั้นในสภาวะจลน์สมดุลจะมีไอออนลบและไอออนบวกใหม่เกิดขึ้นและสามารถจับกลุ่มที่เป็นกรดหรือต่างแทนที่ไอออนเดิมได้

ข. อีลูชัน เป็นขั้นตอนของการเอายูเรเนียมออกจากเรซินที่ดูดซับยูเรเนียมเอาไว้และการทำให้เรซินอยู่ในสภาพที่จะดูดซับได้อีกอาจเรียกว่า รีเจนเนเรชัน แทนก็ได้ สารละลายที่ใช้ทำอีลูต เรียกว่า อีลูแอนต์ และสารละลายที่ไหลออก (อีลูเอนต์) ในตอนท้ายสุดเรียกว่า อีลูเอต ส่วนไอออนอื่นๆ ที่แยกออกไปด้วยกระบวนการปกติไม่ได้เรียกว่า พอยซัน อัตราการเกิดอีลูชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนที่จะถูกแทนที่ภายในเม็ดเรซินสูงก่อนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนและการควบคุมการซึมผ่านของไอออนลบทั้งสองได้อย่างสิ้นเชิง นั่นคือต้องใช้เวลาให้มีการสัมผัสกันและใช้อีลูแอนต์ในปริมาณมาก ดังนั้นจะต้องใช้ไอออนที่ไปเปลี่ยนแปลงยูเรเนียมไอออนลบเชิงซ้อนได้ในขณะที่มันเข้าไปแทนที่ เช่น สารละลายเจือจางของไนเตรตหรือคลอไรด์จะเกิดเป็นยูเรเนียมไอออนบวกเชิงซ้อนซึ่งจะไม่ถูกดูดซับได้แล้วไอออนพวกนี้จะหลุดออกจากเม็ดเรซินสู่สารละลายภายนอกได้โดยการแพร่กระจายซึ่งอัตราการเกิดอีลูชันจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายในกรณีนี้แน่นอน ในการทำอีลูชันนั้นควรจะให้เกิดปฏิกิริยาเร็วพร้อมทั้งมีปริมาตรของอีลูเอตน้อยที่สุดพวกเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบที่เป็นต่างแก้มักจะทำให้เรซินมีความพรุนเพิ่มมากขึ้น

อันเป็นเหตุให้เกิดอิลูชันได้เร็วขึ้น เรซินที่มีขนาดเล็กก็จะเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนได้เพราะจะสามารถลดระยะทางของการแพร่กระจายลงได้ ส่วนเรซินที่เป็นต่างอ่อนจะมีอัตราการเกิดอิลูชันได้ช้ากว่า

อิลูแอนต์ที่ดีต้องมีราคาถูก ไม่ถูกเรซินดูดซับได้มากจนเกินไป และเกิดการแทนที่ในขั้นตอนการดูดซับครั้งต่อไปได้ช้า การอิลูชันด้วยเกลือซัลเฟต (ใช้กรดซัลฟูริก) นั้นจะเกิดขึ้นช้ามาก พวกไบซัลเฟตส่วนใหญ่จะถูกดูดซับโดยเรซินในระหว่างการอิลูชันด้วยกรดที่มีความเข้มข้นสูงและเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟตได้ในระหว่างการล้างด้วยการเกิดไฮโดรไลซิส ดังสมการ



ดังนั้นการอิลูชันด้วยซัลเฟตนั้นจะสมบูรณ์ได้เมื่อใช้อิลูแอนต์นี้ในปริมาณสูง ๆ แต่จะมีข้อดีกว่าอิลูแอนต์อื่น ๆ ดังนี้

- เรซินจะยังคงอยู่ในรูปของซัลเฟตจะดูดซับยูเรเนียมได้สะดวกกว่าในรูปของ ไนเตรต หรือคลอไรด์
- ไม่ก่อให้เกิดอออนลบชนิดอื่นเกิดขึ้น อันจะต้องกำจัดออกไป
- ใช้กรดซัลฟูริกนี้ในการอิลูชันครั้งต่อไปได้อีก

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอออนมีดังนี้

- นำอออนในสารละลายผ่านของเหลวที่เป็นฟิล์มอยู่รอบๆเม็ดเรซิน
- มีการแพร่กระจายอออนที่เข้ามาผ่านเข้าไปในเรซิน
- จะมีปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนกันระหว่างอออนที่เข้ามากับอออนที่ออกไปเกิดขึ้นภายในเรซิน
- มีการแพร่กระจายอออนที่ออกไปนั้น ผ่านออกไปยังผิวของเม็ดเรซิน
- เกิดการแพร่กระจายของอออนที่ออกไปผ่านเข้าไปตลอดของเหลวที่เป็นฟิล์มออกไปยังสารละลาย

2.4.2.2 เคมีของกระบวนการแลกเปลี่ยน

2.4.2.2.1 เรซิน เป็นสารสังเคราะห์ซึ่งมีหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.5 - 2.7 ถ้าแยกตามความสามารถในการแลกเปลี่ยนอออนจะแบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ

ก. เรซินแลกเปลี่ยนอออนบวกหรืออาจเรียกว่าตัวแลกเปลี่ยนอออนบวก ซึ่งประกอบด้วยสองกลุ่มย่อย คือ เรซินที่เป็นกรดแก่ โดยมีกลุ่ม $-\text{SO}_3\text{H}$ หรือ $-\text{OH}$ หรือ $-\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$ อยู่ในเรซินกับกลุ่มเรซินที่เป็นกรดอ่อน โดยมีกลุ่ม $-\text{COOH}$ อยู่ในเรซิน เรซินพวกนี้จะสามารถแลกเปลี่ยนอออนบวกจากกลุ่มที่เป็นของเรซินกับอออนที่เป็นบวกของเกลือที่มีอยู่ในสารละลายซึ่งสัมพันธ์กับเรซินนี้

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของเรซินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ⁵

Type of resin matrix	Functional Group(s)	Characteristics
Cross-linked polystyrene	-SO ₂ OH	Strongly acid cation exchangers
Cross-linked polystyrene	Quaternary ammonium type	Strongly basic anion exchangers
Phenolic	-OH, -CH ₂ SO ₂ OH, -SO ₂ OH	Strongly acid cation exchangers
Phenolic	-OH, -NH ₂ , -NHR, -NR ₁ R ₂	Weakly basic anion exchangers
Cross-linked polystyrene	-NH ₂ , -NHR, -NR ₁ R ₂	Weakly basic anion exchangers
Cross-linked methalic acid	-COOH	Weakly acid caation exchangers

ตารางที่ 2.6 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกชนิดต่างๆ⁶

Name	Manufacturer	Type	Total Capacity (meq/g)
Amberlite IR-120	Rohm&Haas Co.	Nuclear sulfonic (styrene base)	4.6
Dowex 50 (NalciteHCR)	Dow Chemical Co.	Nuclear sulfonic (styrene base)	4.6
Chempro C-20	Chemical Process Co.	Nuclear sulfonic (styrene base)	4.3
Permutit Q	Permutit Co.Ltd.	Nuclear sulfonic (styrene base)	4.3
Zeokarb 225	Permutit Co.Ltd.	Nuclear sulfonic (styrene base)	5.0
Amberlite IRC-50	Rohm&Haas Co.	Carboxylic (acrylic)	10.2
Zeokarb 226	Permutit Co.Ltd.	Carboxylic (acrylic)	10.1
Amberlite IR-1	Rohm&Haas Co.	Sulphonated phenolic	2.0
Dowex 30	Dow Chemical Co.	Sulphonated phenolic	6.2

ข. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ หรืออาจเรียกว่า ตัวแลกเปลี่ยนไอออนลบ ซึ่งจะมียกัณฑ์ควอเตอร์นารีแอมโมเนียม(-NR₃⁺OH) อยู่ในเรซินกับกลุ่มเรซินที่เป็นต่างอ่อน ซึ่งจะมียกัณฑ์ -OH หรือ -NH₂ หรือ -NHR หรือ -NR₁R₂ อยู่ในเรซิน เรซินพวกนี้จะสามารถแลกเปลี่ยนไอออนลบจากกลุ่มที่เป็นต่างของเรซินกับไอออนลบในสารละลายซึ่งสัมพันธ์กับเรซินนี้ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบมีหลายชนิด ดังแสดงในตาราง 2.7

⁵ Kunin, R., Ion exchange resins. (New York : John Willey & Sons Inc., 1963), pp. 65.

⁶ Ibid. , pp. 68.

ตารางที่ 2.7 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างๆ⁷

Name	Manufacturer	Type	Total Capacity (meq/g)
Amberlite IRA-400	Rohm & Haas Co.	Quarternary strong base (styrene)	3.9
Amberlit IRA-401	Rohm & Haas Co.	Quarternary strong base (styrene)	4.0
Dowex 1(Nalcite SBR)	Dow Chemical Co.	Quarternary strong base (styrene)	3.5
Dowex 2(Nalcite SAR)	Dow Chemical Co.	Quarternary strong base (styrene)	3.6
Amberlit IR-4B	Rohm & Haas Co.	Weak base (phenolic)	10.0
Dowex 3	Dow Chemical Co.	Weak base (styrene)	6.0
Wofatit L150	Wolfen-Farben	Mixed base quarternary and tertiary amines	10.0
Duolite A-47	Chemical Process Co.	Mixed base quarternary and tertiary amines
Duolite A-40LC	Chemical Process Co.	Porous strong base	3.0
Permutit 447	Permutit Co.	Porous strong base

ตารางที่ 2.8 เรซินไอออนลบที่นิยมใช้ทำการแลกเปลี่ยนไอออนยูเรเนียม⁸

Resin	Manufacturer
Amberlite IRA-400	Rohm & Hass Co.
Amberlite IRA-405	Rohm & Hass Co.
Amberlite IRA-425	Rohm & Hass Co.
Dowex 1	Dow Chemical Co.
Dowex-11	Dow Chemical Co.
Dowex-21K ^a	Dow Chemical Co.
Ionac A-580	Ionac Chemical Co.
Ionac A-590 ^a	Ionac Chemical Co.
Permutit (Ionac)SK	Ionac Chemical Co.
Permutite SKB ^a	Ionac Chemical Co.
Nalcite	
Duolite A-101D	Diamond Alkali Co.

^a Available ad coarse-bead product for use in resin-in- pulp circuits.

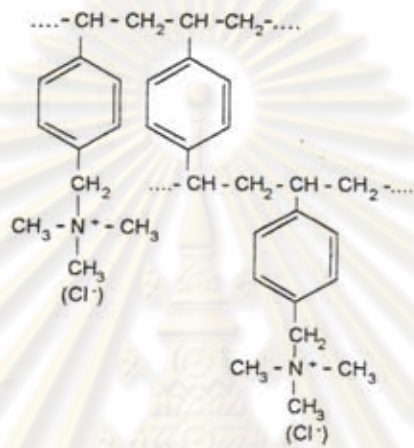
^b Dowex resins marketed by Nalco Chemical Company.

⁷ Ibid , pp. 90.

⁸ Ibid , pp. 92.

ในอุตสาหกรรมการผลิตยูเรเนียมนั้นจะใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดไอออนลบที่เป็นต่างแก่หรือต่างปานกลาง เรซินพวกนี้จะมีลักษณะเป็นเจลที่ค่อนข้างแข็ง มีรูพรุนกลม ซึ่งเรซินไอออนลบที่นิยมใช้กับยูเรเนียมมีแสดงดังตาราง 2.8

พวกเรซินไอออนลบที่เป็นต่างแก่นั้นจะมีกลุ่มของควอเตอร์นารี - แอมโมเนียม เป็นไอออนส่วนที่ไวต่อปฏิกิริยาเรซินนี้เตรียมได้โดยการทำคลอโรเมทิลเลชันกับเมทโพลีสไตรีนแล้วจึงนำมาทำปฏิกิริยากับเทอร์เทียรีเอมีนจะได้เป็นเรซินที่อยู่ในรูปของคลอไรด์



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของพวกเรซินไอออนลบที่มีกลุ่มของควอเตอร์นารี - แอมโมเนียม

2.4.2.2 แอมเบอร์ไลต์-ไออาร์เอ-400 (Amberlite IRA-400)

เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เป็นต่างแก่ โดยมีโพลีสไตรีนต่ออยู่กับไดวินิล-เบนซีนกลายเป็นกลุ่มของควอเตอร์นารี - แอมโมเนียม ปกติจะอยู่ในรูปคลอไรด์ มีลักษณะเป็นเม็ดจะไม่เกิดปฏิกิริยากับตัวทำละลายต่างๆไปกรดแก่หรือด่างและสารออกซิไดซิงหรือรีดิวซิงที่ไม่รุนแรงแต่ไม่ควรให้สัมผัสกับสารออกซิไดซิงที่รุนแรงโดยเฉพาะเมื่อมีความเข้มข้นสูงต้องให้เรซินมีความชื้นและมีลักษณะบวมอยู่เสมอไม่ควรปล่อยให้แห้งเพราะจะทำให้แตกได้ง่าย คุณสมบัติต่างๆ ของเรซินแอมเบอร์ไลต์ - ไออาร์เอ - 400 ที่ใช้ทำการทดลองดังแสดงในตาราง 2.9

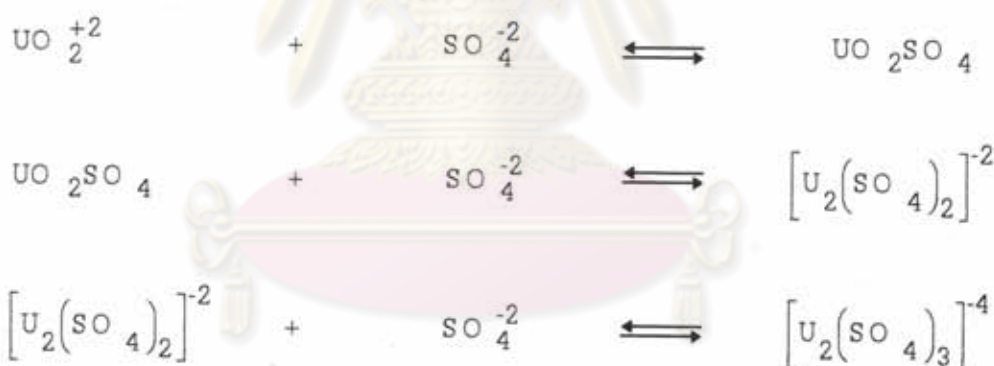
สารละลายที่มีกรดหรือกรดเกลือที่เข้มข้นและมีไอออนลักษณะพิเศษปรากฏอยู่นั้น จะไม่มีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชนิดนี้ในสารละลายซึ่งมี pH ต่ำกว่า 10 นั้นเรซินชนิดนี้จะสามารถดูดซึมไอออนลบไว้ได้หมด

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของ Amberlite IRA-400⁸

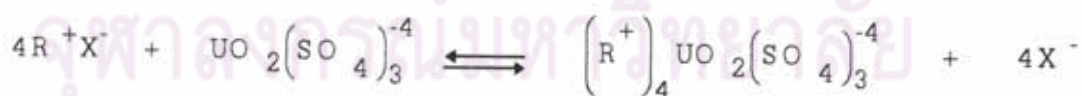
Gel form (g)	25
Crosslinkage (%/100g)	8
Mixture Content (%)	45
Wet mesh	16-50
Total Exchange Capacity : meq./ml wet resin	1.4
meq./g dry resin	3.8

2.4.2.2.3 ปฏิกริยาของการแลกเปลี่ยนไอออน

ในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนั้นจะรวมถึงการที่ยูเรเนียมไอออน (U^{+6} or UO_2^{+2}) เกิดเป็นไอออนลบเชิงซ้อนกับซัลเฟตไอออน (SO_4^{-2}) หรือคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{-2}) โดยในสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางนั้น ยูเรเนียมแคทไอออน ยูเรเนียมซัลเฟตไอออนลบเชิงซ้อน จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



การแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นเมื่อเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบได้ดูดซับไอออนลบเชิงซ้อนเหล่านี้ดังสมการ



โดย R^+ = the fixed ion-exchange sites of the resin

X^- = mobile ion

⁸ Ibid., pp. 309.