

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอนแนะ

การวิจัยในเรื่องนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาขบวนการผลิตโลหะธาตุเรเนียมที่ใช้ขั้นตอนในการผลิตไม่ยุ่งยาก เป็นอันตรายน้อย สามารถจัดหาวัสดุและเครื่องมือได้ง่าย และเป็นการทดลองเตรียมในปริมาณน้อย เนื่องจากอุปกรณ์บางอย่างมีจำกัดซึ่งพอจะสรุปผลการวิจัยรวมทั้งข้อเสนอนแนะ ดังต่อไปนี้

6.1 ขั้นตอนการตกตะกอนอัมโมเนียมโดยเรเนต

ในขั้นตอนนี้สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนได้ คือ ใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง 3.2 ตะกอนที่ได้มีผลึกขนาดใหญ่ ดังจะเห็นได้จากตาราง 5.1 และ 5.2 ตะกอนที่มีผลึกใหญ่นี้ทำให้สะดวกในการล้างในเตรตออก ซึ่งจะมีผลึกบางส่วนแยกตัวออก ดังจะเห็นได้จากการหาผลึกสมบูรณ์ภายหลังจากในตาราง 5.3

การตกตะกอนที่ความเป็นกรด-ด่าง จะได้ผลดีที่สุดจะเห็นได้ในตาราง 5.5 วิธีแก้ คือ ตกตะกอนเป็น 2 ขั้น โดยในขั้นแรกให้เรเนียมร้อยละ 90 ตกตะกอนที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ (3.2) จากนั้นเพิ่มปริมาณต่างให้ความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น (7.8) เพื่อให้เรเนียมที่เหลืออยู่ทั้งหมดตกตะกอน ซึ่งตะกอนที่ได้ส่วนน้อยจะมีขนาดเล็ก แต่จะได้ผลึกที่ลุด

6.2 ขั้นตอนการทำอิเล็กโทรไลติก รีดักชัน

ในการหาสภาวะของการทำอิเล็กโทรไลติก รีดักชัน พบว่าพื้นที่ของขั้วคาโทดและความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อเวลาที่ใช่มาก (ตาราง 5.8 และ 5.9) พื้นที่ของขั้วแอโนด และอุณหภูมิที่ใช้มีผลน้อยมาก (ตาราง 5.7 และ 5.10) การรีดักชันจะเร็วที่สุดเมื่อความหนาแน่นของกระแส ต่อพื้นที่ของคาโทด (cathode current density) สูงที่สุด ความเข้มข้นของสารละลายถูกจำกัดโดยความสามารถในการละลายของยูเรนิลซัลเฟต ซึ่งสามารถละลายได้ 20.5 กรัม ใน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 15.5 องศาเซลเซียส และ 22.2 กรัม ที่ 100 องศาเซลเซียส<sup>(18)</sup>

การรีดักชันปริมาณมาก พบว่าอัตราการผลิตรีดักชันเท่ากับ 0.328 ถึง 0.45 กรัมยูเรเนียม ต่อชั่วโมง ต่อตารางเซนติเมตรของคาโทด และใช้กำลังไฟ 0.524 ถึง 0.845 วัตต์-ชั่วโมง ต่อกรัม

ยูเรเนียม หรือ 0.845 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อยูเรเนียม 1 กิโลกรัม ในตาราง 5.11 แสดงให้เห็นผลของการรบกวนในบางครั้งถึงร้อยละ 99.13 การใช้ชีวพลกัมเกิดผลดี เนื่องจากมีการสีกก่อน น้อยมาก ดังจะเห็นได้จากการวิเคราะห์ปริมาณปรอท ในข้อ 5.9 แต่ต้องระมัดระวังอันตรายจากการ ใช้ปรอท

### 6.3 ขั้นตอนการตกตะกอนยูเรเนียมเตตระฟลูออไรด์ และดีไอเตรซัน

การเตรียมยูเรเนียมเตตระฟลูออไรด์โดยวิธีเปียก (wet process) มีข้อเสียเปรียบหลาย ประการคือ

ก. ผลผลิตที่ได้มีความหนาแน่นต่ำดังจะเห็นได้ในตาราง 5.14 ซึ่งทำให้บรรจุในบอมบ์ได้น้อย กว่า แต่แก้ไขได้โดยการอัดเป็นก้อน (biquette)

ข. ในขบวนการมีน้ำอยู่ด้วย ทำให้ยูเรเนียมวาเลนซ์ + 4 บางส่วน เกิดออกไซด์ขึ้น เป็น ยูเรเนียม + 6 ซึ่งจะทำให้ยูเรเนียมเตตระฟลูออไรด์มีสิ่งเสียดปน (contaminate) เพิ่มขึ้น

ค. ขบวนการดีไอเตรซันที่ดีควรทำในบรรยากาศของกรดไฮโดรฟลูออริก โดยกรดจะเปลี่ยน ยูเรเนียมไดออกไซด์ และยูเรเนียมฟลูออไรด์ ให้กลับมาเป็นยูเรเนียมเตตระฟลูออไรด์ได้ ซึ่งในกรณีที่ ใช้ก๊าซไนโตรเจนที่ปราศจากออกซิเจน และ แห้ง ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบทั้งสองได้ การให้ความร้อนที่สูงเกินไปโดยที่ไอน้ำที่ กิดขึ้น มิได้ถูกพาออกไปทันทีทำให้เกิดยูเรเนียมไดออกไซด์ขึ้น การให้ความร้อนไม่เพียงพอ ทำให้ไอน้ำในผลึก ( $\frac{3}{4} \text{H}_2\text{O}$ ) ออกไปไม่หมด ดังจะเห็นได้จากตาราง 5.15 ยังคงมีน้ำในโมเลกุลอีกร้อยละ 18.91 น้ำที่เหลืออยู่เกิดปฏิกิริยาได้ดังสมการในข้อ 2.1.2.3

การหาขนาดของยูเรเนียมเตตระฟลูออไรด์ทำได้ยาก เนื่องจากผลึกเกาะกันเอง การทำให้แห้งเพื่อหาขนาดโดยการร่อนด้วยแรง ทำให้ผลึกเกาะกันเป็นก้อน การบดเพื่อร่อนทำให้ขนาดผิด จากความเป็นจริง การร่อนขณะเปียกทำให้ผลึกแตก ซึ่งความหนาแน่นจะลดลงอีก

การแก้ปัญหา โดยเติมก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ในก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ตามรูป 2.21 ปริมาณยูเรเนียมไดออกไซด์ลดลงเหลือร้อยละ  $10^{-2}$  เมื่อเติมก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์เข้าไป 0.6 ลูกบาศก์เดซีเมตรต่ออนาทึ ยูเรเนียมเตตระฟลูออไรด์ที่ไม่บริสุทธิ์ทำให้สิ้นเปลืองแคลเซียมส่วนหนึ่งไป โดยการเกิดปฏิกิริยา

การใช้ก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ อุปกรณ์ที่ใช้จะต้องทนต่อการกัดกร่อนของกรดนี้ได้

#### 6.4 ขั้นตอนการรีดักชันเป็นโลหะธาตุเรเนียม

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เป็นสาเหตุใหญ่ที่ปฏิกิริยาที่ได้จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ หรือ ไม่ ยึด จะสูงหรือต่ำ ดังมีรายละเอียดดังนี้

ก. การบวมบดกันในด้วยแร่ฟลูออไรด์สปาร์ หลังจากการรีดักชันพบว่า แร่ที่บวม ๆ รวมทั้ง ด้านบนและด้านล่างของสารที่ป้อนนั้นได้รับความร้อนสูงมาก บางส่วนถูกหลอมและสับ เป็นก้อนแข็ง ช่องว่างระหว่างเม็ดแร่เป็นทางออกของไอแคลเซียม ทำให้สูญเสียไปบางส่วน ปฏิกิริยาจึงเกิดกับยูเรเนียม เตตระฟลูออไรด์ไม่สมบูรณ์

ข. ปริมาณสารที่ป้อนขึ้นอยู่กับขนาดของบอมบ์ ในการทดลองโดยใช้บอมบ์ขนาดนี้พบว่า แคลเซียมที่ใช้เพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาเท่านั้น และความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสูญเสียออกไปภายนอกบอมบ์ จึงไม่มีความร้อนเหลืออีกปริมาณหนึ่งที่จะคงให้ทั้ง โลหะธาตุ และตะกั่วหลอมตัว และแยกออกจากกันได้

ค. เมื่อความร้อนที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอที่จะแยกโลหะธาตุ กับตะกั่ว จึงทำให้เกิดยูเรเนียม ชนิดเป็นผง (powder) ส่วนหนึ่งและเป็นโลหะพ่นฝังอยู่ในเนื้อของแคลเซียมฟลูออไรด์อีกส่วนหนึ่งซึ่ง ส่วนหลังนี้มีปริมาณมากกว่าแสดงว่า โลหะธาตุเรเนียมที่เกิดอยู่ในสภาวะของแข็ง ไม่หลอมเหลวในขณะที่ ตะกั่วก็ยังคงอยู่ในสภาวะของแข็ง เช่นเดียวกัน

ง. โลหะธาตุที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99.46 และ เมื่อนำไปหลอมเป็นก้อนใหญ่ ขึ้นมีความหนาแน่น 18.10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

จ. ขั้นตอนรีดักชันขั้นนี้จะต้องระมัดระวังออกซิเจน และความชื้นที่อยู่ในบอมบ์ เพราะเป็น สาเหตุสำคัญที่ทำให้ยึดลดลง

ฉ. การศึกษาต่อไป ควรที่จะเพิ่มปริมาณของสารตั้งต้นโดยใช้บอมบ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า และมี เตาเผาเฉพาะที่สามารถให้ความร้อนเป็นแถบ ๆ จากด้านล่างขึ้นไปด้านบน เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดทางด้าน ล่างก่อนจะทำให้เกิดการแยกตัวดีกว่า เนื่องจากตะกั่วที่ร้อนเหนือโลหะ ช่วยให้อุณหภูมิของโลหะยังคง หลอมเหลว

ศึกษาการเติมสารที่ช่วยให้เกิดความร้อนขึ้น เช่น ไอโอดีน โพแทสเซียมคลอเรต และโพแทสเซียมไฮโปไฟอสเฟต ว่ามีผลต่อความบริสุทธิ์ของโลหะธาตุที่ได้ และปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเพียงพอต่อการ แยกตัวของโลหะธาตุและตะกั่วหรือไม่