หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการเตรียมตะกอน แอมโมเนียมไดยูเรเนต (ADU)

ในการเตรียมตะกอน แอมโมเนียมไดยูเรเนต โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายยูเรนิลไนเตรต และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์แบบต่อเนื่อง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอน และลักษณะของตะกอนมากที่สุด คือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของการทำปฏิกิริยา กล่าวคือถ้าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าต่ำกว่า 7.0 การตกตะกอนจะต่ำ เพราะอัตราการละลายของยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้นเร็วมาก นอกจากนั้นตะกอนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างนอกช่วง 7.0 - 8.0 จะไม่ใช่สารประกอบในรูปของแอมโมเนียม ไดยูเรเนต (ADU) ที่แท้จริง $(NH_4)_2U_2O_7$ แต่เป็นสารประกอบซึ่งมีสูตรในรูปทั่วไปคือ $UO_2(OH)_2.xH_2O.yNH_3$ และถ้าทำปฏิกิริยาที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 8.0 การตกตะกอนจะดำเนินไปช้ามาก และกรองได้ยากมาก และมีเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในตะกอนหลังกรองมากกว่าตะกอนที่เตรียมโดยใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าด้วย จากการเปรียบเทียบลักษณะของตะกอน ADU ที่เตรียมโดยใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.5 และ 8.0 พบว่าที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 8.0 จะให้ตะกอนที่ละเอียดกว่า และกรองได้ยากกว่า ตะกอนที่เตรียมโดยใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.5 เพียงเล็กน้อย และยังให้รูปร่างของอนุภาคที่เหมาะสม กล่าวคือ ได้ผงของ UO_2 ที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งเหตุผลหนึ่งก็คือได้มาจาก ADU ซึ่งมีลักษณะและรูปร่าง (Shape) ของอนุภาคที่มีโพรงปิด (Closed pores) ไม่มากนัก

นอกจากนี้ผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าลักษณะของตะกอน ADU ที่ได้จากสารละลายยูเรนิลไนเตรตที่ความเข้มข้น 80, 100, 120 และ 150 กรัมยูเรเนียมต่อลิตรนั้น ไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ ตะกอนของ ADU ที่ได้จากสารละลายยูเรนิลไนเตรตเข้มข้น 120 กรัมยูเรเนียมต่อลิตร จะมีขนาดเล็กกว่ากรณีอื่น ๆ เล็กน้อย และกรองค่อนข้างยากกว่า ในส่วนของ Residence time เท่ากับ 20 นาทีนั้น ทำให้ได้ผงของ ADU ที่เมื่อผ่านการ Calcination และ Reduction ในเงื่อนไขที่เหมาะสมแล้ว จะได้ผงของ UO_2 ที่สามารถเผาประสานได้ดี ซึ่งอธิบายได้ว่า การปล่อยให้การ

ตกตะกอนดำเนินไปนาน 20 นาทีนั้น เป็นช่วงเวลาที่พอเหมาะที่ทำให้ได้ตะกอนของ ADU ที่เป็นผงละเอียด มีพื้นที่ผิวมากและไม่เป็นผลึกสมบูรณ์ (Semiamorphous) ซึ่งลักษณะเหล่านี้จะยังคงปรากฏเมื่อผงของ ADU ได้รับการเปลี่ยนไปเป็น UO_2 แล้ว และทำให้สามารถเผาประสานได้ดีดังกล่าว

สรุปได้ว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างของการทำปฏิกิริยาความเข้มข้นของสารละลาย และ Residence time ของการตกตะกอน มีผลต่อลักษณะของตะกอนของ ADU และผงของ UO_2 ที่เตรียมได้จากตะกอนของ ADU ดังกล่าว

5.2 สรุปผลการเตรียมเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียมไดออกไซด์

การนำเอาผงของ ADU ไปเผาเป็น UO_3 ในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 300, 350 และ 400 องศาเซลเซียส นั้นพบว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ให้ขนาดของอนุภาคของ UO_3 เฉลี่ยเล็กกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยอื่น ๆ ที่แสดงไว้ว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส ขึ้นไปเท่านั้น UO_3 ที่ได้จึงจะมีขนาดใหญ่ขึ้นมาก

ขนาดอนุภาคของ UO_3 ที่ได้จากการเผาผง ADU พบว่ามีขนาดเล็ก ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเป็นเพราะในการเผา ADU นั้น จะเกิดการสลายตัวให้ก๊าซแอมโมเนีย และไอน้ำ ดังสมการ

$$(NH_4)_2U_2O_7 \longrightarrow 2UO_3 + 2NH_3 + H_2O \text{ (Steam)}$$

ซึ่งทำให้ผง UO_3 ที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนและแตกออกเป็นเม็ดที่มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม โดยยังคงคุณลักษณะของ Semiamorphous ของผง ADU ไว้เช่นเดิม

ผง UO_2 ที่เตรียมได้จากการรีดิวซ์ผงของ UO_3 ที่อุณหภูมิ 630 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของ H_2/Ar พบว่ามีอัตราส่วนของ O/U ตั้งแต่ 2.07 - 2.35 และมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 8.15 - 11.38 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างไรก็ตามมีบางตัวอย่างที่ผลการทดลองแสดงว่ามีค่าอัตราส่วนของ O/U สูงถึง 2.50 - 2.59 ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เนื่องจากการรีดิวซ์เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จึงทำให้อัตราส่วนของ O/U มีค่าสูงดังกล่าว

การอัดเม็ดยูเรเนียมไดออกไซด์ ได้ใช้วิธีการอัดเย็นด้วยความดัน 5 ตันต่อตารางเซนติเมตร และได้ความหนาแน่นของเม็ด UO_2 หลังอัดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าความหนาแน่นตามทฤษฎี

ส่วนการเผาประสานเม็ด UO_2 (Compact) เพื่อให้ได้เม็ด UO_2 ที่มีความหนาแน่นสูง กระทำภายใต้บรรยากาศของ $H_2/Ar/CO_2$ ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง จะได้เม็ด UO_2 หลังเผาประสานที่มีความหนาแน่นในช่วง 9.36 - 9.87 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือในช่วง 85.40 - 90.05 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นตามทฤษฎี การที่ได้ความหนาแน่นของเม็ด UO_2 หลังเผาประสานไม่ถึง 92 เปอร์เซ็นต์ ของค่าตามทฤษฎี หรือ 10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรก็เพราะว่า การเผาประสานในการทดลองครั้งนี้เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เพราะใช้อุณหภูมิเพียง 1,200 องศาเซลเซียสเท่านั้น การจะให้ได้ความหนาแน่นถึง 92 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าจะต้องใช้อุณหภูมิในการเผาประสานถึง 1,600 - 1,700 องศาเซลเซียส [12,14] นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางไมโคร และลักษณะสมบัติทางกายภาพของผง UO_2 อีกด้วย เช่น ในกรณีที่ผง UO_2 มีโพรงปิด (Closed pores) อยู่มาก (ซึ่งอาจเนื่องจากการควบคุมเงื่อนไขในการเตรียมไม่ดี) ก็จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของเม็ด UO_2 หลังการเผาประสานมีค่าต่ำไปด้วย

5.3 <u>ข้อดีของการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียมไดออกไซด์ (UO_2) โดยวิธีโลหะวิทยาแบบผงอัดจากการเตรียมผ่านสารประกอบแอมโมเนียมไดยูเรเนต (ADU)</u> มีดังนี้คือ

5.3.1 ผง UO_2 ที่เตรียมได้โดยวิธีนี้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียด มีพื้นที่ผิวมาก และสามารถเผาประสานได้ดี

5.3.2 ใช้อุณหภูมิในการเผาและการรีดิวซ์ต่ำ

5.3.3 วิธีโลหะวิทยาแบบผงอัด ช่วยให้สามารถควบคุมขนาดของเม็ดเชื้อเพลิงได้ง่ายในกรณีที่ผลิตเป็นจำนวนมาก

5.4 <u>ข้อเสนอแนะ</u>

5.4.1 ควรให้มีการวิจัยเปรียบเทียบการตกตะกอน ADU โดยใช้ก๊าซแอมโมเนียแทนการใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ตามที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากสามารถลดปริมาตรของสารละลายลงได้ เป็นการลดการสูญเสียยูเรเนียมที่ละลายลงได้ และเพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะด้านการเผาประสานของผงยูเรเนียมไดออกไซด์ที่ได้

5.4.2 ควรให้มีการตรวจสอบรูปร่างและโครงสร้างไมโครของ UO_2 โดย Electron Microscope หรือวิธีการทาง Metallography

5.4.3 ควรใช้เตาเผาแบบรีดิวซ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ของการทำปฏิกิริยา หรืออาจใช้เตาเผาแบบรีดิวซ์ชนิด Stirred-bed reactor เพื่อช่วยให้ผงยูเรเนียมไตร-ออกไซด์ สามารถสัมผัสกับก๊าซที่ใช้ในการรีดิวซ์ได้อย่างทั่วถึง ด้วยวิธีนี้จะสามารถลดเวลาในการรีดิวซ์ลงได้มาก

5.4.4 ตามขั้นตอนการเผาประสานควรใช้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าที่ใช้ในการทดลองนี้คือ สูงถึง 1,600 - 1,700 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้เม็ด UO_2 ที่มีความหนาแน่นสูงขึ้นใกล้เคียงกับความหนาแน่นตามทฤษฎี

5.4.5 หลังการเผาประสานที่อุณหภูมิสูงแล้วควรค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันมิให้เกิดการร้าวของเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งอาจเกิดจาก Thermal shock ได้ ถ้าลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วเกินไป ทั้งนี้เพราะว่ายูเรเนียมไดออกไซด์มีสภาพการนำความร้อนจำเพาะต่ำนั่นเอง

5.4.6 ควรเผาไล่ตัวหล่อลื่น (Lubricant) ออกจากผงอัด UO_2 อย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการแตกร้าวของเม็ดเชื้อเพลิงในระหว่างการเผาประสาน

5.4.7 การอัดเย็น ควรควบคุมขนาดของผงอัดไม่ให้ใหญ่เกินไปเพราะจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่าย ในระหว่างการเผาประสาน

5.4.8 ควรมีการทดลองวิจัยขยายการผลิตในระดับกึ่งห้องทดลอง โดยใช้เงื่อนไขจากการวิจัยครั้งนี้ เพื่อบุกเบิกต่อไปถึงขั้นโรงงานผลิตขนาดเล็ก

5.4.9 ควรให้มีการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง UO_2 โดยกระบวนการนี้ โดยเริ่มต้นจากแร่ยูเรเนียมในประเทศเพื่อพัฒนาความสามารถและเทคโนโลยีการผลิตให้ได้ครบวงจร