บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการเตรียมตะกอนแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต

ในการเตรียมตะกอนแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต พบว่าความเข้มข้นของสารละลายยูเรนิล ไนเตรต มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของยูเรเนียม ที่ตกตะกอน กล่าวคือ การตกตะกอนที่ใช้สารละลายเจือจาง จะให้เปอร์เซ็นต์การตกตะกอนต่ำ เพราะแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต สามารถละลายในน้ำเย็นได้ 5.8 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียส[9] ดังนั้น ในการตกตะกอนที่มีปริมาตรมาก ๆ เปอร์เซ็นต์การตกตะกอนก็จะต่ำลง และความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อรูปร่างและขนาดของผลึก

อัตราส่วนจำนวนโมล ของคาร์บอนและยูเรเนียม มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี คือ เมื่อใช้อัตราส่วนจำนวนโมลของคาร์บอน และยูเรเนียม ลดลงตั้งแต่ 6.0 พบว่าปริมาณคาร์บอนลดลงและปริมาณยูเรเนียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของยูเรเนียมก็ลดลงด้วย สามารถอธิบายได้ว่า ในการเตรียมตะกอนระหว่างสารละลายยูเรนิล ไนเตรต และสารละลายผสมของแอมโมเนียและแอมโมเนียม คาร์บอเนต ปฏิกิริยาขั้นแรกจะเกิดเป็นแอมโมเนียม ไดยูเรเนตก่อน เนื่องจากยูเรนิล ไนเตรต ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ ก่อน จากนั้นจึงทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียม คาร์บอเนต ตะกอนที่เกิดขึ้นครั้งแรกจะละลายแล้วเกิดเป็นตะกอนแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต เมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียม คาร์บอเนต น้อยเกินไปไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแอมโมเนียม ไดยูเรเนต เป็นแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนตได้หมด ดังนั้น ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจึงมีปริมาณคาร์บอนต่ำ และปริมาณยูเรเนียมสูง เพราะแอมโมเนียม ไดยูเรเนต ไม่มีองค์ประกอบของคาร์บอน แต่มีปริมาณยูเรเนียมมาก และรูปร่างของผลึกที่ได้จากการใช้อัตราส่วนจำนวนโมล ของคาร์บอน และยูเรเนียมต่ำกว่า 4.5 จะมีลักษณะคล้ายกับผลึกของแอมโมเนียม ไดยูเรเนต ซึ่งแสดงในภาคผนวก ค

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาระหว่างยูเรนิล ไนเตรต และสารละลายที่ประกอบด้วยแอมโมเนียม คาร์บอเนต มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการตกตะกอนสูง ตะกอนแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต จะมีการสลายตัวและละลายได้ดี จึงทำให้ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน และเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของยูเรเนียมลดลง เมื่ออุณหภูมิการตกตะกอนสูงขึ้น

ชนิดของสารละลายที่ประกอบด้วยแอมโมเนียม คาร์บอเนต มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาคและเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของยูเรเนียม ในกรณีที่ใช้สารละลายแอมโมเนียเข้มข้นมาก ทำให้ตะกอนที่ได้มีปริมาณยูเรเนียมสูง และปริมาณคาร์บอนต่ำ แสดงว่าแอมโมเนียมคาร์บอเนตไม่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียม ไดยูเรเนตให้เป็นแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนตได้หมด และกรณีที่ใช้สารละลายแอมโมเนียม คาร์บอเนต เจือจางก็เช่นเดียวกัน และทำให้เปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของยูเรเนียมต่ำด้วย เพราะปริมาตรในการตกตะกอนมาก

สรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายยูเรนิล ไนเตรต อัตราส่วนจำนวนโมล ของคาร์บอนและยูเรเนียม อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและชนิดของสารละลายที่ประกอบด้วยแอมโมเนียม คาร์บอเนต มีผลต่อการเตรียมตะกอนแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต

6.2 <u>สรุปผลการเตรียมเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียม ไดออกไซด์</u>

ผงยูเรเนียม ไดออกไซด์ ที่ได้จากการรีดิวซ์แอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต พบว่ามีขนาดของอนุภาคเล็กลง เนื่องจากในการเผาแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต จะมีการสลายตัวให้ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลทำให้ผลึกเกิดรูพรุน และเกิดการแตกจึงทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง รูปร่างลักษณะของผลึกของผงยูเรเนียม ไดออกไซด์ ไม่แตกต่างไปจากรูปร่างลักษณะเดิมของผลึกแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต แอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนตตัวอย่างที่ 9 , 10 และ 11 มีลักษณะเป็นผลึกเล็ก ๆ เกาะกัน ดังนั้น ผงยูเรเนียม ไดออกไซด์ที่ได้จากการรีดิวซ์ จึงมีลักษณะเกาะกันไม่ฟรีโฟล (free flow)

ความหนาแน่นของผงยูเรเนียม ไดออกไซด์ ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 10.31 ถึง 10.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อัตราส่วนจำนวนโมลของออกซิเจนและยูเรเนียม เท่ากับ 2.05 ถึง 2.39 ยกเว้นตัวอย่างที่ 10 และ 11 ให้ค่าความหนาแน่น 7.92 และ 7.77 กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร อัตราส่วนจำนวนโมลของออกซิเจนและยูเรเนียม 2.51 และ 2.61 ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่างทั้งสองดังกล่าว ซึ่งได้จากการเตรียมผ่านแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต จะมีแอมโมเนียม ไดยูเรเนต เกิดปะปนด้วย การเผาและรีดิวซ์ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ความหนาแน่นต่ำ ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า การเผาและรีดิวซ์แอมโมเนียม ไดยูเรเนต ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต

การอัดเม็ดยูเรเนียม ไดออกไซด์ ใช้ความดันประมาณ 5 ตันต่อตารางเซนติเมตร ได้ความหนาแน่นของกรีนเพลเลทมีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความหนาแน่นทางทฤษฎี เผาประสานแบบออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า

เม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียม ไดออกไซด์ ที่ได้ มีความหนาแน่น ในช่วง 9.08 ถึง 10.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 82.85 ถึง 91.61 เปอร์เซ็นต์ของค่าทางทฤษฎี และอัตราส่วนจำนวนโมลของออกซิเจนและยูเรเนียม 2.02 ถึง 2.07 ลักษณะโครงสร้างเม็ดเชื้อเพลิงที่ดีจะเห็นว่าอนุภาคของผลึกมีการเกาะกันดีโดยอนุภาคมีลักษณะมนดังในรูป 5.8 ตัวอย่างที่ 1 , 2 และ 7 สำหรับการเผาประสานแบบรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ด้วยก๊าซไฮโดรเจน พบว่าให้ความหนาแน่นประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ ของค่าตามทฤษฎีและอัตราส่วนจำนวนโมลของออกซิเจนและยูเรเนียม เท่ากับ 2.08 ถึง 2.09 เนื่องจากการเผาประสานแบบรีดิวซ์ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาประสานสูงคือ 1750 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำเพียง 1100 องศาเซลเซียส ตามการทดลองครั้งนี้จึงทำให้การเผาประสานไม่สมบูรณ์ ความหนาแน่นที่ได้จึงมีค่าต่ำ

การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียม ไดออกไซด์ โดยผ่านแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต พบว่าเงื่อนไขที่ใช้ในการเตรียมแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต ที่ให้เม็ดเชื้อเพลิงมีคุณสมบัติดีที่สุดคือ ใช้สารละลายยูเรนิล ไนเตรตเข้มข้น 200 กรัมต่อลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมของแอมโมเนียเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนียม คาร์บอเนตเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนจำนวนโมลของคาร์บอนและยูเรเนียม เท่ากับ 7.5 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้องค์ประกอบทางเคมีมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี ดังแสดงในตาราง 6.1 และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 30-35 ไมครอน เม็ดเชื้อเพลิงเมื่อเผาประสานแบบออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 10.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 91.61 เปอร์เซ็นต์ของค่าทฤษฎีและอัตราส่วนจำนวนโมลของออกซิเจนและยูเรเนียมเท่ากับ 2.02 ซึ่งมีสูตรเป็น $UO_{2.02}$

ตาราง 6.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมซึ่งให้เงื่อนไขที่ดีที่สุดและค่าตามทฤษฎี (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)

องค์ประกอบ	ค่าวิเคราะห์จากตัวอย่าง	ค่าทฤษฎีจากสูตร $(NH_4)_4[UO_2(CO_3)_3]$ [28]
ยูเรเนียม	45.40	45.58
คาร์บอน	5.99	6.74
ไฮโดรเจน	2.93	3.11
ไนโตรเจน	10.02	10.61

ข้อดีของการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียม ไดออกไซด์ โดยผ่านแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต คือ

1) ใช้อุณหภูมิในการเผาและรีดิวซ์ที่อุณหภูมิต่ำ

2) สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดโดยตรงไม่ต้องมีตัวประสานและตัวหล่อลื่น

3) สามารถเผาประสานที่อุณหภูมิต่ำ โดยเผาแบบออกซิไดซ์ ซึ่งประหยัด เนื่องจากก๊าซที่ใช้เผามีราคาถูกกว่าก๊าซที่ใช้ในการเผารีดิวซ์ และใช้เวลาสั้น

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 การตกตะกอนแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต ควรใช้ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แทนสารละลายแอมโมเนียม คาร์บอเนต เพราะจะทำให้ลดปริมาตรของสารละลายลง เพื่อทำให้การสูญเสียของยูเรเนียมไปกับสารละลายน้อยลง

6.3.2 ควรทดลองใช้เงื่อนไขที่ได้ตามการวิจัยนี้ไปใช้ในการผลิต ขั้นปริมาณมากขึ้น โดยการเผาและรีดิวซ์ ควรใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์ เบด (fluidized bed furnace) เพื่อให้พื้นที่ผิวของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน มากขึ้น ซึ่งทำให้การรีดิวซ์สมบูรณ์และสามารถปรับปรุงใช้ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องได้ต่อไป

6.3.3 กระบวนการผลิตยูเรเนียม ไดออกไซด์ โดยผ่านแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต ควรได้มีการทดลองโดยผลิตจากแร่ เพื่อปรับปรุงใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย