บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องกระบวนการโซล-เจล ขั้นตอนต่าง ๆ ได้พัฒนามาจากวิธีการเตรียมในห้องปฏิบัติการตามวิธีของ R.G. Wymer ซึ่งใช้หลอดรูดีบเป็นแบบ ทูฟลูอิด นอสสัล และมีขนาดของคอลัมน์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ส่วนการวิจัยนี้ให้คอลัมน์ตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.5 เซนติเมตร ความยาว 25 ฟุต และใช้การสั่นช่วยที่หลอดรูดีบ และใช้น้ำหนักของกระบอกฉีดยาด้านในเป็นตัวช่วยในการทำให้เกิดหยดในสารละลายอินทรีย์ 2ethyl-1-hexanal ซึ่งระหว่างทางน้ำจะค่อยๆถูกดูดออก สารละลายอินทรีย์ถูกให้ความร้อนเป็นช่วงๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสะกัดน้ำออกจนกระทั่งกลายเป็นเจล จากนั้น นำเจลสเพียร์ที่ได้ไปทำให้แห้งและเผาตามเงื่อนไขที่กล่าวในบทที่ 4 ผลการวิจัยที่ได้พอสรุปได้ดังนี้

6.1 ในขั้นการเตรียมโซล

การตกตะกอนของยูเรเนียมไฮดรอกไซด์ พบว่า วิธีการตกตะกอนแบบฟอร์เมทให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เพราะการถ่ายเทตะกอนทำได้ง่ายกว่า และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ pH ในขณะทำการตกตะกอน ซึ่งจะพบในวิธีการของไนเตรท pH ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ 7.50

การนำเอาตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ได้ไปทำให้เป็นโซลที่เสถียร ควรใช้อุณหภูมิ 60-65^{0}ซ. และจะต้องกวนอย่างรุนแรงตลอดเวลาในบรรยากาศของอาร์กอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงจะได้โซลที่เสถียร อาร์กอนจะป้องกันไม่ให้ยูเรเนียม (+4) ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นยูเรเนียม (+6) จากการทดลองความเข้มข้นของโซลที่ใช้อยู่ในช่วง 0.8-1.2 โมล/ลิตร

ข้อสังเกตจากการวิจัยพบว่า ถ้าการเกิดรีดักชันในขั้นการเตรียมยูเรเนียมไนเตรทไม่สมบูรณ์พอ ตะกอนยูเรเนียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จะมีสีออกไปทางสีน้ำตาล จะไม่ได้เป็นตะกอนสีเขียว ในขั้นการกรองตะกอนไม่ควรปล่อยให้ตะกอนแห้งเป็นเวลานานเกินไป เพราะโซลที่ได้จะมีความเข้มข้นสูง

ซึ่งมีผลต่อการทำให้เกิดหยด

6.2 ผลจากการทำให้เกิดหยด

ในการทำให้เกิดหยดโซล พบว่ามีตัวแปรดังนี้ ปริมาณร้อยละของเซอร์แฟคเตนท์ ปริมาณน้ำในตัวทำละลายอินทรีย์ ความเข้มข้นของโซล ความถี่ที่ใช้และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูดีบ

การทดลองนี้ใช้ Span-80 เป็นเซอร์แฟคเตนท์ ซึ่งมีปริมาณร้อยละของอินทรีย์สารในตัวทำละลายเท่ากับ 1 (1 % Span-80) หยดโซลที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ถ้าปริมาณร้อยละของเซอร์แฟคเตนท์ในตัวทำละลายสูงประมาณ 1.5-2 พบว่า หยดโซลที่ได้มีลักษณะเป็นรูปรี ๆ และขนาดของหยดจะเล็กกว่าที่ใช้ปริมาณร้อยละ 1 และถ้าใช้ปริมาณร้อยละของเซอร์แฟคเตนท์น้อยกว่า 1 พบว่า หยดโซลจะเกิดการจับกลุ่มกันในระหว่างการตกลงสู่ก้นภาชนะและติดข้าง ๆ คอลัมน์และความเร็วการตกลงของหยดจะสูงขึ้น ทำให้สเฟียร์ที่ตกถึงก้นภาชนะเกิดเจเลชันไม่สมบูรณ์รวมกันเป็นก้อน อายุการใช้งานของตัวทำละลายจะสั้นลงเมื่อปริมาณน้ำในตัวทำละลายสูงขึ้น ทำให้หยดโซลรวมตัวกันหรือจับกลุ่มในระหว่างตกลงสู่ก้นภาชนะ

สำหรับหยดที่เกิดจากโซลที่มีความเข้มข้นต่างกันที่ความถี่เดียวกัน (ดังตัวอย่างที่ 2, 3) จะให้ขนาดของหยดต่างกัน และหยดที่เกิดจากโซลที่มีความเข้มข้นเท่ากันแต่ความถี่ต่างกันก็จะให้ขนาดของหยดต่างกันด้วย (ดังตัวอย่างที่ 6, 7) ขนาดของหยดยังขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดรูดีบที่ใช้ การทดลองครั้งนี้ได้ใช้ความถี่ที่เหมาะสมสำหรับโซลที่มีความเข้มข้นหนึ่ง ๆ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหนึ่ง ๆ ที่จะทำให้เกิดหยดขนาดไดพอที่จะเกิดเจเลชันสมบูรณ์เมื่อตกถึงก้นภาชนะ ซึ่งผลที่ได้หลังจากการเผาแล้วคือ ไมโครสเฟียร์มีขนาดตั้งแต่ 100-220 ไมโครเมตร แต่ที่ให้ค่าร้อยละสูงสุด คือ ขนาด 150 ไมโครเมตร จากการทดลองพบว่า การแตกและการจับกลุ่มกันของไมโครสเฟียร์มีค่าร้อยละอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ

6.3 ผลของการทำให้แห้ง การเผาและการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

จากการหาปริมาณคาร์บอนในไบโครสเฟียร์ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของการทำให้แห้งและการเผา พบว่า ปริมาณร้อยละของคาร์บอนหลังจากทำให้แห้งอยู่ในช่วง 0.6-2.5 และหลังจากเผาที่อุณหภูมิสูงอยู่ในช่วง0.126-0.340 จากการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนในขั้นการทำให้แห้งนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและบรรยากาศของแก๊สที่ใช้

6.4 ผลการวิเคราะห์หาความหนาแน่นของ UO_2 ไบโครสเฟียร์

เนื่องจากการหาความหนาแน่นของ UO_2 ไบโครสเฟียร์หาได้จากการแทนที่ในน้ำซึ่งทำให้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลค่อนข้างสูง จากผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของ UO_2 อยู่ในช่วง 8.92-9.67 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร หรืออยู่ในช่วงร้อยละ 80-90 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี

6.5 ผลการวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดโซล

เนื่องจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดโซลจะขึ้นกับความเข้มข้นของโซล (ความหนืดของโซล) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดรูดีบ ความเร็วการไหลของโซลและความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ ดังนั้น จึงสามารถหาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวได้โดยอาศัยการคำนวณของ R.G. Wymer ซึ่งใช้คำนวณหาความเร็วการไหลของสารอินทรีย์ในกรณีที่ใช้ทูฟลูอิดนอสสัล ซึ่งในขั้นตอนแรก ๆ จะต้องมีการคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดโซลก่อนจึง

จะสามารถหาความเร็วการไหลของสารอินทรีย์ได้ (ตัวอย่างการคำนวณในกรณี ทูฟลูอิด นอสลัล อยู่ในภาคผนวก) จากการทดลองครั้งนี้จึงได้ลองหาเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดโซล พบว่า ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดโซลอยู่ในช่วง 360-720 ไมโครเมตร (หลังจากเผาแล้วมีขนาด 100-220 ไมโครเมตร) ซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้

สำหรับผลการวิจัยถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดโซล เมื่อเปรียบเทียบกับผลของ R.L. Beatty (1979) ซึ่งศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสเฟียร์โดยไม่ต้องใช้สารละลายอินทรีย์ไหลสวนทางกับหยดโซล ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยที่ทำนี้ พบว่า ถ้าใช้ความเข้มข้นของโซล 1.2-2.5 โมล/ลิตร ใช้ 2EH เป็นสารละลายอินทรีย์ ใช้ความสูงของคอลัมน์ระหว่าง 16-32 ฟุต จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดโซล 450-600 ไมโครเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ซึ่งใช้คอลัมน์สูง 25 ฟุต ขนาดของหยดโซล 360-720 ไมโครเมตร

6.6 ข้อเสนอแนะ

6.6.1 ในขั้นการเตรียมโซลควรจะทำในตู้ (box) ซึ่งอยู่ในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอนเพื่อป้องกันการออกซิเดชันของ U(+4) ไปเป็น U(+6) และขณะที่นำ UO_2 เค็กไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60-65 ^{o}ซ. จะต้องกวนอย่างทั่วถึงตลอดเวลา ไม่เช่นนั้นแล้วจะไม่ได้โซลที่เสถียร

6.6.2 คอลัมน์ที่ใช้ในการเกิดหยดควรจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่านี้ เพราะจะป้องกันการชนกันของหยดโซลในขณะที่ตกลงมาสู่ก้นภาชนะ

6.6.3 ในกรณีที่ใช้ลวดความร้อนพันคอลัมน์เพื่อทำให้สารอินทรีย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นนั้น ควรมีการควบคุมอุณหภูมิของสารอินทรีย์ให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของสารอินทรีย์และยังมีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโซล

6.6.4 การเกิดหยดควรใช้ ทูฟลูอิด นอสลัล ที่มีการสั่นช่วยในการเกิดหยด เพราะจะให้หยดที่ได้ที่มีขนาดสม่ำเสมอและสามารถที่จะทำสเฟียร์ให้มีขนาดเท่าที่ต้องการได้ โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารอินทรีย์ที่ไหลสวนทางและอัตราไหลของโซล

6.6.5 ในขั้นการทำทุกขั้นตอนควรจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous process).

6.6.6 การเผาไมโครสเฟียร์ที่อุณหภูมิสูงควรใช้เตาที่สามารถควบคุมเวลาและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิได้

6.6.7 การหาความหนาแน่นของ UO_2 ไมโครสเฟียร์ ควรใช้การแทนที่ในปรอทหรือในทูลูอีน (Tuluene) และควรจะทำการทดลองมากกว่า 10 ครั้งขึ้นไป

6.6.8 ควรจะวัดความหนืดของโซลที่จะนำมาทำให้เกิดหยดทุกครั้งเพื่อที่จะทำให้เกิดหยดที่สม่ำเสมอในกรณีที่มีการเตรียมโซลหลาย ๆ ครั้ง

6.6.9 ควรมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของ UO_2 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ทำการเผา

6.6.10 การหาเซอร์แฟคเตนท์หลาย ๆ ชนิด โดยเฉพาะที่หาได้ภายในประเทศมาทดลองร่วมกับ 2EH

6.6.11 การศึกษาถึงวิธีการผลิตไมโครสเฟียร์ ขนาดเล็กและใหญ่กว่านี้เพื่อให้ได้ขนาดครบตามที่ระบุไว้ตามหัวข้อ 2.2

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย