231177

บทคัดย่อ :

ปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชิงพาณิชย์คือ Uranium oxide (UO_2) มีการเสนอว่าถ้าเปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก UO_2 เป็นโลหะผสมระหว่าง Uranium กับ Zirconium hydride (ไฮโดรเจนในโลหะ Zirconium) จะให้ประโยชน์หลายประการ โดยประโยชน์หลักคือเชื้อเพลิงชนิดนี้จะทำให้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีความปลอดภัยสูงขึ้น จุดที่อาจก่อปัญหาหากเปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก UO_2 เป็น $UZrH_{1.6}$ คือ ไฮโดรเจนอาจซึมออกมาจากเม็ดเชื้อเพลิงในปริมาณมากในเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดอุณหภูมิสูงผิดปกติ

ความเร็ว (Kinetics) ที่ไฮโดรเจนซึมออกมาและซึมกลับเข้าไปในเชื้อเพลิงนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อความปลอดภัยของเชื้อเพลิงชนิดใหม่นี้ เพราะจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่บ่งบอกถึงความเร็วในการเพิ่มขึ้นของความดันก๊าซภายในแท่งเชื้อเพลิงในสภาวะอุบัติเหตุอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องมีการวิจัยอย่างจริงจังและต้องได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ก่อนที่เชื้อเพลิง $UZrH_{1.6}$ จะถูกนำไปใช้แทน UO_2 ได้จริง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สังเคราะห์เซอโคเนียมไฮไดรโดยใช้โลหะเซอโคเนียมแบบท่อโดยใช้เครื่อง TGA และ Furnace อุณหภูมิสูง, (2) ศึกษาหากระบวนการที่ช้าที่สุดและสมการความเร็วของการซึมออกของก๊าซไฮโดรเจนจากเซอโคเนียมไฮไดร ในอุณหภูมิ 500 – 1000°C และในช่วง H/Zr ratio 1.50 ถึง 1.70, (3) ศึกษาหากระบวนการที่ช้าที่สุดและสมการความเร็วของการซึมเข้าของก๊าซไฮโดรเจนในเซอโคเนียมไฮไดร ในอุณหภูมิ 500 – 1000°C และในช่วง H/Zr ratio 1.50 ถึง 1.70, (4) สังเคราะห์เซอโคเนียมไฮไดรโดยใช้โลหะเซอโคเนียมแบบแท่งทรงกระบอกเหมือนเม็ดเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่อง TGA และ Furnace อุณหภูมิสูง, (5) ศึกษาการเคลื่อนที่ของไฮโดรเจนตามแนวรัศมีของเม็ดเชื้อเพลิงในช่วงอุณหภูมิ 500 – 1000°C, (6) จำลองการเคลื่อนที่ของไฮโดรเจนด้วยคอมพิวเตอร์ และเปรียบเทียบกับผลการทดลองในข้อ (5)

ผลงานวิจัยที่ได้รับคือ (1) สามารถสังเคราะห์ท่อเซอโคเนียมไฮไดรในช่วง H/Zr ratio ประมาณ 1.5 – 1.7 ที่ไม่มีรอยแตกร้าวได้, (2) ทราบกระบวนการที่ช้าที่สุดของการซึมออกของก๊าซไฮโดรเจนจากเซอโคเนียมไฮไดร คือกระบวนการ Solid-state diffusion, (3) ทราบสมการความเร็วของการซึมออกของก๊าซไฮโดรเจนจากเซอโคเนียมไฮไดร โดยสมการความเร็วคือ $k = 4.55 \times 10^5 e^{(-20.11 \times 10^3/T)}$ โดย k คือ Reaction rate (Moles H/cm^2-s) และ T คืออุณหภูมิ (K), (4) ทราบกระบวนการที่ช้าที่สุดของการซึมเข้าของก๊าซไฮโดรเจนในเซอโคเนียมไฮไดร คือกระบวนการ Solid-state diffusion, (5) สามารถทราบสมการความเร็วของการซึมเข้าของก๊าซไฮโดรเจนในเซอโคเนียมไฮไดรได้ หากต้องการ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่ไม่เป็นเส้นตรง Curve fit กราฟแต่ละช่วงอุณหภูมิ, (6) สามารถสังเคราะห์เซอโคเนียมไฮไดรแบบแท่งทรงกระบอกที่อัตราส่วน H/Zr ratio ประมาณ 1.5 – 1.7 ที่ไม่มีรอยแตกร้าวได้, (7) สามารถทำการวัดค่า H/Zr ratio ตามแนวรัศมีและตามแนวยาวของเม็ดเชื้อเพลิง โดยใช้เทคนิค Beta backscattering แต่ผลที่ได้ยังไม่สมบูรณ์เพราะค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ยังมีค่อนข้างมาก จึงควรปรับปรุงเพื่อให้สามารถทำการวัดค่า H/Zr ratio ได้แม่นยำมากขึ้น, (8) สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของไฮโดรเจนในเม็ดเชื้อเพลิงด้วยคอมพิวเตอร์ โดย Software ที่ใช้ช่วยคำนวณและแสดงผลคือ Comsol Multiphysics

Abstract:

231177

Conventional fuel for commercial nuclear reactors is uranium oxide (UO_2). There are proposals to replace UO_2 with uranium-zirconium hydride alloy, which offers several benefits. The major benefit is the increased safety of nuclear reactors. A potential problem of switching from UO_2 to $UZrH_{1.6}$ arises from hydrogen gas, which could diffuse out of the fuel pellets in huge quantities during an abnormally high-temperature incident.

Kinetics of hydrogen release from and reabsorb into the fuel pellet is critical to the safety of this new fuel, as it is one of the parameters determining the rate of pressure rise inside the fuel rod during a high-temperature accident. Therefore, researches need to be conducted and credible information must be obtained before the $UZrH_{1.6}$ fuel can be used in place of UO_2.

The aims of this research are: (1) Synthesize zirconium hydride from zirconium rods, using a TGA machine and a high-temperature furnace, (2) Determine the slowest step and the equation governing the hydrogen release from zirconium hydride in the temperature range of 500 – 1000°C and in the H/Zr ratio of 1.50 to 1.70, (3) Determine the slowest step and the equation governing the hydrogen absorption into zirconium hydride in the temperature range of 500 – 1000°C and in the H/Zr ratio of 1.50 to 1.70, (4) Synthesize zirconium hydride from zirconium tubes identical to fuel pellets, using a TGA machine and a high-temperature furnace, (5) Study the hydrogen redistribution in the radial direction of the fuel pellet in the temperature range of 500 – 1000°C, (6) Simulate hydrogen redistribution in a computer and compare results with that obtained from (5).

Results are: (1) Crack-free tubes of zirconium hydride with H/Zr ratio in the range of 1.5 – 1.7 were synthesized, (2) The slowest step governing the hydrogen release from zirconium hydride is solid-state diffusion, (3) The equation governing the hydrogen release from zirconium hydride is $k = 4.55 \times 10^{5} e^{(-20.11 \times 10^{3}/T)}$ where k is the reaction rate (moles H/cm^2-s) and T is temperature (K), (4) The slowest step governing the hydrogen absorption into zirconium hydride is solid-state diffusion, (5) The equation governing the hydrogen absorption into zirconium hydride can be obtained from curve-fitting the curve at each temperature using an appropriate non-linear equation, (6) Crack-free rods of zirconium hydride with H/Zr ratio in the range of approximately 1.5 – 1.7 were synthesized, (7) H/Zr ratios along the radial and axial directions can be measured using beta backscattering technique. However, results are not very satisfactory as the errors are still quite high. Therefore, improvements should be made to allow a more precise measurement of H/Zr ratio, (8) Hydrogen redistribution can be simulated in a computer using Comsol Multiphysics software to calculate and display results.