

U-Zr 금속연료의 제조 및 특성분석 (Fabrication and Characterization of U-Zr Metallic Fuel)

한국원자력연구소 이봉상, 김법진, 조춘호, 송태영

1. 서론

U-Zr합금 및 U-Pu-Zr합금을 사용한 금속연료는 세라믹연료에 비해 높은 밀도와 높은 열전도도, 높은 연소도, 우수한 증식성, 연료제조 방법의 편리성 등의 장점 때문에 IFR(Integral Fast Reactor)과 같은 고속중성자로의 연료로서 주로 미국을 중심으로 연구되어 왔다. 또한 금속연료는 사용후 연료를 전기분해를 통한 간편한 건식처리를 할 수 있는 장점도 가지고 있다.

이 논문에서는 금속연료의 특성을 보다 잘 이해하기 위해서 분말형태의 U와 Zr을 혼합, 압분, 소결하여 시편을 제조하고 열처리를 수행하여 미세구조를 비교 관찰함으로써 금속연료에 대한 기본데이터를 얻고자 한다.

2. 실험방법

U분말은 0.4% 농축도 이하의 감손 우라늄을 사용하여 원심분무 장치로 제조된 평균입도 약 $55\mu\text{m}$ 인 구형분말을 사용하였으며, Zr분말은 hydriding-dehydriding 방법으로 제조된 평균입도가 $57\mu\text{m}$ 인 분말들을 구입하여 사용하였다.

Zr함량을 59.5 wt%로 하여 75rpm으로 2시간동안 혼합 후 건전한 압분체의 제작을 위해 4400kgf/cm^2 의 압력을 가한 후 1500°C 에서 소결시간은 0.5~5시간으로 변화하여 실험하였다. 소결 후 소결체는 계량 및 밀도측정 후 SEM으로 미세조직을 관찰하였고 IMT사의 Image analyzer를 사용하여 분석하였다.

소결체를 압출온도 760°C , 압출압력 80kg/cm^2 , 압출비 13:1로 간접압출하여 봉상의 압출재를 얻었다. 압출재는 630°C 에서 2000시간동안 열처리를 수행하였고 부피변화율 및 밀도측정 후 SEM으로 미세조직을 관찰하였다.

3. 실험결과

소결체는 $\delta\text{-UZr}_2$ 기지조직 내에 lath 형태를 가진 $\alpha\text{-Zr}$ 상 석출물로 이루어진 조직을 나타내었다. 소결시간 변화에 따른 각 상의 면적분율은 소결시간 2시간까지 δ 상의 면적분율은 증가하였고, $\alpha\text{-Zr}$ 상의 면적분율은 감소하여 U, Zr 분말의 소결반응이 잘 진행되었다. 그러나 5시간 소결시에는 δ 상의 면적분율은 감소하였고 $\alpha\text{-Zr}$ 상의 면적분율은 증가하였다. 이는 소결시간이 5시간으로 길어짐에 따라 δ 상 내의 Zr 성분이 석출물을 형성하면서 평행상태를 이루는 것으로 생각된다.

압출재는 $\delta\text{-UZr}_2$ 기지와 $\alpha\text{-Zr}$ 상 석출물로 이루어졌으며 소결시 존재하였던 기공은 압출공정을 수행한 후 거의 소멸되었다. 압출재를 630°C 에서 500, 1000, 1500, 2000시간동안 열처리를 수행한 결과 열처리에 따른 부피변화율은 거의 없어 U-Zr합금은 열적안정성이 우수한 것으로 생각된다.