

## 사출주조 U-Zr-Ce 합금의 용융온도 측정실험

오석진, 장세정, 강권호, 김선기, 이병운, 김기환, 이종탁, 이찬복  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
[sioh@kaeri.re.kr](mailto:sioh@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

소듐냉각 고속로에 사용되는 U-TRU-Zr 핵연료의 용융고화온도 측정을 대비한 장비의 확보 및 시운전을 목표로 열물성을 이용한 용융과 응고점을 측정할 수 있는 시차주사열분석(Differential Thermal Analyzer;DTA), 열중량분석(Thermogravimetric Analysis;TG), 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimetry;DSC) 등의 장비사용 방법을 고려하였다. 예비 용융온도 측정 모의핵연료는, U-TRU-Zr 금속연료의 용융온도 및 거동 특성 파악을 위한 TRU를 직접 취급하는 것은 국내실정으로 현재 불가능하므로 U-Zr에 Ce 원소를 첨가한 합금을 TRU와 유사한 거동을 모사할 수 있는 금속연료심으로 선정하였다. 본 연구에서는 1500°C 이상 고온용 진공 DSC 장비 확보의 어려움으로 방사성 물질을 취급할 수 있는 연구원 보유 TG 장비를 사용하여 금속연료심을 수차례 실험을 거듭하였다. 그러한 결과를 도출하여 실험 장치의 실험 목적 타당성, 실험 범위의 적절성을 찾고자 하였으며 차기연도 연구방향을 위한 기초 실험으로 수행하여 분석하였다.

### 2. 시편제조 및 실험

NU(순도 99.99%) 금속잉곳(Ingot)을 절단하여 세척한 후 스폰지 타입 Zr(순도 99.95%) 금속과 Ce 첨가 원소를 내식내열성 물질로 코팅된 흑연 도가니에 장입을 실시하였다. 합금원소와 성분비에 따라 온도를 1400 ~1600°C까지 달리하여  $2 \times 10^{-3}$  torr에서 승온속도 25~30°C/min로 용해를 실시한 후 준비된 석영관 Mold를 사용하였다. 석영관 Mold를 용탕에 장입하는 순간 알곤 가스를 주입하여 용탕을 흡입하는 사출주조(Injection Casting)로 노빙에 의한  $\phi 6\text{mm} \times l 220\text{mm}$  봉상(Rod) 시편제조를 실시하였다. 그림 1은 이러한 용해주조 과정과 냉각으로 응고 된 모의 연료심이다. 제조된 시편은 제원을 측정하고 필요 부위별로 절단하여 미세구조 관찰, 밀도측정 등의 물성을 측정하였으며 건전성을 확인하였다. 최종 용융온도 측정용 시편은 정밀절단기를 이용하여 100mg 내외로 절단하여 용융온도 측정용 장치 교정 및 실험용으로 사용하였다.

용융온도 측정에 있어서는 선정된 U-Zr 및 U-Zr-Ce 모의 금속연료심을 TG를 이용하여 Calibration Test를 실시하였다. 장비의 고온(>1200°C)영역에서는 금속연료심의 산화문제가 대두되어 장비 가동분위기를 변수로 하여 실험을 실시하였다. 그러나, 초기 고온실험은 진공( $3 \times 10^{-3}$  torr) 및 불활성(Ar) 분위기 모두 산화문제가 발생하여 측정 및 시운전에 장애가 발생되어 장비의 교정이 쉽지 않았다. 장비 교정조건은 진공 및 불활성 분위기에서 각각 상온부터 1550°C까지 10°C/min로 승온 후, 유지시간 없이 상온까지 동일한 조건으로 냉각을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

용융에 따른 온도변화 측정은 U-10Zr-2/4/6Ce으로 결과를 도출 하였으며 2원계 U-Zr 상태도에 나타나는 변태점[1]과 TG 측정결과 Peak 변이온도와 유사하게 나타났다. 이러한 측정결과는 그림 2에 TG를 이용한 장치보정 및 측정값을 보여주는 바와 같다. 실험결과 Solidus Temperature는 2Ce : 1234.6°C, 4Ce : 1205.5°C, 6Ce : 1213.9°C 값을 얻었으며 Liquidus Temperature는 2Ce : 1372.5°C, 4Ce : 1244.4°C, 6Ce : 1389.8°C를 보여 주었다. 이 실험 결과를 얻기까지 산화문제와 장비의 보정을 위한 변수는 다양한 형태로 나타나기에 적절한 실험 조건 변수로 정밀한 온도 측정을 필요로 하며 특히, 4Ce 측정 결과 값의 검증을 위한 실험과 장비 보정이 필요하다고 판단된다.

### 사 사

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었다.

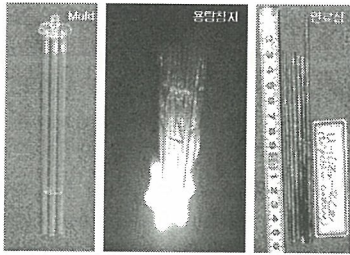


그림 1. 용해주조 과정 및 측정용 모의연료심

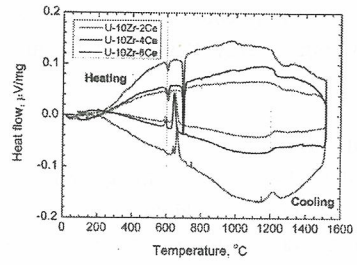


그림 2. TG를 이용한 장치 보정 및 측정 값

참고문헌

- [1] Journal of Phase Equilibria and Diffusion Vol.28 No.5 2007 pp499~500