

중성자분위기에서 핵연료 조사시험을 위한 온도제어용 캡슐개발 (Temperature Controllable Capsule Development for an Advanced Fuel Development)

한국원자력연구소 강영환, 김봉구, 손재민, 주기남, 박승재, 김학노

새로운 개념의 핵연료 계장캡슐 연구. 개발이 2000년부터 국내 핵연료 개발자들이 필요로 하는 조사특성 및 성능자료를 확보하기 위해서 진행되고 있다. 국내에서는 아직까지 무계장 캡슐(Non-instrumented Capsule)을 사용한 핵연료 조사시험만 수행하고 있는 실정이며 핵연료 설계자들의 중요 관심사인 핵연료 온도 및 조사이력 등을 정확히 파악할 수 없다. 일반적으로 연구로 실험공에서의 중성자속은 축방향 및 원주방향으로 코사인커브의 분포를 갖고 있고, 연구로 구동 핵연료의 연소도에 따라 변한다. 그러므로 핵연료 개발자들이 원하는 일정온도 영역하에서 시험할 수 있는 새로운 개념의 계장캡슐 개발이 요구되고 있고 이를 구현할 수 있는 캡슐의 기본설계가 수행되었다. 이용자의 주요 요구조건으로는 신형 경수로 및 DUPIC 핵연료봉의 선출력은 최대 500 W/cm이며, 핵연료 표면온도는 조사시험 기간중 800℃ 정도이다.

주요 구성은 그림 1에서와 같이 조사시험중 구조 건전성을 확보하기 위한 최외각의 Basket, 조사시험용 핵연료 시료를 포함한 캡슐, 캡슐과 Basket 과의 연결부, 또한 캡슐 제어 계통과의 연결부로 되었다. 현재 고려하는 basket에는 적게는 3 개의 핵연료 시험봉을 수용할 수 있고, 많게는 2 단으로 6 개까지 핵연료 시험봉을 장전하여 조사 시험할 수 있도록 개념을 잡았다.

연구로에 사용하는 모든 시설은 하나로 설계요구조건에 부응하여야 함으로 본 캡슐에 대한 하나로와의 양립성 및 안전성 평가가 수행되었다. 그림 2에서와 같이 열 계산 결과 핵연료 중심온도는 APWR 핵연료의 온도가 DUPIC 핵연료온도보다 높게 나왔다. 이의 주요 인으로는 단위 체적당 열 발생밀도가 높기 때문이며, 두 핵연료의 중심온도는 용융점보다 낮은 2165~2251℃을 보이고 있고, 핵연료 표면온도는 640~760℃정도이며 원하는 온도 범위 하에서 제어 가능함을 확인하였다. 그러나 상세 설계시점에서 캡슐의 위치, 핵연료의 농축도, 차폐재료의 설치 여부, 갭 조절 방안 등에 대한 상세한 검토가 이루어지고 제작되어야 하나로에서 활용할 수 있다. 또한 이를 근거로 할 때 캡슐 경계에서의 가장취약한 부위에서의 열응력은 152~184MPa의 범위로 ASME code에서 요구되는 값보다는 작아 종합적인 판단으로 볼 때 하나로에서 수용 가능하다. 이들 결과는 앞으로 국내에서 개발중인 신형 경수로 핵연료 및 DUPIC 핵연료 개발을 위하여 수행되는 조사시험을 위한 계장캡슐의 상세 설계시 기초데이터로 이용된다.

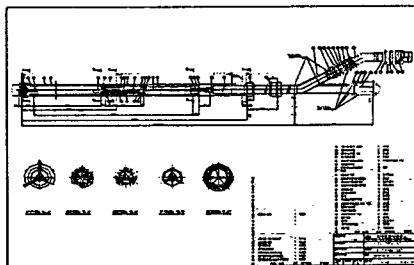


그림 2. 핵연료조사시험용 계장캡슐 구조

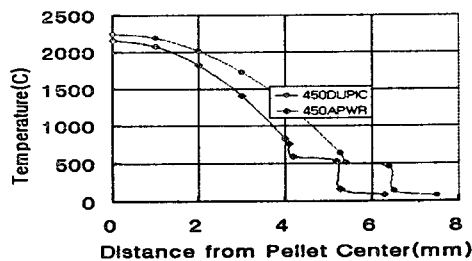


그림 2. APWR 및 DUPIC 핵연료 캡슐의 온도분포