

핵연료 조사거동 시험용 개방형 계장캡슐의 온도 및 열응력 해석
 (Temperature and Thermal Stress Analysis on the Open Basket Type Instrumented Capsule for Nuclear Fuel Irradiation Test)

한국원자력연구소 김도식, 손재민, 김봉구, 오종명, 조만순, 주기남, 강영환

한국원자력연구소에서 개발 중인 다양한 핵연료에 대한 성능 및 안전성을 확인하기 위하여 개방형 핵연료 조사시험용 계장캡슐(이하 개방형 핵연료 계장캡슐이라 함)의 개발이 필수적으로 요구되고 있다. 본 연구에서는 하나로 OR 조사공에서 조사시험을 수행할 예정인 핵연료 계장캡슐의 기본설계를 기초로 조사시험 중 캡슐의 안전성 및 이용자의 요구 조사조건(핵연료 조사온도 및 선출력, 연소도 등) 만족여부를 검토하기 위하여 핵연료봉에 대한 온도 및 열응력을 평가하였다.

개방형 핵연료 계장캡슐은 외통의 내·외부로 냉각수가 흐르므로 외통 자체의 온도상승은 거의 나타나지 않으므로 열응력을 무시할 수 있지만, 내부에 핵연료 소결체가 장입된 핵연료봉에는 중성자 조사시 많은 양의 붕괴열이 발생하게 된다. 따라서 핵연료 소결체의 조사온도 및 피복관의 고온 건전성을 검토하기 위하여 핵연료봉 각 층에서의 열전달이론을 적용한 이론해석 및 상용 유한요소 코드인 ANSYS를 이용한 온도 및 열응력해석을 수행하였다. 핵연료봉의 온도분포를 구하기 위한 이론해석에서는 각 층의 열전달이 시간에 무관한 정상상태(steady state)이고, 냉각수 온도는 일정하다고 가정하였다. 한편 유한요소해석에서는 핵연료봉의 대칭성을 이용하여 1/4 모델링하고, 피복관 외면에 대류경계조건 그리고 각 층 사이의 간격(gap)에 대해서는 전도만을 고려하였다. 해석에 사용된 요소는 Soild 70 (3-D Thermal Solid)이다. 이상의 두 가지 해석법으로 평가된 핵연료 소결체의 최대온도는 선출력에 따라 각각 1949°C와 1927°C(하나로 출력 22MW, 최대 선출력 44.7kW/m) 그리고 2123°C와 2125°C(하나로 출력 24MW, 최대 선출력 48.8kW/m)로 거의 동일하였으며, 각각의 온도는 소결체의 용융온도 보다 낮으므로 소결체의 건전성이 확보된다. 또한 구해진 피복관 내·외면 온도차에 의한 열응력은 최대 선출력에 따라 34.95MPa과 32.01MPa 그리고 Bottom end cap과 피복관 접촉부에서의 열응력은 각각 16.00MPa과 17.04MPa로 얻어졌다. 이들 응력값과 사용된 피복관의 허용응력(156.41MPa, Zircaloy-4)을 ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section III의 기준에 적용하여 핵연료봉의 고온 건전성을 확인하였다.

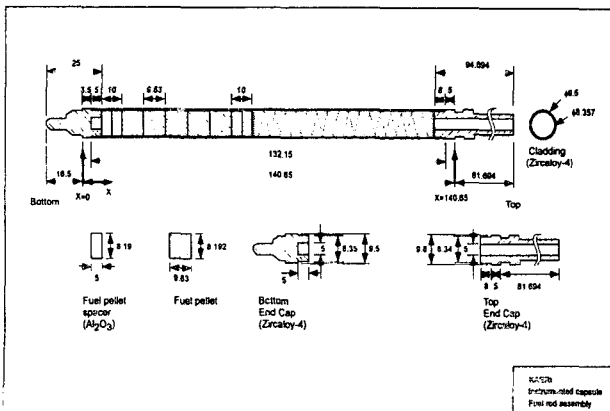


그림 1 핵연료봉

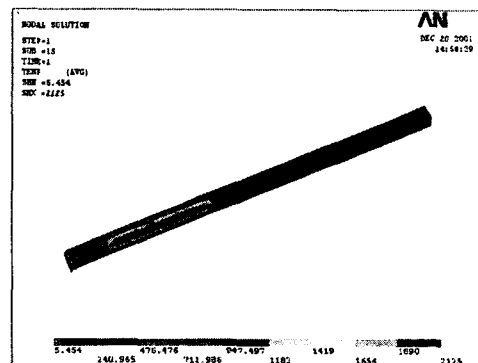


그림 2 핵연료봉 전체 온도분포 (HANARO power=24MW)