

핵연료 조사거동 평가용 개방형 계장캡슐에 대한 구조건전성 해석 (Structural Analysis on the Open Basket Type Instrumented Capsule for Examination on Irradiation Behavior of Fuel in HANARO)

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

한국원자력연구소에서는 개발중인 핵연료에 대한 성능 및 안전성을 확인하기 위하여 핵연료 조사시험용 계장캡슐(이하 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(조사 연료봉수, 핵연료 조사온도 및 선출력, 연소도 등)을 만족시킬 수 있는 구조 건전성 평가를 수행하였다.

핵연료 계장캡슐에 장전될 핵연료봉 내부에는 핵연료 소결체가 장입되어 중성자 조사시 많은 양의 붕괴열이 발생하므로, 이용자들이 요구하는 소결체의 조사온도 조건을 만족시키기 위해서는 조사시험 중 캡슐 외통 내로 냉각수가 흘러 핵연료봉을 직접 냉각시키는 구조를 가진 개방형 계장캡슐이 선정되었다. 기 수행된 지진응답해석 결과를 기초로 내진 안전성이 확인된 핵연료 계장캡슐을 대상으로 좌굴 안전성 평가와 노심에서의 장·탈착 또는 시험 중에 발생할 수 있는 충격하중에 대한 구조건전성 해석을 수행하였다. 또한 계장캡슐 본체 내에 장착될 핵연료 봉의 안전성을 ASME Boiler & Pressure vessel Code, Section III, Appendix A를 기초로 검토하였다. 유한요소해석 대상인 핵연료 계장캡슐의 경계조건은 Fig. 1과 같으며, 보호관의 최상단 및 중앙에 수직 또는 수평하중을 부하하고 2차원 보 요소(Beam188)를 사용하여 해석을 수행하였다. 임계좌굴하중은 캡슐구조의 특성상 발생할 수 있는 좌굴에 대한 안정성해석으로부터 7.4kN으로 얻어졌다. 조사공에서 시험중 타 구조물로부터 캡슐에 가해질 수 있는 최대 허용 수직충격하중(65.3kN)은 재료의 허용응력을 기준으로 결정되었으며, 좌굴안정성을 고려한 임계좌굴하중이 작용되는 경우의 최대응력은 20.4MPa이었다. 또한 캡슐에 대한 수평충격하중 하에서의 안전성도 평가하였다. 한편 계장캡슐 내에 장전된 핵연료 피복관의 내·외압 차에 의한 최대응력강도 S는 2.32 MPa이며, 냉각수압에 의한 핵연료봉의 임계좌굴응력은 40.55 MPa로서 구성재료의 허용응력보다 낮은 응력이 작용됨을 확인하였다. 이상의 해석결과를 기초로 개방형 핵연료 계장캡슐은 하나로 노내에서 운반, OR 조사공에 장·탈착 그리고 조사시험동안의 구조건전성 평가 기준을 만족함이 확인되었다.

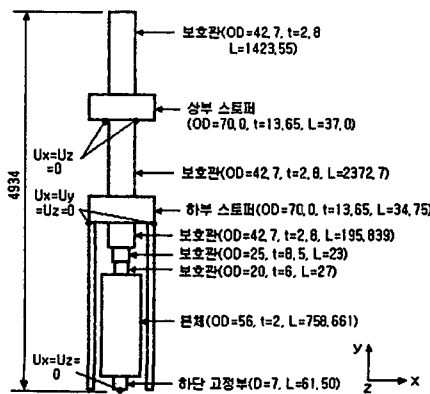


Fig. 1 Schematic diagram of instrumented capsule loaded in OR hole

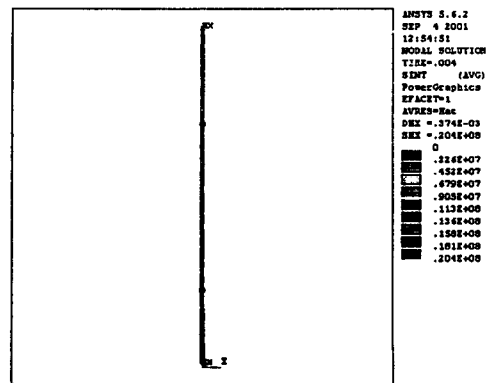


Fig. 2 Vertical stress distribution under critical buckling load(7.4kN)