

핵연료 조사특성 평가를 위한 계장캡슐의 예비 구조건전성 해석  
 (Preliminary Structural Analysis of Instrumented Capsule  
 for Evaluation on Irradiation Characteristics of Nuclear Fuel in HANARO)

한국원자력연구소 김도식, 강영환, 김봉구, 조만순, 주기남, 손재민

경수로용 신형 핵연료 및 DUPIC 핵연료 등의 조사특성 평가를 위하여 필수적인 핵연료 계장캡슐은 한국원자력연구소의 연구용 원자로인 하나로 OR 조사공에 장전되어 조사시험이 수행될 예정이다. 본 연구에서는 하나로에서의 조사시험 중 캡슐의 안전성 및 이용자의 요구 조사조건(조사 연료봉수, 핵연료 조사온도 및 선출력, 연소도 등)을 만족시킬 수 있는 캡슐 부품들에 대한 최적 치수 결정 및 구조 건전성 평가를 수행하였다. 상용 SUS 원관의 규격치수, 유동관의 내경(=60mm) 및 OR 조사공에서의 수력조건(유량 12.7kg/s 이하, 압력강하 200kPa 이상)을 만족하는 최적 치수들은 외통 외경=48mm, 보호관 외경=42.7mm 그리고 아래 stopper의 치수는 내경=60mm, 외경=49mm,  $r_s=2.75mm$ 로 선정되었다(Fig. 1 참조). 이상의 압력강하 검토를 기초로 확립된 핵연료 계장캡슐의 기본설계를 기초로 좌굴 안전성 평가와 노심에서의 장·탈착 작업 또는 시험 중에 발생할 수 있는 자유낙하 및 충격하중에 대한 구조건전성 해석을 수행하였다. 유한요소해석 대상인 핵연료 계장캡슐의 재질은 각각 본체의 경우 SUS316, 보호관은 SUS304, 상부와 하부 스토퍼는 SUS304이며, 하단 고정부는 Zircaloy-4이다. 경계조건은 Fig. 1의 A와 B점에 대하여 각각 단순지지와 완전고정을 조합한 4가지 조건, 하중조건으로는 보호관의 최상단에 1N의 단위하중을 부하하고 2차원 보 요소(Beam188)를 사용하여 해석을 수행하였다. 캡슐의 임계좌굴하중은 구조특성상 발생할 수 있는 좌굴에 대한 안정성해석으로부터 6.8kN으로 얻어졌다. 하나로 노심 내에서 운반 중 또는 조사공 내에 장전 중에 발생할 수 있는 캡슐의 수중 자유낙하시 충격응력은 충격순간속도와 Moody diagram을 사용하여 평가하였으며, 이때 캡슐 구성재료인 SUS 316의 허용응력보다 낮은 최대 충격응력이 캡슐에 작용됨을 확인하였다. 이와 함께 OR 조사공에서 시험중 타 구조물로부터 캡슐에 가해질 수 있는 최대 허용 수직충격하중(65.3kN, Fig. 2)은 재료의 허용응력을 기준으로 결정되었다. 이상에서 얻어진 구조 건전성 해석결과들은 핵연료 계장캡슐의 상세 설계시에 기본 자료로 사용되어질 것이며, 이를 기초로 제작된 조사시험용 캡슐은 다양한 핵연료들의 조사특성 평가를 위하여 활용될 수 있다.

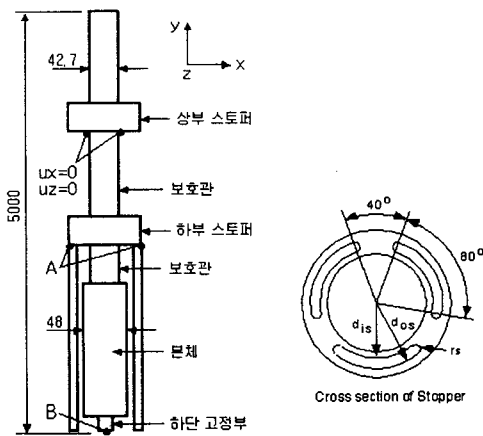


Fig. 1 Schematic diagram of Intrumented capsule loaded in OR hole

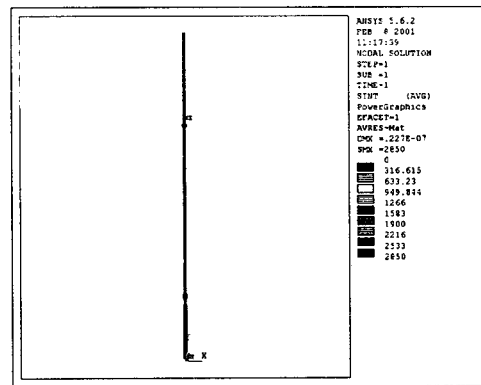


Fig. 2 Vertical stress distribution under unit impact load(1N)