

핵연료 조사시험용 개방형 계장캡슐의 열 및 기계적 응력해석
 (Thermal and Mechanical Stress Analysis of on the Open Basket Type Instrumented Capsule for Nuclear Fuel Irradiation Test)

한국원자력연구소 김도식, 손재민, 김봉구, 조만순, 주기남, 강영환

핵연료 조사시험용 계장캡슐은 다양한 핵연료의 성능평가를 위하여 하나로의 OR조사공에서 조사시험될 예정이다. 핵연료 개방형 계장캡슐의 조사시험 중 안전성 및 이용자 요구조건의 만족여부를 확인하고자 열해석을 수행하였다. 이를 위하여 온도와 열응력 해석을 함께 수행할 수 있는 ANSYS를 사용하였으며, 이로부터 얻어진 핵연료봉의 온도분포에 대한 정확성을 검토하기 위한 이론해석에서는 각 층의 열전달이 시간에 무관한 정상상태(steady state)이고, 냉각수 온도는 일정하다고 가정하였다. 이상의 두 가지 해석법으로 평가된 핵연료 소결체의 중심온도는 평균 선출력=29.677kW/m인 경우 유한요소해석에서는 1227°C 그리고 이론해석에서는 1234°C이었으며, 최대 선출력=33.557kW/m에서는 각각 1433°C와 1429°C로 거의 동일하였다. 핵연료 봉 내의 소결체를 감싸고 있는 피복관 외면의 최고온도는 선출력에 따라 각각 63.47 및 66.58°C로서, 하나로의 안전 제한조건인 Onset of nucleate boiling(ONB) 온도조건(125°C 이하)을 만족한다. 또한 최고온도 발생부에서 피복관의 응력강도는 소결체 선출력에 따라 38.3MPa 및 45.1MPa이다. 하단 end cap과 피복관 접촉면에서 피복관의 응력강도는 각각 35.0MPa과 38.5MPa이다. 이상의 열적 해석결과로부터 조사시험 중 소결체의 온도가 이용자들의 요구조건에 부합하는지를 판단할 수 있다. 또한 계산된 열응력과 기계적 응력 그리고 사용된 피복관의 허용응력을 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section III의 강도평가 기준에 적용하여 개방형 핵연료 계장캡슐의 고온 안전성을 확인하였다.

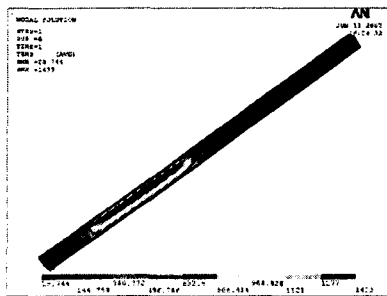


그림 1 핵연료봉의 전체 온도분포
 (최대 선출력=33.557kW/m)

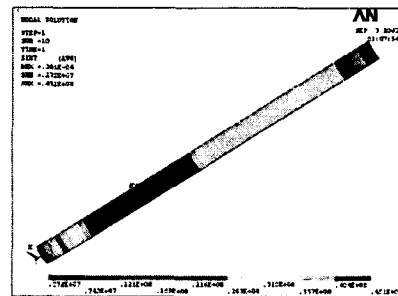


그림 2 피복관의 열응력분포
 P_e (최대 선출력=33.557kW/m)

표 1 핵연료봉에 대한 압력 및 열하중 하에서의 강도평가

Position	Stress item	Calculated stress, σ (MPa)	Design stress intensity, S_m (MPa)	Allowable stress intensity, S_a (MPa)	ASME Code requirement
피복관	P_m	3.1	154.6	154.6	$P_m < S_m$
	P_σ	43.3	-	1.2	$P_\sigma > 3P$
	$P_m + P_e$	3.1+38.3	154.6	463.8	$P_m + P_e < 3S_m$
3.1+45.1					
하단 end cap	$P_m + P_e$	3.1+35.0	154.6	463.8	$P_m + P_e < 3S_m$
		3.1+38.5			