한국소음진동공학회 2010년 추계학술대회논문집, pp.499~500

원자로 핵연료봉 중간지지격자의 진동특성

Vibration Characteristics for a Mid-Spacer Grid of Nuclear Fuel Rods

류봉조†· 박남규*·서정민*·전경락*·김종호**· 윤영식***

B. J. Ryu, N. K. Park, J. M. Seo, K. L. Jeon, J. H. Kim and Y. S. Yoon

1. 서 론

원자력 발전소의 핵연료집합체는 핵분열이 가능한 우라늄을 핵연료봉에 저장하여 핵연료를 보호하고 운반이 용이하도록 고안된 구조물이다. 핵연료 집합체의 지지격자는 원자로 내에서 핵연료봉을 지지하고, 지진과 같은 외부 하중으로부터 핵연료 봉을 보호하며 원자로 긴급냉각이 가능하도록 충분한 구조강도를 갖추어야 하는 중요한 구조물이다.

핵연료집합체에는 원자로내 가압된 냉각수의 유동으로 인하여 유체유발진동 현상이 발생하게 된다. 이러한 유체유발진동은 핵연료봉과 이것을 지지하는 지지격자 스프링 사이에 상대운동을 일으키고, 이러한 상대운동에 의하여 핵연료봉 표면에 마멸이 발생할 수도 있다. 따라서 핵연료의 한계수명인 3~5년까지 기계적인 원인에 의해 핵연료봉이 손상되지 않도록 하기 위해서는 지지격자 개발단계에서부터 연료봉과 지지격자 간의 거동에 대한 고려가 필요하다.

본 연구는 진동 시험과 해석적 기법을 통하여 원자로 내부의 핵연료봉 중간지지격자의 진동특성을 규명하여, 핵연료집합체의 거동을 예측하는데 필요한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 본 론

2.1 진동 시험

Photo. 1은 진동 시험에 사용한 중간지지격자의 높이 방향 사진이다. Fig. 1은 진동 시험의 실험장치 개략도이다.

Photo 2는 실험장치 사진을 보여준다. Fig. 1에 나타난 것처럼 중간지지격자의 자유진동 상태에서의 진동특성을 살펴보기 위하여, 지지격자의 양 끝단을 탄성 없는 wire로

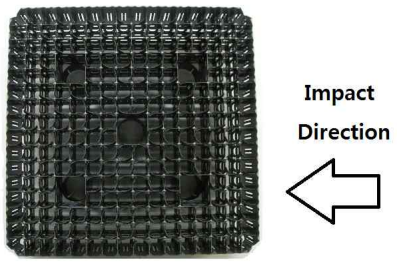


Photo. 1 Photograph for a mid-spacer grid

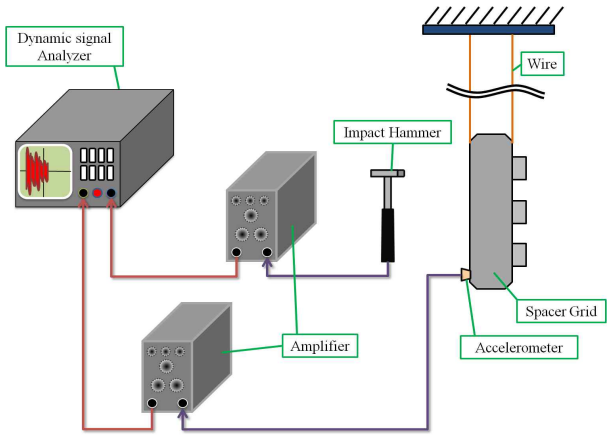


Fig. 1 Schematic diagram for an experimental set up.

Photo. 2 Photograph of an experimental set up

지지 보 위에 매달아 바닥이나 외부의 미소진동의 영향이 없도록 하여 시험 하였다. 가속도계는 중간지지격자의 가로방향 면에 부착하여 1.6[kHz] 이하의 대역내에서, 진동수응답함수를 구하였다.

† 교신저자; 한밭대학교 기계공학부
E-mail : bjryu701@hanbat.ac.kr
Tel : (042) 821-1159, Fax : (042) 821-1587

* 한전원자력연료(주)

** 한밭대학교 기계설계공학과 대학원

*** 건양대학교 기계공학과

2.2 유한요소해석

본 논문에서는 CosmosWorks 프로그램을 사용하여 중간지지격자의 고유진동수를 구하였고, Fig. 2는 중간지지격자의 3차원 모델과 유한요소모델을 나타내고 있다. Table 1은 유한요소모델에 적용한 재료인 Zirconium의 물성치이다.

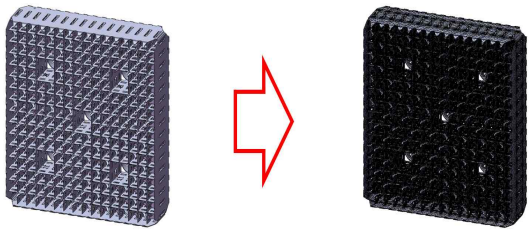


Fig. 2 3D model & FEM model for analyses.

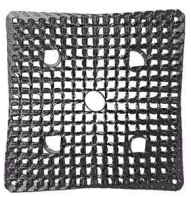
Table 1 Material properties of a Zirconium.

Property	Value
Density [kg/m3]	6600
Modulus of Elasticity [GPa]	99
Poisson's Ratio	0.34
Shear Modulus [GPa]	36

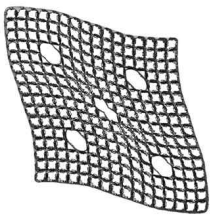
3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 유한요소해석을 통해 얻어낸 중간지지격자의 모드 형상을 보여준다. Fig. 4는 진동시험에서 얻어낸 FRF와 위상 그래프를 나타내고 있다.

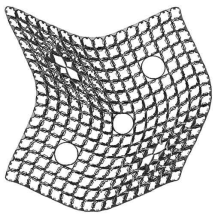
한편, Table 2는 진동시험과 유한요소해석을 통해 얻은 고유진동수를 나타내고 있다.



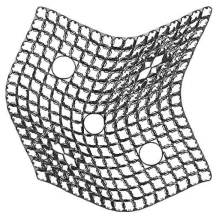
(a) 1st mode shape



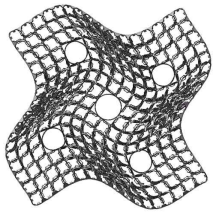
(b) 2nd mode shape



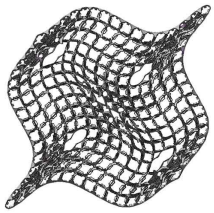
(c) 3rd mode shape



(d) 4th mode shape

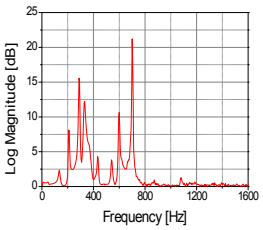


(e) 5th mode shape

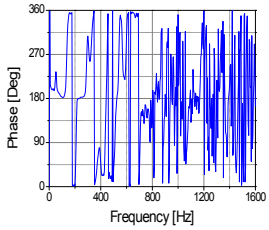


(f) 6th mode shape

Fig. 3 Mode shapes of a mid-spacer grid.



(a) x-axis



(b) y-axis

Fig. 4 FRF and phase function graphs of the experiment

Table 2 Natural frequencies of experiment and analysis.

Mode	Natural Frequency [Hz]	
	Experiment	Analysis
1	50	75.59
2	136	157.75
3	208	242.65
4	288	243.37
5	332	327.44
6	432	389.54

유한요소해석 결과와 실험결과가 제법 큰 차이를 보이고 있고, 특히, 1차 모우드에서 더 큰 오차를 보이고 있음을 알 수 있다. 예측해 볼 수 있는 원인으로는 첫째, 격자모델이 무겁지는 않는데 와이어로 매달아 임팩트에 따른 완전한 자유-자유 경계조건이 되지 못한 이유도 될 수 있으며, 둘째, 격자 내부 grid들 사이의 용접된 접합부분에 대한 유한요소모델에 있어 결합조건이 실제와 다소 다를 수 있는 원인으로 예측된다.

4. 결 론

원자로 핵연료봉 중간지지격자의 진동시험과 유한요소해석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다. 첫째, 고유진동수에 대한 유한요소해석과 실험결과가 일부 유사한 결과를 보였으나, 대체로 많은 차이가 있었고, 이는 중간지지격자가 주물로 제작한 것이 아닌 용접으로 접합한 제품이기 때문에 이를 고려하지 못한 유한요소모델에 의한 이유와 실험에서의 자유-자유 경계조건이 완전한 자유-자유 경계조건이 되지 못한 이유라고 예측된다.