

# 경수로용 핵연료집합체의 동특성시험

## Dynamic Characteristics Test of PWR Nuclear Fuel Assembly

장영기† · 박남규\* · 전경락\* · 김용환\* · 김재익\*

Young Ki Jang, Nam Gyu Park, Kyeong Lak Jeon, Yong Hwan Kim and Jae Ik Kim

### 1. 서론

경수로용 핵연료집합체는 일정 간격으로 배열된 지지격자를 이용하여 4m 내외의 핵연료봉을 지지하는 구조물로 구성되어 있다. 핵연료봉은 이산화우라늄 펠렛을 내포하고 있어서 핵분열 시 열을 냉각재로 교환하는 핵심부품이며, 방사능 누출을 차단하는 1차 방호벽의 역할을 수행하고 있다. 그러므로 취급 시나 정상적인 운전 시는 물론 과도상태 및 가상사고 시에도 설정된 기준을 만족하여야 한다. 지진 및 냉각재 상실사고로 인한 집합체의 건전성을 입증하는 방법으로 핵연료가 장전된 원자로를 모사하는 방법을 사용하고 있는데, 이를 위해 먼저 노외시험을 통해 얻은 집합체의 특성을 단순화한 모델로 만들고 가상적인 사고하중을 외력으로 가하는 방법이 활용되고 있다. 여기서 집합체의 단순화한 모델은 고온의 냉각재 내에서 정적, 동적 및 충격시의 거동을 모사해야 한다. 본 연구에서는 동적시험을 통하여 얻어지는 진동수, 모드형상, 감쇠계수 등 동적 변수들을 얻기 위한 시험 및 집합체의 동적 변수의 특성 등에 대해 기술하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 핵연료집합체

길이가 4m 이상이고 폭이 20cm 가량의 핵연료집합체는 축방향으로 일정간격으로 배열된 10 여 개의 지지격자에 의해 지지되는 200 개 이상의 핵연료봉으로 구성되어 있으며, 상하부는 상단고정체에 의해 원자로 내에 안착되도록 지지되고 있다. 핵연료집합체의 형태는 발전소에 따라 다르며, Fig. 1은 핵연료집합체의 대표적인 예로써 한국표준형원전용으로 개발된 집합체를 보이고 있다. 그림에서 보인 바와 같이 한 지지격자 위치에는 2 개의 스프링과 4 개의 덤플이 있어 핵연료봉을 지지하도록 하고 있다.

† 교신저자: 한전원자력연료

E-mail: ykjang@knfc.co.kr

Tel: (042) 868-1184, Fax: (042) 868-1149

\* 한전원자력연료

핵연료봉이 원자로 내에서 냉각재에 의해 열 교환이 일어나면서 진동할 때에는 지지격자와의 미끄럼이 발생하게 되므로 핵연료집합체는 비선형 거동을 나타낸다.

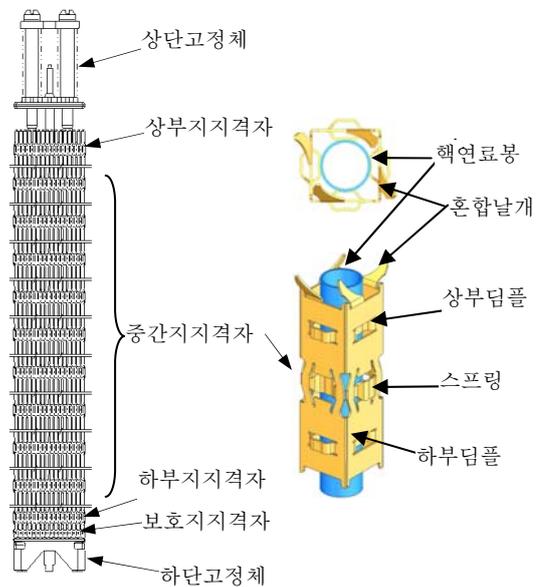


Fig. 1 Nuclear Fuel Assembly (Typical)

#### 2.2 집합체 동적시험장치

핵연료집합체는 원자로내의 내부구조물에 의해 지지되고 있으므로 동적시험을 위해서 집합체가 시험대 상하부 모사장치에 의해 지지되도록 하였다. Fig. 2에 보인 바와 같이 집합체를 횡방향으로 진동시킬 수 있도록 중앙에 가진기를 설치하였으며, 반대편에는 변위를 얻을 수 있도록 각 지지격자위치에 LVDT 센서를 설치하였다.

#### 2.3 집합체 고유진동시험

가진기 전면에 Load Cell 을 부착하여 하중이 일정하게 가해지도록 조절하였으며, Load Cell 과 LVDT 센서를 자료취득시스템에 연결하여 자료를 취득하였다. 가진기의 하중 9N, 45N, 90N 등 여러 가지 하중조건으로 일정하게 유지한 상태에서 약 15

분에 걸쳐 2 Hz 부터 50 Hz 또는 100 Hz 까지 Sweep Up 또는 Sweep Down 을 수행함으로써 각 하중조건에서 진동수에 따른 진폭을 얻었다. 홀수/짝수 모드의 뚜렷한 고유진동수를 확인하기 위하여 가진기의 위치를 인접 지지격자 위치로 이동시켜 시험을 수행하였다.

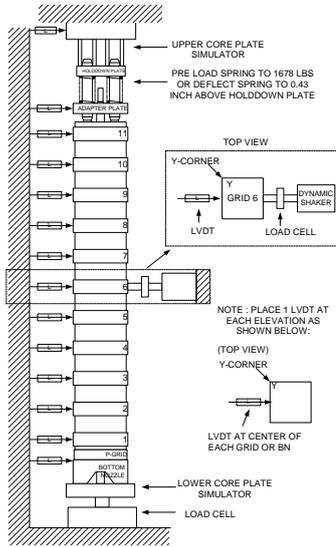


Fig. 2 Schematic on Assembly Dynamic Test

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 가진 위치에 따른 고유진동수

집합체 하부에서 6 번째 지지격자위치에 가진기를 설치하여 가진기의 하중을 9N, 45N, 90N 으로 변화시켜가며 진동수에 따른 변위를 측정된 결과 이 집합체는 Fig. 3(a)에 보인 바와 같이 하부에서 6 번째 지지격자위치에서 홀수 모드의 고유진동수가 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 가진기의 위치를 5 번째 지지격자위치로 이동시켜 동일한 하중조건에서 시험을 수행함으로써 Fig. 3(b)에 보인 바와 같이 짝수 모드의 고유진동수가 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있다. 모드 확인은 공진주파수에서 Dwell 시험을 수행하면서 지지격자 각 위치에서의 위상차를 이용하여 확인하였다. Fig. 3(c) 는 가진력이 90N 으로 동일한 경우 진동수에 따른 진폭을 비교하고 있는데 첫번째 모드의 고유진동수는 유사하게 나타나지만 이하 모드의 고유진동수는 가진기의 위치에 따라 교대로 두드러지는 것을 볼 수 있다.

#### 3.2 가진력에 따른 고유진동수

집합체의 고유진동수를 얻기 위하여 가진 위치뿐만 아니라 가진력을 달리하며 시험을 수행하였다. 각 모드의 고유진동수는 Fig. 4 에 보인 바와 같이

가진력의 크기가 클수록 작음을 볼 수 있었으며, 고유진동수는 가진력이 0 인 지점으로 외삽함으로써 얻을 수 있다.

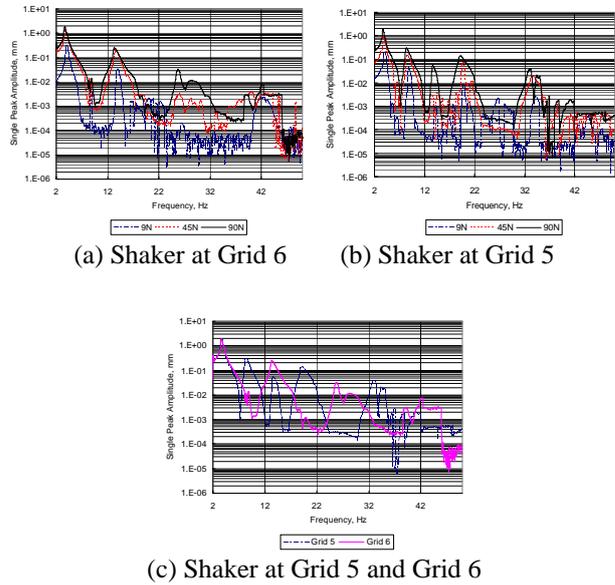


Fig. 3 Natural Frequencies per Shaker Position

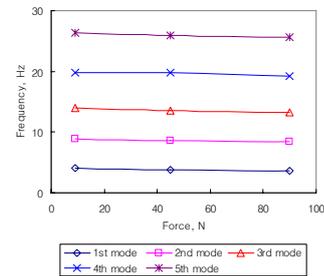


Fig. 4 Natural Frequencies vs. Shaker Force

### 4. 결론

지진 및 냉각재 상실사고 시 핵연료집합체의 건전성을 입증하기 위한 해석에 사용되는 입력자료 중 각 모드에서 집합체의 고유진동수는 가진 위치에 따라 두드러지게 나타나며, 이는 Dwell 시험이나 위상차를 이용하여 확인할 수 있다. 또한 각 모드의 고유진동수는 가진력의 크기가 클수록 작음을 알 수 있다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부가 지원하는 과제(과제번호: R-2005-1-39) 결과물의 일부이며, 저자들은 관계자 여러분께 감사 드립니다.