5×5 부분 모의핵연료의 주파수 변동 정현파 진동시험
SINE SWEEP VIBRATION TEST FOR A 5×5 PARTIAL DUMMY FUEL ASSEMBLY

강흥석, 이강희, 윤경호, 송기남, 정연호
대전시 유성구 덕진동 150 한국원자력연구소, 경수로연료개발부, hskang@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력연구소의 고성능지지격자개발과제는 경수로형 핵연료집합체의 핵심부품인 지지격자를 개발하고 있다. 지지격자를 개발한다는 것은 지지격자 고유형상을 고안하는 것 뿐 아니라 지지격자의 성능을 확인하는 해석과 시험이 병행되어야 함을 의미한다. 이러한 해석과 시험의 일환으로 작은 규모의 모의 핵연료집합체를 제작하여 기계진동 특성 및 수력적 특성을 파악하기 위한 시험을 수행하게 되는데, 본 연구는 이중판 지지격자체로 구성된 5×5 부분핵연료집합체로 수행한 진동시험의 절차 및 결과에 관한 것이다. 연구에서 이용한 진동시험은 저주파에서 시작하여 고주파까지 사인파의 주파수를 올려가면서 진동응답을 얻는 방법으로 수행되었다. 본 논문은 이러한 Sine Sweep 시험의 절차 및 결과에 대하여 기술하고 얻어진 결과는 기존의 해머를 이용하는 모달시험 결과와 비교하였다.

2. 시험절차 및 결과

2.1 시험절차

부분핵연료집합체의 sine sweep 시험에는 그림 1 과 같이 5 개의 가속도계, 1 개의 힘센서, 1 대의 가진기와 증폭기, 가진기 작동 및 데이터 취득을 위한 HP VXI 데이터 취득계, 그리고 데이터 분석을 위하여 IDEAS TDAS 시스템 등이 이용되었다. Sine sweep 시험은 임의로 정해진 힘을 실은 정현파로 대상물을 흔들면서 흔들리는 대상물에 붙은 힘센서로 실제 가진력을 측정게 된다. 그리고 측정된 가진력으로 판단하여 다음 신호의 세기를 결정하는 반복적인 되먹임 작업을 하다가 원하는 힘으로 가진력이 주어졌을 때 대상 신호를 취득하여 분석하게 된다. 본 시험에서는 0.2 N 과 1N 의 가진력을 사용하였다. 부분핵연료집합체의 상, 하부는 2 개의 안내관의 끝단에 붙은 나사를 이용하여 고정되었다[1]. 집합체의 모드를 확인하기 위하여 지지격자 위치에 5 개의 가속도계를 부착하였으며, 가진기는 중앙에 위치한 3 번째 지지격자를 가진할 수 있도록 배치하였다. 가속도 신호는 B&K 신호조절기를 통하여 HP VXI 데이터 취득계를 거쳐 신 IDEAS TDAS 시스템으로 신호분석되었다.

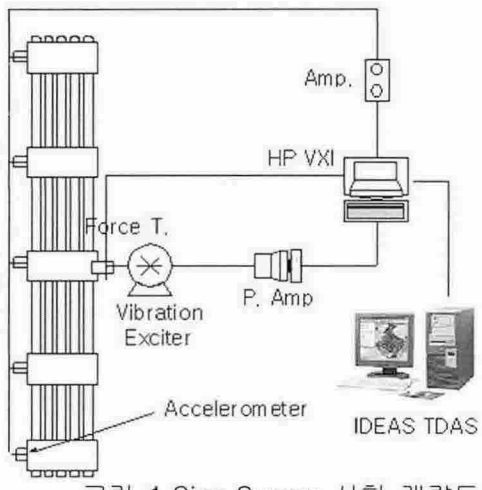

그림 1 Sine Sweep 시험 개략도

2.2 결과

부분핵연료집합체의 sine sweep 시험으로 얻어진 결과와 기존 해머를 이용한 모달시험으로 얻어진 결과를 정리하면 다음의 표1과 같다.

표 1 시험 및 해석결과 비교[1,2]

모드	FE 해석 (Hz)	모달시험 (Hz)	Sine Sweep (Hz)
1	4.2	6.4	6.7
2	10.3	15.2	15.4
3	19.3	24.0	24.4

표 1에 정리된 것과 같이 유한요소 해석으로 얻은 값이 제일 작았고, sine sweep 시험으로 얻은 결과가 가장 컸다. 한편 얻어진 진동 모드들은 모두 동일한 결과를 보여주었다. 1차~3차 모드를 도시하면 그림 2와 같다. 다음의 그림 3은 힘센서에서 얻은 스펙트럼을, 그림 4는 3번째 가속도계에서 얻은 주파수 응답함수를 도시한 것이다. 0.2 N의 가진력을 사용한 경우 1N의 가진력에 비하여 되먹임 조절이 잘되었음을 알 수 있다. 적은 힘으로 가진한 경우 오히려 깨끗하고 날카로운 주파수 응답을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

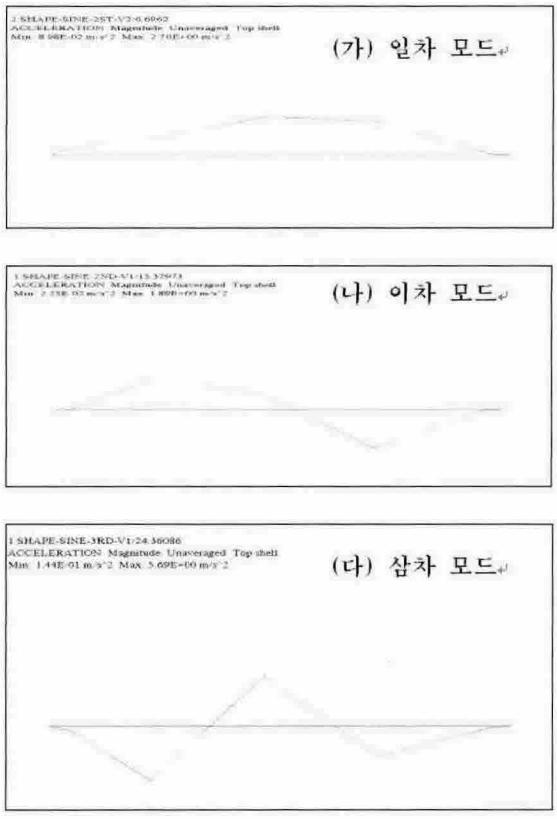

그림 2 부분핵연료집합체의 진동 모드

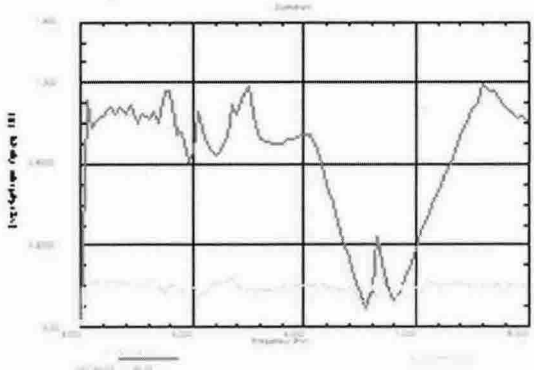

그림 3 힘센서로부터 얻은 스팩트

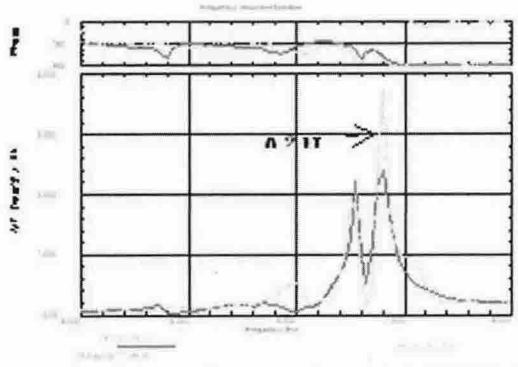

그림 4 가속도계의 주파수응답함수

1N의 경우 1차 공진점 (6.7 Hz)에서 제어가 어려울 정도로 큰 공진이 발생하여 되먹임 조절이 뜻대로 잘 되지않았다.

3. 결론 및 토의

5×5 부분핵연료집합체의 Sine Sweep 진동시험에 관한 절차 및 최적 시험 조건을 도출하였다. 가진력으로 0.2N을 사용한 경우 뚜렷한 주파수 응답함수를 얻을 수 있었다. 가진력으로 1N을 사용한 경우 1차 공진 주파수에서 변위가 지나치게 커지는 이유로 되먹임 조절이 어렵다는 사실도 알 수 있었다. 금번의 시험 결과를 기존의 모달시험 결과와 비교하면, 모드형상은 두 결과가 잘 일치하였으며, 고유진동수는 가진기를 사용한 경우 0.2~0.4 Hz 정도 높았으나 대체로 만족할 만한 결과로 판단되었다. 금번의 진동시험 절차는 향후 경수로핵연료의 진동시험에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

알려진 바와 같이 핵연료집합체는 비선형 특성이있다. 이런 이유로 가진력을 달리하면 공진 주파수가 달라질 것으로 예상하였으나 실험으로 얻은 부분핵연료집합체의 공진 주파수는 동일하였다. 이것은 그림 3에서 보는 바와 같이 비록 1 N으로 가진한 경우에도 공진 주파수 근방에서는 이보다 상당히 작은 0.2~0.4 N의 가진력이 실제로 작용하였기 때문으로 판단되었다.

그림 4에서 볼수 있는 바와 같이 일차 고유진동수 근처에서 0.3 Hz 차이로 두 개의 첨점이 관측되었다. 두 첨점의 주파수 차이가 워낙 작고 기존의 해석 및 시험 결과로 미루어 볼 때 1차와 2차 모드는 아닌 것으로 판단되었다. 모달 시험 결과를 다시 확인해 본바 이것은 두 면방향으로 각각 다르게 나타난 부분핵연료집합체의 두개의 일차모드 이었다. 이러한 결과는 부분 핵연료집합체에 장전된 23개 연료봉중 외곽에 있는 한 개의 봉이 펠렛이 들어있지않은 빈봉이었기 때문에 두 면방향의 강성 차이가 발생하여 방향이 다른 일차 모드가 동시에 계측된 것으로 결론 지어졌다.

참고문헌

[1] 강흥석, 윤경호, 송기남, 김형규, 최명환, 정연호, 5×5 부분핵연료집합체의 진동해석 및 시험, 2003 년 추계원자력학회, 10 월 30~31, 2003, 용평.
[2] H.S. Kang, M.H. Choi, K.H. Yoon, K.N. Song, Y.H. Jung, A Vibration Analysis and Test of a 5X5 Rod Bundle, Proceedings of ICONE 12, April 25-29, 2004, Arlington, Virginia, USA