

유체유발진동 시험용 시험루프의 진동특성 Vibration Characteristics of the FIV Test Loop

이강희, 강흥석, 윤경호, 송기남

한국원자력연구소 경수로 연료개발부, 대전시 유성구 덕진동 150 번지
ex-lee@kaeri.re.kr, hs kang@kaeri.re.kr, khyoon@kaeri.re.kr, knsong@kaeri.re.kr

1. 서론

고성능 지지격자 개발과제는 핵연료의 핵심 구조부품인 지지격자를 독자적으로 개발하고 이에 대한 기초연구를 병행하고 있다. 지지격자는 흠이 있는 격자판을 가로 세로로 엇갈리게 조립하고 교차점을 용접한 달걀바구니 형상의 구조물이며, 핵연료의 수명동안 연료봉을 지지하고, 기계적 및 열수력학적 측면에서 중요한 기능을 담당한다. 개발된 지지격자의 기계적인 성능검증 시험의 일환으로 유동유발 진동시험과 압력강하 시험을 동시에 수행할 수 있는 시험장치(Flow-Induced Vibration and Pressure Drop Experimental Tester, FIVPET)를 구축하였고, 상용 핵연료의 축소모형인 5×5 부분 핵연료 집합체를 이용한 유동유발 진동 시험이 예정되어 있다[1]. Fig. 1은 시험루프의 개략도를 나타낸다.

부분집합체를 이용한 유동시험 예비단계로서 시험루프의 자유진동 특성과 유동조건의 변화에 따른 강제진동 특성을 파악하였다. 자유진동 특성은 유한요소 해석과 모달시험을 통해서 비교 분석되었고, 유동에 의한 루프의 강제진동특성은 시험관의 진동응답 스펙트럼으로부터 분석되었다. 해석 및 시험 결과로부터 넓은 주파수 범위에 걸쳐 다양한 모달특성이 나타났고, 유동 기인된 시험관의 응답특성으로 1 kHz이상의 고 주파수 영역에서 큰 스펙트럼 진폭을 갖는 주파수 성분이 다수 존재한다.

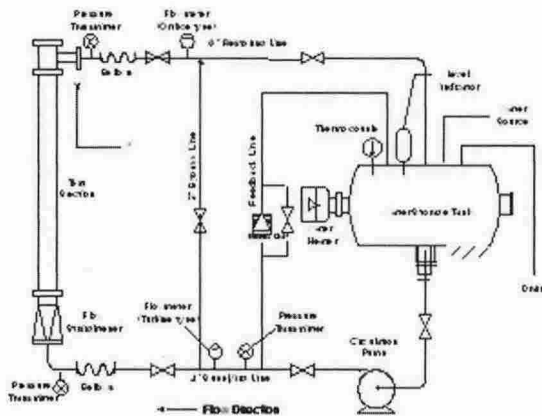


Fig. 1 Schematic Description of the Test Loop

2. 자유진동 특성

시험루프의 유한요소 모델은 Fig. 2에서와 같이 배관과 지지구조물, 시험관 및 지지봉은 단면특성에 따라 보요소(B31)로, 밸브와 플랜지는 부가 질량에 해당하는 점요소(Mass)로 가정하였다. 시험관 상류Bellows 및 Flexible joint는 두께와 강성을 감소시킨 등가의 단순모델로 구성하였고, 공간상의 각 위치에서 배관을 지지하는U자형 고정쇠는 스프링요소로 가정하였다[2].

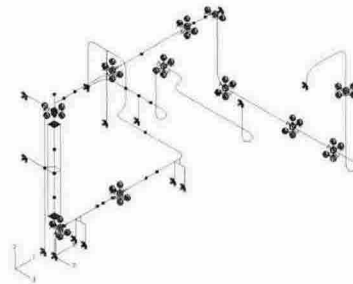


Fig. 2 Finite Element Model for the Test Loop

충격해머(B&K type 8202)와 가속도 센서(Rion type PV90B)를 이용한 모달시험에서는 시험관 및 상류 주 배관을 대상으로 150 Hz 미만의 저차 진동과 1500 Hz 이상의 고차모드를 확인하기 위한 공기 중 및 수 중 시험이 수행되었다. 신호측정 및 가진 위치는 해석결과를 참고하여 변위가 클 것으로 예상되는 위치를 노달점을 피해 선정하였다. Table 1 과 Fig. 3 은 각각 해석과 시험을 통해 분석된 시험루프의 고유진동수와 기본진동수에서의 모드형상을 나타낸다.

Table 1 Natural Frequency(Hz) of the Loop

	Mode	Test Results in Air(under Water)	FEA Results
Low Freq. Range	1	24.4(27.0)	27.5
	2	34.8(36.7)	37.9
	3	45.8(47.5)	47.2
	4	58.1(59.9)	61.1
High Freq. Range	N to N+11	1568, 1615, 1873, 1918, 1987, 2199, 2117, 2364, 2515, 2608, 2809	

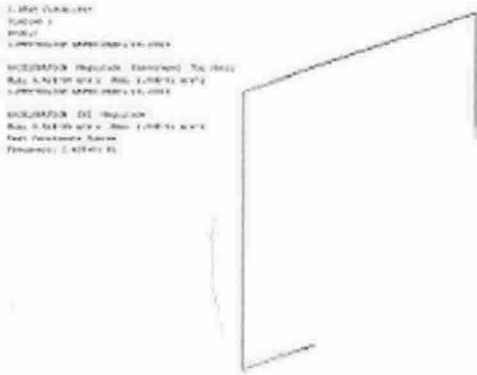


Fig. 3 Mode Shape for the Fundamental Frequency

3. 유동기인 강제진동 특성

순환유체의 유동으로 인한 시험루프의 강제 진동특성을 파악하기 위해 Fig. 4의 개략도와 같이 유동조건의 변화에 따른 시험관의 길이방향 중심에서의 진동응답 스펙트럼과 시험관 내 압력섭동을 측정하였다. Fig. 5, 6는 입구유량 39.25E-3 m³/s, 시험관 내 예상유속 8.5 m/s일 때 유동시험에서 측정된 시험관의 가로방향 진동스펙트럼과 시험관 내 압력변동 스펙트럼을 각각 나타낸다.

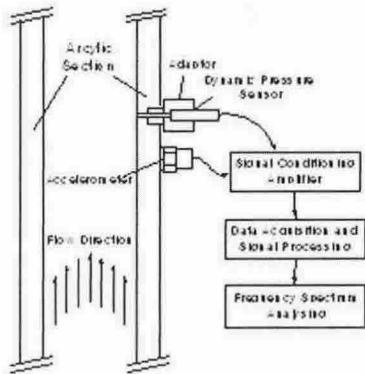


Fig. 4 Schematic View of the Flow Test

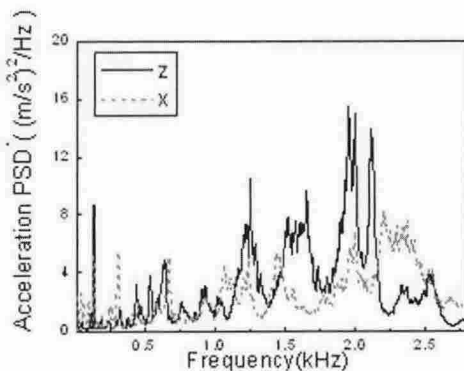


Fig. 5 Flow-Induced Vibration Spectrum of the Test Section

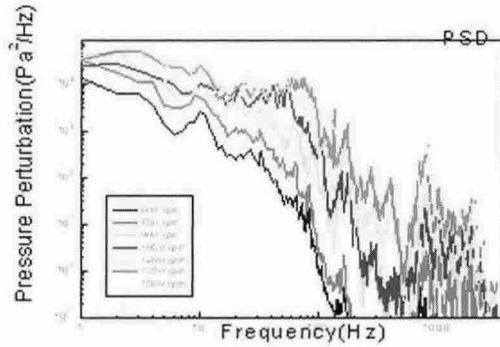


Fig. 6 Pressure Pulsation Spectrum in the Test Section

4. 결과 및 토의

시험루프의 자유진동 특성으로 기본진동수 27 Hz(수중)부터 60 Hz 까지 4 개의 고유모드가 존재하며, 기본진동수에 대한 모드형상은 Fig. 3 에서와 같이 시험관 중심에서의 진동변위가 가장 큰 1 차 보진동(길이 방향으로 반파)모드에 해당한다. 유한요소 해석결과는 모드형상에 있어서 시험결과와 큰 차이를 보이는데, 지지조건 및 신축관의 모델개선이 필요하다. 복잡한 주파수 응답 특성을 나타내는 1500 Hz 이상의 시험관 진동모드는 주로 관 진동모드를 나타내며 3000 Hz 미만까지 대략 11 개의 고유모드가 존재한다.

시험관의 진동응답 스펙트럼(Fig. 5)의 Peak들은 펌프 회전수에 따른 조화진동성분이거나 내부 유체유동에 의해 발생하는 유동기인 진동 주파수 성분이 루프의 고유진동수에 근접함에 따라 발생한 공진이며, 주로 시험관 내 압력섭동(Fig. 6)과 음향공진에 의해 발생된 것으로 판단된다. 시험관의 가로방향 진동은 방향성을 가지며, 유동조건에 따라 넓은 주파수 범위에 걸쳐 복잡한 주파수 응답 특성을 나타낸다. 추후 유동시험에서 관심주파수 영역 내에 공진이 발생되지 않도록 배관 지지조건을 변경하여 고유진동수의 변화를 유도하거나, 유로를 단순화시켜 난류나 Vortex 요인을 제거하고, 곡관 형상을 변경하는 등의 유동조건을 변화시킬 필요성이 있다.

5. 참고문헌

[1] Kang, H.S., Yoon, K.H., Kim, H.K., Song, K.N., Jung, Y.H., 2001, "Development of the Flow-Induced Vibration Loop for a 5×5 Partial Fuel Assembly", *Proc. of the KNS 2001 Autumn Annual Conference*

[2] Lee, K.H., Kang, H.S., Yoon, K.H., Song, K.N., "Free Vibration Characteristics of the FIV Test Loop and Evaluation of the Supporting Performance", KAERI, KAERI/TR-2734/2004