

핵연료집합체 내구성시험에서의 진동측정

Vibration Measurement in Fuel Assembly Endurance Test

이강희[†]·신창환^{*}·김형규^{*}·오동석^{*}

Kang-Hee Lee, Chang-Hwan Shin, Hyung-Kyu Kim and Dong-Seok Oh

1. 서 론

핵연료집합체 내구성시험은 천이노심에서 이웃하는 두 다발의 실물크기의 핵연료(다른 주기 혹은 다른 종류의 이중 핵연료)를 대상으로, 집합체와 구성연료봉의 정상 및 과도 진동특성(이웃하는 두 집합체의 충돌여부 등), 최대유량으로 장시간 유지 후의 피복관 마멸측정 등을 종합적으로 평가하여, 새로운 핵연료 설계의 내구성과 양립성을 평가 및 검증하는 시험이다. 상기 시험을 위하여 한국원자력연구원 내 특수연구동에 핵연료집합체 양립성시험시설이 구축되었고, 시설검증을 위한 기능 및 운전시험이 수행되고 있다. 내구성 시험에서는 핵연료 집합체와 연료봉의 진동, 집합체와 유동체널 벽의 간극변위, 시험용기와 유동체널의 진동을 지속적으로 측정하고 모니터링해야 할 필요성을 갖는다. 본 논문은 이에 대한 시험시설과 시험조건, 진동 측정에 관한 일반사항에 관하여 소개함을 목적으로 한다.

2. 시험시설 및 시험조건

핵연료집합체 양립성 시험시설(Performance Test Facility for Fuel Assembly Hydraulics and Vibration Analysis; PLUTO)은 상업용 가압경수로 핵연료 집합체의 수력적 성능 및 내구성을 검증하기 위한 고온 고압 시험 시설이다^[1]. 시험시설은 국내에서 운용중인 한국표준형 원전 및 웨스팅 하우스형 원전에 사용되는 핵연료집합체의 인허가를 위한 시험데이터 생산을 주목적으로 하고 있으며, 그 외 신개념 핵연료의 유관 성능시험에도 사용될 것이다. 주요 설계조건은 다음과 같다.

- 압력 및 온도조건
- 1) 설계조건 : 250 °C, 4 MPa
- 2) 최대 운전조건 : 210 °C, 3.5 MPa
- 최대 운전유량 : 1350 m³/hr
- 작동유체 : 탈이온화 순수(Deionized water)

시험시설은 주배관계통, 시험대, 계측 및 제어계통, 자료처리계통, 전원공급계통, 보조계통등으로 구성된다. 그림 1은 flow diagram을 도시한다. 시험대는 다양한 목적을 위해 집합체 두 다발용(A)과 한 다발용(B)으로 각각 구성된다. 시험대 A는 서로 상이한 핵연료가 동시에 인접하여 원자로에 장전되는 경우인 천이 노심을 모사하기 위한 것이다. 시험대 B에서 시험핵연료집합체 한 다발을 사용하는 시험 종류는 압력손실 시험, 집합체 들림유량 시험, 유체유발진동 시험, 감쇠 시험 그리고 이물질 여과성능 시험이다.

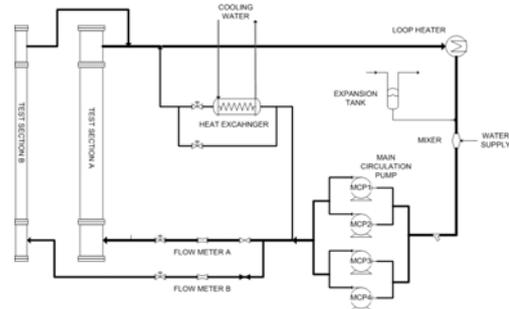


그림 1. 시험시설의 개념도.

두 다발의 집합체 중 하나는 한 주기 혹은 두 주기 연소 후 연료를 모사해야 하므로, 구성연료봉의 피복관은 인위적으로 산화시킨 피복관을 사용하거나, 지지격자체의 일부 스프링 지지 셀도 지지격자체(이완과 성장)와 피복관(크립-다운)의 조사변형을 감안하여, 인위적인 변형 혹은 지지점 간극을 갖도록 설계한다. 따라서, 실제 운전시간에 비해 상대적으로 짧은 시간 동안 수행되는 내구성 시험은 가속성 시험(accelerated testing)이어야 하므로, 간

[†] 이강희; 한국원자력연구원
E-mail : leekh@kaeri.re.kr
Tel : (042)868-2298, Fax : (042) 863-0565

^{*} 한국원자력연구원

극과 산화층형성의 측면에서 다소 보수적으로 시험조건을 설정해야할 필요성을 갖는다.

3. 진동측정

3.1 연료봉 진동 및 궤적

핵연료 집합체의 내구성 시험에서는 펌프의 시작과 종료, 유동조건이 갑작스런 변경과 같은 과도조건과 정상운전 조건에서 구성 연료봉의 진동응답을 측정해야 한다. 전자는 변화되는 전체시간 동안의 시간응답을 기록하게 되며, 후자는 유동과 진동응답이 정상상태로 안정화된 이후의 응답을 각각 시간이력과 반복 평균화된 스펙트럼으로 측정하게 된다(혹은 일정기간의 시간이력을 후처리를 통하여 스펙트럼정보를 얻을 수 있다). 정상운전 조건은 다시 낮은 유동조건에서 최대 유동조건까지 일정간격으로 증가시키면서, 개별 정상조건에서의 시험집합체와 연료봉의 진동응답을 측정하게 된다. 이로부터 유동조건에 따른 연료봉과 집합체의 자력여기 진동(self excited vibration) 발생여부를 확인하고, 원인에 대해 분석하게 된다. 연료봉의 진동은 높은 사용온도 및 압력과 협소한 측정공간 등의 제한으로, 특수하게 제작된 상용 삽입형 2축 가속도 센서(Endevco Model 84M108B)나 자체 제작한 진동센서를 이용하게 될 것이다. 센서의 측정부는 수밀이 유지되어야 하며, 설치 및 조립시에 과도한 인장하중이 센서의 연결 케이블에 인가되지 않도록 각별한 주의가 필요하다. 봉 진동 측정위치는 시험집합체 길이방향과 단면의 복수 개소에 위치하여, 시험집합체의 수력조건, 이웃하는 집합체와 양립성 관계, 집합체 단면 상의 연료봉 위치, 미리 형성된 지지점 간극의 유무에 따른 진동응답의 차이를 확인하기 위하여 다수 개(총 10에서 16개)의 삽입형 진동센서를 시험집합체에 설치할 예정이다.

3.2 집합체와 유동체널의 간극변위

시험집합체의 지지격자 외부관과 이웃하는 유동체널 벽의 간극을 측정하는 목적은 시험 집합체의 물리적인 실제 변위를 확인함(운전중 Operating deflection shape 포함)과 동시에 삽입형 가속도 센서에서 측정된 가속도 신호를 변위신호로 변환(봉의 진동궤적을 계산)하기 위한 cutoff frequency를 얻기 위함이다. 간극의 측정은 비접촉식 고온용 변위센서(RDP Model PY256C)를 이용하여 유동체널을 따라 10개소에서 측정된다.

3.3 시험용기 및 유동체널의 기저진동

운전 중 시험장치 압력용기와 유동체널의 기저진동을 측정하기 위하여, 일반목적의 압전형 단축 가속도 센서(PCB Model 357B03, 04)와 고온용 가속도 센서(Endevco Model 6240M10)를 각각 용기와 유동체널의 몸체에 부착(stud mounting)하고 가속도를 측정하게 된다. 압력용기의 진동 측정위치는 최대진폭 예상 위치(상단부 출구배관 쪽 2개소)와 공급관이 연결되는 용기 하단부(2개소)를 중심으로, 압력용기의 지지건전성 평가를 위하여 용기 중심지부를 포함한 총 6개소이다. 유동체널의 진동측정위치는 중심부와 상단부 3/4위치를 단면상의 수직인 방향으로(90°와 270°) 총 4개소에서 측정한다.

3.4 데이터 획득과 분석

각 진동센서로부터 측정된 36개의 전압신호는 신호조정기와 증폭기를 거쳐 VXI 기반의 데이터 획득장치와 IDEAS/TDAS 프로그램을 이용하여 저장 및 신호분석될 예정이다. 측정결과인 시간이력과 스펙트럼은 후처리 및 신호분석을 위하여 TDAS 전용파일(.ati, .afu) 혹은 universal 파일(.unv)의 형태로 저장된다.

4. 결 론

실물크기의 상용핵연료 집합체 두 다발을 이용하여 핵연료집합체의 내구성시험을 수행할 수 있는 양립성 시험시설이 국내기술로 자체 제작되었다. 본 논문에서는 핵연료 집합체 내구성 시험에서 계획된 진동측정과 관련하여, 연료봉 진동, 집합체와 유동체널의 간극변위, 시험용기와 유동체널의 진동측정에 대한 일반사항에 대하여 기술하였다. 시험시설(용기와 유동체널)에 대한 성능시험이 종료되면, 시험용 연료 집합체를 장전한 상태로 국내 최초의 핵연료 집합체 내구성 시험이 수행될 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 연구비지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1] C.H.Shin, et al., Basic Design of the Performance Test Facility for Fuel Assembly Hydraulics and Vibrations Analyses, KNS Autumn Meeting, 2006.