

핵연료집합체 보호지지격자의 유체유발진동 특성 분석

An Analysis on the Flow Induced Vibration Characteristics of Protective Grids in Nuclear Fuel Assembly

류주영† · 엄경보* · 전상윤* · 서정민*

Joo Young Ryu, Kyung Bo Eom, Sang Youn Jeon and Jung Min Suh

1. 서 론

경수로형 핵연료집합체는 핵연료 펠렛(Pellet)이 들어있는 가늘고 긴 수백개의 연료봉이 수직으로 배열되어 있고, 핵적, 구조적인 안전을 위해 지지격자와 상단 및 하단 고정체로 지지되어 있다. 이 핵연료집합체는 고온 고압 환경하에 원자로 내에 수직으로 장착되어 운전되며, 핵분열 시 발생하는 열을 운반하기 위해 원자로 하부에서 상부방향으로 약 5m/s 속도로 고속의 냉각수가 유입된다.

핵연료집합체 구성 부품 중 보호지지격자(Protective Grid)는 이물질 여과 기능을 수행하기 위해 복잡한 구조를 가지고 있으며, 핵연료집합체 하부쪽인 하단고정체 바로 위에 위치하고 있다. 원자로 하부로 부터 공급받는 냉각수는 하단고정체의 좁은 유로구멍에서 제트류의 속도를 가지며 방사된다. 이때 보호지지격자의 복잡한 형상은 유체저항으로 작용하여 고주파 유체유발진동(Flow Induced High Frequency Vibration, HFV)을 야기시킨다. 장시간 높은 수치의 고주파 유체유발진동에 노출된 보호지지격자는 피로손상(fatigue failure)을 일으킬 수 있으며, 피로손상에 의한 파편은 2차 핵연료 손상 메커니즘으로 작용할 수 있고 결과적으로 핵연료의 건전성 저하를 가져올 수 있다.

이를 위해 보호지지격자의 유체유발진동 저감 설계가 요구되고 있으며, 보호지지격자 형상 변경에 따른 진동의 양상이 어떻게 변화 하는가를 우선적으로 연구할 필요가 있다. 한전원자력연료의 자체 시

험시설인 INFINIT(Investigation of Flow Induced Vibration)에서 보호지지격자 형상별 유체유발진동 시험을 수행하였고, 분석결과를 토대로 유체유발진동의 크기를 저감할 수 있는 방안을 고찰하였다.

2. 시험설비

2.1 INFINIT 시험설비

한전원자력연료는 유체유발진동 특성을 연구하기 위해 다양한 범위의 냉각수 유속이 적용 가능한 INFINIT 시험설비를 개발하였다. 이 시험설비는 작은 규모의 집합체(5x5 배열, 2m 높이) 한다발을 시험할 수 있는 설비로써, 지지격자 및 연료봉의 진동과 압력강하를 측정할 수 있으며, 부품별 시험 측정이 가능하다. Fig. 1은 INFINIT 시험설비의 개략적인 구조이다.

2.2 INFINIT 시험부 및 계측부

Fig. 2(a)와 같이 아크릴하우징으로 제작된 구조에 시험집합체가 삽입되며 아크릴하우징 하부에서 상부방향으로 냉각수가 유입된다. 이때 시험체의 진동은 가속도계와 레이저 도플러 진동측정기(Laser Doppler Vibrometer, LDV)를 사용하여 계측한다. Fig. 2(b)는 보호지지격자 상부 Ligament의 표면(Strap) 진동을 LDV로 측정하고 있는 장면이다.

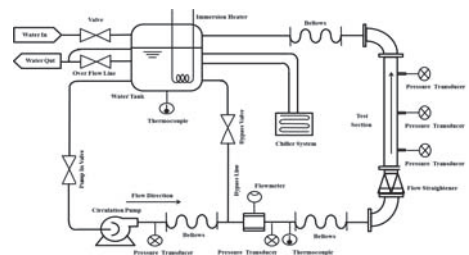


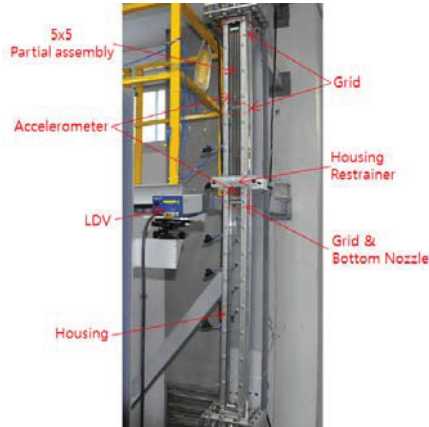
Fig. 1 INFINIT Pipe and Instrumentation

† 교신저자; 한전원자력연료(주)

E-mail : jyryu@knfc.co.kr

Tel : +82-42-868-1368, Fax : +82-42-868-1149

* 한전원자력연료(주)



(a) Test Section
(b) LDV Measurement
Fig. 2 INFINIT Test Section and Measurement

3. 유체유발진동 시험 및 결과

3.1 시험시편 결정

원자로내에서 보호지지격자의 손상은 Fig. 3의 Point 3 인 상부 Ligament 지역에서 주로 발생하는 경향을 보이고 있다. 또한 INFINIT 시험설비를 이용하여 Fig. 3의 형상을 가진 상용 보호지지격자 시편들을 측정된 결과 모두 상부 Ligament에서 최대 유체유발진동 크기값을 보이고 있다.



Fig. 3 Protective Grid

이에 대한 연구를 위해 Fig.4 에서와 같이 동일 형상의 보호지지격자 설계에 상부 Ligament 형상만 변경하여 3종의 시편을 제작하였으며, 유체유발진동의 크기값이 저감되는지 알아보기 위해 시험을 수행하였다. Fig 4 (a)는 상부 Ligament가 평평한 구조이며, Fig 4 (b)와 (c)는 상부 Ligament를 일정한 각을 가지도록 경사지게 한 삼각형 구조이다.

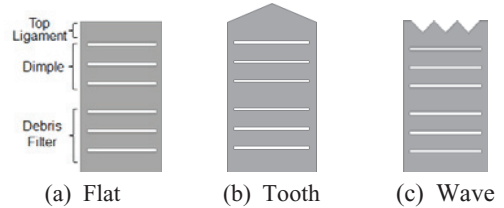


Fig. 4 Protective Grid Geometry Concepts

3.2 시험결과 분석

Table 1 및 Fig.5는 시편형상별 상부 Ligament에서 발생한 유체유발진동 특성을 비교한 결과이다. 진동의 최대값은 모두 고주파영역에서 발생한 것을 확인하였으며, Fig. 4 (a)의 상부 Ligament가 평평한 구조를 가진 시편보다 Fig. 4 (b) 및 (c)의 상부 Ligament가 경사진 구조를 가진 시편에서 유체유발진동 크기값이 더 저감되었음을 알 수 있다. 이는 상부 Ligament의 기울어진 구조가 보호지지격자 끝단에서 발생하는 와류방출(Vortex-shedding)의 주파수 영역을 분산시켜 보호지지격자의 고유진동수와의 공진 발생 빈도를 감소시키기 때문이라고 분석된다.

Table 1 Comparison of HFV Freq. of Test Results

Freq. of Peak Amp. at In-Core Velocity Range	Flat	Tooth	Wave
	4470 Hz	3085 Hz	4710 Hz

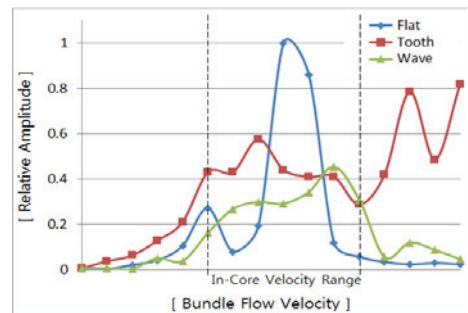


Fig. 5 Comparison of HFV Amp. of Test Results

4. 결 론

보호지지격자에 대한 유체유발진동 시험결과 상부 Ligament에서 최대값이 발생하는 것을 확인하였다. 상부 Ligament의 유체유발진동 저감을 위해 끝단부 형상을 기울어지도록 설계하였으며, 시험을 통해 진동의 크기가 저감되는 것을 확인할 수 있었다.