

노내시험부 내부집합체에 대한 유체유발진동특성

Characteristics of flow-induced vibration for inner assembly of in-pile test section

이한희† · 이종민* · 이정영**

Han-Hee, Lee, Jong-Min Lee, Chung-Young Lee

Key Words : In-Pile Section (노내시험부), Fuel Test Loop(핵연료노내조사시험설비), Flow-induced vibration(유체유발진동) HANARO(하나로)

ABSTRACT

The in-pile Section (IPS) is subjected to flow-induced vibration(FIV) due to the flow of the primary coolant and then the structural integrity. The in-pile Section (IPS) of 3-pin Fuel Test Loop(FTL) shall be installed in the vertical hole call IR1 of HANARO reactor core. In order to verify the velocity and displacement both the inside region of IPS at the annular region of IPS, the vibration was measured by varying the flow rate on both regions. The displacements of fuel assembly in the in-pile Section (IPS) were found to be lower than the values of allowable design criteria.

1. 서론

3-Pin 핵연료노내조사시험설비는 하나로(HANARO)를 이용하여 핵연료 조사시험을 수행할 수 있는 설비로써 노내시험부와 노외공정부로 구성되어있다. Fig 1은 하나로 노심의 IR1에 장착되는 노내시험부이며, 이는 이중압력관 구조로써 가압경수로용(PWR) 핵연료 및 중수로용(CANDU) 핵연료봉을 최대 3개까지 장착할 수 있도록 설계되었다. 가압경수로용 운전조건은 온도(300℃), 압력(15.5MPa) 및 유량(1.6kg/s)을 유지하며, 노내시험부에 주냉각수가 공급된다. 노내시험부에서 흡수된 핵반응열은 주냉각수에 의하여 제거되며, 주냉각수펌프는 냉각수 순환을 위한 구동력을 제공한다. 주냉각수펌프 후단에 설치되는 주가열기는 핵연료시험설비 기동 시 냉각수를 가열하고, 시험중에는 주냉각기와 함께 주냉각수 온도조절 기능을 수행한다. 가압기는 시험핵연료의 운전모드에 맞는 주냉각수 압력을 제어한다. 정화계통 및 탈기계통은 주냉각수의 수질조건을 유지시킨

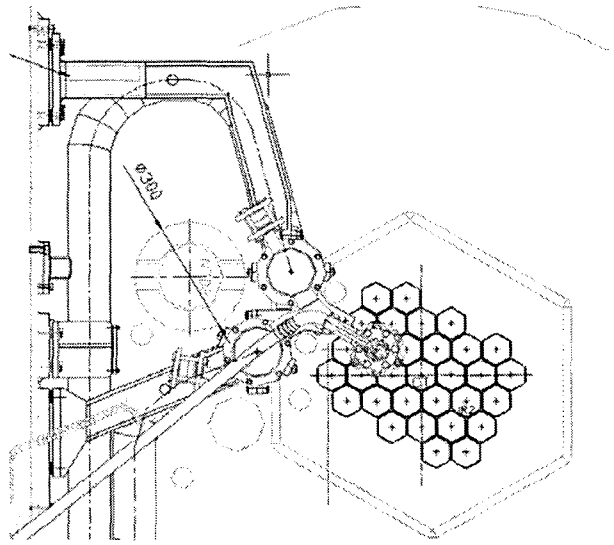


Fig. 1 The IPS loaded in IR-1 irradiation hole

다. 예상운전과도 및 설계기준사고 발생 시 시험핵연료의 냉각을 위하여 비상냉각수계통이 설치되어있다. 그리고 하나로 노심의 IR-1 조사공에 노내시험부가 장착될 경우 하나의 운전제한요건을 만족하여야 한다. Fig 2에서 주냉각수가 노내시험부로 들어오게 되면 핵연료를 지지하는 Test fuel assembly위치, 유동조건, 유동방향 등으로부터

† 책임저자, 한국원자력연구소
E-mail : lhanhee@kaeri.re.kr
Tel : (042) 868-4640, Fax : (042) 868-8364

* 한국원자력연구소

** 한국원자력연구소

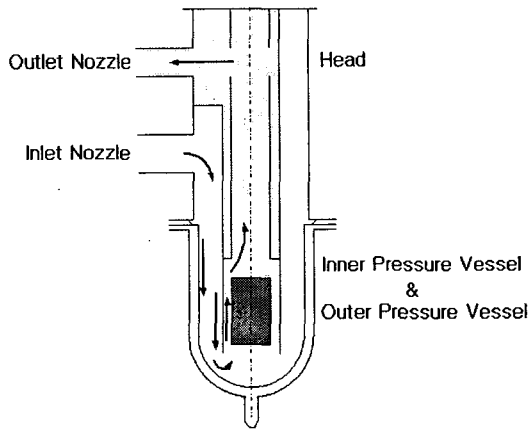


Fig. 2 Schematic showing of the IPS inner flow

유체유발진동의 주요원인으로부터 진동현상이 발생할 수 있다. 또한, 유체유발진동은 유체를 포함하고 있는 구조물의 응답에 관한 현상을 다루는 것으로써 노내시험부의 Test fuel assembly에 있어서 진동은 횡방향, 축방향으로도 발생할 수 있다.

본 연구에서 하나로 노심의 IR1에 장착되는 노내시험부는 정상 운전조건 하에서 핵연료봉을 지지하는 Test fuel assembly가 유체에 의해서 발생하는 진동을 측정하고, 노내시험부는 고온고압 조건에서 운전되므로 원자로의 설치에 앞서 설계검증의 일환으로 노내시험부 내부집합체의 구조건전성 평가를 수행하고자 한다. 즉, Flow Induced Vibration으로 인한 노내시험부 내부집합체의 국부적인 진동이 구조물의 건전성에 영향을 미치지 않음을 검증한다.

2. 진동시험

2.1 진동시험 조건 및 측정점의 선정

Flow Induced Vibration에 대한 진동평가 대상은 핵연료 장전 부위인 Test fuel assembly로써 이에 대한 개략적인 구조는 Fig. 3에 나타내었다. 본 실험에서 Flow induced vibration에 의한 노내시험부 내부집합체를 통한 진동가속도 및 변위의 최대 및 최소진폭값을 구하여 과도한 진동이 발생하는지의 여부를 확인하고자 한다. 노내시험부 진동시험은 Table 1에 따라 주냉각수의 유량을 설계유량의 35%에서 100%까지 변화시키면서 수행하였다. 만일 유량이 0일 경우 최대 유동량의 5%에서 계측한다. 노내조사시험부 집합체에 설치되는 가속도계

Table. 1 Test conditions of the in-pile test section

	Conditions
Temperature	상온(293.15K)
Used fluid	H_2O
Flow range	0.5kg/s ~ 2.0kg/s

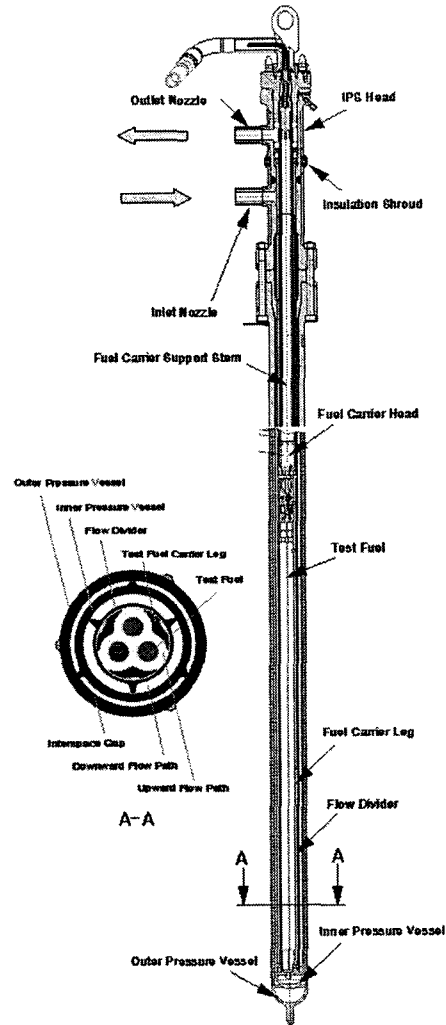


Fig. 3 Schematic of IPS

위치는 Fig 4와 같다. 즉, 유체 유동에 의하여 진동속도가 가장 많이 발생될 수 있는 지점으로 선정하였다. 진동 시험에 사용된 가속도계는 수중용 가속도계로서 B&K 4520를 2개 사용하였고, X-60 bond를 이용하여 부착하였다. 측정된 가속도 신호는 B&K pulse system을 이용하여 분석을 수행하였다.

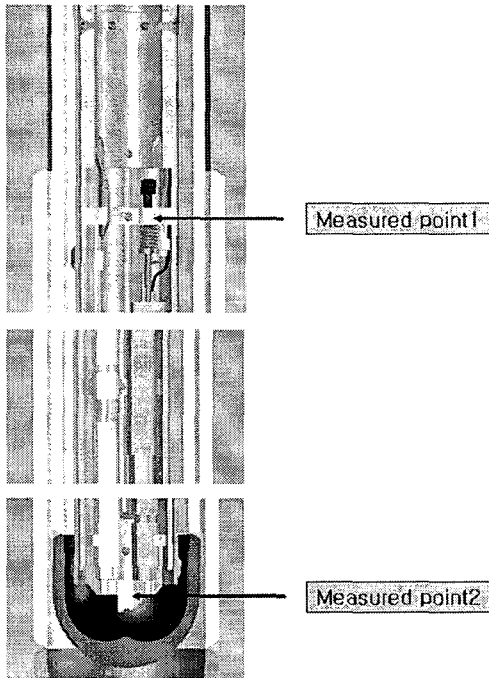


Fig. 4 Accelerometer Location Determination of in-pile test section

3. 진동특성

3.1 가속도신호분석

노내시험부에 설치된 센서들로부터 계측된 진동신호에 대한 시간영역 분석을 수행하였다. 시간영역분석은 주냉각수에 의해 핵연료봉 측정점¹⁾ 과 측정점²⁾ 에서 발생하는 진동수준을 대표하는 최대 및 최소진폭값을 구하였다. 노내시험부 내부집합체에 대한 진동시험은 설계유량의 20%에서 100%까지 유량을 변화시키면서 수행하였으며, 계측된 진동신호의 크기 특성을 파악하기 위하여 계측된 진동수준을 대표하는 최대 및 최소진폭값을 분석하였다.

Table 2에서 유량이 증가함에 따라 가속도신호의 크기가 규칙적으로 증가하는 경향을 볼 수 있다. y1보다는 y2에서 최대진폭이 크게 나타나는 것을 볼 수 있고, 측정점1)보다는 측정점2)가 다소 높게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 즉, Test fuel assembly가 조사시험 후 분리하기 위해 편으로 고정되어있어서 다소 측정점2)가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

3.2 변위신호분석

Table. 3에서 설계유량의 35%에서 100%까지 유량을 변화시키면서 2개 위치에서 구한 변위의 최대, 최소값을 정리

하여 나타낸 것이다. 측정변위를 관찰해 보면 변위는 유량이 증가하면 변위도 증가하는 경향을 볼 수 있다. 또한, y2에서 변위의 최대진폭은 0.167mm임을 관찰할 수 있다. inner assembly와 test fuel assembly 사이의 Gap 설계기준은 0.25mm이하이다. 두 지점의 진동을 측정함으로써 최대진폭이 설계기준에 만족함으로써 내부집합체에 대한 국부적인 진동이 노내시험부에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

Table. 2 Acceleration signal According to Flow Rates

Flow	0.75kg/s 35%	1.25kg/s 55%	1.5kg/s 65%	1.75kg/s 80%	2.2kg/s 100%	
Max.	y1	1.159	4.144	2.117	2.042	2.861
	y2	2.64	14.081	26.977	20.57	34.418
	z1	0.407	1.292	0.298	2.367	2.589
	z2	2.105	14.381	22.545	23.171	21.057
Min.	y1	-0.904	-1.518	-1.966	-3.035	-2.929
	y2	-1.256	-4.78	-18.774	-21.157	-34.334
	z1	-0.445	-1.234	-0.021	-1.534	-2.219
	z2	-1.512	-8.031	-14.67	-16.659	-17.082

Table. 3 Displacement signal According to Flow Rates

Flow	0.75kg/s 35%	1.25kg/s 55%	1.5kg/s 65%	1.75kg/s 80%	2.2kg/s 100%	
Max.	y1	0.06	0.019	0.024	0.031	0.038
	y2	0.04	0.056	0.119	0.069	0.167
	z1	0.003	0.019	0.021	0.037	0.043
	z2	0.041	0.067	0.047	0.059	0.064
Min.	y1	-0.006	-0.018	-0.023	-0.033	-0.036
	y2	-0.035	-0.079	-0.125	-0.076	-0.147
	z1	-0.003	-0.018	-0.027	-0.039	-0.052
	z2	-0.033	-0.059	-0.051	-0.069	-0.079

x축방향으로는 진동가속도 및 진동속도가 유량에 따라 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. x방향으로 유량이 흐르기 때문에 유량이 증가하여도 진폭이 작게 나타나는 것으로 판단된다. 가속도신호와 마찬가지로 변위신호도 유량이 증가함에 따라 최대, 최소변위값의 크기가 점차적으로 증가하는 경향을 나타내고 있음을 관찰 할 수 있다.

4. 결 론

노내시험부 내부집합체에 대한 진동 시험을 수행하였으며, 유량을 변화시켜가면서 내부집합체에 대한 진동가속도 및 변위를 측정함으로써 측정점1)보다는 측정점2)가

다소 높게 나타나는 경향을 볼 수 있었다. 즉, Test fuel assembly는 3방향으로 핀으로 고정되어 있어서 조사시험 후 연료봉을 재장전하고자 설계되어져 있다. 유량을 변화시켜가면서 노내시험부 내부집합체에 대한 진동신호를 분석한 결과, 가속도 최대진폭은 34.418m/s²로 나타났으며, 변위의 최대진폭은 0.167mm로 나타났다. 즉, inner assembly와 test fuel assembly의 Gap은 0.25mm 임으로 조사시험 시 구조적 건전성이 유지되고 간섭이 발생되지 않을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) M.J. Pettigrew, L.N. Carucci, C.E. Taylor and N.J. Fisher, "Flow-induced vibration and related technologies in nuclear components", Nuclear Engineering and Design 131, 1991
- (2) "3-pin 핵연료 노내조사시험설비의 IR1 유동관 및 노내시험부차압시험"KAERI/TR-3157/2006
- (3) "3-Pin 핵연료 노내조사시험설비의 노내시험부 Mock-up 제작" KAERI/TR-3509/2005
- (4) N.E. Todreas, M.S. Kazimi, "Nuclear systems I", ISBN 1-56032-051-6, P9,1989