

# 원전 기기 내부구조물에 대한 구조건전성평가

이한희<sup>†</sup> · 최진용<sup>\*</sup>

## Structural Integrity Assessment of the Internal Structure

Han-Hee Lee, Jin-Young Choi

**Key Words** : Internal Structure (내부구조물), Mode(모드), Natural Frequency(고유진동수), Response Spectrum(응답스펙트럼)

### Abstract

The internal structure is subjected to dynamic analysis due to the structural integrity. The internal structure shall be installed in the vertical hole call IR1 of reactor core. In order to verify the deflection of the internal structure, the mode and response spectrum analysis of the internal structure was performed. The natural frequency of the internal structure is 11.6 Hz(mode 1 and 2) and deflections of the internal structure are less than values of allowable design (3.2 mm).

## 1. 서 론

3-Pin 핵연료노내조사시험설비는 하나로(HANARO)를 이용하여 핵연료 조사시험을 수행할 수 있는 설비로써 노내 시험부와 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.

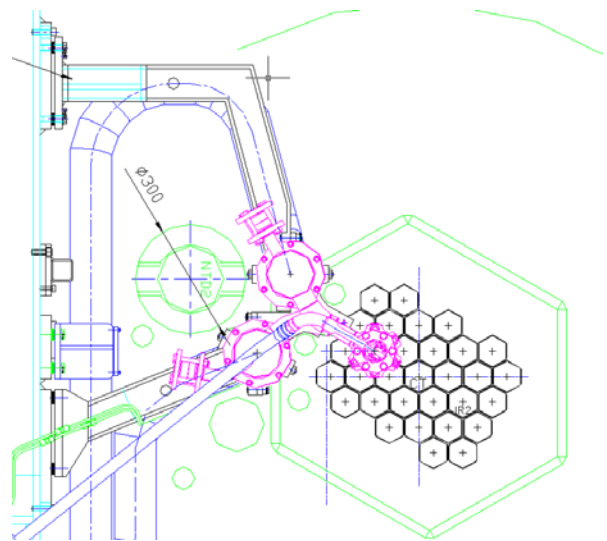


Fig. 1 The IPS loaded in IR-1 irradiation hole.

정화계통 및 탈기계통은 주냉각수의 수질조건을 유지시킨다. 예상운전과도 및 설계기준사고 발생시 시험핵연료의 냉각을 위하여 비상냉각수계통이 설치되어있다.[3]

본 연구는 하나로 노심의 IR-1 조사공에 노내시험부가 장착될 경우 내부집합체에 대한 구조건전성을 입증하기 위함이고, 내부집합체의 처짐을 제한하는 것이 궁극적인 목적이

<sup>†</sup> 책임저자, 화인텍센추리

E-mail : hanhlee@century.co.kr

Tel : (041) 538-8369, Fax : (042) 538-8393

<sup>\*</sup> 화인텍센추리

다. 이러한 요건을 만족하고자 내부집합체의 모드해석과 응력해석으로 구조건전성을 평가하고자 한다.

따라서 핵연료노내조사시험설비의 안정적 운영을 위해서는 설계가 매우 정확하게 해야 하며, 이를 위해서는 내부집합체에 대한 정확한 해석이 수반되어야 한다.

## 2. 해석방법

### 2.1 조건설정

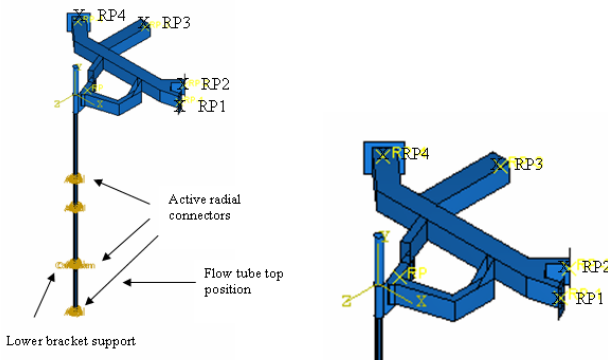


Fig. 2 FE Model of the internal structure.

Fig 2에 나타난 형상을 모델링하여 해석을 수행하고자 한다. 모든 구조물은 Stainless Steel로 이루어졌으며, FE Modeling을 하고 경계조건을 설정하고자 한다. 우선 해석 모델의 경계조건을 정확하게 일치시키기 위하여 현장에 설치된 내부집합체에 대한 고유진동수와 생성된 모델의 동특성을 비교분석하여 경계조건의 위치를 선정하였다.[2] 그리고 Element는 요소는 4-node plates와 8-node plates를 사용하였다.[1,2]

내부집합체의 구조거동(Structural behaviour)의 중요한 인자로는 처짐에 대한 힘과 고유주파수에 의해 결정된다. 그리고 내부집합체의 Inter Tube와 Outer Tube의 Gap은 0.25 mm 이고, 설계값 보다는 작아야 함을 입증하여야 한다.

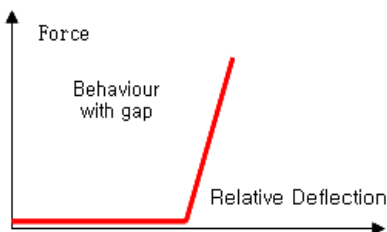


Fig. 3 Behaviour of the internal structure.

Fig 3은 Gap의 거동은 힘과 처짐에 의해 결정된다. 즉 내부집합체의 Tube의 설계요건(3.2 mm)을 만족하여야 한다. 강성은  $5 \times 10^6$  N/m 이고, Mode해석과 응력해석을 수행하였다.

## 3. 해석 결과

Fig 2의 Internal Structure 모델에 대하여 수차례의 해석을 수행하였다. Deflection을 최소화 할 수 있는 방법으로 강성을 변화시키는 것이다. 예를 들어 강성을 낮게 하면 Deflection 값은 작아질 것이고, 강성을 높게 하면 Deflection 값은 증가할 것이다. 본 모델에서 설계요건에 따른 강성값을 적용하였다. 그리고 100 Hz 이하에 대해 model 해석과 최대 Deflection이 일어나는 모드에서 Stress 해석을 수행하였다.

### 3.1 Mode 해석

Model	Internal Structure			
	Freq, Hz	Mass in X(kg)	mass in Y (kg)	mass in Z (kg)
1	11.6	1	2	93
2	11.6	93	0	1
3	26.5	0	145	0
4	27.2	1	0	0
5	29.8	1	504	10
7	33.3	0	17	2
10	44.1	55	0	1
11	44.6	0	15	19
12	55.4	359	5	30
13	93.3	1	101	15
Total*		542	1394	208

\* Modes less than 100 Hz

Table.1 Natural Frequency Results For Internal Structure.

Table 1은 100 Hz 이하에서 모드에 따른 고유주파수와 질량의 결과를 보여주고 있다. 또한 모드 7차 이상에서는 Internal Structure 응답이 기여하지 않는다. 총질량은 100 Hz 이하에서 X-Dir.(27%), Y-Dir.(69%), Z-Dir.(10%) 이다. 그리고 3차와 5차 모드 일 때 수직방향으로 변형이 상당히 일어나는 것을 알 수 있다.

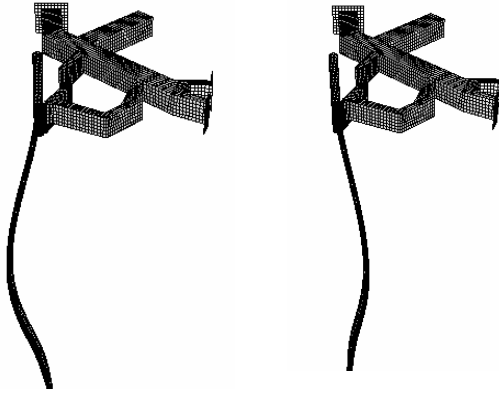


Fig. 4 Vibration mode for Internal Structure.  
(mode 1 and 2, both at 11.6 Hz)

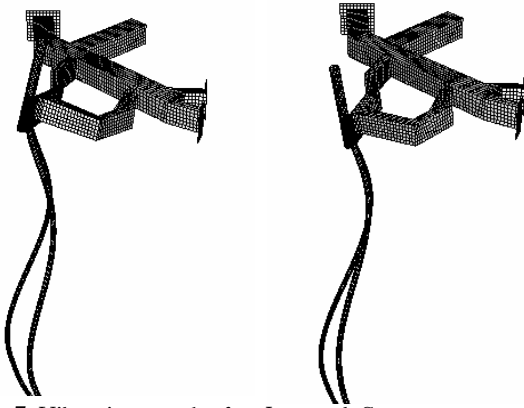


Fig. 5 Vibration mode for Internal Structure  
(mode 3 and 5, at 26.5 Hz and 29.8 Hz)

1차와 2차 모드에 대한 변형된 형상을 Fig 4에 나타낸다. 고유진동수가 11.6 Hz에서 X, Z방향으로 상당한 질량이 발생하며, Fig 5에서 3차와 5차 모드 일 때 Y 방향으로 수직모멘트가 발생한다. 이러한 결과로부터 X, Z축보다는 Y 축 방향으로 상당한 수직운동이 발생한다. 그리고 30 Hz 이상에서 Internal Structure 응답은 기여하지 않는다.

### 3.2 Response Spectrum과 Stress 해석

Direction	Deflection (mm)
X	0.12
Y	0.13
Z	0.18

Table. 2 The Deflection at the head top of Support Frame.

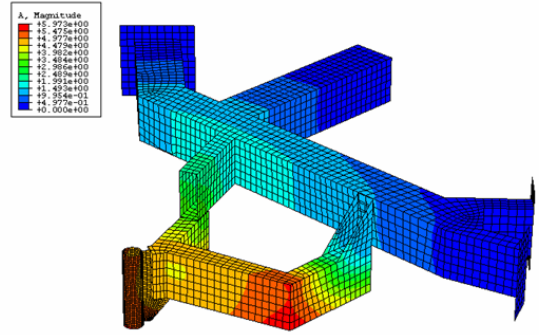


Fig. 6 Acceleration Magnitude of Support Frame.

Fig 6는 내부집합체의 Support Frame 상단에서의 응답스펙트럼(Response Spectrum) 해석을 통하여 가속도 값을 Deflection값으로 Table 2에 나타낸다. 내부집합체의 Inter Tube와 Outer Tube의 Gap은 0.25 mm 이므로 허용범위 이내에 Deflection이 발생하는 것을 볼 수 있다.

Parameter	values
<b>Deflections</b>	
Max. deflection of tube (mm)	1.79
Max. deflection at support frame (mm)	1.70
<b>Tube Stresses (MPa)</b>	
Stress	41
Triaxial	17

Table. 3 The results of Deflection and Stresses.

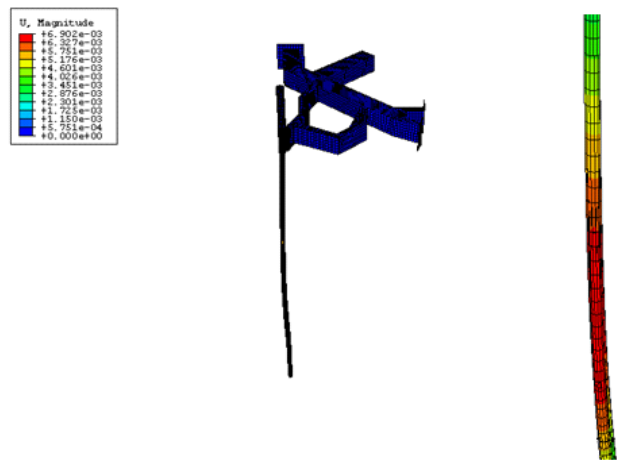


Fig.7 The Deflections for Internal Structure.

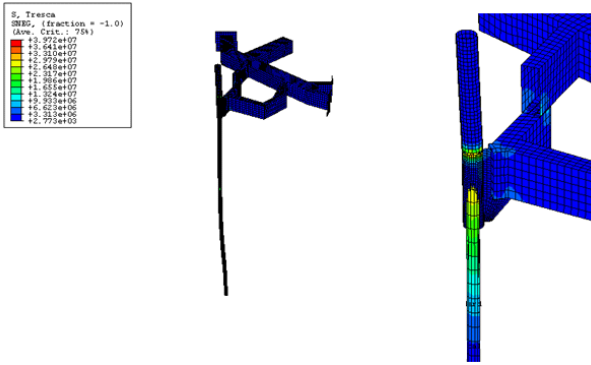


Fig. 8 The Stress for Internal Structure.

1차와 2차 모드에 대한 고유진동수는 11.6 Hz이며, 이때의 Deflection과 Stress 해석결과를 Fig 7과 Fig 8에 나타낸다. 그리고 Table 3로부터 Internal Structure의 Deflection과 Stress 구하여 나타낸다. Tube에서 최대 Deflection은 1.79 mm 이고, Support Frame은 1.70 mm 이다. 내부집합체의 설계요건은 3.2 mm 이므로 허용범위 이내에 포함된다. 그리고 해석을 통하여 Stress 값은 41 MPa 이며, 허용응력범위 이내에 있는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

Internal Structure의 Mode와 Stress 해석을 통하여 구조건전성을 입증하고자 하는 것이다. 본 연구결과에서 원활한 운전을 하기 위해 내부집합체의 설계요건(3.2 mm) 이내에 Deflection이 발생하는 것을 볼 수 있다. 그리고 내부집합체의 Inter Tube와 Outer Tube의 Gap 은 허용범위(0.25 mm) 이내에서 만족하기 때문에 원전 기기의 내부집합체에 대한 구조적 측면에서 건전하다는 것을 알 수 있다. 또한, 내부집합체에 대한 고유진동수가 11.6 Hz 일때, 최대 Deflection(1.79 mm)과 Stress(41 MPa)값을 구하였고, 허용범위이내에 만족한다.

본 연구에서는 원전기기의 원활한 설치를 위해 설계요건을 검증하였고, 구조건전성 측면에서 안전성을 확보할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- (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) "Flow induced vibration and evaluation Findings on the IPS inner assembly" KAERI/TR-3201/2006
- (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