

## 하나로 침니 내부지지대 설치에 대한 동특성 및 지진응답 영향해석

### Dynamic Characteristic and Seismic Response Analyses for Installation of In-Chimney Bracket Structures in HANARO

이재한, 류정수, 조영갑, 강영환, 우종섭

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요 약

계장캡슐 혹은 B-Type 핵연료와 OR 동위원소 시험용 안내관을 잡아주는 침니 내부지지대는 하나로 원자로 침니 상단에 설치되며, 이들 추가장치에 의하여 계장캡슐과 원자로구조물에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 수중상태의 하나로 침니(chimney) 내부지지대 및 원자로 침니구조물에 대한 구조해석 모델을 작성하고 이의 동특성을 분석한 뒤에 SSE(0.2g) 설계기준 지진하중에 대한 구조물 지진응답해석을 수행하였다. 초기 계장캡슐 치수를 이용한 지진응답 해석결과 원자로 노심 내의 유동관 수평 변위가 허용 범위를 초과하여, 계장캡슐 치수를 변경하여 변위제한 조건을 충족하는 설계를 제안하였다.

#### Abstract

The in-chimney bracket structures will be installed on the upper part of chimney, which holds the capsule extension pipes in upper one-third of length. For evaluating the seismic effects on the capsules and related reactor structures by installation of the in-chimney bracket, an ANSYS analysis model is developed, and the dynamic characteristics are analyzed. The seismic response analyses of in-chimney bracket and related reactor structures of HANARO under the design earthquake response spectrum loads of SSE(0.2g) are performed. The several candidated designs of the capsule extension pipes and support spring stiffness to meet the displacement limit of the flow tubes in core region are proposed.

#### 1. 서론

본 논문에서는 그림 1에 나타난 바와같이 계장캡슐 혹은 B-Type 핵연료와 OR 동위원소 시험용 안내관을 잡아주는 침니 내부지지대가 하나로 원자로 침니 상단에서 60cm 아래로 설치되는 경우에 이들 추가 부품에 의하여 계장캡슐 등에 미치는 영향과 원자로구조물에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 이를 위하여 수중상태의 하나로 침니 내부지지대에 대한 ANSYS 구조해석 모델을 작성하고 이의 동특성을 분석한 뒤에 SSE 설계기준 지진하중(SSE 0.2g)에 대한 구조물 지진응답해석을 수행하였다.

하나로 침니 내부지지대에 대한 수중 내진해석을 위한 구조해석 범위는 계장캡슐, 지지구조물, 유동관(Flow Tube), 침니 내부지지대, 침니구조물 등이다. SSE(0.2g) 지진에 대한 해석결과에

대하여 ASME Code 적용시 응력, 피로 제한값 만족여부와 유동관 상단변위가 근접 유동관 사이 간격의 절반보다 작아야 한다[1].

이러한 설계요구조건을 충족하기 위하여 새로 설치되는 침니 내부지지대에 대한 고체모델 (soild model)를 IDEAS 프로그램[2]으로 그림 2와 같이 작성하였다. 작성된 고체모델은 각 부품의 무게를 계산하고 경계조건 및 재료특성 등 구조해석을 위한 유한요소해석 입력자료 생성을 위해 이용되었다. 작성된 입력자료를 이용하여 ANSYS 프로그램[3]으로 각 구조물에 대한 동특성을 분석하고 원자로구조물의 층응답가속도 스펙트럼을 이용하여 지진응답해석을 수행하였다. 해석결과로부터 유동관의 변위를 평가하였다.

## 2. 침니 내부지지대 및 계장캡슐 모델링

침니 내부지지대를 이루는 부품은 CT/IR 고정장치, OR 고정장치, 기초지지대(base frame) 등으로 크게 세 종류이다. 이들 장치는 스테인리스 강(S.S.304)으로 사용한 물성값은 127°C에서 밀도  $8083\text{kg}/\text{m}^3$ , 탄성계수 187.8 GPa, 포아송비 0.28이다. CT/IR 고정장치는 그림 2의 3차원 모델에 나타난 바와 같이 침니 상단에 설치되어 노심 내의 조사공에 들어가는 시험캡슐 안내관 중간부위를 잡아주는 장치로 동시에 세 개의 캡슐안내관을 잡아줄 수 있다. 부품으로는 CT/IR 용 캡슐 안내관을 단단하게 잡을 수 있는 조임 장치와 이 장치가 설치된 평판이 있다. 2개의 수평구속키가 대각선 방향으로 위치하여 평판과 기초지지대를 연결시키며, 4개의 수직방향 체결장치가 있어 수직방향 상대운동을 잡아주고 있다. 수직방향 체결장치는 강성이 5.78 N/mm로 체결시 약 8kg(14mm 압축)의 선인장력이 작용하여 두 부품을 구속하고 있다. 무게는 23.3kg이다. CT/IR 고정장치 중에 본체(main body)는 그림 2의 IDEAS 3차원 모델로부터 평판요소로 모델링하였다. 모델은 절점수가 1237개, 요소수가 860 개이며, clamp와 shaft는 2절점 3차원 등가 보요소를 사용하고 무게를 보정하였다. 구조물 강성과 관계가 없는 adjust shaft, bearing cover 등의 부품은 주위 절점에 집중질량으로 처리하고, 지지대는 직경이 20mm인 보요소로 모델링하고 부족질량은 부재의 밀도를 조절하여 전체 질량을 맞추었다.

기초지지대(base frame)는 그림 2의 3차원 모델에 나타난 바와 같이 CT/IR 고정장치와 OR 고정장치를 침니에 고정하는 역할을 하며, 평판의 바깥쪽 면이 침니 내부 면에 면접촉하고 있다. 기초지지대는 침니 상단 내부 대각 방향으로 한 개씩 위치하고, 한 개마다 두 곳에서 고정장치에 의해 침니에 고정된다. 두 개의 무게는 51.3kg이 된다.

OR 고정장치는 노심 밖의 조사공에 들어가는 시험 캡슐안내관 상단을 잡아주는 장치로 두 개의 무게는 9.2kg이고, 그림 2의 IDEAS 모델로부터 3차원 고체요소(SOLID92)로 모델링하였다.

OR용 DUPIC 핵연료 시험용 안내관은 S.S.304 재질로, 전체 길이는 5041mm로 이중에 1041mm는 OR 시험공에 위치하고 있다. 하부 안내관은 외경이 58mm이고 두께가 5mm로, 5kg의 내용물로 채워져 있고, 상단부 안내관의 외경은 34mm이고 두께가 1.65mm이다. OR용 동위원소(Fission Moly) 안내관은 Al 6061 재질로 만들어 졌고, 외경과 두께가 각각 58mm와 5mm이며, 전체 길이는 3941mm이다. 하부 안내관에는 15kg의 내용물로 채워져 있다. 경계조건으로는 하단부는 수평방향으로 구속되어 있고, 수직 방향으로로는 변위가 자유로이 이동 가능하다. 하부로부터 1041mm 위치에서는 수평방향과 하부방향으로 변위가 구속되어 있으며, 하부 끝단으로부터 3478mm 위치에서는 침니로부터 지지되는 OR 고정장치가 수평변위를 잡아주고 있다. 이 구조물은 3차원 빔요소로 모델링 하였으며, 요소수는 상부는 15개, 하부는 6개로 하였다.

CT/IR 계장 캡슐의 구조해석 모델은 캡슐 고정장치 구조물의 robot arm 및 고정장치에 대한 기존 해석자료[4]를 일부 수정하여 활용하였다. 계장 캡슐용 안내관은 S.S. 304 재질로 만들어 졌다. 3종의 전체 길이는 5558mm이다[4]. 노심과 접하는 하단부의 길이는 910mm이며, 외경과 내경이 각각 60mm와 56mm이다. 하단부 캡슐에는 최대 10kg의 내용물이 채워질 수 있다. 상단부는 길이가 4648mm이며, 초기 설계에서는 외경이 34mm이고, 두께가 1.65mm이다. 계장캡슐의 경계조건으로는 상부 끝단에서 3개의 안내관에 따라 180mm - 350mm 위치에서 Robot arm에 의해 모든 방향

으로 지지되어 있고, 하부 끝단은 수평/수직 변위가 구속되어 있다. 하부로부터 820mm 위치에서는 수평방향으로 6곳에서 스프링에 의해 유동관과 연결되어 수평변위를 잡아주고 있다. 초기 스프링 강성은 15N/mm로 설계되었다. 그리고 하부 끝단으로부터 3045mm 위치에서는 원자로의 침니 상단에 설치되는 침니 내부지지대가 계장캡슐의 중간 부분을 잡아주어 계장캡슐의 수평운동을 제어한다. 해석 모델링에서 안내관은 상부 15개, 하부 6개의 3차원 빔요소를 이용하고, 유동관은 4 절점 평판요소로 모델링하였다. 초기설계 모델의 부가질량[5]은 다음의 계산자료를 사용하였다.

(1) 캡슐 안내관 (길이  $L=4.648\text{m}$ , 외경  $D=0.034\text{m}$ )

$$\text{Mass} = \pi \rho L D^2 / 4 = \pi \times 1000 \times 4.648 \times 0.034^2 / 4 = 4.22 \text{ kg,}$$

이를 PART A, B, C에 있는 16개의 절점에 분산하여 부가할 때

$$\text{PART A : } 4.22 \times 0.270 / 4.648 / 4 \text{ nodes}$$

$$= 0.060 \text{ kg/node (x, z 방향)}$$

$$\text{PART B : } 4.22 \times 1.443 / 4.648 / 4 \text{ nodes}$$

$$= 0.328 \text{ kg/node (x, z 방향)}$$

$$\text{PART C : } 4.22 \times 2.935 / 4.648 / 8 \text{ nodes}$$

$$= 0.333 \text{ kg/node (x, z 방향)}$$

(2) 캡슐 본체 (길이  $L=0.87\text{m}$ , 외경  $D=0.06\text{m}$ )

$$\text{Mass} = \pi \rho L D^2 / 4 = 2.46 \text{ kg,}$$

5개의 절점에 분산하여 부가할 때 :

$$= 2.46\text{kg} / 5 \text{ nodes} = 0.49 \text{ kg/node (x, z 방향)}$$

내용물 추가질량 :

$$= 10 \text{ kg} / 5 \text{ nodes} = 2.0 \text{ kg/node (x, y, z 방향)}$$

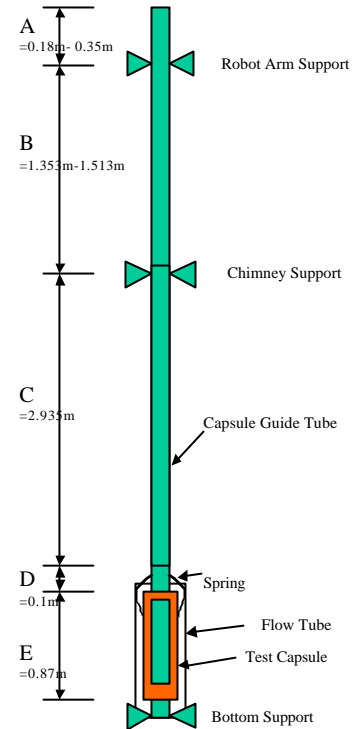
(3) 유동관 (길이  $L=0.91\text{m}$ , 장반경  $a=0.04\text{m}$ )

$$\text{Mass} = \alpha \rho L \pi a^2$$

$$= 0.867 \times 1000 \times 0.91 \times 3.14 \times 0.04^2 = 3.97 \text{ kg,}$$

9개의 절점에 분산하여 부가할 때 : 3.97/9

$$= 0.42 \text{ kg/node (x, z 방향)}$$



위의 부가집중 질량은 안내관의 고유진동수에 크게 영향을 주며, 안내관의 외경이 바뀌면 이에 따라 부가질량도 바뀐다. CT/IR 안내관 3개와 robot arm 고정장치를 모델링하기 위해 사용한 전체 절점수는 552개 이고, 요소수는 집중질량 요소 286개, 보요소 27개, 쉘요소 409개, 빔요소 63개 및 스프링요소 16개를 포함하여 전체 800개이다.

### 3. 원자로 침니구조물 구조해석 모델링

계장캡슐에 대한 지진응답해석을 위해 층응답 스펙트럼을 조사한 결과 기존 계장캡슐 지지점과 침니 상단의 층응답 스펙트럼에 큰 차이가 있어서 층응답 스펙트럼의 수준을 맞추기 위해서 원자로 침니 구조물을 해석 모델에 도입하고 지진 입력 위치를 노심 하단과 일치하는 원자로 반사판(reflector) 하단으로 잡았다. 원자로 침니구조물에는 침니 및 침니보강판, 반사판이 소속되며, 질량 계산 및 모델링을 그림 3에 나타난 바와같이 IDEAS 프로그램을 이용하였다.

원자로 구조물 침니 및 보강재의 재질은 Aluminium Alloy 6061-T6 welded, ASME SB-209로 해석에서 사용한 물성값은 93.3°C 온도에서 밀도 2680kg/m<sup>3</sup>, 탄성계수 66.2 GPa, 포아송비 0.33이다 [6]. 이 구조물은 노심 상단에서부터 시작되어 냉각재의 출구 유로를 형성하고 있으며, 상단에는 침니 내부지지대가 설치되어 있다. 기초판을 제외한 전체 무게는 1394kg이고 침니 내부의 냉각재 무게는 1640kg이 된다. 구조물은 두께가 25.4mm의 판재로 이루어져 있으며, 구조해석에 반영하는 유체의 부가질량은 수평 X-방향 4463kg, 수평 Z-방향 5917kg, 그리고 수직방향 1684kg으로 참고

문헌[6]을 따랐다. 여기서 부가질량은 육각 침니 내부유체 전체와 외부 유체의 무게 그리고 보강재 주위의 유체를 방향에 따라 고려하였다. 이 부품은 그림 3의 IDEAS 3차원 모델로부터 그림 4에 나타난 바와같이 Outlet를 제외한 모든 구조물은 4절점 평판요소(SHELL63)로 절점수가 568개, 요소수가 527이며, Outlet은 등가 보요소(BAEM4)를 사용하고 무게를 보상하였다. 모델에서 유체에 의한 부가질량은 MASS21 질량 요소를 사용하고 각 절점에 질량이 방향 성분을 고려하여 균등하게 분포하는 것으로 하였다. 침니벽에 설치된 정지봉/제어봉의 질량은 주위 절점에 집중질량으로 처리하였다[7]. 침니 상단에서 60cm 아래로 있는 내부지지대는 수평방향의 경우 근접 절점에 연계시키고, 수직방향은 스프링 요소로 연계시켰다. 경계조건으로는 하단에 변위 구속조건과 상단의 내부지지대가 조여지는 위치에서 침니 내부지지대와의 변위 연계조건을 주었다.

원자로구조물 반사체 용기의 재질은 Zirconium Alloy R-60802, R-60804로 해석에서 사용한 물성값은 117°C에서 밀도  $6550\text{kg/m}^3$ , 탄성계수 88.1 GPa, 포아송비 0.35이다. 이 구조물은 노심을 보호하고 상단 침니구조물을 받쳐주는 구조로 자체 무게는 약 1800kg이다. 상단에는 침니 내부지지대가 설치되어 있다. 구조물의 외부용기와 상판의 두께는 20.0mm이고, 내부 쉘은 7mm의 판재로 이루어져 있으며, 구조해석에서 반영하는 용기 주위 유체의 부가질량은 수평 X-방향으로 8427kg, Z-방향으로 8211kg, 수직방향으로 1887kg으로 참고문헌[6]의 자료를 따랐다. 구조물은 4절점 평판요소로 절점수가 560개, 요소수가 534이다. 경계조건으로는 하단에 변위 구속조건을 주었으며, 상단의 경우는 반사체용기상판과 침니구조물이 접하는 절점을 상호 연계시켰다.

#### 4. 고유진동수 및 지진응답변위해석

육각 침니구조물과 반사판용기(reflector vessel), DUPIC 핵연료 및 동위원소 안내관 등 침니 내부지지대 관련 구조물을 모두 포함한 전체구조물의 고유진동수 해석 결과, DUPIC 핵연료 안내관의 1차 고유진동수가 6.0Hz에서 발생되었고, 동위원소 시험용(fission moly) 안내관은 23.8Hz에서 발생되었다. 그리고 CT/IR 안내관의 고유진동수는 8.86Hz로 침니 내부지지대가 없는 경우의 5.56 Hz보다 커졌다. 한편 침니구조물의 굽힘모드에 의한 1차와 2차 고유진동수가 24.4Hz와 29Hz가 된다. 침니 내부지지대 자체의 고유진동수는 104Hz에서 나타났다.

SSE 하중에 대하여 원자로건물 시간이력해석에서 구한 각 위치의 응답스펙트럼 중에서 수평방향의 경우(0.2g) 변위 고정점인 계장캡슐 상단 지지점(78.73m)과 유동관 하부지지점 및 침니구조물 하단에서의 응답스펙트럼을 포함하도록 이들 중 최대값을 사용하고, 수직방향의 경우(0.13g)는 건물전체를 포괄하는 응답스펙트럼을 그림 6과 같이 사용하였다.

지진응답 스펙트럼 해석은 SSE 경우에 대하여 X,Y,Z 방향 모두를 각각 구한 뒤 이를 SRSS법으로 조합하고 관심 변위값을 추출하였다. 응답스펙트럼 해석결과에 대한 변위 제한은 조사공(유동관)에 설치되는 시험관은 유동관과 스프링으로 연계되어 있어, 지진 시 두 부품의 상호연계에 의해 나타나는 유동관 최대 변위는 유동관과 근접 유동관 사이의 접촉을 방지하기 위하여 둘 사이 실측간격의 절반값으로 IR1은 0.65mm, IR2는 0.5mm, CT는 0.6mm 이다. 그리고 스프링이 설치되는 공간거리는 최대 7.2mm로 스프링 자체의 두께를 제외하고 스프링이 변형할 수 있는 최대값을 4.5mm로 설정할 수 있다.

지진응답변위 해석결과 유동관과 연결된 계장캡슐 안내관의 변위는 3.95mm로 제한값 4.5mm 보다 작게 나타났다. 유동관의 최대 변위는 CT에서 0.933mm, IR1과 IR2에서 0.965mm와 1.03mm로 나타나 변위제한조건인 0.6mm를 초과하여 설계 변경이 요구된다.

#### 5. 설계변경에 따른 지진응답변위 해석

침니내부지지대를 도입하여 기존 설계된 계장캡슐 안내관을 중간에서 지지한 경우에 대한 지진응답 해석결과 유동관의 변위 제한조건을 충족하지 못하였다. 이로부터 설계변경이 가능한 1) 계장캡슐 시험관과 유동관 사이의 스프링 강성조절, 2)계장캡슐 안내관 상부부분의 직경 및 두께

변경, 3)계장캡슐 내용물 중량변경 등 1차 설계변경 조합과 해석결과를 표 1에 나타냈다.

표 1. 1차 설계변경 조합 및 해석결과

Case No.	Spring Stiffness (N/m)	Test Tube Dimension (Do/t, mm)			Internal Mass of Test Tube	Dupic Test Tube (Do/t)
		Upper (A)	Middle (B,C,D)	Lower (E)		
1	7,500	34/1.6	34/1.6	60/2.0	10Kg	34/1.65
2	"	"	"	"	7.2Kg	34/1.65
3	"	58/5.0	58/5.0	"	"	58/5.0
4	15,000	"	"	"	"	"
5	10,000	"	"	"	"	"
6	7,500	34/1.6	58/5.0	"	"	34/1.65
7	"	40/2.0	40/2.0	"	"	"
8	7,500	34/1.6	58/2.0	"	"	"

		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
Displ. of Test Tube (mm)	R2	5.18	4.24	2.55	2.34	2.47	2.96	4.19	3.02
	CT	5.42	4.98	3.07	2.75	2.94	3.81	4.79	4.12
	R1	6.36	5.90	3.57	3.22	3.33	3.59	5.24	3.73
Max. Displ. of Flow Tube (mm)	R2	0.680	0.562	<b>0.350</b>	0.576	<b>0.435</b>	<b>0.405</b>	0.585	<b>0.411</b>
	CT	0.709	0.653	<b>0.419</b>	0.673	<b>0.515</b>	<b>0.514</b>	0.637	<b>0.548</b>
	R1	0.846	0.786	<b>0.495</b>	0.808	<b>0.614</b>	<b>0.495</b>	0.725	<b>0.514</b>
Freq. (Hz)	Dupic	6.0/17.9	6.0/18.0	10.2/17.0	10.2/17.0	10.2/17.0	6.0/18.0	6.0/19.0	6.0/19
	CT/R	8.3/21.0	8.5/21.0	12.0/21.0	12.0/22.0	12.0/21.0	11.0/21.0	9.0/21.0	11.0/21.0
	Chimney	24.4/27.4	24.4/27.4	24.3/27.0	24.3/26.9	24.3/26.9	24.4/27.0	24.4/27.5	24.4/27.1

지진해석 결과로부터 계장캡슐 안내관의 두께 증가는 변위 응답을 약간 줄여 준다. 그리고 계장캡슐 안내관의 외부 직경을 크게 하면 유동관 응답변위를 크게 감소시킨다. 또한 경우 1과 2에서 보는 바와같이 계장캡슐 안내관의 시험내용물 질량이 10 Kg에서 7.2 Kg으로 감소하면 응답 변위가 작아진다. 계장캡슐 안내관과 유동관 사이에 설치되는 스프링 강성을 줄이면 유동관의 응답 변위가 크게 감소하나 스프링 변형량은 상대적으로 커진다. 유동관의 최대 응답변위는 경우 3,5,6,8에서 변위 제한치 이내에 있다. 이로부터 계장캡슐 안내관의 시험내용물 질량을 10 Kg에서 7.2 Kg으로 줄이고, 유동관과 연결되는 계장캡슐 지지 스프링의 강성을 절반으로 줄인 상태에서 계장캡슐 안내관 상부 직경을 34mm보다 크게 하는 설계조건을 채택하기로 하였다.

이러한 설계조건에서 좀더 합리적인 계장캡슐 안내관의 치수는 안내관의 직경을 최대한 줄이는 설계를 지향하기 때문에 이를 찾기 위하여 계장캡슐 직경 및 두께를 다양하게 변화시키면서 응답변위에 주는 영향을 평가하였다. 계장캡슐 치수변경 조합은 표 2에 있는 경우 9에서 23까지 15개의 조건을 추가로 채택하였다.

해석결과는 표 3과 같으며, 경우 8,9 및 11이 시험관 3개를 동시에 장착한 경우 스프링 및 유동관 변위제한조건을 충족하고 있고, 경우 17에서 20까지는 CT와 R1이 변위제한조건을 충족하고 있다. 이로부터 3개 시험공에 계장캡슐을 동시에 장착할 경우는 계장캡슐 안내관 중간부분 직경을 34mm에서 60.5mm로, 두께를 2.8mm 이상으로 하고 스프링을 장착하는 Part D 부위의 직경을 42.7mm 이상으로 유지하는 것이 요구된다.

표 2. 2차 계장캡슐 치수변경 조합

Case No.	Test Tube Dimension (Do/t, mm)					Internal Mass of Test Tube	Duplic Test Tube (Do/t)
	Upper (A)	Middle (B)	Middle (C)	Spring (D)	Capsule (E)		
8	34/1.65	58/2.0	58.0/2.0	58/2.0	60/2.0	7.2Kg	34/1.65
9	~	34/1.65	60.0/2.0	60/2.0	~	~	~
10	~	~	60.0/2.0	34/1.6	~	~	~
11	~	~	60.5/2.8	42.7/2.8	~	~	~
12	~	~	48.6/2.8	42.7/2.8	~	~	~
13	34/3.4	34/3.4	48.6/3.7	34/3.4	~	~	~
14	34/2.8	34/2.8	60.5/3.5	34/2.8	~	~	~
15	34/3.4(2.8)	34/3.4	60.5/3.5	34/3.4	~	~	~
16	~	48.6/3.7	48.6/3.7	34/3.4	~	~	~
17	~	48.6/3.7	48.6/3.7	48.6/3.7	~	~	~
18	~	48.6/2.8	48.6/2.8	48.6/2.8	~	~	~
19	~	~	~	45.0/2.8	~	~	~
20	~	~	~	42.7/2.8	~	~	~
21	~	45.0/2.8	45.0/2.8	45.0/2.8	~	~	~
22	~	45.0/3.7	45.0/3.7	45.0/3.7	~	~	~
23	~	42.7/2.8	42.7/2.8	42.7/2.8	~	~	~

표 3. 계장캡슐 치수변경에 따른 지진응답 변위 크기

		Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12	Case 13	Case 14	Case 15
Displ. of Test Tube (mm)	IR2	3.02	3.58	4.33	3.44	3.98	4.24	3.73	3.68
	CT	<b>4.12</b>	<b>3.95</b>	4.66	<b>4.34</b>	4.68	5.07	4.77	4.75
	IR1	3.73	3.53	4.31	3.50	4.23	4.12	3.82	3.81
Max. Displ. of Flow Tube (mm)	IR2	<b>0.411</b>	<b>0.499</b>	0.621	<b>0.481</b>	0.557	0.627	0.520	0.520
	CT	<b>0.548</b>	<b>0.532</b>	0.635	<b>0.586</b>	0.624	0.683	0.642	0.643
	IR1	<b>0.514</b>	<b>0.480</b>	0.605	<b>0.476</b>	0.604	0.562	0.524	0.525

		Case 16	Case 17	Case 18	Case 19	Case 20	Case 21	Case 22	Case 23
Displ. of Test Tube (mm)	IR2	4.03	3.73	3.83	3.90	3.97	4.13	3.89	4.11
	CT	4.70	<b>4.48</b>	<b>4.43</b>	<b>4.47</b>	<b>4.50</b>	4.93	4.69	5.38
	IR1	4.18	3.61	3.75	3.82	3.89	3.88	4.08	4.22
Max. Displ. of Flow Tube (mm)	IR2	0.583	0.517	0.531	0.543	0.556	0.609	0.542	0.560
	CT	0.632	<b>0.593</b>	<b>0.585</b>	<b>0.591</b>	<b>0.596</b>	0.662	0.621	0.707
	IR1	0.598	<b>0.504</b>	<b>0.530</b>	<b>0.541</b>	<b>0.556</b>	0.542	0.597	0.578

경우 17에서 23까지에 대하여 계장캡슐 IR1, CT, IR2 중에서 한 개의 시험관만 장착할 경우의 SSE 지진응답변위 해석결과 표 4에 나타냈다.

표 4. 계장캡슐 치수변경에 따른 지진응답 특성(CT, IR1, IR2 시험관 중 한 개만 장착 시)

	limit(mm)	Case 17	Case 18	Case 19	Case 20	Case 21	Case 22	Case 23
Displ. of Test Tube (mm)	IR2	4.5		4,176	<b>4,220</b>			
	CT	4.5	4,177	4,322	4,450	<b>4,380</b>	4,640	4,390
	IR1	4.5			4,200	<b>4,190</b>		4,899
Max. Displ. of Flow Tube (mm)	IR2	0.50		0.574		<b>0.581</b>		
	CT	0.60	0.556	0.574	0.581	<b>0.585</b>	0.652	0.592
	IR1	0.65			0.615	<b>0.608</b>		0.674

경우 20에서 CT 시험관만 장착할 때 유동관 변위가 0.596mm에서 0.585mm로, 시험관지지 스프링 위치에서의 시험관 변위는 4.5mm에서 4.38mm로 줄어들었으며, 다른 경우에서도 비슷하게 감소하였다. 그러나 경우 19와 20에 대하여 IR1 또는 IR2 만을 장착할 때의 변위해석결과는 유동관 변위가 약간 증가되는 것으로 나타났다.

## 6. 결론 및 검토내용

하나로 침니 내부지지대의 동특성 및 지진응답해석을 위해 IDEAS 프로그램으로 고체모델을 만들고 질량을 계산하였으며, ANSYS 구조해석 프로그램으로 동특성 및 지진응답해석을 수행하였다.

동특성 해석결과 침니 내부지지대 자체의 1차 고유진동수가 104 Hz로 높아 계장캡슐 안내관에 대한 지지 역할을 하기에 강성이 충분히 높은 것으로 나타났다. 침니 내부지지대의 설치로 CT/IR 안내관의 1차 고유진동수가 5.6 Hz에서 8.2Hz로 증가하는 것으로 나타나 안내관의 변위와 유체 유발진동을 억제하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

내진해석결과 SSE 설계지진하중에 대하여 CT 및 IR1에서 계장캡슐 시험공의 유동관 상단 변위가 각각 0.585mm 및 0.608mm로 나타나 제한치 0.6mm 및 0.65mm를 만족하고 있다. 그리고 CT, IR1 및 IR2에 동시에 시험관을 설치하는 경우 상부 및 스프링 위치의 안내관 직경이 각각 60.5mm와 42.7mm 이상 되어야 변위제한조건을 만족하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었기에 감사의 뜻을 표한다.

## 참고문헌

- [1] 하나로 안전성 분석보고서, KAERI/TR-710/96, 한국원자력연구소, 1996.
- [2] IDEAS 5.0 Solid Modeler.
- [3] ANSYS 5.5 Computer Program.
- [4] 강영환, 하나로에 설치될 계장캡슐 및 고정장치의 구조건전성 평가보고서, KAERI/TR-601/96, 한국원자력연구소, 1996.
- [5] R.O. Blevins, "Formula for Natural Frequency and Mode Shape," VNR, 1979.
- [6] A.S. Banwatt, "Stress Analysis for the KMRR Reactor Assembly, Section 6.3 Attached Mass - Table 6.3.1," AECL-SR-37-31200-001, Rev.2, 1992.
- [7] HAN-RS-CR-98-042, 침니 내부 정지봉/제어봉장치 질량분포, 1998.9.29.

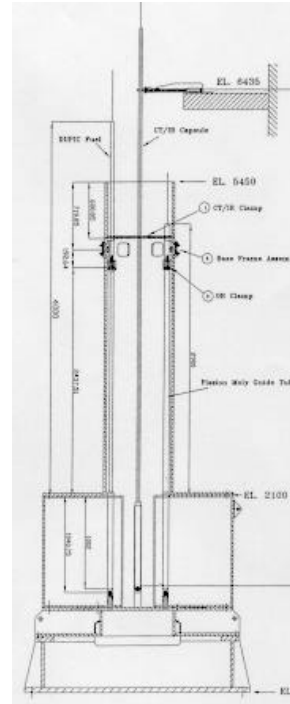
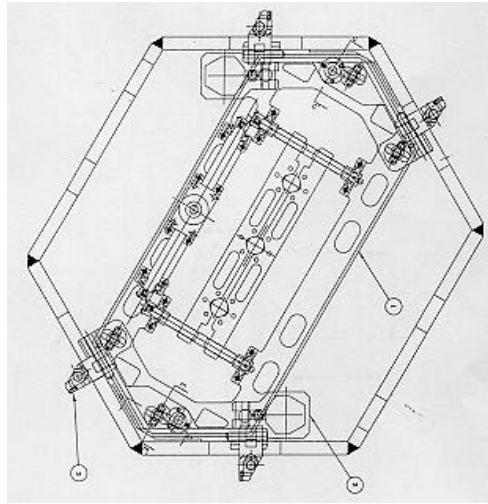


그림 1. 침니 내부구조물 평면도 및 설치도

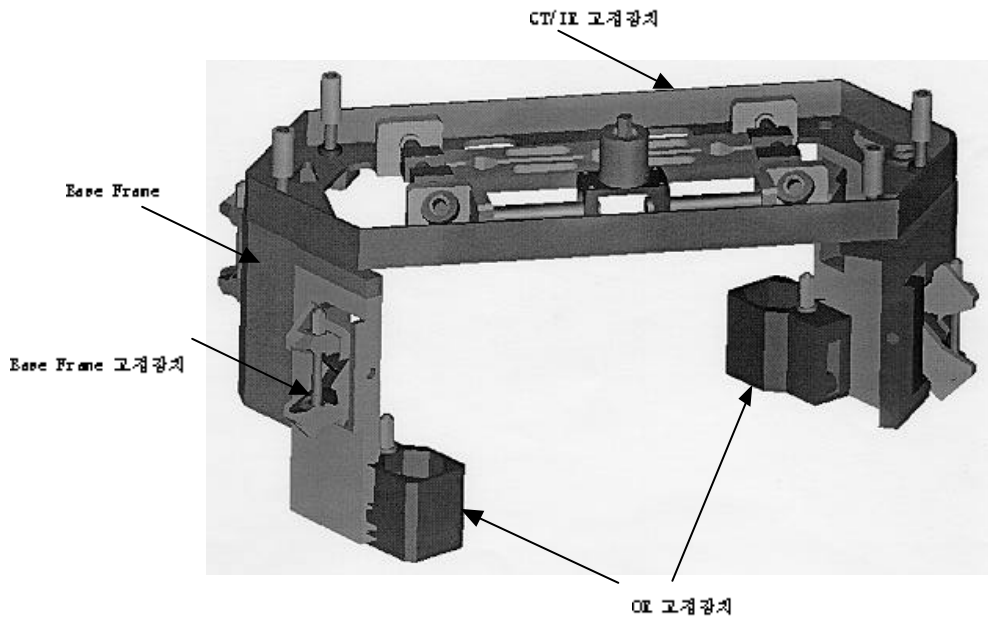


그림 2. 침니 내부구조물 IDEAS 3차원 모델



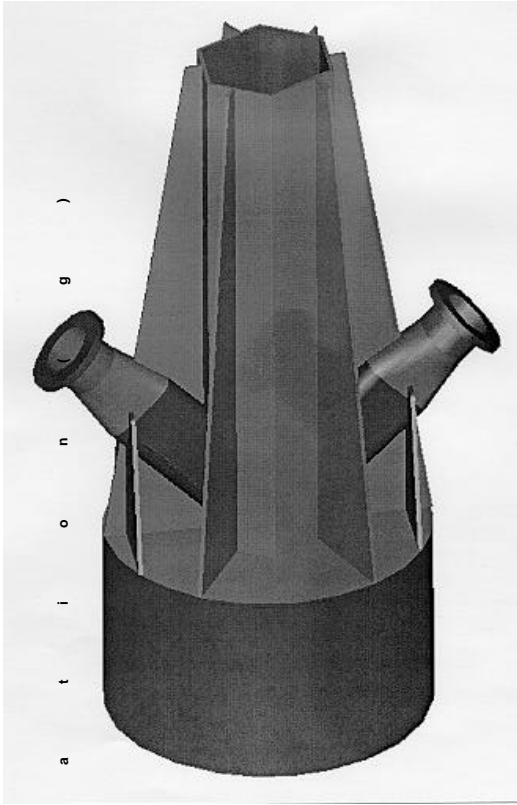


그림 3 하나로 원자로 침니구조물 IDBAS 모델

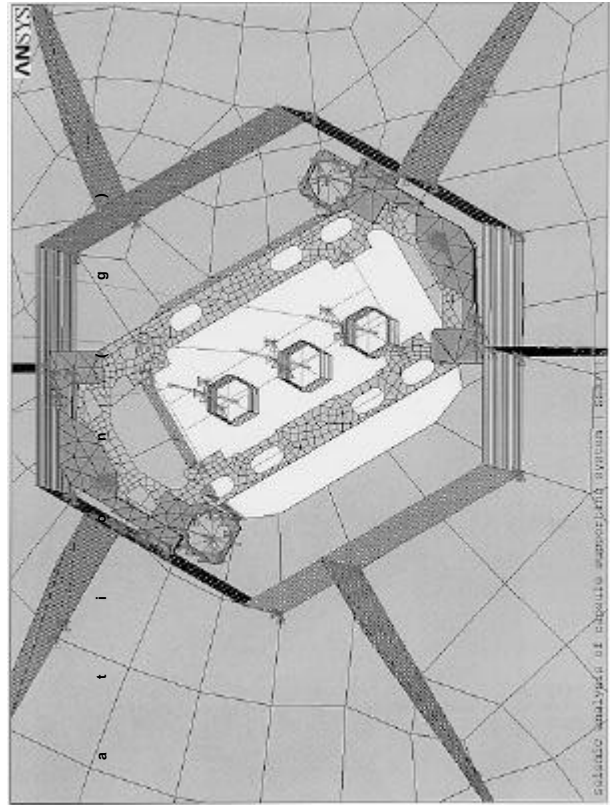


그림 4. 침니구조물 유한요소 해석모델

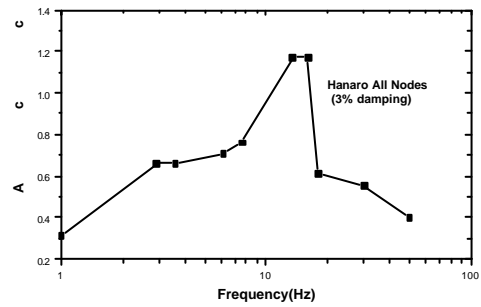
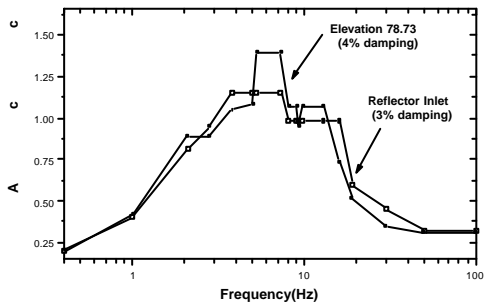


그림 5. Reflector 하단과 Robot Arm 위치의 수평/수직 응답가속도 스펙트럼(SSE)