

# 제어봉안내관의 접수진동

## Hydroelastic Vibration of Control Rod Guide Tubes

정경훈† · 조상순\* · 김경호\* · 김동옥\* · 김종인\*

Kyeong-Hoon Jeong, Sang-Soon Cho, Gyeong-Ho Kim, Dong-Ok Kim and Jong-In Kim

### 1. 서론

일체형원자로인 SMART에서 원자로내부구조물은 원자로냉각재와 접하고 있기 때문에 공기중의 동특성과 달라진다. 따라서 냉각재와 접하는 제어봉안내관의 동특성을 유한요소해석으로 평가하고, 제어봉안내관을 제작하여 모드시험을 수행하여 제어봉안내관에 대한 고유진동수 변화를 평가한다. 제어봉안내관은 제어봉집합체의 삽입을 위하여 길이방향으로 쪼개진 형상을 갖고 있다. Fig. 1과 2와 같이 한쪽만 쪼개진 안내관은 Type A이고, 양쪽이 쪼개진 안내관은 Type B이다.

### 2. 유한요소해석

공기중 및 접수된 제어봉안내관의 동특성 해석에 상용 FEM 해석코드인 ANSYS (R12)와 ADINA (V8.8)가 사용되었다. FEM 해석모델에 포함되는 유체는 반경 방향으로 40mm 가 고려되었다. 제어봉안내관 내부와 외부에 유체가 채워진 형상으로 모사되었고, 제어봉안내관과 인접한 제어봉안내관 사이의 연성은 배제되었다. Fig. 1은 접수된 Type A 제어봉안내관이 솔리드요소와 유체요소로 구성된 FEM 해석모델을 보여주고, Fig. 2는 Type B의 해석모델을 보여준다. 제어봉안내관의 양단은 고정단으로 가정하였고, 해석에 사용된 물성은 스테인리스강을 적용하였다. 제어봉안내관과 접촉하는 유체의 경계면에서 고체면에 수직한 변위가 같도록 연성조건을 부가하여 고유진동수와 모드형상을 추출하였다. Fig. 3은 Type B의 공기중과 접수된 안내관의 모드형상을 보여준다.

### 3. 모드시험

Fig. 4는 모드시험을 위해 제작된 제어봉보호체의 형상을 보여준다. 모든 제어봉안내관은 스테인리스강으로 제작되어 제어봉보호관 내부에 설치되는데 안내관 양단은 제어봉지지원에 용접된다. 모드시험의 구성은 가속도계, 충격해머, 데이터 취득장치, 신호처리를 위한 컴퓨터로 구성된다. 또한 시험모형이 물에 잠길 수 있도록 플라스틱 용기가 모드시험에 사용되었다. Fig. 5는 Type B의 공기중과 접수된 안내관의 응답스펙트럼을 보여준다.

### 3. 해석 및 시험 결과 검토

동특성 시험과 FEM 해석으로 구한 제어봉안내관의 고유진동수가 Tables 1~4에 나타나 있다. 이를 비교해 본 결과, Type A의 공기중 ADINA와 ANSYS 해석결과가 비교적 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있지만, 시험결과와 FEM 해석에서 차이를 보이고 있다. 이는 모드시험에서 FEM 해석의 고정단 경계조건이 이루어지지 못하고 제어봉안내관을 지지하는 양단의 제어봉안내관 지지판이 상대적인 강성이 작다는 것을 의미한다. 공기중 결과와 접수된 결과를 비교해 보면 1차 모드에서 유체의 부가질량의 효과로 고유진동수에서 약 30%의 고유진동수 감소를 관찰할 수 있었다. 제어봉안내관 Type B는 Type A와 달리 제어봉안내관의 양쪽이 쪼개진 형상이 되기 때문에 두 개로 나뉜 안내관이 독립적으로 진동을 하게 된다. 따라서 두 개로 쪼개진 제어봉안내관이 서로 동위상 모드와 역위상 모드로 진동을 한다.

### 4. 결 론

SMART 제어봉안내관의 실제크기 형상으로 모형을 제작하여 동특성 시험과 FEM 해석을 수행하였고, 그 결과 비교하여 제어봉안내관 동특성에 대한 유한요소해석의 적합성을 평가하였다.

† 교신저자: 정희원, 한국원자력연구원, 기계설계부

E-mail : khjeong@kaeri.re.kr

Tel : 042-868-8792, Fax : 042-868-8990

\* 한국원자력연구원, 기계설계부

**Table 1** Natural frequencies of control rod guide tube type A in air.

Mode	Natural Frequency (Hz)			Remark
	ANSYS	ADINA	Expr.	
1	100.95	100.80	76.5	1st bending (Y)
2	102.62	111.50	80.8	1st bending (X)
3	248.01	276.90	204.7	2nd bending (X)
4	277.22	279.30	-	2nd bending (Y)

**Table 2** Natural frequencies of control rod guide tube type A in water.

Mode	Natural Frequency (Hz)			Remark
	ANSYS	ADINA	Expr.	
1	79.79	79.61	58.5	1st bending (Y)
2	82.26	89.83	67.0	1st bending (X)
3	199.03	219.00	146.3	2nd bending (X)
4	219.41	225.00	160.0	2nd bending (Y)

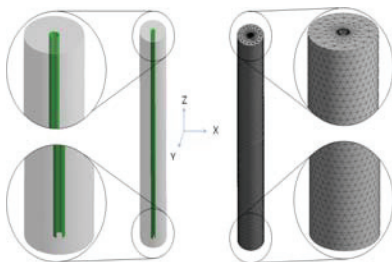
**Table 2** Natural frequencies of control rod guide tube type B in air.

Mode	Natural Frequency (Hz)			Remark
	ANSYS	ADINA	Expr.	
1	25.28	26.27	25.3	1st bending (X)
2	69.65	72.38	64.0	2nd bending (X)
3	87.59	87.50	-	1st bending (Y)
4	136.45	141.80	123.8	3rd bending (X)

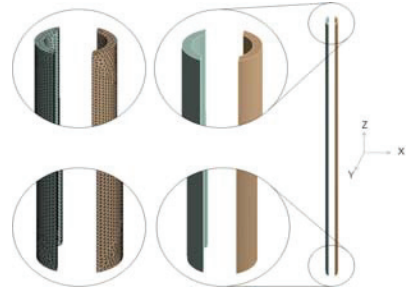
**Table 4** Natural frequencies of control rod guide tube type B in water.

Mode	Natural Frequency (Hz)			Remark
	ANSYS	ADINA	Expr.	
1	17.77	19.01	18.0	1st bending(X), OP
2	19.87	20.80	20.7	1st bending(X), IP
3	48.98	52.41	46.3	2nd bending(X), OP
4	54.78	57.37	52.8	2nd bending(X), IP
5	83.04	83.48	89.0	1st bending(Y), IP
6	83.36	83.89	-	1st bending(Y), OP

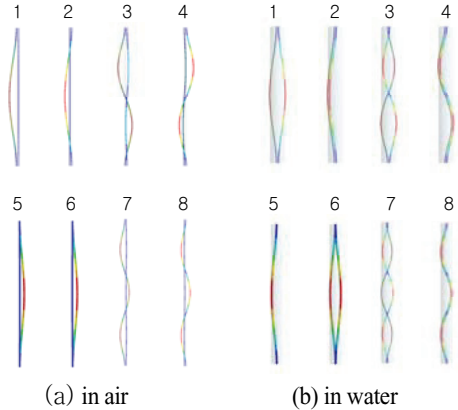
OP: out-of-phase, IP: in-phase



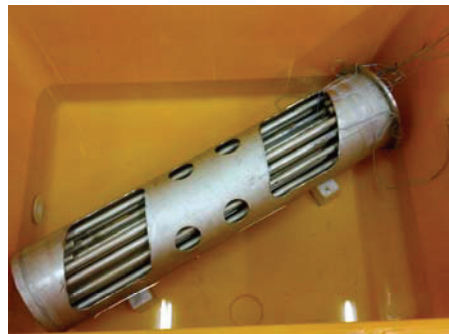
**Fig. 1** FEM Model of Type A control rod guide tube.



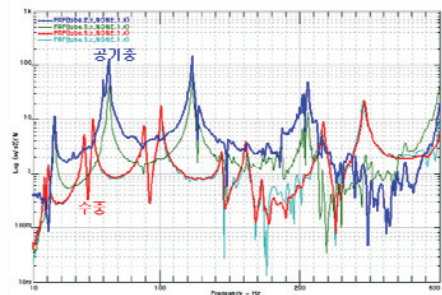
**Fig. 2** FEM Model of Type B control rod guide tube.



**Fig. 3** Mode shapes of Type B control rod guide tube.



**Fig. 4** Control rod guide tubes for modal test.



**Fig. 5** Frequency response function of Type B control rod guide tube.