

# APR1400 내부구조물 동특성 확인을 위한 축소모형시험 Modal Test of Scale-down Model of APR1400 Internals for Dynamic Characteristics Identification

최영인\* · 박종범\* · 박영필\* · 박노철\* · 박경수<sup>†</sup> · 김진성\*\* · 박찬일\*\*  
Youngin Choi, Jong-beom Park, Young-Pil Park, No-Cheol Park, Kyoung-Su Park,  
Jinsung Kim, Chanil Park

## 1. 서 론

원자로 내부구조물의 진동평가는 원자로 설계 시구조조건전성 평가 과정 중 하나로 원자로 내/외부에서 펌프의 맥동, 지진 등 크고 작은 진동들이 발생할 때 구조물이 어떤 거동을 보이는지를 확인하는데 목적이 있다. 이를 위해서는 우선적으로 구조물들의 동특성을 정확히 파악하는 작업이 필요하다. 원자로 내부구조물의 동특성확인 시험을 통해 측정이 가능하지만 이를 위해 시험모델을 제작하는데 많은 비용이 들며 시험을 수행하는데 많은 시간이 필요하기 때문에 쉽게 이루어지기 어렵다. 이에 컴퓨터를 이용한 수치해석적 방법이 널리 사용되고 있지만 그 타당성을 확인하기 위해서는 시험을 통한 측정 결과가 요구된다.

본 연구에서는 원자로내부구조물의 동특성시험을 위해 실제 APR1400 내부구조물의 동특성을 반영한 1/10크기의 축소모형을 제작하였고 이를 이용하여 동특성시험을 수행하였다. 동시에 축소모형의 형상, 물성치, 경계조건 등을 반영한 유한요소모델을 구축하였으며 그 모델의 타당성을 확인하기 위해 시험과 해석결과를 비교하였다.

## 2. APR1400 축소모형

본 연구에서는 동특성시험을 위해 원자로용기와 그 내부에 조립되는 노심지지배럴집합체, 상부안내구조물집합체, 내부배럴집합체의 축소모형을 제작하였다. 축소모형은 실제 내부구조물의 동특성을 최대한 반영하여 그 크기 및 형상 등을 유지하여 제작하였으며 불필요한 구조물의 경우 제외하였다. 실제 원자로의 경우 304 Stainless steel로 가공되지만 축소모형은 무게, 부식방지, 가공성 등을 고려하여 Aluminum으로 대체하여 제작하였다. 축소비의 경우 축소모형을 설치할 실험실 환경과 센서를 부착하기 위한 내부구조물의 간격 등을 고려하여 1/10 크기로 결정하였다. 그림 1은 제작된 축소모형을 보여준다.



Fig. 1 Manufactured Scale-down Model of APR1400

<sup>†</sup> 박경수; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr

Tel : (02)2123-4677 , Fax : (02)365-8460

\* 연세대학교 기계공학과

\*\* 한국원자력안전기술원

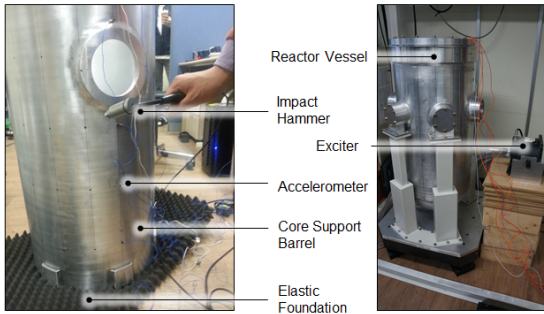


Fig. 2 Modal Test of Scale-down Model

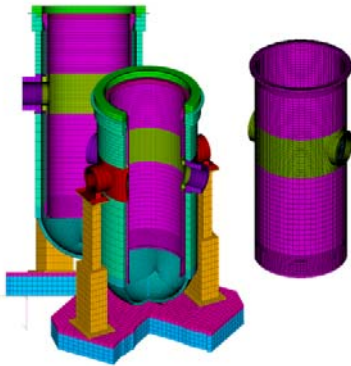


Fig. 3 Finite Element Model of Scale-down Model

### 3. 동특성시험 및 유한요소해석

#### 3.1. 시험 및 해석 과정

축소모형의 동특성시험과 유한요소해석은 동시에 이루어지며 축소모형의 시험결과는 구축된 유한요소모델에 기하형상, 물성치, 경계조건 등이 잘 반영되었는가를 확인하는데 활용된다. 원자로 내부구조물들의 경우 그 형상이 단순하지 않고 그 결합조건이 복잡하게 구성되어 있기 때문에 부품을 하나씩 조립해나가며 단계별로 시험 및 해석을 수행함으로써 그 형상 및 경계조건 등을 하나하나 확인하고 이를 전체 조립 구조물의 유한요소모델에 반영하여 그 타당성을 확인한다.

#### 3.2. 동특성 시험

본 연구에서는 축소모형의 일부인 노심지지배럴을 대상으로 단품에 대한 자유단 시험을 수행한 후 원자로용기에 조립하여 시험을 수행하였다. 단품 시험의 경우 탄성지지구조물위에 노심지지배럴을 올려 놓음으로써 자유단 조건을 만들어 주었으며 임팩트해머를 통해 가진을 해주었다. 원자로용기에 조립할

경우에는 임팩트해머를 사용하기 어렵기 때문에 가진기를 통해 가진력을 전달해주었다. 그림 2는 동특성시험조건을 보여준다.

#### 3.3. 유한요소해석

축소모형의 유한요소모델은 실제 제작된 축소모형과 시험조건을 반영하여 구축되었다. 유한요소해석의 경우 상용유한요소해석프로그램인 ANSYS Ver13을 사용하였으며 추후 형상 변경 및 해석을 용이하게 APDL(ANSYS Parametric Design Language)을 이용하여 작성하였다. 모든 구조물은 SOLID45요소를 사용하여 육면체 형상으로 구축하였다. 구축된 유한요소모델은 그림 3에 나타나 있다.

#### 3.4. 시험 및 해석결과

Table 1 Results of modal analysis

	Mode	FEM (Hz)	Test	Error (%)
Free Boundary Condition	1	154	151	1.9
	2	217	217	0.0
	3	374	397	-6.1
CSB + RV	1	180.4	180.6	0.1
	2	249.4	250.6	0.5
	3	409.0	390.8	-4.6

표 1은 시험 및 유한요소해석을 통해 추출한 각 모드 별 고유진동수를 비교하고 있다. 이를 통해 시험 및 해석결과가 잘 일치하는 것을 확인할 수 있으며 유한요소모델이 축소모형을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 원자로내부구조물의 동특성 확인을 위해 1/10크기의 축소모형을 제작하였으며 이를 이용하여 동특성시험과 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과가 잘 일치하는 것을 확인하였고 추후 이를 활용하여 연구를 진행해 나가고자 한다.

### 후 기

본 논문은 한국원자력안전기술원의 지원을 받아 연세대학교 기계공학과와 성균관대학교 기계공학과 의 공동 연구로 수행되었습니다.