

# 지진해석을 위한 원자로내부구조물 동특성 해석모델

## Structural Dynamic Analysis Model of Reactor Internals for Seismic Analysis

박진석<sup>†</sup>

Jin Seok Park

### 1. 서 론

원자력 발전소에 지진이 발생했을 때 건물과 기계구조물의 안전성을 평가하기 위하여 지진해석을 수행한다. 복잡한 건물과 기계구조물을 유한요소 모델로 작성하는 방법은 상세유한요소 모델과 빔모델 (beam model)로 구분할 수 있다. 상세유한요소 모델을 사용하여 지진해석을 수행하기에는 많은 시간이 소요되기 때문에 빔모델을 사용하여 원자로건물 또는 기계구조물의 내진해석을 수행하는 것이 일반적이다. 내진해석 결과로 얻은 건물 또는 주유기기의 주요위치에 작용하는 지진하중, 변위, 그리고 응답스펙트럼(response spectrum)은 건물의 내진설계와 기계구조물의 안전성을 검토할 때 활용된다. 본 자료에서는 원자로건물보다는 원자로내부구조물의 내진해석을 수행하기 위하여 작성하는 빔모델의 작성 방법에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 원자로내부구조물 내진해석 모델 현황

상용 원자로내부구조물의 내진해석을 위한 빔모델은 구조물을 빔으로 모사하며, 구조물 사이의 유체를 유체요소로 모사하고, 구조물 내부의 유체질량은 집중질량으로 모사한 것이다.<sup>(1)</sup> 빔요소와 유체요소, 집중질량요소는 ANSYS에서 제공하는 유한요소들이다. 빔요소는 전단응력으로 인한 처짐을 고려할 수 있는 빔과 고려하지 못하는 빔이 있다. 전단응력에 의한 전단변형을 고려하지 못하는 빔일 경우에 빔모델의 신뢰성을 높이기 위하여 전단변형계수 (shear deflection coefficient)를 조정하여 모델의 정

확성을 높이는 경우도 있다.<sup>(2)</sup> 원자력분야에서는 원자력 시스템의 안전성을 강조하기 때문에 보수적 설계를 유지하려고 한다. 따라서 기존의 해석방법을 개선하여 빔해석 모델의 신뢰성을 개선하려는 연구는 많지 않았다.

### 3. 빔모델 검증

#### 3.1 빔모델 검증 절차

축소 원자로내부구조물의 진동시험을 통하여 원자로내부구조물의 빔모델의 신뢰성 검증은 그림 1과 같다. 복잡한 구조물을 단순 빔으로 모델링할 때 가장 모사하기 어려운 사항은 구조물과 구조물의 연결 부위를 모사하는 것이다. 개별 구조물을 모사한 빔과 빔이 조립되는 곳에 회전스프링으로 연결하여 조립체 빔모델을 만들었다.

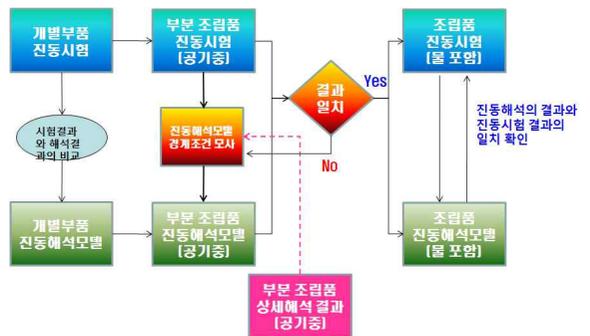


그림 1. 내진해석을 위한 빔모델의 검증절차

구조물과 구조물이 연결된 단순한 조립품의 공기중 상세유한요소 해석결과에서 얻은 1차 굽힘 고유진동수를 참조하여 회전스프링 강성의 값을 구하였으며, 공기중 또는 접수 상태의 빔모델의 진동해석에서 얻은 고유진동수와 진동시험에서 얻은 고유진

<sup>†</sup> 교신저자; 정회원, 한국원자력연구원  
E-mail : jspark1@kaeri.re.kr  
Tel : 042-868-2640

동수가 잘 일치하는 것을 확인함으로써 빔모델의 타당성을 검증하였다.

### 3.2 빔모델

축소 원자로내부구조물 조립체의 빔모델은 그림 2와 같다. 원자로 압력용기 상단과 노심지지배럴은 회전스프링으로 연결되며, 상부안내구조물은 노심지지배럴 상단에 있는 누름링에서 회전스프링으로 연결된다. 구조물의 단면적 변화가 있는 부분마다 1개의 빔요소로 구성하였다. 상부안내구조물 내부의 유체는 집중질량으로 상부안내구조물을 모사한 빔요소에 추가하였으며, 구조물과 구조물 사이의 물은 유체요소로서 그림 2와 같이 각 구조물을 모사한 빔요소에 연결된다. 유체요소는 구조해석 프로그램인 ANSYS에서는 지원하는 요소로서 동심원을 이루는 두 구조물의 사이에 있는 유체부가질량을 모사할 수 있는 요소이다.

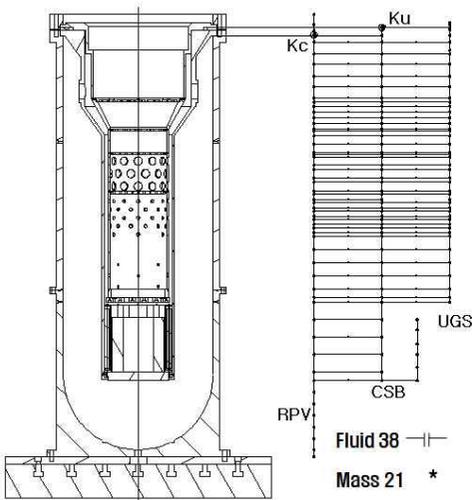
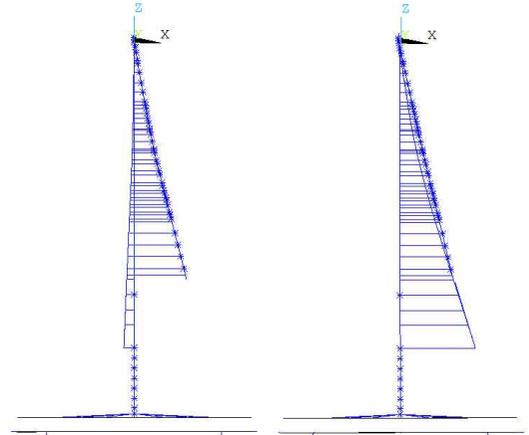


그림 2. 원자로내부구조물 형상과 빔모델

### 3.3 빔모델 진동해석 결과

빔모델의 진동해석에서 얻은 고유진동수와 진동시험에서 얻은 고유진동수의 비교결과는 여러 가지가 있으나 대표적인 결과는 그림 3과 같이 조립체 내부에 물이 있는 경우에 대하여 얻은 1차 굽힘 진동형상이다. 그림 3(a)는 상부안내구조물의 진동방향과 노심지지배럴의 진동방향이 서로 반대인 역위상(out of phase) 진동형상이며, 3(b)는 진동방향이

같은 동위상(in phase) 진동형상이다. 빔모델의 진동해석에서 구한 고유진동수는 축소 원자로내부구조물의 진동시험에서 얻은 동위상 고유진동수와 역위상 고유진동수는 잘 일치하였다.<sup>(3)</sup>



(a) 역위상 진동형상 (b) 동위상 진동형상

그림 3. 축소 원자로집합체 빔모델 진동해석 결과

## 4. 결론

물을 포함하는 축소 원자로내부구조물 조립체의 빔모델은 ANSYS에서 제공하는 빔요소, 유체요소, 집중질량요소, 회전스프링요소로 구성된다. 개별 빔의 조립에 사용한 회전스프링의 강성은 상세유한요소 해석을 통하여 구한 값을 사용하였다. 상부안내구조물과 같이 다공실린더의 개별 빔모델의 고유진동수 해석 결과가 진동시험에서 얻은 고유진동수와 차이가 있었지만, 물을 포함한 조립품 빔모델의 진동해석에서 구한 1차 굽힘 고유진동수는 진동시험에서 구한 결과와 5% 이내로 일치하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) APR1400 SSAR, Seismic Design, Chapter 3.7.
- (2) KAERI Internal Document, 2011, Dynamic Analysis Methodology for SMART Reactor Internals, 120-TC307-001.
- (3) KAERI Internal Document, 2011, Structural Dynamic Test Report on Reactor Internals, 120-TC458-008.