

유한요소 해석을 이용한 일체형원자로 축소모형의 자유진동 해석

Finite Element Modal Analysis of Scaled-down SMART

임승호* · 하경록* · 박영필* · 박노철* · 박경수† · 정경훈** · 박진석**

Seungho Lim, Young-In Choi, Young-Pil Park, No-Cheol Park,
Kyoung-Su Park, Kyeong-Hoon Jeong, and Jin-Seok Park

1. 서 론

원자로 및 원자로내부구조물의 동특성 해석은 일반적으로 전산해석 프로그램을 이용한 수치해석 방법으로 수행되고 있으며, 원자로의 종합진동평가기험을 통해 수치해석 방법의 유효성이 입증되고 있다. 그러나 원자로내부구조물 단품 수준에서의 연구는 다양하게 진행되고 있으나^{(1),(2)}, 원자로 전체 구조물 수준에서의 동특성은 연구가 미비한 실정이다. 특히 일체형 원자로의 경우 노심지배렬집합체, 상부안내구조물집합체, 유동분배통, 유동혼합헤더집합체 등의 복잡한 구조물을 가지고 있어 냉각재를 매개로 동특성이 연성되어 나타나므로, 전체 구조물 수준에서의 동특성을 면밀히 규명할 필요성이 있다. 본 연구에서는 일체형 원자로의 축소모형에 대한 자유진동 해석을 위하여 단품 별, 조립 구조물 별 유한요소 해석 모델을 확보하고 해석 결과의 유효성을 고찰해본다. 더불어 유체-구조 연성 효과를 통해 나타나는 부가 질량 효과를 고찰하고 공기 중에서의 동특성과 비교하여 추후 일체형원자로의 종합진동평가 프로그램의 기초 자료로서 활용한다.

2. 축소모형 및 유한요소 해석 모델

2.1 일체형 원자로의 축소 모형

원자로내부구조물의 동특성을 파악하기 위하여 실제 크기의 모형을 제작하려면 많은 시간과 비용이 들어 현실적으로 가능하지 않기 때문에 축소모형을 통해 유체의 부가질량을 평가하는 것이 필요하다.

유체의 부가질량을 고려한 구조물의 동특성에 대하여 축소모형에 대한 상사성이 확보되므로 추후 구조물의 탄성계수 및 밀도, 유체의 밀도를 적용하여 실제 원자로내부구조물의 동특성을 예측할 수 있다. 일체형 원자로의 축소모형은 Fig. 1과 같이 기하학적인 형상을 단순화하여 설계 및 제작하였으며, 노심지배렬집합체, 상부안내구조물집합체, 노심보호집합체, 유동혼합헤더 집합체, 유동분배통 및 원자로용기를 포함하였다.

2.2 유한요소 모델

일체형 원자로 축소모형의 동특성을 추출하기 위해 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 Fig. 2(a)와 같이 유한요소 해석 모델을 구축하였다. 유체영역은 FLUID30요소를 사용하였으며, 구조영역은 SHELL63과 SOLID45로 나타내었다.

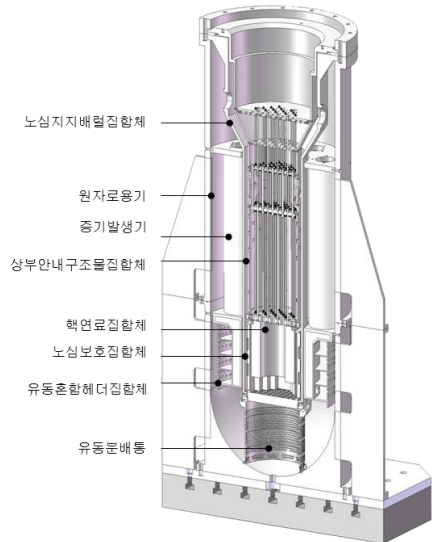


Fig. 1 Scaled-down SMART

† 박경수; 연세대학교 기계공학과
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 기계공학과

** 한국원자력연구원

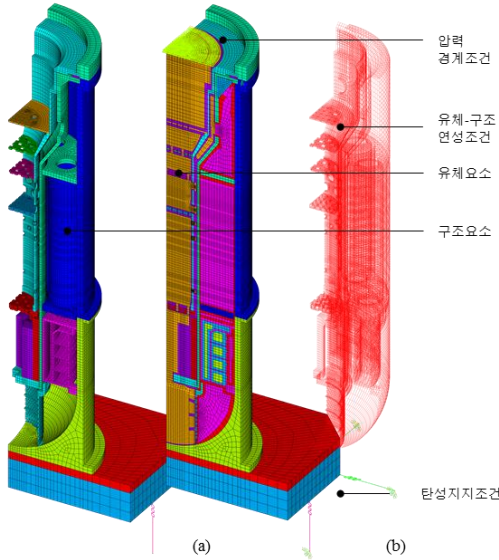


Fig. 2 Finite element model of SMART

모든 요소는 APDL(ANSYS Parametric Design Language)을 활용하여 사변형 및 육면체 요소로 나타내었다. 다공 원통 구조는 등가 강성 및 포아송비를 사용치 않고 과도 요소 형상(Transition Element Pattern)을 이용하여 사변형으로 모두 표현하였다. 또한 구조물과 거리가 멀수록 유체의 요소망이 성하게 조절하였다. 또한 구조물의 접수면에 유체-구조 연성 조건을 Fig. 2(b)와 같이 부가하였으며, 상부의 자유표면에는 압력 경계 조건을 적용하였다.

3. 3. 자유진동 해석 및 고찰

원자로용기에 물이 채워질 경우 전체구조물의 고유진동수는 공기중 고유진동수보다 1/2~1/4 정도로 크게 낮아짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 유체에 의한 부가질량 효과로 인하여 나타나며, 특히 축방향으로 나타나는 진동모드에서 고유진동수가 상대적으로 많이 줄어든다. 더불어 동심을 이루고 있는 상부안내구조물배럴과 노심지지배럴은 간극 유체를 가지고 연성되어 있기 때문에 부가질량 효과가 더 크게 나타나 수중의 개별 구조물보다 고유진동수가 현저히 감소된다. 특히 상부안내구조물 지지배럴과 노심지지배럴이 역위상을 가지고 진동하는 모드는 동위상으로 진동하는 모드보다 고유진동수가 더욱 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 추후 원형 원자로내부구조물의유한요소해석에 원자로냉

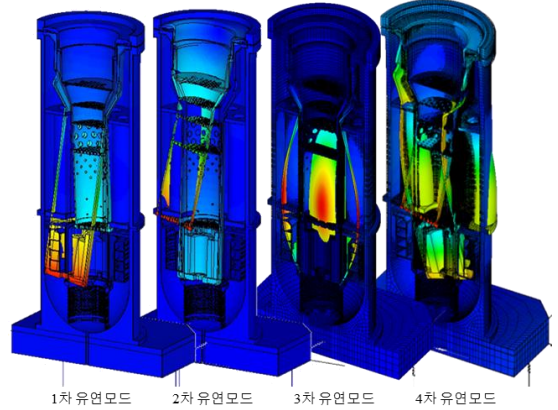


Fig. 3 Mode shapes in water

Table 1 Natural frequency of scaled-down model

No	in Air		in Water	
	Mode shape	Nat.Freq.	Mode shape	Nat.Freq.
1	Bend(CSB)	94.13	Bending(in-phase)	34.02
2	Bend(UGS)	154.1	Bending(out-of-phase)	59.87
3	Shell(CSB)	610.5	Shell(CSB)	132.1
4	Shell(UGS)	659.0	2 nd Bending(in-phase)	198.5

각재의 부가질량을 고려하여 동특성을 예측해야하며 접수면적에 따른 부가질량 효과만을 고려할 것이 아니라 간극 유체에 따른 부가질량 효과도 고려되어야 한다. 더불어 본 해석 모델을 통해 추후 원자로내부구조물에 대한 구조동특성을 정확히 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 SMART 기술검증 및 표준설계 인가 획득사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 손재홍, 이재한, 유봉, 김완규, 우호길, 2000, "유체에 잠겨있는 원자로 상부내부구조물의 다목적 최적설계", 한국정밀공학회 2000년 춘계학술대회논문집, pp. 170~174
- (2) 임승호, 박영필, 박노철, 박경수, 정경훈, 이장원, 2010, "일체형 원자로 내부 유동분배통의 동특성 해석", 한국소음진동공학회 2010년 춘계학술대회논문집, pp.213-214