

BARCOM 모델의 성능평가에 관한 연구

A Study on the Performance Assessment of BARCOM Model

이 홍 표* · 장 정 범** · 황 경 민*** · 송 영 철****

Lee, Hong-Pyo · Jang, Jung-Bum · Hwang, Kyeong-Min · Song, Young-Chul

요 약

이 논문에서는 인도의 BARC에서 가압중수형 격납건물의 선형탄성 거동 및 균열의 발생형상과 극한내압 평가를 위해서 건설한 1/4 축소모델 격납건물에 대하여 실험한 결과와 유한요소 해석에 의한 결과를 비교·분석하였다. 유한요소 해석은 상용프로그램인 ABAQUS를 이용하였고 각각의 구조재료에 대한 수치해석모델을 작성하여 내압해석을 수행하였다.

keywords : 가압중수형 격납건물, 축소모델, 극한내압, 유한요소해석

1. 서 론

인도의 원자력 기관인 BARC(Bhabha Atomic Research Centre)와 NPCIL(Nuclear Power Corporation of India Limited)에서 가압중수형 격납건물의 1/4 축소모델을 제작하여 중수형 격납건물의 탄성 거동뿐만 아니라 비선형거동 평가와 구조해석 코드에 대한 성능검증을 위한 실증실험이 수행되었다. 이 실증실험은 국제공동연구를 통하여 Pre 및 Post-Round Robin Analysis 회의를 개최하였고 7개국 9개 기관이 참여하여 각 기관의 고유해석 프로그램을 사용하여 탄성영역에 대한 거동 및 극한내압 능력을 평가하였다.

이러한 관점에서, 이 논문에서는 BARCOM(BARC COntainMent) Model에 대한 국제공동연구 결과와 극한내압 해석평가 결과를 비교 분석하고자 한다.

2. BARCOM Model 개요 및 유한요소 모델

BARCOM 모델은 가압중수형 원전인 Tarapur의 3,4호기 격납건물을 1/4로 축소모델화 한 것으로 설계내압(Pd)이 0.1413MPa 이다. 이 격납건물은 기초매트 위에 원통형벽체와 상부 돔 및 90도 간격으로 배치된 4개의 부벽으로 구성되어 있다. 그림 1과 표 1에 BARCOM 모델의 형상 및 재료특성치를 각각 나타내었다.

유한요소해석을 위하여 그림 2와 같이 콘크리트, 철근 및 텐던에 대한 3차원 모델을 작성하였다. 변단면 부근인 개구부 주위에는 다른 부분보다 요소수를 세분화하여 거동에 대한 정밀도를 높이고자 하였고 유한요소해석은 상용프로그램인 ABAQUS를 이용하였다. 콘크리트는 8절점 고체요소(C3D8)를 이용하여 이산화 하

* 한전 전력연구원 선임연구원 hplee@kepri.re.kr

** 한전 전력연구원 책임연구원 jbjang@kepri.re.kr

*** 한전 전력연구원 선임연구원 hkm316@kepri.re.kr

**** 한전 전력연구원 수석연구원 yicsong@kepri.re.kr

였고 철근과 텐던은 트리스요소를 이용하여 이산화 하였다. 또한 콘크리트는 손상소성모델(damaged plasticity)을 이용하였고, 철근과 텐던은 축력에만 저항하는 일차원 축요소를 적용하였다.

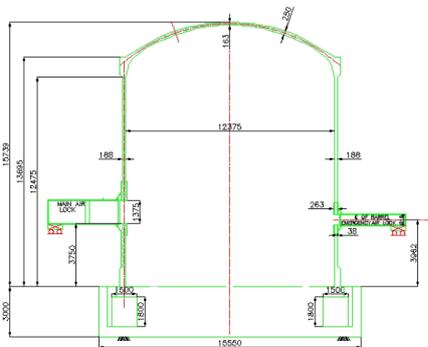


그림 1 격납건물 형상

표 1 구조재료의 재료특성값

재료 항목	콘크리트	재료		
		항목	철근	텐던
압축강도(MPa)	45.0	탄성계수(MPa)	2000,000	1,896,000
인장강도(MPa)	2.78	항복응력(MPa)	415.0	1,649
탄성계수(MPa)	33,540	극한응력(MPa)	630	1,848
포아송 비	0.2	Extension(%)	-	3.5



그림 2 유한요소해석모델: (좌)3차원 콘크리트, (중간) 텐던, (우) 철근

3. 해석결과 및 분석

1/4 축소모델은 69개 지점에 변위 및 변형률 측정을 위한 게이지를 부착하여 실험결과와 유한요소해석에 의한 결과를 비교하고자 하였다. 본 고에서는 대표적인 지점인 벽체 중간부분을 선택하여 그림 3과 같이 하중-변위곡선을 도시하였다. 각 기관에서 사용한 모델에 따른 비선형구간의 거동뿐만 아니라 탄성한도인 균열 발생 시점도 상이하게 나타났다. 콘크리트의 초기 균열은 대략 0.408MPa에서 발생하였고 극한내압의 지표를 텐던의 2% 변형률로 가정할 경우 0.56MPa로 평가되었다. 이 값은 설계내압의 3.9배 정도이다. 최대하중 상태에서 변위에 대한 응력등고선도와 주요 지표에 대한 하중수준을 각각 그림 4와 표 2에 나타내었다.

4. 결론

이 논문에서 인도의 BARC에서 제작한 가압중수형 1/4 축소모델 격납건물의 비선형거동 및 내압능력평가를 수행하였고 그 결과를 다른 기관의 해석결과와 비교 하였다. 전반적인 거동은 해석기관별로 유사하였으

나, 초기균열 발생시점은 다양하게 분포하였다. 이 논문에서 해석한 결과, 초기 균열은 0.408MPa에서 발생하였고, 극한하중은 0.56MPa로 평가되어 전체적으로 설계내압의 3.9배 정도 여유도를 갖고 있는 것으로 나타났다. 향후 구조적인 파괴시험이 수행되면 그 결과와 비교하여 해석코드에 대한 성능을 검증하고자 한다.

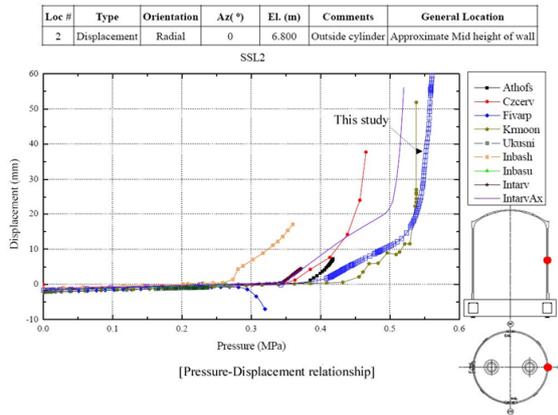


그림 3 벽체중간의 하중-변위선도

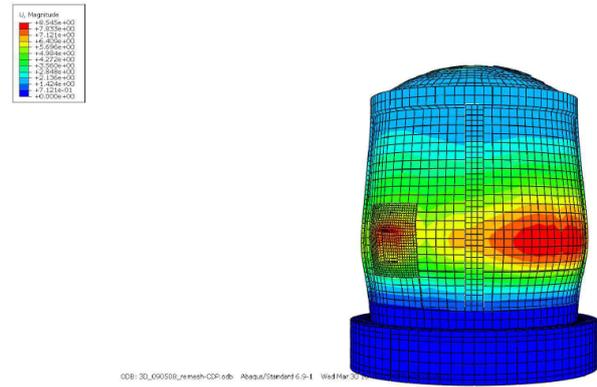


그림 4 변위 등고선도

표 2 주요지표에 대한 압력수준

Event milestones		Result
First appearance of concrete cracking in wall	Hoop directions	1.6Pd
	Longitudinal directions	
First appearance of concrete cracking in dome		3.44Pd
First through wall thickness cracking		-
First appearance of crack at discontinuity regions (such as base wall junction and near ring beam)		-
First cracking at	SG opening	-
	MAL	
	EAL	
	FMAL	
First yielding of the reinforcement bars in	Hoop directions	3.38Pd
	Longitudinal directions	-
First significant loss of leak tightness and the criteria use for the same		-
Maximum pressure sustained by the model before massive leakage signifying the functional failure of the containment structure		-
Ultimate collapse pressure of the containment test model signifying the structural failure including the best estimate, the lower and upper bounds and the criteria used for arriving at the same.		4.0Pd

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 원전기술 혁신사업으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- R.K. Singh** (2011) Post-Test Preliminary Report on International Round Robin Analysis for the Ultimate Load Capacity Assessment of BARC Containment(BARCOM) Test Model, BARC.
- ABAQUS** (2008) Dassault Systemes Simulia, Inc., Ver. 6.9-1.