

콘크리트 격납구조물 돔 및 링빔의 효율적인 설계 기법

Efficient Design Procedure of Concrete Dome and Ring Beam in Containment Structures

전 세 진* 김 영 진**
Jeon, Se Jin Kim, Young Jin

ABSTRACT

Combined analysis is required for the concrete dome and ring beam of containment structure due to the interaction in section forces. In this study, an efficient design procedure is proposed that can be used to determine the preliminary sections of the dome and ring beam as well as a proper level of prestress in the ring beam, prior to a detailed design. The procedure applies the membrane theory of the shell of revolution.

요 약

콘크리트 격납구조물의 돔과 링빔은 서로 접합된 상태로 단면력 분포에 있어 상호 영향을 미치기 때문에 연계 해석이 필요하다. 이 연구에서는 축대칭 회전셀의 막이론을 적용하여 본설계의 유한요소해석에 앞서 돔과 링빔의 초기 형상이나 링빔의 프리스트레스 수준을 효율적으로 결정할 수 있는 기법을 제안하였다.

1. 서 론

콘크리트 격납구조물은 구조적 안전성이 뛰어나고 경제적이므로 원자력발전소 격납건물, LNG 저장 탱크 등에 널리 사용되고 있다. 격납구조물의 지붕을 이루는 돔은 구조물에 따라 반구형 돔을 비롯하여 납작한 형상의 돔까지 여러 가지 형태 및 두께로 설계되어 왔다. 선행 연구¹⁾에서는 내압이나 자중 등 주요 설계하중이 돔에 유발하는 단면력 및 응력을 축대칭 회전셀(shell of revolution)의 막이론(membrane theory)으로 분석하여 돔의 효율적인 곡률반경이나 두께를 고찰한 바 있다. 이 연구에서는 같은 이론을 적용하여 돔과 링빔을 연계하여 해석함으로써 링빔의 적정한 단면 크기나 프리스트레스 수준을 결정할 수 있는 절차를 제안하였다. 이러한 절차는 기존의 경험이나 반복 설계에 의한 단면 도출 절차와 비교할 때 최소의 시행착오로 구조적 안전성이나 경제성 면에서 유리한 돔과 링빔의 대략적인 형상을 파악할 수 있다는 장점이 있다.

2. 이론적 배경

유한요소해석에 의한 상세 설계에 앞서 효율적인 돔과 링빔의 초기 단면을 결정하기 위하여 축대칭

* 정회원, 대우건설기술연구원 토목연구팀, 책임연구원
** 정회원, 대우건설기술연구원 토목연구팀, 전문위원

회전셀의 막이론을 적용하는 방법론을 제안하였다. 막이론은 곡면 셀이 하중에 대해 휨을 발생시키지 않고 면내력에 의해서만 저항한다는 이론으로 집중 하중부나 경계부를 제외하고는 비교적 정확한 값을 산출한다. 그림 1에 대한 평형방정식으로부터 돔의 면내력 N_ϕ 는 식 (1)과 같이 산출된다.²⁾

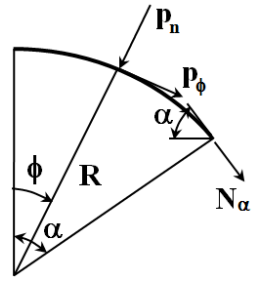


그림 1. 회전셀의 기호

링빔은 그림 1과 같이 돔으로부터 전달되어 오는 추력(thrust)을 지지하는 역할을 하며, 그림 2를 참조할 때 링빔에는 식 (2)와 같은 인장력이 발생하게 된다. 이러한 인장력에 효과적으로 대처하기 위해서는 링빔에 원환텐던을 설치하여 프리스트레스를 도입하는 것이 바람직하며 이 때 링빔의 최종적인 응력은 식 (3)과 같다. 링빔 응력의 목표값이 설정되면 링빔 긴장력(P_{rb}) 및 링빔 단면적(A_{rb})을 결정할 수 있다.

$$N_\phi = -\frac{R}{\sin^2\phi} \int_0^\phi (p_\phi \sin^2\phi + p_n \sin\phi \cos\phi) d\phi \quad (1)$$

$$T_{rb} = -N_\alpha R \sin\alpha \cos\alpha \quad (2)$$

$$\sigma_{rb} = (T_{rb} - P_{rb}) / A_{rb} \quad (3)$$

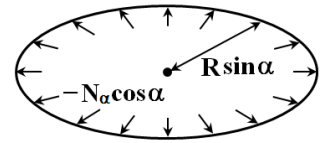


그림 2. 링빔에 작용하는 추력

3. 돔과 링빔 형상의 분석

표 1에서는 통영 LNG 탱크의 돔 및 링빔 제원을 기본으로 하여 제안된 절차에 따라 원설계의 적정성을 분석하고 개선안을 제시해 보았다. 단, 돔에 작용하는 내압은 추력을 오히려 감소시키므로 안전측으로 무시하였다. 여기에서 벽체의 내경(D)은 86 m, 텐던당 긴장력은 2150 kN, 콘크리트의 인장강도는 $0.44\sqrt{f_{ck}} = 0.44\sqrt{40} = 2.78$ MPa로 보았다. 원안은 링빔의 원환방향 응력이 다소 과도하게 발생하는 반면, 돔의 곡률반경을 작게 하거나 링빔의 단면적 또는 프리스트레스량을 증가시킴으로써 응력을 허용값 이내로 조절할 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 돔 형태의 분석결과

경우	돔 곡률반경 R	돔 두께 t (m)	링빔 단면 (m)	링빔 응력 σ_{rb} (MPa)				비고
				by 링빔 프리스트레스 (텐던 개수)	by 돔 자중	by 돔 분포하중 (0.005 MPa)	합계	
1	1.0D	0.6	1.5×3.2	-4.03 (9개)	5.36	1.67	3.00	원안
2	0.8D	0.6	1.5×3.2	-4.03 (9개)	4.05	1.20	1.22	돔 곡률반경 변화
3	1.0D	0.6	1.6×3.4	-3.56 (9개)	4.73	1.47	2.64	링빔 단면적 변화
4	1.0D	0.6	1.5×3.2	-4.48 (10개)	5.36	1.67	2.55	링빔 프리스트레스 변화

4. 결론

선행 연구에서는 콘크리트 돔의 최적 곡률반경 및 두께에 대해 고찰하였으며, 이 연구에서는 효율적으로 링빔을 설계할 수 있는 절차를 제안하였다. 제안된 절차에 의하면 돔 제원의 변화, 링빔의 단면적 및 프리스트레스의 변화 등이 링빔 응력에 미치는 영향을 용이하게 파악하고 개선안을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 전세진, 김영진, "콘크리트 격납구조물의 효율적인 돔 형태에 대한 고찰", 한국콘크리트학회 가을 학술대회 논문집, 제21권 2호, 2009년 11월, pp. 83-84.
2. Flügge, W. "Stresses in Shells", 2nd Ed., Springer-Verlag, 1973.