

외압을 받는 원통형 구조체의 구조건전성 개선에 대한 연구

A Study of the Improvement for the Structural Integrity of a Cylindrical Body

*#김성훈, 최재엽, 이기선

*#S. H. Kim(Sunghoon.kim@lignex1.com), J. Y. Choi, G. S. Lee

LIG 넥스원 기계연구센터

Key words : Structural Integrity, Buckling, Parameter Optimization

1. 서론

압력을 받는 원통형 구조물의 구조건전성 개선에 대한 연구는 구조물의 외경이 크고 두께가 얇은 경우에 대해 각 압력 조건에 따른 일반적인 설계안이 통일되게 제시되어왔다. 대부분의 연구는 배관 구조물과 같이 일정한 내압 또는 외압을 받는 긴 원통형 구조물에 대한 것이며 이러한 긴 원통형 구조물의 두께 선정을 위한 가이드라인(Guideline)과 예시 설계안 등이 제시되어왔다. 또한 압력탱크와 같은 내압 구조물의 원통형 구조물의 두께와 양단의 형상 등에 대한 연구도 계속되어 왔다. 하지만 외압을 받으면서 비교적 길이가 짧은 원통형 구조물에 대하여는 기존의 연구 결과만 가지고는 그 해답을 찾기가 쉽지 않다. 이는 배관 구조물과는 달리 압력에 따른 길이 방향의 하중과 외압에 따른 좌굴을 동시에 고려해야 하기 때문이다. 압력 조건에 따른 기본 두께 선정 및 좌굴 안정성을 확보하기 위한 보강대 설계는 기존에 많은 이론적, 실험적 연구들이 있었으며 본 연구에서는 이러한 이론적, 실험적 연구들을 바탕으로 최적의 설계를 위한 형상 변수를 결정하였고 그 변수에 대한 해석적 검증을 실시하였다. 또한 설계상의 기본 제약 형상을 기반으로 각 형상 변수에 대해 최소의 무게(또는 체적)을 갖는 수치를 해석적으로 도출하였다.

2. 본론

외압을 받는 원통형 실린더의 구조적

안정성을 평가하기 위한 요소로는 외압에 견디기 위한 실린더의 기본 두께(최소외경과 최대내경의 차이)와 외압에 의한 좌굴이 일어나지 않도록 하는 보강대 및 타 부품과의 조립성을 감안한 조립부의 구조 등을 들 수 있다. 주요 설계 제약 조건(Design Constraint)으로는 전 방향 압력조건 (10 Mpa)과 설계 안전율(Safety Factor, >1.25) 그리고, 외경(D) 및 내경(d)과 좌굴을 고려한 길이(L)를 들 수 있다. 길이는 기본두께 해석의 경우 200 mm, 좌굴의 경우 1000 mm 를 사용하였다. 이러한 제약 조건 하에 도출해야하는 형상 변수(Geometric Parameter)는 두께(t), 리브(rib)의 폭(W)과 간격(P) 등을 들 수 있다. 이러한 설계 제약 조건과 형상 변수는 Fig. 1 에 설명되어 있다. 본 연구에 사용된 구조물의 재질은 Table 1 에 설명되어 있으며 본 구조건전성 평가에 제작 방법에 따른 영향을 덜 받을 수 있도록 하기 위하여 모두 등방성(Isotropic) 재료로 가정하여 해석을 수행하였다. 본 해석 결과에 대한 평가 기준은 안전율 1.3 이상으로 하였다.

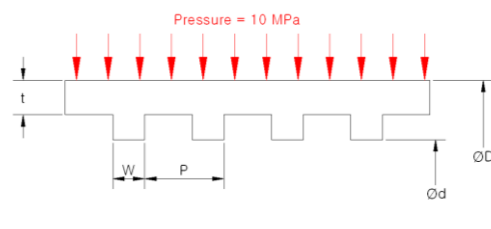


Fig. 1 Design Constraints and Geometric parameter

Table 1 Mechanical Properties (ASTM B247)

Yield Strength (MPa)	415
Modulus of Elasticity (GPa)	71.7
Poisson Ratio	0.33

좌굴 해석에 앞서 우선 외압에 대한 최소 두께를 선정하기 위해 리브가 없는 상태에서 두께에 따른 세가지 해석 모델을 결정하여 정적 구조해석을 수행하여 항복 강도와 비교하였다. 그 결과는 Table 2 과 Fig. 2 에 나타나 있다.

Table 2 Maximum Stress by the thickness

Thickness (mm)	6	8	10
Stress (MPa)	390	299	250
Safety Factor	1.0	1.4	2.0

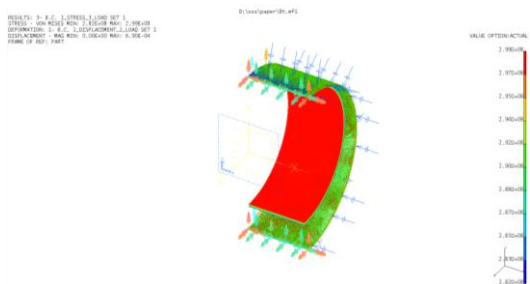


Fig. 2 FE Analysis for Static Pressure

Table 2. 에서 볼 수 있듯이 압력 조건 하에서 두께를 8 mm 로 선정하는 것이 최소 안전율을 조건을 만족하며 이러한 기본 두께 하에서 좌굴에 압력 조건에 의한 좌굴 영향을 해석하였다. 두가지 형상 변수에 대해 각각 두 가지, 즉, 총 네 가지 해석을 수행하였으며 그 결과는 Table 3 과 Fig. 3 에 나타나 있다.

Table 3 Buckling Safety Factor

Case	A	B	C	D
W (mm)	20	20	40	40
P (mm)	80	160	80	160
Safety Factor	1.4	0.8	1.8	1.4
Weight (kgf)	62	51	89	65

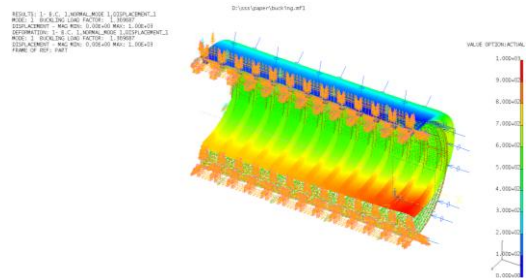


Fig. 2 FE Analysis for Buckling

동일한 압력 조건에 대하여 네 가지 형상 조건이 모두 좌굴에 견디는 것으로 예상되나 설계 최소 안전율을 만족하는 것은 A, C, D 이며 무게 측면에서 A 가 가장 우수한 것으로 나타나 있다.

3. 결론

외압을 받는 원통형 구조물의 구조건전성 개선을 위한 설계 변수의 산정 및 해석 결과, 압력을 견딜 수 있는 최소 두께와 좌굴을 견딜 수 있는 보강 리브의 형상 변수를 결정할 수 있었다. 또한 해석 대상의 무게를 목표 변수로 최적화 과정을 거침으로써 설계 변수를 선정할 뿐 아니라 외압을 받는 원통형 구조물에 대한 설계 최적화의 가이드라인으로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서 도출된 설계 변수들은 향후 시험품의 외압 시험을 통해 검증될 것이며 시험 결과에 따른 해석의 신뢰도를 실험시험법 등을 통해 좀더 정밀한 분석이 가능한 방향으로 연구가 지속될 것이다.

참고문헌

1. J. Blachut, a, and P. Smitha, "Buckling of multi-segment underwater pressure hull", Ocean Engineering, Volume 35, Issue 2, 247-260, 2008.
2. 落合安太郎, "壓力容器" 機電研究社, , 1980.