

심해저 구조물용 압력용기 설계 및 해석에 관한 연구

A Study on Design and Analysis of Pressure Vessel for Deep Sea

*김태형¹, 이은규², 김남석², 박찬영³,**김창완⁴

*T. H. Kim¹, E. K. Lee², N. S. Kim², C. Y. Park³, **C. W. Kim(goodant@konkuk.ac.kr)⁴

¹ 한국건설기술연구원, ² 건국대학교 기계설계학과 대학원, ³(주)유에스티21, ⁴ 건국대학교 기계설계학과

Key words : Deep sea, Pressure vessel, Finite element method, Buckling, Von-Mises stress

1. 서론

우리나라는 3면이 바다인 해양국으로써 21세기 자원 공동화에 대처하기 위해서는 해양자원의 적극적인 개발과 이용이 적극적으로 필요하다. 특히 심해저는 높은 수압이 작용하는 곳으로 광물개발, 생태계 연구 및 지질 연구 등과 같은 연구가 최근 활발하게 이루어지고 있다.

심해저 연구 활동을 위해서는 AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 를 주로 활용하는데 국내에서도 자체 개발하여 2000~6000 m 해저에 대한 탐사를 성공적으로 수행한 경험이 있다. 무인잠수정 AUV 기술은 해양기술 자립에 필수적으로 요구되어지는 핵심기술이다. AUV 는 큰 압력 용기에 여러 장비를 장착하는 모듈형 구조가 일반적이다. 높은 압력을 받는 압력용기는 주로 고압에 의한 파손 및 좌굴에 의한 붕괴가 발생함으로써 압력 용기의 붕괴 방지를 위한 안전 설계 해석이 필수적이다.

본 연구에서는 심해저용 AUV에 사용되는 압력용기 설계에 대해서 유한 요소 해석법(Finite Element Method)을 이용하여 정적 구조 해석, 좌굴 해석 및 진동 해석을 수행한 결과를 보여준다. 이를 통하여 보다 안전하고 효율적인 AUV 설계 자료를 제시하고자 한다.

2. 심해저용 내압용기의 정적 구조 해석

내압용기는 Fig. 1에 나타난 단면 형상과 치수를 기준으로 설계 하였다. 원형 실린더 형태의 몸체와 양 끝단은 원형 반구로 마무리 하였으며 통상적으로 반구(Hemisphere)가 원통형 실린더(Circular cylinder)보다 높은 압력에 견디므로 반구의 두께가 원통형 실린더 보다 작다. 수치해석을 위한 유한요소 모델을 Fig. 2 와 같이 생성하였다. 전체적으로 사면체 요소를 이용하였고 원통면의 경우 일정 단면에 대하여 균일한 격자 구조를 생성하는 방법을 이용하였다. 내압용기 외부에 작용하는 압력은 6000m 심해의 경우 600bar(=6kgf/mm²)의 압력이 작용하므로 외부 면 전체에 대하여 균일한 하중을 적용하였다. Table 1에 해석에 사용된 7075-T6 알루미늄합금의 특징을 나타내었다.

하중의 적용 후 변형의 최대값은 양 끝단 반구 내부의 면에서 나타나며 응력의 최대값 또한 같은 지점에서 발생한다. 하지만 응력은 변형 량에 비해 보다 넓은 범위에 걸쳐 발생하는 것을 확인 할 수 있으며 원통면의 내부에도 다소 높은 응력이 발생되는 것을 확인하였다. 외부 압력이 작용 할 때 변형과 응력에 대한 안전계수를 Fig.3에서 나타 낸다. 안전계수는 전체적으로 최대 3.2995에서 최저 1.2213의 분포를 보이고 있다.

Table 1 심해저 압력용기 재료 물성치

Type	Value
Yield stress (σ_y)	480 Mpa
Ultimate stress (σ_u)	550 Mpa
Young's modulus	72 Gpa
Poisson's ratio	0.33
Specific gravity	28 kN/m ³



Fig. 1 심해저 압력용기 CAD 형상

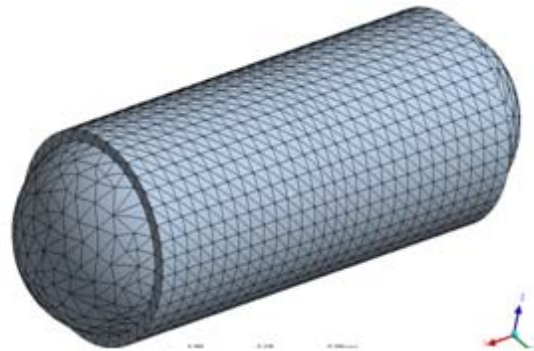


Fig. 2 3차원 유한요소해석 모델

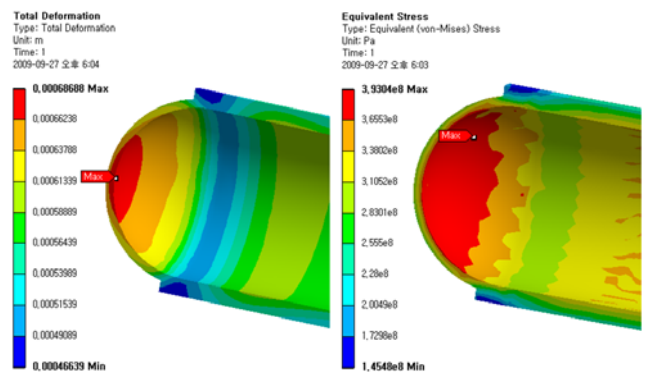


Fig. 3 용기 내부의 최대 변형량 및 유효 응력 계산 결과

2. 심해저용 내압용기의 좌굴 및 진동 해석

내압용기에 있어서 붕괴 현상은 축대칭 항복이나 좌굴에 의해 발생한다. 특히 보강재가 없는 긴 원형 실린더는 Fig 4와 같은 좌굴모드를 나타낸다. 또한 Fig 5는 반구에서 발생하는 축대칭 좌굴(Axisymmetric buckling)의 대표적인 경우라 할 수 있다. Fig 6은 심해저용 내압용기 전체의 좌굴모드를 나타낸다.

이러한 좌굴현상은 진동형태와도 관계가 있는데 Table 2 및 3에 유한요소해석법을 통해 구한 실린더 및 반구의 고유진동수를 나타낸다.

Table 2 Natural Frequency of circular cylinder

Mode	Frequency[Hz]	Mode	Frequency[Hz]
1	1414.7	6	2534.7
2	1414.7	7	2565.0
3	1744.5	8	2582.6
4	1744.5	9	2582.6
5	2534.7	10	3268.1

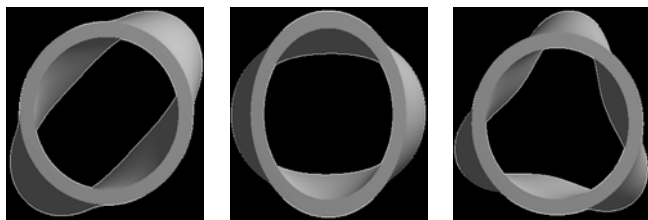
Table 3 Natural Frequency of hemisphere

Mode	Frequency[Hz]	Mode	Frequency[Hz]
1	4171.4	6	6854.7
2	4172.1	7	6856.6
3	5537.1	8	6996.3
4	6041.6	9	6997.5
5	6042.2	10	7991.4

진동 해석을 수행하였다. 압력용기를 반구(Hemisphere) 및 원통형 실린더(Circular cylinder)로 구분하여 각각 해석을 하였고, 그리고 전체 압력용기에 대한 해석을 수행하였다. 심해 6000 m의 경우 압력용기에 대한 안전계수는 최대 3.29에서 최저 1.22를 나타냈다. 또한 좌굴 및 진동 모드해석을 통해서 안전하고 효율적인 AUV 설계 자료를 제시하였다.

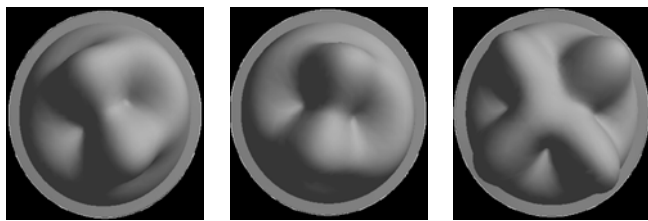
후기

This work was supported by the Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF) grant funded by the Korea government (no. 2009-0077217).



(a) First mode (b) Second mode (c) Third mode

Fig. 4 Buckling mode of circular cylinder



(a) First mode (b) Second mode (c) Third mode

Fig. 5 Buckling mode of hemisphere



(a) First mode (b) Second mode (c) Third mode



(d) Fourth mode (e) Fifth mode (f) Sixth mode

Fig. 6 Buckling mode of pressure vessel

4. 결론

본 연구에서는 심해저용 AUV에 사용되는 압력용기에 대해서 유한 요소 해석법을 이용하여 정적 구조 해석, 좌굴 해석 및