Check for updates

동력시스템공학회지 제28권 제2호 pp. 52-60 2024년 4월 ISSN 2713-8429(Print) ISSN 2713-8437(Online)
Journal of Power System Engineering https://doi.org/10.9726/kspse.2024.28.2.052
Vol. 28, No. 2, pp. 52-60, April 2024

# 해양 시추선용 경량 수밀 공조 덕트의 구조해석 및 강도 평가
# Structural Analysis and Strength Evaluation of a Light and Watertight Air Conditioning Duct for Offshore Drilling Rigs

김병탁*† · 진도훈**
Byung-Tak Kim*† and Do-Hun Chin**

(Received 28 March 2024, Revision received 29 April 2024, Accepted 29 Apri 2024)

**초록 :** 본 연구에서는 새롭게 개발하고자 하는 경량 수밀용 공조 덕트가 7 bar의 내압이나 외압을 받을 경우에 대한 구조해석을 수행하고 그 강도를 평가하였다. 해당 덕트는 해양 시추선용으로 두께 3 mm의 STS316L 소재로 되어 있으며, 굽힘에 대한 유연성을 확보하기 위해 길이 방향으로 일정 간격의 주름부가 형성되어 있다. 공조 덕트가 내, 외압을 받을 때 발생하는 응력은 주름부의 피치나 깊이와 같은 설계 인자에 의해 상당한 영향을 받으므로, 본 해석에서는 주름부에 발생하는 응력분포의 양상과 설계 인자에 따른 응력 수준의 변화를 조사하였다. 마지막으로 시추선이 침몰하여 덕트가 외압을 받게 되면 쭈그러짐으로 인해 내부 체적이 감소하여 부력 확보가 어려워질 수 있으므로, 이에 대한 안전성을 검토하기 위하여 좌굴 해석도 동시에 수행하였다. 결과적으로 최대응력은 69~70 MPa로서 항복에 대해 충분한 강도를 가지며, 1차 좌굴 모드에 대한 안전율은 약 1.35로 나타났다.

**키워드 :** 해양 시추선, 수밀 공조 덕트, 주름 파이프, 응력 해석, 좌굴 해석

**Abstract :** The purpose of this study is to conduct a structural analysis and evaluate the strength of the newly developed lightweight watertight air conditioning duct when it is subjected to seven bar of internal or external pressure. The duct is made of STS316L material with a thickness of three mm for offshore drilling ships and has corrugated parts at regular intervals in the longitudinal direction to ensure bending flexibility. Since the stress generated in which the air conditioning duct is subjected to internal or external pressure is considerably influenced by design factors such as the pitch and depth of the corrugations, this paper focused on investigating the pattern of stress distribution in the corrugated portion and how stress levels changed according to variations in design factors. Finally, the internal volume may decrease due to crumpling, hindering the ability to maintain buoyancy if the drilling ship sinks and the duct is subjected to external pressure. Thus, the buckling analysis was also performed to examine its safety. As a result, the maximum stress was 69-70 MPa, which had sufficient strength against yield, and the safety factor for the first buckling mode was approximately 1.35.

**Key Words :** Offshore Drilling Ship, Watertight Air Conditioning Duct, Corrugated Pipe, Stress Analysis, Buckling Analysis

*† 김병탁(https://orcid.org/0000-0002-4403-171X) : 교수, 국립부경대학교 기계공학부
E-mail : btkim@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6161
**진도훈(https://orcid.org/0009-0003-8472-7097) : 교수, 부산가톨릭대학교 안전보건학과

*† Byung-Tak Kim(https://orcid.org/0000-0002-4403-171X) : Professor, School of Mechanical Engineering, Pukyong National University.
E-mail : btkim@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6161
**Do-Hun Chin(https://orcid.org/0009-0003-8472-7097) : Professor, Department of Safety and Health, Catholic University of Pusan.

## 1. 서 론

시추선과 같은 유정 굴착 장치(rig)[1,2]에 사용되는 공조 덕트는 일반적으로 기둥(column)이나 폰툰(pontoon)의 안쪽에 설치되어 있으며, 평상시에는 주로 환기를 목적으로 사용되고 있다. 현재 사용되는 공조 덕트는 일반적으로 두께 6~16 mm의 강재로 만들어져 있어 염분에 의한 부식에 취약할 수밖에 없으며, 그 무게 또한 상당히 무겁다. 그러나 시추선이 불가항력적인 사고로 인하여 선체 외벽이 손상을 받아 해수가 유입될 경우, 통풍관을 통해 분리되어 있는 공조 덕트의 입출구를 댐퍼를 사용하여 밀폐시킴으로써 부력을 가진 수밀 공간을 제공하여 선체의 침몰을 방지하는 역할을 하기도 한다.[3,4] 따라서 시추선의 사고 발생 시 충분한 부력 형성을 확보하기 의해서는 덕트의 무게를 경량화시킬 필요가 있으며, 강도 또한 고려해야 할 중요한 설계 인자이다.

현재까지 해양 시추선과 관련된 연구는 상당 부분 해양 환경 오염이나 사고 통계의 분석, 장비 개발 기술 등을 통해 그 피해를 줄이기 위한 노력의 일환으로 진행되어 왔다.[5-7] 또한 시추선용 공조 덕트에 대한 연구도 주로 환기 성능 파악을 위한 유동 해석 중심으로 수행[8-10]되어 왔기 때문에 시추선의 침몰을 방지하기 위한 수밀 공간 확보 등 거동 특성과 관련된 연구는 상당히 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 새롭게 개발하고자 하는 경량 수밀용 공조 덕트가 7 bar의 내압이나 외압을 받을 경우에 대한 구조해석을 수행하고 그 강도를 평가하고자 한다. 해당 덕트는 해양 시추선용으로 두께 3 mm의 스테인리스강으로 되어 있으며, 굽힘에 대한 유연성을 확보하기 위하여 길이 방향으로 일정 간격의 주름부[11-12]가 형성되어 있다. 공조 덕트가 내, 외압을 받을 때 발생하는 응력은 주름부의 피치나 깊이와 같은 설계 인자에 의해 상당한 영향을 받으므로, 본 연구에서는 주름부에 발생하는 응력분포의 양상과 설계 인자의 변화에 따른 응력 수준의 변화를 조사하였다. 마지막으로 시추선이 침몰하여 덕트가 외압을 받게 되면 쭈그러짐으로 인해 내부 체적이 감소하여 부력 확보가 어려워질 수 있으므로, 이에 대한 안전성을 검토하기 위하여 좌굴 해석도 동시에 수행하였다.

## 2. 유한요소해석

### 2.1 공조 덕트의 형상

Fig. 1은 시추선용 공조 덕트의 형상을 도시한 것이며, Table 1은 해석에 적용된 덕트의 치수를 나타낸 것이다. 초기 설계에서 덕트의 길이는 1,000 mm로 고정되어 있으며, 덕트의 지름은 550 mm, 두께는 3 mm이다. 주름부의 피치와 깊이의 기본 치수는 각각 250 mm, 5 mm이나, 본 해석에서는 응력 발생에 미치는 설계 인자의 효과를 파악하기 위하여 주름부의 피치와 깊이를 각각 200~300 mm, 3~10 mm로 변화시켜 가면서 유한요소해석을 수행하고 그 결과를 비교하였다.

### 2.2 재료 물성 및 경계조건

해석에 사용된 재료는 내부식성이 우수한 스테인리스강(STS316L)이며, Table 2는 이 재료의 기계적 성질을 나타낸 것이다. 시추선용 공조 덕트를 서로 연결하여 환기 시스템을 구성할 때는 일반적으로 플랜지와 슬리브 이음을 주로 사용한다. 이 경우 플랜지 이음부는 브래킷에 고정되어 덕트의 끝단이 이동하지 못하게 구속되나, 슬리브 이음부는 덕트의 양단이 자유롭게 움직이는 환경을 제공한다. 따라서 본 해석에서는 양단 고정의 구속조건과 한단 자유의 구속조건을 모두 사용하여 내, 외압을 받는 덕트의 구조해석을 수행하였다. 작용 압력은 7 bar(0.7 MPa)이며, 덕트의 전체 표면에 수직한 방향으로 균일하게 적용하였다.

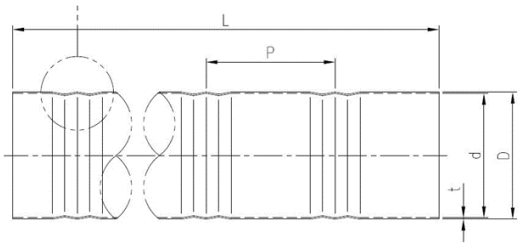



Fig. 1 Geometry of the corrugated duct

Table 1 Dimensions of analysis model

| Parameter | Value | Unit |
|---|---|---|
| Inner diameter : d | 350 | mm |
| Length : L | 1000 | mm |
| Thickness | 3 | mm |
| Pitch : p | 250(200~300) | mm |
| Depth | 5(3~10) | mm |

Table 2 Mechanical properties of STS316L

| Parameter | | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| Isotropic Elasticity | Density | 8000 | kg/m$^3$ |
| | Young's Modulus | 193 | GPa |
| | Poisson's Ratio | 0.3 | |
| Bilinear Isotropic Hardening | Yield Strength | 206 | MPa |
| | Tangent Modulus | 787 | MPa |

### 2.3 유한요소모델

Fig. 1과 같은 원형 덕트가 내, 외압을 받는 경우, 형상 및 하중조건, 변위 구속조건이 덕트의 중심축에 대하여 대칭이므로, 본 해석에서는 해석의 정밀도 및 계산 시간을 고려하여 전체의 1/4만을 모델링하였다. 또한 덕트는 두께가 일정하고 그 치수가 지름에 비해 매우 작기 때문에 굽힘 효과를 정확히 나타낼 수 있고 모델링도 용이한 shell 요소를 사용하여 격자를 구성하였다. 이때 대칭면은 면에 수직한 방향(원주 방향)의 이동과 길이 및 반경 방향의 회전이 구속되는 조건이 적용되었으며, 형상의 변화가 심한 주름부는 상대적으로 조밀하게 격자를 구성하였다. Fig. 2는 유한요소 모델을 도시한 것으로, 절점의 수는 200,353개, 요소의 수는 66,368개이며, ANSYS workbench 17.2를 사용하여 해석을 수행하였다.

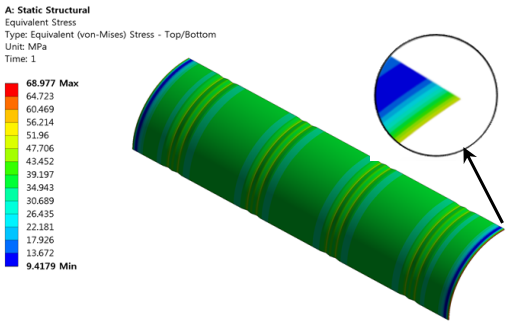
Fig. 2 Finite element model of the duct

## 3. 해석 결과 및 고찰

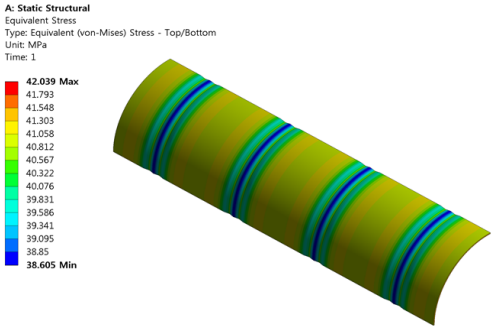
### 3.1 기본 모델의 응력 분포 특성

Fig. 3은 기본 치수의 공조 덕트가 내, 외압을 받을 때 전체 모델에 발생하는 등가 응력(von Mises stress)을 두 구속 조건에 대해 대표적으로 도시한 것이다. 양단 고정(a)의 경우 최대 응력은 내, 외압 구별 없이 변위가 구속된 고정단에서 발생하였으며, 그 값도 약 69~70 MPa 정도로 거의 동일하게 나타났다. 이 응력 수준은 항복에 대한 충분한 여유가 있으므로 재료의 강도 측면에서는 문제가 없는 것으로 판단할 수 있다. 특히 고정단에서 약간 떨어진 부근에서의 응력은 다른 부분에 비해 매우 작은 응력이 발생하고 있으며, 주름부에서 응력은 골과 산 부분에서 상대적으로 큰 응력차가 발생함을 관찰할 수 있다. 한단 자유(b)의 경우에는 발생 최대 응력이 양단 고정의 경우보다 약 28 MPa 감소한 41~42 MPa의 값을 나타내었다. 이 경우에도 작용 압력의 방향에 대한 영향은 거의 관찰되지 않았으며, 발생 응력의 범위도 최소 38 MPa에서 최대 42 MPa까지 비교적 균일하게 나타났다. 이상의 결과를 종합하면, 실제 설치 과정에서 플랜지가 부착된 덕트를 브래킷에 고정할 경우 플랜지 연결부에서 가장 큰 응력이 발생하게 됨을 예측할 수 있다.

Fig. 4는 양단 고정 조건에서 주름부의 응력을 파악하기 위하여 덕트의 길이 방향의 응력 변화를 주름부가 없는 원통형과 비교하여 나타낸 것이다. 이 그림을 살펴보면, 두 경우 모두 주름부의 골에서의 응력이 산보다 높게 나타남을 관찰할 수 있으며, 골 부분에서의 응력 또한 압력 방향에 따라 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 특히 지지부와 떨어진 주름부의 응력은 주름이 없는 원통형보다 더 높은 응력이 발생함을 알 수 있다. 그러나 주름이 없는 덕트의 고정단에서 발




(a) internal pressure with fixed ends condition

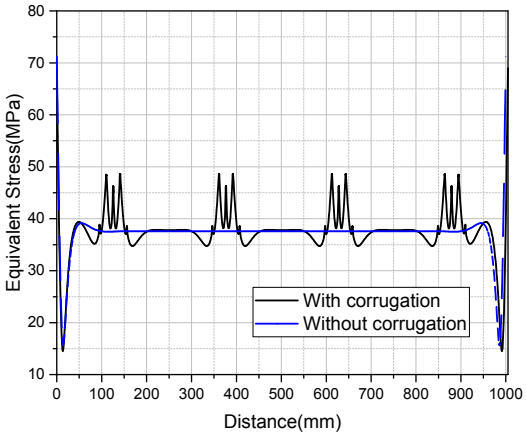



(b) external pressure with free ends condition

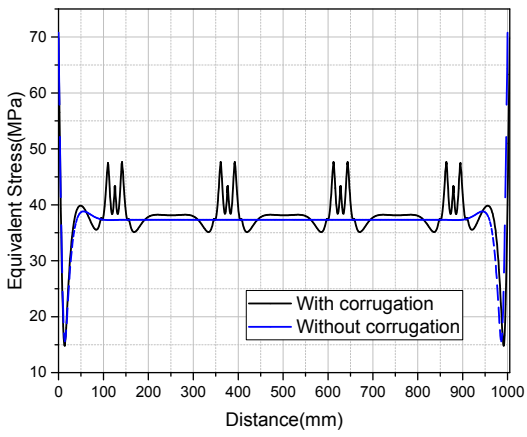
Fig. 3 Equivalent stress distribution of the duct

생하는 최대 응력은 내압의 경우 71.2 MPa, 외압의 경우 70.8 MPa의 값을 나타내고 있으므로, 최대 응력의 관점에서 보면 내압을 받는 경우 약 3.1%, 외압을 받는 경우 약 1.4%의 강도 개선 효과가 있는 것을 알 수 있다. 물론 주름부는 공조 덕트 시스템의 구성을 용이하게 하고, 온도 변화에 따른 신축을 허용하여 과다하게 발생하는 길이 방향의 응력을 완화시켜주는 장점이 있지만, 본 모델과 같이 양단이 구속된 주름 덕트의 경우 변위가 구속된 지지부 인근의 영역을 제외하고는 강도 개선 효과는 그리 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5는 한단 자유 구속조건의 경우 덕트의 길이 방향의 응력 변화를 도시한 그래프이다. 양단 고정의 경우와는 달리 주름부에서 상대적으로 낮은 응력이 발생하며, 내압을 받는 (a)의 경우 덕트에 발생하는 응력은 상당한 구간에서 주름이 없는 덕트의 발생 응력 41.2 MPa보다 낮게 나타남




(a) internal pressure

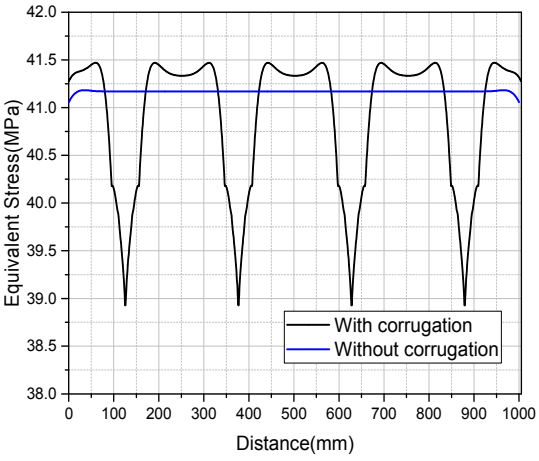



(b) external pressure

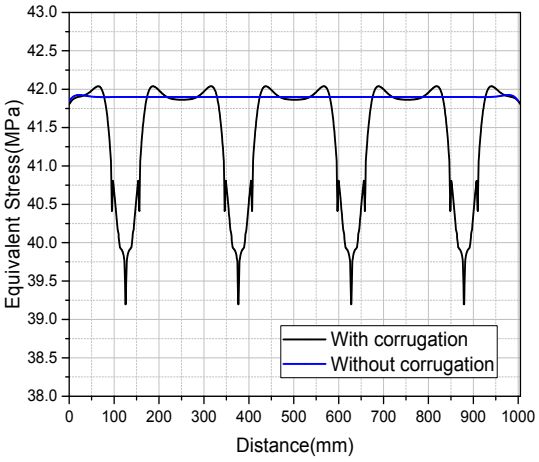
Fig. 4 Stress variations along the longitudinal direction (fixed ends condition)

을 알 수 있다. 또한 외압을 받는 (b)의 경우에는 주름부 사이의 수평 구간을 제외하고는 대부분 영역에서 주름 없는 덕트의 응력 41.9 MPa보다 작은 값을 나타내고 있다. 따라서 한단이 고정된 구속 조건을 제공하는 설치 부분의 강도 개선 효과가 양단이 고정된 설치 방식이 적용된 부분보다 더 크게 나타남을 확인할 수 있다.

이상의 결과를 토대로 7 bar의 내, 외압을 받고 있는 3 mm 두께의 주름 덕트의 강도를 평가하면, 재료의 항복응력이 206 MPa이므로 정적 압력 작용시의 안전율은 양단 고정의 경우 약 2.94, 한단




(a) internal pressure




(b) external pressure

Fig. 5 Stress variations along the longitudinal direction (free ends condition)

자유의 경우 4.90의 값으로 나타남을 알 수 있다. 그러나 이 안전율은 항복에 대한 것으로 재료의 일부가 항복한다 하더라도 내압이 작용하는 경우 그 기능에는 전혀 문제가 없으며, 외압이 작용하는 경우에도 좌굴에 의한 대변형이 발생하지 않는 한 비상사태 시의 부력 발생에는 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. 덕트에 외압이 작용할 시 좌굴이 발생할 가능성을 판단하기 위하여 수행한 좌굴 해석의 결과는 뒤의 3.3에서 논하기로 한다.

### 3.2 설계인자에 따른 응력 변화

Fig. 6은 내압을 받는 덕트의 피치를 일정하게 유지하면서 주름의 깊이를 변화시켰을 때 발생하는 최대 응력을 3개의 피치에 대하여 나타낸 그래프이다. 주름의 깊이 변화에 따른 최대 응력의 차이는 크지 않으나, 양단이 고정된 경우에는 미소하게 감소하는 반면, 한단이 자유로운 경우는 미소하게 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 주름 깊이 변화가 최대 응력에 미치는 영향은 양단이 고정된 경우가 한단이 자유로운 경우보다 더 크

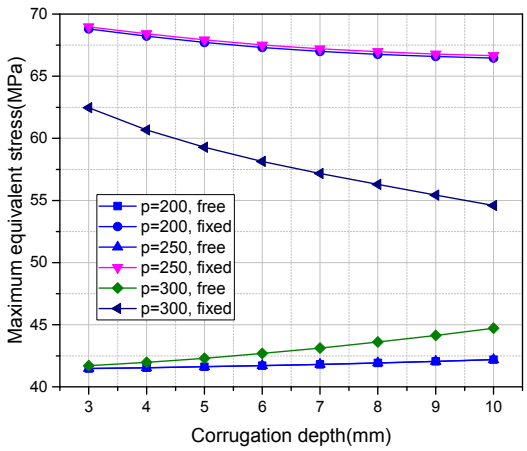



Fig. 6 Maximum equivalent stresses according to the corrugation depth (internal pressure)

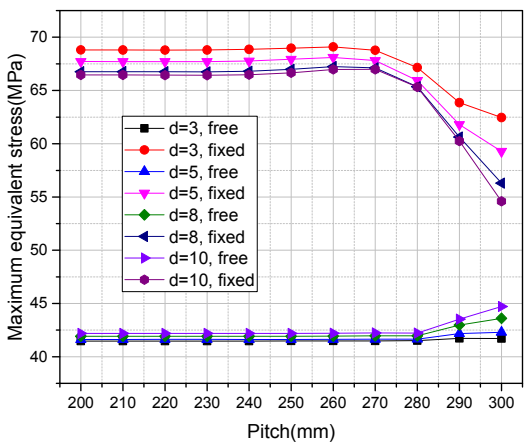



Fig. 7 Maximum equivalent stresses according to the corrugation pitch (internal pressure)

게 나타남을 알 수 있다. 또한 공조 덕트가 내압을 받을 때의 최대 응력은 모든 경우에 있어서 양단이 고정된 경우가 상대적으로 더 크게 나타나며, 피치가 증가할수록 이들 값의 차이는 점차 감소함을 관찰할 수 있다.

Fig. 7은 내압을 받는 덕트의 주름의 깊이를 일정하게 유지하면서 피치를 변화시켰을 때 발생하는 최대 응력을 4개의 깊이에 대하여 대표적으로 나타낸 그래프이다. 각 깊이에 대한 주름부 피치의 영향은 피치가 200~270 mm에 대해서는 최대 응력의 변화가 거의 관찰되지 않고 있다. 그러나 피치가 280 mm를 초과하면 양단 고정의 경우 응력이 상당 부분 감소하고, 한단 자유의 경우에는 미소하게 증가함을 관찰할 수 있다. 이는 피치가 증가함에 따라 주름부가 양단에 인접하게 되므로 지지부의 영향이 상대적으로 크게 나타나기 때문으로 판단되며, 지지 조건에 따른 최대 응력의 차이는 피치 270 mm까지는 거의 일정하고, 피치 280 mm를 초과하면 감소함을 알 수 있다.

Fig. 8은 외압을 받는 덕트의 피치를 일정하게 두고 주름의 깊이를 변화시켰을 때 발생하는 최대 응력을 대표적으로 3개의 피치에 대하여 도시한 그래프이다. 외압을 받을 때 주름부 깊이가 최대 발생응력에 미치는 영향은 내압을 받을 때와 거의 동일하게 나타남을 알 수 있다. 또한 내압의

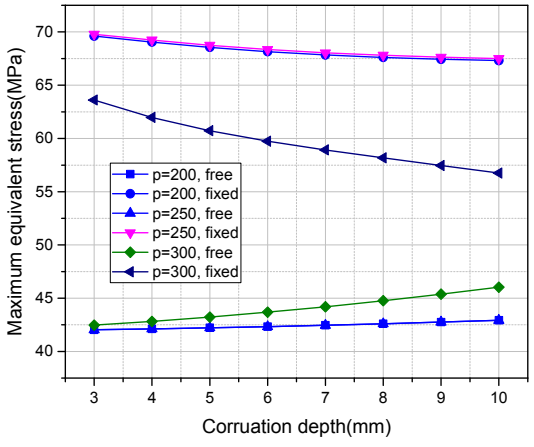



Fig. 8 Maximum equivalent stresses according to the corrugation depth (external pressure)

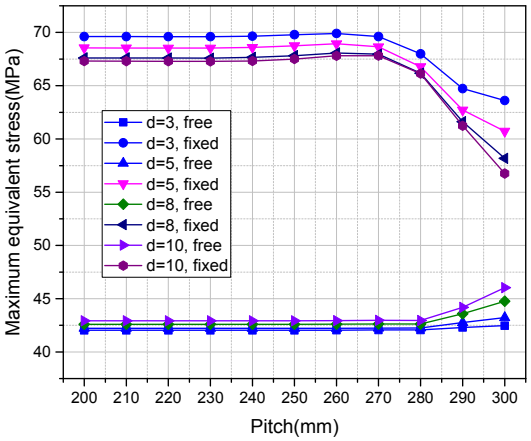



Fig. 9 Maximum equivalent stresses according to the corrugation pitch (external pressure)

경우와 마찬가지로 주름의 깊이 변화에 따른 최대 응력의 차이는 크지 않으나 깊이가 증가할수록 양단 고정의 경우 미소하게 감소하고, 한단이 자유로운 경우는 미소하게 증가하여 구속 조건에 따른 최대 응력의 차이가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 9는 외압을 받는 덕트의 주름의 깊이를 일정하게 유지하면서 피치를 변화시켰을 때 발생하는 최대 응력을 4개의 깊이에 대하여 대표적으로 나타낸 그래프이다. 내압의 경우와 마찬가지로, 여러 깊이에 대해 주름부 피치 변경에 따른 최대 응력의 차이는 피치 200 mm에서 270 mm 사이에서 거의 일정함을 볼 수 있다. 그러나 내압의 경우와 마찬가지로 피치가 280 mm를 초과하면 모든 주름부 깊이에 대하여 양단 고정의 경우 응력이 상당 부분 감소하고, 한단 자유의 경우에는 미소하게 증가하여 지지 조건에 따른 최대 응력의 차이가 감소함을 알 수 있다.

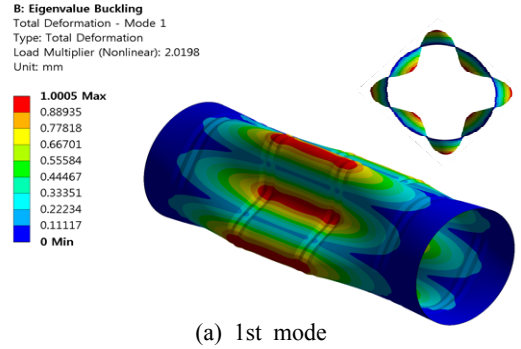
이상의 결과로부터 주름의 깊이가 증가하면 최대응력은 양단 고정의 경우 감소하는 반면, 한단 자유의 경우에는 미소하게 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 피치 변화에 따른 최대 응력은 구간 200~270 mm에서는 거의 일정하게 나타나나, 280 mm을 초과하면 양단 고정의 경우 감소하고 한단 자유의 경우 증가하는 경향을 나타내었다.

### 3.3 좌굴 해석

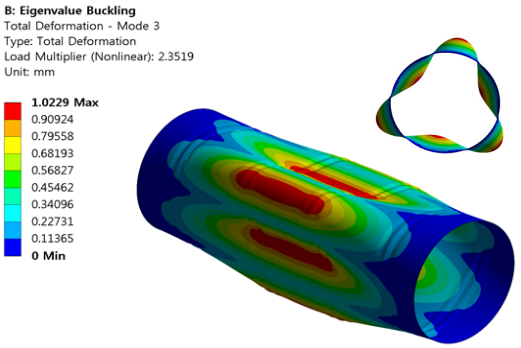
구조물이 인장 하중을 받고 있는 경우에는 굽힘에 대한 강성이 커지기 때문에 일반적으로 좌굴 해석을 할 필요는 없으며, 구조물의 강도 평가는 발생 최대 응력에 대한 검토만으로 충분하다고 볼 수 있다. 본 해석의 경우에도 공조 덕트가 내압을 받고 있는 경우에는 전체 영역에 걸쳐 인장응력이 발생하므로 좌굴은 발생하지 않는다. 그러나 시추선이 불가항력적인 요인에 의해 침몰했을 경우에는 공조 덕트가 외부에서 수압을 받게 되고, 이때 좌굴이 발생하게 되면 내부 체적이 감소하여 큰 부력을 발생시킬 수 없게 된다. 따라서 7 bar의 외압을 받고 있는 공조 덕트가 충분한 부력을 발생시킬 수 있는 공간을 확보할 수 있는지를 검토하기 위해서는 좌굴에 대한 해석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 좌굴 모드(mode)에 대한 시각적 편의성을 고려하여 덕트 전체를 모델링하고, 외압 작용 시의 두 지지 조건에 대한 좌굴 모드와 그 안전성을 평가하였다.

Fig. 10은 양단이 고정된 지지 조건을 갖는 공조 덕트의 1, 3차 좌굴 모드를 나타낸 것이다. 길이에 수직한 두 좌표축에 대한 모드가 동일하게 나타나므로 2차와 4차는 각각 1차와 3차 모드와 동일하다. 양단에서의 지지 조건이 동일하기 때문에 모드는 길이 방향의 중앙을 기준으로 대칭 형상을 나타내고 있다. 그림 (a)의 1차 모드는 원주 방향을 따라 90°의 간격으로 볼록한 형상과 오목한 형상이 반복되고 있다. 이 좌굴 모드에 대한 안전율이 약 2.02이므로, 이는 압력이 현재의 2.02배인 14.14 bar에 도달하면 1차 좌굴이 발생함을 의미한다. 그림 (b)의 3차 모드는 원주 방향으로 120°의 간격으로 볼록한 형상과 오목한 형상이 반복되고 있으며, 이 좌굴 모드에 대한 안전율은 약 2.35임을 알 수 있다.

Fig. 11은 한단 자유의 지지 조건에 대한 좌굴 모드를 도시한 것이다. 이 경우에는 덕트의 양단 이음부에 슬리브나 플랜지가 용접되어 반경 방향

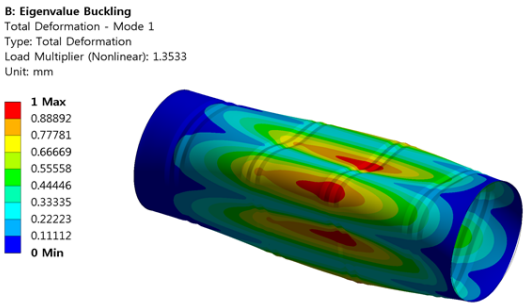



(a) 1st mode

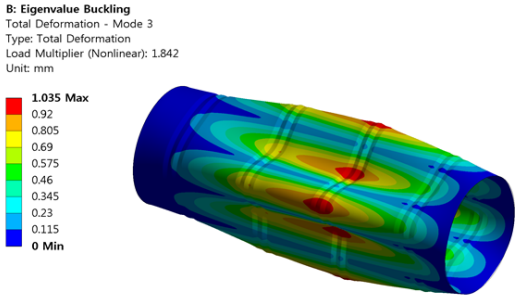



(b) 3rd mode

Fig. 10 Buckling modes of the duct with fixed ends condition




(a) 1st mode




(b) 3rd mode

Fig. 11 Buckling modes of the duct with free ends condition

의 병진 운동을 구속하나 길이 방향의 이동이 자유롭기 때문에 양단 고정의 지지 조건에 비해 좌굴이 일어날 가능성이 더 크다고 볼 수 있다. 그림 (a)의 1차 모드는 양단 고정과는 반대로 원주 방향으로 120°의 간격으로 볼록한 형상과 오목한 형상이 반복되는 것으로 나타났으며, 이 좌굴 모드에 대한 안전율은 1.35로서 예상한 바와 같이 양단 고정보다는 좌굴이 더 쉽게 일어남을 알 수 있다. 그러나 이 좌굴 하중도 9.5 MPa에 해당되므로 현재의 외압에 의해서는 발생하지 않는다고 판단할 수 있다. 그림 (b)의 3차 모드는 Fig. 10의 (a)와 유사한 형태로 원주 방향을 따라 90°의 간격으로 볼록한 형상과 오목한 형상이 반복되고 있다. 이 모드에 대한 안전율은 1.84로서 좌굴 하중은 약 13 MPa에 근접함을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서 새롭게 개발하고자 하는 STS316L 강재의 경량 수밀용 공조 덕트가 7 bar의 내, 외압을 받을 경우에 대한 구조해석을 수행하고, 그 강도를 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 양단 고정 덕트가 7 bar의 내, 외압을 받을 때 발생하는 최대 응력은 거의 동일하며, 그 크기는 약 69~70 MPa로서 항복응력 206 MPa에 대해 충분한 강도를 갖는 것으로 나타났다.

2) 한단 자유의 지지 조건을 갖는 덕트의 최대 응력은 양단 고정의 경우보다 약 28 MPa 정도 작은 값을 나타내며, 전체 영역에서 응력도 비교적 균일하게 나타났다. 또한 대부분 영역에서 주름 없는 덕트보다 작은 응력이 발생하므로 이 방식으로 설치되는 덕트의 강도 개선 효과가 양단이 고정된 설치 방식의 경우보다 더 큰 것으로 나타났다.

3) 내, 외압을 받는 덕트의 주름 깊이 변화에 따른 최대 응력의 차이는 크지 않으나, 양단이 고정된 경우에는 미소하게 감소하는 반면, 한단이 자유로운 경우는 미소하게 증가하였다. 또한 압력 방향에 무관하게 최대 응력은 모든 주름 깊이에서 양단이 고정된 경우가 한단 자유에 비해 크게 나타나며, 피치가 증가할수록 두 값의 차이는 점차 감소하였다.

4) 내, 외압을 받는 덕트의 피치 변화에 따른 최대 응력은 구간 200~270 mm에서 거의 일정하게 나타나며, 280 mm을 초과하면 양단 고정의 경우 감소하고 한단 자유의 경우 증가하였다.

5) 외압을 받고 있는 공조 덕트의 좌굴 해석 결과, 작용 하중 7 bar의 경우 좌굴은 발생하지 않으며, 1차 좌굴 모드에 대한 안전율은 양단 고정의 경우 2.02, 한단 자유의 경우 1.35 정도의 값을 나타내었다.

## 후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의하여 연구되었음.

## Author contributions

B. T. Kim; Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing-original draft. D. H. Chin; Data acquisition, Resources, Investigation, Validation.

## References

1. K. P. Park, S. H. Ham, N. K. Ku, A. R. Jo and H. W. Suh, 2022, “Development of offshore drilling platform simulation for virtual onboard experience”, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 14, 1-20. (https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.100431)
2. B. K. An and H. J. Oh, 2012, “Semi-submersible Drilling Rig and Drilling Equipment”, Journal of Ocean Engineering and Technology, 26(6), 86-92. (DOI:10.5574/ksoe.2012.26.6.086)
3. J. S. Jang, S. W. Ji and S. H. Han, 2016, “A Study on the Structural Safety Evaluation of

Light Weight Damper for Offshore Rigs", Journal of The Korean Society for Power System Engineering, 20(6), 80-86. (http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2016.20.6.080)

4. S. H. Han, J. S. Jang and S. W. Ji, 2016, "Design of a Light Weight Damper for Offshore Rigs", The Korean Society Fisheries And Science Education, 28(5), 1470-1477. (https://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.5.1470)
5. S. H. Hong and C. H. Lee, 2017, "A Study on Legislation for the Improvement of the Marine Environment and Safety Act for Deep Sea Drilling", Journal of the Korean society of marine environment & safety, 23(1), 73-82. (http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2017.23.1.073)
6. D. J. Kim, 2013, "Offshore Plant Industry", Journal of the Korean Society of Power System Engineering, 17(3), 12-16.
7. S. W. Kim, C. S. Lim, W. S. Lee and C. W. Ha, 2011, "A Study on the Improvement of National Marine Pollution Response Policy based on the Analysis of Gulf of Mexico Oil Spill Incident", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 17(3), 257-264.
8. C. S. Yi and D. H. Chin, 2017, "Numerical Analysis of the Development of an Air Conditioning Duct for Marine and Oil Drilling Ships", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 16(2), 50-55. (https://doi.org/10.14775/ksmpe.2017.16.2.050)
9. C. S. Yi, B. H. Lee and D. H. Chin, 2018, "Numerical Analysis on the Thermal and Fluid in Air Conditioning Duct for Marine Offshore", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 17(5), 23-29. (https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.5.023)
10. C. S. Yi, B. H. Lee and D. H. Chin, 2019, "A Study on the Flow and Structural Analysis in an Air Conditioning Duct for Marine Offshore", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 18(3), 88-93. (https://doi.org/10.14775/ksmpe.2019.18.3.088)
11. I. S. Son, S. Hwang and D. K. Shin, 2016, "Analysis of the Mechanical Behavior of Bellows for Electromagnetic Control Valve", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 17(3), 432-437. (http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.3.432)
12. S. K. Oh, K. K. Lee, C. H. Suh, Y. C. Jung and Y. S. Kim, 2011, "Shape Optimization of Multilayer Bellows by Using Sequential Experimental Design", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, 35(9), 1007-1013. (DOI:10.3795/KSME-A.2011.35.9.1007)