

해양시추선용 경량수밀댐퍼 설계

한승훈 · 장지성[†] · 지상원
(부경대학교)

Design of a Light Weight Watertight Damper for Offshore Rigs

Seung-Hun HAN · Ji-Seong JANG[†] · Sang-Won JI
(Pukyong National University)

Abstract

This study has designed and evaluated the safety of watertight damper for Offshore Rigs. The watertight damper is an improved design for conventional DN 350 butterfly valve. Numerical analysis has been performed to investigate the safety factor and seat leakage of the designed 3-type disk dampers. The structure analysis results present the deformations, the equivalent stresses and the safety factor. It was confirmed that the designed disk, rib-disk and streamlined disk of watertight damper are safe enough in maximum operating pressure of 0.98MPa. The results show that the disk damper had the smallest maximum deformations and stress among 3-type disk dampers and the safety factor was 4.3. Therefore it is confirmed that the disk damper has the most excellent strength. Also linear static structural analysis was individually conducted for disk and body. The results show that the maximum disk deformation was larger than the body deformation, Therefore the disk damper is causes no seat leakage.

Key words : Offshore rigs, Watertight damper, Structural analysis, Safety factor, Seat leakage

I. 서론

해양플랜트는 해양에 부존하는 원유나 천연가스의 공급에 참여하는 구성 설비 중 해양에 설치되는 설비들을 일컫는다.

해양플랜트는 여러 방식으로 구분할 수 있지만 일반적으로 용도에 따라 시추용, 생산용, 형태에 따라 고정식과 부유식으로 구분할 수 있다. 최근 해양유전 개발이 연안에서 심해로 확대됨에 따라 심해 해양플랜트의 수요가 증가하고 있는 추세이며, 심해와 극지의 극한 환경에서 작업이 가능한 시추선이 등장하게 되었다. 이러한 시추선은 수

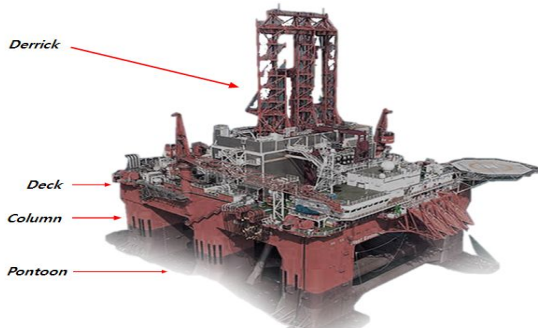
심 12,000ft에서 작업이 가능하며 시추 깊이는 40,000ft에 이른다(An & Oh, 2012; Kim, 2013; www.shipbuilding.or.kr).

[Fig. 1]은 본 연구에서 대상으로 하는 반잠수식(Semi-submersible) 시추선의 개략도이다. 반잠수식 시추선의 주요 구성은 다음과 같다. 가장 아래 부분에 설치된 폰툰(Pontoon)은 반잠수식 시추선의 “발” 역할을 하는 구조물로 바다에 떠있도록 부력을 만들어주는 역할을 한다. 폰툰과 상부 갑판(Deck)를 연결해주는 역할을 하는 컬럼(Column)은 물에 닿는 면적을 줄여 파도의 영향을 최소화기 위해 여러 개로 나누어져 있다. 상

[†] Corresponding author : 051-629-6196, jangjs@pknu.ac.kr

* 본 연구는 지역주력산업육성(R&D) 기술개발사업(과제 번호 : R0004946)의 연구비지원에 의해 수행되었음.

부갑판에는 시추에 필요한 각종 장비 및 데릭(Derrick)이 설치되고 시추작업을 위한 작업공간이 위치한다.(www.Blog.samsungshi.com).



[Fig. 1] Schematic diagram of Semi-submersible

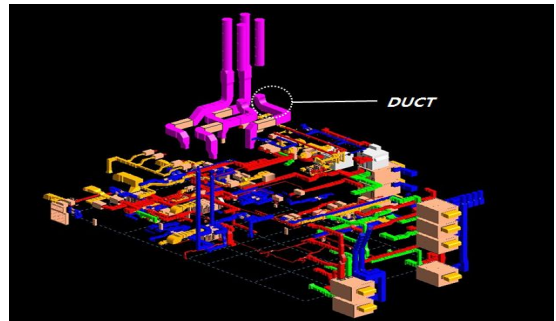
반잠수식 시추선은 하부선체가 물속에 잠겨 시추선 전체의 안전성이 높고 풍랑이 심한 해역에서도 시추작업이 가능하지만, 불가항력적인 사고로 인하여 선체 외벽이 손상을 받아 침몰하는 사고가 종종 발생하고 있다. [Fig. 2]는 브라질 Petrobta(社) P-36호(Kamruzaman et al., 2014)와 미국 BP(社) Thunder horse(Lyall et al., 2010) 시추선 침몰사고를 나타낸다.

기존 소형 선박의 침몰 방지 방법은 이중 선체를 설치하는 방법(Bong et al., 1993; Song et al., 2005; Lim, 1992), 특수 고 부력소재를 이용하는 방법(Choi, 1992; Oh et al., 2015; Kim et al., 2006)과 선체 내부에 수밀격벽(Watertight Bulkhead)을



(b) Thunder horse, BP company(USA)
[Fig. 2] Sinking accident of semi-submersible

용이하게 설치하여 구역을 나눔으로써 부력을 유지하도록 하는 방법(Paik, 2003; Shin & Nam, 2003; Mah, 1992; Lee et al., 2009)이 있는데, 예비부력을 위한 자재 및 공간이 많이 요구되어진다(Park et al., 2006).



[Fig. 3] Schematic diagram of air duct semi-submersible

[Fig. 3]은 반잠수식 시추선 공조덕트의 개략도이고, 시추선의 다리에 해당되는 컬럼과 폰톤에 해당구역의 통풍을 위해 설치된다. 본 연구에서는 이 공조덕트에 비상수밀댐퍼(Emergency Safety Shut-off Damper)를 개발, 설치하여 비상사태 시 컬럼에 부력을 확보하여 시추선이 더 이상 침몰하지 않게 함을 목적으로 해양시추선용 경량형 수밀 댐퍼를 설계하였고, 구조해석을 통한 설계 안전도와 구조안정성을 평가하였다.



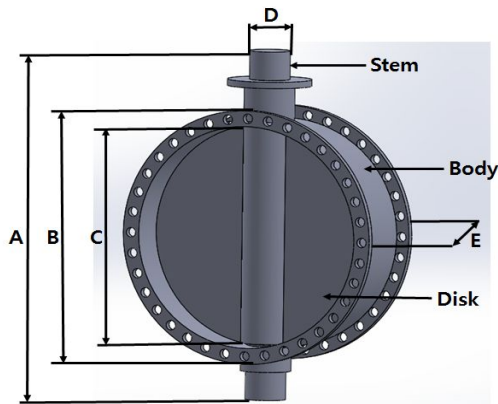
(a) P-36, Petrobta company(Brazil)

II. 수밀댐퍼 모델링

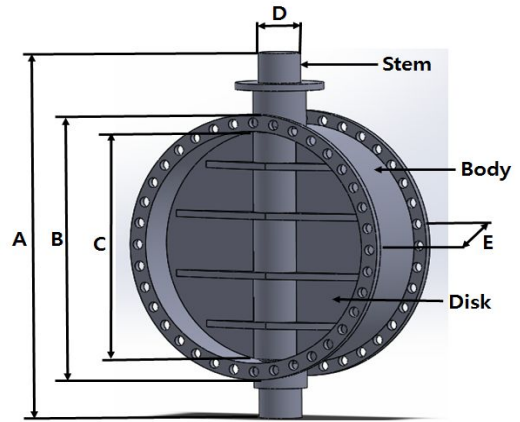
본 연구에서는 고강도·저중량 댐퍼개발을 위한 디스크 형상을 도출하기 위하여 접시형 디스크, 접시형 rib 디스크, 유선형 디스크 댐퍼에 대한 구조해석을 수행하고 그 결과를 비교하였다.

본 논문에서 설계한 수밀댐퍼는 [Fig. 4]에 나타난 바와 같이 바디(body), 디스크(disk), 스템(stem)의 구조로 이루어져 있다. [Fig. 4]에 나타난 수밀댐퍼는 기존 DN350(Nominal valve size) 규격의 버터플라이 밸브 대비 1/10 정도 중량으로 경량화하기 위해 바디 플랜지와 플랜지 사이 거리 및 바디, 디스크, 스템 두께를 줄여가면서 설계하였다.

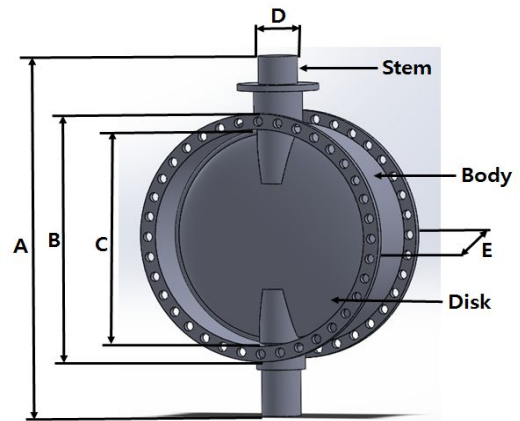
(a)는 접시형 디스크 댐퍼를 나타낸다. 스템이 한 축으로 이루어져 있고, 디스크가 스템의 양 옆에 붙어 있다. (b)는 접시형 rib 디스크 댐퍼로서 접시형 디스크에 강도를 보강하기 위해서 rib를 추가하였다. (c)는 유선형 디스크 댐퍼로 스템을 두 축으로 하여 디스크가 커짐에 따른 처지는 현상을 보강하려고 했고, 유체의 흐름을 방해하는 것을 지양하도록 유선형으로 설계하였다. 설계한 수밀댐퍼의 주요 치수를 <Table 1>에 정리하였다. 3가지 타입 수밀댐퍼의 주요 치수는 같지만 동일한 중량으로 하기 위해서 디스크 형상에 따라 두께가 약간 달라지게 모델링하였다.



(a) Disk damper



(b) Rib-disk damper



(c) Streamlined disk damper

[Fig. 4] 3-type disk shape of designed watertight dampers

<Table 1> Major dimension of watertight dampers

No	Item	Size	Unit
A	Length of stem	550	mm
B	Diameter of flange body	400	mm
C	Diameter of disk	350	mm
D	Diameter of stem	60	mm
E	Flange to flange	130	mm

Ⅲ. 수치해석

1. 수치해석 방법

본 연구에서 해석 대상의 형상모델링은 CATIA 를 이용하였으며, 유한요소 해석프로그램인 ANSYS Workbench(ANSYS User’s manual) 를 이용하여 구조해석을 수행하였다. 모델링과 해석의 편리성을 위해 3D 모델링에 있어서 구조해석에 영향을 주지 않는 부분에 대해서는 단순하게 처리하였다. 모델링된 수밀댐퍼의 격자수는 23000~33499개, 노드수는 48000~71930개로 설정하였다.

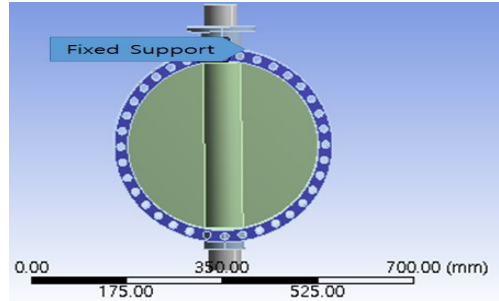
2. 구조해석 조건

<Table 2>는 경량형 수밀댐퍼의 구조해석을 위한 물성치를 나타낸다. 본 연구에서는 경량형 수밀댐퍼의 구조 안전성을 평가하기 위하여 각각의 주요 부품들인 바디, 디스크, 축으로 나누어 구조해석을 수행하였다.

<Table 2> Material properties of watertight damper

Damper Type	Watertight damper	
	Disk, Stem, Body	Unit
Material name	Steel	-
Young’s modulus	200	GPa
Poisson’s ratio	0.3	-
Yielding stress	250	MPa
Tensile stress	460	MPa
Density	7850	kg/m ³

[Fig. 5]는 구조해석을 위한 구속조건을 나타낸다. 고정면은 파이프라인이 연결되는 바디 양쪽 플랜지로 설정하였다. 부하조건은 최대사용압력 0.98 MPa로 설정하였다.



[Fig. 5] Fixed support of watertight damper

3. 안전 계수

구조설계의 관심은 항복의 발생여부이며 이는 구조물에 발생한 응력과 인장시험으로 얻어진 재료의 항복응력을 비교하여 판단할 수 있다.

등가응력은 다음 식으로 계산할 수 있다(Kim & Yoon, 2015).

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{2} \{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}} \quad (1)$$

여기서 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 는 주응력, $\bar{\sigma}$ 는 등가응력(equivalent stress)을 나타낸다. 이 등가응력이 재료의 단축인장 항복 응력에 도달하면 항복, 파손이 일어난다고 가정하며, 안전계수는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$s_f = \frac{Y}{\bar{\sigma}} \quad (2)$$

여기서 S_f 는 안전계수, Y 는 항복응력을 나타낸다.

이때 구조물의 안전계수는 다음과 같이 평가할 수 있다.

- $S_f \leq 1$; 작용하중이 항복응력보다 크거나 같은 경우로서 파손됨.
- $S_f > 1$; 작용하중이 항복응력보다 작은 경우로서 안전함.

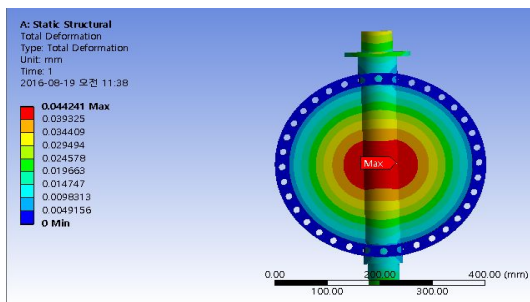
IV. 수치해석 결과 및 고찰

1. 디스크 형상에 따른 구조해석 결과

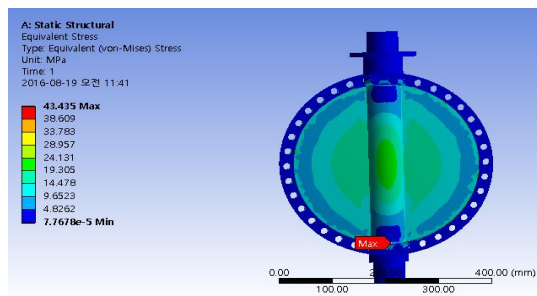
3가지 타입의 디스크 형상에 따른 최대사용압력 조건(0.98MPa) 하에서 유한요소법을 이용한 수치해석을 수행하였다. [Fig. 6]은 3가지 타입의 댐퍼에 대한 전체 모델 구조해석 결과이다. 그리고 <Table 3>은 그 결과를 나타낸다.

<Table 3> Result of structure analysis

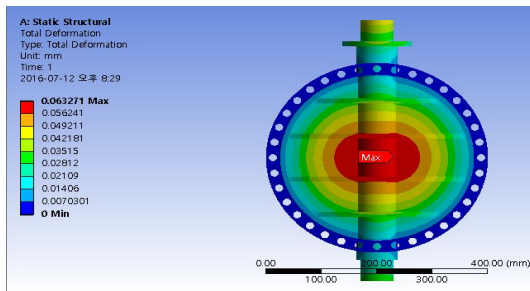
Damper Type	Weight (kg)	Max. deformation (mm)	Max. equivalent stress (MPa)	Safety factor
Disk damper	47.525	0.0442	43.435	5.7
Rib-disk damper	46.267	0.0632	60.418	4.1
Streamlined disk damper	47.875	0.0593	85.311	2.9



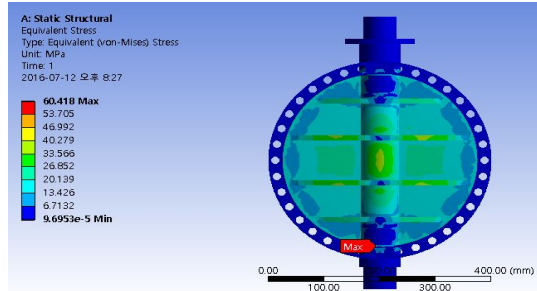
(a) Deformation(Disk damper)



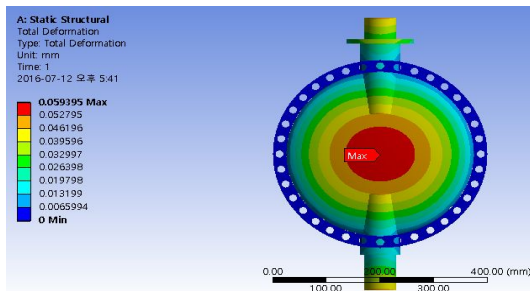
(b) Equivalent stress(Disk damper)



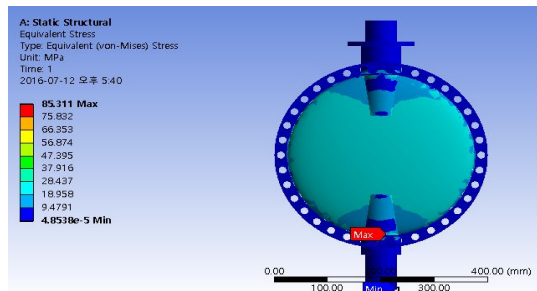
(c) Deformation(Rib-disk damper)



(d) Equivalent stress(Rib-disk damper)



(e) Deformation(Streamlined disk damper)



(f) Equivalent stress(Streamlined disk damper)

[Fig. 6] Distribution of deformation & equivalent stress of watertight dampers

[Fig. 6]의 (a)는 접시형 디스크의 변위 분포이고, 최대변위는 디스크 가운데 부분에서 좌·우 대칭으로 나타났다. (b)는 응력분포를 나타내며 최대응력이 바디와 디스크가 접촉하는 부분에서 발생하였다. 최대변위는 0.044mm, 최대응력은 43.435MPa이었고, 안전계수는 5.7이었다.

[Fig. 6]의 (c)는 접시형 rib 디스크 댐퍼의 변위 분포이다. 접시형 디스크 댐퍼의 경우와 같이 최대변위는 디스크 가운데 부분에서 나타났다. (d)는 응력분포이고 바디와 디스크가 접촉하는 부분에서 최대응력이 발생하였다. 최대변위는 0.0632mm, 최대응력은 60.418MPa이었고, 안전계수는 4.1이었다. 높은 응력에 견딜수 있도록 하기 위하여 접시형 디스크에 rib을 달아 설계하였지만 rib의 설치 위치가 결과에서 알 수 있는 바와 같이 최대응력이 발생하는 위치와는 무관하여 강도 향상에는 rib 설치가 도움이 되지 못하는 것으로 판단된다.

[Fig. 6]의 (e)는 유선형 디스크 댐퍼의 변위분포이며 (f)는 응력분포를 나타낸다. 접시형 디스크, 접시형 rib 디스크의 경우와 마찬가지로 최대 변위는 디스크 가운데 부분에서 나타났고, 최대 응력은 바디와 디스크가 접촉하는 부분에서 발생하였다. 최대변위는 0.0593mm, 최대응력은 85.311MPa이었고, 안전계수는 2.9이었다. 디스크를 유선형으로 하여 디스크중량을 줄이려고 하였지만 바디와 디스크가 접촉하는 부분에서 최대응력이 높게 나타나 안전계수가 낮아짐을 알 수 있었다.

3가지 디스크 타입 댐퍼에 따른 정압상태에서의 구조해석결과 접시형 디스크 타입 댐퍼가 중량이 동일한 경우 최대변위와 최대응력이 가장 작게 발생하고, 안전계수가 5.7으로 강도가 가장 우수한 것으로 판단된다.

2. 댐퍼 바디와 디스크 사이의 누설 평가

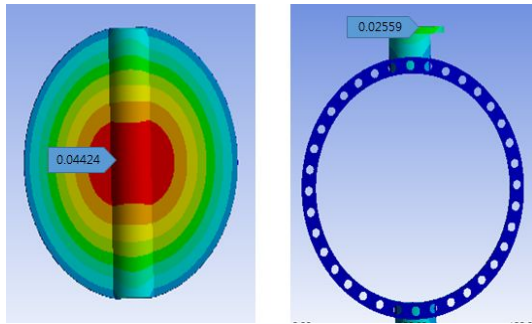
댐퍼의 누설을 판단하는 것은 수밀댐퍼 성능에

대한 중요한 지표이다. 그러나 실질적인 누설시험을 통해 수밀댐퍼의 누설여부를 판단하는 것은 많은 비용과 시간이 요구된다.

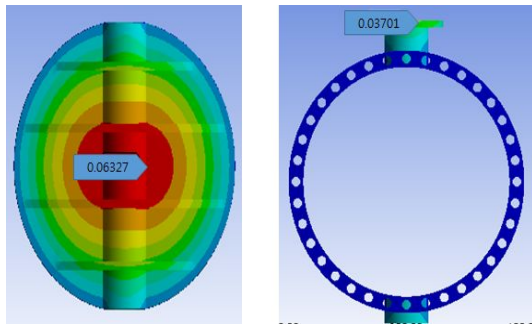
따라서 누설 시험에 따른 비용과 시간을 절감하기 위해 구조해석을 통해 댐퍼의 누설여부를 대략적으로 평가할 필요가 있다.

구조해석으로 댐퍼의 누설을 판단하는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째는 유한요소법의 접촉해석이고, 다른 방법은 선형 정적구조해석을 이용하는 것이다. 접촉해석은 댐퍼 바디와 디스크, 시트를 모두 고려하여 누설여부를 판단하는 것이다. 그러나 이 방법은 수치해석 특성상 비선형적이라서 정확도와 수렴이 나쁜 단점이 있다. 이에 반하여 선형 정적구조해석은 댐퍼 바디와 디스크를 각각 구조해석하여 그 결과를 조합하여 댐퍼의 누설을 판단하는 것이다(Shin et al., 2011). 이 방법은 접촉해석에 비해 간단하나 바디와 디스크를 각각 수치해석을 해야 하는 단점이 존재한다.

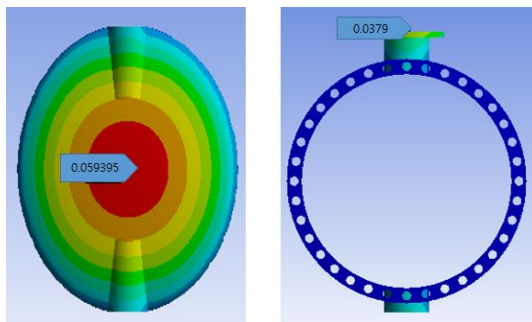
본 연구에서는 선형 정적 구조해석법을 통해 수밀댐퍼의 누설여부를 예측하였다. [Fig. 7]은 최대사용압력 0.98 MPa로 설정하여, 3가지 타입의 수밀댐퍼에 대한 누설여부를 대략적으로 판단한 것이다. (a)는 접시형 디스크 댐퍼의 디스크와 바디의 변위분포를 나타낸다. 디스크 최대변위는 0.04424mm, 바디는 0.02559mm이었다. (b)는 접시형 rib 디스크 댐퍼의 디스크와 바디의 변위를 나타낸다. 디스크 최대변위는 0.06327mm, 바디는 0.03701mm이었다. (c)는 유선형 디스크 댐퍼의 디스크와 바디의 변위분포를 나타낸다. 디스크 최대변위는 0.059395mm, 바디는 0.0379mm이었다. 본 연구에서 설계한 3가지 디스크타입의 댐퍼 모두 디스크의 최대 변형량이 댐퍼 바디의 변형량보다 크므로 누설이 발생하지 않는다고 판단할 수 있다.



(a) Disk damper



(b) Rib-disk damper



(c) Streamlined disk damper

[Fig. 7] Leakage judgements of watertight damper

V. 결론

본 연구에서는 중량이 동일한 3가지 디스크 타입의 수밀댐퍼에 대하여 최대사용압력인 0.98MPa를 적용시켜 구조해석을 수행하였다. 각각의 해석결과로부터 최대변위, 최대응력, 안전계수를 도출하였고, 이를 통해 경량형 수밀댐퍼의 안전성

및 누설여부를 판단하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 기존 버티플라이 밸브 대비 1/10 정도 중량으로 경량화하기 위해 바디 플랜지와 플랜지 사이 거리 및 바디, 디스크, 스템의 두께를 줄여가면서 설계하였고, 최대사용압력 조건에서 본 논문에서 설계한 접시형 디스크 댐퍼, 접시형 rib 디스크 댐퍼, 유선형 디스크 댐퍼가 충분히 안전하게 설계되었음을 확인하였다.
2. 선형 구조해석을 통해 댐퍼 디스크의 최대 변형량이 댐퍼 바디의 변형량보다 크므로 누설이 일어나지 않음을 확인하였다.
3. 접시형 디스크 댐퍼의 최대응력과 최대변위가 가장 적게 발생하고 안전율이 5.7으로 강도가 가장 우수한 것으로 판단된다.
4. 본 논문에서 설계한 경량형 수밀 댐퍼의 적용을 통해 더욱 더 경량화된 해양시추선용 수밀공조덕트의 개발이 가능할 것이다.

References

- An, Byoung-ky · Oh, Hyun-Jung(2012). Semi-submersible Drilling Rig and Drilling Equipment, Journal of Ocean Engineering and Technology, 26(6) 86~87.
- ANSYS User's Manual version 15.0 ANSYS Inc., USA.
- Bong, Hyon-Soo · Kim, Man-Soo · Lee, Jong-Koo (1993). Hull Structural Design for 300K Double Hull VLCC, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 30(2) 123~131.
- Choi, Hark-Sun(1992). A Study on Development of Syntactic Foam, The Korean Society of Ocean Engineers, 6(1) 3~10.
- Ghani, O. A. A · Kamruzaman, M. Z · Sulaima, M. F · Othman M. N.(2014). An Engineering Ethics Case Study : Petrobras P-36 Accident, The International Journal of Engineering And Science, 3(6) 46~50.
- <http://blog.samsungshi.com/149>

- <http://www.shipbuilding.or.kr/Enterprise/STX-Offshore/STX-Offshore.html>
- Kim, Chul-Kyu · Yoon Joon-Yong(2015). A Study on Structural Analysis of High-Pressure Pipeline Retainer-Type Ball Valve by Pressure Testing of the Industrial Standard, *Journal of Fluid Machinery*, 18(5) 13~18.
- Kim, Jin · Kim, Soo-Young · Kim, Duk-Eun · Jeong, Seong-Jae(2006). A Study on Performance Analysis of a Fish Cage using Air Chamber Structure, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(1) 119~127.
- Kim, Young-Ju(2013). Technology Trend of Offshore Plants, *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineering*, 53(10), 33~37.
- Lee, Soon-Sup · Lee, Dong-Kon · Kim, Ki-Sup (2009). Development of Design Technology for Safety Enhancement of Damaged Ship, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(1) 69~77.
- Lim, Jong-Sik(1992). Double Hull Rule and Expectation of IMO, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 29(3) 12~27.
- Lyall, S. R.(2010). In BP'S Record of Boldness and Costly Blunders, *The New York Times*.
- Mah, Jin-Sup(1992). Study on the Theoretical Background of the Rules for the Bulkhead Plates, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 29(3) 157~165.
- Oh, Jae-Won · Min, Cheon-Hong · Lee, Chang-Ho · Hong Sup · Bae, Dae-sung · Lim, Jun-Hyun · Kim, Hyung-Woo(2015). Arrangement Plan of Buoyancy Modules for the Stable Operation of the Flexible Riser in a Deep-Seabed Mining System, *The Korea Institute of Ocean Science & Technology, Ocean and Polar Research*, 37(2) 119~125.
- Paik, Jeom-kee · Lee, Jae-Myung · Park, Yonng-Il · Hwang, Joon-Sung · Kim, Chang Wook(2003). Time-variant ultimate longitudinal strength of corroded bulk carriers, *Journal of Marine Structures Engineering*, 16(8) 567~600.
- Park, Jong-Beom · Lee, Dong-Hun · Kim, Deok-Eun · Kim, Soo-Young(2006). The Study on the Development of Boats Applied to Skill to Prevent Sinking, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(1) 128~133.
- Shin, Myung-Seob · Joon-Yong · Park, In-Won · Lee, Seong-Hwan · Park, Han-Yung · Jung, Seung-Hwa (2011). A Study on Structural Analysis of Butterfly Valve Components by Pressure Testing of the Industrial Standard, *Journal of Society for Fluid Machinery*, 14(3) 05~09.
- Shin, Sang-Hun · Nam, Sung-kil(2003). Minimum Weight Design for Watertight and Deep Tank Corrugated Bulkhead, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(6) 12~19.
- Song, Ha-Cheol · Yeom, Jae-Sun · Kim, Byeong-il (2005). Structural Design and Cost Evaluation of Double Hull Bulk Carrier, *The Korean Society for Power System Engineering*, 9(2) 106~111.

-
- Received : 11 August, 2016
 - Revised : 28 September, 2016
 - Accepted : 04 October, 2016