

# 원통형 부유체의 heave운동 저감을 위한 부가물 형상에 관한 수치적 연구

임근남\* · 김상현\*\*† · 김동영\*\*\*

\*, \*\*\* 인하대학교 대학원 조선해양공학과, \*\* 인하대학교 공과대학 조선해양공학과

## A Numerical Study on the Appendage Shape for a Heave Motion Reduction of Floating Cylindrical Structure

Geun-Nam Lim\* · Sang-Hyun Kim\*\*† · Dong-Young Kim\*\*\*

\*, \*\*\* Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Graduate School, INHA University, Incheon 22212, Korea

\*\* Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, School of Mechanical Engineering, INHA University, Incheon 22212, Korea

**요 약 :** 본 연구에서는 다양한 감쇠판을 원통형 부유체에 부착하고 수치 시뮬레이션을 통해 원통형 부유체의 heave RAO 및 고유주기의 변화를 고찰하였다. 먼저 감쇠판을 부착하지 않은 원통형 부유체의 heave RAO 및 고유주기를 파악하였고, 원통형 부유체에 부착한 감쇠판의 크기와 형상을 바꿔가며 각 경우에 대한 heave RAO 및 고유주기를 평가하였다. 수치 시뮬레이션 결과, 감쇠판의 모든 면적에 대해서 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 고유주기는 증가하였고, 감쇠판의 크기가 1.30D부터 입사파의 피크주기에서 heave RAO는 감소하였다. 감쇠판의 모든 면적에 대해서 원형 감쇠판이 Y자형 감쇠판보다 고유주기가 길게 나타나며, 고유주기의 차이는 감쇠판의 면적이 커질수록 그 차이가 커졌다. 운동응답 스펙트럼 계산 결과, 원형 감쇠판과 Y자형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 heave 운동이 입사파의 피크주기에서 현저하게 감소하였다. 또한 원형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 고유주기가 Y형 감쇠판을 부착한 경우보다 입사파의 피크 주기에서 더 멀리 이동하였다.

**핵심용어 :** 원통형 부유체, 감쇠판, 고유주기, heave운동응답, 운동응답 스펙트럼

**Abstract :** In this paper, attaching various damping plates to the cylindrical structure and performing numerical simulations try to study heave RAO and natural period for cylinder. Most of all, we identified heave RAO of the cylinder by simulations of the motion and the wave. And then, we performed numerical simulations by changing the size and shape of heave damping plate attached to the cylinder and reviewed the heave RAO and natural period for each case. The conclusions of this research are as follows. Firstly, the natural period of cylindrical structure is increased by attached to the cylinder with heave damping plate and the heave RAO of cylindrical structure is reduced in the peak period for incident wave by attached to the cylinder with from the size of 1.30D for heave damping plate. Secondly, circular plate has long natural period than Y-type plate in all of these sections. Finally, the motion response spectrum considering the marine environment of Piranema field was identified as the heave motion of cylindrical structure is remarkably reduced with both circular plate and Y-type plate in the peak period for incident wave.

**Key Words :** Cylindrical structure, Heave damping plate, Natural period, Heave motion RAO, Motion response spectrum

\* First Author : warmwood@naver.com

† Corresponding Author : kimsh@inha.ac.kr, 032-860-7344

## 1. 서론

원통형 FPSO는 기존 선박형 FPSO와 달리 heave motion을 최소화하기 위하여 작은 수선면적을 갖는 이상적인 형상을 구현하였으나, towing 비용이 증가하고 큰 heave motion을 가지며 큰 저장용량을 가지지 못하는 단점을 가지고 있다.

과도한 heave motion을 방지하기 위하여 계류 시스템을 설치할 경우 설계치 이상의 계류시스템이 요구되거나 원통형 부유체의 가동이 불가능한 상황에 이르게 된다. 또한 원통형 FPSO는 heave motion이 커지면 topside 구조물의 보강이 많이 필요하게 되고, topside 구조물에 장착되는 장비사양이 높아져 원가가 상승하고 건조가격이 높아지는 문제로 이어진다. 이에 따라 원통형 FPSO의 heave motion을 자체적으로 저감시키는 연구가 필요한 상황이다.

본 연구에서는 heave motion을 감소하기 위한 기술 중에서 hull form이나 배수량에 영향을 적게 미치는 감쇠판을 부착하여, 감쇠판의 형상 및 크기에 따른 원통형 부유체의 heave RAO 및 고유주기를 수치 시뮬레이션을 통하여 고찰하였다.

해양구조물에 감쇠판을 부착하여 heave motion을 줄이기 위한 연구는 많이 수행되어져 왔으며, 주로 TLP와 SPAR platform 형태의 원통형 부유체를 대상으로 많이 이루어졌다. Tao and Cai(2003)은 SPAR 형태의 원통형 부유체에 원형 감쇠판을 부착하여 감쇠판의 직경과 두께의 비에 따라 세 종류의 vortex shedding이 발생함을 확인하였고, Thiangan et al.(1998)은 TLP column 형태의 원통형 부유체에 원형 감쇠판을 부착하여 조류의 영향에 따른 heave damping을 연구하였고, Cho et al.(2012), Koh et al.(2013)는 불투과성/투과성 원형 감쇠판이 부착된 원기둥의 모형시험을 실시하여 이전 수치 해석한 논문 결과와 비교하였다. 또한 Shen et al.(2012)는 SPAR type을 대상으로 수치시뮬레이션을 수행하여 tapered 감쇠판이 chamfered 감쇠판보다 감쇠 성능이 우수함을 확인하였고, Liu et al.(2010)는 SPAR platform을 대상으로 heave plate의 개수와 두께, 간격에 따라 heave/pitch의 운동응답, 고유주기의 영향을 수치 시뮬레이션을 수행한 후 고찰하였으며, Vijayalakshmi and Panneerselvam(2012)는 9개의 면을 가진 비선형 FPSO를 대상으로 skirt plate와 bilge keel을 부착 후 실험과 수치 시뮬레이션으로 고찰하였다.

감쇠판이 부착된 원통형 부유체의 운동에 관한 선행 연구를 고찰한 결과, 원통형 부유체와 원형 감쇠판의 운동특성에 관한 연구는 다수 수행되어 왔으나 원형 감쇠판 이외의 형상이 운동저감 및 고유주기에 미치는 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 원통형 부유체의 heave motion 저감을 위해 원형 감쇠판 이외의 형상이 heave motion 저감 및 고유주기에 미치는 영향을 체계적으로 파악하고자 하는 것은 기초적이지만 필수적인 연구라 사료된다.

## 2. 원통형 부유체

### 2.1 SEVAN Piranema FPSO

감쇠판의 크기와 형상에 따른 원통형 부유체의 운동응답을 평가하기 위하여, 연구대상으로 지정한 원통형 부유체 Fig. 1과 같이 브라질 Piranema field에서 운용되고 있는 SEVAN Piranema FPSO이며, 주요 제원은 Table 1과 같다.

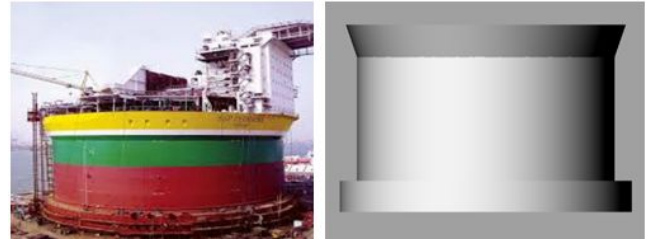


Fig. 1. SEVAN Piranema FPSO.

Table 1. Main principle of SEVAN Piranema FPSO

Item	Principal dimensions
Max diameter	65.15 m
Main hull diameter	60.00 m
Depth molded (loaded draft)	27.00 m (18.00 m)
Displacement at 18.0m draft	54,276 MTons
VCG at 18.0m draft	14.60 m

이 FPSO는 원기둥 형태이며 2007년 브라질의 Sergipe 주 해안의 Piranema field에 설치되었다. SEVAN Piranema FPSO는 12초 부근의 고유주기를 가지며(Saad et al., 2009), Piranema Field의 입사파의 피크 주기는 13초 부근으로, SEVAN FPSO의 고유주기에 입사파의 피크 주기가 근접하여 과도한 heave motion이 발생할 가능성이 높다.

본 논문에서는 감쇠판의 크기 및 형상 변화에 따른 원통형 부유체의 RAO 및 고유주기를 살펴보기 위하여 Fig. 2와 같이 SEVAN FPSO를 원통형 부유체로 가정하였다. 이 때 하부형상이 변경되지만, 동일한 배수량을 가지도록 흘수를 18.7m로 변경하였다. 원통형 부유체에 대한 제원은 Table 2에 나타내었다.

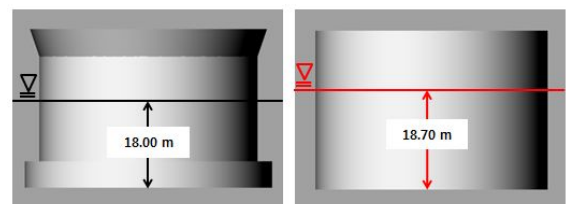


Fig. 2. Cylindrical structure.

Table 2. Principle particulars of cylindrical structure

Item	Principal dimensions
Max diameter	60.00 m
Main hull diameter	60.00 m
Depth molded (loaded draft)	27.00 m
Draft (loaded)	18.70 m
Displacement at 18.0m draft	54,276 MTons
VCG at 18.0m draft	15.30 m

## 2.2 감쇠판의 크기 및 형상

감쇠판의 크기 및 두께는 감쇠판의 부착으로 원통형 부유체의 무게중심 및 흘수가 크게 변하는 것을 방지하기 위하여 총 배수량의 변화가 1% 내외에서 움직이도록 결정하였다. 감쇠판의 두께는 0.1m로 고정하고, 감쇠판의 크기를 부유체 반지름의 0.1배씩 증가시켰다.

형상에 관계없이 감쇠판의 크기가 원통형 부유체의 직경보다 어느 방향에서나 큰 크기를 가질 수 있도록 감쇠판의 최소 크기는 1.15배로, 최대 크기는 원통형 부유체 직경의 1.50배로 한정하였다. 이 때 경향성을 파악하기 위하여 정팔각형 감쇠판, 십자형 감쇠판, Y형 감쇠판은 1.20D, 1.30D, 1.40D, 1.50D의 크기에서만 수치 시뮬레이션을 수행하였다.

감쇠판의 형상은 기존 연구에서 많이 연구되었던 원형 감쇠판을 선정하고, 추가로 복해의 환경에서 운용되는 원통형 부유체를 고려하여, 빙상 등의 물체를 예리한 모서리로 자를 수 있도록(Vijayalakshmi and Panneerselvam, 2012) 정사각형, 정팔각형, 십자형, Y자형 감쇠판의 형상도 고려하였다.

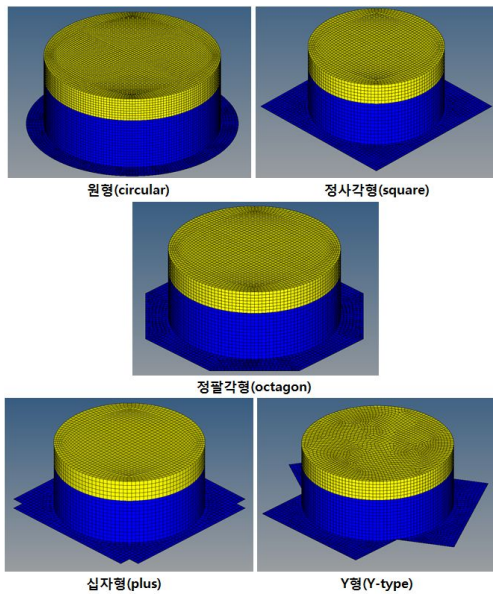


Fig. 3. Shape of heave damping plate.

## 3. 파랑 중 원통형 부유체 heave 운동

### 3.1 부유체의 운동방정식

#### 3.1.1 운동방정식

부유체의 상하운동은 식(1)과 같이 2차 미분 방정식으로 표현되며, 본 연구에서는 radiation 유체력, 복원력 및 파랑강제력만을 고려한다.

$$(m + m_a(w))\ddot{z} + b(w)\dot{z} + cz = F_a \cos(\omega t + \epsilon) \quad (1)$$

- $m$  : mass of cylinder (kg)
- $m_a$  : added mass of cylinder (kg)
- $z$  : vertical displacement (m)
- $b$  : radiation damping (Ns/m)
- $c = \rho g A_w$  : Restoring force (N/m)
- $A_w = \frac{\pi D^2}{4}$  : Waterplane area (m<sup>2</sup>)
- $D$  : Diameter of cylinder (m)
- $F_a$  : Amplitude of exciting force (N)
- $\omega$  : circular frequency (rad/s)
- $\epsilon$  : phase difference

#### 3.1.2 RAO(Response Amplitude Operator)

선체 또는 부유식 구조물의 설계 분야에서, 운동 RAO란 통계역학으로 해상에서 운용되는 선박의 운동 특성을 나타낸다. 운동 RAO는 부유체의 움직임이 선형적이라고 가정할 수 있을 때만 정의할 수 있고, 선형단위입사파에 대한 운동 응답으로 식(2)와 같이 표현된다.

$$RAO(\omega) = \frac{z}{\zeta_a} = \frac{F_a}{c - (m + m_a(\omega))\omega^2 + ib(\omega)\omega} \quad (2)$$

- $z$  : vertical displacement (m)
- $\zeta_a$  : wave height (m)
- $F_a$  : Amplitude of exciting force (N)
- $m$  : mass of cylinder (kg)
- $m_a$  : added mass of cylinder (kg)
- $b$  : radiation damping (Ns/m)
- $c = \rho g A_w$  : Restoring force (N/m)

#### 3.1.3 고유주기

원통형 부유체에 대하여 heave motion의 고유주기는 식(3)과 같이 얻을 수 있다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + m_a}{\rho g A_w}} \quad (3)$$

- $m$  : mass of cylinder (kg)
- $m_a$  : added mass of cylinder (kg)
- $c = \rho g A_w$  : restoring force (N/m)
- $A_w = \frac{\pi D^2}{4}$  : waterplane area (m<sup>2</sup>)

$$S_\gamma(\omega) = S_\zeta(\omega) \cdot RAO(\omega)^2 \quad (5)$$

- $S_\gamma(\omega)$  : Response spectrum
- $S_\zeta(\omega)$  : Wave spectrum
- $RAO(\omega)$  : Motion RAO

## 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

### 4.1 시뮬레이션 개요

정확한 요소의 생성을 위하여 Hyper-mesh를 이용하여 물체의 요소를 생성하였고, 이 때 약 7~8천개 내외의 요소를 사용하였다. 운동 해석은 경계요소법 기반의 상용 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 점성 감쇠는 고려하지 않았으며, SEVAN FPSO의 주요 주파수 범위인 0.35 rad/s~0.72 rad/s의 범위를 주파수 간격 0.015 rad/s로 하여 해석을 수행하였다. 파의 방향은 선수파(Head sea,  $\mu = 180^\circ$ )만을 고려하였으며, 수심은 Piranema field의 수심인 1000 m로 고려하였다.

식(3)에서 알 수 있듯이, 부유체의 부가질량이 증가하면 부유체의 고유주기가 증가하는 것을 의미한다. 그러므로 감쇠판의 직경을 증가시킴으로써, 부유체의 고유주기를 증가시켜 파의 피크 주기에 근접하는 것을 방지할 수 있다.

### 3.2 파 스펙트럼

불규칙한 파를 그 성분인 개개의 주파수로 분석하고 각각의 주파수의 파에 대한 예를 들어 에너지 밀도의 분포를 나타낸 것을 파의 에너지 스펙트럼이라 한다.

Pierson-Moskowitz(PM) 스펙트럼과 JONSWAP 스펙트럼은 해상 상태를 다루는데 자주 적용된다(DNV-RP-C205, 2010). PM 스펙트럼은 완전 발달된 바다를 위해 제안되었으며 JONSWAP 스펙트럼은 제한된 바다 상태를 포함하여 PM을 확장하였다.

### 4.2 원통형 부유체의 RAO 해석

감쇠판의 형상에 따른 RAO 및 고유주기를 파악하기에 앞서, 원통형 부유체의 RAO 및 고유주기를 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 점성을 고려하지 않고 원통형 부유체의 시뮬레이션을 수행한 후, Fig. 4와 같이 논문 결과(Saad et al., 2009)와 비교하였을 때 실험 결과보다 높은 RAO값이 나왔으며, 원통형 부유체의 고유주기는 11.86초가 되는 것을 확인하였다. 또한 시뮬레이션 결과의 타당성을 검증하기 위하여 고유함수 전개법을 이용하여 동유체력을 해석한 Cho(2011)의 결과와 비교하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 무차원화된 부가질량과 감쇠계수를 비교한 결과이며, 실선은 현재의 시뮬레이션 해석 결과이고, 네모는 Cho(2011)의 수치계산결과이다. 무차원화된 부가질량과 감쇠계수 모두 서로 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다.

#### 3.2.1 JONSWAP 스펙트럼

본 논문에서는 JONSWAP 스펙트럼을 Piranema field의 1년 주기파와 100년 주기파의 유의파고 및 피크주기를 이용하여 구하였으며, JONSWAP 스펙트럼은 아래의 식(4)와 같이 주어진다.

$$S_\zeta = A_\gamma \cdot S_{PM}(\omega) \cdot \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right)} \quad (4)$$

- $S_{PM}(\omega)$  = Pierson-Moskowitz spectrum
- $\gamma$  = non-dimensional peak shape parameter
- $\sigma$  = spectral width parameter
  - $\sigma = \sigma_a$  for  $\omega \leq \omega_p$
  - $\sigma = \sigma_b$  for  $\omega \geq \omega_p$
- $A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$  is a normalizing factor

#### 3.2.2 운동응답 스펙트럼

불규칙파중에서 부유체의 운동은 규칙파의 운동특성을 해석하여 선형중첩의 원리를 적용함으로써 얻을 수 있다. 운동응답 스펙트럼은 파 스펙트럼과 부유체의 운동응답비의 곱으로 식(5)와 같다.

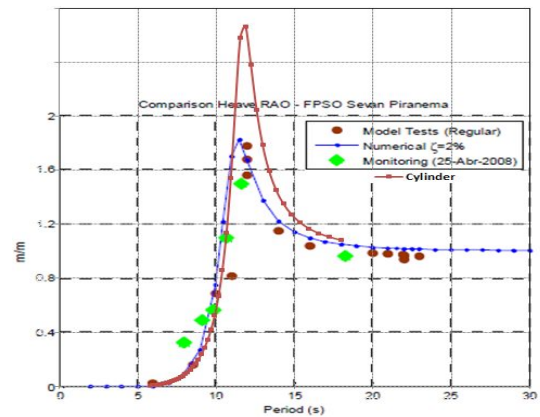


Fig. 4. Heave RAO of cylindrical structure.

원통형 부유체의 heave운동 저감을 위한 부가물 형상에 관한 수치적 연구

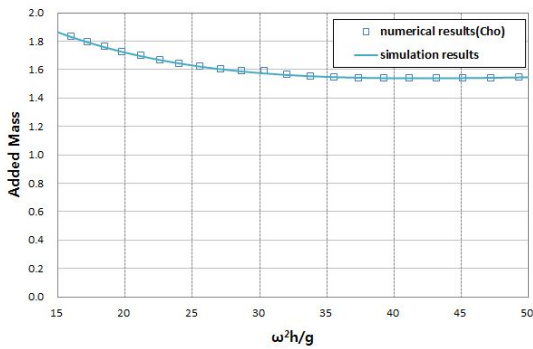


Fig. 5. Verification for added mass of cylindrical structure (h=water depth).

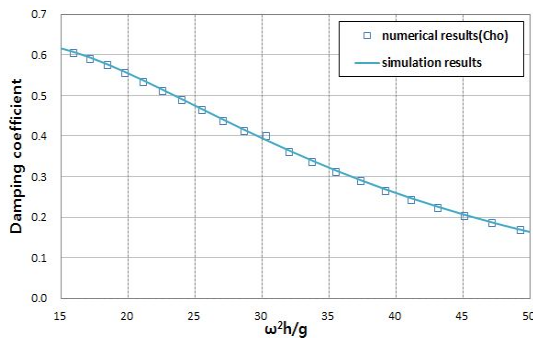


Fig. 6. Verification for radiation damping coefficient of cylindrical structure (h=water depth).

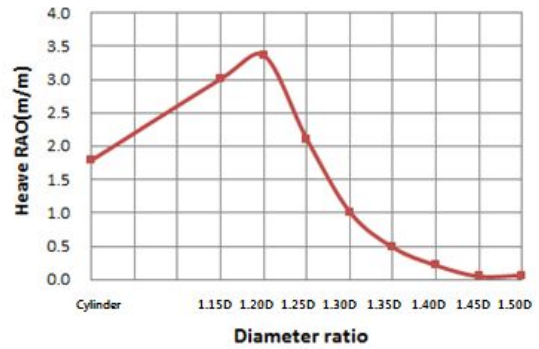


Fig. 7. Heave RAO in incident wave.

Table 3. Heave RAO comparison(T=13.0sec)

Size of heave plate	Heave RAO(m/m)	Natural period
cylindrical structure	1.792	11.681
1.15D	3.009	12.604
1.20D	3.369	13.109
1.25D	2.114	13.606
1.30D	1.018	14.220
1.35D	0.485	14.845
1.40D	0.217	15.593
1.45D	0.050	16.324
1.50D	0.068	17.180

4.3 감쇠판의 크기와 형상에 따른 RAO 해석

4.3.1 원형 감쇠판

감쇠판의 크기를 증가시킨 결과 원통형 부유체의 고유주기는 증가하였다. 감쇠판의 크기가 증가함에 따라 입사파의 피크주기 13초에서는 RAO값이 증가하는 경향을 보이면서 감쇠판의 크기가 1.20D에서 RAO값이 최대가 되고, 감쇠판의 크기가 1.30D부터 원통형 부유체의 heave RAO보다 작아지는 것을 확인하였다.

원형 감쇠판의 크기가 증가함에 따라 Fig. 7과 같이 RAO 값이 증가하는 경향을 보이면서 감쇠판의 크기가 1.20D에서 RAO값이 최대가 된 후, 다시 큰 폭으로 감소하는 것을 확인하였다. 감쇠판의 크기가 증가함에 따라 고유주기가 증가하고 감쇠판의 크기가 1.20D일 때 입사파의 피크주기(13초)에 가장 근접하였을 때 RAO는 증가하였다. Table 3에 입사파의 피크주기에서의 heave RAO와 각 감쇠판을 부착하였을 때의 고유주기를 나타내었다.

4.3.2 원형감쇠판 이외의 감쇠판

입사파의 피크주기에서는 감쇠판의 형상에 관계없이 Fig. 8과 같이 감쇠판의 크기가 1.20D에서 RAO가 최대가 되었다. 감쇠판의 크기가 증가함에 따라 RAO는 큰 폭으로 감소하는 것을 확인하였다. Table 4에 감쇠판의 형상에 따라 입사파의 피크주기에서의 heave RAO를 비교하였다.

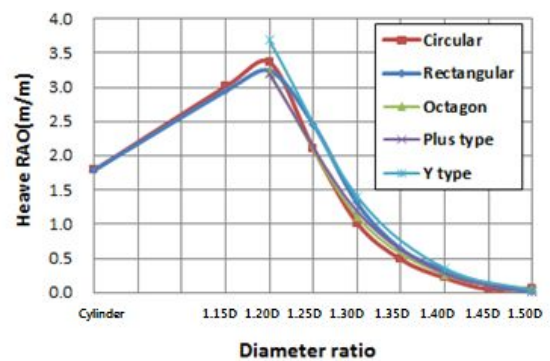


Fig. 8. Heave RAO comparison in incident wave.



Table 4. Heave RAO comparison by shape of heave plate (T=13.0sec)

Heave plate	circular	square	octagon	plus	Y-type
cylindrical structure	1.792				
1.20D	3.369	3.244	3.219	3.190	3.666
1.30D	1.018	1.309	1.113	1.190	1.407
1.40D	0.217	0.330	0.265	0.283	0.356
1.50D	0.068	0.015	0.052	0.027	0.033

4.3.3 시뮬레이션 고찰

4.3.3.1 감쇠판의 크기 변화

감쇠판의 크기가 증가함에 따라 원통형 부유체의 고유주기는 Table 5와 같이 형상에 관계없이 증가하는 경향을 보였다. 입사파의 피크주기에서 감쇠판의 크기가 1.20D일 때 원통형 부유체의 고유주기가 입사파의 피크주기(13초)에 가장 근접하여 heave RAO가 최대가 되고, 다시 입사파의 피크주기에서 멀어짐에 따라 원통형 부유체의 heave RAO는 큰 폭으로 감소하는 것을 확인하였다.

Table 5. Natural period comparison by shape of heave plate (T=13.0sec)

Heave plate	circular	square	octagon	plus	Y-type
1.20D	13.109	13.069	13.076	13.218	12.883
1.30D	14.220	14.003	14.147	14.088	13.939
1.40D	15.593	15.238	15.425	15.380	15.152
1.50D	17.180	16.743	17.010	16.804	16.386

4.3.3.2 감쇠판의 형상 변화

감쇠판의 형상에 따라 Fig. 9와 같이 원통형 부유체의 고유주기는 달라진다. 감쇠판의 모든 크기에 대하여 원형 감쇠판을 부착하였을 때가 Y형 감쇠판을 부착하였을 경우보다 원통형 부유체의 고유주기를 길게 가져가며, 감쇠판의 크기가 커질수록 그 차이는 더 증가하였다. 십자형 감쇠판은 크기가 1.20D에서 원형 감쇠판을 부착한 경우보다 원통형 부유체의 고유주기를 길게 가져가지만 감쇠판의 크기가 증가함에 따라 원형 감쇠판을 부착한 경우보다 고유주기가 짧아지는 것을 확인할 수 있었다.

감쇠판의 형상과 관련하여 정팔각형 감쇠판의 고유주기는 원형감쇠판의 고유주기와 정사각형 감쇠판의 고유주기 사이에 위치하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 감쇠판의 모든

크기에 대해서 정팔각형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 RAO는 원형감쇠판을 부착한 경우와 정사각형 감쇠판을 부착한 경우의 사이에 위치하는 것을 확인하였다.

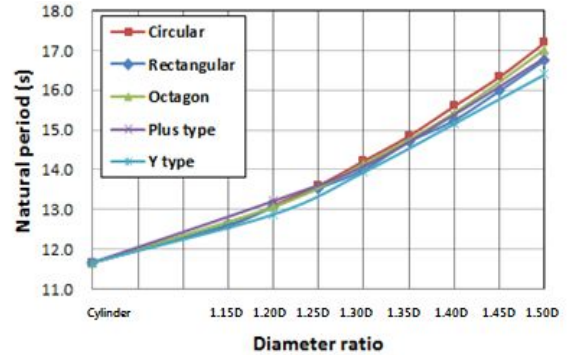


Fig. 9. Heave RAO comparison by shape of heave plate.

북해와 같이 빙상(ice ridge)이나 취빙(brash ice)이 존재하는 극단적인 환경에서는 원형감쇠판보다 쇄빙 기능이 상대적으로 우수한 정팔각형 감쇠판의 부착도 고려해 볼 수 있다.

4.4 운동응답 스펙트럼 계산

4.4.1 계산조건

원통형 부유체가 운용되는 대상해역에서 원통형 부유체의 운동을 예측하기 위하여 운동응답 스펙트럼을 계산하였다. 해석 대상은 감쇠판의 크기가 1.50D에서 고유주기가 가장 큰 차이를 보이는 원형감쇠판과 Y형 감쇠판을 대상으로 선정하였고, 주파수의 간격은 0.01(rad/s), 범위를 0.2(rad/s)부터 0.65(rad/s)까지 정하여 시뮬레이션을 수행하였다. Piranema field의 1년 주기파에 대하여 유의파고 5.1m, 피크주기 13.4초의 JONSWAP 스펙트럼을, 100년 주기파는 유의파고 8m, 피크 주기 13초의 JONSWAP 스펙트럼을 Fig. 10, 11과 같이 사용하였다.

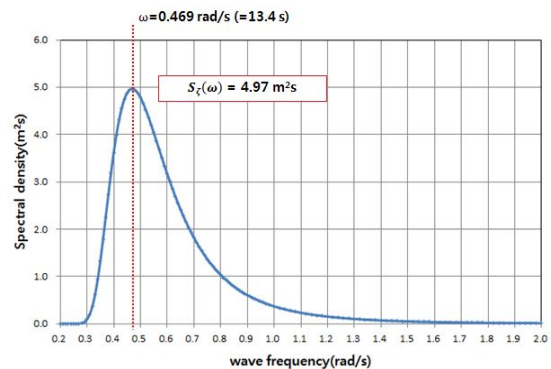


Fig. 10. JONSWAP spectrum of 1 year wave.

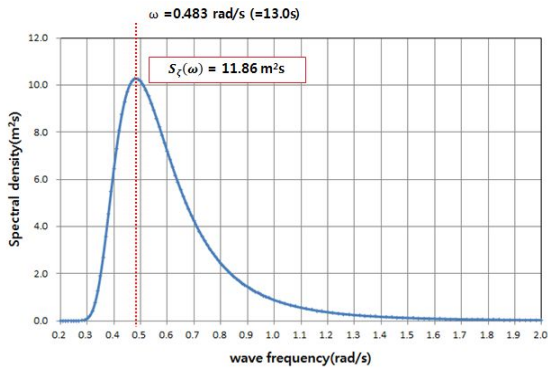


Fig. 11. JONSWAP spectrum of 100 years wave.

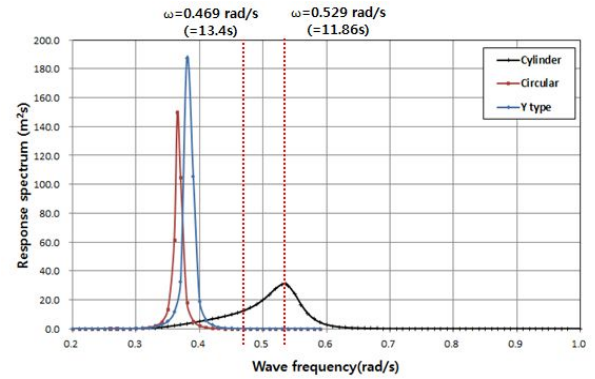


Fig. 12. Motion response spectrum for 1 year wave.

#### 4.4.2 결과 및 고찰

##### 4.4.2.1 1년 파에 대한 운동응답 스펙트럼

원통형 부유체에 원형 감쇠판과 Y자형 감쇠판을 부착함으로써 입사파의 피크주기에 근접하였던 원통형부유체의 고유주기가 11.86초에서 원형 감쇠판을 부착하면 17.21초, Y형 감쇠판을 부착하면 16.53초로 이동하는 것을 확인하였다.

Fig. 12와 같이 1년 파에 대한 운동응답 스펙트럼을 살펴보면 입사파의 피크주기에서는 감쇠판을 부착하지 않은 원통형 부유체의 운동 응답 스펙트럼이  $14.51(m^2/s)$ , 원형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 운동응답 스펙트럼이  $0.01(m^2/s)$ , Y자형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 운동응답 스펙트럼이  $0.012(m^2/s)$ 이다.

원형 감쇠판과 Y자형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 운동응답 스펙트럼은 입사파의 피크주기에서 감쇠판을 부착하지 않은 원통형 부유체보다 운동응답 스펙트럼이 현저히 감소했음을 확인하였다.

##### 4.4.2.2 100년 주기파에 대한 운동응답 스펙트럼

Fig. 13과 같이 100년 주기파에 대한 운동응답 스펙트럼을 살펴보면 입사파의 피크주기에서는 감쇠판을 부착하지 않은 원통형 부유체의 운동 응답 스펙트럼이  $25.88(m^2/s)$ , 원형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 운동응답 스펙트럼이  $0.01(m^2/s)$ , Y자형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 운동응답 스펙트럼이  $0.09(m^2/s)$ 이다.

원형 감쇠판과 Y자형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 운동응답 스펙트럼이 입사파의 피크주기에서 감쇠판을 부착하지 않은 원통형 부유체보다 운동응답 스펙트럼이 현저히 감소했음을 확인하였다.

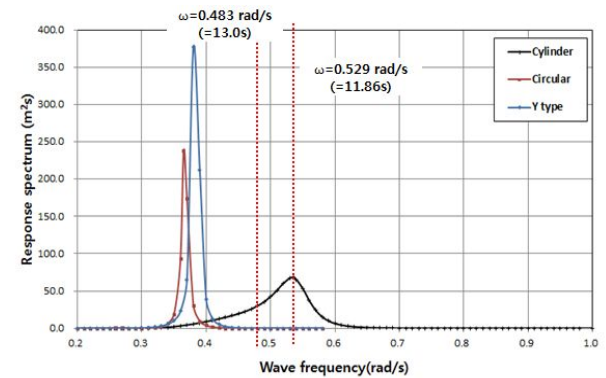


Fig. 13. Motion response spectrum for 100 years wave.

## 5. 결론

본 연구에서는 원통형 부유체의 RAO 및 고유주기를 검토하고, 원통형 부유체에 부착된 감쇠판의 크기와 형상이 원통형 부유체의 heave motion 감소 및 고유주기에 미치는 영향을 수치 시뮬레이션 및 운동응답 스펙트럼 계산을 통해 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 원통형 부유체에 부착된 감쇠판의 크기를 증가시킴으로써 형상에 관계없이 고유주기의 이동 및 입사파의 피크주기에서 heave RAO의 저감이 효과적이었다. 특히, 감쇠판의 고유주기 증가로 인하여 입사파의 피크주기에서 감쇠판의 크기가 1.30D인 경우부터 원통형 부유체의 heave RAO보다 더 작아지는 것을 확인하였다.
2. 원통형 부유체에 부착된 감쇠판의 형상을 변경시킴으로써 원통형 부유체의 고유주기의 차이가 발생하였다. 여기서, 감쇠판의 모든 면적에 대해서 원형 감쇠판을 부착한 원통형 부유체의 고유주기는 Y형 감쇠판을 부착한 경우보다 고유주기를 길게 가져갔으며, 입사파의 피크주기에서 더 멀어지

는 것을 확인하였다.

3. 감쇠판은 원통형 부유체의 고유주기를 이동시켜 heave 운동 응답 저감에 효과적임을 확인하였다. 특히, Piranema field의 운동응답 스펙트럼 결과, 입사파의 피크주기에서 감쇠판을 부착한 경우 운동응답이 감소하였다.

본 연구 논문을 기초로 한 향후 연구 과제는 다음과 같다. 첫째, 감쇠판의 크기 및 형상이 점성 감쇠에 미치는 영향을 고려한 연구를 수행할 예정이다. 둘째, 원형감쇠판 이외의 형상이 입사파의 방향에 따른 heave 운동응답 및 고유주기 검토가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (NRF- 2013R1A1A2005 770) 및 인하대학교의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

## References

- [1] Cho, I. H.(2011), Hydrodynamic Forces Characteristics of a Circular Cylinder with a Damping plate. Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 25, No. 1, pp. 1-7.
- [2] DNV-RP-C205(2010), ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ENVIRONMENTAL LOADS, RECOMMENDED PRACTICE, pp. 31
- [3] Koh, H. J., J. R. Kim and I. H. Cho(2013), Model Test for Heave Motion Reduction of a Circular Cylinder by a Damping Plate, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 27, No. 4, pp. 76-82.
- [4] Liu, J. H., X. G. Yang and H. Yu(2010), Heave and Pitch Motions of Floating Platform in South China Sea, Proceedings of the Twentieth (2010) International Offshore and Polar Engineering Conference Beijing, China, June 20-25, pp. 529-535.
- [5] Saad, A. C., L. Vilian, R. R. Loureiro, R. M.Brandao, R. Z. M. Filho, P. C. Lopes and H. Gioppo(2009), Motion Behaviour of the Mono-Column FPSO Sevan Piranema FPSO in Brazilian Waters, Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, USA, May 4-7, pp.1-9
- [6] Shen, W. J., Y. G. Tang and L. Q. Liu(2012), Research on the hydrodynamic Characteristics of Heave Plate Structure with Different Form of A Spar Motion, China Ocean Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 177-184.
- [7] Tao, L. and S. Cai(2003), Heave Motion Suppression of a Spar with a heave Plate, Ocean Engineering, Vol. 31, No. 5, pp. 669-692.
- [8] Thiagarajan, K. P. and A. W. Troesch(1998), Effects of Appendages and Small Currents on the Hydrodynamic Heave Damping of TLP Columns, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 120, No. 1, pp. 37-42.
- [9] Vijayalakshmi, R. and R. Panneerselvam(2012), Hydrodynamic response of a non-ship-shaped FPSO vessel with damping plates, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 17, No. 2, pp. 187-202.

---

Received : 2015. 05. 04.

Revised : 2015. 06. 05.

Accepted : 2015. 08. 27.