

## 다목적 소형 부유시설의 몰수부 형상변화에 따른 파랑중 수직운동 특성에 관한 연구

오유나 · 김상원 · 이경우 · 한승재\* · 김인철†  
(목포해양대학교 · \*부경대학교)

### A Study on the Characteristics of Vertical Motions due to Changes of Submerged Shape in the Multi-Purpose Small Floating Body

Yu-Na OH · Sang-Won KIM · Gyoung-Woo LEE · Seung-Jae HAN\* · In-chul KIM†  
(Mokpo National Maritimed University · \*Pukyong National University)

#### Abstract

This study gives the vertical motion analysis due to changes in Submerged shape of Multi-Purpose Small Floating Body in irregular waves using the commercial code(MAXSURF v.20) based on the Panel method. To verify the commercial code prior to the analysis, we guarantees the reliability of this paper's results using the commercial code by comparing with the results of experimental results on Catamaran. The anlysis conditions are ITTC wave spectrum, each encounter angle. Finally, we analyze the result of ship's response spectra for vertical motions.

**Key words** : Seakeeping analysis, Floating body, Motion response spectrum, Panel method, ITTC wave spectrum

#### I. 서론

국내의 연안해역에 조성되어 있는 수산양식시설은 해수유동의 한계로 해양오염 문제에 직면하고 있다. 이를 해결하기 위해 효율적이고 환경친화적인 대규모 양식시설을 위한 외해 어류 양식 시스템 개발이 진행되었다(Jeju University 2007). 이와 같이 외해 양식시설은 상대적으로 높은 파도와 바람의 영향으로 시설물 설치 및 운영에 많은 어려움이 예상된다. 이러한 해역의 부유구조물에 파랑 안정성 향상 기술과 운동 저감 기술이 적용된다면 적극적인 적용 및 운용이 예상된다. 또한 이러한 소형 이동형 부유시설물은

중소형 패트롤 선박의 긴급출동 및 이동형 계류 시설로도 사용될 수 있다고 생각된다.

본 연구에서는 이와 같은 외해 다목적 소형 부유시설물을 대상으로 파랑저감 및 안정성 확보를 위하여 몰수부 형상변화가 파랑중 수직 운동성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 수치계산에 사용된 방법은 포테셜을 기저로한 패널법을 이용하여(MAXSURF v.20) RAO를 계산하였고, 파도의 스펙트럼은 ITTC 파 스펙트럼을 이용하였다(Lee, et al. 1996). 수치계산의 검증을 위해서 쌍둥선 선형연구 결과와의 비교를 통해 신뢰성을 확보하였다.

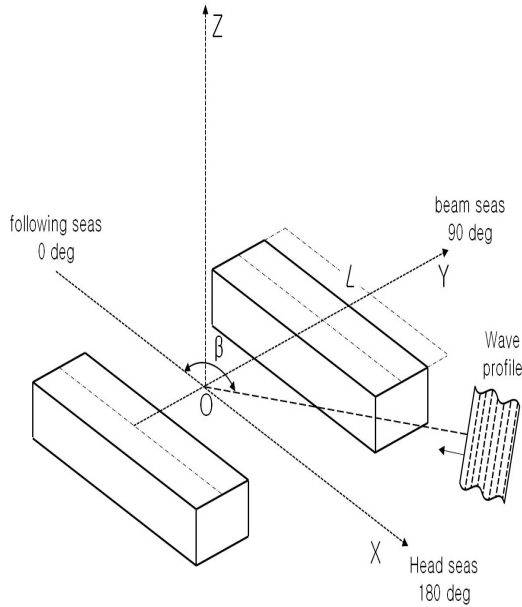
† Corresponding author : 051-629-6611, kimic@pknu.ac.kr

\* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)와 한국연구재단 지역혁신창의인력양성사업(2016H1CA1035813)에 의하여 연구되었음.

## II. 이론적 배경

### 1. 부유구조물 운동방정식

수치계산에 사용된 부유구조물의 좌표계는 [Fig. 1]과 같다. 수치계산의 경계조건은 <Table 1>과 같다(Sohn, 1998).



[Fig. 1] Coordinate system

<Table 1> Boundary condition

| Boundary condition          |       | Formulation   |
|-----------------------------|-------|---|
| Sea Bottom                  |       | $\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 : z = -h$   |
| Free Surface                |       | $g \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0$ for $z = 0$ |
| Kinematic                   |       | $\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \vec{v} \cdot \vec{n}$                                  |
| Symmetric or Anti symmetric | Sway  | $\Phi^{(2)}(-x, y) = -\Phi^{(2)}(+x, y)$  |
|                             | Heave | $\Phi^{(3)}(-x, y) = -\Phi^{(3)}(+x, y)$  |
|                             | Roll  | $\Phi^{(4)}(-x, y) = -\Phi^{(4)}(+x, y)$  |

유체특성은 이상유체, 비회전성으로 가정하고 표면장력은 고려하지 않는다. 회절파와 방사파의 속도퍼텐셜을 구하기 위한 수치해석기법으로 유체 경계면을 대상으로 경계요소를 사용한다(Oh, et al. 2013). 이를 그린(Green Function)함수를 통해 경계면에 특이점을 분포시켜 속도퍼텐셜과 법선방향 속도를 구할 수 있으며 식(1)과 같이 나타낼 수 있다(Wehausen and Laitone, 1960).

$$C(\vec{r}_0)\Phi(\vec{r}_0) + \iint_S \Phi(\vec{r}_0) \frac{\partial G(\vec{r}, \vec{r}_0)}{\partial n} dS = \iint_S \Phi_n(\vec{r}, \vec{r}_0) dS \quad (1)$$

여기서,  $C(\vec{r}_0)$ 은 표면각이며  $G(\vec{r}, \vec{r}_0)$ 은 특이함수 또는 그린함수이며  $\vec{r}_0$ 은 계산점의 좌표이며  $\vec{r}$ 은 특이점의 좌표를 의미한다.  $\Phi_n$ 은 법선방향의 속도퍼텐셜을 나타내고 있다. 운동 방정식은 식(2)와 같다.

$$\{-w^2[m_{ij} + a_{ij}(w)] - iwb_{ij}(w) + [c_{ij} + K_{ij}]\}x_j = F_j(w) \quad (2)$$

여기서,  $w$ 는 조우주파수,  $m_{ij}$ 은 질량행렬,  $a_{ij}$ 는 부가질량계수,  $b_{ij}$ 는 감쇠계수  $c_{ij}$ 는 유체정력학적 복원력계수,  $K_{ij}$ 는 선형 계류사의 강성행렬,  $F_j$ 는 파 강제력 복소 진폭함수를 나타낸다. 6자유도운동의 연성 운동방정식을 유도하여 각각의 운동응답과 운동변위를 구할 수 있다(Koh and Cho, 2010).

### 2. 부유구조물 주요제원 및 해석조건

일반적으로 사용되는 다목적 소형 부유시설은 10m×10m ~ 14m×14m의 사각형 형태를 가지며 해외 사례 및 국내 적용되고 있는 부유시설의 크기를 감안하여 부유구조물의 주요제원은 <Table 2>와 같이 정의한다.

<Table 2> Principal dimensions of the Floating body

| Principal dimension             |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| Length between perpendiculars   | 20.00 m              |
| Beam                            | 7.5m                 |
| Draft                           | 2.5 m                |
| Displacement                    | 250.0 ton            |
| Centre of gravity above base    | 2.0 m                |
| Longitudinal radius of gyration | 0.250L <sub>BP</sub> |
| Pitch radius of gyration        | 0.6L <sub>BP</sub>   |
| Roll radius of gyration         | 0.24B                |
| Submerged Type                  | Box type             |

부유시설의 몰수부 형상은 <Table 3>과 같이 기본적으로 Box, V 형상으로 나뉘며, 세부형상은 Normal, In, Out 타입으로 구분되며 총 6가지로 구분된다. 배수량의 경우 형상변화에 따른 수직운동을 비교하기 위하여 동일하게 적용하였다. 본 연구에서는 기본형상별 운동응답을 비교하였다. 또한 각 형상의 세부 타입변화에 따른 운동응답에 대하여 수치해석을 수행하였다.

<Table 3> Cases of Submerged Type and Shape

|           | Normal-type | In-type | Out-type |
|-----------|-------------|---------|----------|
| Box Shape |             |         |          |
| V Shape   |             |         |          |

해석조건은 <Table 4>와 같이 해상조건으로 국내 연안해역의 파고의 경우 평균 0.5~2.0m임을 확인하였다. 따라서 최대 파고값인 Beaufort scale no.5의 유의파고 및 주기를 적용하였다. 입사파의 경우 선수파(180°), 선수사파(135°)를 사용하였다. 속도는 계류된 상태를 가정하기 위해 0노트를 사용하였다.

<Table 4> Sea state and encounter angles

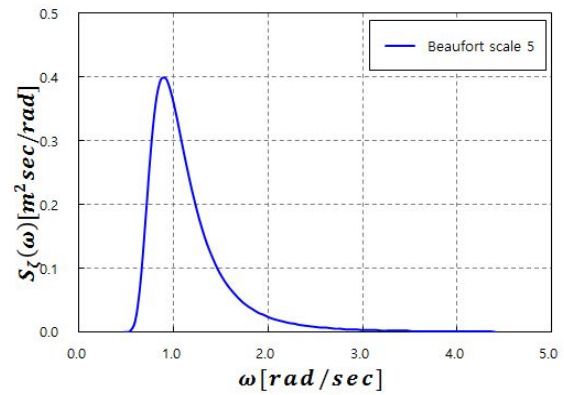
| Sea state (Beaufort Scale) | Description            | H <sub>1/3</sub> (m) | T̄(sec) |
|----------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| 5(Fresh)                   |                        | 2.0                  | 5.44    |
| Wave direction             | Head seas(180°)        |                      |         |
|                            | Quarter bow seas(135°) |                      |         |
| speed                      | Fn=0 (0knot)           |                      |         |

파 스펙트럼은 식(3), (4)와 같이 Pierson-Moskowitz 스펙트럼에 기초한 ITTC 파 스펙트럼을 이용하였다. [Fig. 2]은 파 스펙트럼을 도시한 결과이다.

$$S_{\zeta}(w) = \frac{A}{w^5} \exp\left(-\frac{B}{w^4}\right) \quad (3)$$

$$\left(A = 172.75 \frac{\bar{H}_{1/3}^2}{T^4}, B = \frac{691}{T^4}\right) \quad (4)$$

여기서,  $w$ 는 원 주파수,  $\bar{H}_{1/3}$ 는 유의파고,  $T$ 는 평균주파수를 나타낸다.



[Fig. 2] ITTC wave spectrum

파랑중 부유체의 불규칙 응답특성 계산은 선형 중첩이론을 기반으로 식(5)와 같다(Yum, 2010).

$$S_{\zeta}(w_e) = S_{\zeta}(w) |RAO(w_e)|^2 \quad (5)$$

여기서,  $S_{\zeta}(w)$ 는 파 스펙트럼,  $RAO(w_e)$ 는 단위운동응답을 나타낸다.

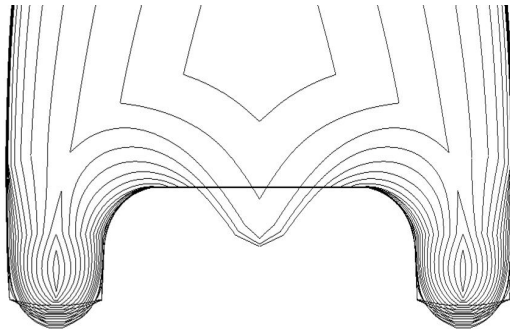
### Ⅲ. 계산 결과 및 고찰

#### 1. 상용 프로그램 검증

본 연구에서 사용된 상용프로그램의 신뢰성을 확보하기 위해 쌍동선 실험결과와 운동성능을 비교 분석하였다(Benjamin and French, 2008). 비교 대상선박의 주요요목은 <Table 5>와 같으며 [Fig. 3]은 해당선박의 주요제원과 선도를 나타내고 있다.

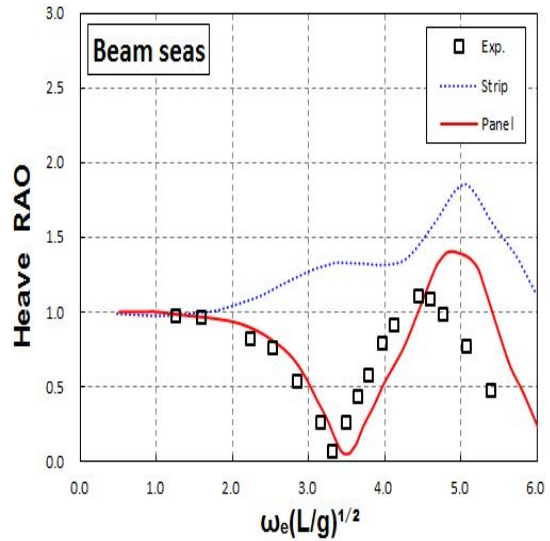
<Table 5> Main Particulars of the Catamaran

| Principal dimension |         |
|---------------------|---------|
| Length overall      | 2.5 m   |
| Displacement        | 27.5 kg |
| Draft               | 0.076 m |
| Demihull space      | 0.549 m |
| VCG                 | 0.167 m |
| LCG                 | 0.942 m |



[Fig. 3] Body plan of the Catamaran

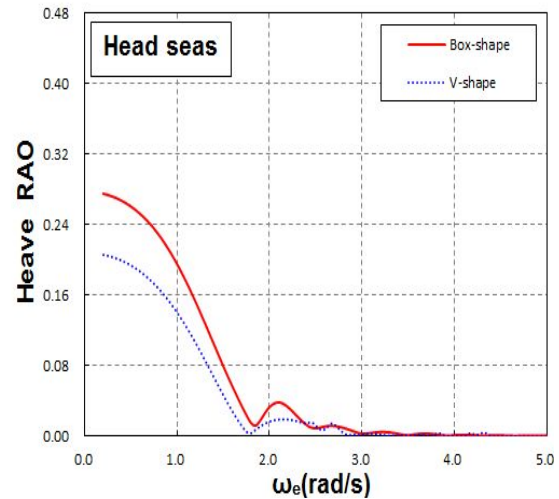
해석조건은 속도는 0kts( $F_n=0$ )로, 조우각을 선수파( $180^\circ$ ), 선수사파( $135^\circ$ )로 각각 적용하였다. 해석결과는 상하동요 및 종동요 RAO에 대해서 실험값과 상호 비교하였다. 수치해석 결과는 실험값의 경우 대부분 일치하였다. [Fig. 4]의 경우 횡파의 상하동요 RAO 결과를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서 수치해석 결과의 경우 대부분 패 널법이 실험값과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.



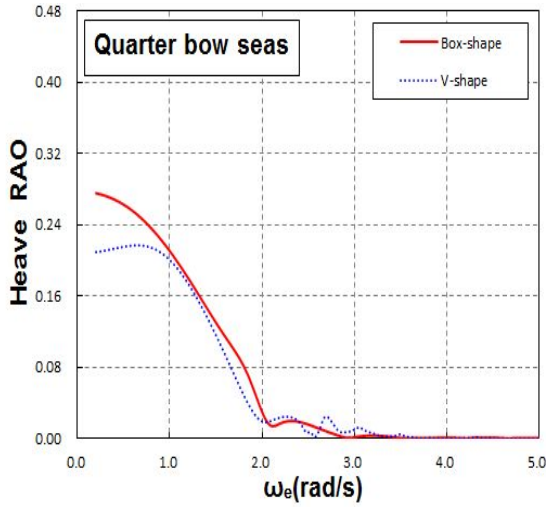
[Fig. 4] Comparison Heaving response for Catamaran at Beam seas

#### 2. 몰수부 형상변화에 따른 수직운동의 RAO 계산결과

[Fig. 5] ~ [Fig. 6]은 기본형상의 수직운동에 대한 RAO를 비교한 결과이다. 상하동요 RAO의 경우 선수파와 선수사파에서 V 형상은 Box형상에 비해 상대적으로 낮은 응답으로 보였다.

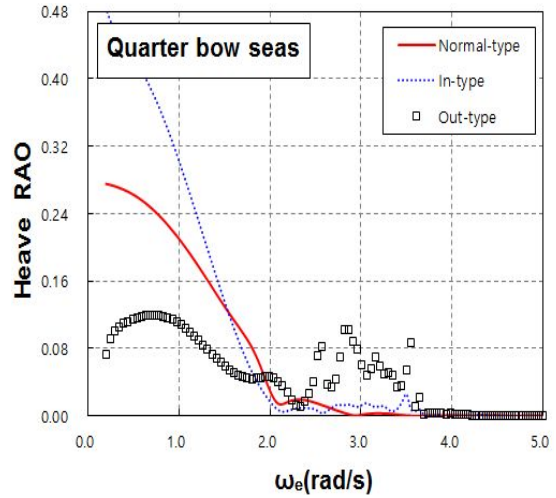


[Fig. 5] Comparison Heaving response in Head seas for Floating body(Box, V-shape)



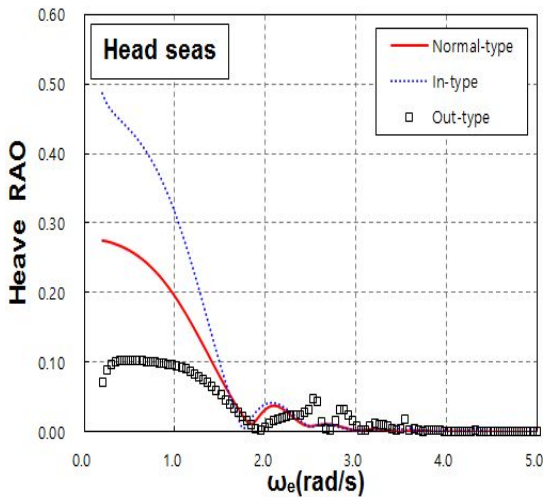
[Fig. 6] Comparison Heaving response in Quarter bow seas for Floating body(Box, V-shape)

[Fig. 7] ~ [Fig. 8]은 Box 형상의 세부 타입변화에 따른 수직운동에 대한 RAO를 비교한 결과이다. 상하동요 RAO의 경우 선수파와 선수사파에서 Out 타입이 기본형상에 비해 상대적으로 낮은 응답을 보였다. 따라서 상하동요 운동에서는 Out 타입이 선수파와 선수사파에서 내항성능 향상에 적절함을 알 수 있었다.

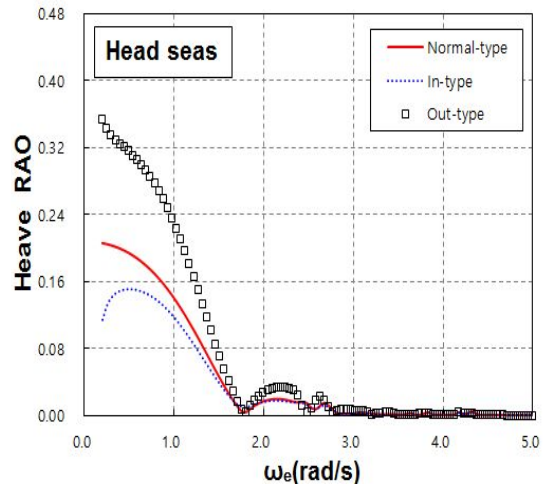


[Fig. 8] Comparison Heaving response in Quarter bow seas for Floating body(Box / Normal, In, Out-type)

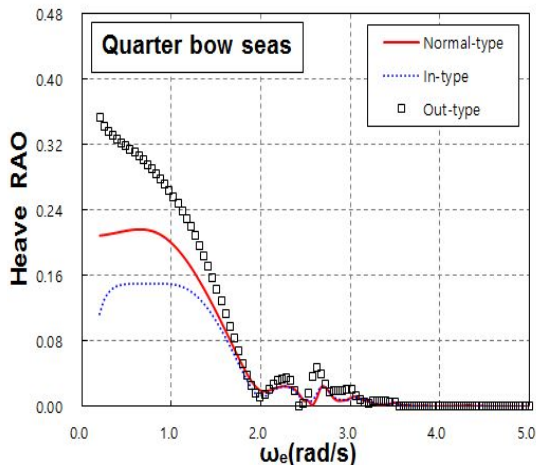
[Fig. 9] ~ [Fig. 10]은 V 형상의 세부 타입변화에 따른 수직운동에 대한 RAO를 비교한 결과이다. 상하동요 RAO의 경우 선수파와 선수사파에서 In 타입이 기본형상에 비해 상대적으로 낮은 응답을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 상하동요 운동에서는 In 타입을 사용하는 것이 내항성능 향상에 적절함을 알 수 있었다.



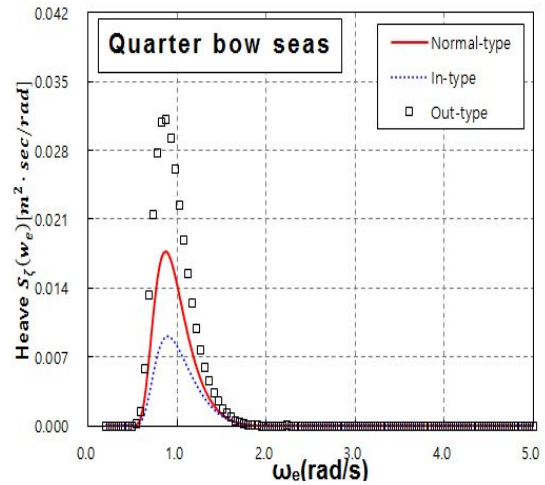
[Fig. 7] Comparison Heaving response in Head seas for Floating body(Box / Normal, In, Out-type)



[Fig. 9] Comparison Heaving response in Head seas for Floating body(V / Normal, In, Out-type)



[Fig. 10] Comparison Heaving response in Quarter bow seas for Floating body(V / Normal, In, Out-type)

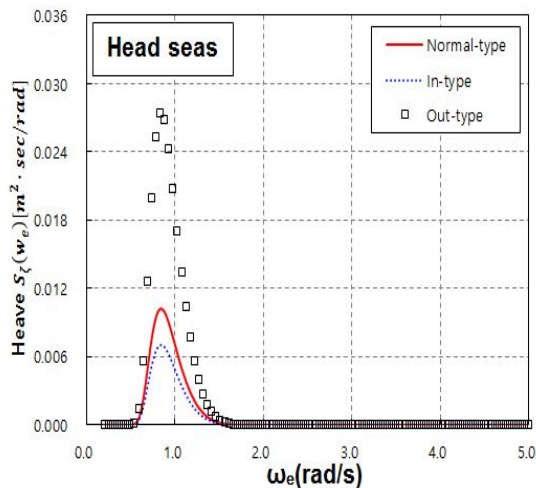


[Fig. 12] Comparison Response spectrum of Heaving in Quarter bow seas for Floating body(V / Normal, In, Out-type)

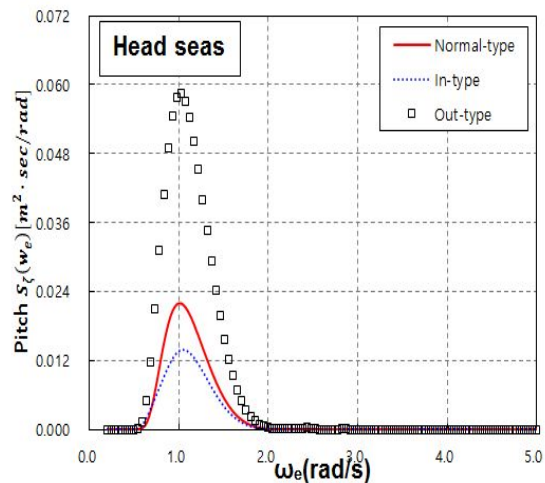
### 3. 불규칙파 중 운동 응답 계산 결과

불규칙파에서의 운동 응답 계산은 Box 및 V 형상 중에서 내항성능이 우수한 결과를 보인 V 형상을 대상으로 각 세부 타입에 대해 실시하였다.

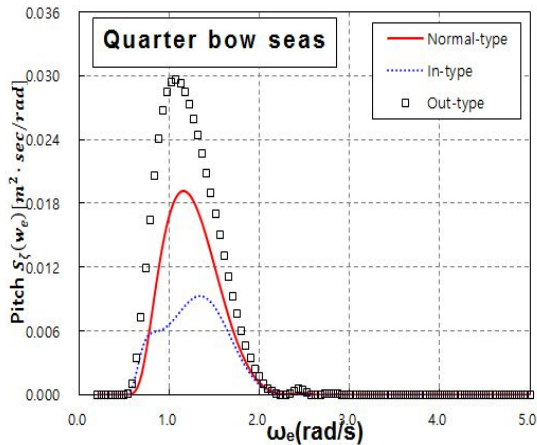
[Fig. 11] ~ [Fig. 14]는 기본형상인 V 형상의 세부형상변화에 따른 수직운동에 대한 선체운동 응답 스펙트럼을 비교한 결과이다. 상하동요의 경우 전반적으로 In 타입이 다른형상에 비해 상대적으로 낮은 응답진폭비를 나타내고 있다. 또한, 종동요의 경우 상대적으로 낮은 응답진폭비를 보였다.



[Fig. 11] Comparison Response spectrum of Heaving in Head seas for Floating body(V / Normal, In, Out-type)



[Fig. 13] Comparison Response spectrum of Pitching in Head seas for Floating body(V / Normal, In, Out-type)



[Fig. 14] Comparison Response spectrum of Pitching in Quarter bow seas for Floating body(V / Normal, In, Out-type)

#### IV. 결론

본 연구에서는 부유체의 몰수부 형상변화에 따른 파랑 중 수직운동의 수치계산을 실행하였다. 수행한 주요결과의 내용은 다음과 같다.

1) 기본형상의 경우 수직운동에 대하여 0.1~2.0의 낮은 주파수 영역에서 Box 형상보다 V 형상이 내항성이 우수하였으며 고주파수영역에서는 수렴하는 형태를 보였다.

2) Box 형상은 상하동요에 대하여 선수파와 선수사파에서 Out 타입이 내항성이 개선되었다.

3) V 형상은 상하동요에 대하여 전반적으로 In 타입이 내항성이 개선되었다. 종동요의 경우 기존형상을 사용하는 것이 바람직하였다.

결과적으로 몰수부형상을 낮은 주파수 영역에서 V형상의 In타입을 적용할 경우 수직운동 저감에 효과적인 것을 확인하였다. 부유체의 몰수부 형상변화에 따른 운동성능의 연구가 추후에 수행된다면 선수의 일부구간에 개선효과를 나타낸 형상을 적용하여 운동성능 비교분석, 하부형상 변화에 따른 구조해석 관련연구 및 실제 해역에 적용 가능한 다방향 파랑의 운동응답 추가적 연구가 필요하며, 부유구조물의 형상변화에 대한 실

험적 비교연구가 요구된다.

#### References

Benjamin J. French(2008). Slamming of Large High-Speed Catanmarans in Irregular Seas. University of Tasmania Engineering Doctor of Philosophy thesis, 1~205.

Han, Seung-Jae et al.(2012). Longitudinal Motion Analysis in Multi-Directional Irregular Waves for a Training Ship using Commercial Code. Journal of The Korean Society of Marine Environment and Safety, 18(6). 577~583.

J. V. Wehausen & E. V. Laitone(1960). Surface Waves in Fluid Dynamics III in Handbuch der Physik 9 chapter 3 ed. S. Flugge and C. Truesdell Springer Verlag, 446~778.

Jeju University(2007). Development of Fish Aquaculture Systems for Large Size Cage in Open Sea. 1~83.

Koh, Hyeok-Jun & Cho, Il-Hyoung(2010). Analysis of Motion Response on Tension Leg Type Automatic Feeding System in Waves. The Korean Association of Ocean Science and Technology Societies Conference, 2504~2507.

Lee, Ho-Young · Song, Ki-Jong & Yum, Deuk-Joon (1996). The Comparison of Seakeeping Performance Analysis Methods for a High Speed Catamaran (Strip and 3-D Panel Method). Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 33(2). 127~138.

Oh, Young-cheol et al.(2013). Prediction on Mooring Tension & Motion Response Characteristics of a Floating Dock in Regular Waves. Journal of The Korean Society of Marine Environment and Safety, 19(2). 200~206.

Sohn, Kyoung-Ho(1998). Ocean waves, hyosung press. 1~106.

Yum, Deuk-Joon(2010). Dynamics of Marine Structure. Ulsan University Press, 1~112.

- Received : 13 May, 2016
- Revised : 27 June, 2016
- Accepted : 30 June, 2016