

# Mega-Float의 동적 응답해석에 관한 연구

박성현\* · 박석주\*\*

## A study on the Dynamic Response Analysis of Mega-Float Offshore Structure

S. H. Park · S. C. Park

### Abstract

Recently, mega-float offshore structure is studied as one of the effective utilization of the ocean space. And mega-float structure are now being considered for various applications such as floating airports, offshore cities and so on.

This mega-float structure is relatively flexible compared with real floating structures like large ships. when we estimate dynamic responses of these structures in waves, the elastic deformation is important, because vertical dimension is small compared with horizontal. The analysis of the dynamic response as it receives regular wave is studied. The finite element method is used in the analysis of structural section of this model. And the analysis is carried out using the boundary element method in the fluid division. In order to know the characteristics of the dynamic response of the mega-float structures, effects of wavelength, water depth, and wave direction on dynamic response of the floating structure are studied by use of numerical calculation.

### 1. 머리말

해양공간의 효율적인 이용의 한가지 방법으로서는, Mega-Float의 이용을 들 수 있다.

Mega-Float는 부유체식 해상 공항, 해상 도시 등에 이용되어질 가능성이 큰 해양구조물로써 많은 연구가 진행되고 있다.1)~3)

부유체식 해양구조물의 장점으로는 시공상의 편리성, 생태계에 미치는 영향 및 지진의 영향을 적게 받는 점 등 여러 가지를 들 수 있다.

VLCC 등의 대형 부유체물에 비해 길이와 폭이 매우 크며 면적에 비해 흘수가 얕은 초대형 해양 부유체 구조물의 설계에는, 탄성적인 응답특성이 나타나는 것에 주의할 필요가 있다.

본 연구에서는, Mat-Type Mega-Float를 대상 구조물로 하여, 구조물이 규칙파를 받을 경우의 동적 응답의 해석, 응답특성의 파악, 응답에 영향을 주는 각종 인자에 대하여 검토한다.

Mega-Float의 파랑에 대한 동적 응답해석에 있어서, 부유체물의 구조부는 폭과 길이에 비하여 깊이가 작기 때문에, 횡변형이 일어나는 평판 요소로 정식화한 유한요소법을 이용하여 해석하고, 주위의 유체부에 대해서는 비압축성의 완전유체로 간주하여 경계요소법을 이용하여 해석한다. 구조부와 유

\* 목포해양대학교

\*\* 한국해양대학교

체부 사이의 운동학적, 동력학적 조건을 접수면에 연성시켜 연성운동방정식을 세우고 이 연성운동방정식을 수치 해석하여 파랑중의 응답을 구한다. 또한, Mega-Float 구조물의 파랑중 응답특성을 파악하기 위하여 각종 영향인자, 즉 파의 길이, 수심, 입사하는 파의 방향 등이 부유체의 응답에 미치는 영향에 대하여 검토한다.

## 2. 해석 모델 및 해석이론

본 연구에서는, Fig. 1에 나타난 것과 같이 일 정수심이 무한하게 퍼져있는 해상에 설치되어 있는 탄성 부유체에 규칙파가 입사하는 경우의 응답 특성에 대하여 해석한다. 유체부와 구조부를 각각 정식화한 후, 두 개를 연성시켜 연성방정식을 유도한다. 해석에 있어서는 다음과 같은 가정들을 도입한다.

- (1) 유체는 비점성, 비압축성의 완전유체이고, 유체 입자의 운동은 비회전이며, 속도 포텐셜이 정의되어진다.
- (2) 부유체의 홀수는 알아서 무시한다.
- (3) 해저는 평평하고, 해수영역은 무한하게 퍼져있다.
- (4) 유체의 운동은 선형 진동이론에 지배되고, 변형은 횡탄을 고려한다.
- (5) 해석 대상이 저주파이므로, 유체의 감쇠영향과 비교하여 부유체 자체의 감쇠영향은 매우 작으므로, 이것을 무시한다.

이상의 가정으로부터 해석 모델을 정수압에 의해 탄성 지지된 평판에, 유체에 의한 변동압력이 작용하고 있는 문제로 치환하여 해석한다.

Mega-Float 주위의 유체부를 경계요소법을 이용하여 정식화한다.4) 유체영역 내부에는, 완전유체, 비회전 흐름을 가정하고, 유체의 운동을 속도 포텐셜을 이용하여 표현한다.

본 연구의 해석 모델에 있어서 유체력의 성분은, 입사파에 의한 포텐셜, 반사파에 의한 포텐셜(Diffraction 문제), 운동하는 물체에 의해서 발생하는 방사파에 의한 포텐셜(Radiation 문제) 등 3개의 포텐셜에 의한 것으로 간주한다. 여기에서, 입사파에 의한 포텐셜은 입력이 되고, 기지함수로써 임의로 주어진다. 나머지 두 개의 포텐셜에 대해서는 경계치 문제를 풀어서 구하고, 위 세 개의 포텐

셜 성분의 합으로 유체력을 나타낸다.

유체장의 전 포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x, y, z, t) = \text{Re}[\phi(x, y, z) e^{-j\omega t}] \quad (1)$$

여기서,  $\omega$  = 조화운동의 원진동수,

$$\phi = \phi_i + \phi_d + \phi_r \text{ 로서 속도 포텐셜}$$

$$\phi_i = \text{입사파에 의한 포텐셜,}$$

$$\phi_d = \text{반사파에 의한 포텐셜}$$

$$\phi_r = \text{방사파에 의한 포텐셜.}$$

부유체가 운동도 하지 않고 변형도 없을 경우, 반사파에 의한 속도 포텐셜  $\phi_d$ 를 구한다. 위의 문제에서는, 부유체가 강체로써 운동과 변형이 없다고 가정하므로 순수한 유체영역만의 경계치 문제가 된다. Fig.1의 좌표계에서, 경계치 문제는 다음과 같이 주어진다.

$$\nabla^2 \phi_d = 0 \quad \text{in } \Omega \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi_d}{\partial z} = 0 \quad \text{on } \Gamma_B (z = -h) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi_d}{\partial n} + \frac{\partial \phi_i}{\partial n} = 0 \quad \text{on } \Gamma_H \quad (4)$$

$$\frac{\partial \phi_d}{\partial n} - \nu \phi_d = 0 \quad \text{on } \Gamma_F (z = 0) \quad (5)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial \phi_d}{\partial n} - i\nu \phi_d \right) = 0 \quad \text{on } \Gamma_\infty \quad (6)$$

여기서  $n$  = 유체영역에 대한 외향법선,

$$\nu \equiv \frac{\omega^2}{g} = k \tanh(kh), \quad g = \text{중력가속도,}$$

$$k = \text{파수, } h = \text{수심}$$

위의 (2)식의 라플라스 방정식은 유체영역  $\Omega$ 내의 지배방정식이고, (3)식은 일정수심  $h$ 에서의 경계조건, (4)식은 부유체 하면에서의 물체 표면 경계조건, (5)식은 선형화된 자유표면 조건, (6)식은 무한 원방에서의 거동을 나타내는 방사조건이다.

위의 경계치 문제를 풀어서 반사파에 의한 포텐셜  $\phi_d$ 를 구한다.

부유체를 탄성체로 간주하고, 부유체의 운동 및 변형에 의해서 발생하는 방사파의 속도 포텐셜  $\phi_r$ 을 구한다. 이 문제의 경우, 경계치 문제는 다음과 같다.

$$\nabla^2 \phi_r = 0 \quad \text{in } \Omega \quad (7)$$

$$\frac{\partial \phi_r}{\partial z} = 0 \quad \text{on } \Gamma_B (z = -h) \quad (8)$$

$$\frac{\partial \phi_r}{\partial n} = V_n \text{ (물체의 } n\text{-방향 속도) on } \Gamma_H \quad (9)$$

$$\frac{\partial \phi_r}{\partial n} - \nu \phi_r = 0 \quad \text{on } \Gamma_F (z = 0) \quad (10)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial \phi_r}{\partial n} - i\nu \phi_r \right) = 0 \quad \text{on } \Gamma_\infty \quad (11)$$

(10)식의 부유체 저면의 경계조건을 제외하고는 Diffraction 문제와 동일하다.

이 경계치 문제를 경계요소법을 이용하여 적분 방정식으로 치환한 후 방사파에 의한 속도 포텐셜  $\phi_r$ 을 구한다.

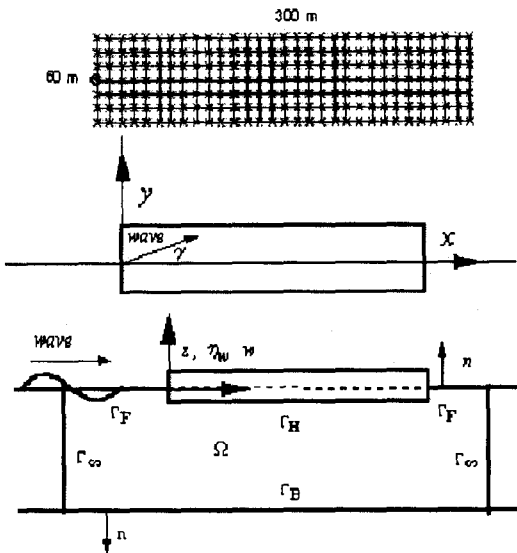


Fig.1 : Model of Mega-Float for analysis

Mega-Float의 구조부는 유한요소법을 이용하여 정식화하고, 가상일의 원리로부터 운동방정식을 유도한다. 구조부의 각 유한요소는 횡변형이 일어나는 장방형 평판요소로 간주한다.

요소 절점 변위 벡터  $\{\nu\}_e$ 를 이용하여, 부유체 구조물의 횡 변위를 나타내면

$$V = N_w \{\nu\}_e, \quad N_w = \text{형상함수} \quad (12)$$

$$\{\nu\}_e = [w_1 \theta_{x1} \theta_{y1} \cdots w_4 \theta_{x4} \theta_{y4}]^T$$

일반적인 평판의 횡진동에 이용하는 유한요소법이므로 상세한 정리는 생략한다.5)

유한요소법을 횡 진동을 일으키는 평판에 적용하고, 가상일의 원리로부터 운동방정식을 유도하면, 최종적으로 다음과 같은 방정식이 얻어진다.

$$[K]\nu + [M]\dot{\nu} = \{f\} \quad (13)$$

여기서,  $[K]$ 는 부유체 구조물의 강성 매트릭스,

$[M]$ 은 부유체 구조물의 질량 매트릭스

$\nu$ 는 변위벡터,  $\{f\}$ 는 외력 벡터

### 3. 해석결과와 고찰

Table에 나타낸 모델(Model A)을 대상으로 파랑중의 응답을 해석하여, 본 해석방법의 유효성을 검토한다. 또한, Mega-Float의 파랑에 대한 응답 특성을 파악하기 위하여, 각종 영향인자, 즉 파장, 수심, 입사하는 파의 방향 등이 응답에 미치는 영향에 대하여 검토한다. 해석모델을 Fig.1과 같이 총절점수 217, 중요소수 180으로 분할하여 계산을 하였다.

Table : Dimensions of the Mega-Float Model for analysis

Dimension	Model A
Length (L)	300 (m)
Breadth (B)	60 (m)
Water depth (h)	8 (m)
Flexural rigidity (EI)	4.870E+10 (Nm <sup>2</sup> )
Density of sea water ( $\rho_f$ )	1.025E+03 (kg/m <sup>3</sup> )
Gravity acceleration (g)	9.81 (m/s <sup>2</sup> )
Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.3
Thickness of plate (t)	2 (m)
Density of plate ( $\rho_b$ )	2.563E+02 (kg/m <sup>3</sup> )

### 3.1 파장과 응답과의 관계

입사하는 파의 길이가 응답에 미치는 영향을 파악하기 위해 부유체 길이와 파장의 비( $L/\lambda$ )를 바꾸어가며 계산을 하였다. 파장과 부유체의 중심 선상의 대표적인 3점( $x=0, x=150, x=300$ )과의 응답진폭의 관계를 Fig. 2에 나타낸다. Fig. 2의 결과를 보면  $L/\lambda = 1.0$ 을 경계로 응답의 상태가 변화한다. 그 경계보다 좌측, 즉 입사파의 파장이 긴 경우에는 파와 같은 응답이 나타나고, 파의 투과측에서도 응답진폭이 크게 나타난다. 역으로 우측에서는 투과측의 응답은 작게 나타난다.

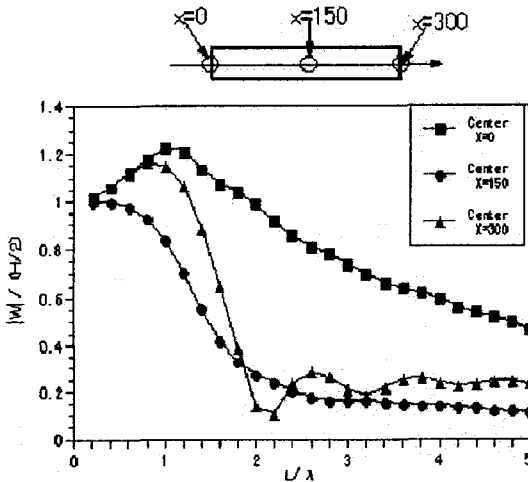


Fig.2 : Change of response by wavelength

### 3.2 수심과 응답과의 관계

수심이 응답에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Model A에  $L/\lambda = 4.0$ 의 파를 입사시켜, 수심변화에 따른 응답특성을 검토한다.

수심/파장의 비  $h/\lambda = 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ 으로 변화시켜서 계산을 하였다. 해석결과를 Fig.3에 나타낸다. 결과를 보면, 수심의 변화에 따른 응답의 차이는 작다고 할 수 있다.

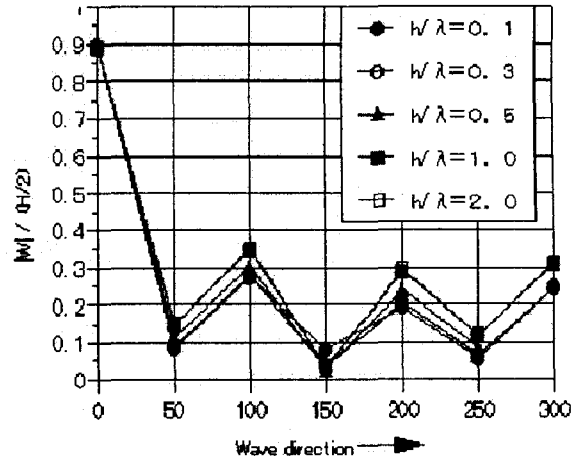


Fig.3 : Change of response by water depth

### 3.4 입사하는 파의 방향과 응답과의 관계

입사하는 파의 방향이 변하면 Mega-Float의 응답특성이 어떻게 변화하는가를 파악하기 위하여 Model A에  $L/\lambda = 4.0$ 의 파를 0, 30, 60, 90도의 각도로부터 입사시켜, 파의 방향에 따른 응답의 특성을 비교 검토한다.

입사하는 파의 방향 변화에 따른 응답의 특성을 Fig. 4에 나타낸다. 입사하는 파의 방향이 변하면 부유체에 비틀림이 발생하고, 응답상태는 파 방향에 따라 다양하게 변한다.

또한, 응답진폭이 최대가 되는 장소가 파의 방향에 따라 변함을 알 수 있다. 입사파의 방향이 부유체의 길이 방향과 다른 경우, 최대 응답이 나타나는 곳이 반드시 입사측이지는 않다.

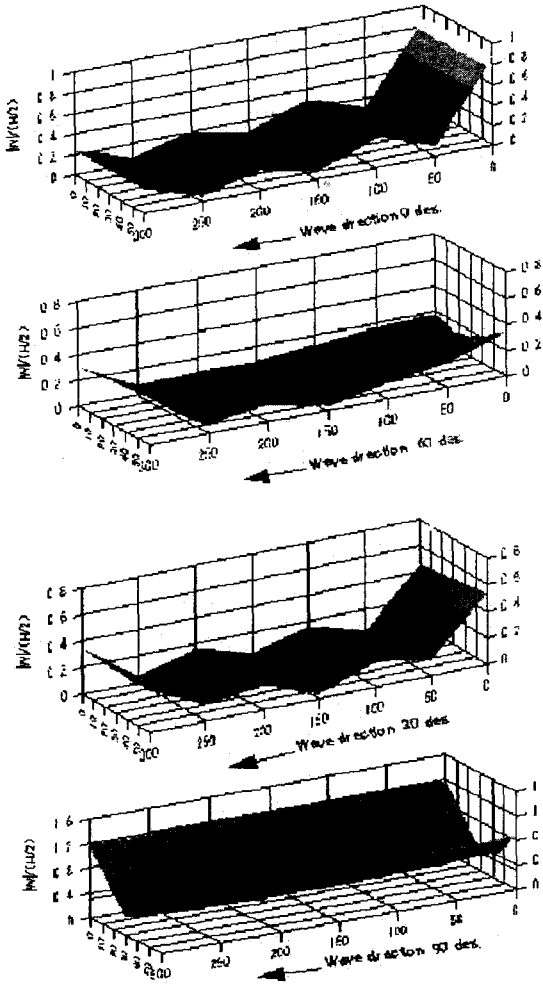


Fig.4 : Change of response by wave directions

#### 4. 결론

Mega-Float의 파랑 중 응답특성을 파악하기 위하여 각종 영향인자에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

- (1) 파장이 응답에 미치는 영향을 조사하기 위하여 부유체의 길이/파장의 비 ( $L/\lambda$ )를 변화시켜서 계산한 결과,  $L/\lambda$ 가 작은 경우에는 파와 같은 응답이 나타나며, 투과측에서도 응답진폭이 크게 나타난다. 또한  $L/\lambda$ 가 크게 되면 탄성적인 영향이 지배적으로 나타남을 알 수 있었다.
- (2) 수심에 의하여 응답특성이 어떻게 변화하는가

를 파악하기 위하여, 수심과 파장의 비 ( $h/\lambda$ )를 변화시켜서 계산한 결과, 수심의 변화에 따른 응답의 변화는 적다는 것을 알 수 있었다.

- (3) 부유체에 대하여 파의 입사방향이 변하면 부유체에는 비틀림이 발생하고, 응답특성은 입사하는 파의 방향에 따라 다양하게 변한다. 또한 응답진폭의 최대점이 입사파의 방향에 따라 변함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) 平山次清, 馬 寧, 西尾フラビオ治 : 長壽命型浮体式海上空港の波浪中應答特性, 日本造船學會論文集, 第178号, 1995, pp225~236.
- (2) 矢後清和, 大松重雄, 遠藤久芳 : 淺吃水箱形浮体の波浪中彈性應答について, 日本造船學會論文集, 第182号, 1997, pp307~2317.
- (3) 永田修一, 吉田尚史, 一色浩, 大川豊 : 超大型彈性平板浮体の波浪中舉動解析, 日本造船學會論文集, 第182号, pp285~294, 1997.
- (4) C. J.Garrison : Hydrodynamic Loading of Large Offshore Structures : Three-Dimensional Source Distribution Methods, Numerical Methods in Offshore Engineering, Chapter 3, 1978, pp87~111.
- (5) Maurice Petyt : Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Cambridge University Press, 1990, pp141~293.