

超大型浮流体 構造物의 波浪 應答 最適化에 관한 研究

박성현* · 박석주*** · 최명식* · 고재용**

*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

**한국해양대학교 해양시스템공학부 교수

***목포해양대학교 해양시스템공학부 교수

Study on the Optimization of Response in Regular wave of the Mega-Float Offshore Structure

S. H. Park* · S. C. Park*** · M. C. Choi* · J. Y. Koo**

목 차

- 1. 서론
- 2. 해석이론
 - 2.1 경계요소법에 의한 유체부해석
 - 2.2 유한요소법에 의한 구조부해석
 - 2.3 유체부-구조부 연성 운동방정식
 - 2.4 감도해석법과 최적화 기법
- 3. 해석결과의 고찰
 - 3.1 파장의 변화에 따른 응답해석
 - 3.2 구조물의 강성과 응답과의 관계
 - 3.3 수심과 거동과의 관계
 - 3.4 파의 입사 방향 변화에 따른 응답해석
- 4. 결론

1. 서론

최근, 초대형 해양 부유체 구조물은 부유체식 해상 공항, 해상 도시 등에 이용되어질 가능성이 큰 해양구조물로서 많은 연구가 진행되고 있다[1)~9).

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

VLCC 등의 대형 부유체에 비해 길이와 폭이 매우 크며 면적에 비해 흘수가 얇은 초대형 해양 부유체 구조물의 설계에는, 탄성적인 응답특성이 나타나는 것에 주의할 필요가 있다. 또한, 구조물의 변형과 유체력의 상호 간섭작용, 자연 환경으로부터의 여러 가지 영향, 파랑 외력의 영향, 부유체 구조물의 강성의 영향 등에 대한 정확한 검토가 필요하다.

본 연구에서는, Mat-Type 대형 해양 부유체 구조물을 대상 구조물로 하여, 구조물이 규칙파를 받을 경우의 동적 응답의 해석, 응답특성의 파악, 응답에 영향을 주는 각종 인자에 대하여 검토하고 파랑응답을 최적화하는 기법에 대하여 논하고자 한다.

Mat-Type 대형 해양 부유체 구조물의 파랑에 대한 동적 응답해석에 있어서, 부유체물의 구조부는 폭과 길이에 비하여 깊이가 작기 때문에, 횡변형이 일어나는 평판 요소로 정

식화한 유한요소법을 이용하여 해석하고, 주위의 유체부에 대해서는 비압축성의 완전유체로 간주하여 경계요소법을 이용하여 해석한다. 구조부와 유체부 사이의 운동학적, 동력학적 조건을 접수면에 연성시켜 연성 운동방정식을 세우고 이 연성 운동방정식을 수치해석하여 파랑중의 응답을 구한다. 또한 본 논문의 응답해석법을 이용하여, 현재 개발 연구가 진행되고 있는 초대형 해양부유체 구조물의 파랑중 응답특성을 파악하기 위하여 각종 영향인자, 즉 파의 길이, 부유체 구조물의 강성, 수심, 입사하는 파의 방향 등이 부유체의 응답에 미치는 영향에 대하여 검토한다. 파랑에 의한 응답 특성을 가지고, 각종 인자에 대한 응답의 감도값을 구하여 특정 부위의 응답 진폭을 저감시키는 최적화 방법에 대하여 검토한다.

2. 해석이론

본 연구에서는, Fig. 1에 나타낸 것과 같이 일정수심이 무한하게 퍼져있는 해상에 설치되어 있는 탄성부유체에 규칙파가 입사하는 경우의 응답특성에 대하여 해석한다. 유체부와 구조부를 각각 정식화한 후, 두 개를 연성시켜 연성방정식을 유도한다. 해석에 있어서는 다음과 같은 가정들을 도입한다.

- (1) 유체는 비점성, 비압축성의 완전유체이고, 유체입자의

운동은 비회전이며, 속도 포텐셜 ϕ 이 정의되어진다.

- (2) 부유체의 홀수는 알아서 무시한다.
- (3) 해저는 평평하고, 해수영역은 무한하게 퍼져있다.
- (4) 유체의 운동은 선형 진동이론에 지배되고, 변형은 횡만을 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.

2.1 경계요소법에 의한 유체부의 해석 이론

대형 해양부유체 구조물 주위의 유체부를 경계요소법을 이용하여 정식화한다. 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, 지지함수로써 임의로 주어진다. 나머지 두 개의 포텐셜에 대해서는 경계치 문제를 풀어서 구하고, 위 세 개의 포텐셜 성분의 합으로 유체력을 나타낸다.

유체장의 전 포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, ω = 조화운동의 원진동수,

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

ϕ_i = 입사파에 의한 포텐셜, ϕ_d = 반사파에 의한 포텐셜

ϕ_r = 방사파에 의한 포텐셜.

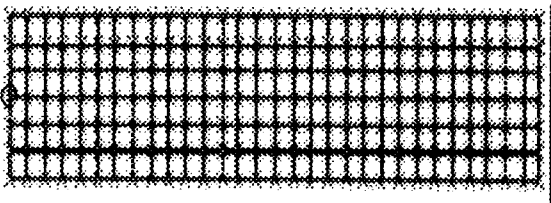


Fig.1 : FEM model of Mega-Float

2.1.1 Diffraction 문제

부유체가 운동도 하지 않고 변형도 없을 경우, 반사파에 의한 속도 포텐셜 ϕ_d 를 구한다. 위의 문제에서는, 부유체가 강체로써 운동과 변형이 없다고 가정하므로 순수한 유체영역만의 경계치 문제가 된다. Fig.1의 좌표계에서, 경계치

문제는 다음과 같이 주어진다.

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

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

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

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

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

여기서 n = 유체영역에 대한 외향 법선,

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

g = 중력가속도, k = 파수, h = 수심

위의 (2)식의 라플라스 방정식은 유체영역 Ω 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 ϕ_d 를 구한다.

2.1.2 Radiation 문제

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1.3 적분 방정식

Diffraction 문제와 Radiation 문제를 Green 함수를 이용하여 경계요소법으로 정식화하면 다음과 같다.

$$\int_{\Omega} (G \nabla^2 \phi_d - \phi_d \nabla^2 G) d\Omega = \int_{\Gamma} (G \frac{\partial \phi_d}{\partial n} - \phi_d \frac{\partial G}{\partial n}) d\Gamma \quad (12)$$

(12)식에 (2)식~(11)식의 경계조건을 적용하면, 다음과 같은 경계적분 방정식이 유도된다.

$$2\pi\phi_d(y) = \int_{\Gamma_H} \left\{ G(x,y) \frac{\partial \phi_d}{\partial n}(x) - \phi_d(x) \frac{\partial G}{\partial n}(x,y) \right\} d\Gamma(x), \quad x,y \in \Gamma_H \quad (13)$$

$$2\pi\phi_r(y) = \int_{\Gamma_H} \left\{ G(x,y) \frac{\partial \phi_r}{\partial n}(x) - \phi_r(x) \frac{\partial G}{\partial n}(x,y) \right\} d\Gamma(x), \quad x,y \in \Gamma_H \quad (14)$$

여기에서 $G(x,y)$ = Garrison에 의해서 주어진 Green 함수 10)이다.

2.1.4 경계요소법에 의한 정식화

적분방정식 (13)식과 (14)식의 적분 경계면을 경계요소로 분할해서 정식화하면 다음과 같다.

$$2\pi\phi(y) = \sum_{i=1}^M \int_{\Gamma_i} \left\{ G(x,y) \frac{\partial \phi}{\partial n}(x) - \phi(x) \frac{\partial G}{\partial n}(x,y) \right\} d\Gamma_i(x) \quad (15)$$

여기서, M 은 전체 경계요소 수이다. 요소는 사변형요소를 사용한다.

요소내의 좌표와 $\phi, \frac{\partial \phi}{\partial n}$ 는 다음과 같이 절점치와 형상함수의 선형결합으로 나타내어진다.

$$x(\xi_1, \xi_2) = \sum_{k=1}^4 N_k(\xi_1, \xi_2) \cdot x_k \quad (16)$$

$$\phi(\xi_1, \xi_2) = \sum_{k=1}^4 N_k(\xi_1, \xi_2) \cdot \phi_k \quad (17)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n}(\xi_1, \xi_2) = \sum_{k=1}^4 N_k(\xi_1, \xi_2) \cdot \frac{\partial \phi_k}{\partial n} \quad (18)$$

여기서, $N_k(\xi_1, \xi_2)$ 는 형상함수이다.

이것을 (15)식에 대입하면, 다음식과 같은 절점방정식이 얻어진다.

$$2\pi\phi(y) = \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^4 g_{ij} \frac{\partial \phi_{ij}}{\partial n} \right) - \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^4 h_{ij} \phi_{ij} \right) \quad (i=1 \sim M) \quad (19)$$

여기서, $N =$ 총절점수, $\phi_{jk} = j$ 번째 요소의 k 번째 절점속도 포텐셜

$$g_{jk} = \int_{\Gamma_j} G \cdot N_k(\xi_1, \xi_2) d\Gamma_j$$

$$h_{jk} = \int_{\Gamma_j} \frac{\partial G}{\partial n} \cdot N_k(\xi_1, \xi_2) d\Gamma_j$$

요소내 절점과 전체 절점의 대응관계를 고려하여 정리하면, 다음과 같은 매트릭스 방정식이 얻어진다.

$$[H] \phi = [G] \frac{\partial \phi}{\partial n}, \quad [H] = 2\pi[L] + [G] \quad (20)$$

Diffraction 문제와 Radiation 문제는 (20)식에 각각의 포텐셜을 대입하면 다음과 같은 식이 된다.

$$[H] \phi_d = [G] \frac{\partial \phi_d}{\partial n}, \quad [H] \phi_r = [G] \frac{\partial \phi_r}{\partial n} \quad (21)$$

이 (21)식이 유체 부의 최종적인 운동방정식이다.

2.2 유한요소법에 의한 구조부의 해석이론

대형 부유체의 구조부는 유한요소법을 이용하여 정식화하고, 가상일의 원리로부터 운동방정식을 유도한다. 구조부의 각 유한요소는 휨변형이 일어나는 장방형 평판요소로 간주한다. 요소 절점 변위 벡터 $\{\nu\}_e$ 를 이용하여, 부유체 구조물의 휨 변위를 나타내면

$$V = N_w \{\nu\}_e, \quad N_w = \text{형상함수} \quad (22)$$

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

요소내 변위를 나타내는 식을 구체적으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} w(\xi) &= \frac{1}{4} (2 - 3\xi + \xi^3)w_1 + \frac{1}{4} (2 + 3\xi - \xi^3)w_2 \\ &+ \frac{le}{8} (-1 + \xi + \xi^2 - \xi^3)\theta_1 + \frac{le}{8} (1 + \xi - \xi^2 - \xi^3)\theta_2 \\ &= N_1 w_1 + N_2 w_2 + N_3 \theta_1 + N_4 \theta_2 \end{aligned} \quad (23)$$

여기서, N_1, N_2, N_3, N_4 는 형상함수

일반적인 평판의 휨진동에 관한 유한요소법(11)이므로 상세한 정리는 생략한다. 유한요소법을 휨 진동을 일으키는 평판에 적용하고, 가상일의 원리로부터 운동방정식을 유도하면, 최종적으로 다음과 같은 방정식이 얻어진다.

$$[K] \nu + [M] \ddot{\nu} = \{f\} \quad (24)$$

여기서, $[K]$ 는 부유체 구조물의 강성 매트릭스, $[M]$ 은

부유체 구조물의 질량 매트릭스 ν 는 변위벡터, $\{f\}$ 는 외력 벡터 외력 벡터 $\{f\}$ 는 유체로부터의 변동압력 ΔP 에 의한 것이므로, 다음 식으로 나타내어진다.

$$\{f\} = \int (N_w)^T (\Delta P) d\Gamma \quad (25)$$

또한, 부유체 구조물의 감쇠는 조파감쇠에 비해서 작으므로 무시하여 계산한다.

2.3 유체-구조 연성 운동방정식

유체부의 방정식과 구조부의 방정식을 연성시켜서 최종적인 연성 진동방정식을 유도한다. 유체의 영향은 유체 압력으로 취급하므로, 운동방정식 (24)식의 외력항 (25)식에서 유체로부터 받는 변동압력 ΔP 는 Bernoulli 정리로부터 구할 수 있다.

$$\Delta P = -i\rho_f\omega(\phi_i + \phi_d + \phi_r) - \rho_f g w \quad (26)$$

여기서, ρ_f 는 유체의 밀도 이 식을 (25)식에 대입하면

$$f = i\rho_f\omega \int_{\Gamma_i} (N_w)^T (\phi_i + \phi_d + \phi_r) ds - \rho_f g \int_{\Gamma_i} (N_w)^T w ds \quad (27)$$

위의 (27)식의 제 1항은 변동압력에 의한 유체력으로, 외력, 부가질량, 부가감쇠에 관계되고, 제 2항은 복원력으로 부가강성을 나타낸다. 제 1항과 제 2항의 적분부를 각 요소의 절점치를 이용하여 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\int_{\Gamma_i} (N_w)^T \phi d\Gamma_i = \int_{\Gamma_i} (N_w)^T \left(\sum_{k=1}^4 N_k \phi_k \right) d\Gamma_i = C_p \phi \quad (28)$$

$$\int_{\Gamma_i} (N_w)^T w d\Gamma_i = C_w \nu \quad (29)$$

위 식들을 (27)식에 대입하면 다음식이 얻어진다.

$$f = i\rho_f\omega \cdot C_p(\phi_i + \phi_d + \phi_r) - \rho_f g \cdot C_w \nu \quad (30)$$

위 식에서 복원력 성분은 다음과 같이 치환하여 부가강성으로 취급한다.

$$\rho_f g \cdot C_w \nu = K_w \nu \quad (31)$$

위의 식들을 정리하면 전체 매트릭스 방정식은 다음과 같이 된다.

$$[(K + K_w) - \omega^2 M] \nu - i\rho_f\omega C_p \phi_r = i\rho_f\omega C_p(\phi_i + \phi_d) \quad (32)$$

(21)식과 (32)식을 연립시켜서 정리하면 다음과 같은 연립 방정식이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} (K + K_w) - \omega^2 M & -i\rho_f\omega C_p \\ i\rho_f\omega C_p & H \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \nu \\ \phi_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i\rho_f\omega C_p(\phi_i + \phi_d) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (33)$$

위의 (33)식이 최종적인 유체와 구조간의 연성 운동방정식이며, 이 연립방정식을 해석하여 절점 변위 벡터와 절점 속도 포텐셜을 얻을 수 있다.

2.4 감도해석법과 최적화 기법

감도해석은 구조물의 형상, 치수, 재료 등의 설계변수의 변경에 의한 구조물의 정적, 동적 특성의 변화율을 구하는 것이다. 감도분포를 계산하면, 고유진동수나 특정 점에 대한 고유모우드의 크기를 가장 효율적으로 변경하기 위하여 어느 부분을 수정하면 좋을지를 알 수 있다. 또한, 설계변수가 동특성에 어떤 영향을 미치는지를 알 수 있어서 초기 설계시의 기초자료로 이용할 수 있다.

감도행렬을 $[A]$, 설계변수의 변경량을 $\{x\}$, 변경하려는 목표치와 현재치와의 차를 $\{y\}$, 로 하는 경우의 최적 구조변경 문제는, 다음과 같이 연립1차 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$[A] \{x\} = \{y\} \quad (34)$$

(34)식에서 행렬 $[A]$ 가 보통 정방행렬이 아니므로, 최소자승해를 구하는 문제가 된다.

1. 감도행렬 $[A]$ 의 행의 크기가 열의 크기보다 클 경우 변경 파라미터의 수가 변경하는 동특성의 수보다 적은 경우에는.

$$S = |[A]\{x\} - \{y\}| \quad (35)$$

과 같은 S를 최소로 하는 미지수를 결정하는 일반적인 최소자승법을 이용한다[7].

위의 경우에 설계변수의 변경량은 다음 식으로 구할 수 있다[2),13),14).

$$\{x\} = ([A]^T[A])^{-1}[A]^T\{y\} \quad (36)$$

2. 감도행렬 $[A]$ 의 열의 크기가 행의 크기보다 클 경우 일반적으로 구조변경의 문제에는, 변경 파라미터의 수가 목적함수의 수보다 많으므로, 해를 쉽게 구할 수 없는 경우가 많다. 이 경우에는 행렬 $[A]$ 의 일반 역행렬 $[A]^+$ 로, 설계변수의 변경량을 계산하는 의사 최소자승법을 이용한다.

이 경우에 있어서 설계변수의 변경량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\{x\} = [A]^+ \{y\} \quad (37)$$

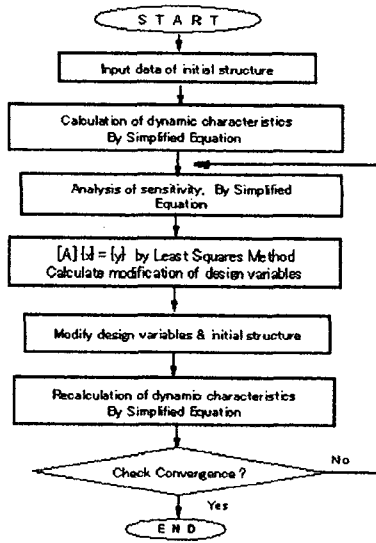


Fig.2 : Flow chart of optimization

3. 계산결과와 고찰

Table1에 나타난 모델(Model A)을 대상으로 파랑중의 응답을 해석하여, 본 해석방법의 유효성을 검토한다. 또한, 대형 해양부유체 구조물의 파랑에 대한 응답특성을 파악하기 위하여, 각종 영향인자, 즉 파장, 부유체의 휨강성, 수심, 입사하는 파의 방향등이 응답에 미치는 영향에 대하여 검토한다. 해석모델을 Fig.2와 같이 총절점수 217, 총요소수 180으로 분할하여 계산을 하였다.

Table1 : Dimensions of the Mega-Float structure model for analysis

Dimension	Model
Length (L)	300 (m)
Breadth (B)	60 (m)
Flexural Rigidity (EI)	2.0500E+05 (N/m ²)
Density of Sea Water (ρf)	1.025E+03 (kg/m ³)
Gravity Acceleration (g)	9.81 (m/s ²)
Poisson's Ratio (ν)	0.300
Thickness of Plate (t)	1.00 (m)
Density of Plate (ρb)	7.8600 (kg/m ³)

3.1 파장과 응답과의 관계

입사하는 파의 길이가 응답에 미치는 영향을 파악하기 위해 부유체 길이와 파장의 비(L/λ)를 바꾸어가며 계산을 하였다.

부유체의 중심선상의 대표적인 3점

($x=0, x=150, x=300$)에서의 파장과 응답진폭의

관계를 Fig. 3에 나타낸다. Fig. 3의 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.

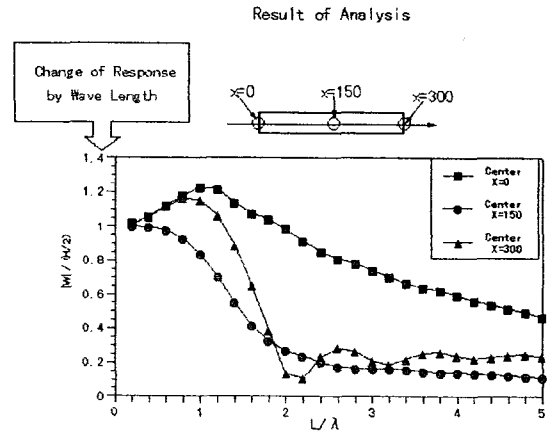


Fig.3 : Change of Response by Wave Length

3.2 부유체의 강성과 응답과의 관계

부유체의 강성에 의해서 응답이 어떻게 변하는가를 파악하기 위하여, 해석모델(Model A)의 휨강성보다 100배 작은 강성을 가진 Model B에 대하여 응답을 계산하고, 결과를 비교 검토한다.

Model A는 응답곡선의 피크점이 우측에, 한편 Model B는 피크점이 좌측에 나타난다. Model A는 탄성적인 응답 특성이 지배적인데 반해 Model B에서는 파와 같은 응답이 되어, 두개의 응답특성이 서로 다르게 나타난다. 이것은 Model A는 Model B에 비해서 강성이 크기 때문에 Model B와 같은 응답이 되지 않고, 부유체 고유의 탄성응답이 지배적으로 나타났다고 생각되어진다. Fig.4(a)는 Model A, Fig.4(b)는 Model B의 응답 특성을 나타낸다.

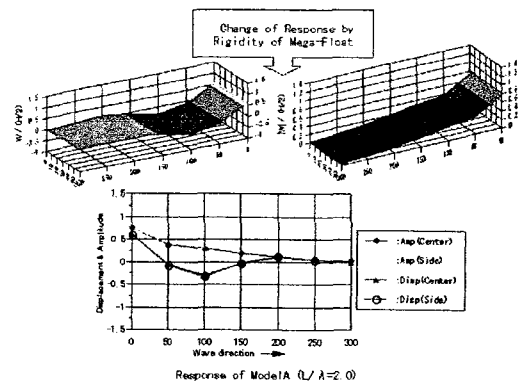


Fig.4(a) : Change of Response by Rigidity of Mega-float Model A

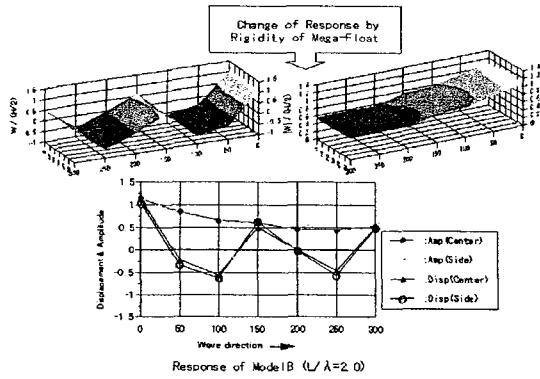


Fig.4(b) : Change of Response by Rigidity of Mega-float Model A

3.4 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. 5에 나타낸다. 결과를 보면, 수심의 변화에 따른 응답의 차이는 작다고 할 수 있다.

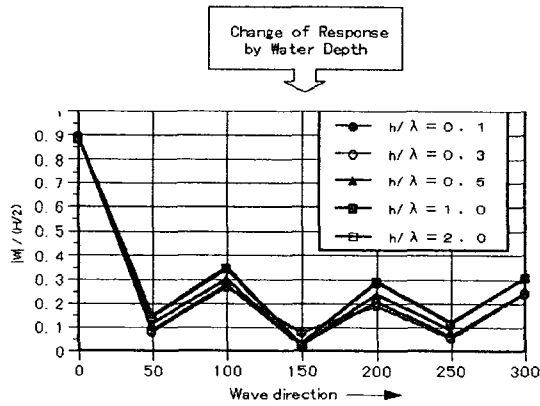


Fig.5 : Change of Response by Wave Length

3.5 입사하는 파의 방향과 응답과의 관계

부유체에 대해서 입사하는 파의 방향이 변하면 그 응답특성이 어떻게 변화하는가를 파악하기 위하여 Model A에 $L/\lambda = 4.0$ 의 파를 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90도의 각도로부터 입사시켜, 파의 방향에 따른 응답의 특성을 비교검토한다.

입사하는 파의 방향 변화에 따른 응답의 특성을 Fig. 8에 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 입사측이라고

는 할 수 없다.

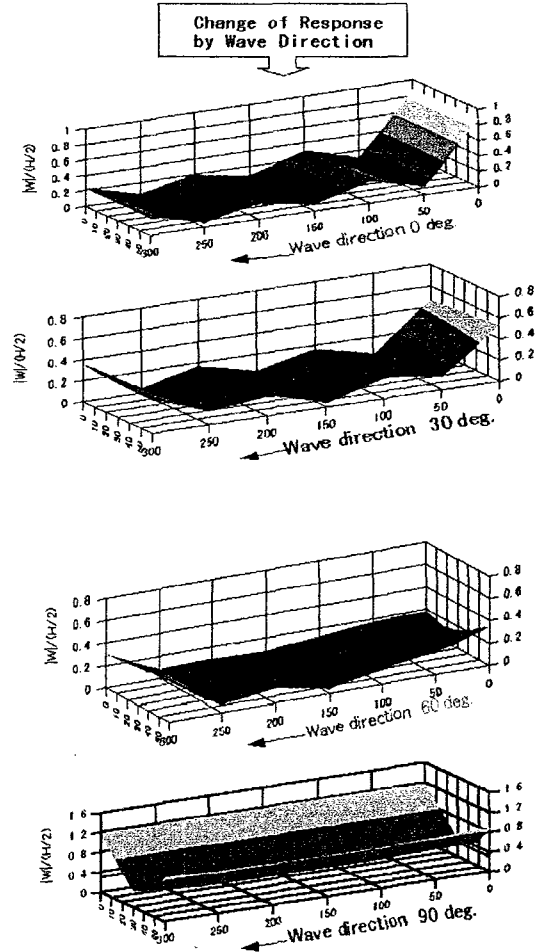


Fig.6 : Change of Response by Wave Direction

4. 결론

초대형 부유체 구조물의 파랑중 응답특성을 최적화 하기 위하여 각종 영향인자에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부유체의 길이/파장의 비 (L/λ)를 변화시켜서 계산한 결과, L/λ 가 작은 경우에는 파와 같은 응답이 나타나며, 투과측에서도 응답진폭이 크게 나타난다. 또한 L/λ 가 크게 되면 탄성적인 영향이 지배적으로 나타남을 알 수 있었다.

(2) 수심과 파장의 비 (h/λ)를 변화시켜서 계산한 결과, 수심의 변화에 따른 응답의 변화는 적다는 것을 알 수 있었다.

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

수 있었다.

(4) 향후 감도해석법과 최적화 기법을 적용하여 초대형 부유체 구조물의 파랑응답 진폭을 저감시키는 최적화 시스템을 구축하는 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 居駒知樹, 増田光一, 前田久明 : 超大型淺吃水浮遊式構造物の彈性應答に關する研究, 日本造船學會 第13回 海洋工學シンポジウム, pp185~192, 1995

[2] 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, pp225~236, 1995

[3] 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, pp307~2317, 1997

[4] 永田修一, 吉田尙史, 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

[5] 박성현, 박석주 : 大型 浮游海洋構造物の 波浪中 應答의 低減解析에 관한 研究 (第1報), 한국항해학회지, 제 24권, 제1호, pp85~96.

[6] 박성현, 박석주 : Mega-Float의 동적 응답해석에 관한 연구, 한국소음진동공학회 2001년 도 춘계학술대회

논문집, pp161~165.

[7] 박성현, 박석주 : Mega-Float의 동적 특성해석, 한국항해학회 2001년 춘계학술대회 논문 집, pp66~70.

[8] Park Sung Hyeon, Park Sok Chu : Wave Response Analysis and Future Direction of Mega-Float, KIN-CIN Joint Symposium 2001, pp153~168.

[9] 박성현, 박석주, 고재용 : 부유체식 Container Yard에 관한 연구, 한국항해학회지 제 27권 제1호, pp49~54.

[10] C. J.Garrison : Hydrodynamic Loading of Large Offshore Structures : Three-Dimensional Source Distribution Methods, Numerical Methods in Offshore Engineering, Chapter 3, pp87~111, 1978

[11] Maurice Petyt : Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Cambridge University Press, pp141~293, 1990

[12] 朴 成鉉, 香川洸二, 安澤幸隆, “構造物の 動特性의 最適變更法에 關한 基礎 研究”, 日本 西部造船學會, 第 96号, pp.193-206, 1998.

[13] 朴 成鉉, 香川洸二, 安澤幸隆, “構造物の 動特性의 最適變更法에 關한 基礎 研究(第2報)”, 日本西部造船學會, 第98号, pp.193-206, 1999.

[14] 長松昭男 : モード 解析 入門, 培風館, 1993, pp.79-142.