

## 흘수가 폰툰형 초대형 구조물의 유탄성 응답에 미치는 영향 해석

홍사영\*, 최윤락\*\*, 홍석원\*\*\*

### Draft Effects on Hydroelastic Analysis of Pontoon-type VLFS

S.Y. Hong\*, Y.R. Choi\*\* and S.W. Hong\*\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 고차경계요소법을 사용하여 폰툰형 초대형 구조물의 유탄성응답을 해석하였다. 폰툰형 구조물의 설치가 예상되는 천수심 해역에서 유탄성 응답 해석에서 흘수의 영향을 고찰하였다. 초대형 구조물인 경우 실제 해상파의 파장 범위인 단파장 구간일 때 흘수의 영향을 무시한 해석은 구조물의 유탄성 응답과 상대파고를 과소평가 하는 것으로 나타나 폰툰형 구조물에서도 흘수 영향을 고려한 해석이 중요함을 보였다.

※Keywords: 유탄성해석(Hydroelasticity), 폰툰형 구조물(Pontoon structure), 흘수(draft) 고차경계요소법(higher-order boundary element method), 모드중첩법(mode superposition)

#### Abstract

Present study aims to investigate draft effects on hydro-elastic response of pontoon type VLFS(Very Large Floating Structure). A three dimensional higher-order boundary element method(HOBEM: Hong et al;1999, Choi, Hong and Choi; 2001) is extended to analyze elastic response of structures. Intensive numerical calculations were carried out for box type structure to investigate the draft effect on hydrodynamic forces on pontoon type VLFS. Main attention was paid to wave run-up along the waterline for various cases of draft scantling. It is found that the draft effects on the hydro-elastic response of pontoon type VLFS are important especially in short wave range and shallow water region.

---

접수일자: 2001년 8월 23일, 승인일자: 2002년 6월 28일

\*주저자, 정회원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(E-mail: sayhong@kriso.re.kr)

\*\*정회원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(E-mail: yrchoi@kriso.re.kr)

\*\*\*정회원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(E-mail: swhong@kriso.re.kr)

1. 서론

초대형 부유식 해상구조물을 이용한 해양공간 활용에 대한 관심이 증가하면서 지난 5 - 6년간 폰툰형 구조물의 유탄성응답에 대한 많은 연구가 국내외적으로 이루어졌다(윤재돈, 최항순, 1996, 심인환 외, 1998, Kashiwagi, 1999, 신현경, 2001). 폰툰형 초대형 구조물은 길이와 폭은 수 km에 달하지만 구조물의 출수는 수 m에 지나지 않아 구조적 관점에서 보면 마치 얇은 판을 연상케 하는 형상적 특징을 가지고 있다. 따라서 일반 선박이나 해양구조물에서 파랑에 의한 구조물의 응답을 해석하는데 있어 구조물의 탄성변형을 무시하고 강체로 취급해온 가정이 더 이상 유효하지 않게 된다. 그러므로 이러한 구조물의 파랑응답을 해석하기 위해서는 탄성변형을 고려한 소위 유탄성응답 해석이 필요하게 된다.

폰툰형 구조물은 장방형의 형상을 가지고 있고 구조물의 두께가 구조물의 길이와 폭에 비해 매우 얇으므로 박판방정식을 운동방정식으로 사용하여 구조물의 전반적인 탄성변형을 해석하는 것은 해석 방법의 용이함뿐만 아니라 가정의 물리적 타당성으로 보아 무리가 없는 것으로 판단된다. 이러한 구조역학적 가정의 배경과 같은 맥락으로 폰툰형 초대형 구조물의 동유체력 해석에 있어서도 구조물의 출수를 무시한 소위 영출수 근사법(zero draft approximation)이 주로 채택되었다(Yago,1996, Kashiwagi,1996, 1997, 이호영,2000 신현경, 2000). 영출수 근사법은 구조물의 동유체력 해석을 위해 사용되어온 3차원 특이점 분포법에서 구조물의 출수를 영으로 하여 구조물의 침수면을 압력분포면으로 대치한 것으로 일반적인 3차원 특이점 분포법을 사용하는 것에 비해 수치적으로 간편한 것이 장점이다. 그러나 폰툰형 초대형 구조물의 설치 대상 지역이 상대적으로 천수심 해역이고 구조물의 규모를 생각할 때 구조물의 바닥과 해지면 바닥의 간섭을 고려하면 영출수 근사법의 유효성을 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다. 더욱이 상세설계 해석 단계에서는 구조물의 자체의 유탄성 응답뿐만 아니라 상대파고와 같은 국부적 응답이 하나의 중요한 설계 인자가 될 것이다.

본 연구에서는 폰툰형 초대형 구조물의 동유체력 해석에 있어 출수의 영향을 고려하여 영출수 근사법의 결과와의 차이를 살펴보았다. 동유체력 해석을 위해 고차경계요소법을 사용함으로써 예리한 모서리를 갖는 천출수 구조물의 형상효과를 수치적으로 엄밀히 고려하였다. 탄성변형은 판방정식을 사용하여 해석하였으며 모드중첩법(mode superposition method)을 이용하여 해를 구하였다. 일반화된 부가질량, 감쇠계수, 파랑기진력, 유탄성응답과 상대파고를 계산하여 영출수 근사 계산과 비교하였다. 특히 영출수 근사 계산결과가 폰툰형 초대형 구조물의 관심 대상인 천수심, 단파장 구간에서 공학적으로 보수적인 설계치를 제공하는가를 검토하였다.

2. 문제의 정식화

가. 운동방정식

길이와 폭에 비해 깊이(두께)가 매우 얇은 매트형 초대형 부유식 해상구조물의 탄성응답 거동을 기술하기 위해 다음과 같은 판 방정식을 적용한다.

$$-m\omega^2 w_R(x, y) + D\nabla^4 w_R(x, y) = p(x, y) \quad (1)$$

여기서  $m$ 은 박판의 단위면적당 질량,  $w_R(x, y)$ 은 판의 수직변위,  $\omega$ 는 운동주파수이며  $D$ 는 flexural rigidity( $\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ ),  $E$ 는 영률(Young's modulus),  $\nu$ 는 포아송비(Poisson ratio),  $h$ 는 판의 두께,  $\nabla = (\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y})$ 이다.

$p$ 는 판에 작용하는 유체 압력이다. 계류시스템의 영향을 무시하면 구조물은 물위에 떠있으므로 판구조물의 변과 모서리를 따라서 굽힘모멘트와 등가 전단력이 0이어야 한다. 따라서 다음과 같은 경계조건이 부과된다(Kashiwagi, 1997)

$$\frac{\partial^2 w_R}{\partial n^2} + \nu \frac{\partial^2 w_R}{\partial s^2} = 0 \quad (2a)$$

$$\frac{\partial^3 w_R}{\partial n^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w_R}{\partial n \partial s^2} = 0 \quad (2b)$$

식(1)을 풀기 위해 모드 중첩법을 사용하기로 한다. 따라서 판의 변위를 판의 고유모드의 선형 중첩으로 표시할 수 있다.

$$w_R(x, y) = \sum_{j=1}^{\infty} \xi_j U_j(x, y) \quad (3)$$

식(3)을 식(1)에 대입하여 정리하면,

$$\sum_j \xi_j \{ -m\omega^2 U_j(x, y) + D\nabla^4 U_j(x, y) \} = p(x, y) \quad (4)$$

$U_j$ 는 판의 고유모드 함수를 나타낸 것으로 각각  $x, y$  방향에 대해 직교성을 갖도록 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$U_j(x, y) = u_m(x) v_n(y) \quad (5)$$

$u$ 와  $v$ 는 각각  $x$ 와  $y$ 를 정규화하여 보의 고유함수를 사용하기로 한다.  $u, v$ 는 각 모드에 대해 직교성을 갖는 것이면 함수의 성격에 따라 수렴성에 차이가 있을 수는 있으나 기본적으로 어느 것을 사용해도 무방한 것으로 알려져 있다 (Newman, 1994).

$$\begin{aligned} u_0(\xi) &= \frac{1}{2} \\ u_{2m}(\xi) &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\cos x_{2m}\xi}{\cos x_{2m}} + \frac{\cosh x_{2m}\xi}{\cosh x_{2m}} \right] \\ u_1(\xi) &= \frac{\sqrt{3}}{2} \xi \\ u_{2m+1}(\xi) &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin x_{2m+1}\xi}{\sin x_{2m+1}} + \frac{\sinh x_{2m+1}\xi}{\sinh x_{2m+1}} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

$$-1 < \xi < +1, \quad \xi = \frac{x}{L/2}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

윗 식에서 고유치  $x_m$ 은 다음의 관계를 만족시키는 실근(real root)이다.

$$(-1)^m \tan x_m + \tanh x_m = 0 \quad (7)$$

식(6)의 고유함수는 다음의 성질을 갖는다.

$$\int_{-1}^{+1} u_m(\xi) u_k(\xi) d\xi = \frac{1}{2} \delta_{mk} \quad (8)$$

판 운동방정식의 해를 구하기 위해 식(4)에 고유함수  $U_j$ 를 곱하고 양변을 판에 대해 적분하는,

소위 weighted residual 방법을 사용하면 다음 형태의 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_j \xi_j \{ \omega^2 M_{ij} + K_{ij} \} &= F_i \\ &= \int \int_{SH} U_i(x, y) p(x, y) ds \end{aligned} \quad (9)$$

$$M_{ij} = m \int \int_{SH} U_i(x, y) U_j(x, y) ds \quad (10)$$

$$K_{ij} = \int \int_{SH} D U_i(x, y) \nabla^4 U_j(x, y) ds \quad (11)$$

$M_{ij}$ 와  $K_{ij}$ 는 각각 판의 질량 행렬과 구조강성 행렬을 나타낸다.  $K_{ij}$ 를 부분적분을 수행하고 식(2)의 경계조건을 대입하면 다음과 같은 형태로 귀착된다(Kashiwagi, 1997).

$$\begin{aligned} K_{ij} &= D \int \int_{SH} U_i(x, y) \nabla^4 U_j(x, y) ds \\ &= D \left[ \int \int_{SH} \nabla^2 U_i(x, y) \nabla^2 U_j(x, y) dx dy \right. \\ &\quad - (1-\nu) \int \int_{SH} \left\{ \frac{\partial^2 U_i}{\partial x^2} \frac{\partial^2 U_j}{\partial y^2} \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{\partial^2 U_i}{\partial y^2} \frac{\partial^2 U_j}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 U_i}{\partial xy} \frac{\partial^2 U_j}{\partial xy} \right\} dx dy \right] \end{aligned} \quad (12)$$

윗 식에서  $i$  모드는  $x$  방향의  $k$  모드와  $y$  방향의  $l$  모드의 조합이고  $j$  모드는  $x$  방향의  $m$  모드와  $y$  방향의  $n$  모드의 조합이다. 식(5)로부터,

$$\begin{aligned} U_i(x, y) &= u_k(x) v_l(y), \\ U_j(x, y) &= u_m(x) v_n(y) \end{aligned} \quad (13)$$

고유함수 자체는 직교성을 만족하더라도 고유함수의 미분치들에 대해서는 직교성이 보장되지 않으므로 식(12) 각각의 항에 대해 적분을 수행하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \int \int_{SH} \nabla^2 U_i \nabla^2 U_j dS &= \delta_{ij} \frac{1}{A} \left\{ \alpha^2 x_k^4 + \frac{1}{\alpha^2} x_l^4 \right. \\ &\quad \left. + \frac{4}{A} (T_{k,m} T_{l,n}) \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \int \int_{SH} \left[ \frac{\partial^2 U_i}{\partial x^2} \frac{\partial^2 U_j}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U_i}{\partial y^2} \frac{\partial^2 U_j}{\partial x^2} \right. \\ \left. - 2 \frac{\partial^2 U_i}{\partial xy} \frac{\partial^2 U_j}{\partial xy} \right] dS &= \frac{4}{A} [ T_{k,m} T_{n,l} \\ &\quad + T_{m,k} T_{l,n} - 2 S_{k,m} S_{l,n} ] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= L \cdot B, \quad a = \frac{B}{L}, \\
 i &= (k, l), \quad j = (m, n) \\
 T_{k,m} &= \int_{-1}^{+1} u'_{k,l} u_m d\xi \\
 S_{l,n} &= \int_{-1}^{+1} u'_{l,m} u'_n d\xi \quad (15)
 \end{aligned}$$

나. 고차경계요소법에 의한 동유체력 해석

일반적인 형상의 물체에 대한 유탄성응답 해석을 위해 Newman(1994)에 의한 강제운동 산란-방사 문제의 일반화 방법을 적용한다. 전체 속도 포텐셜을 방사포텐셜( $\phi_R$ )과 diffraction 포텐셜( $\phi_D$ )의 합으로 표시되며 지배방정식으로 연속방정식을 만족한다.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (16)$$

$$\phi(\vec{x}, t) = \{ \phi_R(\vec{x}) + \phi_D(\vec{x}) \} e^{-i\omega t} \quad (17)$$

단,  $\phi_D = \phi_I + \phi_S$  이며  $\phi_I$ 는 입사파 포텐셜이며  $\phi_S$ 는 산란포텐셜이다.

방사파 포텐셜은 물체의 각 운동모드 포텐셜의 선형 중첩으로 표시할 수 있다.

$$\phi_R = \sum_{j=1}^N \zeta_j \phi_j \quad (18)$$

$\phi_j$ 는  $j$  모드의 단위운동에 대한 방사포텐셜이며  $\zeta_j$ 는  $j$  모드 운동의 변위이다.

물체의 평균 침수 위치에 대해 물체 경계조건은 비투과 조건이다.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \phi_i}{\partial n} &= -i\omega n_j = -i\omega \vec{S}_j \cdot \vec{n} \\
 &\quad \text{on } SH \\
 \frac{\partial \phi_D}{\partial n} &= 0 \quad (19)
 \end{aligned}$$

$\vec{S}_j = (0, 0, U_j)$ ,  $\vec{n}$ 는 각각  $j$  모드의 형상 함수와 물체표면에서의 방향여현을 나타낸다.

비투과 바닥 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0, \quad \text{on } z = -h \quad (20)$$

선형 자유표면조건, 방사경계조건을 부과하면 경계치문제의 정식화는 완성된다. 파랑 그린함수를 사용하면 위의 조건을 자동적으로 만족하므로 결국 물체 경계조건만이 남게 된다. 이를 적분방정식의 이산화를 통해 각 모드에 대한 방사포텐셜과 산란 포텐셜을 구할 수 있다. 구해진 포텐셜로부터 일반화된 동유체력 계수 및 파랑기진력은 다음으로부터 구한다.

$$\begin{aligned}
 F_i &= \int \int_{SH} p U_i dS \\
 &= -\rho \int \int_{SH} (i\omega \phi + gz) U_i dS \quad (21)
 \end{aligned}$$

식(18)을 위 식에 대입하면,

$$\begin{aligned}
 \omega^2 a_{ij} + i\omega b_{ij} &= -i\omega \rho \int \int_{S_0} \phi_j n_i dS \\
 &= \rho \int \int_{S_0} \phi_j \frac{\partial \phi_i}{\partial n} dS \quad (22)
 \end{aligned}$$

와 같이 일반화된 부가질량 및 감쇠계수가 얻어지며

$$\begin{aligned}
 X_i &= -i\omega \rho \int \int_{S_0} \phi_D n_i dS \\
 &= -\rho \int \int_{S_0} \phi_D \frac{\partial \phi_i}{\partial n} dS \quad (23)
 \end{aligned}$$

식(23)과 같이 일반화된 파랑기진력을 구할 수 있다.

같은 방법으로 일반화된 복원력 계수는 다음과 같이 얻어진다.

$$c_{ij} = \rho g \int \int_{SH} U_i U_j dS \quad (24)$$

최종적으로 얻어지는 식은 다음과 같다.

$$\sum_j \zeta_j \{ -\omega^2 (M_{ij} + a_{ij}) - i\omega b_{ij} + c_{ij} + K_{ij} \} = X_i \quad (25)$$

위에서 정리된 식의 동유체력은 계산 효율과 수렴성이 우수한 고차경계요소법을 사용하여 다음과 같이 구한다.

그린 제2 정리에 의한 경계적분 방정식은 다음과 같다.

$$C(\vec{x}_i)\phi^i + \int_{SH} \phi G_n dS = \int_{SH} \phi_n G dS \quad (26)$$

$C(\vec{x}_i)$ 는 계산점에서의 고체각(solid angle)으로 계산점인 물체표면의 모양에 따라 0에서  $4\pi$  값을 가지며 평면인 경우  $2\pi$  값을 갖는다. 경계면 SH를 N 개의 경계요소로 분할하고 각 경계요소에서 기하학적 특성 및 물리량을 8절점 이중 2차 형상함수로 근사한다.

$$\vec{x} = \sum_{j=1}^8 N_j \vec{x}_j, \phi = \sum_{j=1}^8 N_j \phi_j, \phi_n = \sum_{j=1}^8 N_j \phi_{nj} \quad (27)$$

이를 식(29)에 적용하면 다음과 같은 8절점 고차경계요소를 이용한 이산화 적분방정식이 구해진다.

$$C(\vec{x}_i)\phi^i + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^8 \phi_k^j \left( \int_{S_j} N_k G_n dS \right) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^8 \phi_k^j \left( \int_{S_j} N_k G dS \right) \quad (28)$$

위 식은 최종적으로 다음과 같은 대수 방정식으로 귀착된다.

$$A_{ij}\{\phi_j\} = B_{ik}\phi_{nk}, \quad (j=1, ND, k=1, NDT) \quad (29)$$

$A_{ij}$ 와  $B_{ij}$  계산에 대한 자세한 내용은 Choi, Hong and Choi(2001)에 수록되어 있다.

ND는 전체 미지 절점수이며 NDT는 전체 절점수이다. 이중절점을 사용하는 경우에는  $NDT > ND$ 이며 단독절점을 사용하는 경우는  $ND = NDT$ 이다.

### 3. 수치계산 및 고찰

계산 대상은 실험치 및 비교계산 자료가 풍부한 일본의 메가플로트 제1기 구조물로 택하였다. 해석시 흡수영향을 살펴보기 위해 설계흡수(0.5m)이 외에 임의의 4개 흡수를 추가로 선택하였다. 수심은 설계수심(8m), 모형시험 수심(58.5m), 무한수심 3가지를 고려하였다. 본 계산에서는 영흡수 근사결과와의 차이를 살펴보기 위해 구조강성은 흡

수변화에 대해 변하지 않는 것으로 가정하였다. 구조물의 주 제원은 다음과 같다.

Length(L) :	300m
Breadth(B):	60m
Draft(d):	0.01, 0.25, 0.5, 1.5, 3m
Flexural rigidity:	8.87E+09 KN-m
Number of modes:	42 in longitudinal modes, 10 in lateral modes
Element size:	$\Delta x/L = \Delta y/L = 1/20,$ $1/40, 1/60, \Delta z/d = 1$
Water depth:	8m, 58.5m, infinite depth
Wave length / L :	0.05 - 1.0
Wave incidence angle:	0 - 90 degrees

좌표계의 정의는 아래 그림과 같다.

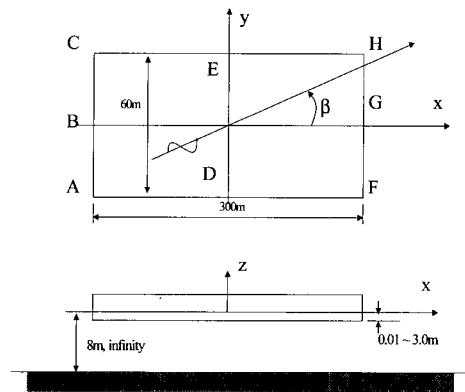


Fig. 1 Coordinate system

흡수 영향 고찰에 앞서 먼저 개발된 해석프로그램의 검증에 위해 유탄성응답을 Yago and Endo(1996)의 실험치와 비교하였다.

Fig. 2에는 파장비가 0.2와 0.4인 경우 파입사각이 0도일 때의 유탄성응답을 나타내었다. 그림에 나타난 것 처럼 실험치와의 일치도가 매우 우수함을 알 수 있다. 본 계산은  $\Delta x/L = 1/60$ 을 사용한 결과이며 Fig. 3에서 볼 수 있는 것과 같이 파장 당 4개 정도의 요소 ( $\Delta x/L = 1/40$ )를 사용하면 상대파고와 같은 국부응답의 결과도 만족할 만한 수렴도를 주었다. Fig. 4에는 수심변화에 따른 동유체력계수의 수렴성을 나타내었다. 모드는 종방향으로 2차모드이며 횡방향으로는 0차모드이다.

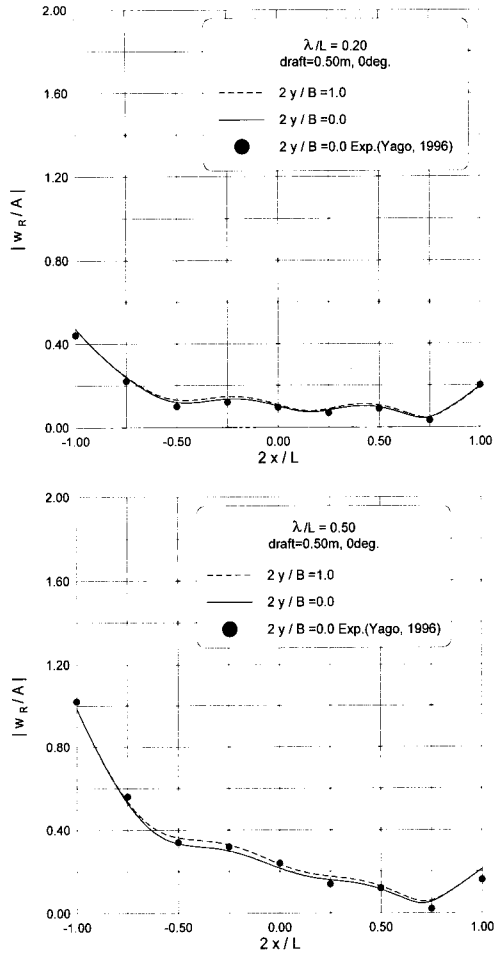


Fig. 2 Comparison of hydro-elastic responses ( $\lambda/L = 0.2, 0.5$ )

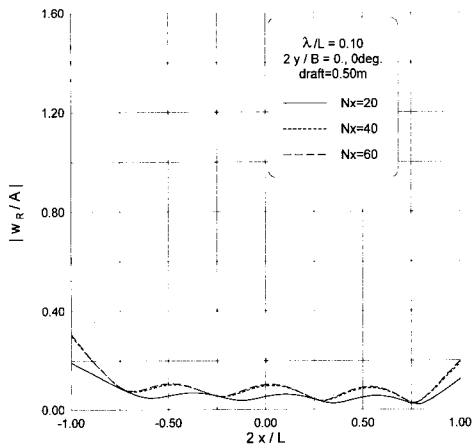


Fig. 3 Convergence property of hydro-elastic response and relative wave along waterline

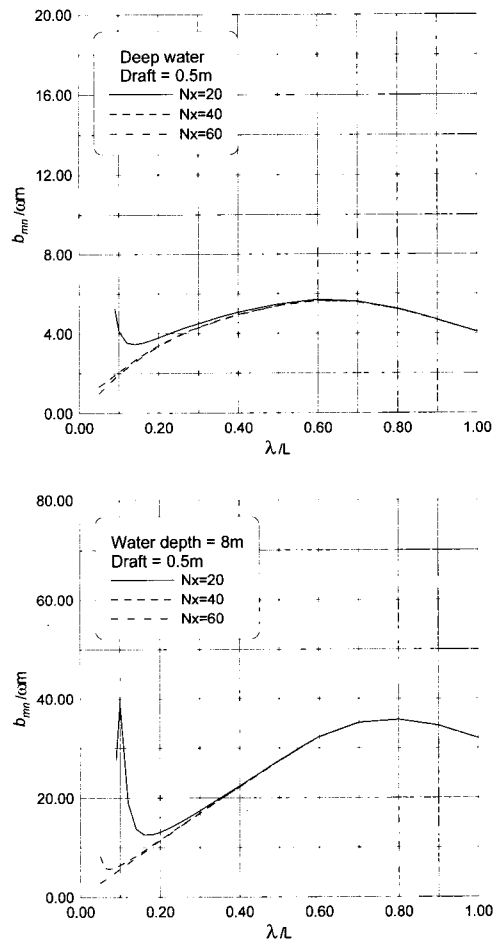


Fig. 4 Convergence property of damping coefficients for change of water depth ( $m=2, n=0$ , see Eqs. 4 & 5)

수심이 다른 경우의 수렴특성은 주파수보다는 파장에 더 관계가 있으므로 수심 8m와 무한수심에 대한 동일 파장비에 대해 비교하였다. 천수심인 경우에는 해저면 바닥과의 상호작용으로 인해 무한수심에 비해 수렴도가 많이 떨어질 것으로 예상했으나 파장비 0.1까지는 수심에 관계없이 파장당 4개의 8점 고차경계 요소로 거의 수렴된 값을 얻을 수 있었다.

흡수영향의 검토는 두가지 측면으로 수행되었다. 폰툰형 구조물의 유탄성응답 해석에 있어 많은 경우 실제 흡수가 무시되고 따라서 구조물 측벽과 선저가 이루는 모서리의 영향이 고려되고 있지 못한데 이를 고려하는 경우의 동유체력, 유탄성응답, 상대파고파가 그렇지 않은 경우와 비교하여 어떤 차이가 있으며 공학적으로 더 보수적인 예측치를 주는가를 살펴보는 것이고 또 하나는 실제로 흡수가 변화하면 유탄성응답 특성이 어떻게 변화하는가를 살펴보는 것이다.

Fig. 5에는 수심 8m인 경우 여러 가지 흡수 변화에 대한 일반화된 부가질량계수와 감쇠력계수 ( $m=2, n=0$ )를 나타내었다. 무차원화는 흡수 0.5m인 경우의 질량을 기준으로 하였으며 흡수 0.01m의 결과는 영흡수 근사값으로 사용하였다.

부가질량은 흡수 0.5m까지는 흡수증가에 따라 부가질량이 큰 차이를 나타내지 않으나 흡수 1.5m부터는 그 차이가 눈에 띄게 나타나고 있다.

그림에서는 흡수 증가에 따라 부가질량이 증가하는 것으로 나타나지만 흡수에 비례한 구조물의 실제 질량으로 환산하면 흡수가 커지면서 부가질량은 상대적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 부가질량이 흡수변화에 따라 거의 모든 주파수구간에서 증가 또는 감소하는 경향을 보이는 것에 반해 감쇠계수는 실제 흡수를 고려하는 경우에 모드에 따라 특정 파장비를 중심으로 장파구간에서는 증가하고 단파구간에서는 감소하는 경향을 보이고 있다.

무한 수심의 경우에는 흡수가 증가하면서 부가질량과 감쇠계수가 전반적으로 감소하였다(Fig. 6). 흡수변화에 따른 구조물의 실제 질량을 고려한 경우로 생각하면 흡수가 증가하면서 부가질량과 감쇠계수는 감소하며 그 감소폭은 수심이 낮아

지면서 줄어드는 것을 알 수 있다. 일반화된 파랑 가진력은 감쇠계수와 같은 경향을 나타내었다.

Fig. 7에는 수심 58.5미터에서 파장비 0.1과 0.5인 경우에 대한 유탄성응답 해석결과를 나타내었다. 파장비 0.5인 비교적 장파 구간에서는 수심 변화에 따라 큰 차이를 나타내지 않고 있으나 파장비 0.1인 단파장 구간에서는 흡수를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 차이가 뚜렷이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 중요한 것은 흡수가 0.5m인 경우에도 흡수를 고려한 경우와 영흡수 근사법을 사용한 경우의 차이가 상대적으로 약 40% 가까이 나타나고 있으며 흡수를 고려한 경우의 유탄성응답이 더 크게 나타나는 점이다.

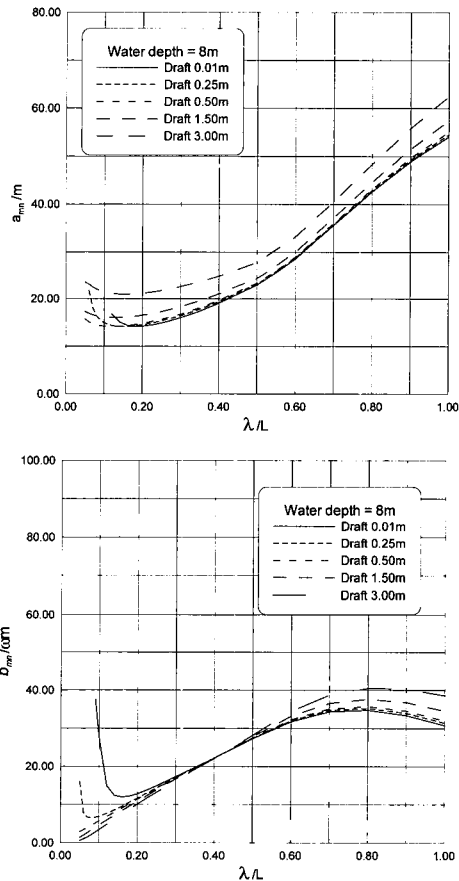


Fig. 5 Behaviors of added mass and damping coefficients for various draft scantlings in shallow water( $m=2, n=0$ , see Eqs. 4 & 5)

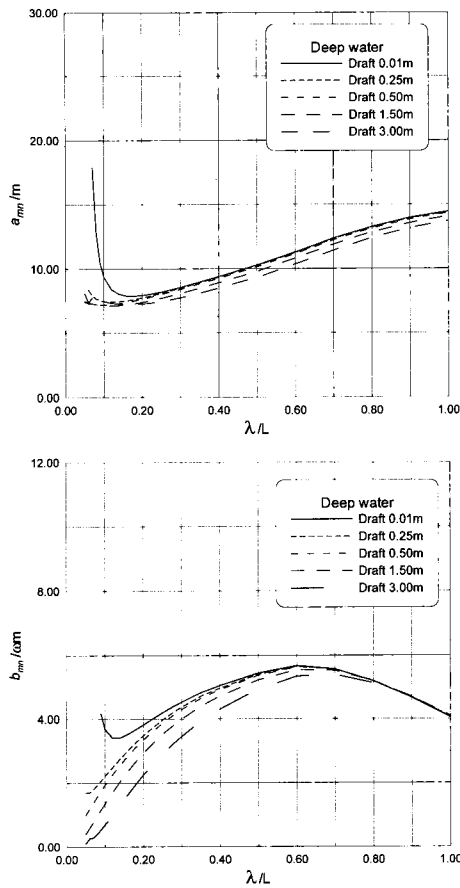


Fig. 6 Behaviors of added mass and damping coefficients for various draft scantlings in deep water(m=2, n=0)

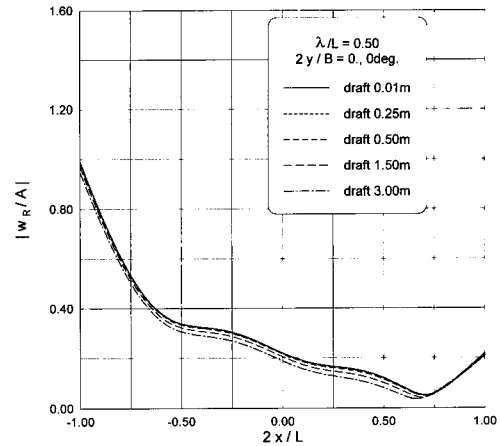
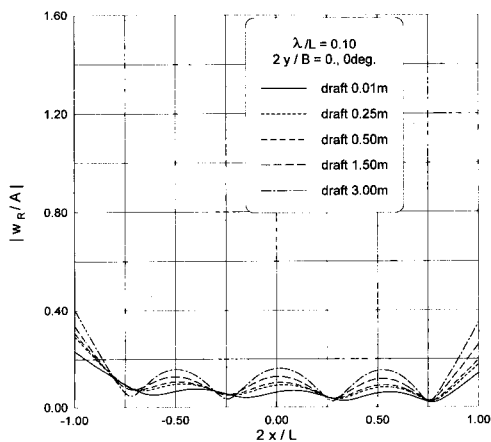


Fig. 7 Behaviors of hydro-elastic responses for various draft scantlings

이는 영흘수 근사법으로 유탄성응답을 해석하는 경우에는 실제 폰툰형 초대형 해상구조물의 설치 예상 해역인 천수심에서 해상파 에너지가 집중되어 있는 단파장 구간일 때 실제 응답보다 과소평가할 수 있다는 것을 의미한다.

Fig. 8에는 선수부 중앙에서의 상대파고를 입사 파장비 변화에 대해 흘수변화 영향을 나타내었다. 상대파고( $\eta_r$ )는 구조물의 유탄성응답 범위에서 입사파, 산란파, 방사파를 빼줌으로써 구한다.

$$\eta_r = w_R - \eta_I - \eta_R - \eta_D$$

$$\eta_{I,D,R} = \frac{i\omega}{g} \phi_{I,D,R}$$

파장비 0.25까지는 실제 흘수를 고려한 영향이 뚜렷이 나타남을 볼 수 있으며 흘수를 고려하는 경우 상대파고가 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 9에는 파장비 0.1인 경우 파입사각 변화에 따른 구조물 측면 수선에서의 상대파고 분포를 나타내었다. 흘수 증가에 비례하여 상대파고의 수준이 증가하는 것을 볼 수 있으며 파향이 구조물의 측면으로 입사하는 경우에는 흘수의 영향이 더 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 유탄성 응답에서와 마찬가지로 상대파고 예측에 있어서 흘수의 영향을 제대로 고려하여야 함을 보여주는 것이다.



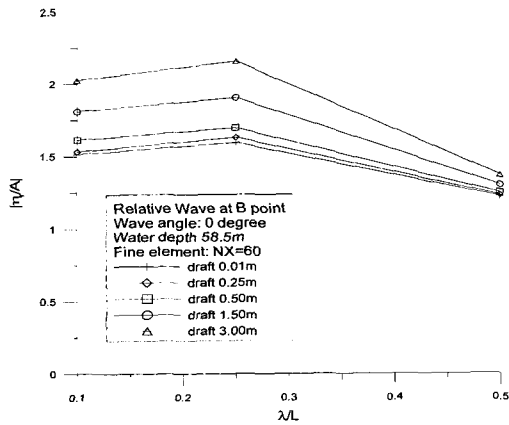


Fig. 8 Relative wave at B point for draft changes

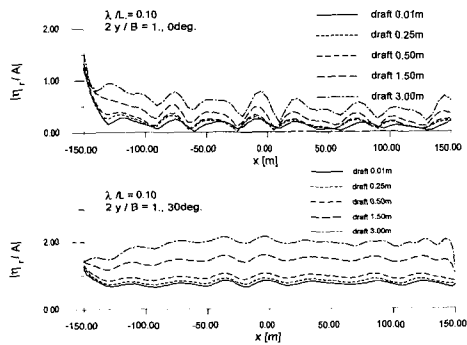


Fig. 9 Behaviors of relative wave response along weather side waterline for various draft scantlings ( $\lambda/L=0.1$ , wave incidence = 0, 30 degrees)

Fig. 10에는 선체운동응답 해석에 있어 상대파고 계산에 일반적으로 쓰이는 방사파와 산란파의 영향을 무시한 경우와 방사파와 산란파의 영향을 고려한 본 논문의 방법에 의한 결과를 비교하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 방사파와 산란파의 영향을 무시한 경우에는 선수부에서는 오히려 과소평가되고 선미부에서는 비현실적으로 과대평가되는 등 수치적으로 부정확한 결과를 보여주는 것을 알 수 있다. 폰툰형 초대형 해상구조물은 주로 천수심에 설치가 예상되므로 천수수 구조물이라도 산란파의 영향이 매우 중요하므로 상대

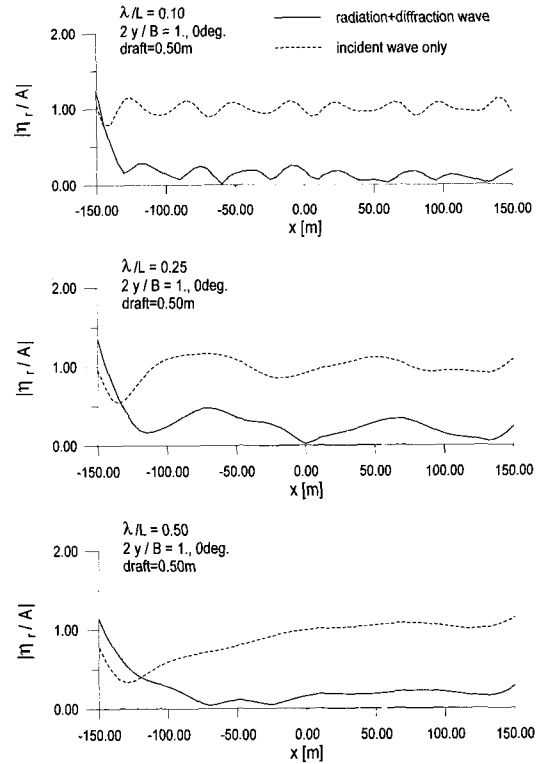


Fig. 10 Effects of diffraction and radiation wave on relative wave

파고 예측에 있어서 산란파의 영향이 반드시 고려되어야 한다.

#### 4. 결론

고차경계요소법을 사용하여 폰툰형 구조물의 흡수 효과를 고려한 유탄성응답을 해석하였다. 수치 해석 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폰툰형 초대형 구조물은 구조적 관점에서는 박판으로 취급이 가능하나 천수심, 단파장 구간에서는 동유체력 해석에 있어 흡수를 포함한 실제 형상을 고려한 해석이 필요하다. 영흡수 근사법을 사용하는 경우에는 흡수가 커지면 천수에서 동유체력 계수를 과소 평가할 수 있으며 결과적으로는 단파장 구간에서 유탄성응답을 과소 평가하게 된다. km 규모의 초대형 구조물에 있어 일반적인

해상파의 주기는 파장비 0.10이하의 단파장 구간에 속하므로 출수 영향의 고려는 반드시 필요하다.

2. 상대파고와 같은 국부응답에 있어서도 출수의 영향을 무시하면 상대파고가 과소평가된다. 상대파고 추정에 있어 방사파와 산란파의 영향이 무시되면 비현실적인 상대파고 예측치를 주게 된다.

3. 본 논문에서는 출수의 영향을 선형 동유체력 계수와 유탄성응답에 대해서만 고찰하였으나 파랑 표류력과 같은 비선형 유체력에 미치는 영향의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 이호영, 신현경, 신현수, 박인규, 2000, "압력분포법에 의한 초대형 부유식 해양구조물의 유탄성 해석", 조선학회논문집 제37권 제4호, pp.66-74.
- 심인환, 윤재돈, 최항순, 1998, "사파중에 놓인 거대 부유체의 응답에 대한 유탄성 해석", 조선학회논문집 제36권 제3호, pp.66-74.
- 신현경, 이호영, 신현수, 박인규, 2000, "초대형 부유식 해양구조물의 유탄성 응답에 대한 해석 방법", 한국해양공학회지 제14권 제2호, pp.19-27.
- 윤재돈, 최항순, 1996, "거대 부유식 해양구조물의 유탄성 거동에 대한 기초연구", 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp.125-128.
- 신현경, 2001, "VLFS 국내외 기술개발 현황", 2001 부산해역의 미래개발을 위한 심포지엄, pp.9-28.
- Choi, Y.R., Hong, S.Y. and Choi, H.S., 2001, "An Analysis of Second-Order Wave Forces on Floating Bodies by Using a Higher-Order Boundary Element Method", Ocean Engineering, Vol. 28 No.1, pp.117-138.
- Hong, S.Y., Choi, Y.R., Kim, D.J. and Kim, M.H., 1999, "Responses of a Barge-Mounted Platform in Waves and Currents", Int. J. of Offshore and Polar Engineers, Vol.9, No.4.
- Kashiwagi, M., 1996, "A B-Spline Galerkin Method for Computing Hydroelastic Behaviors of a Very Large Floating Structure", Proc Intl Workshop on Very Large Floating Structures, Hayama, pp.149-156.
- Kashiwagi, M., 1997, "A B-Spline Galerkin Scheme for Computing Wave Forces on a Floating Very Large Elastic Plate", Proc 7th Intl Offshore and Polar Eng Conf, Honolulu, Vol 1, pp.229-236.
- Kashiwagi, M., 1999, "Research on Hydroelastic Response of VLFS: Recent Progress and Future Work", Proc. 9th ISOPE, Vol. 1, pp.17-26.
- Newman, J.N., 1994, "Wave effects on deformable bodies", Applied Ocean Research, 16, pp.47-59.
- Yago, K. and Endo, H., 1996, "On the Hydroelastic Response of Box-Shaped Floating Structure with shallow Draft", J Soc Nav Archit Japan, Vol 180, pp.341-352
- Yoon, J.D., Sim, I.H. and Choi, H.S., 1997, "An Analysis of the Hydroelastic Behavior of Large Floating Structures, 16th OMAE, Vol. 6, pp.115-121.



< 홍 사 영 >



< 최 윤 락 >



< 홍 석 원 >