

해저 지형을 고려한 초대형 부유체의 유탄성 거동 해석

경조현^{†*}, 김병완^{*}, 조석규^{*}, 홍사영^{*}

한국해양연구원 해양시스템안전연구소^{*}

Numerical Study on the Hydroelastic Response of the Very Large Floating Structure Considering Sea-Bottom Topography

Jo Hyun Kyoung^{†*}, Byoung Wan Kim^{*}, Seok Kyu Cho^{*} and Sa Young Hong^{*}

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering(KRISO),KORDI^{*}

Abstract

A numerical method is developed for the hydroelastic response of the Very Large Floating Structure considering the sea-bottom topography. The sea-bottom effects on the hydroelastic response of the floating structure is studied. The sea-bottom topography should be considered when the floating structure is constructed near the shore. To investigate the sea-bottom effects, four different sea-bottom topographies are considered in this study. Finite-element method based on the variational formulation is used in the fluid domain. The pontoon-type floating structure is modeled as the Kirchhoff plate. The mode superposition method is adopted for the hydroelastic behavior of the floating structure.

※Keywords: Hydroelastic response(유탄성 거동), Sea-bottom topography(해저 지형), Very large floating structure(초대형 부유 구조물), Finite-element method(유한 요소법)

1. 서론

비좁은 국토를 가지고 있으면서 대부분의 인구가 해안 연안지역에 밀집해있는 우리나라와 같은 경우에는 국토의 효율적인 발전을 위해서라도 해양 공간을 적극적으로 이용하는 것에 대한 필요성이 증가하

고 있다.

특히 해양공간의 효율적인 이용을 위해 거대 부유 구조물을 사용하는 방법은 기존의 매립 공법에 비해 환경문제, 건설의 용이점, 그리고 건축 공기의 단축 등 여러가지 장점 때문에 최근 들어 많은 주목을 받고 있다. 이러한 초대형 구조물은 기본적으로 해안에서 가까운 정온지역에 설치되어야하므로 구조물의 유탄성 응답을 해석하는데 있어서는 해안 지형을 고려하는 것이 중요하다. 해안 지역에서 넓은 영역에 걸쳐 평탄한 해저 지형이 분포되어있는 경우는

접수일: 2005년 3월 3일, 승인일: 2005년 4월 28일

† 주저자, E-mail: johyun@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7522

매우 드물다. 그러나 대부분의 선행 연구들에서는 평평한 해저 바닥 위에 놓인 일정한 강성을 가지는 초대형 부유체의 유탄성 거동(Kashiwagi 1998, Kashiwagi 1999, Watanabe et al. 2004)을 살펴보거나, 여러 가지 입사파에 대한 유탄성 거동 특성(심인환 등1999, 홍사영 등 2003b)을 고찰하는데 그치고 있다. 일반적으로 초대형 부유식 구조물은 길이나 폭에 비해 두께가 매우 얇기 때문에 박판이론에 근거한 여러 가지 방법으로 문제를 해석하고 있다. 최근의 국내 연구를 해석 방법별로 살펴보면 모드중첩법(경조현 등 2004), 고유함수 전개법(홍사영 등 2003a), 직접법(김병완 등 2004) 등이 있다. 최윤락 등(2001), 이동환 등(2001)은 시간영역에서 초대형 부유구조물의 동적 응답특성을 해석하였다. 이호영 등(2000, 2001, 2002)은 고정식 방파제를 포함한 초대형 부유식 해상공항의 파도 중에서의 유탄성 응답 특성을 해석하였다. 홍사영 등(2002)은 모드중첩법을 이용한 고차경계 요소법으로 출수효과를 고려한 초대형 부유체의 유탄성 응답 특성을 해석하였다.

일반적으로 초대형 부유 구조물의 유탄성 거동을 해석하는 방법으로는 그린함수를 이용한 경계 요소법이 주로 사용되어왔다. 그러나 경계 요소법으로 해저 지형을 고려하려면 모든 해저경계면과 물체 경계면 그리고 자유표면 등을 격자화해야 한다. 경계 요소법은 일반적으로 미지수의 개수가 N 이라고 했을 때 αN^2 정도의 계산 메모리를 요구한다. 또한 행렬 해석 방법에 따라 차이는 있지만 대략 αN^2 또는 αN^3 의 해석 시간을 요구한다. 따라서 해저 지형을 고려하는 문제에 대하여 지금까지 사용되어 온 일반적인 경계 요소법을 사용하는 것은 다소 비효율적이다.

이러한 수치적인 어려움을 해결하기 위해, Shirashi et al.(2002) Iijima and Shirashi(2002)는 Two Step Method(VLFS와 지형간의 상호 간섭 효과가 작다는 가정에서 출발하여, 첫 단계에서는 VLFS없이 해저면 효과를 고려한 파랑문제를 해석하고 다음 단계에서는 전 단계에서 해석된 파랑으로 VLFS의 거동을 해석하는 방법)라는 방법을 사용하여 거대 부유 구조물의 유탄성 거동을 해석하고, 이를 실험값과 비교하였다. Murai et al.(2003)는 고유

함수 전개법을 이용하여 매우 간단한 해저지형에 대한 거대 부유구조물의 유탄성 응답을 해석하는 방법을 제안했다. 홍사영 등(2003a)은 고유 함수 전개법을 이용하여 초기 설계단계에서 폰튼형 초대형 구조물의 출수, 방파제 및 연안, 안벽의 효과를 고려할 수 있는 유탄성 응답 해석법을 제안하였다. Utsunomiya et al.(2001)는 수치적인 방법으로 Fast Multipole Method (FMM)을 이용하여 해저 지형을 고려한 초대형 부유체의 유탄성 거동을 해석하였다. Utsunomiya Watanabe(2002)는 기존의 FMM방법에 고차 경계 요소법(Higher-Order Boundary Element Method: HOBEM) 적용하여 해석의 정도를 높였다. 한편, Bai et al.(2001)는 국소 유한 요소법을 사용하여 항만 내에 설치되어있는 초대형 구조물의 유탄성 응답을 효율적으로 해석하였다.

본 연구에서는 임의의 해저 지형위에 설치되어 있는 초대형 부유 구조물의 유탄성 거동을 해석하기 위한 수치해법을 개발하였다. 임의의 해저 지형을 갖는 유체영역을 엄밀하게 해석하기 위해 변분법에 근거한 유한 요소법을 사용하였다. 또한 초대형 구조물의 운동 해석을 위해 거대 부유체의 고유 모드를 중첩하는 고유 모드 중첩법을 사용하였다. 4가지의 서로 다른 해저 지형의 경우와 3가지의 서로 다른 평균 수심에서 초대형 구조물의 유탄성 응답의 변화를 고찰하였다. Yago and Endo(1996)의 실험값과 수치해의 비교를 통해 개발된 수치 해법을 검증하였다.

2. 수학적 정식화

해석을 용이하게 하기위해 초대형 부유 구조물을 폰튼형 평판 구조물로 가정한다. 구조물의 길이, 폭, 두께는 각각 L , B , h 으로 둔다. 평판은 일정한 밀도(ρ)를 갖는 비점성 유체위에 자유로이 부유해있다고 가정한다. 평판은 두께가 매우 얇은 사각형 모양의 Kirchhoff 평판으로 가정한다. Fig. 1은 해석 영역과 주요 치수를 보여준다.

두께가 얇은 평판의 수직 변위 운동에 대한 지배 방정식은 아래와 같이 나타내어진다.

$$DV^4\eta - m\omega^2\eta = p(x, y). \quad (1)$$

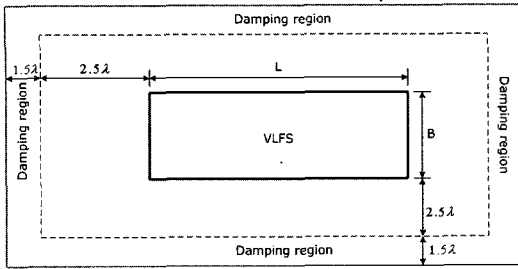


Fig. 1 Definition of the computation

여기서 m 은 평판의 단위 면적당 질량이며, η 는 수직변위, $D(x, y) (= Eh^3/12(1-\nu^2))$ 는 flexural rigidity, E 는 Young's modulus, ν 는 Poisson 비, $h(x, y)$ 는 평판의 두께이다.

$\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$, $p(x, y)$ 는 평판에 작용하는 압력이다. 평판은 수면위에 자유로이 부상해있으므로 평판의 끝단에 걸리는 굽힘 모멘트와 전단력은 없어야한다는 경계조건으로부터 다음과 같은 관계식이 주어진다.

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

평판의 수직변위 변형은 평판의 고유 모드가 알려져 있다면 다음과 같이 평판의 고유 모드들의 합으로 나타낼 수 있다.

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

여기서 ξ_j 는 평판의 고유 모드인 U_j 에 대응하는 복소 계수이다. 그러나, 일반적인 평판의 고유 모드 U_j 는 알려져 있지 않으므로, Kasiwagi(1998,1999)의 경우에서와 같이 보의 고유 모드들의 선형합으로 표시하도록 한다. 각각의 고유 모드들 사이의 독립성 및 직교성에 의해 다음과 같이 각각 x, y 방향의 곱으로 평판의 고유 모드를 나타내기로 한다.

$$U_j(x, y) = u_m(x) v_n(y) \quad (4)$$

이때 각 방향의 고유함수(u_m, v_n)는 양단의 모멘트와 전단력이 없는 보의 고유함수로서 다음과 같이 얻어질 수 있다. 단 m, n 은 각각 x, y 방향의 고유모드 개수이다.

$$u_0(\xi) = \frac{1}{2}, \quad u_1(\xi) = \frac{\sqrt{3}}{2} \xi,$$

$$u_{2m}(\xi) = \frac{1}{2} \left[\frac{\cos \chi_{2m} \xi}{\cos \chi_{2m}} + \frac{\cosh \chi_{2m} \xi}{\cosh \chi_{2m}} \right], \quad (5)$$

$$u_{2m+1}(\xi) = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin \chi_{2m+1} \xi}{\sin \chi_{2m+1}} + \frac{\sinh \chi_{2m+1} \xi}{\sinh \chi_{2m+1}} \right],$$

단, $-1 \leq \xi \leq 1$.

이때 고유치인 χ_m 은 다음 관계식을 만족하는 실수근이다.

$$(-1)^m \tan \chi_m + \tanh \chi_m = 0 \quad (6)$$

3. 동역학적 유체력

유체는 비압축성, 비점성이며, 유동은 비회전성이라고 가정한다. 따라서 지배방정식은 라플라스 방정식이다. 표면 장력은 무시한다. 좌표계로는 직각 좌표계가 사용되었다. z 축은 중력 가속도의 방향과 반대이며, x, y 평면은 유동이 없을 때, 자유표면과 일치한다.

입사파의 파고(A)는 파장(λ)에 비해 매우 작다고 가정한다. 따라서 유체장 해석에서 선형 이론을 적용할 수 있다. 유체장(Ω)내에서의 지배방정식과 자유표면 조건, 그리고 물체 경계 조건과 바닥 경계면 조건을 요약하면 다음과 같다.

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

$$\partial \phi / \partial n - K \phi = 0, \quad K = \omega^2 / g \quad \text{on } S_F, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad \text{on } S_{\text{bottom}}. \quad (9a)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = V_n \quad \text{on } S_B \quad (9b)$$

여기서 g 는 중력가속도, ω 는 입사파의 주파수,

S_f 는 자유표면, S_B 는 물체 경계면 그리고 S_{Bottom} 는 해저경계면이다. V_n 은 물체경계면에서의 법선 방향 속도 성분이다. 선형화된 자유 표면과 문제에서는 일반적으로 복소 속도 포텐셜 함수 ϕ 는 방사 속도 포텐셜 ϕ_R 과 분산 속도 포텐셜 ϕ_D 로 다음과 같이 분리될 수 있다.

$$\phi(X,t) = \{\phi_R(X) + \phi_D(X)\} e^{-i\omega t} \quad (10)$$

여기서 $X = X(x, y, z)$ 이며, $i = \sqrt{-1}$ 이다. 이때 초대형 부유체의 고유모드 운동에 대응하는 방사 속도 포텐셜 함수는 다음과 같이 나타내어질 수 있다.

$$\phi_R = \sum_{j=1}^N \zeta_j \phi_j \quad (11)$$

여기서 ϕ_j 는 j 번째 고유 모드에 해당하는 방사 포텐셜이며, ζ_j 는 j 번째 고유 모드에 해당하는 방사 포텐셜의 복소 계수이다. j 번째 고유 모드(U_j)에 해당하는 방사 포텐셜에 대한 물체 경계 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \phi_{R_i}}{\partial n} = V_n = -i\omega U_j \text{ on } S_B \quad (12)$$

한편 분산 포텐셜 ϕ_D 는 입사 포텐셜 ϕ_I 와 산란 포텐셜 ϕ_S 로 나누어질 수 있다.

$$\frac{\partial \phi_D}{\partial n} = \frac{\partial \phi_I}{\partial n} + \frac{\partial \phi_S}{\partial n} = 0 \quad (13)$$

이때 선형화된 자유표면 조건을 만족하는 입사파 포텐셜은 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_I = \frac{Ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+H)}{\cosh kH} e^{ik(x \cos \theta + y \sin \theta)} \quad (14)$$

여기서 입사파의 파장과 주파수는 유한 수심에서의 분산 관계식 $\omega^2 = gk \tanh kH$ 를 만족한다. 입사파의 진폭 A는 단위 진폭으로 두었다. 평균 수

심은 H 로 나타내었으며, θ 는 양의 x 축과 이루는 입사각을 말한다. 식(7), (8), (12) 그리고 (13)으로 주어지는 경계치 문제를 풀면 부가질량 계수와 감쇠 계수 그리고 외력이 다음의 관계식에 의해 구해지게 된다.

$$\omega^2 a_{ij} + i\omega b_{ij} = \rho \iint_{S_B} \phi_j \frac{\partial \phi_i}{\partial n} dS, \quad (15)$$

$$X_i = -i\omega \rho \iint_{S_B} \phi_D n_i dS, \quad (16)$$

$$C_{ij} = \rho g \iint_{S_B} U_i U_j dS. \quad (17)$$

최종적으로 평판의 운동방정식은 위 식에서 구해진 계수들로부터 다음과 같이 나타내어진다.

$$\sum_j \zeta_j \{-\omega^2 (M_{ij} + a_{ij}) - i\omega b_{ij} + C_{ij} + K_{ij}\} = X_i \quad (18)$$

여기서 질량 행렬과 강성 행렬은 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$M_{ij} = m \iint_{S_B} U_i(x, y) U_j(x, y) dS, \quad (19)$$

$$K_{ij} = \iint_{S_B} D U_i(x, y) \nabla^4 U_j(x, y) dS. \quad (20)$$

4. 유한요소해법

임의의 해저 지형에 대한 초대형 부유체의 유탄성 거동을 수치적으로 해석하기 위해 변분법에 근거한 유한 요소법을 사용하였다. 문제에 대응하는 범함수는 다음과 같은 식으로 표시될 수 있다.

$$J = \frac{1}{2} \iiint_{\Omega} \nabla \phi \cdot \nabla \phi d\Omega - \frac{K}{2} \iint_{S_f} \phi^2 dS - \iint_{S_B} V_n \phi dS \quad (21)$$

위의 범함수를 변분하면, 식(7), (8) 그리고 (9)에 의해 얻어지는 본래의 경계 방정식을 얻을 수

있다. 문제를 해석하기 위해 식(21)을 변분하여 정류치를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \iiint_{\Omega} \nabla \phi \cdot \nabla \delta \phi d\Omega - K \iint_{S_f} \phi \delta \phi dS \\ & = \iint_{S_B} V_n \delta \phi dS \end{aligned} \quad (22)$$

한편 유한요소법을 이용하는 수치해법에서는 해석 영역을 유한개의 요소로 나누어 계산하게 된다. 시험 함수에 대한 기저 함수는 각각의 요소별로 부분 연속인 다항함수로 표시한다. 만약 각각의 요소 내에서 기저함수인 ϕ 가 다항 함수 N_j 으로 나타내어질 수 있다면, 시험 함수는 다음의 식과 같이 표현이 가능하다.

$$\phi^e = \sum_{j=1}^n \phi_j^e N_j^e \quad (23)$$

유한 시험함수 공간상에 정의된 임의의 시험 함수를 식(22)로 주어지는 변분식에 대입하여 정리하면, 다음과 같이 최종적으로 구해야할 선형 대수 방정식이 얻어지게 된다.

$$\begin{aligned} & \left\{ \iiint_{\Omega} \nabla N_i \cdot \nabla N_j d\Omega - K \iint_{S_f} N_i N_j dS \right\} \phi_j^e \\ & = \iint_{S_B} V_n N_i dS \end{aligned} \quad (24)$$

유한 요소법에 의해 얻어진 선형 대수 방정식은 대각 지배 행렬이 된다. 얻어진 대각 지배 행렬의 해를 효율적으로 구하기 위해서 유한 요소법에서 자주 쓰이는 기동 해법을 사용하였다. 해저지형을 해석하는 경우처럼 미지수의 개수가 매우 많을 경우에는 유한 요소를 이용한 방법이 기존의 경계 요소법에 비하여 요구되는 메모리나 해석 시에 소요되는 시간에서 볼 때 다소 유리한 점이 있다.

한편, 수치기법 적용 시 모든 영역을 해석할 수 없기 때문에 적절한 부분에 방사 경계면을 두게 된다. 본 연구에서는 방사 경계면에 감쇠 영역을

설치하여 방사 경계면으로부터의 반사파 영향을 최소화하였다. 방사 경계면에 적용된 감쇠 기법으로는 선형화된 자유 표면파의 분산 관계식이 감쇠 영역 내에서 유지되도록 하는 감쇠 기법을 적용하였다(Kim and Yue 2003). 이렇게 해서 얻어진 감쇠 영역에서의 조건식은 다음과 같다.

$$\phi_z = \frac{\omega^2}{g} \left[1 + i \left(\frac{\mu_1}{\omega} + i \left(\frac{\mu_1}{2\omega} \right)^2 \right) \right] \phi \quad (25)$$

감쇠 영역 μ_1 은 반사파의 영향을 최소화하기 위해서 다음과 같은 방식으로 주어졌다.

$$\mu_1 = (\beta + 1) \mu_0 \frac{(r - r_0)^\beta}{\gamma^{\beta + 1}} \quad (26)$$

여기서 β 는 감쇠 영역에 사용된 다항 함수의 차수를 의미하며, γ 은 감쇠 영역의 길이, r_0 은 감쇠 영역이 시작하는 곳의 위치 그리고 μ_0 감쇠 영역에 해변효과의 강도(beach intensity)를 의미한다. 본 연구에서는 μ_0 값으로 8π 을 택했으며, β 값으로는 2를 취하였다.

5. 결과 및 토론

개발된 수치해의 검증을 위해서 Yago and Endo(1996)에 의해 수행된 초대형 부유 구조물의 유탄성 거동 실험 결과와 비교를 하였다. 입사파는 양의 x 축과 나란하게 입사한다고 가정한다. 실험값과의 비교를 위해 바닥 지형은 평평하다고 가정한다. 실험과 수치 실험에 사용한 주요 치수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L &= 300m, B = 60m, Draft = 0.5m, \\ H(\text{Water depth}) &= 58.5m, 30m, 15m \\ D(\text{Flexural rigidity}) &= 8.75E+09 N-m, \\ \text{Number of mode : } N_x &= 42, N_y = 10 \end{aligned}$$

유체 영역은 모두 95,400개의 미지수를 가지

며 유한 요소로는 75,116개를 갖는다. 격자 간격은 수평방향으로 6m 간격으로 차분하였다. 한편 수직 방향으로는 코사인 간격 배정법으로 바닥에서 수면으로 올수록 조밀해지는 격자계를 도입하였다. 방사 경계면에서는 감쇠 영역을 자유 표면에 분포시켰다. 감쇠 영역은 입사파의 파장에 따라 달라지며, 입사파의 파장에 4배에 달하는 지역을 감쇠 구역으로 두었다. 감쇠 함수의 변화는 입사파 파장의 1.5배되는 부분부터 방사 경계면까지 2차 곡선으로 변화도록 감쇠 계수를 조정하였다. 최종적으로 얻어진 선형 대수 방정식은 기동 해법을 통해서 해석하였다. 한 가지 경우에 대하여 문제를 해석하는데 3GHz급의 펜티엄 프로세서를 가진 개인 컴퓨터로 약 1시간 가량의 계산 시간이 소요되었다.

Fig. 2 와 Fig. 3은 본 연구 방법으로 계산한 수치해와 Yago and Endo(1996)에 의해 얻어진 실험 데이터와의 비교 그림이다. Yago and Endo(1996)는 수심이 58.5m인 경우에 한하여 실험을 수행하였다. 유탄성 거동 비교는 거대 부유체의 중심선을 따라 x 방향으로 이루어졌다. Fig. 2는 입사파와 부유체 길이의 비가 0.4인 경우이며, Fig. 3은 길이가 0.5인 경우이다. 원으로 표시된 것은 실험 데이터를 의미하며, 실험 데이터는 마찬가지로 물체의 중앙선을 따라 x 방향으로

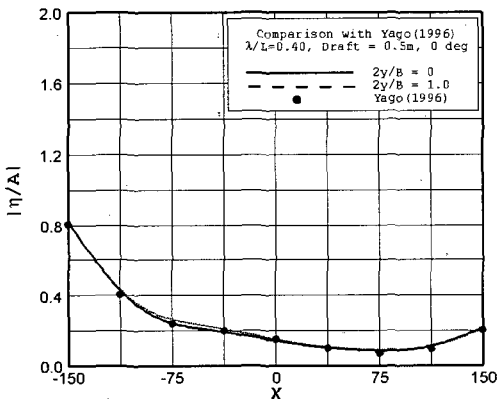


Fig. 2 Comparison of hydroelastic responses in case of flat bottom when $\lambda/L=0.4$ and $H=58.5m$.

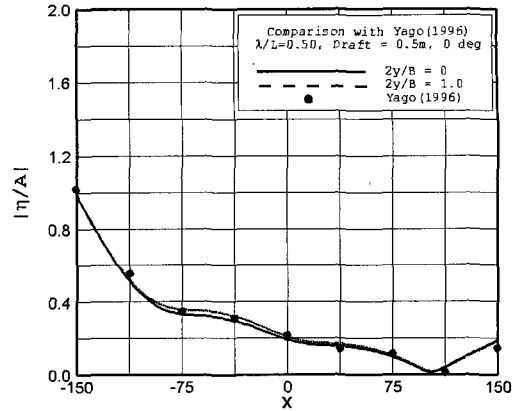


Fig. 3 Comparison of hydroelastic responses in case of flat bottom when $\lambda/L=0.5$ and $H=58.5m$.

얻어진 값이다. 두 경우에서 볼 때, 본 연구에서 개발된 수치기법으로 얻어진 결과와 기존의 실험 값이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

다음으로 초대형 부유 구조물의 여러 가지 해저 지형에 따른 유탄성 거동 특성을 살펴보았다. 개발된 수치코드를 이용하여 4가지의 서로 다른 해저 지형에 따른 유탄성 거동 특성을 살펴보았다. 거대 부유체의 주요한 치수는 실험값과 비교한 모형 그대로를 사용하였다.

첫 번째 바닥면은 부유체의 앞부분에서부터 중심까지 선형적으로 변하는 모양이며, 두 번째는 중심부터 끝부분까지 선형적으로 변한다. 세 번째는 앞부분부터 끝부분까지 모두 선형적으로 변하는 모양이다. 그리고 마지막은 중간부분에서 코사인 함수로 변하는 모양이다. 모든 해저 지형의 수심 변화는 총 수심의 반만큼 높아진다. Fig. 4는 위에서 기술한 4가지의 해저 지형 모양을 그림으로 나타낸 것이다.

동일한 수심하에서 세 가지 파장비에 대하여 해저면 변화에 대한 유탄성 거동 해석 결과를 Fig. 5에서 Fig. 13을 통해 보였다. 그림에서 보면 우선적으로 파장비가 커질수록 바닥의 효과가 크게 나타남을 알 수 있다. Fig. 5에서는 수심이 58.5m 이고 파장비 λ/L 가 0.2일 때이며, 이때에는 모든 해저 지형이 거대 부유체의 유탄성 거동에 미

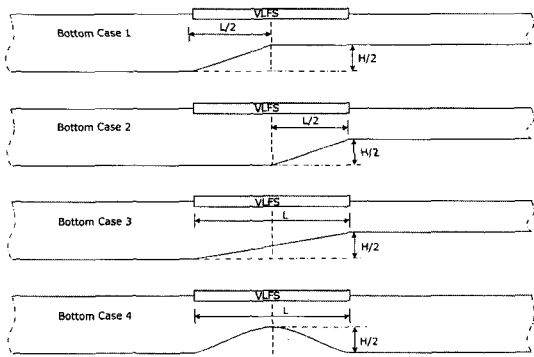


Fig. 4 Various type of sea-bottom topography.

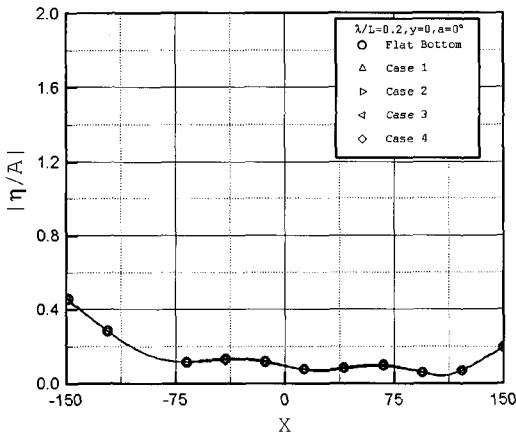


Fig. 5 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.2$ and $H=58.5m$.

치는 효과가 매우 미미하게 나타났다. 그러나 Fig. 6과 Fig. 7에서와 같이 파장비가 비교적 클 경우에는 해저 지형에 의한 초대형 부유체의 유탄성 거동 양상이 평평한 해저 지형인 경우와 비교하여 해저 지형의 형상에 따라 조금씩 다를 수 있다.

한편 Fig. 8에서 Fig. 10까지의 결과와 Fig. 11에서 Fig. 13까지의 결과에서는 수심이 각각 30m, 15m인 경우에서 세 가지 서로 다른 파장비에 대하여 해저 지형의 변화에 따른 부유체의 탄성 거동 특성을 살펴본 것이다. Fig. 5와 Fig. 7에서

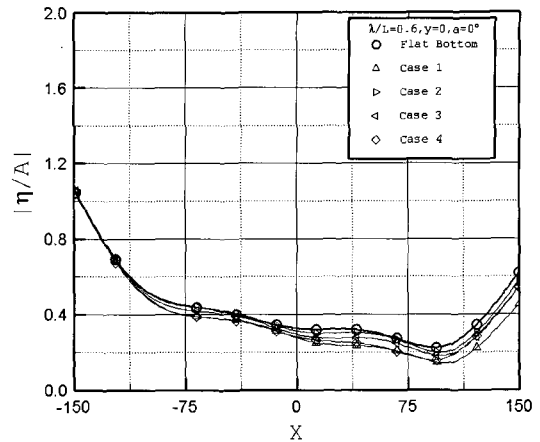


Fig. 6 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.6$ and $H=58.5m$.

보여진 수심 58.5m의 경우와 비교하여 전반적으로 큰 차이를 보이지 않고 있다. 따라서 본 수치 계산에 적용된 모델의 경우에는 평균 수심의 차이보다는 해저 지형의 변화가 유탄성 거동에 준 영향이 크게 나타났다.

몇 가지 수심과 해저 지형에 대한 초대형 부유체의 유탄성 거동 특성은 수치실험을 통해 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 초대형 부유체의 앞과 뒷부분에서의 변형은 파장비가 작을 때 주로 입사파에 의해 영향을 받는다. 다시 말하면 파장비가 작을 때에는 바닥 지형보다는 입사파 자체에 의한 변형이 지배적이다. 이는 초대형 부유체 자체가 일종의 방파제 역할을 한다고 할 수 있다. 입파는 거대 부유체의 앞부분에서 산란되고 반사되기 때문에 매우 적은 양의 에너지가 투과된다. 이러한 영향으로 인해 부유체의 앞부분보다 뒷부분에서 변형이 작아짐을 알 수 있다.

둘째, 현재 주어진 바닥 변형 상태에서는 거대 부유체의 중앙부분이 바닥 변형 영향을 가장 크게 받는 것으로 관찰되었다. 이것은 입사파가 바닥 변형이 생기는 부분 근처에서 산란되면서 거대 부유체의 거동에 영향을 주었기 때문으로 해석된다.

셋째, 수치실험을 통해 대부분의 바닥변형 상태

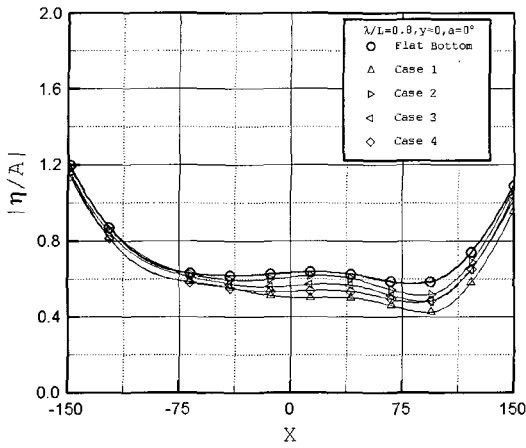


Fig. 7 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.8$ and $H=58.5m$.

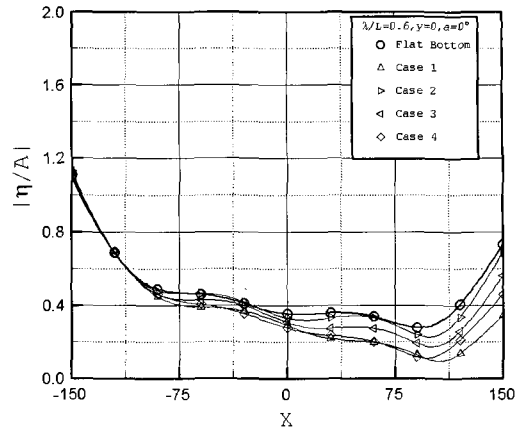


Fig. 9 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.6$ and $H=30m$.

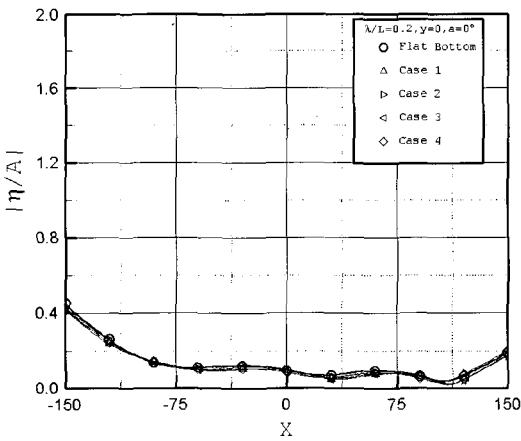


Fig. 8 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.2$ and $H=30m$.

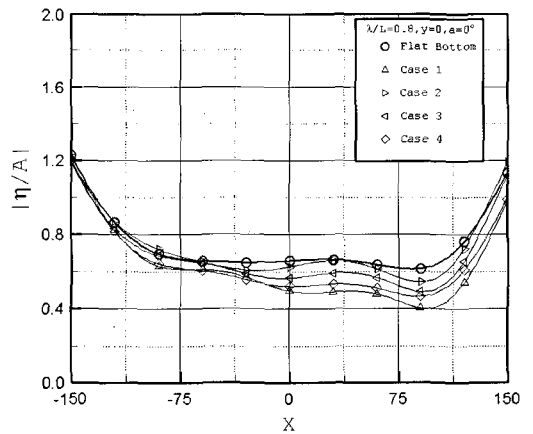


Fig. 10 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.8$ and $H=30m$.

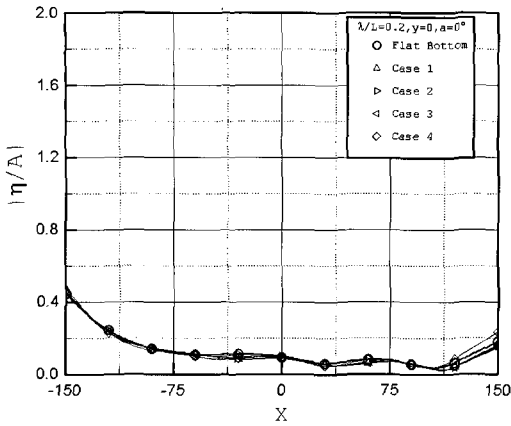


Fig. 11 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.2$ and $H=15m$.

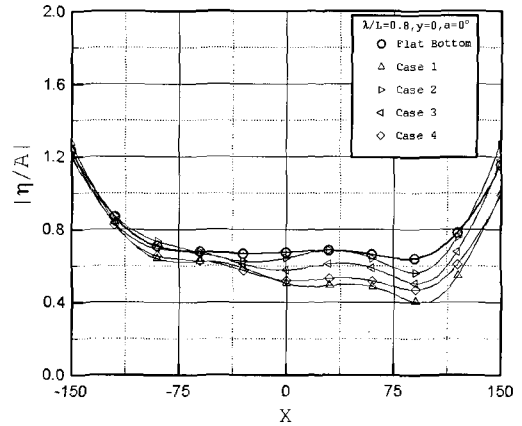


Fig. 13 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.8$ and $H=15m$.

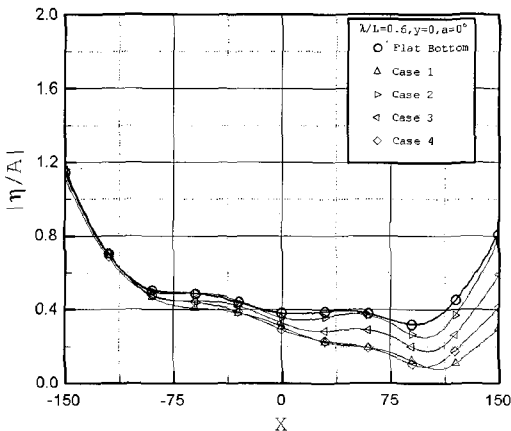


Fig. 12 Comparison of hydroelastic responses in case of various bottom topography when $\lambda/L=0.6$ and $H=15m$.

에서 거대 부유체의 거동이 앞부분보다 뒷부분으로 갈수록 줄어듦을 확인할 수 있었다. 이것은 바닥변형자체가 일종의 방파제 역할을 하는 것으로 생각된다.

6. 결론

본 연구에서는 거대 부유체가 해안 근처에 설치되었을 때 생길 수 있는 해저 지형에 따른 거대

부유체의 유탄성 거동을 해석할 수 있는 수치기법을 개발하였다. 수치기법으로는 임의의 해저 지형을 용이하게 고려할 수 있고, 미지수의 개수가 매우 많은 선형 대수방정식을 효율적으로 해석할 수 있는 유한 요소법을 사용하였다.

본 연구에서 개발된 수치기법으로 계산된 결과가 기존의 실험 결과와 서로 잘 일치함을 확인하였다. 네 가지의 서로 다른 해저 지형과 세 가지의 평균 수심에 대하여 거대 부유체의 유탄성 거동 특성을 살펴보았다.

후 기

본 논문은 해양수산부가 지원하는 해양수산 연구개발과제인 “초대형 부유식 해상구조물 기술개발”과 공공기술연구회가 지원하는 기본연구사업 “기상 재난파에 의한 해양구조물의 안전성 평가기술 개발”의 일부를 정리한 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 경조현, 김병완, 조석규, 홍사영, 2004, “해저 지형을 고려한 초대형 부유체의 유탄성 거동해석,” 대

- 한조선학회 추계학술대회 논문집, pp.783-792.
- 김병완, 경조현, 홍사영, 조석규, 2004, "강성분포의 변화가 초대형 부유식 구조물의 유탄성응답에 미치는 영향 고찰," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp.775-782.
 - 심인환, 윤재돈, 최항순, 1999, "사파중에 놓인 거대 부유체의 응답에 대한 유탄성 해석," 대한조선학회 논문집, 제 36권, 제 3호, pp. 83 - 92.
 - 이동환, 조경남, 최윤락, 홍사영, 최항순, 2001, "모드 중첩법을 이용한 정수중의 매트형 거대부유구조물의 동하중에 대한 시간영역 유탄성 해석," 대한조선학회 논문집, 제 38권, 제4호, pp. 39 - 47.
 - 이호영, 곽영기, 박종환, 2002, "속도포텐셜 접속법과 특이점 분포법에 의한 방파제 근접한 부유식 해상공항에 대한 유탄성 응답해석," 대한조선학회 논문집, 제 39권, 제 2호, pp. 11 - 18.
 - 이호영, 신현경, 임춘규, 김외현, 강점문, 윤명철, 2001, "방파제를 고려한 초대형 부유식 해양구조물의 응답," 대한조선학회 논문집, 제 38권, 제 2호, pp. 26 - 32.
 - 이호영, 신현경, 신현수, 박인규, 2000, "압력분포법에 의한 초대형 부유식 해양구조물의 유탄성 해석," 대한조선학회 논문집, 제 37권, 제 4호, pp. 66 -74.
 - 최윤락, 홍사영, 조경남, 이동환, 최항순, 2001, "모드 중첩법을 이용한 매트형 거대부유구조물의 유탄성 거동에 대한 시간영역해석," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 122 - 127.
 - 홍사영, 김장환, 최윤락, 2003a, "고유함수 전개법을 이용한 방파제와 초대형 폰톤 구조물의 유탄성 응답해석," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 243 - 250.
 - 홍사영, 조석규, 김진하, 박성환, 2003b, "유탄성 해석을 통한 초대형 부유식 구조물의 구조특성 검토," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 92 - 98.
 - 홍사영, 최윤락, 홍석원, 2002, "출수가 폰톤형 초대형 구조물의 유탄성 응답에 미치는 영향 해석," 대한조선학회 논문집, 제 39권, 제 4호, pp.32 - 41.
 - Bai, K.J., Yoo, B.S. and Kim, J.W., 2001, "A localized finite-element analysis of a floating runaway in a harbor," Marine structures, Vol. 14, pp. 89-102.
 - Iijima, K. and Shirashi, S., 2002, "Response analysis .method of VLFS in coastal area considering topographical effects on wave deformations," Proc 12th Int Offshore Polar Eng Conf, pp. 342-349.
 - Kashiwagi, M., 1998, "A direct method versus a mode-expansion method for calculating hydroelastic responses of a VLFS in waves," Proc 8th Int Offshore Polar Eng Conf, Vol. 1, pp. 215-222.
 - Kashiwagi, M., 1999, "Research on hydroelastic responses of VLFS: recent progress and future work," Proc 9th Int Offshore Polar Eng Conf, Vol. 1, pp. 17-26.
 - Kim, Y.H. and Yue, D.K.P, 2003, "Effects of numerical and artificial damping on computation of water waves," Proc. 8th Int. Conf. Numerical Ship Hydrodynamics, Busan, Korea.
 - Murai, M., Inoue, Y. and Nakamura, T., 2003, "The prediction method of hydroelastic response of VLFS with sea bottom topographical effect," Proc 13th Int Offshore Polar Eng Conf, pp. 106-112.
 - Shirashi, S., Iijima, K., Yoneyama, H. and Harasaki, K., 2002, "Elastic response of a very large floating structure in waves moored inside a coastal reef", Proc 12th Int Offshore Polar Eng Conf, pp. 327-334.
 - Utsunomiya, T. and Watanabe, E., 2002, "Accelerated higher order boundary element method for wave diffraction/radiation problems and its applications," Proc 12th Int Offshore Polar Eng Conf, pp. 305-312.
 - Utsunomiya, T., Watanabe, E. and Nishimura, N., 2001, "Fast multipole algorithm for wave diffraction/radiation problems and its application to VLFS in variable water depth and topography," Proc 20th Int Conf on Offshore Mech & Arctic

Eng, OMAE2001/ OSU-5202.

- Watanabe, E., Utsunomiya, T. and Wang, C.M., 2004, " Hydroelastic analysis of pontoon- type VLFS: a literature survey," Engineering structures, Vol. 26, pp. 245-256.
- Yago, K. and Endo, H., 1996, "On the hydroelastic response of box-shpaed floating structure with shallow draft," J Soc Nav Arch Japan, Vol. 180, pp.341-352.



< 경 조 현 >



< 김 병 완 >



< 조 석 규 >



< 홍 사 영 >