

파랑 중 근접한 다중 물체의 운동응답에 대한 시간영역 해석

김경환*, 김용환†*

서울대학교 조선해양공학과*

Time-Domain Analysis on Motion Response of Adjacent Multiple-Bodies in Waves

Kyong-Hwan Kim* and Yonghwan Kim†*

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University*

Abstract

This study considers the motion response of multiple adjacent floating bodies in waves. As a method of solution, a three-dimensional Rankine panel method is adopted in time domain. For the validation of the developed numerical method, the motions of two adjacent Series 60 hulls and ship-barge model are estimated. The computational results are compared with other numerical and experimental analyses, showing favorable agreement.

※Keywords: Multiple-body problem(다중 물체 문제), Rankine panel method(랜킨 패널법), Time domain(시간 영역), Ship motion problem(선박 운동 문제)

1. 서론

다중 물체 문제는 해상 상태에서 근접하여 운동하는 여러 물체에 대하여 각 물체에 작용하는 힘과 운동을 다루는 문제를 말한다. 이러한 문제는 특히 해양 분야에서 다중 물체로 이루어진 구조물이나 근접한 위치에 있는 해양구조물과 선박의 운동과 관련하여 연구가 이루어져 왔다. 최근에는 석유의 대체 에너지로서 천연가스의 개발과 더불어 액화천연가스 부유식 생산저장하역설비(LNG-FPSO) 등이 개발되면서 생산설비로부터

액화천연가스 운반선으로의 하역 시에 생산설비와 운반선 사이의 운동이 중요한 문제로 부각되었고 이와 관련한 연구들이 진행되고 있다.

다중 물체 문제는 2차원 다중 실린더 물체에 대한 연구로부터 시작되었다(Ohkusu 1974). 초기의 연구는 주로 스트립 이론(strip theory)에 근거한 해석이 이루어졌으며 바지선과 선박 사이의 운동을 계측하는 실험 등이 수행되었다(Kodan 1984, Fang and Kim 1986). 컴퓨터 계산 용량이 늘어나면서 파랑그린함수(wave Green function, WGF)나 통합 이론(unified theory)을 이용하여 선박과 선박 사이의 운동을 계산하는 연구가 수행되었으며(Ahn and Rhee 1987, Fang and Chen 2002, Choi and Hong 2002, Kim and Ha 2002,

접수일: 2007년 6월 3일, 승인일: 2007년 12월 26일

† 교신저자 : yhwankim@snu.ac.kr, 02-880-9226

Kim 2003), 부유식 생산저장하역설비와 운반선을 계류(mooring)한 경우에 나타나는 운동 응답이나 표류력(drift force)을 예측하는 실험 등이 이루어졌다 (Hong et al. 2005, Kashiwagi et al. 2005).

다중 물체 문제에 관한 기존의 연구들은 대부분 주파수 영역에서 이루어졌다. 시간 영역의 해법으로 간주되는 충격응답함수(impulsive response function)를 이용한 방법도 근본적으로는 주파수 영역의 해를 바탕으로 물체의 운동을 계산하기 때문에 주파수 영역 해법의 한계를 가지고 있다. 그렇지만 실제 다중 물체들의 운동은 물체들 사이가 근접한 경우에 비선형 현상이 나타날 수 있으며 이러한 비선형성은 주파수 영역의 해석 방법으로는 계산이 불가능하기 때문에 시간 영역에서 해석이 수행되어야 한다.

시간 영역에서 해석이 가능하며 비선형 문제로 확장이 가능한 방법으로는 랭킨 패널법(Rankine panel method, RPM)이 있다. 랭킨 패널법은 파랑그린함수를 이용한 방법과는 달리 자유표면에도 소스(source)를 분포하며 특이점(singularity)의 적분이 상대적으로 쉽다는 특징이 있다. 랭킨 패널법은 자유 표면과 문제와 관련하여 안정성 해석이 이루어졌으며 선박 운동 문제와 관련하여 주파수 영역과 시간 영역의 해법으로 발전되었다 (Sclavounos and Nakos 1988, Nakos 1990, Lin and Yue 1990, Kring 1994). 물체가 하나인 경우에 대해서 랭킨 패널법은 많은 연구가 이루어졌으나 아직까지 다중 물체 문제에 대하여 시간 영역에서 랭킨 패널법을 이용한 해석이 연구된 바는 없다.

본 연구에서는 파랑 중 근접한 물체들의 운동 응답과 관련하여 B-스플라인 랭킨 패널법을 적용한 시간 영역에서의 해법을 유도한다. 그리고 파랑 중에서 두 Series 60 (Cb=0.7)가 서로 근접하고 있는 경우와 바지선과 선박이 근접하고 있는 경우의 문제에 대해 시간 영역에서 해석을 수행하고 계산된 결과를 기존의 실험 및 다른 계산 결과들과 비교하였다. 이로부터 다중 물체 문제에서 나타나는 운동의 특성과 이에 대한 랭킨 패널법의 결과에 대하여 고찰하였다.

2. 수학적 배경

2.1 운동 방정식

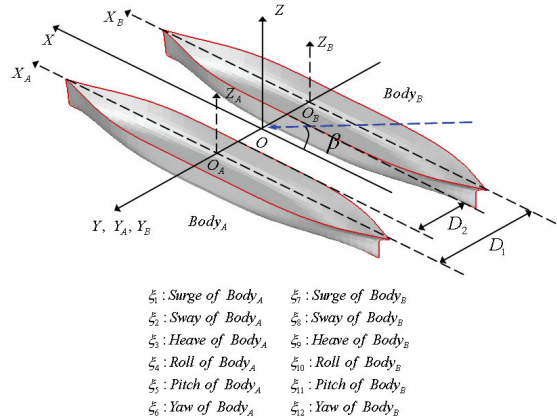


Fig. 1 Definition of coordinate system

다중 물체 문제에서 물체의 개수가 N 개 인 경우에 $6 \times N$ 개의 자유도가 정의된다. 두 물체가 파랑 중 운동하는 경우에 12개의 자유도가 정의되며 좌표계는 Fig. 1과 같이 설정할 수 있다. 여기서 D_1 은 각 물체 중앙선을 기준으로 한 물체 사이의 거리이며 D_2 는 두 물체 측벽 사이의 간격이다. β 는 입사파의 입사각이다. 물체-A와 물체-B의 운동은 각각 $O_A - X_A Y_A Z_A$ 좌표계와 $O_B - X_B Y_B Z_B$ 좌표계에서 정의된다.

주어진 물체들의 운동방정식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 [M + M_\infty]_A \{\ddot{\xi}_i\} + [C]_A \{\xi_i\} &= \{F_{FK} + F_{HD}\}_A + [M_\infty]_A \{\ddot{\xi}_i\} \quad i = 1, \dots, 6 \\
 [M + M_\infty]_B \{\ddot{\xi}_j\} + [C]_B \{\xi_j\} &= \{F_{FK} + F_{HD}\}_B + [M_\infty]_B \{\ddot{\xi}_j\} \quad j = 7, \dots, 12
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 M, M_∞, C 는 각각 질량과 무한주파수 부가질량 그리고 복원력 계수를 의미한다. F_{FK}, F_{HD} 은 각 물체에 작용하는 Froude-klyov 힘과 유체 동역학적 힘을 의미한다. M_∞ 는 주어진 운동방정식의 수치적 안정성을 위하여 양변에 더

하여 주었다.

다중 물체 문제에서 물체들의 운동을 정확하게 계산하기 위해서는 물체 상호간에 미치는 영향을 정확하게 계산하는 것이 중요하며 이 영향은 유체 동역학적 힘에 포함되어 있다. 기존의 주파수 영역의 해법들에서는 유체동역학적 힘을 주파수에 따른 부가질량과 감쇠계수로 분리하거나 충격응답 함수를 이용한 경우에는 기억 힘(memory force) 등으로 분리하고 물체 상호간에 작용하는 힘을 분리한 성분에 따라서 각각 계산한 뒤 운동방정식을 계산하였다. 그렇지만 랜킨 패널법을 이용하는 경우에는 각 물체에 작용하는 유체동역학적 압력을 직접 적분하여 힘을 계산할 수 있기 때문에 Eq. (1)에서와 같이 각 물체에 대한 운동방정식을 독립적으로 계산할 수 있다.

2.2 경계조건 문제

다중 물체 주변의 유체장 해석을 위해서 유체장이 비점성, 비압축성, 비회전성이라고 가정하고 속도 포텐셜(Φ)을 도입하여 유체장을 해석할 수 있다. 유체장과 경계면에서는 각각 라플라스 방정식(Laplace equation)과 물체표면 경계조건, 자유표면 경계조건을 만족하여야 한다.

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad \text{in fluid domain} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \frac{\partial \vec{\xi}}{\partial t} \cdot \vec{n} \quad \text{on } S_B \quad (3)$$

$$\frac{D}{Dt}[z - \zeta] = 0 \quad \text{on } z = \zeta(x, y, t) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -g\zeta - \frac{1}{2} \nabla \Phi \cdot \nabla \Phi \quad \text{on } z = \zeta(x, y, t) \quad (5)$$

여기서 ζ, g 는 각각 파 높낮이와 중력 가속도를 의미한다. 문제의 선형화를 위해 전체 속도 포텐셜을 아래와 같이 입사파 포텐셜(Φ_I)과 교란 포텐셜(Φ_d)로 분리한다.

$$\begin{aligned} \vec{\Phi}(x, t) &= \vec{\Phi}_I + \vec{\Phi}_d & \Phi_I &= \Phi_d = O(\epsilon) \\ \zeta(x, t) &= \zeta_I + \zeta_d & \zeta_I &= \zeta_d = O(\epsilon) \end{aligned} \quad (6)$$

선형화된 경계조건 문제는 아래와 같다.

$$\nabla^2 \Phi_d = 0 \quad \text{in fluid domain} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Phi_d}{\partial n} = \sum_j \left(\frac{\partial \xi_j}{\partial t} \cdot n_j \right) - \frac{\partial \Phi_I}{\partial n} \quad \text{on } \overline{S_B} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \text{for } Body_A & j = 1, \dots, 6 \\ \text{for } Body_B & j = 7, \dots, 12 \end{cases}$$

$$\frac{\partial \zeta_d}{\partial t} = \frac{\partial \Phi_d}{\partial t} \quad \text{on } z = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Phi_d}{\partial t} = -g\zeta_d \quad \text{on } z = 0 \quad (10)$$

랜킨 소스는 파랑그린함수와 달리 자유표면 조건을 만족하지 않으므로 방사 조건의 적용이 중요하다. 본 연구에서는 자유표면 경계조건에 다음과 같은 감쇠 항을 적용하고 자유표면에 수치적으로 감쇠 영역을 두어 경계면 끝단에서 반사파가 발생하지 않도록 방사 조건을 적용하였다.

$$\frac{\partial \zeta_d}{\partial t} = \frac{\partial \Phi_d}{\partial t} - 2\nu\zeta_d + \frac{\nu^2}{g}\Phi_d \quad \text{on } z = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \Phi_d}{\partial t} = -g\zeta_d \quad \text{on } z = 0 \quad (12)$$

주어진 경계치 문제는 그린의 적분정리(Green's second identity)를 도입하고 수치적으로 경계면을 이산화한 뒤 경계면에 소스 패널을 분포하여 풀 수 있다. B-스플라인 소스 패널을 적용하는 경우에, 속도 포텐셜은 아래와 같이 B-스플라인 함수($B_k(x)$)로 표현된다.

$$\vec{\Phi}_d(\vec{x}, t) = \sum_{k=1}^9 (\vec{\Phi}_d(t))_k B_k(\vec{x}) \quad (13)$$

$$\zeta_d(\vec{x}, t) = \sum_{k=1}^9 (\zeta_d(t))_k B_k(\vec{x})$$

$$\frac{\partial \Phi_d}{\partial n}(\vec{x}, t) = \sum_{k=1}^9 \left(\frac{\partial \Phi_d}{\partial n}(t) \right)_k B_k(\vec{x})$$

여기서 $\vec{\Phi}_d(t), \zeta_d(t), \frac{\partial \Phi_d}{\partial n}(t)$ 은 각각 포텐셜, 파 높낮이, 포텐셜 법선 미분항의 계수이다.

3. 수치계산 결과

수치 계산은 근접한 두 Series 60 ($C_b=0.7$)와 바지선-선박에 대하여 수행하였다. Fig. 2와 Fig. 3에 각 경우에 해당하는 패널모델을 도시하였다. 각 모델에 대한 주요 정보는 Table 1에 나타내었다.

3.1 인접한 두 Series 60 선체

두 Series 60 선체의 거리(D_1)를 Series 60 선체 길이의 0.2배(20m)로 주고 계산을 수행하였다. 하나의 선박을 고정시키고 다른 선박을 일정한 주파수로 강제 동요하였을 때 각 선박에 작용하는 힘으로부터 선박에 대한 부가 질량과 감쇠 계수를

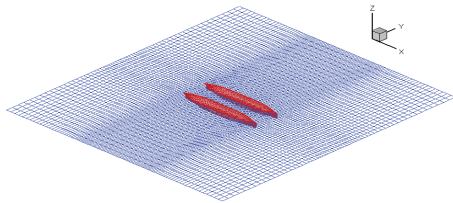


Fig. 2 Panel model of two Series 60 ($C_b=0.7$)

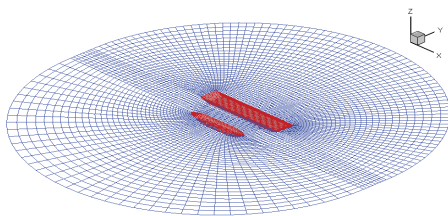


Fig. 3 Panel model of ship and barge

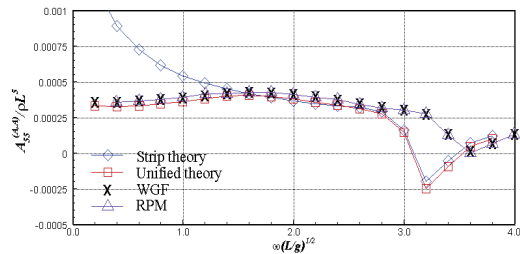
Table 1 Principal particulars of models

| Model | Series60 | Barge | Ship |
|---------------------------|----------|-------|-------|
| Length(m) | 100.00 | 3.125 | 2.088 |
| Breadth(m) | 14.28 | 0.600 | 0.369 |
| Draft(m) | 5.70 | 0.113 | 0.131 |
| Displacement (m^3) | 5615.3 | 0.203 | 0.081 |
| Water plane area(m^2) | 1121.2 | 1.875 | 0.685 |

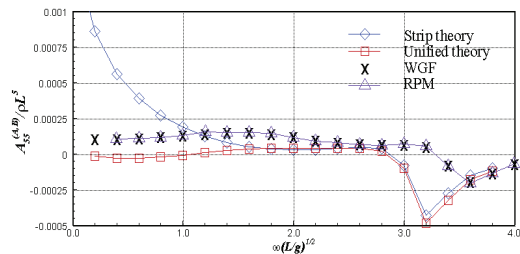
계산할 수 있다. 부가 질량과 감쇠 계수는 선박 사이의 상호 작용의 영향을 나타내며 다중 물체 문제에서는 이러한 상호 작용의 영향을 정확하게 계산하는 것이 중요하다.

Fig. 4에서는 Series 60(물체-A)를 강제 상하 동요하였을 때 각 수치기법에 따라 계산된 부가 질량을 나타내었다. 스트립 이론, 통합 이론(unified theory) 및 파랑그린함수 방법은 주파수 영역에서 계산한 결과이며, 랜킨 패널법은 시간 영역에서의 결과로부터 계산한 결과이다. 여기서 통합 이론의 결과는 소스 성분에 대해서만 통합 이론을 적용한 경우이다 (Kim 2003). 따라서 엄밀하게 이야기하면 단순화된 총합 이론의 결과로 보아야 한다.

계산 결과를 살펴보면 스트립 이론을 적용한 경우의 결과는 저주파수 영역에서 다른 결과들과 차이를 보여주고 있다. 부가 질량이 가장 크거나 작게 계산되는 주파수를 살펴보면 2차원 방법인 스트립 이론이나 통합 이론의 결과는 3차원 방법인 파랑그린함수 방법이나 랜킨 패널법에 의한 결과



(a) Body-A to Body-A



(b) Body-A to body-B

Fig. 4 Added mass of forced pitch motion on Body-A

와 차이를 보여주는 것을 알 수 있다. 또한 그 크기도 2차원 방법과 3차원 방법에서 차이가 나타나고 있다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 다중 물체 문제에서는 하나의 물체만을 계산하는 경우보다 물체들의 상호 작용으로 인한 3차원적인 효과가 더욱 크게 나타날 수 있기 때문이다. 따라서 다중 물체 문제에서는 2차원 방법보다는 3차원 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

Fig. 5에서는 $\omega\sqrt{L/g}=3.2, \beta=120^\circ$ 인 경우에 시간에 따른 두 Series 60의 상하 동요 운동과 종동요 운동을 나타내었다. 여기서 파 진폭(A)은 1m이다. 입사파를 받는 쪽에 있는 물체-B의 운동이 물체-A의 운동보다 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 두 운동에 있어서 시간의 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 $\omega\sqrt{L/g}=3.2, \beta=120^\circ$ 인 경우에 두 Series 60 주위의 파 등고선을 나타내었다. 두 Series 60로 인해서 입사파가 교란되는 것을 볼 수 있으며, 두 Series 60의 사이의 간격에서 나타나는 파형을 관측할 수 있다.

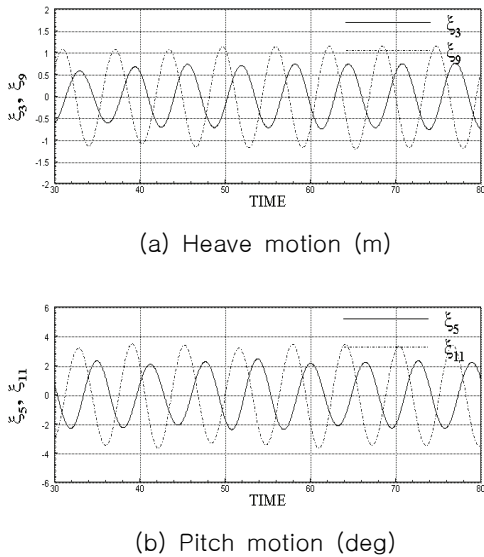


Fig. 5 Heave and pitch motion histories of two adjacent Series 60 ($C_b=0.7$), $\omega\sqrt{L/g}=3.2, \beta=120^\circ, A=1.0m$

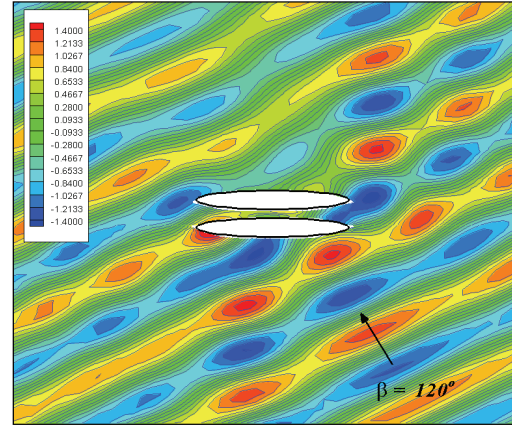


Fig. 6 Wave contour of two adjacent Series 60 ($C_b=0.7$), $\omega\sqrt{L/g}=3.2, \beta=120^\circ, A=1.0m$

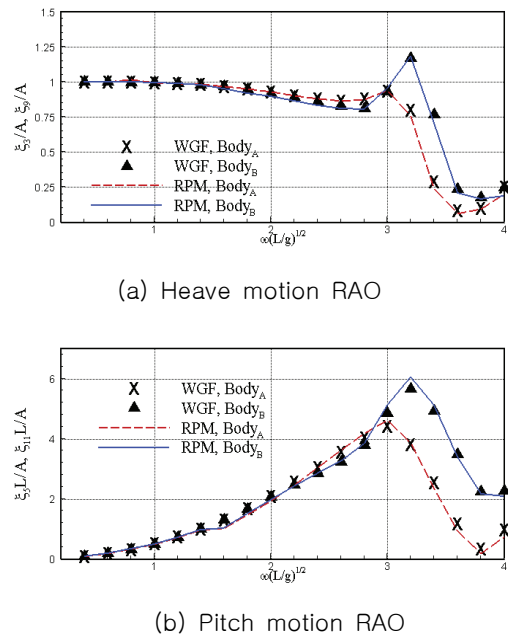


Fig. 7 Motion RAO of two adjacent Series 60 ($C_b=0.7$), $\beta=120^\circ$

Fig. 7은 $\beta=120^\circ$ 인 경우에 상하동요 및 종동요의 운동 응답을 나타내었다. 대부분의 주파수에서 랜킨 패널법의 결과와 파라그린함수의 결과가 거의 비슷하게 계산되었으며 입사파를 받는 쪽에 있는 물체-B의 운동 응답이 크게 나타나고 있다.

3.2 바지선 - 선박

바지선(물체-A)-선박(물체-B)의 문제에서는 두 물체 사이의 거리(D_1)를 바지선 쪽의 두 배인 1.2m로 주고 계산하였다. Fig. 8은 $(\omega^2/g)d_s = 0.65$, $\beta = 45^\circ$ 인 경우에 선박과 바지선 주위의 파 등고선을 나타내었다. 입사파를 받는 선박 주위의 파형은 선박에 의해 교란되며 바지선 주위에서는 선박 주위보다 교란되는 파형이 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 선박과 바지선 사이에서는 상호 작용에 의한 복잡한 파형이 나타나며 교란되는 파의 크기가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 물체 사이의 간격에서 나타나는 파의 특성이 물체들에 미치는 영향이 클 수 있음을 의미한다.

Fig. 9와 Fig. 10에서는 $\beta = 45^\circ$ 인 경우 선박에 작용하는 좌우 및 상하 기진력을 나타내었다. 여기서 $W_s d_s$ 는 각각 선박의 수선면적, 흘수를 의미한다. 랜킨 패널법으로 계산한 결과나 파랑그린함수 방법으로 계산한 결과가 실험값(Kodan 1984)의 경향과 일치하는 것을 알 수 있다. $(\omega^2/g)d_s = 0.65$ 부근에서는 상대적으로 큰 기진력이 계산되는데 파랑 그린 함수로 계산한 결과보다 랜킨 패널법으로 계산한 결과가 실험값에 좀 더 근사한 경향을 보여준다.

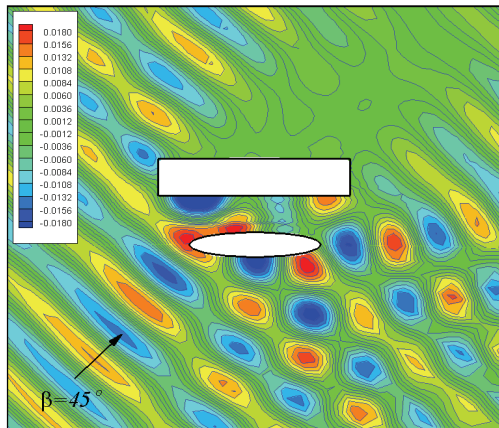


Fig. 8 Wave contour of adjacent ship and barge, $(\omega^2/g)d_s = 0.65$, $\beta = 45^\circ$, $A = 0.01m$

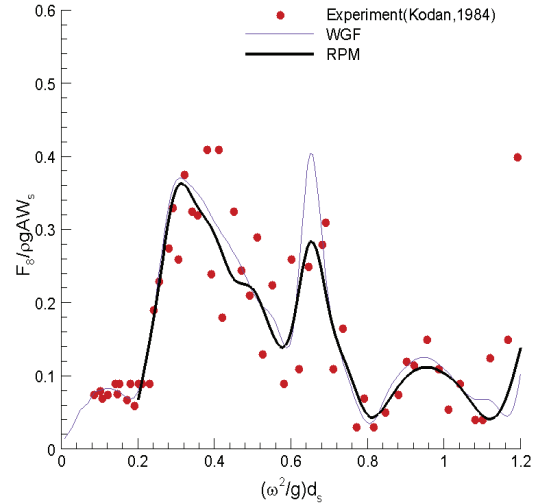


Fig. 9 Sway exciting force RAO of ship (Body-B), $\beta = 45^\circ$

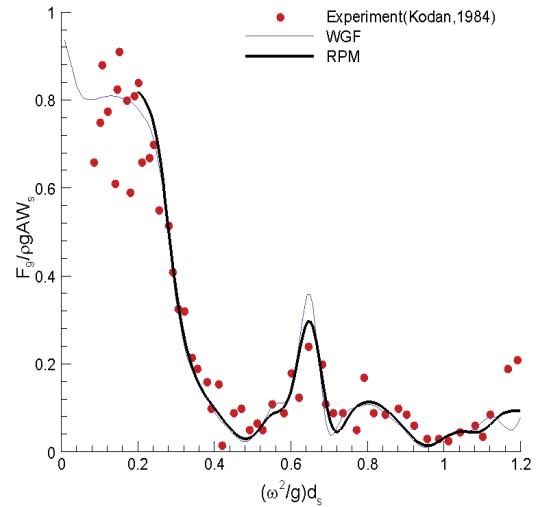
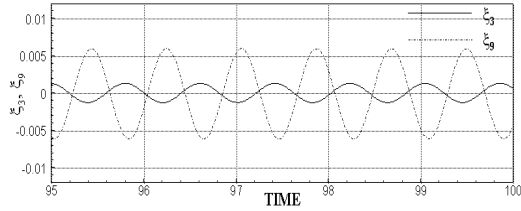
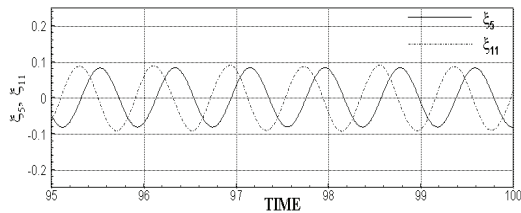


Fig. 10 Heave exciting force RAO of ship (Body-B), $\beta = 45^\circ$

Fig. 11에서는 $(\omega^2/g)d_s = 0.8$, $\beta = 45^\circ$ 인 경우에 시간에 따른 선박과 바지선의 상하 운동 및 종동요 운동을 나타내었다. 입사파를 받는 쪽에 있는 선박의 상하 동요 운동이 더 크게 나타나며 종동요 운동은 선박과 바지선의 경우에 비슷하게 나타



(a) Heave motion (m)



(b) Pitch motion (deg)

Fig. 11 Heave and pitch motion histories of adjacent ship and barge, $(\omega^2/g)d_s = 0.8$, $\beta = 45^\circ$, $A = 0.01m$

나고 있다. 또한 선박과 바지선의 운동에 있어서 거리에 따른 시간 차이가 나타나고 있다.

Fig. 12와 Fig. 13에서는 입사파의 입사각이 각각 $45^\circ, -45^\circ$ 인 경우에 선박의 상하 운동 응답 특성을 나타내었다. 이 결과로부터 랭킨 패널법과 파랑그린함수의 방법이 Fang and Kim(1986)과 Fang and Chen(2001)의 방법에 비해 실험결과와 더 잘 일치하는 경향을 보여주고 있음을 알 수 있다. 입사각이 45° 인 경우는 선박이 입사파를 받는 쪽에 있어서 바지선이 입사파를 받는 -45° 경우의 운동 응답보다 더욱 큰 운동 응답 특성이 나타난다.

다중 물체 문제에서 나타나는 운동 응답의 특성은 물체 사이의 간격에 의한 공진이 나타나는 것이다. 일반적으로 하나의 물체가 파랑 중 운동하는 경우에 운동 응답은 파의 주기와 물체의 특성에 의해 나타나는데 다중 물체가 파랑 중 운동하는 경우에는 위와 같은 영향 외에도 물체와 물체 사이의 영향과 슬로싱 효과(sloshing effect)가 나타나게 되어 단일 물체가 운동하는 특성과는 좀 더 다른 운동 응답이 나타나게 된다.

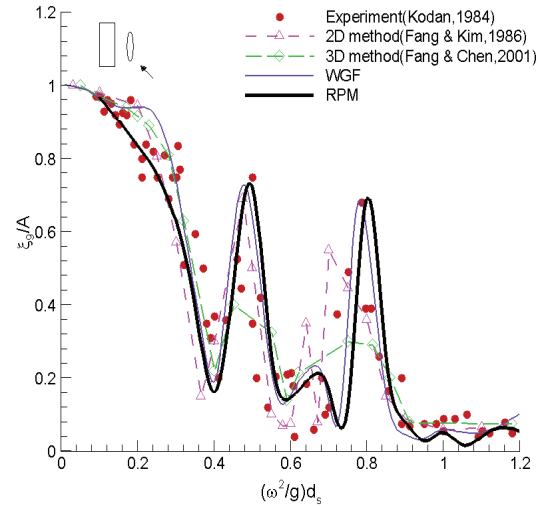


Fig. 12 Heave motion RAO of ship (Body-B), $\beta = 45^\circ$

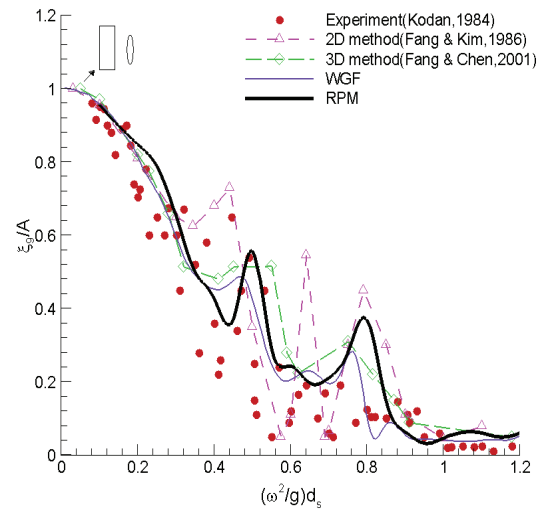


Fig. 13 Heave motion RAO of ship (Body-B), $\beta = -45^\circ$

바지선의 우현에서부터 선박의 좌현까지의 간격이 D_2 이고 입사각이 β 인 경우에 바지선과 선박의 간격 사이에서 슬로싱 효과에 의해 나타날 수 있는 파의 주파수는 다음과 같다.

$$(\omega^2/g)d_s = \frac{2\pi d_s}{\lambda_n/\sin\beta} \quad (14)$$

$$\lambda_n = \frac{2D_2}{n} \quad n = 1, \dots, \infty$$

실험 조건에서 $D_2 = 0.7155 \text{ m}$ 이며 $\beta = 45^\circ$ 이므로 이 경우에 슬로싱 효과가 나타날 수 있는 주파수는 $(\omega^2/g)d_s = 0.406, 0.814, 1.221$ 등이 된다. 선박의 상하 운동 응답 특성을 보면 무차원화된 주파수가 0.406 인 영역에서는 선박의 운동이 작게 나타나고 있으며 0.814 인 경우에는 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 각 경우에 운동이 달라지는 이유는 주파수에 따라 슬로싱으로 생성되는 파의 형태가 달라서 각 물체에 작용하는 효과가 달라질 수 있기 때문이다. 이처럼 물체 사이의 간격에 따라 슬로싱이 발생하고 다중 물체의 운동 응답은 이에 따른 영향을 받게 된다.

실제 다중 물체 문제에서 중요시 되고 있는 문제는 해양구조물이 운반선에 하역 작업을 하고 있는 경우에 해양구조물과 운반선 사이에 나타나는 상대적인 운동 특성을 예측하는 것이다. 상대적인 운동응답은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\frac{H_R}{A} = \frac{1}{A} [(\xi_2 + x_A \xi_6 - z_A \xi_4) - (\xi_8 + x_B \xi_{12} - z_B \xi_{10})] \quad (15)$$

$$\frac{V_R}{A} = \frac{1}{A} [(\xi_3 - x_A \xi_5 + y_A \xi_4) - (\xi_9 - x_B \xi_{11} + y_B \xi_{10})]$$

여기서 H_R, V_R 은 각각 수평 상대 운동 (horizontal relative motion)과 수직 상대 운동 (vertical relative motion)을 나타내고 x_A, y_A, z_A 및 x_B, y_B, z_B 는 물체-A와 물체-B에서 상대적인 운동을 계산하고자 하는 좌표를 의미한다.

Fig. 14와 Fig. 15에는 입사각이 45° 인 경우의 바지선과 선박의 수평 및 수직 상대 운동을 나타내었다. 전반적인 결과를 보면 수평 상대 운동은 대체로 저주파수 영역에서 크게 나타날 수 있으며 수직 상대운동은 저주파수 및 임의의 고주파수에서도 크게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 랭킨 패널법과 파랑그린함수를 이용한 방법에서 상대 운동 응답이 근사하게 나타나는 것을 알 수 있으며 Fang 및 Kim(1986)과 Fang 및 Chen(2001)의 방법은 전체적인 경향은 비슷하지만 공진이 일어나

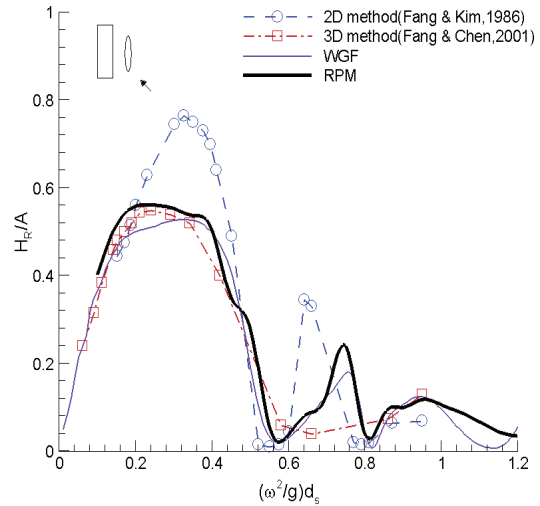


Fig. 14 Horizontal relative motion of barge and ship, $\beta = 45^\circ$

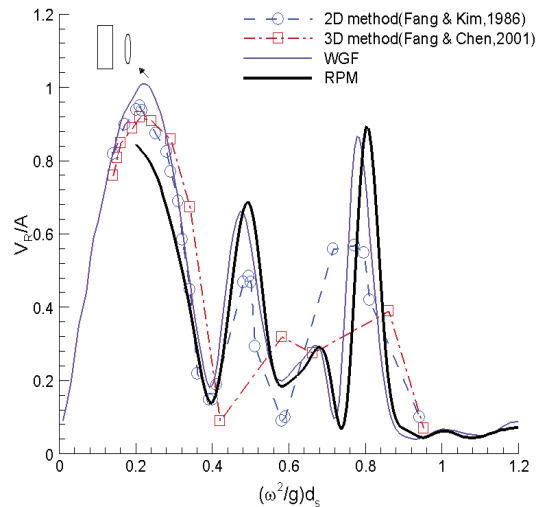


Fig. 15 Vertical relative motion of barge and ship, $\beta = 45^\circ$

는 영역을 정확하게 계산하지 못하고 있다.

Fig. 15에서 랭킨 패널법의 계산 결과는 저주파수 영역에서 다른 계산 결과보다 상대적으로 작은 결과를 보여 주고 있다. 실험에서 상대 운동을 예측한 결과가 없기 때문에 어떠한 계산 결과가 더

욱 정확한 것인지 판단하기 어렵지만 Fig. 12 및 13의 결과에 비추어 랜킨 패널법의 상대 운동 결과가 더욱 타당할 것으로 판단된다. 그렇지만 랜킨 패널법에서는 충분히 큰 자유표면의 영역에 패널을 분포해야 하는데 컴퓨터 계산 용량의 한계로 인해서 자유표면에 충분한 패널이 분포되지 않았을 때는 경우에 따라 저주파수 영역에서 정확한 계산이 어려울 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 파랑 중 근접한 다중 물체 운동 응답에 대하여 조사하였으며, 랜킨 패널법을 적용하여 시간영역에 대한 수치해석을 수행하였다. 그리고 이로부터 다음의 결론을 얻었다.

(1) 다중 물체 문제에 B-스플라인 랜킨 패널법을 이용한 선박 운동 수치해석 기법을 개발하였고 그 계산 결과가 실험 결과 및 파랑그린함수 방법의 결과와 대체적으로 잘 일치하는 것을 확인하였다.

(2) 다중 물체 운동에서 나타나는 특성을 살펴 보았으며 시간 영역에서 계산한 결과가 주파수 영역의 계산 결과와 큰 차이가 없는 것을 확인하였다.

(3) 다중 물체 문제에서 2차원 방법의 수치해석 결과는 3차원 방법의 수치해석 결과에 비해 상대적으로 실험값과 차이가 있다. 다중 물체 문제는 물체 상호간의 작용으로 인해 3차원의 영향이 크게 나타날 수 있기 때문에 3차원의 수치해석 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

(4) 극도의 저주파수에 대해 계산하는 경우 랜킨 패널법은 패널 개수의 한계로 인해 정확한 계산이 어려울 수 있다. 이는 고차 물리량인 평균 표류력(mean drift force)의 계산에 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 시간 영역에서의 랜킨 패널법을 통해 다중 물체 문제에 대하여 시간 영역에서 랜킨 패널법의 적용이 가능함을 확인하였고 비선형 문제로 확장 가능한 기반을 마련하였다. 향후 선박이 근접 계류된 경우에 기계적 복원력을 추가하여 계류 상태에서의 운동의 계산이 가능하며, 평

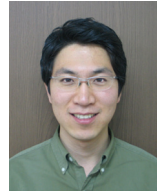
균 표류력, 비선형 복원력, Froude-krylov 힘 등을 적용한 비선형 선박 운동해석 및 안벽 부근에서 여러 선박들이 계류된 문제 등 많은 다양한 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

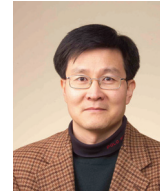
- Ahn, S.P. and Rhee, K.P., 1987, "The Hydrodynamic Interaction Effects between Two Barges on the Motion Responses," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 24, No. 1, pp. 29-34.
- Choi, Y.R. and Hong, S.Y., 2002, "An Analysis of Hydrodynamic Interaction of Floating Multi-body using Higher-Order Boundary Element Method," Proceedings of 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, Kitakyushu, Japan, Vol. 3, pp. 303-308.
- Fang, M.C. and Kim, C.H., 1986, "Hydrodynamically Coupled Motions of Two Ships Advancing in Oblique Waves," Journal of Ship Research, Vol. 30, No. 3, pp. 159-171.
- Fang, M.C. and Chen, G.R., 2001, "The Relative Motion and Wave Elevation Between two Floating Structures in Waves," Proceedings of 11th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, Stavanger, Vol. 1, pp. 361-368.
- Fang, M.C. and Chen, G.R., 2002, "On Three-dimensional Solutions of Drift Forces and Moments between Two Ships in Waves," Journal of Ship Research, Vol. 46, No. 4, pp. 280-288.
- Hong, S.Y., Kim, J.H., Cho, Y.R. and Kim, Y.S., 2005, "Numerical and experimental study on hydrodynamic interaction of side-by-side moored multiple vessels," Ocean Engineering, Vol. 32, pp. 783-801.
- Kashiwagi, M., Endo, K. and Yamaguchi, H., 2005, "Wave drift forces moments on two ships

arranged side by side in waves,” Ocean Engineering, Vol. 32, pp. 529–555.

- Kim, M.S. and Ha, M.K., 2002, “Prediction of Motion Responses between Two Offshore Floating Structures in Waves,” Journal of Ship and Ocean Technology, SOTECH, Vol. 6, No. 3, pp. 13–25.
- Kim, Y., 2003, “Unified Theory for the Radiation Problem of Multiple Slender Bodies,” Journal of Ship and Ocean Technology, SOTECH, Vol. 7, No. 2, pp.1–19.
- Kodan, N., 1984, “The Motions of Adjacent Floating Structures in Oblique Waves,” 3rd International Symposium on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, pp. 206–213.
- Kring, D.C., 1994, Time Domain Ship Motions by a Three-dimensional Rankine Panel Method, Ph.D. Thesis, MIT.
- Lin, W.M. and Yue, D.K., 1990, “Numerical Solutions for Large-amplitude Ship Motions in Time Domain,” 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, pp. 41–66.
- Nakos, D. E., 1990, Ship Wave Patterns and Motions by a Three Dimensional Rankine Panel Method, Ph.D. Thesis, MIT.
- Ohkusu, M., 1974, “Hydrodynamic Forces on Multiple Cylinders in Waves,” Proceedings of International Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, London, pp. 107–112.
- Sclavounos, P.D. and Nakos, D.E., 1988, “Stability analysis of panel methods for free-surface flows with forward speed,” 17th Symposium on Naval Hydrodynamics, pp. 173–193.



< 김 경 환 >



< 김 용 환 >