

## 랭킨소오스 패널법을 이용한 파랑중 선박의 동유체력계수 계산

양진호\*, 송기종\*\*, 전호환\*\*\*

### Computation of the Hydrodynamic Coefficients of Ships in Waves by Rankine Source Panel Methods

Jin Ho Yang\*, Ki Jong Song\*\*, Ho Hwan Chun\*\*\*

#### 요 약

본 연구는 랭킨소오스법과 저차 패널법을 이용하여 파랑 중 선박의 비정상 문제를 해석하였다. 기본유동을 균일 입사 유동(소위 Kelvin 유동)과 이중모형 유동의 두 가지로 가정하여 지배방정식과 경계조건을 만족하는 해를 구하고 비교하였다. 수정 Wigley 선형과 Series 60 ( $C_B = 0.7$ ) 선형에 대해 동유체력을 계산하여 실험 값 및 기존의 계산 값과 비교하였다. 이중모형에 의한 계산 값이 균일 입사 유동에 의한 계산 값보다 실험 치에 보다 더 가까운 결과를 보였다.

#### Abstract

The unsteady problems of ships in waves are analyzed by a low order panel method with Rankine source. Considering the basic flow as the uniform incoming flow (so called Kelvin flow) and also the double body flow, the solutions to satisfy the governing equation with the boundary conditions are obtained, and these two results are compared. The hydrodynamic coefficients for the modified Wigley hull and Series 60 ( $C_B=0.7$ ) are computed and compared with the experimental data available and also other computational results published. It is shown that the computational results by the double body approximation agree well with the experimental results compared with those by the uniform Kelvin flow approximation.

---

접수일자: 2000년 8월 21일, 승인일자: 2001년 1월 17일

\*정회원, 부산대학교 대학원 박사과정연구원, 현재 현대중공업 선박해양연구소 연구원  
(E-mail: aceyang@hhi.co.kr)

\*\*정회원, 부산대학교 대학원 박사과정연구원, 현재 현대중공업 선박해양연구소 책임연구원  
(E-mail: kjsong@hhi.co.kr)

\*\*\*정회원, 부교수, 부산대학교 조선해양공학과 (기계기술연구소)  
(E-mail: chunahh@hyowon.pusan.ac.kr)

## 1. 서 언

파랑 중 전진하는 선박의 비정상 운동문제를 해석하는 데는 스트립 법 (Korvin-Kroukovsky/Jacob 1974, Salvesen et al. 1970)이나 개량된 스트립 법 (Newman/Sclavounos 1980) 등이 많이 이용되어져 왔다. 이 방법들은 2차원적 해석이거나 3차원 효과를 간접적으로 고려한 것으로서 보다 더 엄밀한 3차원 해석법의 개발 필요성이 대두되었다.

따라서 전진속도를 조우주파수 영향에 포함시키는 동요하는 그린함수와 전진하면서 동요하는 그린함수를 이용한 3차원 비정상 켈빈 소오스법이 선박의 비정상 문제에 적용되어져 왔고 계속적으로 연구가 되고 있다 (Chang 1977, Inglis/Price 1981, Chan 1990, Chun et al. 1990, 전호환 1992, 이호영/염덕준 1994, 전호환 등 1999). 이러한 비정상 켈빈 소오스법은 포텐셜의 정확한 계산 및 수선 선적분의 어려움 등이 있는 것으로 보고되고 있다.

최근에는 수치 계산이 간단한 랜킨 소오스를 이용한 패널법이 선박의 비정상 유동 해석에 널리 사용되고 있다 (Betram 1990, Sclavounos/Nakos 1990, Nakos 1990, 홍사영/최형순 1995, Betram/Yasukawa 1996, Bruzzone/Gualeni 1998). 랜킨 소오스법은 선체 및 자유표면에 랜킨 소오스를 분포시켜 경계조건을 만족하도록 함으로써 경계치 문제의 해를 구한다. 이 방법은 선박의 정상유동문제인 조파저항 문제의 해석에서는 널리 사용되고 있고 실제 선박의 설계에도 적용되고 있다.

본 연구는 랜킨소오스 법과 저차 패널 법을 이용하여 파랑 중 선박의 비정상 문제를 해석하였다. 기본유동을 균일 입사 유동(소위 Kelvin 유동)과 이중모형 유동의 두 가지로 가정하여 지배방정식과 경계조건을 만족하는 해를 구하고 그 결과를 비교하였다.

기본 유동을 이중 모형 유동으로 사용할 때 물체표면 경계조건으로 생기는 물체표면에서의 이중 모형 포텐셜의 2차 미분값의 계산은 저차 패널법을 사용할 경우 물체표면의 곡면오차로 인한 오차가 발생하며 (Zhao/Faltinsen 1989), 본 논문에서는 양진호/전호환 (2000)에 의해 제안된 물체 외부 점들에서의 값들로부터 외삽법에 의해 물체표면에서 포텐셜의 2차 미분값을 구하였다. 수정 Wigley 선형과 Series 60( $C_B=0.7$ ) 선형에 대해 동유체력과 운동응답을 계산하여 실험 값 및 기존의 계산 값과 비교하였다. 이중모형에 의한 계산 값이 균일 입사 유동에 의한 계산 값보다 실험 치에 보다 더 가까운 결과를 보였다.

## 2. 문제의 정식화

유체를 비압축성, 비회전성 유동으로 가정하면 다음의 라플라스 방정식이 지배방정식이 된다.

$$\nabla^2 \psi = 0 \quad (1)$$

여기서  $\psi$ 는 전체 속도 포텐셜이다.

이 방정식은 유체 전 영역을 둘러싸는 모든 경계에 대해 경계조건을 부과함으로써 유일한 해를 가지게 된다.

전체 속도 포텐셜은 다음의 세 속도 포텐셜의 합으로 표시할 수 있다.

$$\psi = \phi + \phi_s + \phi \quad (2)$$

여기서  $\phi$ 는 기본 유동(basic flow) 포텐셜,  $\phi_s$ 는 정상(steady) 유동 포텐셜,  $\phi$ 는 비정상 유동 포텐셜이다. 기본 유동은 아래 3절에서 자세히 언급하였지만 균일 입사유동( $x$ 축의 음의 방향으로 속도  $U$ 의 균일류가 입사한다고 가정)이나 이중모형 유동으로 둘 수 있다.

비정상 유동 포텐셜은 입사 포텐셜( $\phi_0$ ), 산란 포텐셜( $\phi_j$ ), 방사 포텐셜( $\phi_j$ ,  $j=1\sim6$ )의 선형적인 합으로 나타낼 수 있다. 여기서  $j=1$ 은 전후동요(surge),  $j=2$ 는 좌우동요(sway),  $j=3$ 은 상하동요(heave),  $j=4$ 는 횡동요(roll),  $j=5$ 는

종동요(pitch),  $j=6$ 은 선수동요(yaw)를 나타낸다. 이러한 속도 포텐셜이 만족해야 할 경계조건은 다음과 같다.

① 선형화된 비정상 자유표면 경계조건

$$\begin{aligned} &\phi_{tt} + 2\nabla\Phi \cdot \nabla\phi_t \\ &+ \nabla\Phi \cdot \nabla(\nabla\Phi \cdot \nabla\phi) \\ &+ \frac{1}{2}\nabla(\nabla\Phi \cdot \nabla\Phi) \cdot \nabla\phi \\ &+ g\phi_z - \Phi_{zz}(\phi_t + \nabla\Phi \cdot \nabla\phi) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$on\ z = 0$

② 선형화된 물체표면 경계조건(방사문제)

$$\frac{\partial\phi_j}{\partial n} = -i\omega n_j + m_j \quad (4)$$

$j = 1-6 \quad on\ S$

여기서  $S$ 는 물체의 평균 침수표면,  $\omega$ 는 조우 주파수이다.

기본유동  $\Phi$ 를 이중모형 유동으로 가정하면 (3)식을 그대로 적용해야되고 균일 입사유동으로 가정하면 (3)식은 다음으로 된다.

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - U\frac{\partial}{\partial x}\right)^2\phi + g\phi_z = 0 \quad on\ z=0 \quad (5)$$

또한 기본 유동을 균일 입사 유동으로 가정하면 식 (4)의  $n_j$ 와  $m_j$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} [n_1, n_2, n_3] &= \vec{n} \\ [n_4, n_5, n_6] &= \vec{x} \times \vec{n} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} [m_1, m_2, m_3] &= [0, 0, 0] \\ [m_4, m_5, m_6] &= [0, Un_3, -Un_2] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $\vec{n}$ 는 물체표면의 법선벡터,  $\vec{x}(x, y, z)$ 는 물체표면의 위치벡터이다.  $x, y$ 는 정지 자유수면을 나타내고,  $y$ 는 좌현,  $z$ 는 수직상방을 나타내는 직교 우수좌표계가 사용된다.

다음으로, 기본 유동을 이중 모형으로 가정하면  $n_j$ 는 식 (6)과 같고  $m_j$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} [m_1, m_2, m_3] &= -(\vec{n} \cdot \nabla)\nabla\Phi \\ [m_4, m_5, m_6] &= -(\vec{n} \cdot \nabla)(\vec{x} \times \nabla\Phi) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $\Phi$ 는 이중 모형 포텐셜이다.

③ 물체표면 경계조건(산란문제)

$$\frac{\partial\phi_j}{\partial n} = -\frac{\partial\phi_0}{\partial n} \quad on\ S \quad (9)$$

④ 바닥 경계조건과 방사조건:

수심은 무한으로 가정하였다. 전진하며 동요하는 물체의 비정상유동에 대한 파의 전파는 물체의 운동과 속도, 입사파의 주파수등의 상호작용에 의해 이루어지기 때문에 단적으로 정의하기는 쉽지가 않다. 간단히 요약하면 파는 물체의 전진속도가 산란파와 발산파의 균속도보다 작으면 물체의 앞방향으로 전파되고, 그렇지 않을 경우는 물체의 후방으로 전파된다는 것이다.

3. 포텐셜 유동에 대한 경계 적분방정식

그린(Green) 정리에 의해 유체 내부 임의점에서의 교란 포텐셜은 다음과 같다.

$$4\pi\phi = \iint (\sigma G - \mu \frac{\partial G}{\partial n}) ds \quad (10)$$

여기서  $G$ 는 그린 함수이고  $\sigma, \mu$ 는 소오스와 다이폴의 강도이다. 여기서는 다이폴을 분포시키지 않고 소오스만 분포시켜서 문제를 해석한다. 그린 함수로는 랜킨 소오스를 이용한다.

우선, 기본 유동을  $-x$ 축으로  $U$ 의 속도인 (즉 선박이 양의  $x$ 축으로  $U$ 의 일정속도로 전진하는) 균일 입사 유동으로 가정하면, 기본 유동 포텐셜과 비정상 포텐셜은 다음으로 된다.

$$\Phi = -Ux \quad (11)$$

$$\phi = \left[ \iint_S \sigma_b \frac{1}{r} ds + \iint_F \sigma_f \frac{1}{r'} ds \right] e^{-i\omega t} \quad (12)$$

여기서  $F$ 는 자유표면,  $\sigma_b, \sigma_f$ 는 선체표면과 자유표면에 분포된 소오스 강도이고,  $(x, y, z)$ 가 계산점,  $(x', y', z')$ 는 소오스가 분포된 점일 때  $r, r'$ 는 다음으로 된다.

$$r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} \quad (13a)$$

$$r' = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2} \quad (13b)$$

그리고, 기본 유동을 이중 모형 유동으로 가정하면

$$\Phi = -Ux + \int \int_S \sigma_b \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{\bar{r}} \right) ds \quad (14)$$

$$\phi = \left[ \int \int_S \sigma_b \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{\bar{r}} \right) ds + \int \int_F \sigma_f \frac{1}{r} ds \right] e^{-i\omega t} \quad (15)$$

로 쓸 수 있다.

여기서  $\bar{r} = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z+z')^2}$ 이다.

2절의 여러 경계조건을 만족하는 소오스 강도를 구함으로써 속도 포텐셜을 구할 수 있다.

#### 4. 부가질량 계수와 감쇠 계수

베르누이 방정식으로부터 물체에 작용하는 압력은 다음과 같다.

$$p = -\rho \left[ \frac{1}{2} \nabla(\Phi + \phi) \cdot \nabla(\Phi + \phi) - \frac{1}{2} U^2 + gz \right] - \rho[\phi_t + \nabla\Phi \cdot \nabla\phi] \quad (16)$$

첫 번째 [ ]는 정압력이고 두 번째 [ ]는 동압력이다.

여기서 물체가 파랑 강제력을 받으면, 물체가 운동을 하면서 유체로부터 다시 동유체력을 받게 되는데 이를 동역학적 반응력이라 하고,

$$\begin{aligned} F_{jk} &= \rho \sum_{j=1}^6 \int \int_S (-i\omega\phi_k + \nabla\Phi \cdot \nabla\phi_k) n_j \xi_k e^{-i\omega t} ds \\ &= - \sum_{j=1}^6 (A_{jk} \xi_k + B_{jk} \dot{\xi}_k) \\ &= \sum_{j=1}^6 (\omega^2 A_{jk} + i\omega B_{jk}) \xi_k e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (17)$$

로 쓸 수 있다. 여기서  $A_{jk}$ 는 부가질량 계수,  $B_{jk}$ 는 감쇠 계수,  $\xi_k$ 는 복소 운동 변위이다.

그러므로, 식 (17)을 실수부와 허수부로 나누면 부가질량 계수와 감쇠 계수를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$A_{jk} = \frac{\rho}{\omega^2} \text{Re} \int \int_S (-i\omega\phi_k + \nabla\Phi \cdot \nabla\phi_k) n_j ds$$

$$B_{jk} = \frac{\rho}{\omega} \text{Im} \int \int_S (-i\omega\phi_k + \nabla\Phi \cdot \nabla\phi_k) n_j ds$$

#### 5. 수치 계산

수정된 Wigley선형과 Series 60( $C_B=0.7$ ) 선형에 대해 동유체력 계수를 계산하여 기존의 계산값과 실험 값을 비교하였다. 여기서 비교한 기존의 계산치는 평면 패널요소에 대해 2차 스플라인으로 표현한 속도 포텐셜(기본 유동은 이중 모형 유동)로 해석한 Scлавounos/Nakos(1990), Nakos (1990)와 8점 곡면 요소로 확장한 홍사영/최항순(1994)을 참고 인용하였고 실험 값은 Chan(1990)과 Nakos(1990)의 그림으로부터 읽었다.

앞에서도 언급하였듯이 자유표면조건을 만족하는 그린함수를 사용하는 기존의 균일입사유동법과는 달리 랜킨소오스법을 사용할 경우는 자유표면에도 랜킨소오스를 분포한다. 자유표면의 분포영역에 따라서 계산 값이 다르게 나타나며 따라서 충분히 수렴되는 영역까지 분포해야 되며 패널 수도한 충분히 늘려 수렴된 값을 얻어야 된다. 수많은 계산에 의해 수렴된 값을 주는 계산영역과 패널 분포 수를 확인하였으며, 지면관계로 수렴성의 결과는 보이지 않고 본 논문의 계산 결과는 모두 다음의 계산영역을 사용한 경우이다. 자유표면의 계산영역은 선수 앞쪽으로  $0.25L$ , 선미 뒤쪽으로  $0.5L$ , 횡방향으로  $L$ 만큼으로 한다( $L$ 은 수선간길이).

수정된 Wigley선형은 기본 유동을 균일 입사 유동으로 가정한 경우 패널수가 물체 240개, 자유표면 1325개로 계산하고 이중 모형 유동으로 가정한 경우 패널수가 물체 160개, 자유표면 700개로 계산하였다. Series 60( $C_B=0.7$ )는 두 가지 경우 모두 물체 187개, 자유표면 980개로 계산하였다.

선박의 속도는 실험결과가 알려진 경우로서 수정된 Wigley선형은 프루드수 0.3, Series 60는 프루드수 0.2에 대해서 계산을 수행하였고 선수파인 경우이다. 여기서 프루드수는 수선간길이를 기준으로 하였다. 아래 그림에서 나타나는 계산치에 대해 기본 유동을 균일 입사 유동으로 계산한 경

우는 (U)를, 이중 모형 유동으로 계산한 경우는 (D)를 첨가하여 구분하였다.

Fig.1~Fig.8은 수정된 Wigley선형의 무차원 조우 주파수( $\omega' = \omega\sqrt{L/g}$ )에 대해 동유체력 계수의 계산결과와 실험결과를 동시에 보여주고 있다. 그림에서 Hong은 홍사영(1994)으로부터의 계산결과이며, 이는 균일 입사유동을 기본유동으로 가정하고 고차경계요소법에 의해 계산한 결과이다. 또한 Nakos(1990)는 속도포텐셜은 2차 스플라인으로 표시하고 평면패널요소를 사용한 계산 결과이다.

Fig.1에 보여주는 상하동요 부가질량계수는 이중모형을 사용한 현재의 계산 결과와 Nakos의 계산 결과는 서로 비슷한 값을 주며, 또한 이들은 저주파수에서는 실험 값보다 다소 큰 값을 주고 있으며 파 주파수가 증가함에 따라 실험결과와 일치하는 경향을 보이고 있다. 그러나 균일입사유동 의한 계산은 현재의 계산결과가 Hong의 계산결과 보다 전반적으로 큰 값을 주고 있음을 알 수 있다. 이는 저차 패널법을 사용한 현재의 방법보다 고차경계요소법을 사용한 Hong의 결과가 실험 값과 잘 일치하고 있기 때문에 고차경계요소법의 우수성을 보여주는 것으로 생각할 수 있으나 아래에 보여주는 다른 결과들의 비교에서는 상반된 결과들을 보여주고 있기 때문에 한마디로 단정하기는 어렵다고 본다.

Fig.2와 3은 종동요-상하동요 부가질량계수의 결과로서 이중모형에 의한 Nakos와 현재의 계산 결과는 아주 비슷하며 또한 실험결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 반면에 균일 입사유동에 의한 계산결과는 고차경계요소법을 사용한 Hong의 계산결과가 실험 값과 가장 다른 결과를 보여 주고 있다. 본 선형은 종·횡방향으로 대칭인 세장선으로서 Timman/Newman (1962)의 관계식인  $A35 = -A53$ 과  $B35 = -B53$ 을 만족해야 된다. 이중모형으로 계산한 Nakos와 현재의 방법은 수치적인 오차를 무시한다면 이 관계를 만족하고 있음을 알 수 있고 (감쇠 계수는 Fig.6 과 7 참조), 하지만 균일 입사 유동인 경우는 이러한 대칭인 관계가 보이지 않고 실험치와 잘 일치하지

않음을 알 수 있다. 이는 Nakos(1990)가 지적한 바와 같이 (7)과 (8)식으로 주어지는  $m_j$ 항에서 균일 입사유동에서는 고려되지 않은 항이 이중모형유동에서는 고려되었기 때문으로 생각된다.

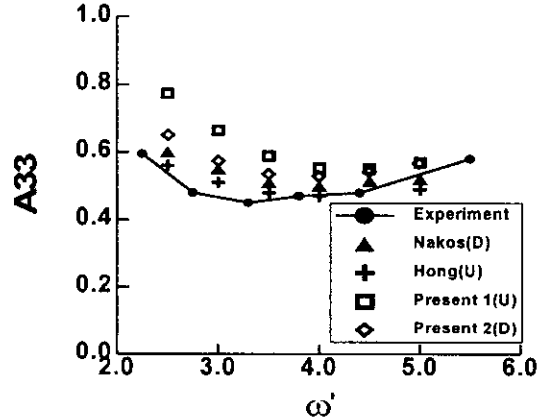


Fig.1 Heave added mass coefficient for the modified Wigley model at  $Fn=0.3$

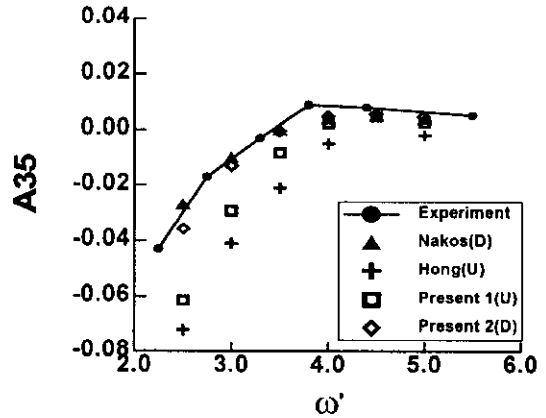


Fig.2 Heave-Pitch added mass coefficient for the modified Wigley model at  $Fn=0.3$

Fig.4는 종동요 부가질량계수의 결과로서 4가지 계산 결과 모두 차이를 보이고 있으나, 이중모형에 의한 계산결과들이 실험 값에 보다 더 근접함을 보이고 있다. 균일 입사유동인 경우 Hong과 현재의 계산 결과가 다소 크게 다른 것이 주목된다.

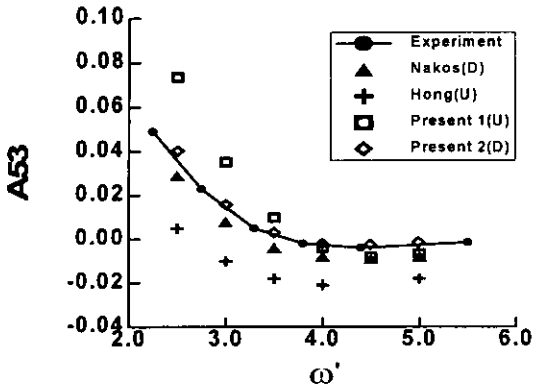


Fig.3 Pitch-Heave added mass coefficient for the modified Wigley model at  $F_n=0.3$

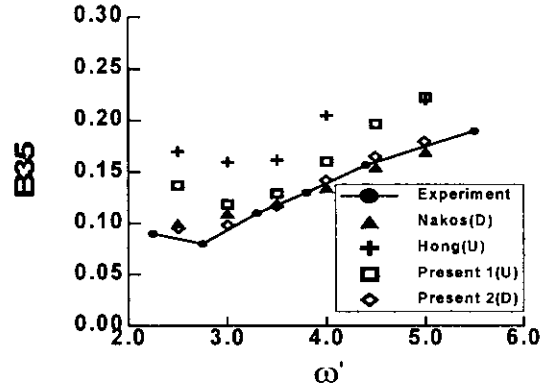


Fig.6 Heave-Pitch damping coefficient for the modified Wigley model at  $F_n=0.3$

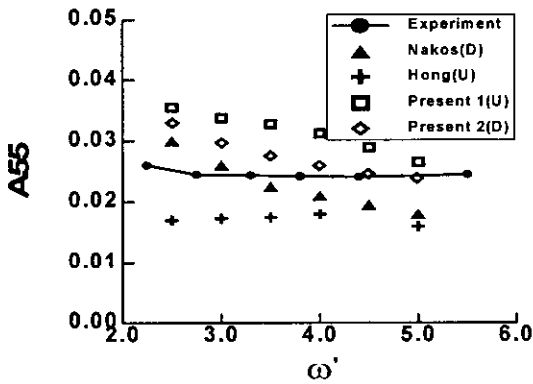


Fig.4 Pitch added mass coefficient for the modified Wigley model at  $F_n=0.3$

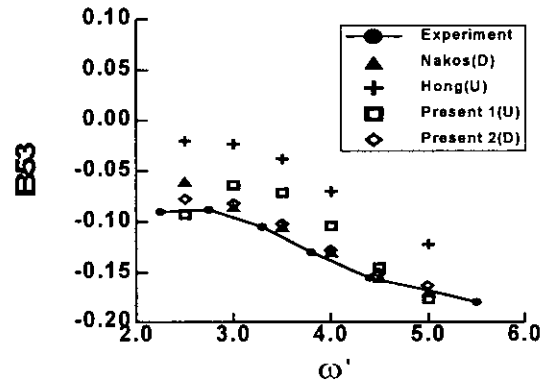


Fig.7 Pitch-Heave damping coefficient for the modified Wigley model at  $F_n=0.3$

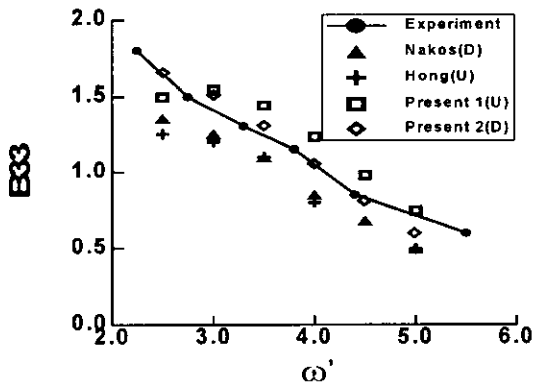


Fig.5 Heave damping coefficient for the modified Wigley model at  $F_n=0.3$

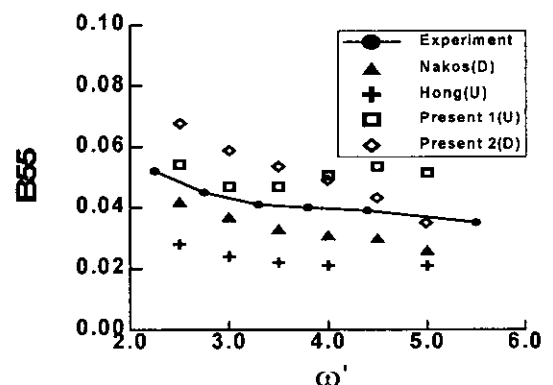


Fig.8 Pitch damping coefficient for the modified Wigley model at  $F_n=0.3$

Fig.5는 상하동요 감쇠계수를 보여주고 있으며 이중모형을 사용한 결과가 실험 값에 가장 근접함을 알 수 있다. Fig.6 과 7은 종동요-상하동요 감쇠계수를 보여주고 있으며 위에서도 언급한 바와 같이 이중모형의 결과가 실험 치와 잘 일치하고 있고, Timman/Newman 관계식을 비교적 만족시키고 있음을 알 수 있다. Fig.8은 종동요 감쇠계수를 보여주고 있으며 Fig.4의 종동요 부가질량계수의 결과와 같이 4가지 계산결과가 모두 차이가 있음을 알 수 있다.

Fig.9~Fig.12는 Series 60( $C_B=0.7$ )의 무차원 주파수에 대한 동유체력 계수의 계산 결과와 실험 결과를 보여주고 있다. 좌우동요 부가질량계수는(Fig.9 참조) 역시 이중모형을 사용한 계산 결과가 실험 값에 보다 더 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 상하동요 부가질량계수는(Fig.10 참조) 이중모형을 사용한 본 계산결과와 Nakos의 계산 결과가 아주 비슷함을 알 수 있고 실험결과와도 비슷함을 볼 수 있다.

좌우동요 감쇠계수는 Fig.11에 보는 바와 같이 이중모형의 계산결과가 다소 차이는 있지만 실험 결과에 보다 근접함을 알 수 있다. 종동요 감쇠계수(Fig.12 참조) 또한 이중모형에 의한 계산결과가 균일 입사유동에 의한 계산 결과 보다 실험 값에 근접함을 알 수 있다.

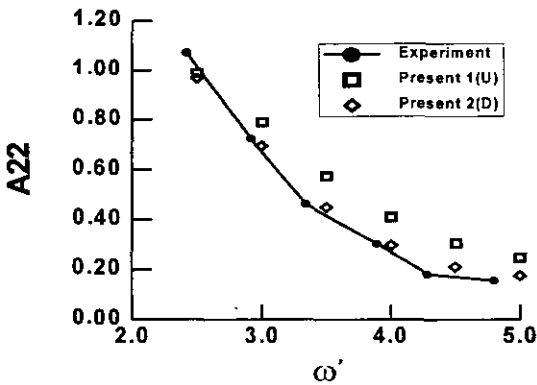


Fig.9 Sway added mass coefficient for Series 60( $C_B=0.7$ ) at  $F_n=0.2$

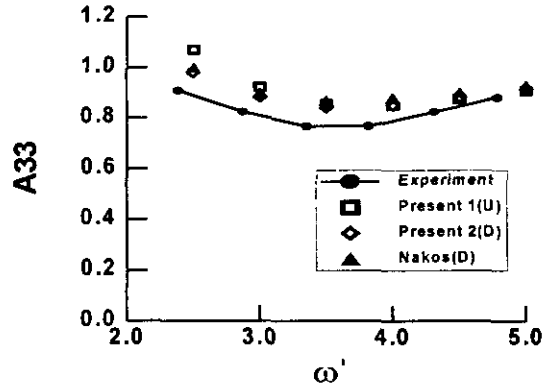


Fig.10 Heave added mass coefficient for Series 60( $C_B=0.7$ ) at  $F_n=0.2$

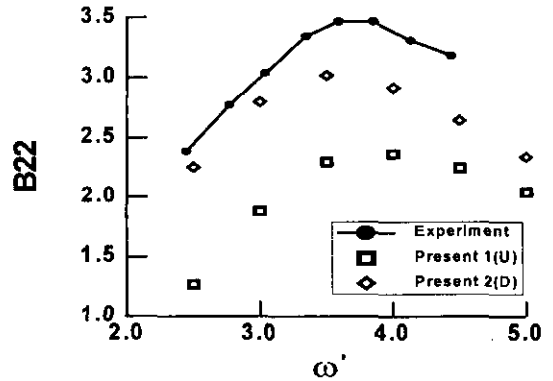


Fig.11 Sway damping coefficient for Series 60( $C_B=0.7$ ) at  $F_n=0.2$

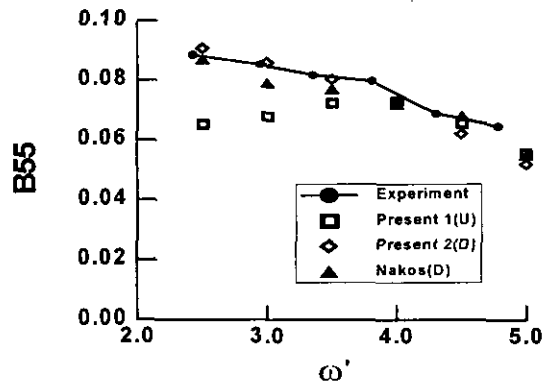


Fig.12 Pitch damping coefficient for Series 60( $C_B=0.7$ ) at  $F_n=0.2$

## 6. 결 론

본 연구는 랭킨소오스 법과 저차 패널법을 이용하여 기본유동을 균일 입사 유동(소위 Kelvin 유동)과 이중모형 유동의 두 가지로 가정하여 수정 Wigley 선형과 Series 60( $C_B=0.7$ ) 선형에 대해 동유체력계수를 계산하여 실험 값 및 기존의 계산 값과 비교하였다. 2가지 선형에 대한 비교연구 결과로부터 이중모형에 의한 계산결과가 균일 입사유동에 의한 계산 결과보다 실험 값에 보다 더 잘 일 치하고 있음을 알 수 있다. 같은 경계조건에 대해서 보다 더 진보된 방법인 고차경계요소법과 저차 패널요소법의 비교에 있어서는 두 방법의 차이로 인한 계산 결과의 차이를 보여주고 있으나, 고차경계요소법의 우월성은 보이지 않고 있다. 현재의 비교결과로서는 저차패널방법이 보다 더 실험값에 근접하고 있음을 알 수 있고 물리적으로도 타당한 결과를 주고 있다. 이에 대한 검증은 보다 더 많은 선형에 대한 실험 결과의 비교에 의해 수행되어야 하나, 짧은 계산시간과 수치계산의 단순성 등의 장점을 가지고 있는 랭킨소오스 저차 패널법에 의한 선박의 운동응답 계산의 활용이 기대된다고 본다.

## 참 고 문 헌

- 김용환 1994 "전진하며 전후동요하는 물체주위의 비정상유동해석을 위한 Rankine Source법의 시간영역 해석에 관한 고찰," 대한조선학회 94 춘계 연구발표회, pp.392-396
- 양진호, 전호환 2000 "비정상 포텐셜유동의 패널 법해석에서 포텐셜의 2차 미분값의 수치계산," 한국해양공학회지 제14권 제3호, pp.41-45
- 이호영, 염덕준 1994 "파랑중에서 전진동요하는 선박의 특이파수 억제에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제31권 제4호, pp.73-81
- 전호환 1992 "파랑중에서 SWATH선의 부가저항에 관하여," 대한조선학회논문집 제29권 제4호, pp.75-86
- 전호환, 김문성, 양진호 1999 "쌍동선의 파랑 동하중 추정," 대한조선학회논문집 제36권 제2호, pp. 50-60
- 홍사영, 최항순 1995 "고차경계요소법에 의한 선체주위 유동해석," 대한조선학회논문집 제32권, 제1호, pp. 42-57
- Betram, V. 1990 "A Rankine Source Method for Forward Speed Diffraction Problem," Ph. D. Thesis, University of Hambrg
- Betram, V. and Yasukawa, H. 1996 "Rankine Source Methods for Seakeeping Problems," STG Jahrbuch, pp.411-425
- Bruzzone, D. and Gualeni, P. 1998 "Three Dimensional Seakeeping Calculation by a Rankine Source Method," Proc. of 3rd International Conference on Hydrodynamics, Korea, pp.149-154
- Chan, H.S. 1990 "A Three Dimensional Technique for Predicting First & Second Order Hydrodynamic Forces On a Marine Vehicle Advancing in Waves," Ph. D. Thesis, University of Glasgow, U.K.
- Chang, M.S. 1977 "Computations of Three Dimensional Ship Motions with Forward Speed," Proc of 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, pp.124-135
- Chun H.H., Djatmiko E.B. McGregor R.C. 1990 "A Wide Ranging Study on the Motions of SWATH Ships with and without Forward Speeds," Proc. of ASME 9th Int. Conference on OMAE, Houston, pp.575-585
- Inglis, R.B. and Price, W.G. 1981 "A Three Dimensional Ship Motion Theory Comparison between Theoretical Predictions and Experimental Data of the Hydrodynamic Coefficients with Forward Speed," Trans. RINA, Vol. 124 pp. 141-157
- Hong S.Y. 1994 "Analysis of Steady and Unsteady Flow around a Ship Using a Higher-Order Boundary Element Method," Ph. D. Thesis, Seoul National University,



Korea (in Korean)

- Korvin-Kroukovsky, B.V. and Jacob, W.D. 1974 "Boundary Integral Equation for the 3D Helmholtz Equation," SIAM Review, Vol. 16, No. 2, pp. 214-236
- Nakos, D.E. 1990 "Ship Wave Patterns and Motions by a Three Dimensional Rankine Panel Method," Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA
- Newman, J. and Sclavounos, P. 1980 "The Unified Theory of Motions," Proceedings of the 13th Symposium of Naval Hydrodynamics, Tokyo, pp. 373-397
- Salvesen, N., Tuck, E.O. and Faltinsen, O. 1970 "Ship Motion and Sea Loads," Transaction of Society of Naval Architects & Marine Engineers, Vol. 78, pp. 250-279
- Sclavounos, P.D. and Nakos, D.E. 1990 "Ship Motions by a Three Dimensional Rankine Panel Method," Proc of 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, USA, pp.1-19
- Timman, R. and Newman, J.N. 1962 "The Coupled Damping Coefficients of Symmetric Ships," Journal of Ship Research, Vol. 5 pp. 1-7
- Zhao, R. and Faltinsen, O. 1989 "A Discussion of the m-terms in the Wave-Current-Body Interaction Problem," 3rd International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, Norway, pp. 1-4



〈양진호〉



〈송기중〉



〈전호환〉