
 論 文

大韓造船學會誌
 第19卷 第4號 1982年 12月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 19, No. 4, December 1982

規則波中에서의 雙胴船의 垂直運動性能計算

尹吉秀* · 崔恒洵** · 李起杓**

The Vertical Motion Calculation of a Catamaran in Regular Waves

by

G.S. Yoon* · H.S. Choi** · K.P. Rhee**

Abstract

The present paper gives numerical results of 2-D hydrodynamic forces on twin cylinders oscillating on a free surface in a deep water. The singularity distribution method is applied to determine a stream function.

Based on the 2-D results the vertical motion responses of a catamaran model (ASR 5061) moving in regular head seas are estimated by using Ordinary Strip Method(O.S.M.).

Numerical results show in general good agreements with Jones' theoretical and experimental results except those at the resonance frequency.

1. 緒 論

海低資源의 개발을 위한 海上構造物과 같이 넓은 갑판이 요구되는 경우, 船體 橫斷面은 대부분 雙胴體(twin hull)의 모양을 하고 있다.

雙胴體 船型은 Conventional Catamaran, Semi Submersible Catamaran (SSC) 또는 Small-Waterplane Area Twin Hull ship(SWATH), Hybrid-type Catamaran 또는 S-form Catamaran 등의 3가지 형태가 있으며, 넓은 갑판을 효과적으로 이용하려는데 그 목적이 있다.

넓은 폭으로 인하여 橫動搖가 작은 利點이 있으나 上下動搖와 縱動搖의 연성된 운동으로 인한 船首部의 span deck下面을 치는 hammering 현상이 자주 발생하므로 안정된 구조물로서의 운동성능을 지니기가 어

렵다.

이러한 운동성능을 밝히기 위해 模型船의 實驗과 함께 해석적인 방법에 의한 노력이 진행되고 있는바, 가장 일반적인 방법이 strip이론이다.

이 strip이론을 사용하려면 우선 船體 各 단면의 2차 원유체력을 알아야 한다.

이 문제는 F. Ursell [1] 이래 F. Tasai[3], C.H. Kim[12]에 의해 발전되 왔으며, 임의형상 표현을 위한 특이점 분포 방법이 W. Frank[2], C.M. Lee[7]와 H. Maeda[4], K.P. Rhee[9]에 의해 확장 응용되어 오고 있다.

本稿에서는 conventional catamaran에서 上下動搖와 縱動搖 현상이 가장 심하게 나타나는 船首 規則波中에서의 垂直運動성능을 계산하였다.

接受日字 1982年 10月 27日

* 正會員, 釜山水產大學 海洋工學科

** 正會員, 서울大學校 工科大学 造船工學科

2. 좌 표 계

2차원 단면에 대한 경계치 문제의 해석을 위한 좌표계를 Fig. 1과 같이 정의하고 O.S.M. 적용을 위한 유수좌표계를 Fig. 2와 같이 정의하였다.

波는 空間 固定 좌표계 $O-X_1Y_1Z_1$ 의 양의 X_1 축 방향으로 들어오며, 배는 波의 진행에 대해 χ 각도를 갖는 직선상을 속도 V 로 진행하고 있으며, 배의 평균위

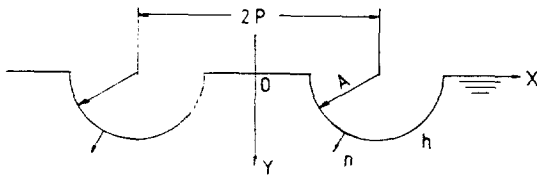


Fig. 1. Coordinate System for 2-D Cylinder.

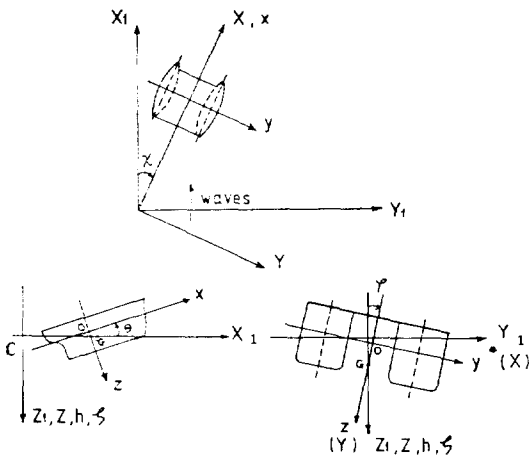


Fig. 2. Coordinate System for Equation of Motion.

치 주위의 운동은 미소하다고 가정하면 선체 고정 좌표계 $0-xyz$ 와 공간 고정 좌표계 $0-X_1Y_1Z_1$ 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\begin{aligned} X_1 &= x \cos \chi - y \sin \chi + V t \cos \chi \\ Y_1 &= x \sin \chi + y \cos \chi + V t \sin \chi \\ Z_1 &= z \end{aligned} \quad (2-1)$$

X_1 축의 양의 방향으로 진행하는 단일 정현파는

$$\begin{aligned} \zeta_w &= h_0 \cos(kX_1 - \omega t) \\ &= h_0 \cos(kx \cos \chi - ky \sin \chi - \omega t) \end{aligned} \quad (2-2)$$

여기서

$$\begin{aligned} k &= 2\pi/\lambda \\ \omega_c &= \omega - kV \cos \chi \end{aligned}$$

이다.

2차원 좌표계 (Fig. 1)의 X, Y 는 유수좌표계 (Fig. 2)의 y, z 에 해당된다

3. 2차원 유체력

船體의 각 단면을 길이방향으로 형상의 변화가 없는 2차원 柱狀體로 간주하고 선체 주위의 유체 유동은 2차원 Laplace 방정식과 선형화된 자유표면 및 기타 경계면에서의 조건식을 만족하는 것으로 한다.

流體는 非粘性, 非壓縮性 流體로, 그리고 流動은 非回轉運動을 하며 流體입자들의 속도와 경계면의 변위 및 그 도함수가 미소하다는 가정아래 유체입자의 속도는 다음과 같이 표시된다.

$$\vec{V}(x, y, t) = -\nabla\phi(x, y, t) \quad (3-1)$$

이것을 만족시키는 방정식과 경계조건들은 다음과 같다.

$$\nabla^2\phi = 0 \quad (3-2)$$

$$k\phi + \frac{\partial\phi}{\partial y} = 0 \quad \text{on } y=0 \quad (3-3)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial y} = 0 \quad \text{as } y \rightarrow \infty \quad (3-4)$$

$$-\frac{\partial\phi}{\partial n} = \vec{V} \cdot \vec{n} \quad \text{on } h \quad (3-5)$$

$$\phi \sim iH^{\pm}(k)e^{-ky-ikx} \quad \text{as } x \rightarrow \pm\infty \quad (3-6)$$

식(3-5)을 제외한 모든 조건을 만족하는 Green함수는 Wehausen & Laitone[5]에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} G(P, Q) &= \text{Log } r_1 - \text{Log } r_2 - 2\text{Re} \{e^{ikz} E(ikz)\} \\ &\quad + 2\pi i e^{-k(y+b) - ikix - \alpha} \end{aligned} \quad (3-7)$$

여기서 $r_1 = PQ, r_2 = PQ', E(ikz)$ 는 exponential integral이다.

이 Green함수를 사용하여 식(3-5)을 만족시키는 특이점의 선밀도 (line density)를 구하면 속도 포텐셜은 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \phi_m(x, y) &= \int_{\Gamma} \sigma_m(a, b) \cdot G(x, y; a, b) \cdot dS(a, b) \\ m &= 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (3-8)$$

윗식은 流量함수 Ψ_m 를 도입하여 변환하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Psi_m(x, y) &= \int_{\Gamma} \sigma_m(a, b) \cdot \bar{G}(x, y; a, b) \cdot dS(a, b) \\ m &= 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (3-9)$$

여기서

$$\begin{aligned} \bar{G} &= \tan^{-1} \frac{y-b}{x-a} - \tan^{-1} \frac{y+b}{x-a} - 2 \cdot \text{sign}(x-a) \times \\ &\quad \times I_m \{e^{ikz} \cdot E(ikz)\} - 2\pi e^{-k(y+b) - ikix - \alpha} \end{aligned} \quad (3-10)$$

식(3-9)에서 구한 특이점의 선밀도 σ_m 을 식(3-8)에 대입하여 얻어진 ϕ_m 으로부터 2차원 유체력을 구한다.

4. 선체운동방정식(O.S.M.)

선체의 縱방향 중심면에 대해 對稱인 縱운동이 波와 만나는 주파수(encounter frequency)로 미소 진폭의 조화운동을 한다고 하면, 上下搖(heave: ζ) 및 縱搖(pitch: θ)는 다음과 같이 표시된다.

$$\zeta = \zeta_0 \cos(\omega_e t - \epsilon_\zeta) \tag{4-1}$$

$$\theta = \theta_0 \cos(\omega_e t - \epsilon_\theta) \tag{4-2}$$

heave와 pitch의 연성운동방정식은

$$A_{11}\ddot{\zeta} + A_{12}\ddot{\zeta} + A_{13}\dot{\zeta} + A_{14}\dot{\theta} + A_{15}\ddot{\theta} + A_{16}\theta = F_\zeta \tag{4-3}$$

$$A_{21}\ddot{\zeta} + A_{22}\ddot{\theta} + A_{23}\dot{\zeta} + A_{24}\dot{\theta} + A_{25}\ddot{\zeta} + A_{26}\theta = M_\theta \tag{4-4}$$

이다. 식(4-3), (4-4)에 식(4-1), (4-2)를 대입하여 불변 운동의 진폭과 위상을 구할 수 있다.

선체 중앙으로부터 x 만큼 떨어져 있는 미소폭 dx 인 strip부분의 상하운동을 고찰하면

$$\zeta_x = \zeta - (x - x_c) \cdot \theta \tag{4-5}$$

여기서 x_c 는 重心의 x 좌표이다.

선체단면의 상하운동 ζ_x 에 의한 힘은 靜적인 浮力, 造波減衰力, 流體의 운동량 변화에 기인한 힘과 관성력의 4가지 성분으로 구성된다.

$$dF_{z1} = -2\rho g y_w (\zeta - x_b \theta) dx \tag{4-6}$$

$$dF_{z2} = -\rho N_x (\zeta - x_b \dot{\theta} + V\theta) dx \tag{4-7}$$

$$dF_{z3} = -\rho S_x (\zeta - x_b \ddot{\theta} + 2V\dot{\theta}) dx + \rho V \frac{dS_x}{dx} (\zeta - x_b \dot{\theta} + V\theta) dx \tag{4-8}$$

$$dF_{z4} = -\frac{w(x)}{g} (\zeta - x_b \ddot{\theta}) dx \tag{4-9}$$

여기서 y_w 는 demihull폭이며, $x_b = x - x_c$ 이다.

波에 의한 강제력에는 Froude-Krylov force와 diffraction force로 나누어 생각하는데, diffraction force는 radiation force로 치환하여 계산한다. 이것을 실험적인 식으로 표기하면 波진폭은 다음과 같다.

$$\zeta_w = h_0 c_1 c_2 \cos(k^* x - \omega_e t) \tag{4-10}$$

여기서 c_1, c_2 는 수정계수로써

$$c_1 = \frac{\sin(ky_w \sin \chi)}{(ky_w \sin \chi)} \quad \chi \neq n\pi$$

$$= 1.0 \quad \chi = n\pi, (n=1, 2)$$

$$c_2 = e^{-k\sigma d}$$

$$k^* = k \cos \chi \tag{4-11}$$

이렇게 놓으면 strip dx 에 작용하는 波의 강제력은 다음 3종류로 표시된다.

$$dF_{zw1} = \rho g h_0 c_1 c_2 \times 2y_w \cdot \cos(k^* x - \omega_e t) dx$$

$$dF_{zw2} = \rho N_x h_0 c_1 c_2 \omega \times \sin(k^* x - \omega_e t) dx$$

$$dF_{zw3} = -\rho S_x h_0 c_1 c_2 \omega^2 \times \cos(k^* x - \omega_e t) dx$$

$$-\rho \frac{dS_x}{dx} \cdot V h_0 c_1 c_2 \omega \times \sin(k^* x - \omega_e t) dx$$

$$\tag{4-12}$$

strip의 운동에 기인한 힘과 波의 강제력을 길이 방향으로 적분하여 정리하면 上下搖, 縱搖연성운동방정식의 계수 및 파력등이 계산된다. [10].

6. 계산결과 및 고찰

정동선의 운동성능을 계산하기 위하여 미 해군연구소에서 1970년경에 개발한 ASR 5061을 계산모델로 택하였다.

이때의 제원과 실형은 Table 1과 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다.

2차원 유체력 계산의 검증은 위하여 두개의 반원단

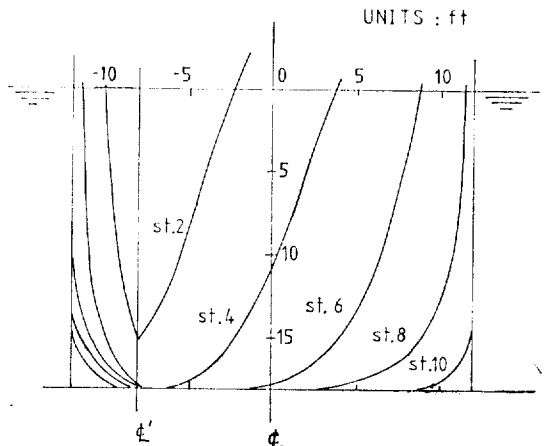


Fig. 3. ASR 5061 Demihull Fwd. Body Plan.

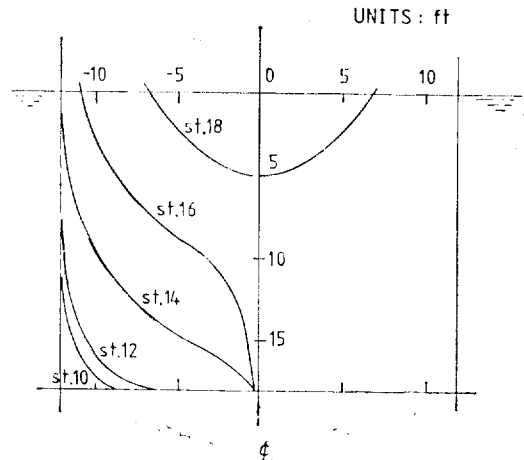


Fig. 4. ASR 5061 Demihull Aft. Body Plan.

Table 1. Main Particulars of Catamaran

Units: ft

Model number	ASR	5061
Length (btw. perpendiculars), L		210.0
Beam (overall), Bm		86.0
Beam (each hull), B		24.0
Draft, H		18.0
Hull separation		38.0
Displacement of each hull in long tons		1397.0
Longitudinal center of gravity aft. of F.P.		105.5
Longitudinal radius of gyration		0.25L
Vertical center of gravity, KG		21.0
Transverse metacentric height, GM		59.0
Scale ratio		16.89
Hull separation/Beam		1.58

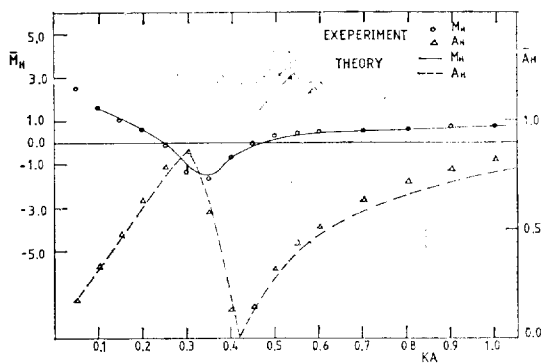


Fig. 5. Heave Added Mass Coeff. and Damping Coeff. for Two Circular Cylinders ($2P/A=6.0$).

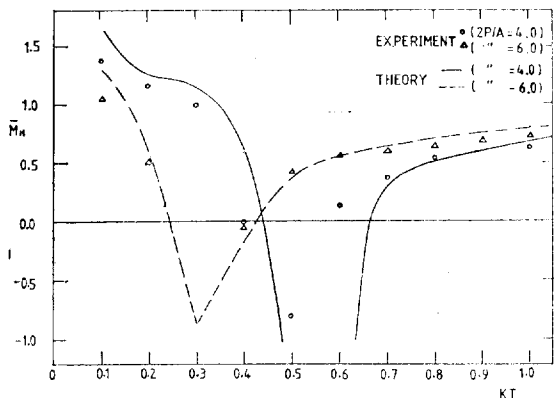


Fig. 6. Heave Added Mass Coeff. for Lewis Form Catamaran (number of source points=19).

면으로 이루어진 쌍동 주상체의 2차원 유체력을 구하

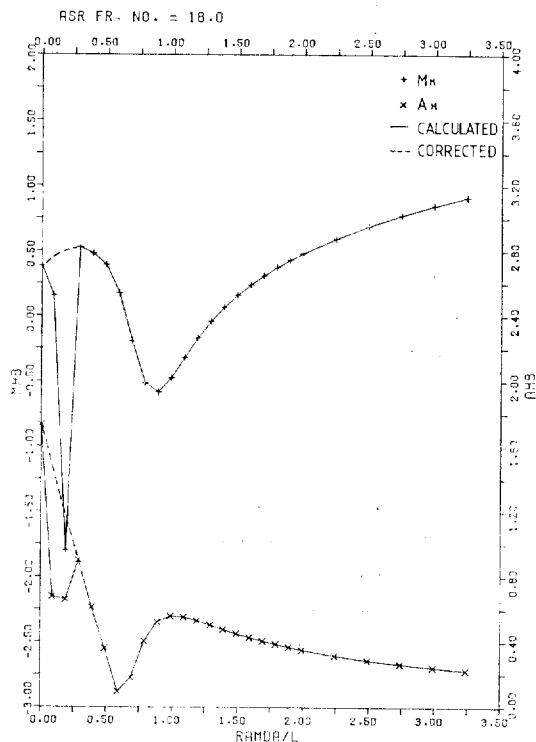


Fig. 7. Heave Added Mass Coeff. (MHB) & Damping Coeff. (AHB) of ASR Frame No. 18 for the λ/L Abscissa.

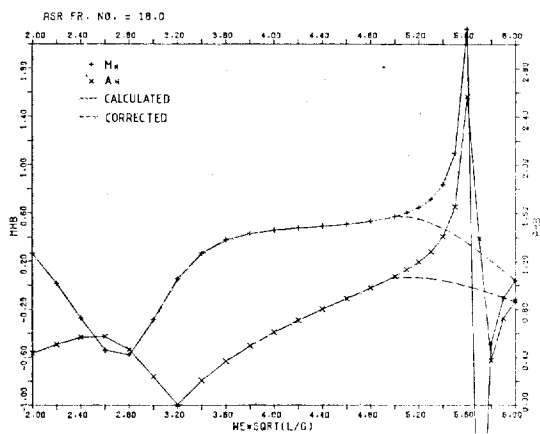


Fig. 8. Heave Added Mass Coeff. (MHB) & Damping Coeff. (AHB) of ASR Frame No. 18 for the $\omega_e \sqrt{L/g}$ Abscissa.

여 Ohkusu[10]의 실험값과 비교하여 본 결과($2P/A=6$) Fig. 5에서와 같이 잘 일치하고 있다.

또한 Lewis형 단면 쌍동체에 대해 Takezawa[11]의 결과와 비교한바 값의 차이는 보였으나, 변화경향이 일

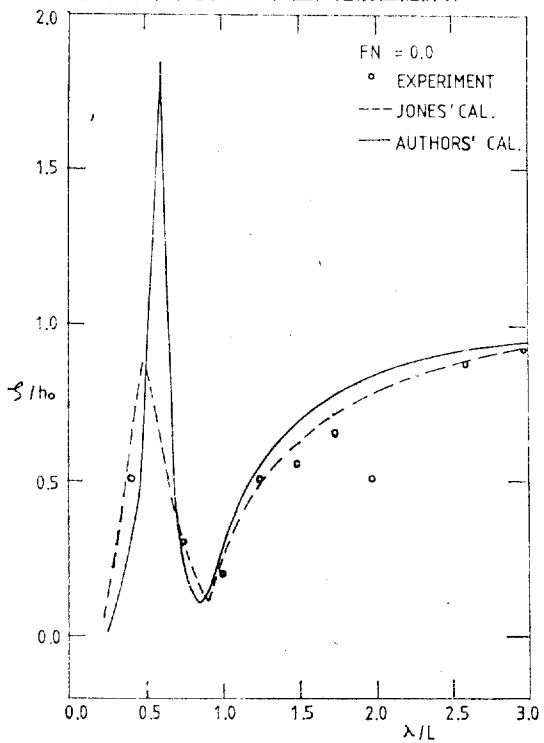


Fig. 9. Non-dimensional Heave Parameter versus Wave Length to Ship Length Ratio for the ASR, $FN=0.0$

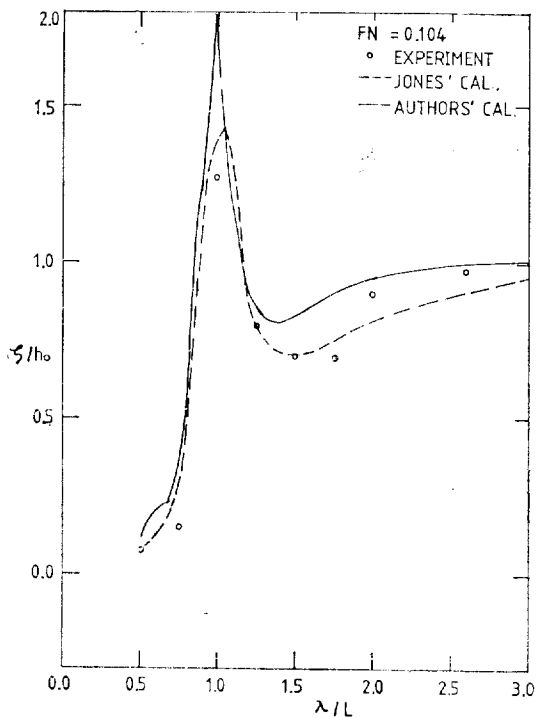


Fig. 10. Non-dimensional Heave Parameter versus Wave Length to Ship Length Ratio for the ASR, $FN=0.104$.

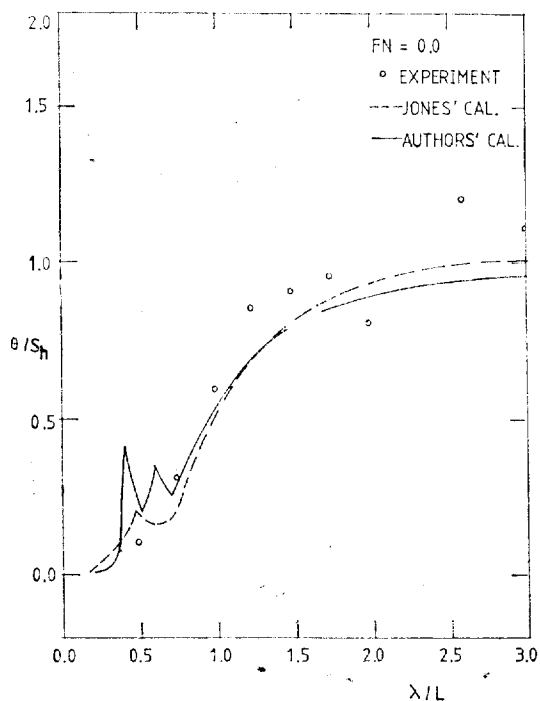


Fig. 11. Non-dimensional Pitch Parameter versus Wave Length to Ship Length Ratio for the ASR, $FN=0.0$.

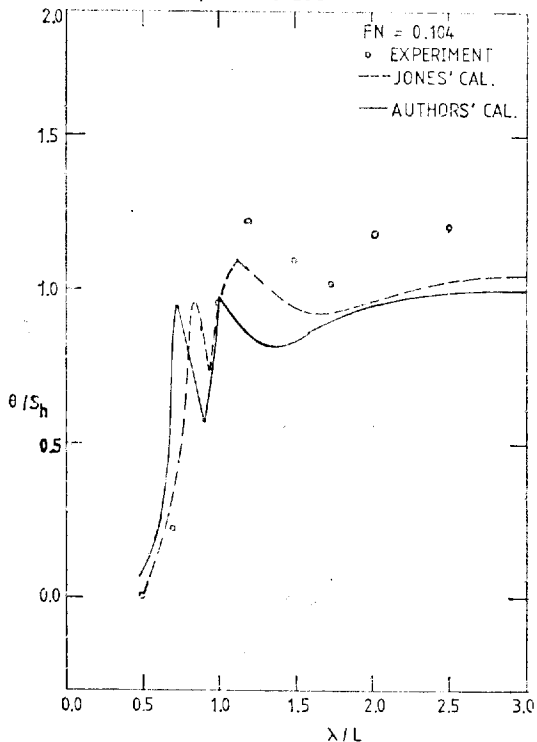


Fig. 12. Non-dimensional Pitch Parameter versus Wave Length to Ship Length Ratio for the ASR, $FN=0.104$.

치하고 있음을 알 수 있다(Fig. 6).

실제 쌍동선형 ASR5061의 2차원단면에 대한 유체력 계산결과중에서 irregular frequency에 대한 값의 사용을 방지하기 위해서 λ/L , ω , $\sqrt{L/g}$ 두 가로축에 대해 도시하였다(Fig. 7, 8).

ASR 5061에 船首 규칙파가 올때 Froude No.=0.0, 0.104, 0.311, 0.414등 4가지 경우에 대해 계산하고 기존계산값 및 실험값과 비교한 결과 resonance value로 생각되는 구간에서의 과도한 값이 나타나는 점외에는 Jones의 계산값 및 실험값에 유사한 경향을 보이고 있다.

$FN=0.0$ 에 대한 縱搖계산의 경우 $\lambda/L=0.5$ 근처에서 peak point가 2개 나오는 것은 $FN=0.104$ 이상의 경우 더 큰 peak point가 2개 나오는 것으로 보아 Jones의 계산에서는 누락된 것으로 보인다.

7. 結 論

본 논문에서 ASR 5061을 대상으로 쌍동선의 수직운동 성능계산을 수행함에 있어서 2차원 유체력은 Maeda방법을 사용하였고, 수직운동 성능계산에는 O.S.M.방법을 사용하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 쌍동체의 부가질량은 단일선형의 부가질량과는 달리 특정구간에서는 음의 값을 가진다. 또한 그때의 damping 계수가 커지기 때문에 이들 계수의 계산이 특히 중요하다.

(2) 수직운동성능계산 결과 공진점근처에서의 과도한 값은 (1)의 영향이 주된 원인으로 생각된다.

(3) 공진점외에서의 값은 Jones의 계산 값 및 실험값에 거의 근사한 결과를 나타내는 것을 보아, 쌍동선의 초기설계시 문제되는 수직운동 성능계산에 이용할 수 있다.

앞으로 횡방향운동 및 SWATH의 운동성능 해석을 수행할 예정이며, 본 논문을 작성할 수 있도록 하여 주신 한국기계연구소 선박분소에 감사를 표한다.

參 考 文 獻

- [1] Ursell, F.: "On the Heaving Motion of a Circular Cylinders on the Surface of a Fluid", Quar. J. Mech. Appl. Math. 2. 218-231, 1949.
- [2] Frank, W.: "Oscillation of Cylinders in or below the Free Surface of Deep Fluids", Report No. 2375 Naval Ship Res. & Dev. Center, 1967.
- [3] Tasai, F.: "On the Damping Forces and Added Mass of Ships Heaving and Pitching", J. Soc. Nav. Arch. Japan 105, 47-56, 1959.
- [4] Maeda, H.: "Wave Excitation Forces on Two-Dimensional Ship of Arbitrary Sections", T.S. N.A. Japan, Vol. 126, Dec. 1969.
- [5] Wehausen. J.V. & Laitone, E.V.: "Surface Waves", Handbuch der Physik, Vol. 9, 1960.
- [6] Jones, H.D.: "Catamaran Motion Prediction in Regular Waves", N.S.R.D.C. Report 3700, Jan. 1972.
- [7] Lee, C.M., Jones, H.D. & Curphey, R.M., "Prediction of Motion and Hydrodynamic Loads of Catamarans" NSRDC Paper to be Presented at the SNAME Chesapeake Section Meeting, Mar. 1973.
- [8] 홍석원, "自由水面에서 動搖하는 柱狀體의 動流體力解析에 關한 考察" 서울대학교 대학원 조선공학과석사학위 논문, Jun. 1979.
- [9] 이기표, "雙胴體에 작용하는 2차원 유체력 계수의 수심의 변화에 따른 영향에 관한 고찰", 한국과학재단 연구보고서, Oct. 1980.
- [10] Ohkusu, M., "On the Heaving Motion of Two Circular Cylinders on the Surface of a Fluid", Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Vol. 17, No. 58, 1969.
- [11] 竹澤誠二, 前田久明, 自木東, 江口純弘, "雙胴船에 作用하는 流體力에 대하여", 日本造船學會, 春季講演會, May, 1972.
- [12] Kim, C.H., "Hydrodynamic Forces and Moments for Heaving, Swaying and Rolling Cylinders on Water of Finite Depth", J. of Ship Research Vol. 13, No. 2, June 1969.

[1] Ursell, F.: "On the Heaving Motion of a Circ-