
 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

船舶의 規則波中에서의 相對船首變位の 解析

裊斗煥* · 金曉哲** · 姜信榮** · 李起杓**

Analysis of Relative Bow Displacements of a Ship in Regular Waves

by

D.H. Bai* · Hyochul Kim** · S.H. Kang** · K.P. Rhee**

Abstract

Relative bow-motions of a ship in waves are investigated by using linear theory. The relative displacement is assumed to be composed of incident wave elevation, motion response, dynamic swell-up and ship wave elevation.

Radiation problem is solved by distributing sources on the hull surface and wave elevation in a uniform stream is obtained by integrating Havelock's function with centerplane source distributions.

Relative displacements for I.T.T.C. S7-175 model are calculated. Dynamic swell-ups make the relative displacement larger except small heading angles. Amplitudes of relative motion on weather-side are generally larger than those on lee-side. Ship wave elevations in a uniform stream also give considerable contributions and our calculations are verified to be reasonable by comparison with experimental results.

1. 서 언

해양을 항해하는 선박에서는 해상 상태와 선박의 운동 성능에 따라 slamming과 deck wetness, propeller emergence 등의 현상이 나타나게 된다. 특히 slamming과 deck wetness 등은 선체구조의 손상과 전복의 원인이 되기도하며, 고속 컨테이너선에서는 화물의 안전한 수송을 방해하는 요인이 되기도 한다.

이러한 현상을 예측하고 선박의 설계에 고려하기 위하여 Hoffman, Bales, Murdey와, Takaishi[5] 등이 선박의 평균수면에 대한 상대 운동을 연구해왔다.

본 논문에서는 slamming과 deck wetness의 발생 여부를 판단하는데 기준이 되는 선수부의 수직 상대 운

동을 수치적으로 구하고자 한다.

규칙파 중을 항해하는 선박의 수직 상대 변위는 다음과 같은 변위들로 구성 된다.

- 1) 파랑 중에서 항진하는 선체의 운동으로 인한 변위
- 2) 입사파에 의한 변위
- 3) dynamic swell-up
- 4) 정수 중에서 선박이 항진할 때 생기는 파에 의한 변위

본 논문에서는 3)항의 산란파의 속도 포텐셜을 구하기 위하여 속도 포텐셜을 대칭항과 비대칭항으로 나누어서 radiation 문제와 같이 취급하였으며, 속도포텐셜대신 유량 함수를 구하여 수치 계산을 수행하였다.

한편 4)항에 대한 계산은 first-order thin ship theory

接受日字: 1982年 11月 13日

* 學生會員, 서울大學校 大學院

** 正會員, 서울大學校 工科大學

를 이용하였으며 이 결과를 실험치와 비교하였다.

체표면의 법선벡터이다.

2. 基本方程式

3. 속도 포텐셜

좌표계는 Fig. 1에서와 같이 공간 고정 좌표계를 O-XYZ, 정지 자유 표면에 원점을 두고 선체에 고정된 이동 좌표계를 o-xyz로 표시한다.

선박이 등속도 U 로 x 축의 양의 방향으로 전진하고 있다고 하면 유체 입자의 운동을 나타내는 속도 포텐셜은 다음과 같이 표시 된다.

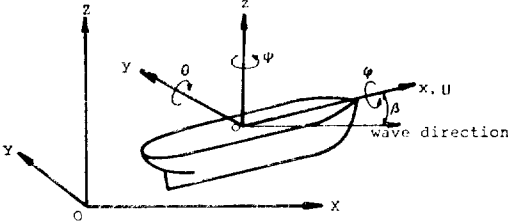


Fig. 1. Coordinate Systems.

선박은 x 축의 양의 방향으로 평균 속도 U 로 전진하며, 입사파는 x 축과 임의의 각 β 로 입사한다. 선체의 운동은 Fig. 1에 표시한 방향을 양의 운동으로 간주한다.

$\phi(x, y, z, t) = \Phi_S(x, y, z) + \Phi_T(x, y, z, t) - Ux$ (3-1)
여기서 Φ_S 는 정수 중에서 선체가 등속도 U 로 진행할 때에 이에 따른 교란을 나타내는 속도 포텐셜이고, Φ_T 는 다시 다음과 같이 나눌 수 있다.

$$\Phi_T(x, y, z, t) = \Phi_I(x, y, z, t) + \Phi_D(x, y, z, t) + \Phi_R(x, y, z, t) \quad (3-2)$$

여기서 Φ_I 는 입사파의 속도 포텐셜, Φ_D 는 산란파의 속도 포텐셜, Φ_R 은 반산파의 속도 포텐셜을 나타낸다.

x 축에 대하여 임의의 각도 β 로 입사하는 파의 수직 변위 ζ_ω 는 다음과 같이 표시 된다.

$$\zeta_\omega = ae^{i(-x \cos \beta + y \sin \beta + \omega t)} \quad (3-3)$$

여기서 $\nu = \frac{\omega_0^2}{g}$, $\omega = \omega_0 - U\nu \cos \beta$ 그리고 a 는 입사파의 진폭이며, 이에 대응하는 입사파의 속도 포텐셜 Φ_I 는 다음과 같다.

$$\Phi_I = \frac{iga}{\omega_0} \varphi_i(y, z) e^{i(-x \cos \beta + \omega t)} \quad (3-4)$$

$$\varphi_i(y, z) = e^{i\nu z} e^{i\nu y \sin \beta} \quad (3-5)$$

선체의 존재로 인해 생긴 산란파의 속도 포텐셜은 다음과 같이 가정한다.

$$\Phi_D = \frac{iga}{\omega_0} \varphi_o(y, z) e^{i(-x \cos \beta + \omega t)} \quad (3-6)$$

또 반산파의 속도 포텐셜도 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Phi_R = \sum_{i=1}^6 V_i \varphi_i, \quad i=1, 6 \quad (3-7)$$

V_i : 각 동요에 따른 속도

φ_i : 단위 속도 포텐셜

$i=1 \sim 6$ 은 각각 전후동요, 수평동요, 상하동요, 횡동요, 종동요, 선수동요를 뜻한다. 식(3-6)과 같이 정의된 φ_o 는 다음의 방정식을 만족해야 한다.

$$\frac{\partial^2 \varphi_o}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi_o}{\partial z^2} + (-i\nu \cos \beta)^2 \varphi_o = 0 \quad (3-8)$$

이 식은 Helmholtz 방정식이며 Choo는 이 diffraction 문제를 zero speed의 경우에 대해 asymptotic series expansion technique을 사용하여 풀었으며, Troesch는 점진 속도가 있는 경우로 확장하였다. Troesch는 그의 계산 결과를 2차원의 연속방정식을 푼 결과와 비교하였는데 두 결과 사이에 별로 큰 차이가 없음을 보여 주고 있다[6].

또 本 論文에서는 다음과 같은 假定을 하였다.

(1) 이상 유체이므로 속도 포텐셜 및 이에 대응하는 유량 함수가 존재한다.

(2) 선체는 주기 운동을 하며 진폭은 미소하다.

(3) 배의 길이는 폭이나 흘수에 비해 상당히 크므로 각 2차원 단면들 사이에 상호 작용은 무시할 수 있다.

(4) 波의 기울기가 충분히 작으므로 선형이론에 의거하여 속도 포텐셜을 입사파, 산란파 및 반산파의 속도 포텐셜 들로 나눌 수 있다.

이 포텐셜 ϕ 는 다음의 연속 방정식과 경계 조건들을 만족해야 한다.

연속 방정식

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (2-1)$$

선형화된 자유표면 경계조건

$$\omega^2 \phi - g \frac{\partial \phi}{\partial Z} = 0, \quad Z=0 \quad (2-2)$$

선체 표면의 경계조건

$$\nabla \phi \cdot \mathbf{n} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} \quad (2-3)$$

海底에서의 境界條件

$$\frac{\partial \phi}{\partial Z} = 0, \quad Z = -\infty \quad (2-4)$$

放射條件

속도 포텐셜 ϕ 는 평면 진행파와 무한 원방에서는 감쇠하는 반산파를 나타내야 한다.

여기서 ω 는 파의 원진동수, g 는 중력가속도, \mathbf{n} 은 선

한편 본 논문에서는 파의 길이 λ 가 크다고 가정하면 ν 가 작아지므로 식(3-8)에서 $(-i\nu \cos \beta)^2$ 항은 매우 작은 값이 될 것이므로 결국 2차원의 연속 방정식으로 φ_0 가 표시 된다. 또한 식(2-4)는 diffraction 문제의 경우에는 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{\partial \varphi_0}{\partial n} = -\frac{\partial \varphi_i}{\partial n} \quad (3-9)$$

φ_0 에 대응하는 유량함수를 Ψ_D 라 하면 식(3-9)는 아래와 같이 쓸 수 있으며

$$\frac{\partial \Psi_D}{\partial s} = -\frac{\partial \varphi_i}{\partial n} \quad (3-10)$$

성분별로 나누면 다음의 결과를 얻는다.

$$\frac{\partial \Psi_D}{\partial y} = \frac{\partial \varphi_i}{\partial x}, \quad \frac{\partial \Psi_D}{\partial x} = -\frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \quad (3-11)$$

한편 경수 중에서 선박이 등속도 U 로 전진하고 있을 때, 이 교란에 의한 단위 속도 포텐셜 ϕ_s 는 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_s(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{s_0} \frac{\partial}{\partial \xi} f(\xi, \zeta) \cdot G(x, y, z; \xi, 0, \zeta) d\xi d\zeta \quad (3-12)$$

여기서 G 은 다음과 같다.

$$G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta) = -\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} + H(x, y, z; \xi, \eta, \zeta) \quad (3-13)$$

$$R = [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2]^{1/2} \quad (3-14)$$

$$R' = [(z-\xi)^2 + (y+\eta)^2 + (x-\zeta)^2]^{1/2} \quad (3-15)$$

$$H = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} \frac{k_0 \sec^2 \theta}{k - k_0 \sec^2 \theta} \times e^{k(z+\zeta) + i(x-\xi) \cos \theta + i(y-\eta) \sin \theta} dk d\theta \quad (3-16)$$

$$+ R_e \left[2i \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} k_0 \sec^2 \theta \times e^{k_0 \sec^2 \theta (z+\zeta) + i(x-\xi) \cos \theta + i(y-\eta) \sin \theta} d\theta \right]$$

$k_0 = -\frac{g}{U^2}$ 이다.

한편 선체에서의 파고를 f_s 라 하면

$$f_s = -\frac{U^2}{g} \frac{\partial \phi_s}{\partial x}(x, 0, 0) \quad (3-17)$$

가 된다.

보통 선형은 off-set으로 표현되기 때문에 주어진 off-set를 사용하여 수치 계산을 수행한다. 이점을 감안하여 여기서는 선체 표면 S_0 를 횡단면과 수선면에 평행되게 직사각형 mesh로 나누어 선형을 다음과 같이 piecewise linear function으로 나타낸다.

$$f(x, z) = A_{ij} + B_{ij}(x - x_i) + C_{ij}(z - z_j) + D_{ij}(x - x_i)(z - z_j) \quad (3-18)$$

여기서 $x_i < x < x_{i+1}$, $i=1, 2, \dots, N$

$z_j < z < z_{j+1}$, $j=1, 2, \dots, M$

$M+1$ 은 총 水線面의 수이며 $N+1$ 은 총 횡단면의 수

이다.

$x = x_i$, $z = z_j$ 에서 선체표면의 y 좌표를 f_{ij} 라 하면 각 계수들은 off-set에 의해 다음과 같이 정해진다.

$$A_{ij} = f_{ij} \quad (3-19)$$

$$B_{ij} = (f_{i+1, j} - f_{i, j}) / \Delta x_i$$

$$C_{ij} = (f_{i, j+1} - f_{i, j}) / \Delta z_j$$

$$D_{ij} = (f_{i+1, j+1} - f_{i, j+1} - f_{i+1, j} + f_{i, j}) / \Delta x_i \Delta z_j$$

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i, \quad \Delta z_j = z_{j+1} - z_j$$

식(3-18)을 x 에 대해 편미분하면

$$\frac{\partial f(x, z)}{\partial x} = B_{ij} + D_{ij}(z - z_j) \quad (3-20)$$

가 된다. 따라서 파고 f_s 는 식(3-17)과 식(3-20)으로부터 다음과 같이 표시 된다.

$$f_s = -\frac{U^2}{2\pi g} \int_{s_0} \frac{\partial}{\partial \xi} f(\xi, \zeta) \cdot \frac{\partial}{\partial x} G(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) d\xi d\zeta \quad (3-21)$$

또 $z=0$ 에서 $-1/R + 1/R' = 0$ 이므로,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} G(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) &= -\frac{\partial}{\partial \xi} G(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) \\ &= -\frac{\partial}{\partial \xi} H(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) \end{aligned}$$

임을 고려하면 식(3-21)은 다음과 같이 된다.

$$f_s(x) = -\frac{U^2}{2\pi g} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \int_{\zeta_i}^{\zeta_{i+1}} [B_{ij} + D_{ij}(\zeta - \zeta_j)] \int_{\xi_i}^{\xi_{i+1}} \frac{\partial}{\partial \xi} H(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) d\xi d\zeta \quad (3-22)$$

$$= -\frac{U^2}{2\pi g} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \int_{\zeta_i}^{\zeta_{i+1}} [B_{ij} + D_{ij}(\zeta - \zeta_j)]$$

$$[H(x, 0, 0; \xi_{i+1}, 0, \zeta) - H(x, 0, 0; \xi_i, 0, \zeta)] d\zeta$$

ζ 에 대한 적분을 수행하기 위해 식(3-16)의 H 를 Shen과 Farell[7]의 방식에 따라 $\tan \theta = u$ 로 치환하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} H(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) &= \frac{4}{\pi} \int_0^{\infty} k_0 R_e \{ e^{k' E_1(\zeta')} \} du \\ &= 8 \cdot S(x - \xi) \cdot \int_0^{\infty} k_0 I_m \{ e^{k' u} \} du \end{aligned} \quad (3-23)$$

여기서 $\zeta' = k_0(1+u^2)\zeta + ik_0\sqrt{1+u^2}(x-\xi)$ 이고 $S(x-\xi)$ 는 $x < \xi$ 이면 $S=0$ 이고 $x > \xi$ 이면 $S=1$ 인 step function이다.

이때

$$I(x - \xi, \zeta) = \int H(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) d\zeta \quad (3-24)$$

$$J(x - \xi, \zeta) = k_0 \int \zeta H(x, 0, 0; \xi, 0, \zeta) d\zeta \quad (3-25)$$

라고 하면 식(3-22)로부터 파고는 다음과 같이 구해진다.

$$f_s(x) = -\frac{U^2}{2\pi g} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \{ (B_{ij} - \zeta_j D_{ij}) [I(a_{i+1}, \zeta_{j+1})$$

$$\begin{aligned}
 & -I(a_{i+1}, \zeta_j) - I(a_i, \zeta_{j+1}) + I(a_i, \zeta_j) \\
 & + \frac{D_{ij}}{k_0} [J(a_{i+1}, \zeta_{j+1}) - J(a_{i+1}, \zeta_j) - J(a_i, \zeta_{j+1}) \\
 & + J(a_i, \zeta_j)] \quad (3-26)
 \end{aligned}$$

여기서 $a_i = x - x_i$ 이다.

식(3-23)을 식(3-24)와 식(3-25)에 대입하여 적분하면 I, J 을 얻을 수 있는데 local wave와 free wave를 나누어 각각 I, J 로 표시하면 다음과 같이 된다.

$$I(a, \zeta) = I_1(a, \zeta) + S(a) I_f(a, \zeta) \quad (3-27)$$

$$J(a, \zeta) = J_1(a, \zeta) + S(a) J_f(a, \zeta) \quad (3-28)$$

여기서

$$I_1(a, \zeta) = \frac{A}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{1}{1+u^2} E(\zeta') du \quad (3-29)$$

$$I_f(a, \zeta) = -8 \int_0^{\infty} \frac{1}{1+u^2} e^{k_0(1+u^2)\zeta} \sin k_0 \sqrt{1+u^2} a du \quad (3-30)$$

$$\begin{aligned}
 J_1(a, \zeta) = \frac{A}{\pi} \int_0^{\infty} \left[\frac{\zeta E(\zeta')}{k_0(1+u^2)} - \frac{1}{k_0^2(1+u^2)^2} \{ E(\zeta') \right. \\
 \left. + \zeta' \ln \zeta' - \zeta' \} \right] du \quad (3-31)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_f(a, b) = -8 \int_0^{\infty} \left\{ \frac{\zeta}{k_0(1+u^2)} - \frac{1}{k_0^2(1+u^2)^2} \right\} e^{k_0(1+u^2)\zeta} \\
 \times \sin k_0 \sqrt{1+u^2} a du \quad (3-32)
 \end{aligned}$$

$$\zeta' = k_0(1+u^2)\zeta + ik_0 \sqrt{1+u^2} a \quad (3-33)$$

$$E(\zeta) = e^{\zeta} E_1(\zeta) + \ln \zeta \quad (3-34)$$

$\zeta' = 0$ 일때 $E(\zeta')$ 는 singularity를 갖지 않고, 또 $(E(\zeta) = \overline{E(\zeta)})$ 임을 고려하면 $I_1(a, \zeta) = I_1(-a, \zeta)$, $J_1(a, \zeta) = J_1(-a, \zeta)$ 임을 알 수 있다. 여기서는 적당한 구간의 $k_0 a$, $k_0 \zeta$ 에 대해 I 와 J 를 미리 계산하여 두고 interpolation 방법과 curve fitting 방법을 사용 하였다.

4. 수직 상대 변위

선체 표면의 임의위치 (x, y, z) 에서의 상대 변위에 대한 계산에는 선체의 운동에 의한 변위, 입사파에 의한 변위, dynamic swell-up, ship wave에 의한 변위들이 포함된다. 선체 운동만에 의한 경우면으로부터의 변위를 $Z(x)$ 라 하면

$$Z(x) = Z_G - x\theta + y\phi \quad (4-1)$$

로 표시 된다. 여기서 Z_G 는 상하동요, θ 는 종동요 그리고 ϕ 는 횡동요를 표시한다.

산란파와 발산파에 의한 경우면으로부터의 변위를 나타내는 dynamic swell-up은 다음과 같이 구해진다.

$$h_d = -\frac{1}{g} \left(\frac{\partial}{\partial t} - U \frac{\partial}{\partial x} \right) (\Phi_D + \Phi_R) \quad (4-2)$$

식(3-6)과 식(3-7)을 식(4-2)에 대입하면

$$h_d = a\varphi_D(y, z) e^{i(-x \cos \beta + \omega t)} + \frac{\omega^2}{g} \sum_{i=2}^8 X_i \varphi_i \quad (4-3)$$

여기서 X_i 는 각 동요의 운동 응답이다.

식(4-1), 식(4-3)과 식(3-3)로부터 수직 상대 변위를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r(x) &= Z(x) - h_d - \zeta_w - f_s \\
 &= Z_G - x\theta + y\phi - h_d - \zeta_w - f_s \\
 &= r_A e^{i(\omega t + i\epsilon r)} - f_s \quad (4-4)
 \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned}
 r_A &= \sqrt{r_{AC}^2 + r_{AS}^2}, \quad \epsilon_r = \tan^{-1}(-r_{AS}/r_{AC}) \\
 r_{AC} &= zA \cos \epsilon_z - x\theta_A \cos \epsilon_\theta + y\phi_A \cos \epsilon_\phi \\
 &\quad - a \cos(-v_x \cos \beta + v_y \sin \beta) - h_d \cos \epsilon_d \quad (4-5) \\
 r_{AS} &= zA \sin \epsilon_z - x\theta_A \sin \epsilon_\theta + y\phi_A \sin \epsilon_\phi \\
 &\quad - a \sin(-v_x \cos \beta + v_y \sin \beta) - h_d \sin \epsilon_d
 \end{aligned}$$

를 나타내고, $zA, \epsilon_z, \phi_A, \epsilon_\phi, \theta_A$ 그러는 ϵ_θ 는 각각 상하동요, 횡동요 그리고 종동요에서의 진폭과 위상각을 표시하고 있다.

5. 계산 결과 및 고찰

본 논문에서는 S7-175 선형의 스테이션 $8\frac{1}{2}$ 를 택하여 $F_n = 0.275$ 인 경우에 대하여 계산하였다. 발산파와 산란파의 속도 포텐셜을 계산하기 위하여 선체 단면 표현에 의하여 11개의 특이점을 분포 시켰다.

입사파의 영각은 $\beta = 0^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ 등 5개 경우에 대하여, 무차원 진동수 $\omega_0 \sqrt{L/g} = 1.0 \sim 3.9$ 까지 0.1간격으로 30개의 경우를 계산하였다.

산란파와 발산파에 의한 dynamic swell-up을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우를 각각 weatherside와

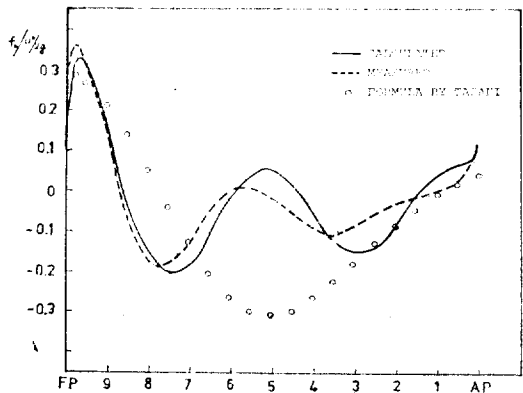


Fig. 2. Wave Elevation for Wigley Model at FN=0.266.

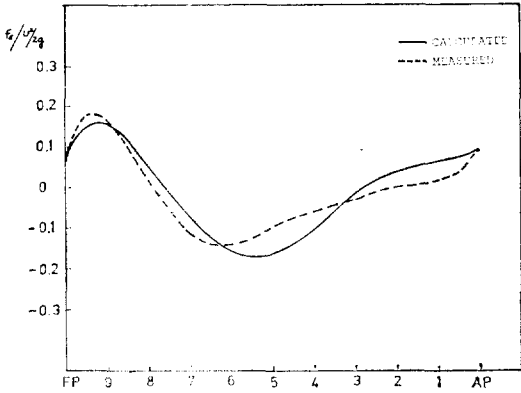


Fig. 3. Wave Elevation for Shearer Model at FN=0.32.

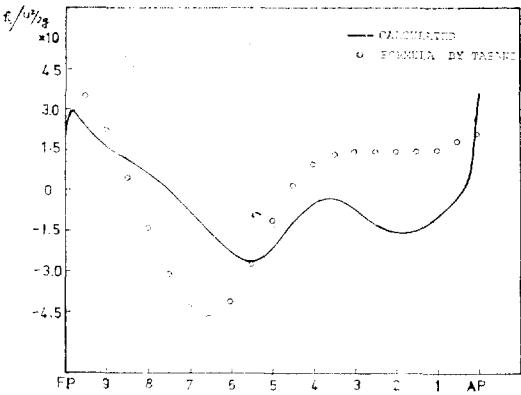


Fig. 4. Wave Elevation for a Container (S7-175) at FN=0.275.

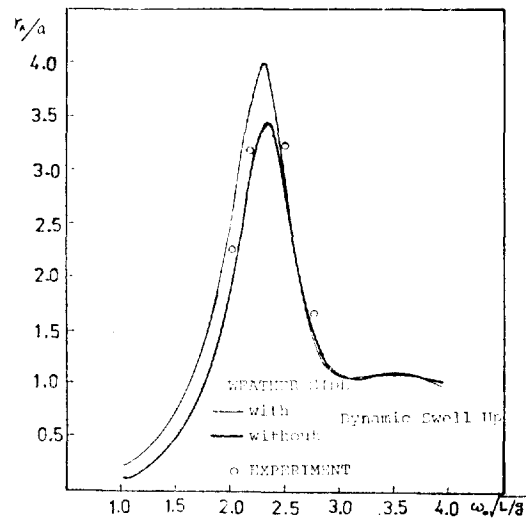


Fig. 5. Relative Bow Displacement ($\beta=180^\circ$).

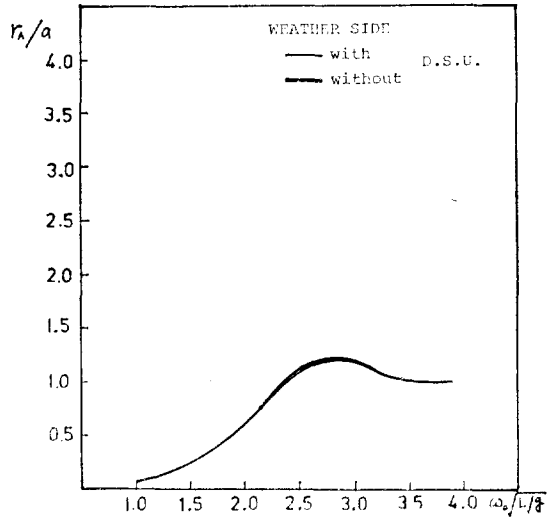


Fig. 6. Relative Bow Displacement ($\beta=0^\circ$).

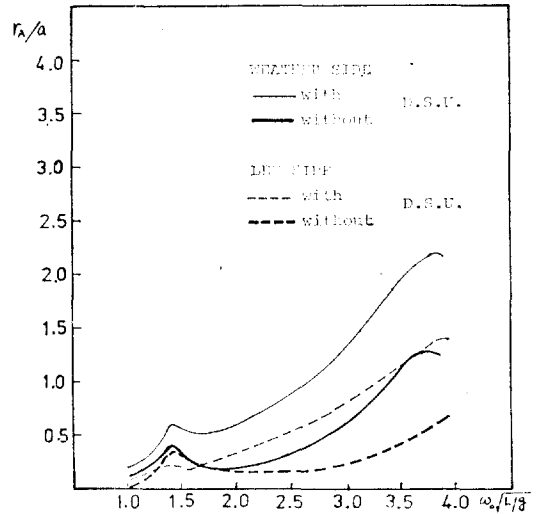


Fig. 7. Relative Bow Displacement ($\beta=90^\circ$).

leeside에 대해 계산하여 비교하였다.

한편 정수 중에서 진행하는 선박에 의해 생기는 파의 변위를 계산하기 위해서 선체 중앙 중단면에 길이 방향으로 27개, 깊이 방향으로 11개의 특이점을 분포시켰다.

정수 중에 선박이 진행할시에 생기는 파에 의한 변위의 계산에서는 그 결과를 검증하기 위하여 실험치와 이론 결과가 잘 알려져 있는 Wigley 선형과 Shearer 선형에 대해서도 계산을 수행하고 그 결과를 Fig. 2~4

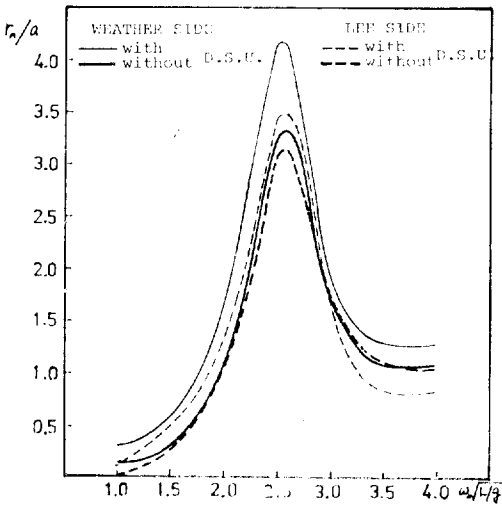


Fig. 8. Relative Bow Displacement ($\beta=135^\circ$).

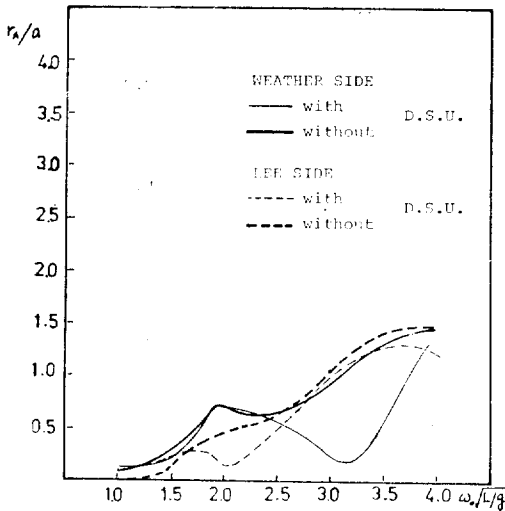


Fig. 9. Relative Bow Displacement ($\beta=60^\circ$).

에 도시 하였다. Fig. 2와 Fig. 3에 의하면 이론 결과는 실험 결과와 정성적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

또 Tasaki의 실험식으로 부터 얻어진 결과와 비교하면 이론 선형에서는 본 논문에서 계산한 결과가 Tasaki의 실험식보다 우수함을 알 수 있다.

실용 선형인 S7-175에 대하여 계산하면 파형은 Fig. 4와 같으며 영각에 따른 수직 상대 변위는 Fig. 5~Fig. 9에 도시하였다.

Fig.5~Fig.9의 결과에서는 정수 중에서 진행하는 선박에 의해 발생하는 파의 변위는 고려하지 않았다.

Fig. 5는 영각이 180° 인 경우인데, dynamic swell-up을 고려하지 않고 선체의 운동과 입사파에 의한 변위만을 포함 시킨 결과가 I.T.T.C.의 실험치와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 영각이 0° 인 경우인데, dynamic swell-up의 영향이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. Fig. 9에 도시한 영각이 60° 인 경우를 제외하면 dynamic swell-up을 고려했을때 상대 변위가 전반적으로 커지며 또 weatherside의 변위가 leaside의 변위보다 커짐을 볼 수 있다.

6. 결 론

이상의 계산 결과에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 수직 상대 운동은 $\beta=135^\circ$ 와 $\beta=180^\circ$ 인 경우에 크게 나타 난다.
- 2) dynamic swell-up은 전반적으로 수직 상대 운동을 크게 하므로 고려하는 것이 바람직하다.
- 3) dynamic swell-up이 수직 상대 운동에 중요한 영향을 미치므로 이를 좀 더 엄밀한 방법으로 연구할 필요가 있다.

끝으로 본 논문작성시에 많은 도움을 주신 한국기계 연구소 선박분소의 홍석원, 이영길 그리고 현범수씨께 감사사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Mitsui Shipbuilding & Engineering Co. Ltd. "A computer Program System for Theoretical Calculation of Sea-Keeping Quality of Ships" Japan Shipbuilding & Marine Engineering, Vol. 9, No. 3, 1975.
- [2] M.F. Van Sluijs, "Ship Relative Motions and Related Phenomena" PAPER 21. Marine Vehicles.
- [3] C.H. Kim, Frank. S. Chou, David Tien, "Motions and Hydrodynamic Loads of a ship Advancing in Oblique Waves" SNAME Transactions, Vol. 88, 1980, pp. 225-256.
- [4] Shoichi Nakamura, Matao Takagi, Ryusuke Hosoda, "Diffraction Problems of a Slender Ship With a Blunt Bow Advancing in Head Seas" ONR Symposium 1980, 10.6~10.

- [5] Yoshifumi Takaishi, Masaaki Ganno, Taihei Yoshino, Naoyoshi Matsumoto, Toshihiko Saruta, "On the Relative Wave Elevations at the Ships Side in Oblique Seas", Journal of the Society of Naval Architecture of Japan, Vol. 132, 1973.
- [6] Y.H. Kim, "Computation of The Second-order Steady Forces Acting On A Surface Ship In A Oblique Wave", DTNSRDC March 1981.
- [7] Hung-Tao Shen, Cesar Farell, "Numerical Calculation of the Wave Integrals in the Linearized Theory of Water Waves", Journal of Ship Research, Vol. 21, No. 1, March 1977, pp. 1-10.
- [8] 강신형, 이영길, "저항 성분 측정에 의한 선형 개발법 연구", 한국 기계 연구소(대덕 선박 분소)연구 보고서. UCN108-189-D, 1982.
- [9] John V. Wehausen, "The Wave Resistance of Ships", Advances In Applied Mechanics, Vol. 13.
- [10] G.E. Gadd, "Contribution to Workshop on Ship Wave Resistance Ship Wave Resistance Computations", DTNSRDC, Ship Wave Resistance Computations Vol. 2. November 1979.