

高速船型의 船首運動에 關한 研究

金 順 甲*

A Study on Bow Motions of High Speed Vessel in Regular Head Waves

KIM Soon Kap

Abstract

The advanced researches of the ship's motion in the seaway can predict the heaving, pitching and slamming of ship's motion.

The researches as of today are that of displacement type such as a small typical fishing boat and U, UV and V bow ship forms under low speed.

In recent day, the study of behaviours of high speed planning boat in the regular waves has been carried out by Bessho [5].

The calculation about behaviours of a high speed vessel in the longitudinal regular waves is calculated by Ordinary Strip Method in this paper. The data of the results were discussed and compared with Bessho's results.

The conclusions deduced from this study are as follow,

(1) The acceleration of motion calculated by the O. S. M. is similar with Bessho's data for the $Fn \leq 0.5$

(2) The amplitudes of the behaviours of motions take peak at $1.0 < \lambda/L < 1.4$.

〈記 號 說 明〉

ρ : 물의 密度

g : 重力 加速度

L : 배의 길이

λ : 波 長

ζ_A : 波의 振幅

K : $2\pi/\lambda$

ω : 波의 周波數 (\sqrt{Kg})

ω_e : 波의 出會周波數(encountered frequency)

Tm : 斷面의 平均깊이

B : 斷面의 幅

C_0 : 附加質量係數($\omega \rightarrow \infty$)

K_1 : 附加質量의 自由表面係數

\bar{A} : 振幅比

H_0 : 斷面의 半幅斗 吃水比

σ : 斷面積 係數

S : 斷面積

H_w : 波 高

n : 平均衝擊壓力과 水頭 $\rho g d$ 와의 比

K'_{yy} : Longitudinal Gyradius

Fn : Froude Number

a_n : 斷面의 附加質量

b_n : Sectional Damping Coefficient

c_n : $\rho g B$

J_0 : 배의 質量慣性모우먼트

*正會員, 韓國海洋大學

V : 船의 前進速度
 Z : 上下動搖變位
 Z_A : 上下動搖振幅
 Zr_A : 相對變位振幅
 Zv_A : 相對速度振幅
 ACC_A : 加速도의 振幅
 ϵ_s : 上下動搖位相差
 ϵ_θ : 縱動搖位相差

ϵ_{acc} : 加速度位相差
 ϵ_v : 相對速度位相差
 ϵ_r : 相對變位位相差
 θ : 縱動搖位相角
 a_1, a_3 : 寫像關數의 實係數(Lewis 斷面)
 P_m : 平均衝擊壓力
 V_{cr} : Slamming 發生의 限界速度

1. 序 論

波浪中에서의 船體運動理論으로는 Slender ship theory, Thin ship theory와 Strip method 등이 있는데 그중에서, 聯動運動方程式의 動流體力學的인 係數의 計算에 關連된 2次元 斷面의 動流體力의 計算에 對해서 主로 Ursell의 理論[1]을 Lewis 斷面に 擴張시켜 適用한 Tasai의 計算法[2]을 使用하는 Ordinary Strip Method(O. S. M.)가 가장 많이 쓰여지고 있으며, 特別한 例를 除外하는 計算値와 實驗値와의 一致 程度가 良好한 것으로 알려져 있다.

國內學界에서는 이 方法을 써서 小型漁船[3]과 U, UV 및 V船首型 船型[4]의 運動應答에 對한 研究가 있었으나, 모두 低速狀態의 運動應答이었으며 高速船型에 關한 研究는 아직 볼 수 없다

高速船은 Froude數(F_n)가 높다고 하는 것과 實船의 치수가 작다고 하는 것이 그 特徵이다. 그리고 流體力學的으로 揚力을 多少 利用해서 航走하기 때문에 平水中을 航走할 때에도 그 姿勢는 靜止時의 것보다 현저히 變化하는 것등의 理由로 因하여 排水量 船型과 流體力學的인 點에서 差異가 많다. 船舶이 波浪中을 高速으로 航走할 때 생기는 問題로는, 波浪衝擊에 依한 船體의 損傷과 船員의 作業能力低下 등이며, 高速觀光船의 경우에는 運航上의 安全과 여객의 安堵感의 減少이다. 특히 軍事的인 面에서 볼 때, 海軍의 高速艦艇을 設計 및 運航하는데 있어서 그 運動性能을 把握하는 것이 重要하다. 이러한 問題를 解明하기 위해서는 波浪中에 있어서의 比較의 高速인 船舶의 船體運動을 아는 것이 必要하다.

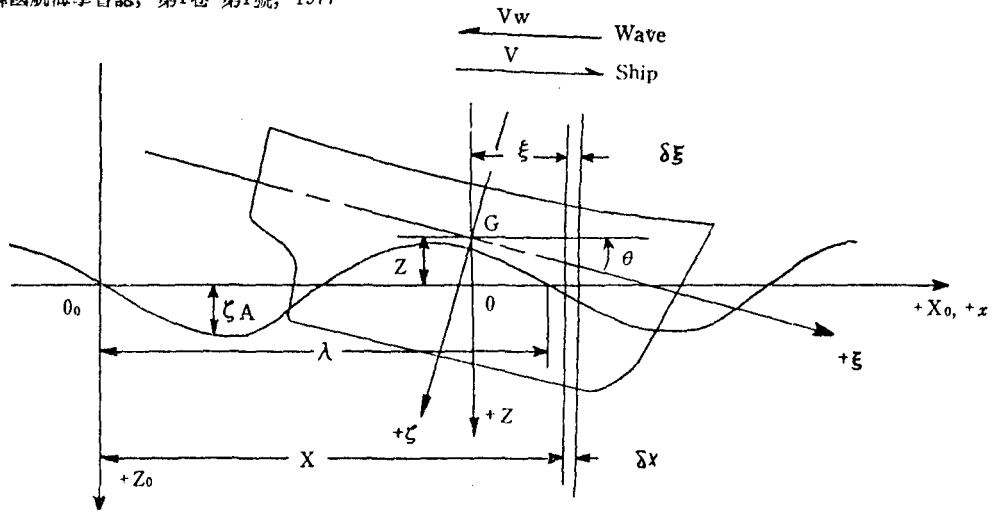
最近 Bessho 等[5]은 高速艇 船型의 波浪中에서 問題點을 조사하기 위해서, 正面規則波中에서 模型實驗을 行하여 O. S. M.에 의한 運動計算의 高速艇에 對한 適用性에 關하여 檢討한 結果 F_n 이 0.5 以下의 範圍에서는 計算値와 實驗値가 잘 一致되고 있음을 밝혔다.

本 論文에서는 理在 國內에서 運航되고 있는 高速觀光船을 模型船型으로 擇하여 縱規則波中에서의 高速船型의 上下動搖, 縱動搖, 船首運動等을 O. S. M.을 利用하여 計算하였다. 船速을 低速, 中速, 高速인 $F_n=0.2, 0.3, 0.5$ 의 狀態로 取하였으며, 縱規則波는 波長과 船長比(λ/L)를 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 3.0, 4.0, 으로 變化시켰다. 그리고 船首船底正面衝擊(Slamming) 運動은 H. Wagner [6], Watanabe [7]의 船底衝擊壓力에 關한 理論을 基礎로 하여 平均衝擊壓力을 計算하였다. 이러한 計算을 하여 求한 應答値들을 檢討分析하여, 高速船의 設計 및 運動性能 把握과 앞으로 國內에서의 高速船型의 水槽實驗等の 資料로서 기여하고자 한다.

2. Strip 理論

2.1. 運動方程式

船體가 一定速度로써 縱規則波中을 進行하는 경우, 그림 1과 같이 그 座標系를 設定한다.



<그림 1>

靜止空間座標을 $O_0 - X_0, Y_0, Z_0$, 靜水中의 自由表面에 原點을 둔 移動空間座標을 $O - x, y, z$, 原點을 船體의 重心 G 에 둔 移動空間座標을 $G - \xi, \eta, \zeta$ 라 한다. Z_0, z, ζ 는 下方向을 양(+), X_0, x, ξ 는 船首方向을 양(+), 角度成分 θ 는 船首가 올라가는 경우를 양(+)
으로 잡는다.

座標系를 위와같이 잡으면, 各 Strip에 作用하는 힘들은 유체정력학적인 힘과 유체동력학적인 힘 및 運動物體의 加速度에 기인하는 관성반작용력으로 이루어지며, 縱規則波中에서의 O. S. M. 을 채택할 경우에 船體의 上下動搖 및 縱動搖의 聯成運動方程式은 다음과 같이 表現할 수 있다[14].

$$(m+a)\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + e\theta + g_1\theta = F_c \cos \omega t - F_s \sin \omega t \dots\dots\dots(1)$$

$$(J_0 + A)\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + E\dot{z} + G_1z = M_c \cos \omega t - M_s \sin \omega t \dots\dots\dots(2)$$

여기서 m 는 배의 質量, J_0 는 배의 質量慣性 모우먼트이며 方程式 (1), (2)의 係數들은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} a &= \int a_n d\xi & A &= \int a_n \xi^2 d\xi \\ b &= \int b_n d\xi & B &= \int b_n \xi^2 d\xi \\ c &= \int c_n d\xi & C &= \int c_n \xi^2 d\xi + uE \\ d &= \int a_n \xi d\xi & D &= d \\ e &= - \int b_n \xi d\xi + ua & E &= - \int b_n \xi d\xi - ua \\ g_1 &= - \int c_n \xi d\xi + ub & G_1 &= - \int c_n \xi d\xi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

단, 여기는 u 는 임의의 특정한 조사평면(control plane)에서 ξ 가 시간의 函數이므로 ξ 를 시간 t 에 관하여 미분한 값이다.

$$\frac{d\xi}{dt} = \dot{\xi} = -u \dots\dots\dots(4)$$

波浪強制力과 波浪모우먼트는 다음과 같은 式(14)으로 표시한다.

$$\left. \begin{aligned} F_c &= \zeta_A \int \{ (c_n - \omega \omega_r a_n) \exp(-KT_m) \cos(K\xi) \\ &\quad - \omega \exp(-KT_m) b_n \sin(K\xi) \} d\xi \\ F_s &= \zeta_A \int \{ \omega \exp(-KT_m) b_n \cos(K\xi) \\ &\quad + (c_n - \omega \omega_r a_n) \exp(-KT_m) \sin(K\xi) \} d\xi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

$$\left. \begin{aligned} Mc &= -\zeta_A \int \{ (\xi \omega b_n + \omega \omega_r a_n) \exp(-KT_m) \sin(K\xi) \\ &\quad - (c_n \xi - \xi \omega \omega_r a_n) \exp(-KT_m) \cos(K\xi) \} d\xi \\ Ms &= -\zeta_A \int \{ (c_n \xi - \xi \omega \omega_r a_n) \exp(-KT_m) \sin(K\xi) \\ &\quad - (\xi \omega b_n - \omega \omega_r a_n) \exp(-KT_m) \cos(K\xi) \} d\xi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

여기서, ζ_A 는 規則波의 振幅, $\omega (= \sqrt{Kg})$ 는 波의 周波數, K 는 波數로서 $2\pi/\lambda$ 이며, ω_r 는 波의 겉보기 周波數(encountered frequency)이다. T_m 는 斷面의 平均 깊이를 표시한다.

(3), (5), (6)式의 a_n, b_n, c_n 은 各 斷面에 對한 값으로서 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{1}{2} \pi \rho b^2 C_0 K_1 \\ b_n &= \frac{\rho g^2}{\omega^3} \cdot \bar{A}^2 \\ c_n &= 2\rho g b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

(7)式의 b 는 斷面의 半幅, C_0 는 附加質量係數, K_1 는 附加質量의 自由表面係數, \bar{A} 는 船體의 上下動搖에 對한 進行波의 振幅比이며, C_0, \bar{A}, K_1 는 Ursell-Tasai[1], [2]의 理論式에 依하여 計算된다.

ρ 와 g 는 물의 密度와 重力加速度이며, (3)式의 係數들을 ρ, g 및 배의 길이(L)로써 無次元化시키면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} a' &= a/\rho L^3 & A' &= A/\rho L^5 \\ b' &= b/\rho g^{0.5} L^{2.5} & B' &= B/\rho g^{0.5} L^{4.5} \\ c' &= c/\rho g L^2 & C' &= C/\rho g L^4 \\ d' &= d/\rho L^4 & D' &= d' \\ e' &= e/\rho g^{0.5} L^{3.5} & E' &= E/\rho g^{0.5} L^{3.5} \\ g_1' &= g_1/\rho g L^3 & G_1' &= G_1/\rho g L^3 \\ a'' &= m/L^3 + a' & A'' &= m/L^3 (K'yy)^2 + A' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

또 (5), (6)式을 無次元化하면 다음과 같이 표시된다.

$$\left. \begin{aligned} F_c' &= F_c/\rho g \zeta_A L^3 & M_c' &= M_c/\rho g \zeta_A L^3 \\ F_s' &= F_s/\rho g \zeta_A L^3 & M_s' &= M_s/\rho g \zeta_A L^3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

2.2. 上下動搖와 縱動搖의 應答計算式

上下動搖와 縱動搖의 聯成運動方程式을 풀면 다음과 같은 解를 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} Z' &= Zc' \cos \omega t - Zs' \sin \omega t = Z\lambda' \cos(\omega t + \epsilon_z) \\ \theta' &= \theta c' \cos \omega t - \theta s' \sin \omega t = \theta\lambda' \cos(\omega t + \epsilon_\theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

여기서,

$$\left. \begin{aligned} Zc' &= Z\lambda' \cos \epsilon_z = (\bar{R} \cdot \bar{P} + \bar{S} \cdot \bar{Q})/(\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \\ Zs' &= Z\lambda' \sin \epsilon_z = (\bar{R} \cdot \bar{Q} - \bar{S} \cdot \bar{P})/(\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \\ \theta c' &= \theta\lambda' \cos \epsilon_\theta = (\bar{R} \cdot \bar{P}' + \bar{S} \cdot \bar{Q}')/(\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \\ \theta s' &= \theta\lambda' \sin \epsilon_\theta = (\bar{R} \cdot \bar{Q}' - \bar{S} \cdot \bar{P}')/(\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

(11)式的 $\bar{P}, \bar{Q}, \bar{R}, \bar{S}$ 및 \bar{P}', \bar{Q}' 의 內容은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} &= -(C' - A''\omega_1^2) \left(\frac{F_c'}{F_s'} \right) \pm B'\omega_1 \left(\frac{F_s'}{F_c'} \right) \\ &+ (g_1' - d'\omega_1^2) \left(\frac{M_c'}{M_s'} \right) \mp c'\omega_1 \left(\frac{M_s'}{M_c'} \right) \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\bar{P}'}{\bar{Q}'} &= -(c' - a''\omega_1^2) \left(\frac{M_c'}{M_s'} \right) \pm b'\omega_1 \left(\frac{M_s'}{M_c'} \right) \\ &+ (G_1' - D'\omega_1^2) \left(\frac{F_c'}{F_s'} \right) \mp E'\omega_1 \left(\frac{F_s'}{F_c'} \right) \dots\dots\dots(13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{R} &= -(c' - a''\omega_1^2)(C' - A''\omega_1^2) + (g_1' - d'\omega_1^2) \cdot \\ &\quad (G_1' - D'\omega_1^2) + b'B'\omega_1^2 - c'E'\omega_1^2 \\ \bar{S} &= -b'\omega_1(C' - A''\omega_1^2) - B'\omega_1(c' - a''\omega_1^2) \\ &\quad + e'\omega_1(G_1' - D'\omega_1^2) + E'\omega_1(g_1' - d'\omega_1^2) \end{aligned}$$

여기서 ω_1 는 ω_c 를 $\sqrt{g/L}$ 로 無次元化한 값이다.

故로 船體의 上下動搖와 縱動搖의 振幅과 位相差는 다음과 같은 式으로써 計算된다.

$$\left. \begin{aligned} Z_A' = Z_A/\zeta_A &= \sqrt{Z_c'^2 + Z_s'^2}, \quad \epsilon_z = \tan^{-1} \frac{Z_s'}{Z_c'} \\ \theta_A' = \frac{\theta_A}{\xi_A/L} &= \sqrt{\theta_c'^2 + \theta_s'^2}, \quad \theta_z = \tan^{-1} \frac{\theta_s'}{\theta_c'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

2. 3. 船首運動의 應答計算式

船首部에서의 上下動搖와 縱動搖의 聯成運動時의 加速度的 振幅과 그 位相差는 다음과 같은 式으로써 計算된다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{ACC_A}{\zeta_A g/L} &= \sqrt{ACC_c^2 + ACC_s^2}, \\ \epsilon_{acc} &= \tan^{-1}(ACC_s/ACC_c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

여기서,

$$\begin{aligned} ACC_c &= Z_c' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - K_c' \right) \theta_c' - \omega_1^2 \\ ACC_s &= Z_s' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - K_c' \right) \theta_s' - \omega_1^2 \end{aligned}$$

(15)式에서 ξ_0' 는 船體의 中央斷面에서 船首까지의 거리를 $\frac{1}{2}L$ 로 無次元化한 값이며, K_c' 는 中央斷面에서 船體重心 G 까지의 水平거리를 L 로 無次元化한 값이다.

船體船首部와 入射波의 波面과의 相對變位の 振幅과 位相差는 다음과 같은 式에서 구한다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{Z_{rA}}{\zeta_A} &= \sqrt{Z_{rc}^2 + Z_{rs}^2}, \quad \epsilon_r = \tan^{-1}(Z_{rs}/Z_{rc}) \\ \text{여기서, } Z_{rc} &= Z_c' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - K_c' \right) \theta_c' - \cos(\tau\xi_0') \\ Z_{rs} &= Z_s' = \left(\frac{\xi_0'}{2} - K_c' \right) \theta_s' - \sin(\tau\xi_0') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

(16)式에서 τ 는 $\frac{1}{2}(\omega/\sqrt{g/L})^2$ 이다.

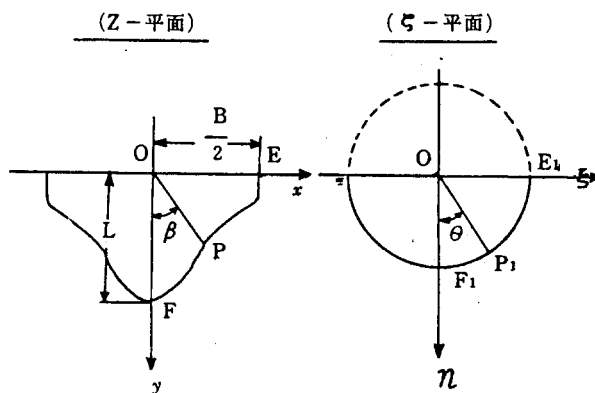
그리고 船體의 船首部와 入射波의 波面과의 相對速度的 振幅과 位相差는 다음과 같은 式으로

計算된다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{Z_{vA}}{\zeta_A \sqrt{g/L}} &= \sqrt{Z_{vc}' + Z_{vs}'^2}, & \epsilon_v &= \tan^{-1}(Z_{vs}/Z_{vc}) \\ \text{여기서,} & & & \\ Z_{vc} &= \left\{ Z_c' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - Kc' \right) \theta_c' \right\} \omega_1 - F_n \theta_c' - \cos(\tau \xi_0') \omega_0 \\ Z_{vs} &= - \left\{ Z_c' - \left(\frac{\xi_0'}{2} - Kc' \right) \theta_c' \right\} \omega_1 - F_n \theta_c' + \cos(\tau \xi_0') \omega_0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

(17)에서 $\omega_0 = \omega / \sqrt{g/L}$ 이다.

2.4. 船體斷面の 數學的 表示



<그림 2>

그림 2의 Z-平面에서 x軸에 관한 鏡像을 생각해서, 이 2重圖形의 外部를 ζ-平面의 單位圓의 外部에 等角寫像한 函數는 다음과 같이 표시된다.

$$z/M = \zeta + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \zeta^{-2n-1} \dots \dots \dots (18)$$

여기서 x, y, z와 ξ, η, ζ는 그림 1에서의 座標系와 無關係하며, (18)式에서 n=2로 놓으면,

$$z/M = \zeta + a_1/\zeta + a_3/\zeta^3 \dots \dots \dots (19)$$

로 되고, (19)式으로 表現되는 斷面을 一般적으로 Lewis form이라고 하며, $Z = x + iy$, $\zeta = ie^\alpha e^{-i\theta}$ 로 놓으면 (19)式은 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} x/M &= e^\alpha \sin \theta + a_1 e^{-\alpha} \sin \theta - a_3 e^{-3\alpha} \sin 3\theta \\ y/M &= e^\alpha \cos \theta - a_1 e^{-\alpha} \cos \theta + a_3 e^{-3\alpha} \cos 3\theta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (20)$$

斷面の 境界上에서는 $\alpha=0$ 이므로 (20)式은,

$$\left. \begin{aligned} x_0/M &= (1 + a_1) \sin \theta - a_3 \sin 3\theta \\ y_0/M &= (1 - a_1) \cos \theta + a_3 \cos 3\theta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (21)$$

로 된다. 여기서 M 는 縮率이며, 斷面의 水面上의 幅을 B , 吃水를 T 라 하면,

$$M = \frac{B}{2} / (1 + a_1 + a_3) \dots \dots \dots (22)$$

또 $\frac{B}{2} / T = H_0 = \frac{1 + a_1 + a_3}{1 - a_1 + a_3} \dots \dots \dots (23)$

로 되고, 斷面積 S 및 斷面係數 $\sigma = S/B \cdot T$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$S = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \cdot \frac{1 - a_1^2 - 3a_3^2}{(1 + a_1 + a_3)^2} \dots \dots \dots (24)$$

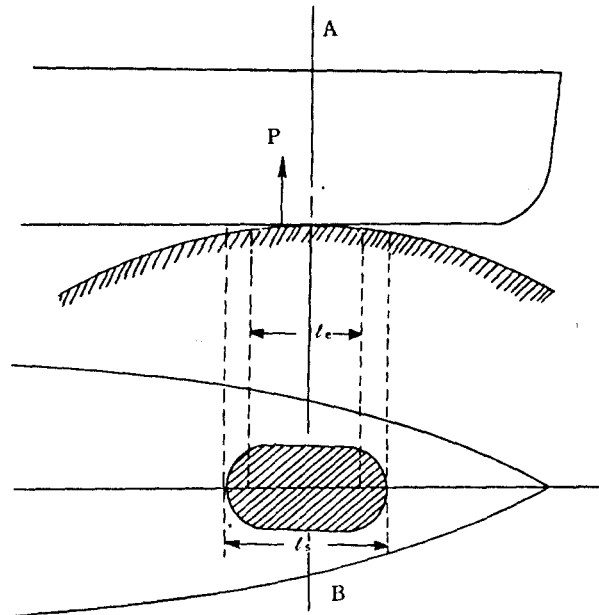
$$\sigma = \frac{S}{B \cdot T} = \frac{\pi}{4} \cdot H_0 \cdot \frac{1 - a_1^2 - 3a_3^2}{(1 + a_1 + a_3)^2} \dots \dots \dots (25)$$

3. 船首衝擊理論

船首衝擊에는 두가지 경우가 있다. 그중 하나는 傾斜衝擊(Whipping)이고 다른 하나는 正面衝擊으로서 船底損傷의 主된 原因이 되며, 이것을 Slamming이라 한다.

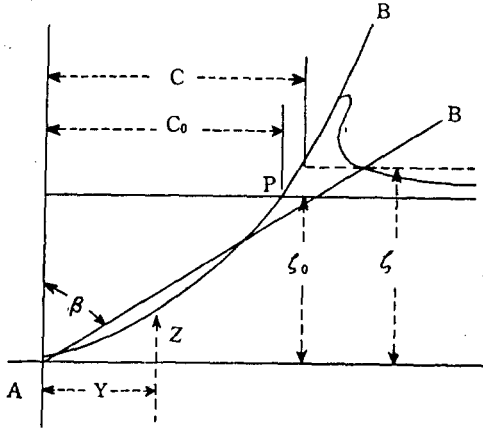
3.1. 衝擊壓力

그림 3에서 表示된 모양과 같은 狀態에서, AB 斷面內에는 2次元 흐름에 近似되지만, AB 에 平行한 다른 斷面內에서는 2次元 흐름이 形成되지 않는다. 그래서 l_e 의 長이를 생각하여, 그 범 위에서 AB 斷面에 平行한 斷面內에서는 2次元 흐름이 形成되는 것으로 假定한다.



<그림 3>

이러한 2次元 흐름에서의 水面衝擊問題를 H. Wagner-Watanabe [6] [7]의 理論을 基礎로 하여 생각해 보고자 한다.



(그림 4)

理論展開의 편의상, 그림 4에서 표시된 것처럼, 船首부의 斷面曲線 AB'에 近似한 3角形斷面 AB를 가정하고 논의를 전개하면 다음과 같다.

質量 M인 3角形斷面(AB)의 物體가 靜水面에 對해서는 吃水 ζ_0 로 잠기지만, 波面과 Z_{va} 의 相對速度로서 水面에 衝擊할 경우에는 물 거품이 생기고 그 吃水도 靜水面보다 높아진다. 그래서 P點에 있어서 半幅 C는 靜水面上的 半幅 C_0 보다 커지게 되고 吃水 ζ 도 ζ_0 보다 커진다. 이때의 附加質量 a_m 및 壓力 P는 Wagner에 依하면,

$$a_m = \frac{\rho\pi C^2 l_0}{2} \dots\dots\dots(26)$$

이고, $a_m/M = \mu$ 라 놓으면, 物體에 作用하는 壓力 P는,

$$P = \frac{\rho\pi C l_0}{(1+\mu)^3} \cdot \frac{Z_{va}^2}{W} \dots\dots\dots(27)$$

이다. 단, 여기서,

$$W = Z_{va} / \frac{dC}{dt} (1+\mu) \dots\dots\dots(28)$$

ρ 는 물의 密度이다. 船體斷面曲線(AB')은,

$$z = a_0 y + a_1 y^2 + \dots\dots\dots(29)$$

인 方程式으로 表現할 때, W를 Wagner는 다음과 같은 式으로 주었다.

$$W = \frac{2}{\pi} a_0 + a_1 C + \frac{4}{\pi} a_2 C^2 + \frac{3}{2} a_3 C^3 + \frac{16}{3\pi} a_4 C^4 + \dots\dots\dots(30)$$

따라서 P는 C의 函數로 表現된다. 幅 2C 사이의 水壓分布는 Wagner에 依하면 中央部에서 작고 끝부분에서 크다. 그러나 平均水壓은

$$P_m = \frac{P}{2Cl_0} = \frac{\rho\pi}{2(1+\mu)^3} \cdot \frac{Z_{va}^2}{W} \dots\dots\dots(31)$$

이며, 衝擊初期에는 μ 가 1보다 대단히 작으므로 無視해도 좋다. 또 物體의 斷面을 어떤 代表的인 3角形으로 간주하고 그 底邊의 傾斜角을 2β 라 할 때,

$$W = \frac{2}{\pi} \cot \beta \dots\dots\dots(32)$$

가 되고 平均水壓 P_m 는

$$P_m = \frac{\rho\pi^2}{4} Z_{va}^2 \tan \beta \dots\dots\dots(33)$$

가 된다.

3. 2. 船底傾斜角

(30), (31)式에 依하여,

$$-\frac{2}{\pi} \cot \beta = W(C) = \frac{2}{\pi} a_0 + a_1 C + \frac{4}{\pi} a_2 C^2 + \frac{3}{2} a_3 C^3 + \frac{16}{3\pi} a_4 C^4 + \dots \quad (34)$$

이 된다. 船首部分의 斷面曲線은 3角形에 가까우므로 (30)式에서 第3項 以下는 無視될 수 있고, 따라서,

$$\cot \beta = a_0 \left(1 + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{a_1}{a_0} C \right) \dots \dots \dots (35)$$

으로 되고 P_m 은 C 의 값, 즉 잠기는 양이 커짐에 따라서 감소된다. 그러므로 船底가 水面에 접촉하는 순간에 P_m 은 最大가 된다. (35)式에서 어떤 적당한 C_r 값을 취했을 경우에 AB 의 傾斜角은,

$$\cot \beta_r = a_0 \left(1 + \frac{a_1}{a_0} C_r \right) \dots \dots \dots (36)$$

이 되며, 이 적당한 C_r 값을 (36)式에 代入하면 $\tan \beta$ 의 값을 求할 수 있게 된다. C_r 의 값을 取하는 데에는 여러가지 方法이 있겠지만, 그 中에서 船舶의 $F.P.$ 로 부터 $0.1L$ 되는 곳에서 $\zeta_r = 0.0025L$ 되는 경우의 C_r 를 取하여, Slamming時의 船底損傷을 檢討하는 $F. King$ [8]의 方法을 採하면 만족스러운 結果를 얻을 수 있다[7].

3.3. Slamming 發生의 判別方法

船首部의 任意斷面의 船底에 있어서, Slamming의 發生은 船底가 水面으로 부터 노출되어, 波와 船體와의 相對速度가 어떤 限界速度를 넘게 되는 것에 의하여 判定되며, 이것에 對한 조건은 다음과 같다[9].

$$\left. \begin{aligned} Z_{rA} > d_s \\ Z_{rA}(Z_{rA} = +0) > V_{cr} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (37)$$

단, 여기서, Z_{rA} 와 d_s 는 相對變位의 振幅과 吃水이다. Z_{rA} 는 船體가 波面에 突入할 때의 縱運動과 上下運動에 依해서 일어나는 船首部의 波面에 對한 相對速度로서 (17)式에서 計算된 相對速度의 振幅이며, 또 限界速度 V_{cr} 는 Ochi [10]의 實驗式인

$$V_{cr} = 0.09 \sqrt{gL} \dots \dots \dots (38)$$

로써 計算한다. 式 (37)에서 부터 Slamming 發生의 限界波高 H_w 는

$$\left. \begin{aligned} H_{w1} &= 2d_s / Z_{rA} / \zeta_A \\ H_{w2} &= 2V_{cr} / \{ Z_{rA}(Z_{rA} = +0) / \zeta_A \} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (39)$$

의 큰 쪽을 취한다.

3.4. 衝擊壓力과 船底損傷關係에 對한 n 값

J. B. Parga[11]는 各 船級協會의 船首船底補強의 規模에 對하여, 船底外板의 四角 Pannel의 4邊을 固定하여, 均一한 靜水壓을 加할 경우, 最大굽힘應力이 降伏點 $24kg/mm^2$ 이 될 때의 靜水壓을 求하여 서로 比較한 結果, 靜水壓 P_0 는 모든 船級規程에서 배의 길이가 길어짐에 따라 증가하고 있음을 밝혔다. 이 壓力 P_0 가 船底外板에 作用되는 平均衝擊壓力 P_m 이라고 생각할 경우 滿載吃水 d 에서의 水頭 ρgd 와 P_m 의 比를 n 로 표시하면 다음과 같다.

$$n = \frac{P_m}{\rho g d} = \frac{L/d}{\rho g} \cdot \frac{P_m}{L} = \frac{\pi^2}{4g} \cdot \frac{Z_{rA}^2}{d} \tan \beta \dots \dots \dots (40)$$

이 式에서 L/d 를 어떤 값으로 假定하면 n 는 L 의 函數가 된다. Parga는 그가 比較한 P_0 값을 가지고, $L/d=15$ 로 해서 各 船級規則別로 n 값을 求하였으며 그것은 다음과 같다.

L. R : $n=4.75 \sim 5.22$

A. B : $n=4.52 \sim 4.54$

N. V : $n=7.40 \sim 11.90$

G. L : $n=8.35 \sim 9.67$

Watanabe[7]는 Parga가 比較한 n 값과 日本內燃機船調査委員會報告[12]에서 發表한 船底外板에 永久變形을 주는 靜荷重으로 計算된 n 값을 서로 比較하여, 다음과 같이 衝擊壓力으로 因한 損傷에 對하여,

$n < 5$ 인 경우 : 損傷을 입지 않는다.

$n = 5 \sim 10$ 일 경우 : 가벼운 損傷을 입는다.

$n > 10$ 일 경우 : 심한 損傷을 입는다고 綜合하고 있다.

4. 數值計算 및 考察

4.1. 模型船의 諸元

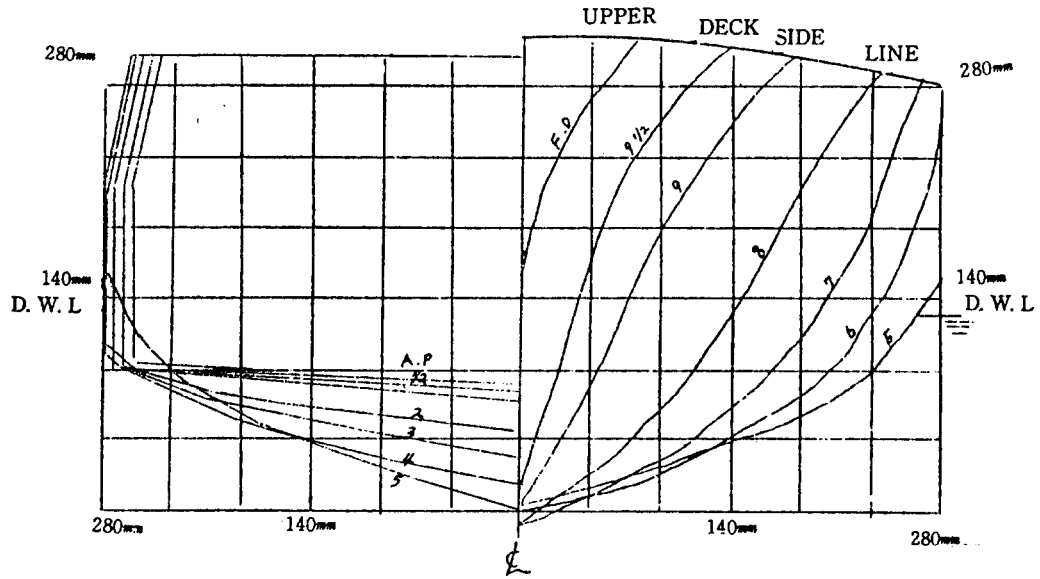
本 論文의 計算에 使用한 船型은 序論에서 提及한 바와 같이 國內에서 運航되고 있는 高速觀光船을 擇하여 對象模型船으로 하였다. 그것의 正面線圖는 그림 5와 같으며, 그 主要目은 표 1과 같다. 그리고 Bessho[5]가 實驗한 模型船의 正面線圖와 主要目은 그림 6 및 표 2와 같다.

<표 1> 本 論文의 模型船 主要目

Length over All(LOA)	1.240m
Length between perpendiculars(LBP)	1.200m
Breadth(B)	0.240m
Draft(d)	0.056m
Displacement	0.00685m ³
Initial trim	0.
Block Coefficient(Cb)	0.425
C. B. from Midship	⊕ 0.054LBP
Longitudinal Gyradius	0.25LBP

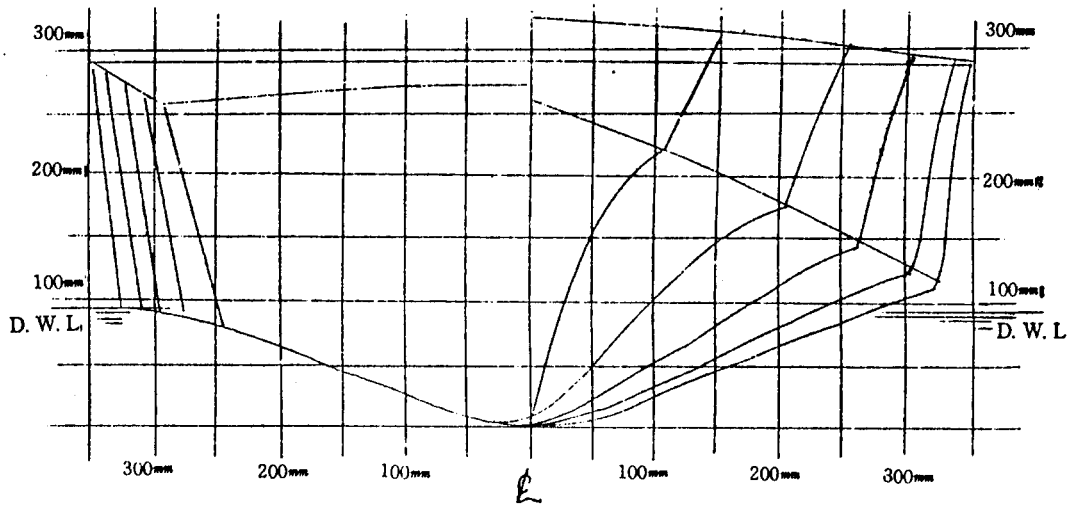
<표 2> Bessho의 高速艇 Model의 主要目

Length over all, Loa	2.690m
Length on load waterline, LWL	2.496m
Breadth	0.634m



<그림 5>

(BESHO의 고속정 Model의 BODY PLAN)



<그림 6>

Displacement	59.949kg
Draft	0.0938m
Block Coefficient, Cb	0.4083
C. G. from Midship	aft 0.2460m
Longitudinal Gyradius	0.2055LBP

4.2. 斷面の 附加質量 및 減衰力과 運動應答의 計算

斷面の 附加質量 및 減衰力은 Ursell[1], Tasai[2]의 方法에 依하여 計算하였다. (18)式에 표시된 2경수 단면에 대한 附加質量 計算式[2]를 利用해서 써브 프로그램 HEAVE를 作成하였으며, 이 HEAVE 프로그램은 그 자체의 메인프로그램 이외에 8개의 써브 프로그램으로 構成되어 있다. 이 HEAVE 써브프로그램은 縱規則波中에서의 船體運動 應答計算에 重要한 部分을 形成하고 있으며, 여기에는 반복계산이 많으므로 계산시간의 대부분이 각 단면에 관한 이 써브프로그램의 計算時間에 소요되고 있다.

船體表面上의 境界條件을 만족시키는 點을 $\frac{1}{2}$ 斷面에서 21個로 하였으며, 斷面은 Lewis斷面으로 近似시켰다[13]. 船體運動의 應答의 計算은 O. S. M을 채택하였으며, F_n 은 0.2, 0.3, 0.5의 세 가지 경우로 하였고, λ/L 를 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 3.0, 4.0의 아홉가지로 변화시켰다. 결국 한개의 F_n 과 λ/L 를 1組로 하여 27가지 경우를 계산하였으며, Data Card는 각 斷面값인 21장이 들어간다. 계산내용은 각 斷面の K_1, \bar{A} 의 값과 한 $F_n, \lambda/L$ 에 對한 各係數의 값을 出力시켰으며, 運動應答의 값은 다음과 같이 出力시켰다.

- (1) 上下動搖의 振幅과 位相差
- (2) 縱動搖의 振幅과 位相差
- (3) 上下動搖와 縱動搖의 合成運動에 依한 加速度의 振幅과 位相差
- (4) 船體와 波面과의 相對變位의 振幅과 位相差
- (5) 船體와 波面과의 相對速度의 振幅과 位相差

그리고 (5)에서 計算된 相對速度를 適用해서 波高 8cm, 9cm, 10cm에서 각 F_n 別로 Slamming이 發生되는 平均衝擊壓力을 計算하였으며, 電算機는 KIST의 電算 System을 使用하였다.

4.3. 計算結果

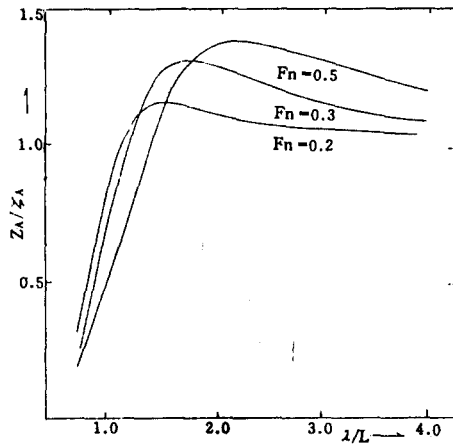
4.3.1. 縱規則波中에서의 船體應答의 計算結果

(1) 그림 7과 그림 8은 高速船型에 對하여 縱規則波中에서의 上下 및 縱動搖의 振幅 Z_A 및 θ_A 를 無次元化한 Z_A/ζ_A 및 $\theta_A/\zeta_A/L$ 의 計算結果值를 $F_n=0.2, 0.3, 0.5$ 別로 λ/L 를 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 3.0, 4.0으로 변화시켜 表示한 것이다.

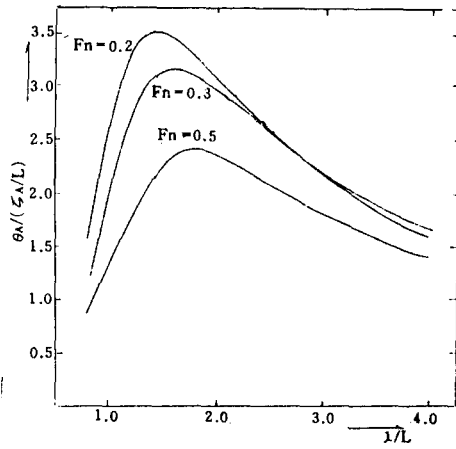
(2) 그림 9, 그림 10, 그림 11은 上記 各 경우에 對하여 船首部의 加速度 $ACC_A/(\zeta_A g/L)$, 相對速度 $Z_{vA}/(\sqrt{gL})$ 및 相對變位 Z_{rA}/ζ_A 의 計算結果를 取點하여 相互比較 하도록 한 것이다.

(3) 그림 12~그림 16은 上記 경우의 位相差 $\epsilon_x, \epsilon_\theta, \epsilon_{acc}, \epsilon_v, \epsilon_r$ 의 계산산결과를 曲線으로 그려 比較하도록 한 것이다.

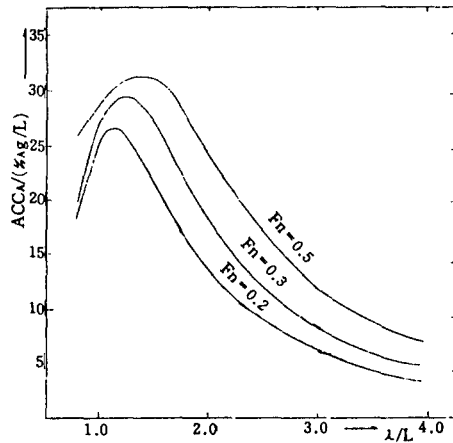
(4) 그림 17과 그림 18은 船首部의 波面과의 加速度 $ACC_A/(\zeta_A g/L)$ 를 Bessho[5]의 計算 및 實



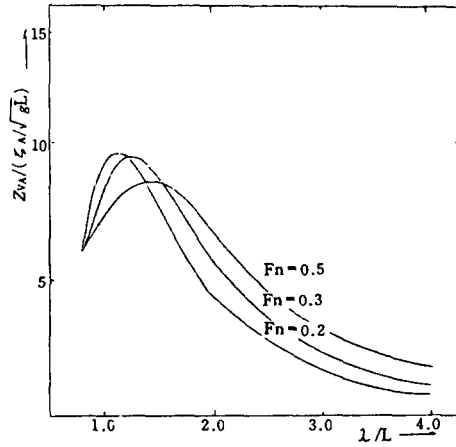
〈그림 7〉 上下動搖의 振幅



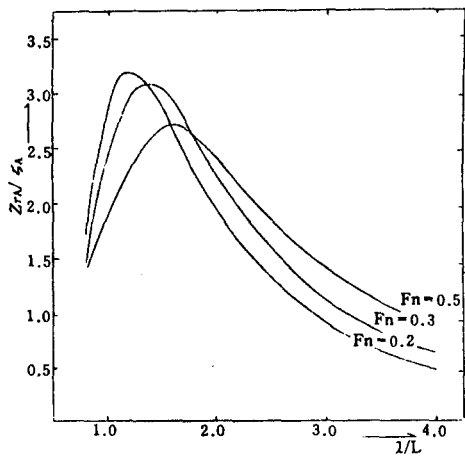
〈그림 8〉 縱動搖의 振幅



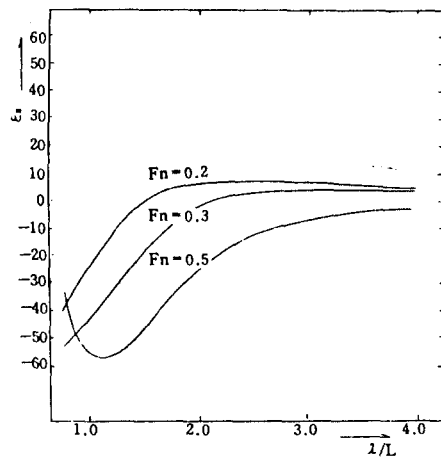
〈그림 9〉 縱動搖의 合成運動에 依한 加速度의 振幅



〈그림 10〉 船體와 波面과의 相對速度의 振幅

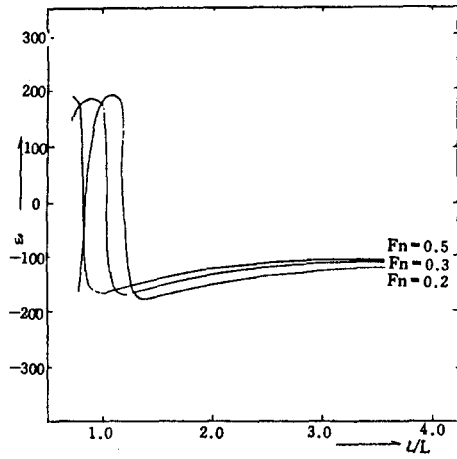


〈그림 11〉 船體와 波面과의 相對變位의 振幅

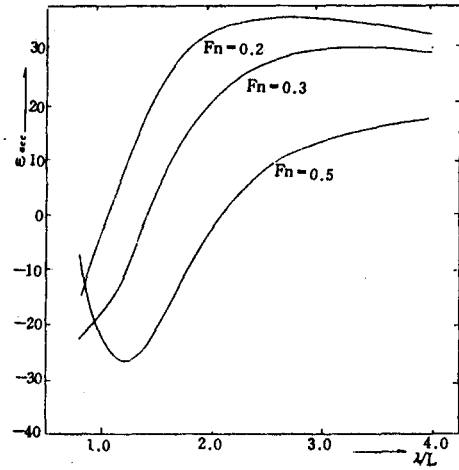


〈그림 12〉 上下動搖와 入射波의 位相差

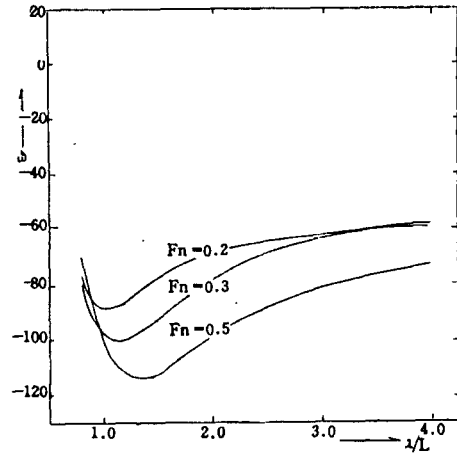
高速船型の船首運動에 관한 研究



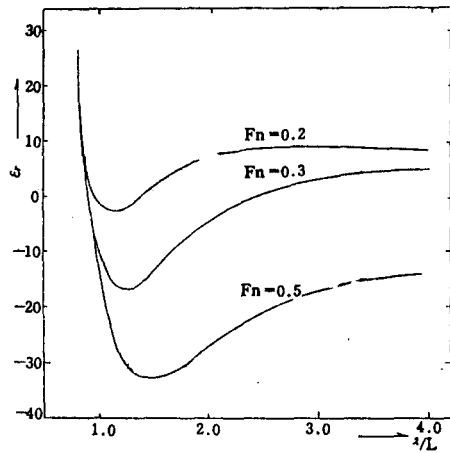
〈그림 13〉 縱動搖와 入射波의 位相差



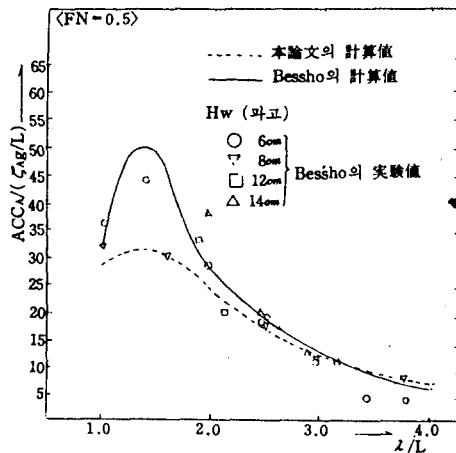
〈그림 14〉 加速度의 位相差



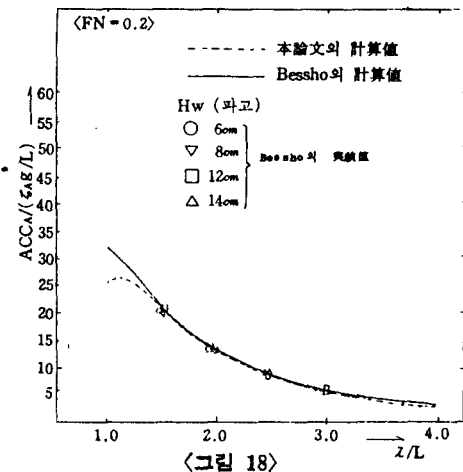
〈그림 15〉 相對速度의 位相差



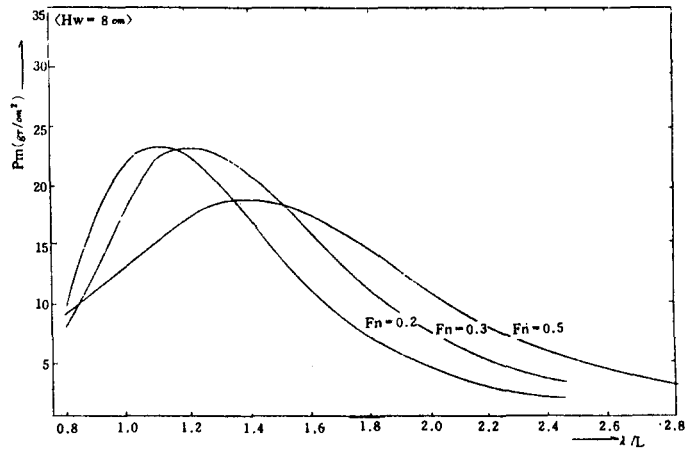
〈그림 16〉 相對變位의 位相差



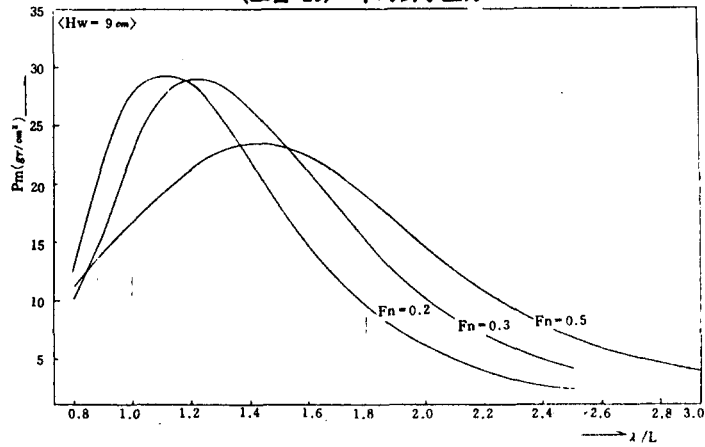
〈그림 17〉



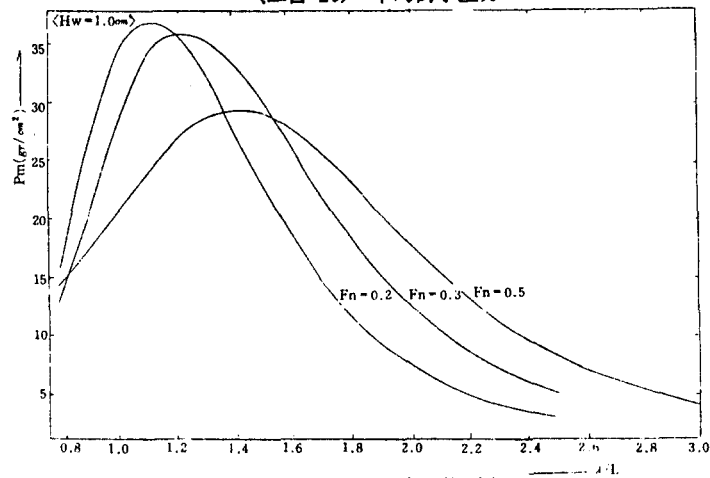
〈그림 18〉



〈그림 19〉 平均衝擊壓力



〈그림 20〉 平均衝擊壓力



〈그림 21〉 平均衝擊壓力

驗値와 本論文의 計算値를 取點하여 相互比較한 것이다.

4.4.2. 平均衝擊壓의 計算結果

(1) 그림 19~그림 21은 波高(H_w)가 8cm, 9cm, 10cm인 경우에 船速이 低速, 中速, 高速狀態인 $F_n=0.2, 0.3, 0.5$ 이고, $0.8 < \lambda/L < 3.0$ 인 범위에서의 船首部의 正面衝擊壓力를 計算하여 표시한 것이다. 앞에서 言及한 조건으로써 Slammings의 發生을 判別해 볼 때, 波의 振幅(ζ_A)이 4cm 以上이고, 限界波高가 8cm 以上인 波의 λ/L 가 0.8~3.0이고, $Z_{rA} > 5.6\text{cm}$, $Z_{rA} > 0.236\text{m/sec}$ 인 범위에서 Slammings이 發生한다는 것을 알 수 있다. 그리고 船底傾斜角은 前述한 F. King[8]의 方法을 적용하였으며 $\tan\beta_s$ 는 約 0.769를 얻었다.

(2) (1)에서 計算된 P_m 값으로써 n 을 求하여 比較해 볼 때, $F_n=0.2, 0.3, 0.5$ 의 세 경우 모두 n 는 6 정도에 해당하며, 이때 P_m 의 極大值($\lambda/L=1.2$) 부분에서 가벼운 損傷을 일으킬 수 있고, 그 외는 n 가 5以下로서 損傷을 입지 않는 것을 알 수 있다.

4.4. 計算結果의 檢討

上記 計算結果에 따라 차례로 그 特性을 檢討해 보면 다음과 같다.

上下動搖의 振幅 Z_A/ζ_A 는 λ/L 가 0.8~1.2인 범위에서 그 값이 급상승한다. λ/L 가 1.2~2.0인 범위에서 極大值部分이 나타나며, 그 極大值部分은 F_n 이 증가함에 따라 λ/L 가 큰 쪽으로 이동한다. 그리고 F_n 가 증가됨에 따라 Z_A/ζ_A 도 커진다.

縱動搖의 振幅 $\theta_A/(\zeta_A/L)$ 는 λ/L 가 0.8~1.2 범위에서 그 값이 급격히 변하며, λ/L 가 1.2~0.8의 범위에서 極大值部分이 이동한다. F_n 이 증가함에 따라 $\theta_A/(\zeta_A/L)$ 값은 감소하는 결과를 보인다.

船首部의 相對加速度의 振幅 $ACC_A/(\zeta_A g/L)$ 는 λ/L 가 1.0~1.5의 범위에서 極大值部分이 나타나며, 그 極大值部分은 F_n 가 증가함에 따라 λ/L 가 커지는 방향으로 이동한다. F_n 가 증가함에 따라 $ACC_A/(\zeta_A g/L)$ 의 값도 커진다.

船首部 相對速度의 振幅 $Z_{rA}/(\zeta_A/\sqrt{gL})$ 는 λ/L 가 1.0~1.4인 범위에서 그 極大值部分이 나타나며 F_n 가 증가함에 따라 그 極大值部分은 λ/L 가 커지는 쪽으로 이동한다. 한가지 흥미로운 점은 $\lambda/L > 1.5$ 인 범위에서는 F_n 이 커질 때 相對速度의 振幅値는 增加하지만, $0.8 < \lambda/L < 1.5$ 인 범위에서는 F_n 이 작아질 때 振幅値는 增加한다. $\lambda/L < 0.8$ 이하에서는 曲線의 形狀으로 보아서 F_n 이 커질 때 振幅値도 增加할 것으로 추측된다.

船首部 相對變位의 振幅 Z_{rA}/ζ_A 는 相對速度의 變化와 같은 모양이며 그 振幅만이 다를 뿐이다. 上下動搖의 位相差 ϵ_r 는 $0.5 < \lambda/L < 1.2$ 인 범위에서 그 極大值部分이 負의 값으로 나타나며 F_n 이 증가함에 따라 位相差도 커진다. 그리고 λ/L 가 4.0인 부근에서는 ϵ_r 는 零에 가까워진다.

縱動搖의 位相差 ϵ_θ 는 $0.8 < \lambda/L < 1.4$ 에서 급격히 증가하고 있으며 $\lambda/L=1.0$ 부근에서 변화가 심하다.

船首部의 加速度, 相對變位, 相對速度의 位相差 ϵ_{acc} , ϵ_r , ϵ_θ 는 F_n 이 커짐에 따라 負의 방향으로 그 位相差가 커진다. λ/L 의 1.0부근에서 位相差 變化가 제일 심하다.

平均衝擊壓力 P_m 은 $F_n=0.2$ 일 때에는 $\lambda/L=1.1$, $F_n=0.3$ 일 때에는 $\lambda/L=1.2$, $F_n=0.5$ 일 때에는 $\lambda/L=1.4$ 에서 極大值部分이 나타나고 있으며, 또 相對速度和 마찬가지로 $\lambda/L < 1.6$ 인 범위 내에서는 P_m 가 커짐에 따라 값도 커지고 있으며 曲線의 傾斜는 완만하다. 그러나 極大值값이

나타나는 $0.8 < \lambda/L < 1.4$ 의 범위에서는 F_n 이 작아짐에 따라 P_n 값이 커지고 있다.

本論文中에서 計算한 高速船型의 加速度와 Bessho[5]가 計算 및 實驗한 高速艇의 加速度를 比較한 結果에 依하면, $F_n=0.2$ 의 경우에는 兩者의 것이 서로 잘 일치되고 있음을 알 수 있고, $F_n=0.5$ 의 경우에는 加速度의 最大值에 있어서 약간의 차이가 있으나, 일반적으로 曲線의 경향은 유사하다.

5. 結 論

前述한 計算結果의 檢討로부터 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

(1) 高速型船이 縱規則波中에서 가지는 運動狀態는 그 應答의 最大值가 $1.0 < \lambda/L < 1.4$ 인 범위에서 나타난다. 즉 波長이 배의 길이의 1.2배 정도인 縱規則波中에서 船體의 運動狀態가 제일 심하다.

(2) 船首部의 相對速度는 $0.8 < \lambda/L < 1.5$ 에서 F_n 이 커지면 狀對速度의 振幅의 값이 감소한다. 船底衝擊壓力은 相對速度의 제곱에 비례하므로, 高速狀態보다 低速인 狀態가 $0.8 < \lambda/L < 1.5$ 의 범위에서는 Slamming에 依한 損傷이 야기될 수 있음을 알 수 있다.

(3) 聯成運動에 依한 加速度의 計算값이 $\lambda/L > 2.0$ 範圍에서는 Bessho의 實驗値와 거의 一致되는 것으로 보아서, 高速型船의 運動解析을 O. S. M. 으로 計算할 수 있다는 確證을 얻었다. 그러나, 國內에서는 高速型船의 模型實驗을 할 수 있는 水槽가 없기 때문에, 그 應答値의 精度를 알 수는 없으나, $\lambda/L=1.0$ 內外의 範圍에서는 本論文의 計算값이 Bessho의 實驗下限値와 거의 一致되고 있으므로, 이 경우에는 Bessho의 計算値와 著者의 計算値의 範圍內에서 그 應答値를 얻을 수 있을 것이다.

本論文의 結果로서 앞으로 高速型船의 運動解析에 關한 計算프로그램을 더 開發하여, 規則斜波나 不規則波中에서의 船體運動을 計算하는데 도움이 될 것이며, 또 高速型船의 船型開發이나 運航에 參考가 될 것으로 생각한다.

高速船型の船首運動에 關한 研究

參 考 文 獻

- [1] Ursell, F. ; "On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid", Q. J. M. and A. M. . Vol. II, 1949.
- [2] 田才福造 ; "船の上下動搖並びに, 縱動搖に於ける減衰力及び附加質量 について", 日本造船協會論文集, 第10號, 1959.
- [3] 權寧中・黃宗屹 ; "船體運動에 關한 Strip Method의 一考察", 大韓造船學會誌 第8卷 第1號, 1971.
- [4] 金辰安 ; "船型이 船體運動에 미치는 影響에 關한 研究", 大韓造船學會誌 第12卷 第1號, 1975.
- [5] 別所正利 外 ; "高速艇の規則波中 縱運動の研究", 日本造船學會論文集 第135號, 1974.
- [6] H. Wagner ; "Über stoss und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssig Keitenn", Z ang, M. M. 1932
H. Wagner ; "Über die Landung von Seeflugzeugen", ZFM 1931.
- [7] 渡邊忠弘 ; "船底衝擊の性質と Whipping について", "Slamming 發生判別の計算法及び船首吃水との關係", 西部造船會會報 第32號, 1966.
- [8] J. F. King ; "Heavy Weather Damage" TNECI. 41. 1934~5.
- [9] 小林正典 外 ; "船舶の耐航性に關する理論計算 プログラム(その理論式)", 三井造船技報 第82號.
- [10] Ochi, M. K. ; "Extreme Behavior of a ship in Rough Sea Slimming and Shipping of Green water", T. S. N. A. M. E, Vol. 72, 1964.
- [11] J. B. Parga ; "The Strengtheing of Bottom Forward", T. Roy. INA 1965.
- [12] 内燃機船調査委員會報告, 日本造船協會雜纂 166の2.
- [13] 任尙典 外 ; "電子計算機에 依한 造船設計法 開發에 關한 研究" 科學技術處, 1973.
- [14] P. N. A. ; Published by SNAME. 1967.