

## 滑走型高速艇의 縱規則波中에서의 耐航性能에 關하여

李 起 杓\*

### 1. 序 言

耐航性能分野에서의 高速艇의 開發은 前부터 主로 實船 또는 模型船에 依한 實驗結果의 分析에 依存하고 있으며, 이러한 實驗結果들을 直接 設計에 利用하기 위한 研究가 進行되고 있다.

Savitsky [1]는 滑走表面에 作用하는 揚力, 抗力, 浸水面積, 壓力中心 및 porpoising stability의 限界를 速力, 트림角, deadrise 및 loading을 變數로 하는 實驗式으로 表示하였으며, 이 式들을 使用하여 prismatic planing hull이 滑走할 때의 running트림, 吃水, porpoising stability 등을 推定하였다. 또 그 後에 Savitsky [2]는 縱不規則波中에서 滑走하는 prismatic hull의 上下動搖, 縱動搖, 垂直加速度 및 船底에서의 壓力를 近似推定할 수 있는 實驗式도 發表하였다.

Fridgma[3]는 一定한 deadrise를 갖는 模型船의 系統的인 實驗에 依해서, 平水와 縱規則波中을 滑走할 때의 deadrise, 트림, 速力, loading 등이 附加抗抵, 上下動搖, 縱動搖 및 impact acceleration에 미치는 影響을 조사하였다.

Bessho[4]는 排水量型 船形에 對한 耐航性能의 解析에 좋은 結果를 주고 있는 스트립理論을 使用하여서 縱規則波中에서의 滑走型高速艇의 上下動搖, 縱動搖 및 船首垂直加速度的 振幅을 計算하였으며, 이 結果를 實驗값과 比較하였다. 또한 日本의 高速艇研究委員會[5]에서는 Fridsma와 同一한 模型을 擇하여, 이에 對한 實驗 및 스트립理論에 依한 理論解析結果를 比較하여, 高速艇에 對한 스트립理論의 適用性을 檢討한 바도 있다.

Martin [6],[7]은 Savitsky 등이 제시한 實驗式을 使用하여, prismatic planing hull이 porpoising하기 始作하는 순간에서의 트림角과 速力을 推定할 수 있는 理論的인 方法을 제시하였으며, 또 Fridsma가 實驗에 使

用하였던 prismatic planing hull이 縱規則波中에서 滑走할 때의 자세를 上記方法에 依해서 推定한 후, 이 狀態에서의 上下動搖와 縱動搖의 振幅과 位相差를 計算하였다.

서울大學校와 코리아 타코마에서는 共同研究로써 Bessho가 시도했던 바와 같이 滑走型高速艇의 縱規則波中에서의 運動應答을 스트립理論에 依해서 解析하였으며, 各 船體斷面에서의 2次元 流體力으로써 이 斷面과 幅이 같은 平板에 對한 것을 使用하였다. 또한 排水量型 船舶의 耐航性能을 解析할 때와 같이, 船體 各斷面에서의 2次元 流體力으로써, 各 斷面과 等價인 Lewis form에 對한 것을 使用한 計算도 함께 遂行하였다.

이로부터 滑走型高速艇의 경우에는 平板에 對한 2次元 流體力를 使用한 스트립理論의 結果가 實驗값에 보다 접근하며, 滑走時에는 實驗값과 差異를 보이고 있으나, 스트립理論에 적당한 수정을 加하여 해결될 것으로 豫見된다.

### 2. 運動方程式

縱規則波中을 航走하는 艇의 上下動搖와 縱動搖의 聯成運動方程式은

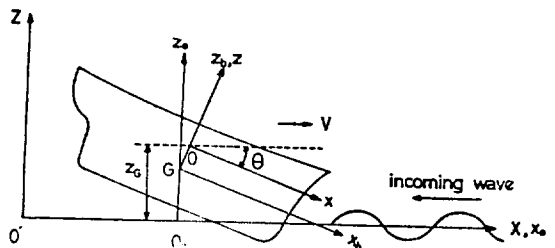


Fig. 1. Coordinate System

\* 正會員 : 서울大學校 工科大學

$$(M+a)\ddot{z}_G + b\ddot{z}_G + cz_G + d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + g_1\theta = F \quad (2-1)$$

$$(J_c+A)\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{Z}_G + E\dot{Z}_G + G_1Z_G = M \quad (2-2)$$

으로 적을 수 있으며,  $M$ 과  $J_c$ 는 각각 배의 全質量과 배의 重心  $G$ 를 지나는  $y_b$ 軸에 관한 2次모우먼트이다. (Fig. 1 座標系 참조)

또  $\ddot{z}_G, \dot{z}_G, z_G$ 는 각각 上下動搖의 加速度, 速度, 變位이며 船體上向이 陽의 方向이다.  $\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta$ 는 각각 縱動搖의 角加速度, 角速度, 角變位이며 船首下向이 陽의 方向이다.

上記 運動方程式 (2-1), (2-2)의 係數는 [8]

$$\left. \begin{aligned} a &= \int_L M dx, \quad b = \int_L N dx, \quad c = \rho g A_w, \quad d = \int_L x M dx, \\ e &= \int_L (Nx - VM) dx, \quad g_1 = \int_L (\rho g \cdot 2bx - NV) dx \end{aligned} \right\} (2-3)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= \int_L x^2 M dx, \quad B = \int_L \left( x^2 N + \frac{V^2}{\omega_e^2} N \right) dx, \\ C &= \int_L (-V^2 M) dx + \rho g I_w, \quad D = \int_L x M dx, \\ E &= \int_L (Nx + VM) dx, \quad G_1 = \int_L (VN + \rho g \cdot 2bx) dx \end{aligned} \right\} (2-4)$$

이며, 波浪強制力과 波浪強制모우먼트는

$$\left. \begin{aligned} F &= F_c \cos \omega_e t + F_s \sin \omega_e t \\ M &= M_c \cos \omega_e t + M_s \sin \omega_e t \end{aligned} \right\} (2-5)$$

이라 놓으면,

$$\left. \begin{aligned} F_c &= \zeta_A \int_L \{ (\rho g \cdot 2b - \omega_e M) \text{Exp}(-KT_m) \cos Kx - \omega \text{Exp}(-KT_m) N \sin Kx \} dx, \\ F_s &= \zeta_A \int_L \{ \omega \text{Exp}(-KT_m) N \cos Kx + (\rho g \cdot 2b - \omega_e M) \text{Exp}(-KT_m) \sin Kx \} dx \end{aligned} \right\} (2-6)$$

$$\left. \begin{aligned} M_c &= \zeta_A \int_L \{ (x\omega N - V\omega M) \text{Exp}(-KT_m) \sin Kx + (\rho g \cdot 2bx - x\omega_e M + \frac{\omega}{\omega_e} VN) \text{Exp}(-KT_m) \cos Kx \} dx \\ M_s &= \zeta_A \int_L \{ (\rho g \cdot 2bx - x\omega_e M + \frac{\omega}{\omega_e} VN) \text{Exp}(-KT_m) \sin Kx - (x\omega N - V\omega M) \text{Exp}(-KT_m) \cos Kx \} dx \end{aligned} \right\} (2-7)$$

으로 적을 수 있으며,

$V$ : 배의 進進속도

$M$ : 배의 各斷面에서의 附加質量

$N$ : 배의 各斷面에서의 感衰力係數

$A_w$ : 水線面積

$b$ : 배의 各斷面에서의 半幅

$T_m$ : 배의 各斷面에서의 平均吃水

$I_w$ : 배의 重心  $G$ 를 지나는 軸에 對한 水線面의 2次 모우먼트

$K$ : 波數 ( $\omega^2/g$ )

$\zeta_A$ : 入射波의 振幅

$\omega_e$ : encounter frequency ( $\omega + \omega^2 V/g$ )

$L$ : 배의 수선간 길이

이다.

한편 聯成運動方程式(2-1), (2-2)의 解는

$$z_G = z_c \cos \omega_e t + z_s \sin \omega_e t = z_a \cos(\omega_e t + \epsilon_z), \quad (2-8)$$

$$\theta = \theta_c \cos \omega_e t + \theta_s \sin \omega_e t = \theta_a \cos(\omega_e t + \epsilon_\theta) \quad (2-9)$$

과 같이 求해 지며, 上下動搖振幅  $z_a$ 와 位相差  $\epsilon_z$ 는

$$\left. \begin{aligned} z_a &= \sqrt{z_c^2 + z_s^2} \\ \epsilon_z &= \tan^{-1} \left( \frac{z_s}{z_c} \right) \end{aligned} \right\} (2-10)$$

이며, 縱動搖振幅  $\theta_a$ 와 位相差  $\epsilon_\theta$ 는

$$\left. \begin{aligned} \theta_a &= \sqrt{\theta_c^2 + \theta_s^2} \\ \epsilon_\theta &= \tan^{-1} \left( \frac{\theta_s}{\theta_c} \right) \end{aligned} \right\} (2-11)$$

이다.

### 3. 平板에 作用하는 2次元 流體力

半幅이  $b$ 인 平板의 無限깊이의 理想流體의 自由表面에서, 振幅이  $Y$ 이고 圓振動數가  $\omega$ 인 強制上下動搖

$$y = R_e(Y e^{-i\omega t}) \quad (3-1)$$

를 靜止狀態에서 始作하였다고 하면, 速度포텐셜  $\Phi(x, y, t)$ 가 存在하게 되고,  $\Phi(x, y, t)$ 는 아래의 境界值問題의 解로써 定해 진다.

$$\Phi_{xx} + \Phi_{yy} = 0; -\infty < x < \infty, -\infty < y \leq 0 \quad (3-2)$$

$$P_t = -\rho \Phi_{tt} - g \Phi_y; y = 0 \quad (3-3)$$

$$\Phi_{y \rightarrow 0}; y \rightarrow -\infty \quad (3-4)$$

$$\Phi_{x \pm iK\Phi \rightarrow 0}; x \rightarrow \pm \infty \quad (3-5)$$

여기서  $P$ 는 平板에 作用하는 流體의 壓力이며,  $g$ 는 重力加速度, 그리고  $K$ 는 波數( $\omega^2/g$ )이다.

速度포텐셜  $\Phi$  및 平板에 作用하는 壓力  $P$ 를 時間  $t$ 에 對한 週期項과 分離하여

$$\left. \begin{aligned} \Phi(x,y,t) &= R_e[\phi_0(x,y)e^{-i\omega t}] \\ P(x,0,t) &= R_e[P_0(x,0)e^{-i\omega t}] \end{aligned} \right\} (3-6)$$

라고 하고, 또  $\phi_0$ 와  $p_0$ 를

$$\left. \begin{aligned} \phi_0(x,y) &= i\omega Y\varphi(x,y) \\ p_0(x,0) &= -\rho g Yp(x,0) \end{aligned} \right\} (3-7)$$

과 같이 놓으면, 上記 境界值問題의 解  $\varphi(x,y)$ 가

$$\varphi(x,y) = - \int_{-b}^b P(x')G(x-x',y)dx' \quad (3-8)$$

로써 求解 진다.

여기서  $G(x,y)$ 는 그린函數로써, 境界值問題

$$\left. \begin{aligned} G_{xx} + G_{yy} &= 0; -\infty < x < \infty, -\infty < y \leq 0 \\ KG - G_y &= 0; y = 0 \\ G_y &\rightarrow 0; y = -\infty \\ G_x \pm iKG &\rightarrow 0; x \rightarrow \pm \infty \end{aligned} \right\} (3-9)$$

를 滿足해야 되며, 그 解는 아래와 같다. [9]

$$G(x,y) = \frac{1}{\pi} \int \frac{e^{ky} \cos kx}{k-K} dk \quad (3-10)$$

平板에 作用하는 壓力  $P$ 는 平板의 表面上에서의 境界條件

$$\varphi_y = -1; -b < x < b \quad (3-11)$$

에 (3-8)式을 代入하여 얻은 積分方程式

$$1 = p(x) + K \int_{-b}^b p(x')G(x-x',0)dx' \quad (3-12)$$

의 解로써 決定할 수 있다.

平板에 作用하는 全流體力을  $F e^{-i\omega t}$ 라고 하면,  $F$ 는

$$F = - \int_{-b}^b p \cdot dx \quad (3-13)$$

로 적을 수 있다.

여기서 附加質量과 減衰力을 各各  $M$ 과  $N$ 이라고 하고, 또  $p$ 를

$$p = p_c - iP_s \quad (3-14)$$

과 같이 區分하면,  $M$ 과  $N$ 은 各各

$$M = \frac{1}{K} \int_{-b}^b (p_c - 1) dx \quad (3-15)$$

$$N = - \frac{\rho \omega}{K} \int_{-b}^b p_s dx \quad (3-16)$$

의 關係가 있다.

또 附加質量係數  $\bar{M}$ 를

$$\bar{M} = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho \pi b^2} \quad (3-17)$$

과 같이 정의하였으며, 振幅比  $\bar{A}$ 는 Haskind-Newman의 關係式으로 부터 아래와 같이 적을 수 있다.

$$\bar{A} = \frac{\zeta_{0\infty}}{Y} = K \sqrt{\left| \frac{N}{\rho \omega} \right|} \quad (3-18)$$

### 4. 計算結果 및 考察

平板에 作用하는 2次元 流體力을 使用한 스트림理論의 結果를 檢證하기 위해서, Bessho에 依해 運動應答의 實驗값과 理論값이 發表된 바 있는 torpedo船型을 擇해 理論解析을 하였다. 이 船型의 主要要目은 表1과 같으며, 그 正面圖를 Fig. 2에 圖示하였다.

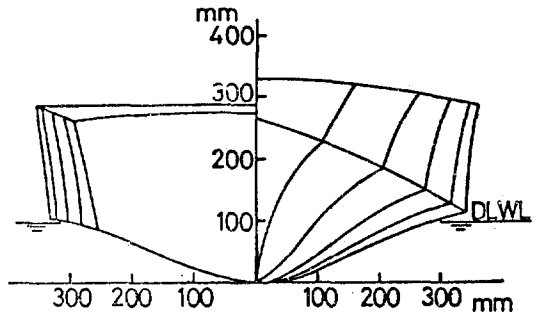


Fig. 2. Body Plan of Model

表 1. 主要要目

Length over all ( $L_{0a}$ )	2.690m
Length on load waterline ( $L_{w1}$ )	2.469m
Breadth ( $B$ )	0.634m
Draft ( $d$ )	0.0938m
Displacement	0.059949 Tons
Initial trim	0
Block Coefficient ( $C_B$ )	0.4083
Midship Coefficient ( $C_M$ )	0.5448
C. G. from Midship ( $\Phi G$ )	aft. 0.246m
Longitudinal Gyradius ( $k_{yy}$ )	0.2055 $L_{0a}$

式(3-17)과 式(3-18)로 나타난 平板에 作用하는 2次元 流體力을 Fig. 3, Fig. 4에 圖示하였으며, 檢證計算에서는 Froude數가 0.5, 1.0 및 1.5의 3가지 速力에 對

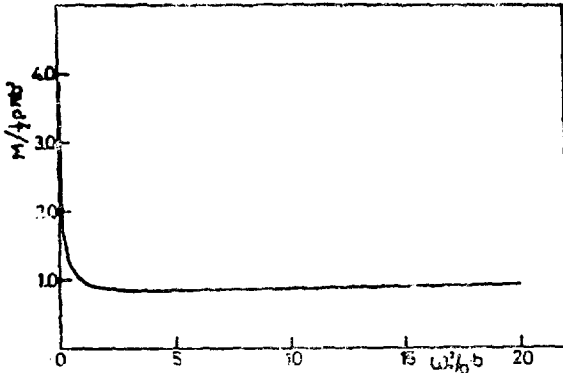


Fig. 3. Added Mass Coefficients for the Flat Plate

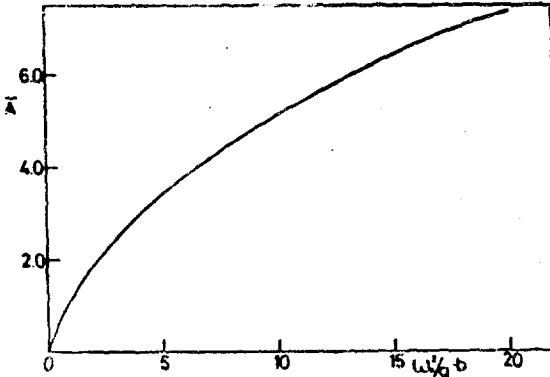


Fig. 4. Amplitude Ratio ( $\eta/Y$ ) for the Flat Plate

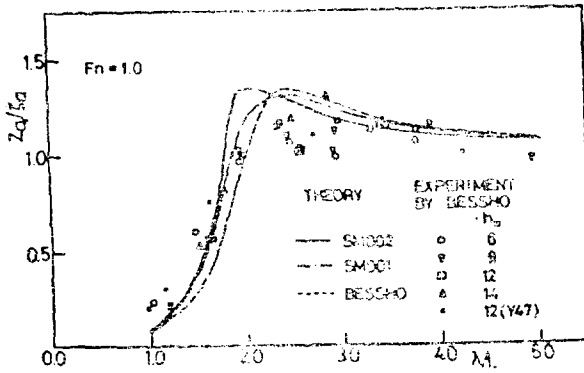


Fig. 5. Comparison of Theoretical and Experimental Heave Amplitude,  $F_n=1.0$

한 理論解析을 하였다. 이 3가지의 速力에 對한 計算結果는 Bessho의 計算값 및 入射波의 波高가 6, 9, 12 및 14cm일 때의 實驗結果와 함께 圖示하였으며, SM001은 平板의 流體力를 使用한 스트립理論의 結果를, 또 SM002는 等價의 Lewis form에 對한 流體力를 使用한 스트립理論의 結果를 표시하고 있다. 高速艇의 滑走狀

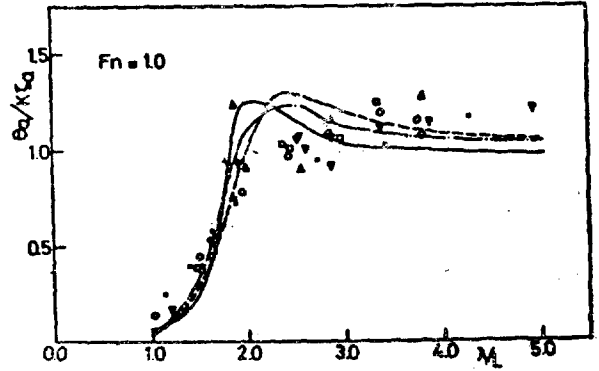


Fig. 6. Comparison of Theoretical and Experimental Pitch Amplitude,  $F_n=1.0$

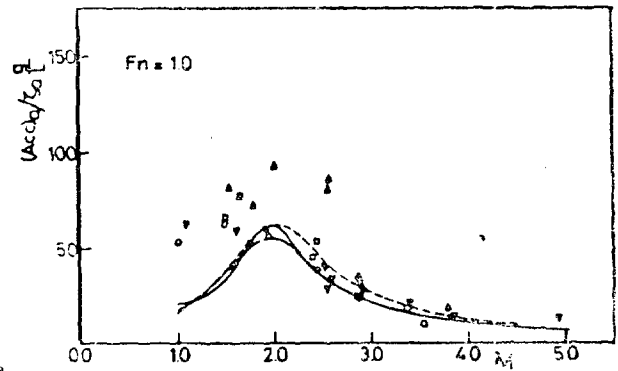


Fig. 7. Comparison of Theoretical and Experimental Vertical Bow Acceleration,  $F_n=1.0$

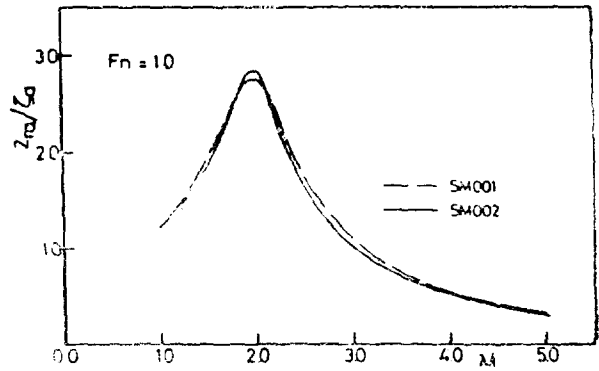


Fig. 8. Relative Bow Vertical Displacement,  $F_n=1.0$

態( $F_n=1.0$ )에 對한 運動應答인 上下動搖振幅( $Z_a/c_a$ ), 縱動搖振幅( $\theta_0/K*Z_a$ ), 船首에서의 艀대垂直加速度振幅( $A_{acc}/c_a*g*L$ ), 相對垂直變位( $Z_{ra}/c_a$ ) 및 相對垂直速度( $Z_{va}/c_a*\sqrt{g/L}$ )를 各各 Fig. 5에서 Fig.9에 圖示하였다. 이로부터 高速艇의 滑走狀態( $F_n=1.0$ )에서는 平板의 流體力를 使用한 스트립理論(SM001)의 結果가 Bessho

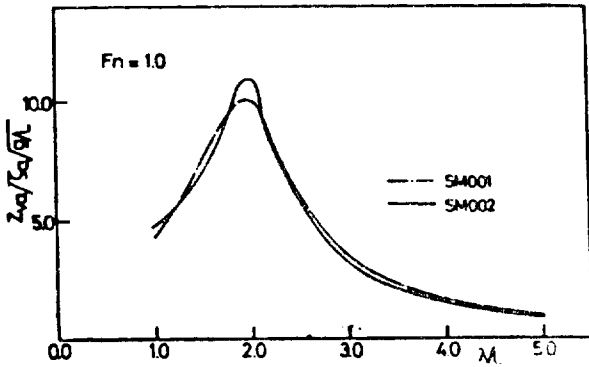


Fig. 9. Relative Bow Vertical Velocity,  $F_n=1.0$

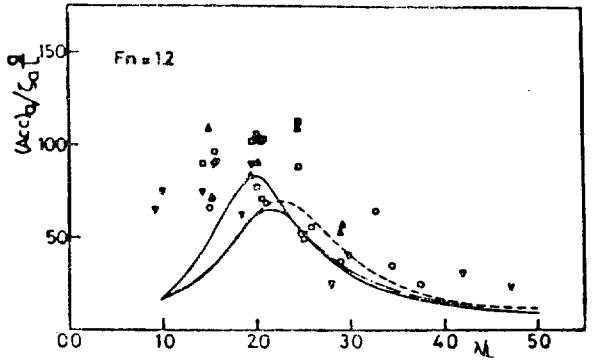


Fig. 12. Comparison of Theoretical and Experimental Vertical Bow Acceleration,  $F_n=12$

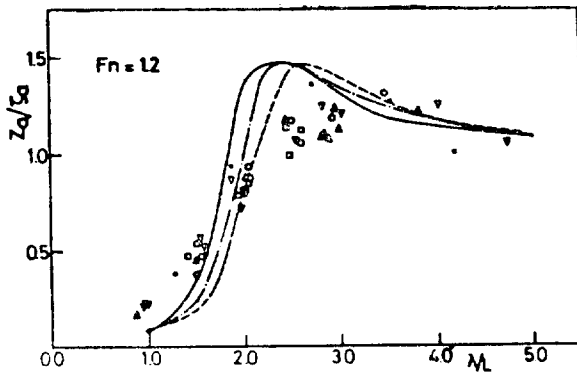


Fig. 10. Comparison of Theoretical and Experimental Heave Amplitude  $F_n=1.2$

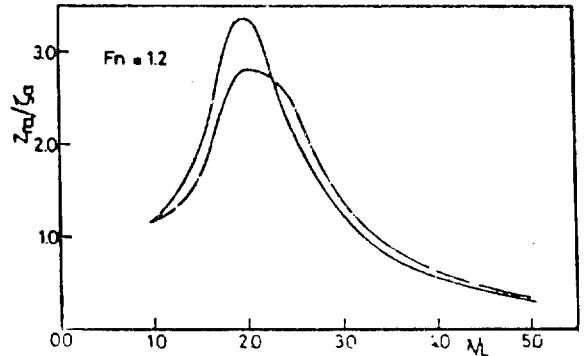


Fig. 13. Relative Bow Vertical Displacement,  $F_n=12$

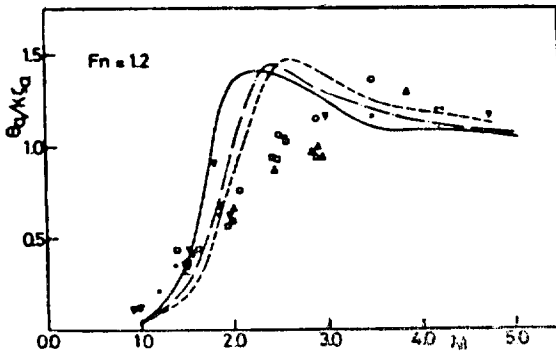


Fig. 11. Comparison of Theoretical and Experimental Pitch Amplitude  $F_n=1.2$

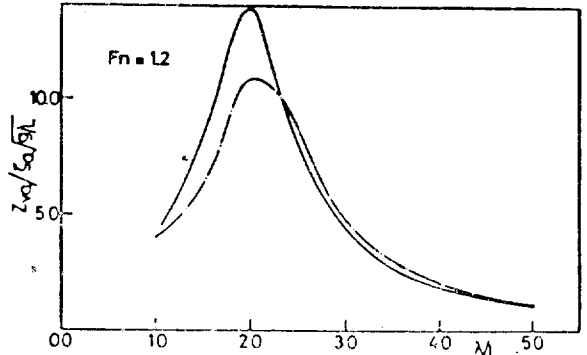


Fig. 14. Relative Bow Vertical Velocity,  $F_n=12$

의 계산값보다 더 實驗값에 접근함을 알 수 있으며, 船首에서의 절대垂直加速度는 入射波의 波長( $\lambda$ )이 배의 길이의 2배보다 길때에 實驗값과 서로 잘 一致하며 이보다 짧은 入射波의 波長에서는 상당한 差異를 보이고 있다.  $F_n=1.2$ 인 狀態에 對한 運動應答도 위에서와 같은 順序로 各各 Fig. 10에서 Fig. 14에 圖示하였다. 이 경우에는 運動應答의 計算값이 實驗값에 比해서 다

소 큰 差異를 보이고 있으며, 船首에서의 절대垂直加速度에 對해서는  $F_n=1.0$ 일 때와 同一한 評價를 할 수 있으며, 오히려 等價의 Lewis form을 使用한 스트림理論(SM002)의 結果가 더 實驗값에 접근함을 알 수 있다. 巡航狀態( $F_n=0.5$ )에 對한 運動應答을 Fig. 15에서 Fig.18에 圖示하였다. 이 때에도 SM002를 使用한 計算結果보다는 SM001을 使用한 計算結果가 船體動應答 및 船首에서의 절대垂直加速度에 對해서 모두 實

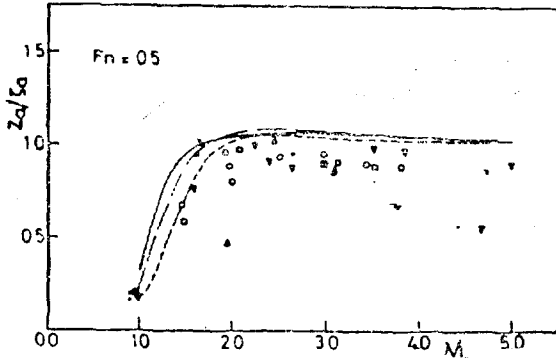


Fig. 15. Comparison of Theoretical and Experimental Heave Amplitude  $F_n=0.5$

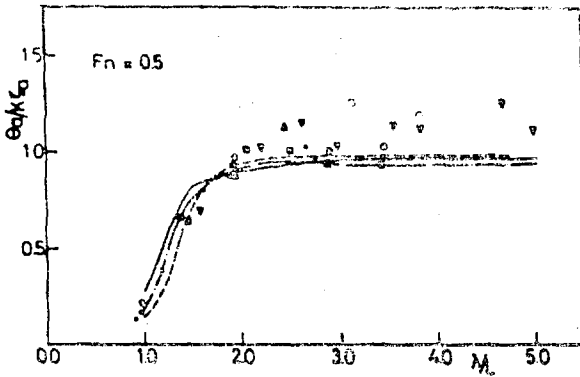


Fig. 16. Comparison of Theoretical and Experimental Pitch Amplitude,  $F_n=0.5$

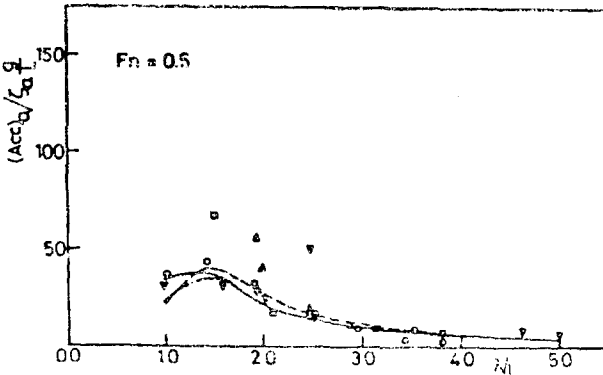


Fig. 17. Comparison of Theoretical and Experimental Vertical Bow Acceleration  $F_n=0.5$

驗값에 近似하게 접근함을 알 수 있으며, 이것은  $F_n=0.5$ 의 速度에서 벌써 動力學的 揚力이 발생함을 뜻한다.

5. 結 論

滑走型 高速艇의 耐航性能은 巡航速度와 最大速度의

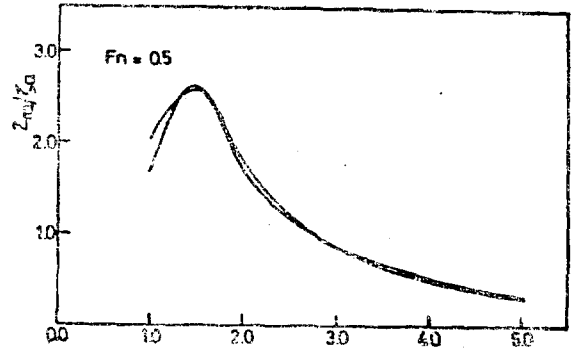


Fig. 18. Relative Bow Vertical Displacement,  $F_n=0.5$

두가지 경우에 對해서 解析이 되어져야 한다.

平板에 作用하는 2次元 流體力을 使用한 스트림理論에 依한 解析結果는 計算例에서 본 바와 같이 巡航速度에 對해서는 實驗結果와 잘 一致하나, 滑走狀態에 對해서는 定性的으로는 動動狀態를 잘 說明해 주고 있으나, 定量的인 面에서는 아직 問題가 남아 있다. 斜傾 스트림理論에 依한 推定값을 그대로 設計값으로 使用할 수 있는 限界速度은  $F_n=0.5$ 로 생각된다. 또한 앞으로 滑走型高速艇이 滑走할 때의 姿勢를 推定할 수 있는 理論의 開發이 要求되며, 滑走할 때의 姿勢를 推定한 後, 이 狀態에 對한 스트림理論을 적용할 경우, 境界적으로도 滿足할 만한 結果를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- [1] Savitsky, D., "Hydrodynamic Aspects of Planing Hulls", Davidson Laboratory Report No. 1000, Dec. 1963
- [2] Savitsky, D., "Small Craft Behavior in a Seaway", Conference on Small Craft Engineering, Univ. of Michigan, 1971
- [3] Fridsma, G., "A Systematic Study of the Rough-Water Performance of Planing Boats", Davidson Laboratory, Stevens Institute of Technology Report R-1275, Nov. 1969
- [4] Bessho, M., Komatsu, M. and Anjoh, M., "On Motions of a High Speed Planing Boat in Regular Head Sea", J. of J. S. N. A., Vol. 135, 1974
- [5] Research Committee of the High Speed Boat, "Study of Motions of High Speed Boats in a Seaway", Rep. of Committee of Light Metals for Shipbuilding Industry, Vol. 15, 1975

- [6] Martin, M., "Theoretical Determination of Porpoising Instability of High-Speed Planing Boats", *D. T. N. S. R. D. C. Report* 76-0068, April 1976
- [7] Martin, M., "Theoretical Prediction of Motions of High-Speed Planing Boats in Waves", *D. T. N. S. R. D. C. Report* 76-0069, April 1976
- [8] 임상진 外, "전자계산기에 의한 조선설계법 개발에 관한 연구", 과학기술처보고서 R-73-13, 1973
- [9] Thorne, R. C., "Multipole Expansions in the Theory of Surface Waves", *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 49, 1953