

船尾船底에 미치는 推進器 誘起壓力

——船體表面에 붙인 壓力變換器로 計測되는 壓力으로부터의 한 分離方法——

曹 奎 鍾*

Propeller Induced Pressure on Bottom Surface of Stern —A Method of Separation from the Measured Pressure with Pressure Transducer attached on Hull Surface.

by

Kyu Jong Cho*

Abstract

The propeller induced pressure fluctuation around a ship's stern is one of the interesting problems from viewpoints of the noise and vibration.

Most of the experimental works on the subject employ pressure transducer attached on hull surface near the propeller. In this technique, the measured pressure includes the hydrodynamic pressure due to the ship's motion as a rigid body and the local vibration of shell plate on which the pressure transducer attached, if they exist.

Hence, the separation of the additional pressure due to vibration from the measured pressure is essential for the determination of true values of the propeller induced pressure. In this paper, to contribute to the separation method, the author investigated the additional hydrodynamic pressure as below, based on the numerical calculation.

- (1) Hydrodynamic pressure on the body surface of two dimensional cylinders of some mathematical sections such as ellipse, rectangle, triangle, Lewis form of hypotrochoidal character and curvilinear-element section with chine oscillating vertically at high frequency in a free surface.
- (2) Hydrodynamic pressure on the surface of the shell plate in local vibration in an ideal fluid.

I. 序 論

船尾部分에서의 推進器 誘起壓力的 問題는 騒音이나 振動 問題와 關聯된 基本的인 課題의 하나이다. 本報文에서는 船體外板에 붙인 壓力變換器로서 實驗的으로 測定할 수 있는 推進器 近傍의 船體表面에 作用하는 壓力值로부터 推進器 誘起壓力的 참값을 分離해 낼수있는 한 方案을 檢討하였다. 여기서 推進器 誘起壓力的

接受日字 1970 年 2 月10日

* 正會員, 仁荷工科大学

** []內 數字는 本文末尾에 紹介한 參考文獻의 番號임

참값이다 함은推進器에 대해 相對的으로 完全이 固定된 剛體面에 미치는 推進器에 依한 流體壓力를 意味한다.

作動하는 船用推進器 近傍의 變動壓力에 對해서는 理論的인 研究로서 John P. Breslin[1], S Tsakonas, J.P. Breslin 및 W.R. Jacobs[2]와 S. Tsakonas, J.P. Breslin 및 N. Jen[3] 및 J.W. Rasmay[4] 등이 있고, 實驗的인 研究로서는 J.P. Breslin 과 T. Kowalski의 平板 및 圓筒面에 對한 것[5] 및 谷口 中の 箱子型船에 對한 것[6] 등이 있다.

위와같은 實驗的 研究에서 흔히 壓力變換器를 船尾部 船體表面에 取付하여 計測하는 方法을 採用하고 있는데, 變換器가 取付된 船尾部가 振動狀態에 놓여지게 되면 壓力變換器에 依해 計測된 壓力에는 前記 振動으로 因한 流體壓이 附加되게 되므로 推進器 誘起壓力의 참값을 얻기 위해서는 이에 對한 修正을 要하게 된다. 이 경우 振動으로 因해 附加되는 流體壓은 船尾部 自體의 運動에 起因하는 部分과 計測器 取付位置의 外板의 局部的인 振動으로 因한 部分으로 構成될 것이다. 이와같은 見解는 E. Huse에 依해서도 主張되고 있다.[7]

本 報文에서는 測定된 壓力으로 부터 推進器 誘起壓力의 참값을 分離해 내기 위하여 여러 船尾型 斷面 柱狀體의 高振動으로 誘起되는 壓力과 壓力變換器가 取付된 外板의 局部振動으로 誘起되는 壓力을 單位크기의 運動加速度를 基礎로 한 壓力比係數로서 計算하였다. 따라서 壓力變換器를 부치는 外板의 內面에 加速度計를 부치 該當運動型的 加速度를 同時에 計測함으로써 計測壓力으로 부터 推進器 誘起壓力의 참값을 分離해 낼 수 있을 것이다.

이 目的을 위하여 첫째 船尾部의 剛體運動에 수반되는 變動壓力의 크기와 分布傾向을 알아보고자 數學的 斷面形狀으로서 Bieberbach Transformation 을 바탕으로하여 얻어지는 圓 및 橢圓斷面, 三角形斷面, 短形斷面, Lewis Form[8]中 最小斷面 및 金極天教授[9][10]의 單背骨 및 複背骨 曲線要素 斷面中 最小斷面을 擇하여 半幅一吃水比 1, 2, 3, 4, 5에 對해 推進器의 取付位置를 考慮하여 船底 船體中心線上 및 그로부터 船幅의 0.125 배, 0.25 배인 船體表面上的 값을 調査하였고, 外板의 振動에 對해서는 軸에 平行한 二邊이 Clamp 된 縱橫比를 달리하는 矩形板에 對해서 그 變動壓力을 調査하였다.

II. 理論的 計算

作動하는 推進器 近傍의 船體外板에 取付된 壓力變換器로 計測되는 壓力 p_1 는 船體表面에 作用한 推進器誘起壓力 p_0 와 船體運動에 따르는 船尾部 船體表面에 作用한 變動流體壓力 p_1 및 船尾部 外板의 局部的 振動으로 因한 變動流體壓力 p_2 를 主構成要素로 한다.

1. 船體表面에 作用하는 推進器 誘起壓力

Fig. 1에 表示하는것 처럼 推進器 中心을 座標의 原點으로 잡고 X軸의 正方向을 推進器의 前進方向, Z軸의 正方向을 鉛直上方으로 잡은 右手座標系를 使用키로 한다.

推進器 周圍의 變動壓力場은 推進器 圓盤面에 있어서의 어떤 有效半徑 Re 에 翼數에 對應해서 集中 分布시킨 Doublets로 近似시킬 수 있음은 잘 알려진 事實이다. 推進器 圓盤面과 Y-Z面과는 一致하는 것으로 치고 翼數에 對應한 이들 Doublets가 角速度 ω 로 X軸 周圍로 廻轉할때 X-Z面內의 任意의 點 $P(X, 0, Z)$ 에 있어서의 變動壓力의 速度 Potential의 m 次的 Harmonic는 다음 식으로 表示된다.[6]

$$\phi = \frac{-i \exp(imB_N \omega t)}{4\pi^2 \rho m B_N \omega} \int_0^{2\pi} \frac{1}{S_e^3} \left\{ TX \exp[-i(mB_N \theta - \epsilon_r)] + \frac{QZ \sin \theta}{Re} \exp[-i(mB_N \theta - \epsilon_q)] \right\} d\theta \quad (1)$$

여기에 B_N : 翼數

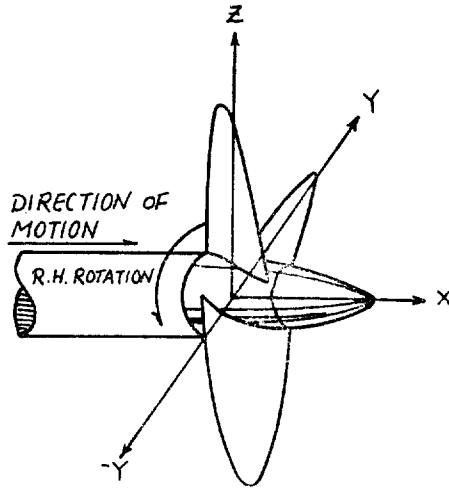


Fig. 1 Coordinate system

T : 推力

Q : Torque

$\epsilon_r; \epsilon_Q$: 位相角 이고

$S_e: \sqrt{X^2 + Z^2 + R_e^2 - 2R_e Z \cos \theta}$

로써 點 P 와 doublet 의 距離이다.

點 P 에 있어서의 m 次의 Harmonic 에 依한 變動壓力的 瞬間值 p_i 는

$$p_i = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \tag{2}$$

無次元形으로 고치고 位相角 ϵ_r, ϵ_Q 의 영향을 省略하면 다음 式으로 表示된다.

$$\frac{p_i}{\rho n^2 D^2} = \frac{\exp(imB_N \omega t)}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \frac{[G(X/D) + C_Q(Z/R_e) \sin \theta] (\cos m B_N \theta - i \sin m B_N \theta)}{[(X/D)^2 + (Z/D)^2 + (R_e/D)^2 - 2(R_e/D)(Z/D) \cos \theta]^{3/2}} d\theta \tag{3}$$

여기에 D : 推進器直徑

n : rps

C_Q : Torque 常數

따라서 m 次의 Harmonic 의 變動壓力的 振幅 p 는

$$\begin{aligned} \frac{p}{\rho n^2 D^2} &= \frac{1}{4\pi^2} \left\{ \left[\int_0^{2\pi} \frac{[G(X/D) + C_Q(Z/R_e) \sin \theta] \cos m B_N \theta}{(S_e/D)^3} d\theta \right]^2 \right. \\ &\quad \left. + \left[\int_0^{2\pi} \frac{[G(X/D) + C_Q(Z/R_e) \sin \theta] \sin m B_N \theta}{(S_e/D)^3} d\theta \right]^2 \right\}^{1/2} \tag{4} \end{aligned}$$

로 주어지고, P 點이 推進器直上에 있을 경우는 (4)式에서 $X=0$ 로 놓아

$$\frac{p}{\rho n^2 D^2} = \frac{C_Q(Z/R_e)}{2\pi^2} \int_0^\pi \frac{\sin \theta \sin m B_N \theta}{(S_e/D)^3} d\theta \tag{5}$$

$$\frac{1}{C_Q} \frac{p}{\rho n^2 D^2} = \frac{Z/R_e}{2\pi^2} \int_0^\pi \frac{\sin \theta \cdot \sin m B_N \theta}{[(Z/D)^2 + (R_e/D)^2 - 2(R_e/D)(Z/D) \cos \theta]^{3/2}} d\theta \tag{6}$$

가 된다.

以上の考察은 空間의 點에 있어서의 變動壓力을 생각하고 있는 故로 實船과 같이 推進器近傍에 固定面이 있을 때의 p_0 는 當然이 干涉效果를 考慮해야 한다 그러기 위해서 普通 p_0 는 (5) 또는 (6)式으로 얻어지는 p 에 干涉으로 因한 影響係數를 곱해서 求하고 있다.

推進器가 固定平面近處에 있을 때는 그 平面上에 있어서의 變動壓力의 振幅은 推進器가 Free space에 있을 경우의 2倍 推進器直徑 程度의 直徑의 圓筒近傍에 있을때는 約 1.5倍가 된다. 그러나 複雜한 船尾船型에서의 干涉效果에 對해서는 理論的인 取扱은 매우 複雜하여 困難해지므로 이 係數는 實測에 依存해야 한다.

2. 船尾部振動에 따르는 船體表面에 作用하는 變動流體壓力

Bieberbach's transformation에 依해 z -平面 上의 任意의 船型斷面을 ζ -平面上的 單位圓으로 表示할 수 있다. [9][10]

$$\text{即 } z(\zeta) = R\left[\zeta + \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \zeta^{-(2n-1)}\right] \quad (7)$$

여기에 $z = x + iy$

$$\zeta = \xi + i\eta = e^{(\alpha + i\theta)} = e^{i\theta}; \quad \alpha = 0 \text{ 때}$$

(7)式으로 定義되는 船型斷面柱狀體가 理想流體中에서 高振動數로 上下 振動 할때 物體境界面에서의 速度 potential ϕ 는

$$\phi_{\alpha=0} = -Rv\left[(1+a_1)\sin\theta + \sum_{n=2}^{\infty} a_{2n-1}\sin(2n-1)\theta\right]e^{i\omega t} \quad (8)$$

여기에 v : 速度振幅

α, θ : z -平面에서의 直交曲線座標

$$\text{但 } \begin{cases} \theta: 0, \pi, \text{ 自由水面} \\ \alpha: 0, \text{ 物體境界面} \end{cases}$$

故로 物體境界面에서의 變動流體壓은 Bernoulli 方程式으로 부터

$$p_1 = \rho \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)_{\alpha=0} \quad (9)$$

變動壓力을 無次元係數 C_1 으로 表示하기 위하여 다음과 같이 定義한다.

$$C_1 = \frac{p_1}{\rho a_v b} \quad (10)$$

여기에 ρ : 流體密度

a_v : 物體의 上下振動 加速度

b : 斷面의 半幅

그러면

$$C_1 = \frac{-\left[(1+a_1)\sin\theta + \sum_{n=2}^{\infty} a_{2n-1}\sin(2n-1)\theta\right]}{\left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1}\right)} \quad (11)$$

序論에서 言及한 Chine 型과 Lewis 型은 共히 transformation

$$z(\zeta) = R(\zeta + a_1\zeta^{-1} + a_m\zeta^{-m}); \quad m=3, 7, 11 \quad (12)$$

에 의하여 얻어지나 有用한 斷面形狀을 얻기 위한 係數 a_1, a_m 에 대한 拘束條件은 [9][10],에 詳論되어 있는

바와 같다. 또 四角形과 三角形에 對한 各係數는 [11]로 부터 얻을 수 있다.

여기서는 前述한 各船尾型斷面의 自由水面에서의 上下振動時의 變動壓力에 對한 크기의 程度와 그 分布傾向을 보기 위하여 幅一吃水比를 變化시키면서 各斷面型의 Series中 extreme case를 擇해 計算하였다. 卽 (12) 式의 transformation 으로 얻어지는 斷面型中 $m=3$ 으로 얻어지는 hypotrocoidal 特性을 가진 Lewis型과 $m=7, 11$ 로 各各 얻어지는 單背骨型 및 複背骨型의 inner extreme case와 그예의 outer extreme case에 該當하는 橢圓型 그리고 矩形斷面과 三角形斷面型들에 對해 各各 半幅一吃水比를 1, 2, 3, 4, 및 5로 變化시켜 計算하였다. 各斷面들에 對한 符號와 計算에 使用된 係數들의 값은 Table 1과 같다.

計算結果는 實際推進器의 取付位置를 考慮하여 $x/b=0, 0.25, 0.50$ 메로 나누어 整理하여 各各 Fig. 2 Fig. 3 Fig. 4에 圖示하였다. 여기에 x 는 船體中心線에서 舷側으로 取한 距離이다.

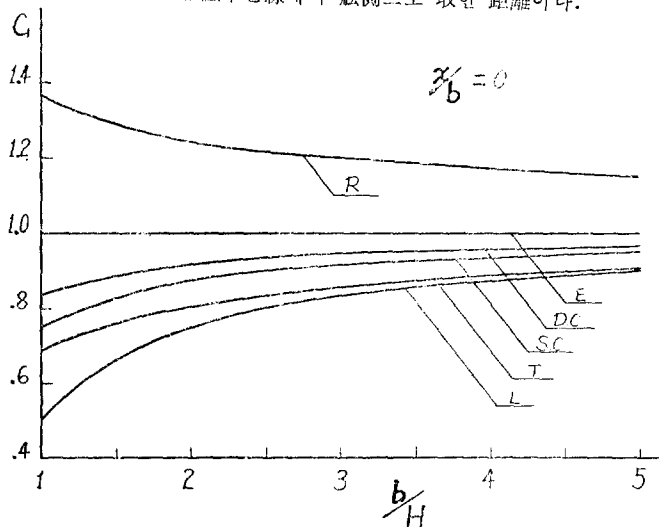


Fig. 2 Hydrodynamic Pressure Coefficient C_1 at the Body Boundary of ship in Vertical Vibration at High Frequency (Regarding to the Code, Refer to Table 1)

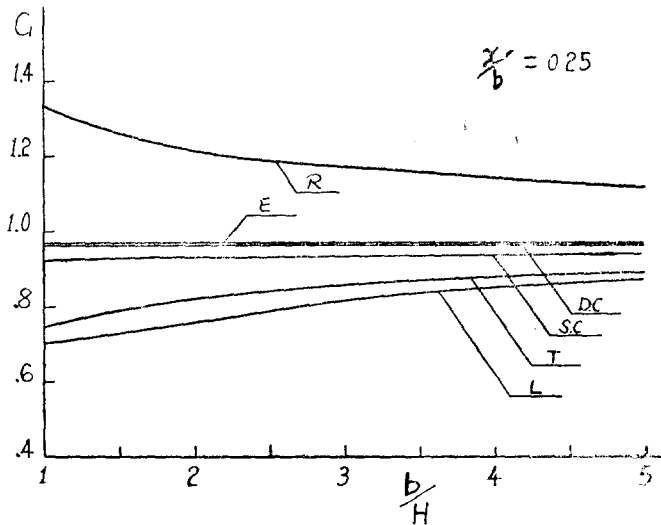


Fig. 3 Hydrodynamic Pressure Coefficient C_1 at the Body Boundary of ship in Vertical Vibration at High Frequency (Regarding to the Code, Refer to Table 1)

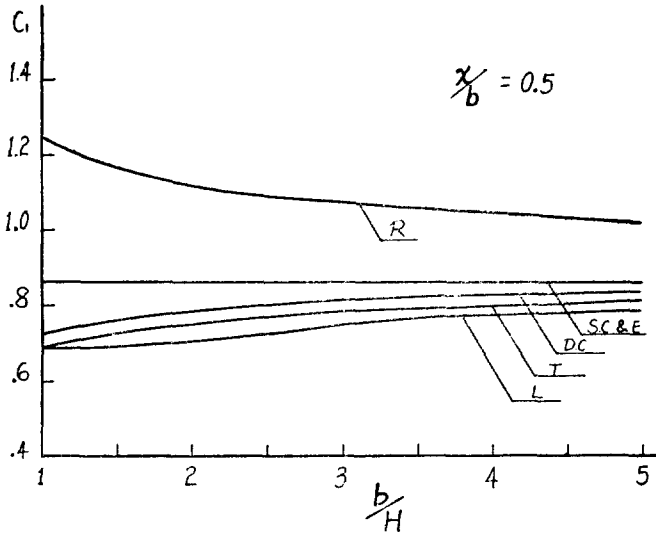


Fig. 4 Hydrodynamic Pressure Coefficient C_1 at the Body Boundary of ship in Vertical Vibration at High Frequency (Regarding to the Code, Refer to Table 1)

3. 船尾部 外板의 局部的 振動으로 因한 變動流體壓力

船體外板面에 接하는 XY 平面上에 面積 H 의 平板要素를 擇해 外板의 局部振動을 解析하기로 한다. 이 平板은 그 外部가 물로 채워져 있고 平板面에 垂直方向으로 微小한 高振動數振動을 하고 있다. 이런 板의 振動은 Fig 5, Fig 6 과 같이 單位面積當 強度 σ 를 갖는 連續의인 Source Layer 로 간주하여 解析할 수 있다. [7]

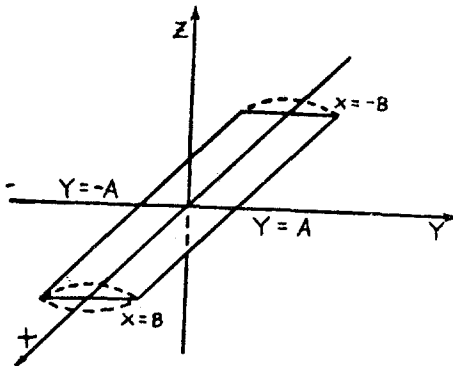


Fig. 5 Vibrating Plate clamped along the side $Y = \pm A$

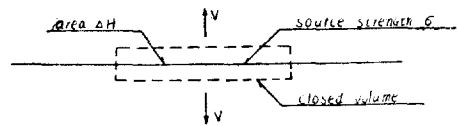


Fig. 6 Relation between source density and induced Velocity

微小面積要素 ΔH 周圍의 假想 Closed Volume 를 통해 單位時間當湧出되는 流體量은 $2V\Delta H$ 이고 이 값은 $4\pi\sigma\Delta H$

와 같아야 한다 따라서 $\sigma = \frac{V}{2\pi}$

(13)

여기에 V : 板의 振動速度

이 연속적인 Source 의 分布로 因하여 發生하는 速度 potential 을 求하면

$$\phi = \iint_H \frac{\sigma dH}{D_{st}} \tag{14}$$

여기에 D_{st} : Source point (X, Y, Z) 와 field point (X', Y', Z') 간의 거리
Bernoulli 方程式으로 부터 $F(t)$. q^2 項을 無視하면

$$p_2 = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} = \rho \frac{\partial}{\partial t} \left[\iint_H \frac{\sigma dH}{D_{st}} \right] = \frac{\rho}{2\pi} \iint_H \frac{a_z dH}{D_{st}} \tag{15}$$

여기에 a_z : Z 軸方向 即 平板에 垂直方向의 加速度

$Y = \pm A$ 에서 이 板이 clamp 되어 있다고 假定하면 Y 軸에 따른 加速度 a_z 의 값의 分布는 拋物線의이다 即

$$a_z = a_c(t) \left[1 - \left(\frac{Y}{A} \right)^2 \right]^2 \quad \text{但 } |Y| = A \text{ 時 } a_z = 0 \tag{16}$$

여기에 $a_c(t)$ 는 $Y=0$ 點에서의 板의 瞬間加速度

A : 振動板의 半幅

$X = +B$ 와 $-B$ 사이의 區間에서 板의 運動으로 유발되는 壓力을 計算하면 (15)式으로 부터

$$\begin{aligned} p_2 &= \frac{\rho a_c}{2\pi} \int_{-A}^A \int_{-B}^B \frac{[1 - (Y/A)^2]^2 dXdY}{[(X-X')^2 + (Y-Y')^2 + Z'^2]^{1/2}} \\ &= \frac{\rho a_c}{2\pi} \int_{-A}^A [1 - (Y/A)^2]^2 \ln \left\{ \frac{B - X' + [(B - X')^2 + (Y - Y')^2 + Z'^2]^{1/2}}{-B - X' + [(B + X')^2 + (Y - Y')^2 + Z'^2]^{1/2}} \right\} dY \end{aligned} \tag{17}$$

여기서 一般의인 積分은 不可能하고, 다만 field point 가 Y 軸上에 있을 경우 ($X' = Z' = 0$)에 限해서 計算이 可能한데, 實際問題로써는 clamp 된 邊에 直交하는 軸上의 點으로서 一般의인 意義를 가질수 있다.

그때는

$$p_2 = \frac{\rho a_c}{2\pi} \int_{-A}^A \left[\left(1 - \frac{Y}{A} \right)^2 \right]^2 \ln \left\{ \frac{B + [B^2 + (Y - Y')^2]^{1/2}}{-B + [B^2 + (Y - Y')^2]^{1/2}} \right\} dY \tag{18}$$

B 로써 無次元化하면

$$\begin{aligned} S &= \frac{Y - Y'}{B}, \quad BdS = dY \\ p_2 &= \frac{\rho a_c B I_1}{2\pi} \end{aligned} \tag{19}$$

여기에

$$I_1 = \int_{\frac{-A-Y'}{B}}^{\frac{A-Y'}{B}} \left[1 - \left(\frac{SB + Y'}{A} \right)^2 \right]^2 \ln \left[\frac{1 + (1 + S^2)^{1/2}}{-1 + (1 + S^2)^{1/2}} \right] dS \tag{20}$$

$$I_1 = \int_{\frac{-A-Y'}{B}}^{\frac{A-Y'}{B}} Q(S) dS$$

$$\text{여기에 } Q(S) = \left[1 - \left(\frac{SB + Y'}{A} \right)^2 \right]^2 \ln \left[\frac{1 + (1 + S^2)^{1/2}}{-1 + (1 + S^2)^{1/2}} \right] \tag{21}$$

I_1 은 field point 의 位置에 따라 3 種으로 나누어 計算하였다[Appendix 2]

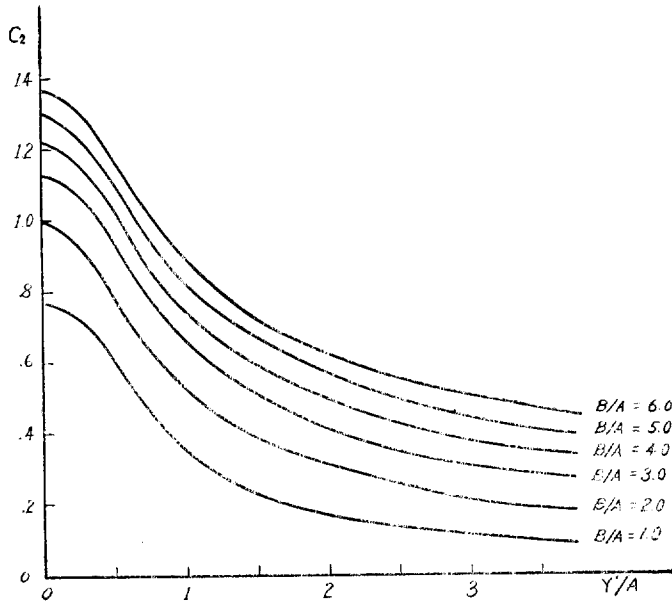


Fig. 7 Theoretical Value of C_2 Along Y-axis

Ⅲ. 計算結果 및 考察

C_1 에 대한 計算結果는 推進器에 依한 變動壓力이 推進器 位置로부터 推進器의 半徑程度의 距離內에서만 問題가 되는 點을 감안하여 實際 배에서 推進器가 부쳐지는 자리의 直上點들을 假想하여 $\frac{x}{b}=0, 0.25, 0.50$ 點의 값들을 추려서 各各 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4에 圖示하였다.

Fig. 2는 船體中心線上 船底表面點에 對한 壓力曲線으로 單螺旋船의 推進器 位置 直上에 對應되는 點의 壓力曲線이 될 것이다. Fig. 3, Fig. 4는 雙螺旋船과 三螺旋船때의 推進器位置를 假想하고 設定한 것이기는 하나 이때는 배마다 推進器의 位置가 다를 것이므로 그 位置에 對한 $\frac{x}{b}$ 값에 따라 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4로부터 插間法으로 對應點의 壓力를 求하는데 便利하게 하기위해 各各 $\frac{x}{b}=0.25$ 와 0.50 點의 값을 圖示하였다.

Fig. 2~Fig. 4에서 보면 C_1 값은 幅一吃水比에 對해 一定値를 갖는 橢圓의 C_1 값을 基準으로하여 C_1 이 보다 큰 값을 갖는 矩形은 幅一吃水比의 增加에 따라 減少되어가나 C_1 이 橢圓의 그것보다 작은 값을 갖는 餘他 斷面들은 幅一吃水比의 增加에 따라 增加되어가는 傾向을 나타내고 있다. 即 幅一吃水比의 增加에 따라 모든 斷面에 對한 C_1 값은 橢圓에 對한 一定 C_1 值에 수렴되어 가는 傾向을 表示한다.

C_1 값은 hypotrochoidal 特性의 Lewis型, 三角形, 單背骨型, 複背骨型, 橢圓 및 矩形의 順序로 크게 나타나고 있는바 이것은 Table. 1로부터 알수 있듯이 半幅一吃水比가 4,5 사이에서 Lewis型과 三角形이 뒤바뀐 것을 除外하면 恒常 斷面 面積係數 c 가 클수록 C_1 값이 커짐을 表示해 주는 것으로, C_1 과 斷面 面積係數間의 어떤 連關性을 시사해주는 興味로운 點이다.

Lewis型, 單背骨型과 複背骨型은 (12)式으로 얻어지는 것中 $m=3, 7, 11$ 에 屬하는 群中 各各 斷面積이 最少인 경우를 擇했고, 計算된 그 各群의 outer extreme case가 橢圓임을 考慮한다면 實際로 (12)式으로 얻어

지는 모든 斷面에 對한 C_1 값을 Fig. 2~Fig. 4 中 L 線과 E 線 사이에 들어갈 것이 期待되며 實際 船型斷面으로서 如何한 경우도 그 斷面係數가 1 인 矩形보다 큰 斷面은 期待하기 어려울을 考慮한다면 모든 船型斷面에 對한 C_1 값은 Fig. 2~Fig. 4 의 L 線과 R 線 사이에 分布되리라고 期待된다.

$\frac{x}{b}=0$ 때는 E, D.C, S.C. 線이 各各 다르나 $\frac{x}{b}=0.25$ 때는 D.C. 線이 E 線과 거의 一致하고 $\frac{x}{b}=0.5$ 때는 S.C. 線이 E 線과 一致됨은 特異하다.

C_2 값에 對한 計算結果를 Fig. 7 에 表示하였다. 矩形平板의 縱橫比 $B/A=1.0, 2.0, 4.0,$ 및 5.0 때의 값은 새로이 計算한 것이며 $B/A=3.0$ 및 6.0 때의 값은 [7]로부터 轉載하였다.

C_2 값은 同一 B/A 때는 Y'/A 가 0 에서 부터 1.5 近處까지에서 크게 減少되고 1.5 以上에서는 徐徐히 減少함을 보여준다. 이 傾向은 B/A 가 작은 板일 수록 더욱 뚜렷하다.

同一 Y'/A 點上에서는 B/A 가 클수록 C_2 값은 크되 그 增加率은 B/A 가 커질수록 적어짐을 알수 있다.

IV. 結 論

敍上한 計算結果 및 考察을 綜合하여 다음과 같이 結論한다.

1. 作動하는 推進器近處의 外板에 取付한 壓力變換器로서 變動壓力을 計測할때 加速度計를 함께 取付하여 船尾部上下運動의 垂直加速度 a_v 와 外板의 局部振動 加速度 a_c 를 同時에 計測 함으로써 本報文中에서 計算한 船型들에 對해서는 그 結果를 利用하여 壓力係數 C_1 및 C_2 를 容易하게 얻을수 있으며 全計測壓力으로 부터 쉽게 推進器誘起壓力의 참값을 分離해 낼수 있을 것이다.

2. C_1 값은 同一한 幅-吃水比때 同一한 位置에 對해서는 大體로 斷面 面積係數가 큰 斷面일수록 커지고, 幅-吃水比의 增加에 따라, 幅-吃水比에 對해 一定한 값을 갖는 橢圓斷面에 對한 C_1 값으로 수렴되는 傾向을 나타낸다.

3. C_2 값은 $Y'/A=0$ 에서부터 $Y'/A=1.5$ 近處까지에서 크게 減少되고 그 以上에서는 徐徐히 減少하나 이 傾向은 B/A 가 작은 板 일수록 더욱 뚜렷하고, B/A 가 클수록 C_2 값은 크되 그 增加率은 B/A 가 커질수록 적어진다.

後 記

이 일을 하는동안 항상 有益한 忠言과 도움을 주신 金極天教授, 金燦喆博士, 洪性完教授에게 그리고 計算을 도와준 朴魯植, 元容法君에게 感謝를 드린다.

參 考 文 獻

- [1] John P. Breslin; "The Pressure Field Near a Ship Propeller," Journal of SHIP RESEARCH, 1958.
- [2] S. Tsakonas, J. P. Breslin and W. R. Jacobs; "The Vibratory Force and Moment Produced by a Marine Propeller On a Long Rigid Strip", Journal of SHIP RESEARCH, 1962.
- [3] S. Tsakonas, J. P. Breslin, and N. Jen; "Pressure Field Around a Marine Propeller Operating in a Wake," Journal of SHIP RESEARCH, 1963.
- [4] J. W. Ramsay; "Aspects of Ship Vibration Induced by twin Propellers", T.I.N.A., 1956.
- [5] J. P. Breslin and T. Kowalski; "Experimental Study of Propeller Induced Vibratory Pressures on Simple Surfaces and Correlation with Theoretical Predictions" Journal of SHIP RESEARCH, 1964.

- [6] 谷口中; “プロペラ近傍の壓力變動”, 日本, 西部造船會會報 第16號
- [7] E. Huse; “Hull Vibration and Measurements of Propeller Induced Pressure Fluctuations”, Paper Submitted to the 12th I.T.T.C., 1969.
- [8] F. M. Lewis; “The Inertia of the Water Surrounding a Vibrating Ships”, Tran. SNAME, vol. 37, 1929.
- [9] K. C. Kim; “Added Mass for both Vertical and Horizontal Vibration of Two-Dimensional Cylinders of Curvilinear-Element Sections with Chines in a Free Surface”, Journal of the SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS OF KOREA, 1969
- [10] K. C. Kim; “On the Two-Dimensional Hydrodynamic Pressure on the Hull Surface of the Chine-Type Ship in Vertical Vibration, Journal of the SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS OF KOREA, 1969.
- [11] Yoshihiro Watanake; “On the Apparent Moment of Inertia of Ship in Free Rolling”, Journal of Z.K., Japan, Vol. 52, 1933.

Appendix 1

Table 1. Calculated Values of Coefficients

Half Beam-Draft Ratio Section Contour	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	Code in Fig. 2, 3, 4
Circle or Ellipse	$c=0.7854$ $a_1=0$ (Circle)	$c=0.7854$ $a_1=0.33333$ (Ellipse)	$c=0.7854$ $a_1=0.5000$ (Ellipse)	$c=0.7854$ $a_1=0.6000$ (Ellipse)	$c=0.7854$ $a_1=0.6667$ (Ellipse)	E
Lewis form of hypotrochoidal charactor	$c=0.2945$ $a_1=0$ $a_3=0.33333$	$c=0.4417$ $a_1=0.39999$ $a_3=0.19999$	$c=0.49064$ $a_1=0.57142$ $a_3=0.14285$	$c=0.51517$ $a_1=0.66666$ $a_3=0.11111$	$c=0.52990$ $a_1=0.72727$ $a_3=0.09090$	L
Single Chine Type	$c=0.5154$ $a_1=0$ $a_7=0.14285$	$c=0.6014$ $a_1=0.36363$ $a_7=0.09090$	$c=0.6300$ $a_1=0.5333$ $a_7=0.06666$	$c=0.6443$ $a_1=0.6316$ $a_7=0.05263$	$c=0.6529$ $a_1=0.6957$ $a_7=0.04347$	S.C.
Double Chine Type	$c=0.6000$ $a_1=0$ $a_{11}=0.09090$	$c=0.6600$ $a_1=0.35294$ $a_{11}=0.5882$	$c=0.6800$ $a_1=0.5217$ $a_{11}=0.04347$	$c=0.6899$ $a_1=0.62069$ $a_{11}=0.03448$	$c=0.6959$ $a_1=0.68571$ $a_{11}=0.02857$	D.C.
Rectangle	$c=1.000$ $a_1=0$ $a_3=-0.16667$ $a_5=0$ $a_7=0.01786$ $a_9=0$	$c=1.000$ $a_1=0.30902$ $a_3=-0.15075$ $a_5=-0.02795$ $a_7=0.00844$ $a_9=0.00905$	$c=1.000$ $a_1=0.45225$ $a_3=0.13105$ $a_5=0.03635$ $a_7=0.00096$ $a_9=0.00759$	$c=1.000$ $a_1=0.55726$ $a_3=0.11491$ $a_5=0.03842$ $a_7=0.00680$ $a_9=0.00441$	$c=1.000$ $a_1=0.62252$ $a_3=0.10208$ $a_5=-0.03813$ $a_7=-0.01026$ $a_9=0.00152$	R
Triangle	$c=0.500$ $a_1=0$ $a_3=0.16667$ $a_5=0$ $a_7=0.01786$ $a_9=0$	$c=0.500$ $a_1=0.40968$ $a_3=0.13869$ $a_5=-0.01136$ $a_7=0.01589$ $a_9=-0.00353$	$c=0.500$ $a_1=0.59044$ $a_3=0.10856$ $a_5=-0.01282$ $a_7=0.01298$ $a_9=-0.00254$	$c=0.500$ $a_1=0.68666$ $a_3=0.08808$ $a_5=-0.01209$ $a_7=0.01092$ $a_9=-0.00228$	$c=0.500$ $a_1=0.74888$ $a_3=0.07319$ $a_5=0.01096$ $a_7=0.00931$ $a_9=-0.00201$	T

Appendix 2

(1) $0 \leq Y' < A$ 인 경우

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

$$\text{여기에 } I_2 = \int_{-\frac{A-Y'}{B}}^{-\varepsilon} Q(S) dS$$

$$I_3 = \int_{\varepsilon}^{\frac{A-Y'}{B}} Q(S) dS$$

$$I_4 = \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} Q(S) dS$$

I_2, I_3 는 特異點이 없으므로 通常數值積分이 可能하고 I_4 는 $(1+S^2)^{1/2}$ 을 展開하여 S^4 項 以上을 無視하면

$$\begin{aligned} I_4 &= \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \left[1 - \left(\frac{SB+Y'}{A} \right)^2 \right]^2 \ln \left(\frac{2+S^2/2}{S^2/2} \right) dS \\ &= \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \left[1 - \left(\frac{SB+Y'}{A} \right)^2 \right]^2 \ln \left(\frac{4+S^2}{S^2} \right) dS \end{aligned}$$

S 의 絶對値는 ε 보다 적은데 $\varepsilon \ll 1$ 이므로 $S \ll 1$ 이다. 따라서

$$\begin{aligned}
 I_4 &\approx \int_{-\epsilon}^{\epsilon} \left[1 - \left(\frac{Y'}{A} \right)^2 \right]^2 \ln \left(\frac{4}{S^2} \right) dS \\
 &= 4 \left[1 - \left(\frac{Y'}{A} \right)^2 \right]^2 \left[1 + \ln \left(\frac{2}{\epsilon} \right) \right] \cdot \epsilon
 \end{aligned}$$

따라서 積分이 可能하다.

(2) $Y'=A$ 인 경우

$$I_1 = I_5 + I_6$$

여기에 $I_5 = \int_{-\frac{A-Y'}{B}}^{\epsilon} Q(S) dS = I_2$

$$I_6 = \int_{-\epsilon}^0 Q(S) dS = \frac{1}{2} I_4$$

(3) $Y' > A$ 인 경우

이때는 全積分區間에 特異點이 없으므로 I_1 을 直接 數值積分하면 된다.

積分區間은 40 等分하였고, $\epsilon=0.005$ 로 잡아 Simpson의 第一法則을 써서 計算하였다.