

Chine 型船의 上下振動에 對한 假想慣性係數에 關하여

金 極 天* · 金 正 濟*

On the Virtual Inertia Coefficient of the Chine-type Ship in Vertical Vibration

by

K. C. Kim*, J. J. Kim*

Abstract

To contribute towards more accurate estimation of the virtual inertia coefficient for the vertical vibration of the chine-type ship, experimentally obtained three-dimensional correction factors, J , of added mass of prismatic beams having cross section shape of hypetrocoid characters, slightly concaved Lewis form and elliptic form are investigated in connection with the applicability of an approximate analytical calculation method compared to that proposed by T. Kumai[6] for the Lewis form cylinders, and synthetically in comparison with the experimental works on various cross section shapes of the other type by L. C. Burrell *et al* [8] and the analytical works on the ellipsoid of revolution by F. M. Lewis[1] and J. L. Taylor[2].

The experimental results show that the aforementioned analytical method gives, unlike that for the Lewis form cylinders, considerably larger J -values for the chine-type cylinders, and that the influence of the character of the cross section shape on J -values is not remarkable in practical sense. Finally, considering in synthesis the experimental results on prismatic beams, the Burrell's works on parabolic plan form and elliptic plan form, and that the chine-type ship usually has a hull form of transom stern, it is fairly safe to say, at the present stage, that adoption of the Taylor's J -values will not result in any large error in estimation of the virtual inertia coefficients of the chine-type ships.

1. 緒 言

船體振動의 解析에 있어서 假想慣性係數는 各 斷面에 對한 2次元의 附加質量의 理論計算值를 바탕으로 해서, 이와 船體의 幾何學의 實形狀 및 振動型等을 考慮한 3次元修正係數를 結合하여 strip method에 依하여 推定하는 것이 普通方法이다.

2次元의 附加質量의 計算은 F. M. Lewis[1]가 等角象像法을 利用하는 方法을 提示한 以來로 많은 發展이 있어, 現今에는 任意의 船型斷面形狀에 對하여 正確한 計算을 할 수 있게 되었다. 그러나 3次元修正係數에 對하여서는 實 船型의 解析의 取扱이 매우 困難

하기 때문에 아직도 普遍妥當한 計算方法은 얻지 못하고 있어, F. M. Lewis[1]의 廻轉橢圓體(shear mode), J. L. Taylor[2]의 圓筒 및 廻轉橢圓體(bending mode), C. Kruppa[3]의 3軸橢圓體, T. Kumai[4]의 有限長圓筒 및 橢圓筒에 對한 理論的 計算指果와 T. Kumai[4,5,6], C. W. Prohaska[7] L. C. Burrell *et al*[8] 등의 實驗的 研究結果가 近似值를 얻는 길 잡이가 되고 있을 따름이다.

著者는 앞서 chine 型船의 振動에 對한 假想慣性係數에 興味를 갖고, 2 徑數群等角寫像函數를 利用하여 chine 型船斷面形狀에 對하여 上下 및 水平振動에 있어서의 2次元의 附加質量과 流體動壓力分布를 計算하

接受日字 : 1972年 3月 5日

*正會員 : 서울大學校工科大学

여 이를 Lewis forms에 대한 것과 比較檢討한 바 있다[9, 10]. 本報에서는 chine 型船의 上下振動에 對한 附加質量의 3次元修正係數를 同型斷面의 柱狀體에 對한 한 理論의 近似計算 및 實驗結果를 바탕으로 하여 考察하였다.

2. 理論的計算

附加質量의 3次元修正係數 J 의 값을 決定지어 주는 主要因子로서는 (a) 斷面形狀, (b) 長一幅比 L/B , (c) 幅一吃水比 B/d , (d) 斷面積係數 σ , (e) 振動型, (f) 斷面形狀의 길이方向의 變化特性等을 들수 있는데, 任意的 斷面形狀의 有限長柱狀體를 取하여 同斷面形狀을 決定지어 주는 等角寫像函數를 얻어 이에 立脚한 曲線座標系를 使用하므로써 前記 (a), (b), (c), (d), (e)의 J 에 미치는 影響을 一括하여 考察할 수 있다. 緒言에서 言及한 바와 같이, 著者가 앞서 그 2次元의 附加質量을 計算했던 chine 型斷面柱狀體에 對하여 이를 適用하기로 한다.

Z -平面上의 chine 型斷面形狀을 ζ -平面上의 圓으로 부터 等角寫像해 내기 위한 寫像函數로서

$$Z(\zeta) = R(\zeta + a_1\zeta^{-1} + a_s\zeta^{-s}); \quad s=7 \text{ 또는 } 11 \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但 } Z &= x + iy \\ \zeta &= \xi + i\eta = e^{(\alpha + i\theta)} \\ R &: \text{尺度係數} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

을 取한다. 그러면 x, y -座標系와 α, θ -座標系 사이의 變換式은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} x &= R \{ (e^\alpha + a_1 e^{-\alpha}) \cos \theta + a_s e^{-s\alpha} \cos s\theta \} \\ y &= R \{ (e^\alpha - a_1 e^{-\alpha}) \sin \theta - a_s e^{-s\alpha} \sin s\theta \} \\ s &= 7 \text{ 또는 } 11 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

但, 單 chine 型 때 $s=7$, 複 chine 型 때 $s=11$ 을 取하며, $\theta=0$ 및 π 는 自由水面을, $\alpha=0$ 가 斷面의 接水面形狀을 定해 주는 것으로 한다. 한편, a_1 및 a_s 에 對한 拘束條件은 [9]에서 詳述한 바와 같다.

이와 같은 斷面形狀을 갖는 길이 L 인 有限長柱狀體의 주어진 振動型에 對한 附加質量의 3次元修正係數는 同柱狀體周圍의 流體의 3次元의 運動energy의 2次元의 運動energy에 對한 比로서 定義된다.

柱狀體의 길이의 座標 z 를 自由水面에 沿하여 取할 때, 周圍의 流體의 速度potential ϕ 에 對한 Laplace 方程式은 變換式(3) 및 $z=z$ 로 定義되는 直交曲線柱座標系(α, θ, z)에서 다음과 같이 表示된다.

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{1}{h^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \phi = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{但, } \frac{1}{h^2} &= R^2 \{ e^{2\alpha} + a_1^2 e^{-2\alpha} - 2a_1 \cos \theta - 2a_s e^{-s\alpha} \\ &\times (e^\alpha \cos s + 1 \theta - a_1 e^{-\alpha} \cos s - 1 \theta) + s^2 a_s^2 e^{-2s\alpha} \} \quad (5) \end{aligned}$$

한편, 境界條件은 다음과 같이 設定된다.

- (i) 自由水面, 即 $\theta=0$ 및 π 에서 $\phi=0$
- (ii) 柱狀體의 無限遠方, 即 $\alpha \rightarrow \infty$ 에서 $\phi=0$
- (iii) 柱狀體의 兩端, 即 $z=0$ 및 L 에서 $\phi=0$
- (iv) 柱狀體의 接水面, 即 $\alpha=0$ 에서

$$\left(h \frac{\partial \phi}{\partial \alpha} \right)_{\alpha=0} = \left(h \frac{\partial y}{\partial \alpha} \right)_{\alpha=0} \cdot V(z) \quad (6)$$

上記 境界條件 (iv)에서 $V(z)$ 는 柱狀體의 上下振動의 速度振幅의 z 軸方向의 分布인데, 이를 cosine 型으로 假定하여

$$V(z) = U \cos \frac{n\pi}{L} z \quad (7)$$

但, U : y 軸方向의 單位速度

n : 振動節數

(7)式의 右邊을 Fourier sine 級數로 展開하여

$$V(z) = U \cdot \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m}{m^2 - n^2} \sin k'_m z \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但, } k'_m &= \frac{m\pi}{L} \\ m &= \begin{cases} 2, 4, 6, \dots; & n=1, 3, 5, \dots \text{일 때} \\ 1, 3, 5, \dots; & n=2, 4, 6, \dots \text{일 때} \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

이제 境界條件(6)의 (iii)을 考慮하여 求하고자 하는 解를

$$\phi(\alpha, \theta, z) = \sum_m \phi_m(\alpha, \theta) \cdot \sin k'_m z \quad (10)$$

로 놓고, 이를 (4)式에 代入하면 ϕ_m 에 對해서 方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \phi_m}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \phi_m}{\partial \theta^2} - k_m^2 \{ e^{2\alpha} + a_1^2 e^{-2\alpha} - 2a_1 \cos \theta \\ - 2a_s e^{-s\alpha} (e^\alpha \cos s + 1 \theta - a_1 e^{-\alpha} \cos s - 1 \theta) \\ + s^2 a_s^2 e^{-2s\alpha} \} \phi_m = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{但, } k_m = k'_m R = \frac{m\pi}{2(1+a_1+a_s)} \left(\frac{B}{L} \right) \quad (12)$$

을 얻는다. 따라서 境界條件(6)의 (i),(ii),(iv)를 滿足하는 (11)式의 解를 얻어 運動energy를 計算하여 그것의 2次元의 運動energy에 對한 比를 取하면 J 의 理論的計算值를 얻게 된다.

近似計算

方程式 (11)의 解를 求하는 일은 매우 困難하다. 그러므로 한 近似解를 얻은 目的으로 T. Kumai[6]가 Lewis form 柱狀體에 對하여 計算했던 바에 準하여 (11)式의 第3項 ϕ_m 의 係數에 對하여 $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\alpha = 0$

으로 놓으므로서 얻어지는 方程式

$$\frac{\partial^2 \phi_m}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \theta_m}{\partial \theta^2} - (k_m \mu)^2 \phi_m = 0 \quad (13)$$

但, $\mu = 1 + a_1 - sa_s$ (14)

을 取하기로 한다. 이는 Helmholtz 方程式型인데, 이의 境界條件 (6)의 (i), (ii)를 滿足하는 解를 얻어 (10)式에 代入하면

$$\phi = \sum_m \sum_j \left\{ C_{mj} I_1 \left(\frac{1}{j} \mu k_m e^{-j\alpha} \right) + D_{mj} K_1 \left(\frac{1}{j} \mu k_m e^{j\alpha} \right) \right\} \sin j\theta \cdot \sin k'_m z \quad (15)$$

但, I_1, K_1 : modified Bessel function
을 얻는다. 이제 境界條件 (6)의 (iv)를 考慮하여 j, C_{mj}, D_{mj} 를 決定하면 求하고자 하는 解는 다음과 같다.

$$\phi = \frac{4UR}{\pi} \sum_m \left(\frac{m}{m^2 - n^2} \right) \left\{ \frac{a_1 I_1(\mu k_m e^{-\alpha}) + K_1(\mu k_m e^{\alpha})}{a_1 I_1'(\mu k_m) + K_1'(\mu k_m)} (1 + a_1) \sin \theta + sa_s \frac{I_1 \left(\frac{1}{s} \mu k_m e^{-s\alpha} \right)}{I_1' \left(\frac{1}{s} \mu k_m \right)} \sin s\theta \right\} \sin k'_m z \quad (16)$$

但, $I_1' = \left(\frac{\partial I_1}{\partial \alpha} \right)_{\alpha=0}, K_1' = \left(\frac{\partial K_1}{\partial \alpha} \right)_{\alpha=0}$

따라서 (16)式으로 주어지는 ϕ 를 使用하여 自由水面下 流體의 3次元의 運動energy T 를 計算하여, 이의 對應하는 2次元의 運動energy T_{II} 에 對한 比 T/T_{II} 를 取하고, I_1', K_1' 을 漸化公式에 依해 풀어 쓰므로서 다음과 같은 J 의 算式을 얻는다.

$$J = \left(\frac{4}{\pi} \right)^2 \frac{1}{1 + a_1 + sa_s^2} \sum_m \left(\frac{m}{m^2 - n^2} \right)^2 \times \frac{(1 + a_1)^2 \{1 + a_1 I_1(\mu k_m) / K_1(\mu k_m)\}}{\{\mu k_m K_0(\mu k_m) / K_1(\mu k_m) + 1\} + a_1 I_1(\mu k_m) / K_1(\mu k_m) \{\mu k_m I_0(\mu k_m) / I_1(\mu k_m) - 1\}} + \frac{sa_s^2}{\{\mu k_m / s\} I_0(\mu k_m / s) / I_1(\mu k_m / s) - 1} \quad (17)$$

3. 實 驗

길이 L 인 均一斷面柱狀體에 對하여 空氣中과 水中에서의 上下振動의 固有振動數를 차례로 f_a, f_w 로 表記할 때, 同一振動型에 對해서

$$\frac{f_a}{f_w} = \left(\frac{C_a}{C_w} \right) \sqrt{1 + \tau} \quad (18)$$

인 關係가 成立한다. 여기서 C_a 및 C_w 는 各已 空氣中 및 水中振動에 對한 固有值이고, τ 는 3次元의 附加質量比인데, 2次元의 附加質量比 τ_{II} 를 바탕으로 한

다면 다음과 같이 定義된다.

$$\tau = \tau_{II} \cdot J = \frac{f_0^L m_a \dot{y}^2 dx}{f_0^L m_w \dot{y}^2 dx} \cdot J \quad (19)$$

但, m_a, m 는 各已 차례로 柱狀體의 單位長當 2次元의 附加質量 및 自體質量이고, \dot{y} 는 上下振動의 速度振幅이다. 均一斷面柱狀體에 對해서 $C_a \approx C_w$ 이므로 [5], (18)式은

$$\tau = \left(\frac{f_a}{f_w} \right)^2 - 1 \quad (20)$$

와 같이 된다. 故로 實驗에 依해서 f_a, f_w 를 計測하면 (20)式으로부터 τ 의 實驗值 τ_{exp} 가 얻어지는데, τ_{II} 는 理論的計算에 依據하게 되므로 결국 J 의 實驗值 J_{exp} 는

$$J_{exp} = \frac{\tau_{exp}}{\tau_{II}} = \frac{1}{\tau_{II}} \left\{ \left(\frac{f_a}{f_w} \right)^2 - 1 \right\} \quad (26)$$


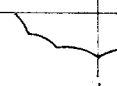
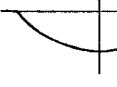
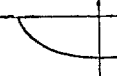
에 依해 解析해 낼 수 있다.

實驗을 爲한 供試模型으로서는 Table 1에 보인 바와 같은 幾何學的形狀의 auguthis材 (比重 0.38)로 만든 均一斷面柱狀體를 擇하였다. 當初 길이 $L=200$ cm, 半幅-吃水比 $B/(2d)=2.0, L/B=10$ 으로 製作하여 實驗하고 나서 길이를 잘라가면서 順次的으로 $L/B=7, L/B=4$ 에 對하여 實驗했다. 今次 實驗의 主目的을 斷面形狀의 差異가 J 에 미치는 影響을 比較的見地에서 考察하고 또 앞節에서 導出한 J 의 近似計算法의 有用性檢討에 두어, $\frac{B}{2d}$ 는 모두 同一한 값으로 했고 또 σ 는 chine型과 Lewis form에서 같은 값으로 取했으며, 橢圓斷面은 理論的計算이나 實驗적으로 가장 많이 取扱된 것이라는 點을 考慮하여 追加했다.

實驗에 있어서, 起振은 audio-frequency oscillator에 依하여 作動하는 audio-speaker로 했는데, 起振周波數는 oscillator에 連結된 universal EPUT counter로 읽었다. 受振은 起振器의 反對쪽 端點에 crystal earphone을 附着하여 이에서 加速度에 比例하여 發生하는 電壓을 增幅器를 거쳐 oscilloscope에 入力시키므로서 共振點을 찾아냈다. 空氣中實驗에서는 模型의 振動매디點을 스프링으로 支持했고, 水中實驗에서는 計劃吃水의 維持를 爲하여 振動매디點에서 가는 줄로 下向으로 당겨주었다.

計測에 있어서 2節固有振動數의 檢出로 부터 始作하여 漸次 高次數로 移行했는데, 本實驗에 使用한 模型으로서 是 $L/B=10$ 때 7節以上, $L/B=7$ 때 5節以上, $L/B=4$ 때 3節以上의 固有振動數에 對해서는 明確히 檢出해 내기가 어려웠다.

Table 1. Characteristics of the Models used in Experiments.

Particulars Model	Section profile	Coeff. of Eq.(1)				Sec. area coeff. σ	Two- dim. ad. mass coeff. C_v	Breadth on W.L. $B(\text{cm})$	Half B to draft $B/(2d)$	Length to B L/B
		a_1	a_3	a_7	a_{11}					
Single chine (SC)*		0.3513	—	0.0539	—	0.6812	0.9351	20	2.0	10, 7, 4
Double chine (DC)*		0.3500	—	—	0.0500	0.6812	0.9439	20	2.0	10, 7, 4
Lewis form (L)*		0.3529	0.0587	—	—	0.6812	0.9232	20	2.0	10, 7, 4
Ellipse (E)*		0.3333	—	—	—	0.7854	1.0000	20	2.0	10, 7, 4

* Notation used in Figs. 1 and 2

4. 考 察

(17)式에 依據하여 J 에 對한 一連의 計算을 서울大學校 工科大學의 電子計算組織(IBM 1130)을 使

用하여 遂行한 結果中 本 考察에 必要한 部分, 即 $L/B = 10$, $B/(2d) = 2.0$, $n = 2, 3, 4, 5$ 및 6 條의 Table 1에 보인 各 柱狀體에 對한 값을 Fig. 1에 實線으로 圖示했다. 한편, 實驗結果中 亦是 本考察에 必要한

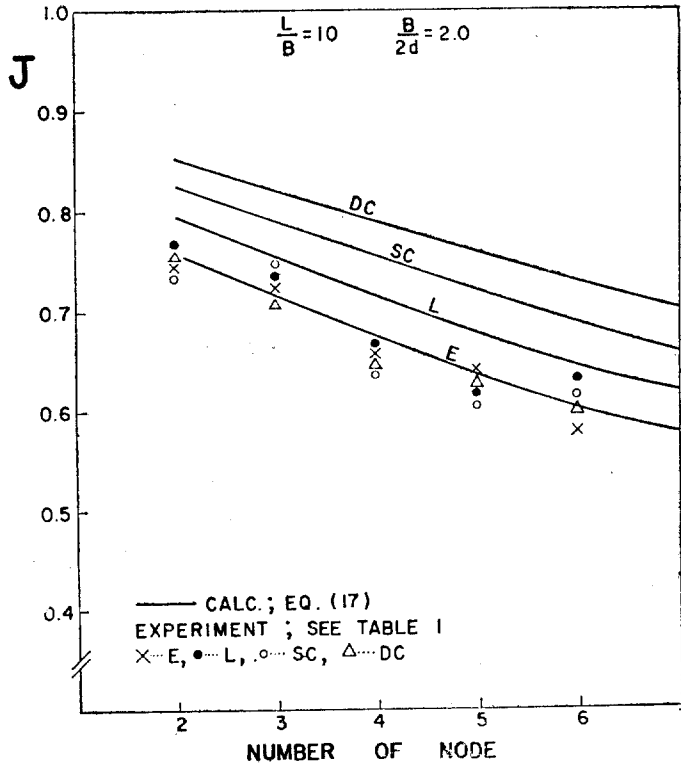


Fig. 1. Three-dimensional correction factor vs. number of node of vertical vibration.

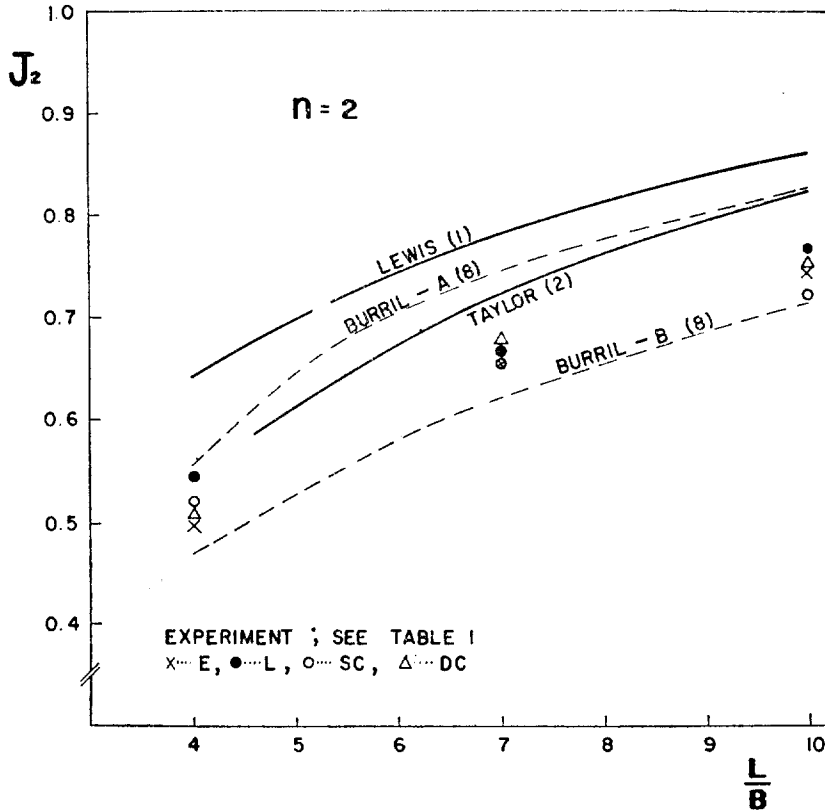


Fig. 2. Three-dimensional correction factor for two-noded vertical vibration vs. length to beam ratio. (Burril-A; parabolic and elliptic plan forms, Burril-B; prismatic beams)

것들, 即 $L/B=10$, $n=2, 3, 4, 5, 6$ 때의 各 柱狀體에 對한 J_{exp} 를 Fig. 1에, $n=2$, $L/B=10$, 7 및 4 때의 J_{exp} 를 Fig. 2에 圖示했다.

Fig. 1에서 보는바와 같이, J 의 計算値는 斷面形狀에 따라 明確한 差異를 가지나, 實驗値는 그렇지 않으며 斷面形狀에 따른 大小關係마저도 單의으로 말하기 어렵다. 特히 橢圓斷面柱狀體에 對한 計算値가 實驗値分布帶의 平均値에 가깝다는 點을 留意할 必要가 있다. 이 傾向은 $L/B=7$ 및 4에 對해서도 같았다. 本研究에 앞서서 金正濟[11]가 橢圓斷面柱狀體에 對하여 一連의 實驗을 行하여 얻은 J_{exp} 를 橢圓柱座標系를 利用한 理論的嚴密計算 및 本報文의 近似計算에 準한 計算値와 比較한 바에 依하면, 實驗値를 基準으로 했을 때 近似計算과 嚴密計算의 優劣을 가리기 어려울만큼 三者가 잘 符合하는 結果를 보였었다. 다음으로는 Lewis form 柱狀體에 對한 近似計算結果도 實驗値에 比較的 가까운 값을 주고 있다. 그러나 이 近似計算이 chine 型斷面 柱狀體에 對

해서는 全體의으로 매우 큰 값을 준다.

Burril *et al* [8]이 水面下 斷面形狀이 正三角形($B/d=1.155$), 半橢圓($B/d=1.6$), 半圓($B/d=2.0$), 및 Lewis form($\sigma=0.97$, $B/d=1.6$)의 4種의 柱狀體에 對하여 行한 實驗結果로부터 $n=2$ 때 Fig. 2에 Burril-B로 圖示한 바와 같은 J_{exp} 平均曲線을 提示했는데 實驗値는 이 曲線에 對하여 $\pm 3 \sim \pm 10\%$ 範圍內에 分布하며 이 경우에도 形狀의 差異에 따른 J_{exp} 의 大小關係가 一定치는 않다. 著者가 行한 實驗結果는 大體로 이 Burril의 實驗値들의 分布帶의 上限域에 分布하고 있는 셈이다. Burril는 다시 斷面形狀의 길이 方向의 變化特性, 即 水線面形狀의 差異에 따른 J 의 差異를 알아보기 위하여, 共히 垂直側面을 가졌으며, 水線面形狀이 橢圓形(肥瘠係數 0.784)인 경우와 拋物線形(肥瘠係數 0.667)인 경우에 對하여 實驗한 結果로부터 兩者에서 別로 두드러진 差가 없으며 共히 J_{exp} 가 Fig. 2에 Burril-A로 圖示한 曲線에 온다고 報했다. 이 曲線은 J. L. Taylor[2]의 廻轉橢圓體에

對한 理論的計算值에 對하여 $L/B=10$ 배 거의 一致하며 그 以下에서는 若干 높은 값을 준다.

chine 型船은 一般적으로 fine form 이나 大體로 transom stern 을 가진다. 今次의 實驗에서 이와 같은 水線面形狀에 對한 實驗을 行하지 못한 點은 遺憾이다. 그러나 이러한 船型의 J 는 Fig. 2에서 柱狀體에 對한 J_{exp} 와 Burrell-A 曲線 사이에 分布할 性質의 것이라고 推論할 수 있다.

5. 結 論

上述한 考察을 綜合하여 判斷할 때, chine 型船 뿐만 아니라 一般적으로 上下振動에 對한 假想慣性係數는 이를 (19)式에 依據하여 計算할 경우, 斷面形狀의 特性에 따른 差異는 2次元의 附加質量을 正確히 計算한다면 3次元修正係數의 推定에서는 別로 問題視할 必要가 없다. 결국 3次元修正係數의 推定에서는 L/B , 振動型 및 斷面形狀의 길이方向의 變化特性 등을 重要視하면 足하다는 것을 알 수 있다.

chine 型船은 一般적으로 fine ship 이라는 點과 Fig. 2에 關한 考察結果로부터 이의 上下振動에 對한 附加質量 3次元修正係數로서는 實用的面에서 J. L. Taylor [2]의 廻轉橢圓體에 對한 理論的計算值을 使用해도 큰 誤差는 없을 것으로 믿어지나, chine 型船은 一般적으로 transom stern 이라는 觀點에서 3次元修正係數에 關한 좀 더 精度가 높은 資料를 얻기 위하여 그와 같은 形狀의 模型에 對한 實驗的 研究가 要望된다. 다음 機會에 이를 遂行하여 報告하겠다.

이 報文에서 보인 3次元修正係數에 對한 理論的 近似計算法은 Lewis form 船型(특히 full ship)에 對해서는 實用的 有用성이 認定되나, chine 型船에 對해서는 그렇지 못하다. 다만, 主要因子가 J 에 미치는 影響을 定性的으로 追跡하는데는 도움이 되겠다.

後 記

이 研究는 1971年度 文敎部 學術研究助成費의 支給을 받아 遂行되었다. 이 機會에 文敎部當局과, 이 研究의 進行過程에서 有益한 討論을 해 준 黃宗屹教授에게 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

(1) F. M. Lewis: "The Inertia of the Water Surrounding a Vibrating Ship", *Trans. of SNAME*, Vol. 37, 1929.

- (2) J. Lockwood Taylor: "Some Hydrodynamical Inertia Coefficients", *Phil. Mag.*, Vol. 9, Ser. 7, 1930.
- (3) C. Kruppa: "Beitrag zum Problem der Hydrodynamischen Trägheitsgrößen bei Elastischen Schiffsschwingungen", *Schiffstechnik*, Bd. 9, 1962.
- (4) T. Kumai: "On the Virtual Inertia Coefficient in the Vertical Vibration of an Elliptical Cylinder of Finite Length", *Report of Research Inst. for Appl. Mech.*, Kyushu Univ., Vol. X, No. 37, 1962. *JSNA*, Japan, Vol. 112, 1962.
- (5) T. Kumai: "On the Virtual Inertia Coefficient for Vertical Vibration of Ships", *Report of Research Inst. for Appl. Mech.*, Kyushu Univ., Vol. VII, No. 28, 1959. *JSNA*, Japan, Vol. 108, 1959.
- (6) T. Kumai: "A Method for Evaluating the Three-dimensional Reduction Factor of the Virtual Mass in the Vertical Vibration of Ships", *Japan Shipbuild'g & Mar. Eng'g*, Vol. 1, No. 3, 1966. *Report of Research Inst. for Appl. Mech.*, Kyushu Univ., Vol. 26, 1967.
- (7) C.W. Prohaska: "Vibrations Verticales du Navire", *Bull. de L'Assoc. Tech. Mar. et Aéro.*, Vol. 46, 1947.
- (8) L. C. Burrell, W. Robson and R. L. Townsin: "Ship Vibration: Entrained Water Experiments", *Trans. of RINA*, Vol. 104, 1962.
- (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", *Jour. of Naval Arch. of Korea*, Vol. 6, No. 1, 1969.
- (10) K. C. Kim: "Added Mass and Hydrodynamic Pressure Distribution of Hypocycloid-character Cylinders Oscillating in a Free Surface of an Ideal Fluid", *Faculty Papers*, Seoul National Univ., Vol. 1, Ser. C, 1971.
- (11) 金正濟: "船體의 上下振動에 對한 附加質量의 3次元修正係數", 서울大學校工科大学 造船工學科 碩士論文, 1971.