

論 文

沿岸客船에 있어서 大型球狀船首가  
造波抵抗減少에 미치는 影響에 關한 實驗的研究

金 在 瑾\*

An Experimental Study on the Wave-Cancelling  
Effects of Large Bulbous Bow on the Passenger Coaster

Zae Geun Kim

Abstract

The wave-cancelling effects of a large bulbous bow on the coastal passenger boat have been investigated in deep and shallow water. The following characteristics have been cleared through resistance tests with the model of the Korean standard type coastal passenger vessel ( $LWL=25.8m$ ,  $B=5.5m$ ,  $T=1.65m$ ) equipped with large bulbous bows of various sizes.

- (1) Over the range of Froude Number 0.30, the wavemaking resistance coefficients decrease 30% or more.
- (2) The optimum location of bulb center is around 8%  $L$  from F.P.
- (3) On the 120 G.T. passenger coaster which has a speed corresponding to Froude Number 0.34, the most advantageous bulb is the one whose  $a_0/L$  is about 0.28. When the speed is up, the bulb radius should be increased accordingly.
- (4) The large bulbous bows are effective in shallow water to a water depth of  $H/T=2.0$ .
- (5) Tendency to the increase in the resistance of the hull with large bulbous bow in the shallow water is generally smaller than that of the hull without bulb.

記 號

$a$	二次元波의 振幅
$a_0$	bulb 의 半徑
$A(\theta)$	素成波의 振幅函數
$A_F(\theta)$	主船體의 船首部 素成波의 振幅函數
$B_F(\theta)$	球의 素成波의 振幅函數
$C_F$	摩擦抵抗係數
$C_T$	全抵抗係數

$C_w$	造波抵抗係數
$C(\theta)$	素成波의 振幅函數(cosine 波)
$F$	Froude 數
$f$	bulb 의 immersion
$H$	水深
$K_0$	$\frac{1}{LF^2}$
$L$	배의 길이
$m_i$	$i$ 點에서의 source strength
$R_T$	全抵抗
$R_w$	造波抵抗
$R_{wF}$	主船體의 船首波에 의한 造波抵抗
$R_{wFB}$	複合船首波에 의한 造波抵抗
$S$	浸水表面積
$S(\theta)$	素成波의 振幅函數(sine 波)
$T$	吃水
$U$	배의 速力
$U_s$	service speed
$U_T$	trial speed
$\lambda$	波長
$\nu$	動粘性係數
$\zeta_t$	局部攪亂波의 높이
$\zeta_w$	後續自由波의 높이
$\zeta_{wd}$	doublet 에 의한 自由波의 높이
$\zeta_{ws}$	$U$ 型 frame line 을 가진 cos 船型의 後續自由波의 높이

## I 緒 論

船體의 造波現象을 徹底히 究明하고 造波抵抗을 減少시키는 問題는 造船學者들에게 賦課되어온 가장 根本的이고 어려운 研究課題의 하나이다.

1898 年에 Michell 은 船體의 造波抵抗에 關한 理論的인 計算方法을 처음으로 發表하였고, 그後 Havelock Weinblum, Wigley, Guillonton, Lunde 等이 이 分野에 있어서 研究를 遂行하여 學界에 많은 理論的 貢獻을 한 바 있으며 특히 Havelock 은 1930 年代에 造波抵抗에 關한 素成波理論을 完成한바 있다.

1960 年代에 이르러 Inui, Takahei 等은 그때까지 理論的인 뒷받침 없이 極히 一部에서만 使用되어 오던 球狀船首와 船體에 各己 Havelock 의 素成波理論을 適用하여 大型 bulb 와 船體가 各己 造成하는 波의 干涉作用을 解明하고, 造波抵抗을 大幅 減少시킬 수 있다는 理論을 展開하였다.

이들 Havelock 의 造波抵抗理論과 Inui-Takahei 理論의 概要는 다음과 같다.

### 1) Havelock 의 造波抵抗理論

一定한 速力으로 前進하는 배가 물로부터 받는 抵抗은 粘性抵抗과 造波抵抗으로 構成되어 있음은 造船學上

의 常識으로 되어있다. 그러나 이것은 어떠한 理論에 根據를 둔 것이 아니다.

次元解析에 依하면 表面張力を 無視할 때 배의 全抵抗係數는 Reynolds 數와 Froude 數의 函數로서 나타낼 수 있다. 卽

$$\frac{R}{\frac{1}{2}\rho U^2 L^2} = f\left(\frac{UL}{\nu}, \frac{U}{\sqrt{gL}}, r_1, r_2, r_3, \dots\right) \quad (1)$$

여기서 R는 全抵抗, L은 배의 길이, U는 前進速度, ρ는 물의 密度, ν는 動粘性係數, g는 重力의 加速度이며 r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub> 등은 배의 形狀을 나타내는 各種 係數이다.

抵抗을 式(1)과 같이 全體로서 생각하지 않고 처음에 말한 바와 같이 粘性에 依한 部分과 造波에 依한 部分으로 區分하여 생각하려면 다음 式으로 나타내지는 所謂 Froude의 假定을 前提로 하여야 한다.

$$\frac{R}{\frac{1}{2}\rho U^2 L^2} = f_1\left(\frac{UL}{\nu}, r_1, r_2, r_3, \dots\right) + f_2\left(\frac{U}{\sqrt{gL}}, r_1, r_2, r_3, \dots\right) \quad (2)$$

지금까지의 造船學의 知識으로서 배의 抵抗을 理論적으로 解析하는데 있어서 上記의 Froude의 假定은 不可缺의 것이다. 한편 배가 前進할 때 배의 舷側에 形成되는 境界層의 두께가 배의 吃水(幅)에 比해서 작은 限 造波抵抗의 計算에 對해서는 물을 完全流體로 생각하고 粘性을 無視할 수 있다.

Thomson의 定理에 依해서 靜止狀態로 부터 始作된 完全流體中の 流體運動은 非回轉的이며 그 速度는 速度 potential을 써서 表示된다. 以上の 두가지 理由로 배의 造波現象에 對해서는 그것에 對應하는 速度 potential ϕ의 存在를 假定할 수 있으며 그것은 Laplace 方程式

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

을 滿足한다. 速度 potential ϕ는 流體의 境界面에 있어서 所要의 境界條件을 滿足하도록 決定된다. 따라서 이 경우에 流體運動을 求하는 것은 純數學的인 境界值問題에 歸一한다. 境界條件으로서는 (i)船體表面에 있어서의 條件 (ii)海底에 있어서의 條件 (iii)水路의 側壁에 있어서의 條件 등을 먼저 생각할 수 있으며 이들의 條件은 法線方向의 速度가 零이라는 形으로 주어진다. 이밖에 물의 自由表面의 條件

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + K_0 \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

을 滿足하여야 한다. 여기서  $K_0 = -\frac{g}{U^2}$ 이다.

式(4)는 ϕ 또는 그 微係數에 關해서 一次的이며 線型境界條件이다. 이 速度 potential이 決定되면 壓力方程式에 依해서 壓力이 決定되며 壓力을 배의 表面에 걸쳐서 積分하면 造波抵抗이 計算된다 [1]\*. 이것은 造波抵抗을 求하는 가장 原理的인 方法이나 流體의 運動은 極히 複雜한 式으로 表示되기 때문에 一般的으로 解析이 困難하다.

上述한 方法과는 달리 物體를 適當히 큰 閉曲面으로 둘러싸고 이 曲面안의 流體의 energy 또는 運動量의 變化로부터 힘을 求하는 方法이 있다 [2]. 이 方法을 쓰면 船體에 가까운 流體의 運動은 생각할 必要가 없으며 멀리 떨어진 場所만 考慮하면 된다.

船體가 一定한 速度로 前進할 때 發生하는 重力波는 性質上 完全히 다른 2種類의 波로 構成된다. 卽

$$\zeta(x, y) = \zeta_l(x, y) + \zeta_w(x, y) \quad (5)$$

\* [ ] 안의 數字는 本論文 末尾에 紹介한 引用文獻의 番號임.

여기서  $\zeta(x,y)$ 는 船體가 發生하는 重力波의 靜水面을 基準으로 한 elevation이며  $\zeta_1(x,y)$ 는 局部攪亂波,  $\zeta_w(x,y)$ 는 後續自由波의 靜水面을 基準으로 한 elevation 이다.

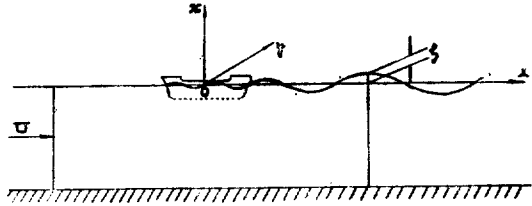


Fig. 1

局部攪亂波는 매우 複雜하나 多幸히 抵抗에 關與하지 않으며 抵抗計算에 關與하는 것은 後續自由波뿐이다. 배의 攪亂(前進)에 依해서 發生하는 流體運動에 對한 速度 potential  $\phi$ 가 求해지던 그것에 對應하는 自由波의 形狀은 境界條件

$$U \frac{\partial \phi}{\partial x}(x,y,0) + g\zeta_w = 0 \tag{6}$$

로부터 求해진다.

호르코 있는 流體속에 物體가 놓여 있을때 物體를 source의 分布로 나타낼 수 있으면 水面이 存在할 때에는 流體의 運動은 다음과 같은 速度 potential로 나타내진다 [3].

$$\phi \approx -4K_0 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \{P \sin(K_0 p \sec^2 \theta) - Q \cos(K_0 p \sec^2 \theta)\} e^{K_0 z \sec^2 \theta} \sec^2 \theta d\theta \tag{7}$$

$$\text{但, } \begin{cases} P \\ Q \end{cases} = \sum_i m_i \frac{\cos}{\sin} \{K_0 \sec^2 \theta (x_i \cos \theta + y_i \sin \theta)\} \times e^{K_0 z_i \sec^2 \theta} \tag{8}$$

$$p = x \cos \theta + y \sin \theta \tag{9}$$

$m_i$ : 點  $(x_i, y_i, z_i)$ 에서의 source의 strength

이때 (6)으로부터

$$\begin{aligned} \zeta_w &= -\frac{U}{g} \frac{\partial \phi}{\partial x} \\ &= -\frac{4K_0}{U} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \{p \cos(K_0 p \sec^2 \theta) + Q \sin(K_0 p \sec^2 \theta)\} \sec^3 \theta d\theta \end{aligned} \tag{10}$$

Havelock 에 依하면  $x$ 軸과  $\theta$ 인 方向으로 進行하는 二次元波는 進行速度가  $C=U \cos \theta$ 이며 振幅을  $a$ 라고 할때

$$a \cdot \frac{\cos}{\sin} \frac{2\pi}{\lambda} (x \cos \theta + y \sin \theta) = a \cdot \frac{\cos}{\sin} \cdot K_0 p \sec^2 \theta$$

로 나타내진다. 그러므로 式(10)의 被積分函數는  $\theta$ 의 方向으로 進行하는 그와 같은 波를 나타내고 있으며 이것이  $\theta$ 가  $-\frac{\pi}{2}$ 에서  $\frac{\pi}{2}$ 사이에 配列되어 있는 것을 意味한다. 이 波가 全體로서 나타내는 波形은 Kelvin이 처음 求했으며 Kelvin 波系라고 불리워 진다 [4] [5]. 一般적으로 物體後方의 自由波의 波型은

$$\zeta_w = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \{S(\theta) \sin(K_0 p \sec^2 \theta) + C(\theta) \cos(K_0 p \sec^2 \theta)\} d\theta \tag{11}$$

와 같이 表示되며 이것에 依한 造波抵抗  $R_w$ 는

$$R_w = \pi \rho U^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} [\{S(\theta)\}^2 + \{C(\theta)\}^2] \cos^3 \theta d\theta \tag{12}$$

로 주어진다 [2].

式(11)은

$$\zeta_w = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} A(\theta) \sin\{K_0 p \sec^2 \theta + \gamma(\theta)\} d\theta \quad (13)$$

로 나타낼 수도 있다.

$$\left. \begin{aligned} \text{但, } A^2(\theta) &= S^2(\theta) + C^2(\theta) \\ \tan \gamma(\theta) &= C(\theta)/S(\theta) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

여기서  $A(\theta)$ ,  $S(\theta)$ ,  $C(\theta)$ 는 素成波의 振幅函數이다.

### 2) 船首波 消滅에 關한 Inui-Takahei 理論

Inui, Takahei 等은 1960 年에 Havelock 의 素成波理論을 主船體와 船首部에 붙인 大型 bulb 에 各各 適用하여 各己 造成한 wave 를 干涉시켜서 船首波를 거의 完全히 消滅시킬 수 있다는 可能性을 發表하고 [6] 이어서 Takahei 는 船首波消滅理論 [7] [8]을 Kumano 는 船尾波消滅理論 [9] [10]을 展開하였다.

이들은 主船體가 造成하는 波와 同一한 振幅과 逆位相의 波를 造成하는 物體를 船首前端에 附加하면 船首波를 消滅시킬 수 있으리라는 觀點으로 主船體가 造成하는 船首波가 +sine 波인 것과 doublet 에 依해서 造成되는 波가 -sine 波인 것에 着目하여 上記의 振幅條件과 位相條件을 滿足하는 數學的 主船體 模型과 bulb 를 使用하여 船首波 消滅에 成功하였다. 主船體로서는 shoulder wave 를 發生하지 않도록 船體平行部가 없는 船型을 擇하여야 하며 bulb 에 依한 波가 位相적으로는 -sine 의 位相을 가지는 波인 것을 생각해서 cosine 波를 包含하지 않고 Froude 數에 關係없이 恒常 船首의 位置를 基點으로하는 +sine 의 波만을 造成하는 것이 라야 한다.

Takahei 는 波의 進行方向을  $x$  軸의 陰의 方向으로 取하여  $2\xi/L = \xi'$ ,  $2\zeta/L = \zeta'$ 라하고 主船體를 나타내는 singularity 分布를 決定하는 關係式

$$m(\xi', \zeta') = m_1(\xi') \cdot m_2(\zeta') \quad (15)$$

에 있어서

$$m_1(\xi') = a_1 \sin \left[ \frac{\pi}{2} (1 - \xi') \right] \quad (16)$$

但,  $\xi' = 0$ (船首)  $\sim 2$ (船尾)

로 定하였다. 여기서  $m(\xi', \zeta')$ 는 主船體를 나타내는 source 의 strength 이다. 이 分布에 依한 水線面은 cosine 型이다. 또 그는 U 型의 frame line 에 相當하는 吃水方向의 source 分布로

$$m_2(\zeta') = 1, \quad \zeta' = -t \sim 0 \quad (t = 2T/L) \quad (17)$$

을 取하고 Runge-Kutta method 에 依해서 Inui 가 發展시킨 流線追跡法[11]을 써서 船型을 計算하였다.

위의 U 型의 frame line 을 가지는 cosine 型의 船型에 依한 後續自由波型은 다음 式으로 주어진다 [7].

$$\zeta_{ws}(x, y) \sim \frac{a_1 L}{\pi} K_0 L \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 - e^{K_0 T \sec^2 \theta}}{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2} \sin(K_0 L p' \sec^2 \theta) \sec^2 \theta d\theta \quad (x > 0) \quad (18)$$

여기서  $p' = \frac{1}{L}(x \cos \theta + y \sin \theta)$

따라서 式(18)로부터 式(15), (16), (17)의 source 分布에 對應하는 主船體의 素成波振幅函數  $A_F(\theta)$ 는

$$A_F(\theta) = \frac{a_1 L}{\pi} K_0 L \frac{1 - e^{-K_0 T \sec^2 \theta}}{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2} \sec^2 \theta \quad (19)$$

와 같이 된다.

한편 V형의 frame line 을 가지는 cosine 型的 船型에 對해서는 素成波振幅函數는

$$A_F(\theta) = \frac{a_1 L}{\pi} K_0 L \frac{1 - \frac{\exp(-K_0 T \sec^2 \theta)}{K_0 T \sec^2 \theta}}{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2} \sec^2 \theta \quad (20)$$

로 주어진다[12].

위에서 論述한 바와 같이 主船體가 完全造波干涉에 依해서 waveless 狀態가 되기 위해서는 船首波로부터 造成되는 波에 對해서 位相的으로 逆位相이며 素成波의 振幅函數와 같은 波를 造成할 수 있는 point doublet 의 bulb 를 얻어야 한다.

進行方向을  $x$  軸의 陰의 方向으로 取하고 軸의 方向이 그것과 一致하며 깊이가  $f$ 인 位置에 있는 doublet 에 依한 自由波型은 Havelock 에 依해서

$$\zeta_{wd} = -\frac{MK_0^2}{\pi U} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sec^4 \theta \exp(-K_0 f \sec^2 \theta) \sin(K_0 x \sec \theta) d\theta \quad (x > 0) \quad (21)$$

로 주어진다 [2] [6]. 여기서  $M$ 는 point doublet 의 moment 이다. 式(21)로부터 point doublet 의 bulb 에 對한 素成波의 振幅函數  $B_F(\theta)$ 는

$$B_F(\theta) = \frac{MK_0^2}{\pi U} \sec^4 \theta \exp(-K_0 f \sec^2 \theta) \quad (22)$$

와 같다.

Takahei 가 그의 理論을 檢證하기 위한 實驗에 使用한 模型의 主船體와 bulb 가 造成하는 波形을 計算한 結果를 實測値와 더불어 比較한 것이 第2圖이다 [7] [13].

式(12)에 依해서 主船體의 船首波에 依한 造波抵抗은

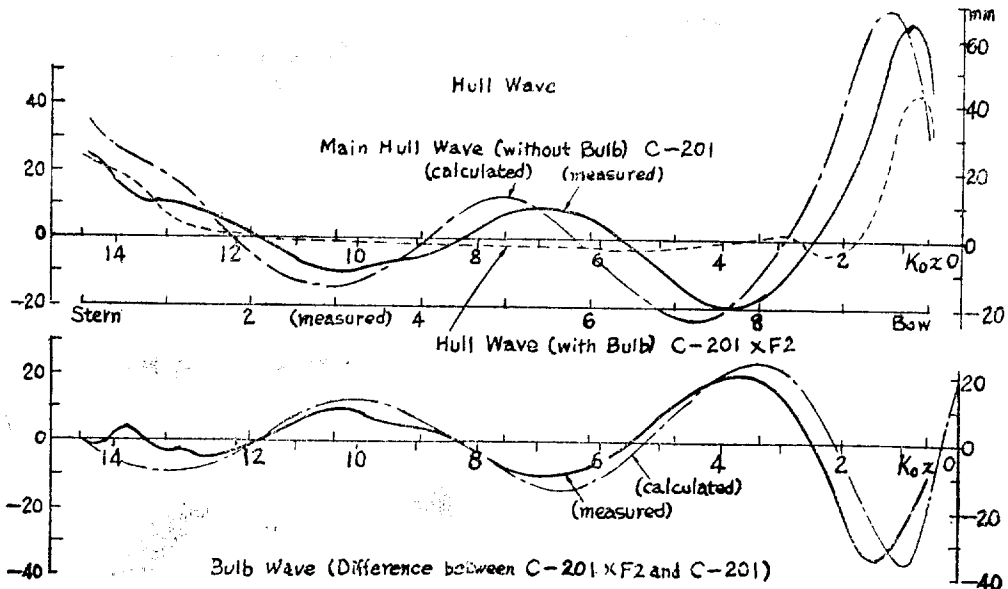


Fig. 2 Measured and calculated wave profiles on Model C-201 and C-201F2 ( $L=2.5\text{m}$ ) from reference [13]

$$R_{WF} = \rho \pi U^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{A_F(\theta)\}^2 \cos^3 \theta d\theta \quad (23)$$

로 주어진다. Inui, Takahei 等に 依하면 이에 對하여 bulb 로서 造成된 逆位相의 波의 振幅函數를  $B_F(\theta)$ 라 하면 이들 2개의 波의 干涉에 依한 複合船首波의 振幅函數는  $A_F(\theta) - B_F(\theta)$ 로 주어지며 船首波단에 對應하는 造波抵抗은

$$R_{WF_B} = \pi \rho U^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\}^2 \cos^3 \theta d\theta \quad (24)$$

로 주어진다. 먼저 逆位相의 關係를 實現시킨 後에 式(23)에 依해서 振幅比  $A_F(\theta)/B_F(\theta)$ 를 모든 素成波에 對해서 1에 加감도록 하면 船首自由波는 消滅되고 그것에 依해서 造波抵抗은 零에 가까워 질 것이다. 式(24)의 被積分函數中의  $-2A_F(\theta) \cdot B_F(\theta)$ 의 項에 依한 抵抗成分

$$-2\pi \rho U^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} A_F(\theta) B_F(\theta) \cos^3 \theta d\theta$$

는 Inui에 依해서 bulb에 依한 干涉項이라고 指摘되고 있으나 一般적으로 疑問視되고 있다 [13].

Waveless bulb의 設計에 있어서는 單純히 式(24)의 被積分函數만을 考慮하여 近似的으로  $A_F(\theta) = B_F(\theta)$ 에 依하여 初等的으로 取扱할 수 있는 特徵이 있다.

V型的 frame line을 가지는 배에 對해서는 bulb 直徑은 式(19)와 式(22)를 等置하여 다음 式으로부터 얻을 수 있다.

$$\left(\frac{a_0}{L}\right)^3 = \frac{a_1 \cos^2 \theta \exp(K_0 f \sec^2 \theta)}{2\pi K_0 L \{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2\}} \cdot \left\{1 - \frac{\exp(-K_0 T \sec^2 \theta)}{K_0 T \sec^2 \theta}\right\} \quad (25)$$

한편 bulb의 中心의 F.P.로부터의 適當한 位置는 지금까지의 知識으로는 實驗에 依存할 수 밖에 없다.

Waveless bulb에 關한 理論은 bulbous bow에 關한 從來의 實驗船型學을 背景으로 하는 經驗論의인 見解即 主船體에 bulb를 붙이므로서 有效造波길이가 增加하여 그 結果로 造波抵抗이 減少한다는 論을 뒤엎어 버렸다. 從來 大型球狀船首와 그것의 F.P.로부터의 中心位置가 造波抵抗에 미치는 影響은 이미 1935년에 Wigley에 依해서 實驗的으로 考察되었으나 [14] 그 理論的인 解析이 이루어지지 못하여 最近에 이르기까지 크게 發展하지 못하였던 것이다.

以上과 같은 大型球狀船首에 依한 船首波消滅에 關한 理論이 提唱된 以來로 Inui, Takahei가 既存船인 Kurenai Maru에 對해서 waveless bulb를 適用하여 船首造波抵抗을  $\frac{1}{5}$ 以下로 減少시킨 例 [12]를 비롯하여 最近數年間 各種 實用船型에 對한 應用研究가 活發히 進展되어오고 있다. 그러나 現在 그 研究範圍는 貨物船, 客船, 油槽船等 Froude數가 0.30以下인 大型船舶에 偏重되고 小型船 및 高速船에는 아직도 미치지 못하고 있는 現實이다.

沿岸客船만하더라도 小型船이면서도 特異한 船型條件을 가지고 있으며 그 運航速力은 一般商船에 比하여는 勿論이고 他種小型船에 比하여도 높은 Froude數의 領域에 屬하고 있는데 아직 大型球狀船首와 結付하여 研究된 바가 없으며 더욱이 沿岸船에서 問題될 수 있는 大型球狀船首의 淺水影響같은 것도 지금까지 別로 研究된 바가 없다.

이 같은 點에 鑑하여 筆者는 大型球狀船首의 理論을 沿岸客船에 適用할 때 이러나는 造波抵抗의 減少와 大型球狀船首의 淺水影響에 關한 實驗的研究을 試圖한바 本論文은 그 結果의 報告이다.

## II 實驗方法 및 裝置

서울대학교 工科大学 船型試驗水槽에서 다음에 詳述하는바와 같은 各種 bulb를 가지는 沿岸客船의 模型에 對하여 深水抵抗試驗과 淺水抵抗試驗을 實施하였다.

從來 이같은 實驗에 있어서는 bulb immersion, bulb size, bulb position 等の 影響을 考察하는 것이 普通인데 [15] Yim의 解析[16]에 依하면 bulb의 中心은 내리는 것이 合理的이고 또한 沿岸客船과 같이 吃水가 얇은 배에 있어서는 現實的인 理由로 immersion (水線으로부터 bulb 中心까지의 垂直距離)를 그다지 變化시킬 수도 없으므로 immersion은 一定하게 固定시키고 bulb의 半徑의 變化와 中心位置의 水平方向의 變化에 對한 造波抵抗의 減少問題를 考察할 수 있는 實驗에 重點을 두었다.

bulb의 前後 位置는 實用面을 考慮한다면 一定한 制限을 받기 마련인데 本研究에 있어서는 最大의 效果를 얻을 수 있는 位置도 究明하기 위하여 bulb의 位置는 制限을 두지 않고 前進시켜 보았다.

### 1) 供試船型

#### (1) 主船體

典型的인 沿岸客船으로 設計된 大韓民國商工部標準型 120 總噸客船의 主船體를 供試船型으로 擇하였다. 1965 年에 大韓造船學會에 依하여 設計된 同船은 韓國內 主要旅客船航路의 大部分을 航海할 수 있는 合理的인 速力을 가지고 있는 旅客船[17]으로서 計劃運航速力은 10.5 knot 이고 Froude 數는 約 0.34 이며 그 線圖, offsets 및 主要特性은 第3圖, 第1表 및 第2表와 같다.

또한 同船은 Froude 數가 相當히 높다는 點 外에도 船型上으로 다음과 같은 特徵을 가지고 있다.

- (1) 長幅比 ( $\frac{L}{B}$ )가 작다.
- (2) 方形係數( $C_B$ )와 容積係數( $\nabla/(0.1L)^3$ )가 작다.
- (3) 船首附近의 船型은 V型에 가깝다.
- (4) entrance angle ( $\frac{1}{2}\alpha_E$ )이 相當히 크다.

大型船에 比한다면 이같은 點들은 모두 小型船에서 共通되는 船型上의 傾向이지만 沿岸客船에 있어서 더욱 甚하게 나타나는 特徵이라 함은 第3表로서도 充分히 알 수 있다.

主船體의 試驗用 模型은 LBP가 3'-6"이며 幅(피너부)뿔이다.

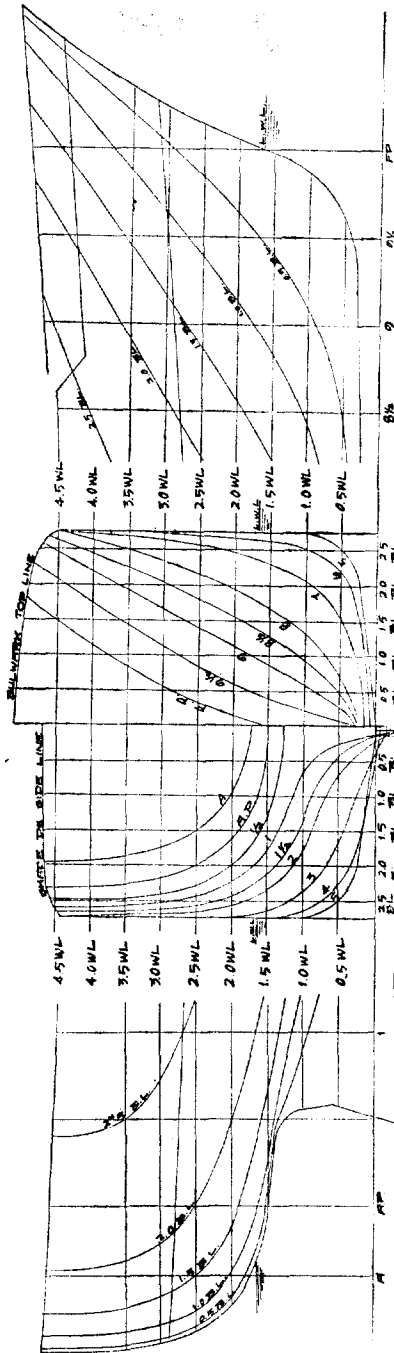


Fig. 3 Lines



Table 1 Offsets

No. of Ord.	Half Breadth											Height above B.L.						No. of Ord.		
	B.L.	0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	UP/DK.	Shade	1.0	1.5	2.0	2.5	UP/DK.	Shade		No. of Ord.	
		WL	WL	WL	WL	WL	WL	WL	WL	S.L.	DK.									BL
A	—	—	—	—	—	980	1500	1750	1860	1680	1960	2010	2500	—	—	2840	2880	4640	4680	A
AP	—	—	—	—	—	1600	2000	2180	2280	2110	2340	1640	1900	2500	—	2790	2840	4600	4650	AP
1/2	—	—	—	—	1300	2000	2290	2420	2500	2340	2510	1410	1590	2000	3500	2730	2800	4540	4620	1/2
1	90	150	220	620	1770	2240	2440	2540	2600	2500	2610	1140	1360	1710	2680	2690	2780	4500	4570	1
1 1/2	120	220	390	1280	2110	2440	2580	2650	2680	2600	2690	880	1060	1400	2200	2640	2740	4440	4530	1 1/2
2	210	400	660	1740	2340	2560	2660	2700	2720	2680	2740	680	890	1140	1800	2600	2710	4400	4510	2
3	380	960	1620	2350	2640	2750	2750	2750	2750	2750	2750	260	440	680	1190	2550	2660	4360	4470	3
4	500	1800	2260	2650	2750	"	"	"	"	"	"	0	180	320	740	2510	2620	4320	4430	4
5	150	2080	2500	2750	"	"	"	"	"	"	"	40	180	240	500	2500	2610	4300	4410	5
6	—	1630	2180	2510	2620	2680	2700	2720	2750	2700	"	100	240	480	950	2530	2630	4320	4430	6
7	—	800	1500	2060	2300	2460	2580	2650	2700	2600	"	180	500	900	2100	2600	2680	4400	4510	7
8	—	140	700	1320	1660	1940	2150	2340	2500	2230	2750	390	1220	2140	3500	2720	2780	4470	4580	8
8 1/2	—	—	450	940	1280	1560	1800	2040	2250	1940	2640	520	1900	2900	4120	2800	2840	4530	4630	8 1/2
9	—	—	230	560	840	1100	1360	1640	1900	1300	2260	900	1810	2740	3670	2340	2350	4200	4250	9
9 1/2	—	—	80	220	400	580	840	1120	1420	800	1920	1730	2800	3600	4410	2460	2465	4300	4320	9 1/2
FP	—	—	—	—	—	120	320	530	810	320	1380	2920	3820	4560	—	2560	2560	4380	4400	FP

(unit in m/m)

Table 2 Principal Characteristics of 120 G.T. Passenger Coarster

		ship	model	remarks
全 長	<i>LOA</i>	29 m 100	124.2 cm	model scale $\frac{1}{23,4345}$  without bulb
水線間長	<i>LWL</i>	25 m 800	110.1 cm	
垂線間長	<i>LBP</i>	25 m 000	106.7 cm	
型 幅	<i>B</i>	5 m 500	23.5 cm	
型 深	<i>D</i>	2 m 500	10.67 cm	
吃水(平均)	<i>T</i>	1 m 650	7.04 cm	
設計트립		0 m 800		
計劃滿載排水量	<i>Δ</i>	117 M/T	8.87kg(19.53lbs)	
“ “ “ 容積	<i>∇</i>	114.1m <sup>3</sup>	0.00887m <sup>3</sup>	
方形係數	<i>C<sub>B</sub></i>	0.487	0.487	
柱形係數	<i>C<sub>P</sub></i>	0.550	0.550	
中央斷面係數	<i>C<sub>M</sub></i>	0.885	0.885	
水線面係數	<i>C<sub>W</sub></i>			
容積係數	$\frac{\nabla}{(LWL)^3}$	$6.64 \times 10^{-3}$	$6.64 \times 10^{-3}$	
半엔트렌스角	$\frac{1}{2}\alpha_E$	19°48'	19°48'	
LCB/LBP aft. F.P.		0.530	0.530	
計劃運航速力	<i>U<sub>S</sub></i>	10.5 knots	2.17 knots	
試運轉速力	<i>U<sub>T</sub></i>	11.5 knots	2.375 knots	
Froude 數	$\frac{U_S}{\sqrt{L_{WLG}}}$	0.34	0.34	
“	$\frac{U_T}{\sqrt{L_{WLG}}}$	0.372	0.372	
浸水面積	<i>S</i>	161m <sup>2</sup>	0.293 m <sup>2</sup> 3.153 ft <sup>2</sup>	

Table 3 Ratios for Small Craft (Korean Standard Vessel)

	<i>GT</i>	<i>L/B</i>	<i>C<sub>B</sub></i>	$\nabla/(0.1L)^3$	$U/\sqrt{L_G}$	<i>HP/GT</i>
Passenger Boat	120	4.55	0.510	7.30	0.34	2.0
	70	4.23	0.520	7.56	0.355	2.57
Tuna Long Liner	210	4.95	0.695	11.57	0.276	2.86
Two-Boat Trawler	100	5.09	0.637	10.61	0.35	3.50
Purse Seiner	120	4.38	0.666	13.09	0.34	3.75
Whale Catcher	80	5.19	0.496	7.99	0.35	4.25
Cargo Ship	500	5.58	0.677	9.59	0.225	1.1
Oil Tanker	500	5.58	0.675	9.44	0.225	1.1

(2) Bulb

本實驗에 있어서 採擇한 bulb의 크기는 半徑이 2.9 cm, 3.15 cm, 3.4 cm, 3.65 cm 인 4種이다.

이와 같은 치수를 擇한 理由는 船體에 各種 크기의 球만을 連結하고 bulb의 fairing을 하지 않은 채로

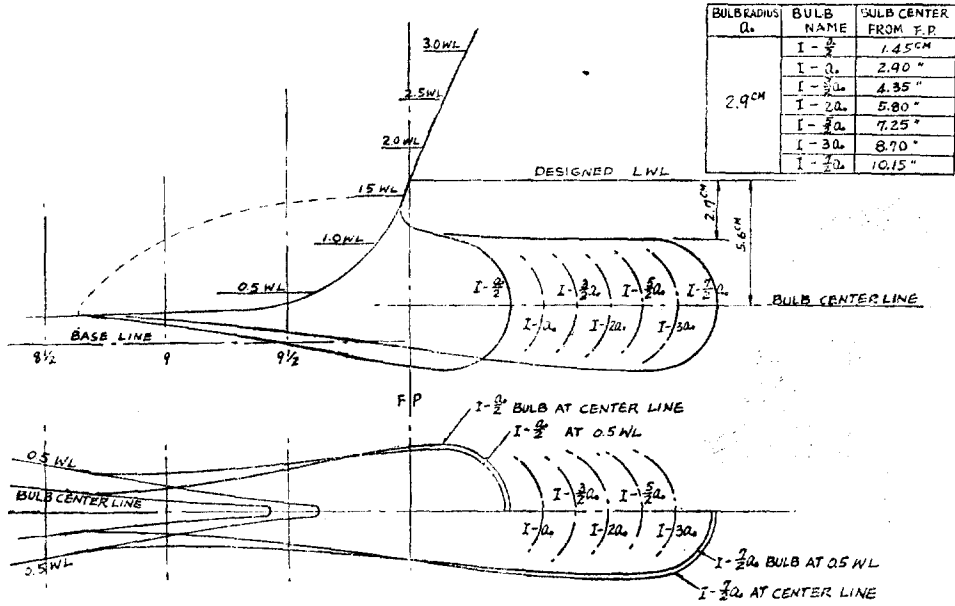


Fig. 4-1 Bulb I (Radius  $a_0=2.9$  cm)

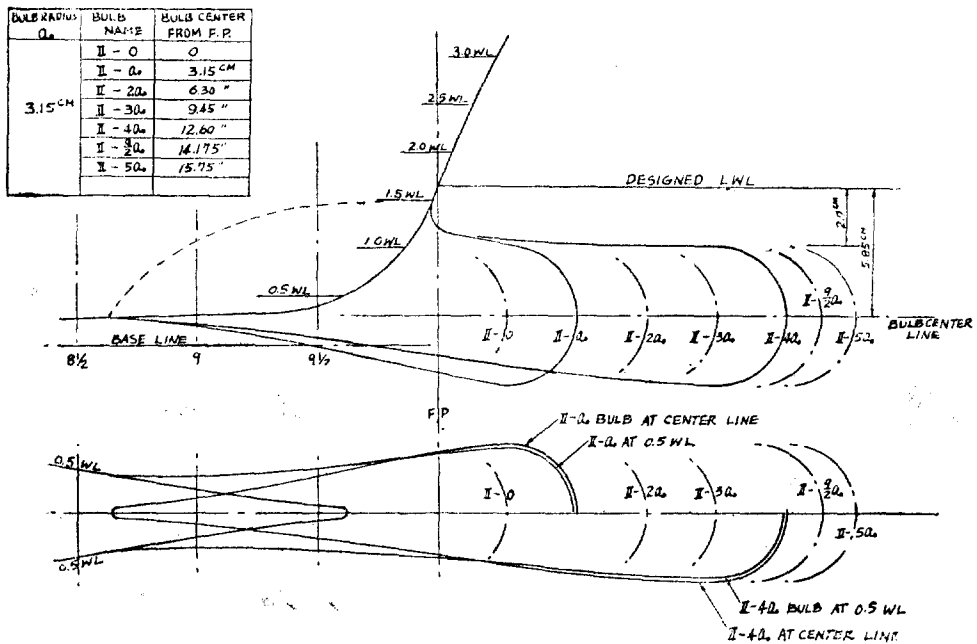


Fig. 4-2 Bulb II (Radius  $a_0=3.15$  cm)

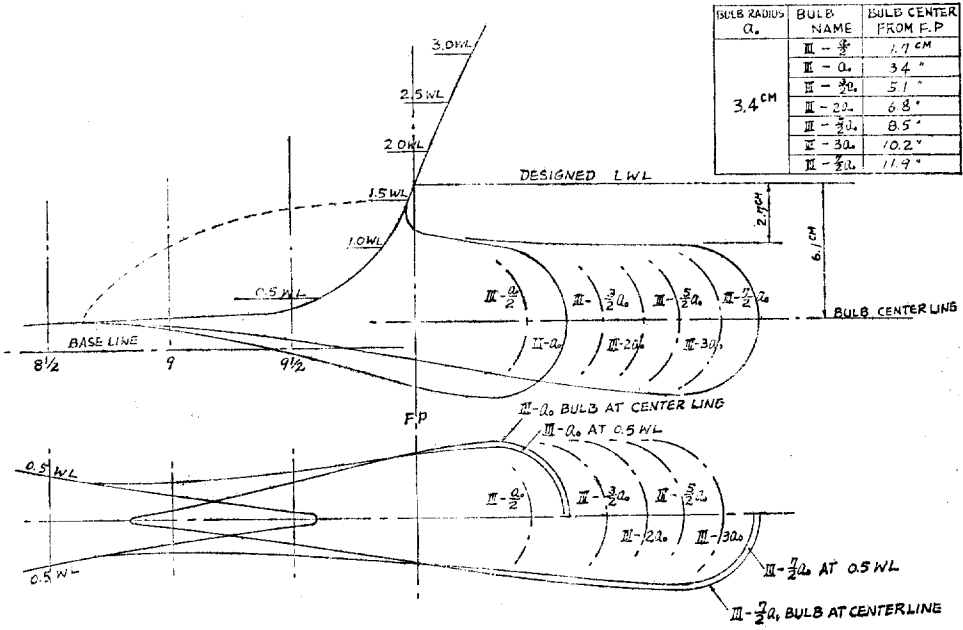


Fig. 4-3 Bulb III (Radius  $a_0=3.4$  cm)

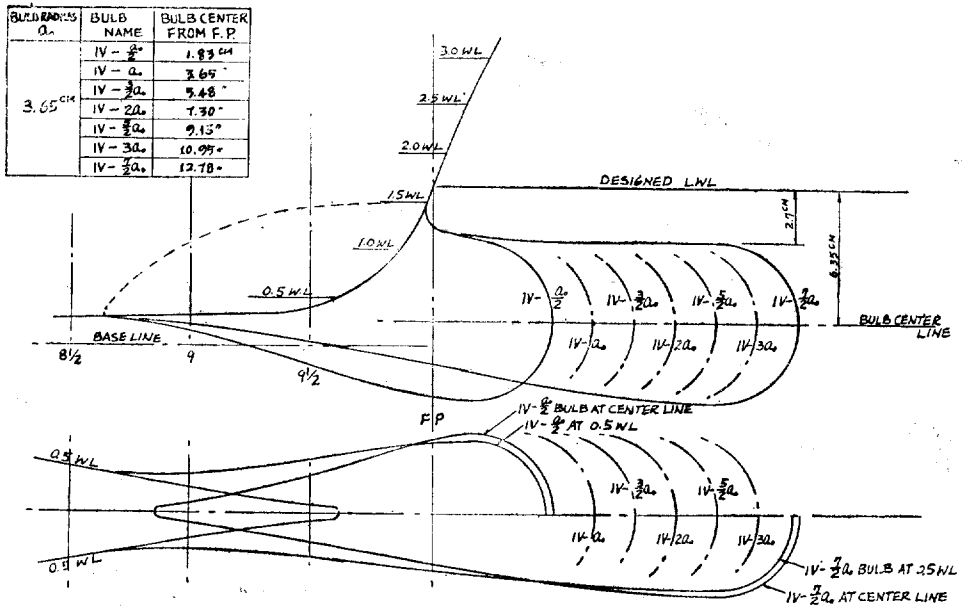


Fig. 4-4 Bulb IV (Radius  $a_0=3.65$  cm)

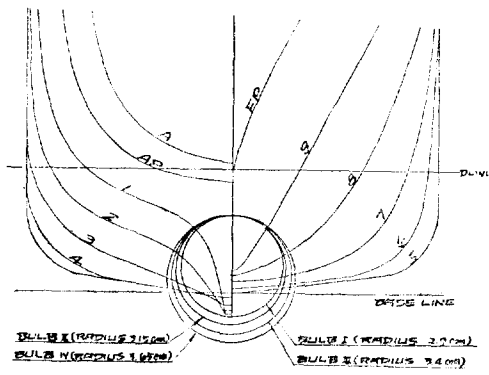


Fig. 4-5 Section of Bulbs



Fig. 5-1 Front View of Bulb II-3/2 a.

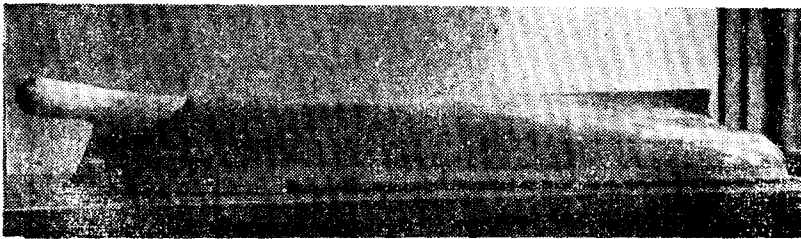


Fig. 5-2 Profile of Bulb II-3a<sub>0</sub>

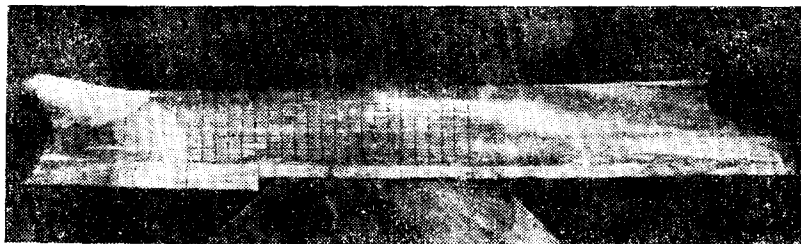


Fig. 5-3 Profile of Bulb II-a<sub>0</sub>

Table 4 Bulbs & Dimmensions

Group	Radius $a_0$ (cm)	Bulb	Position of Bulb Center from F.P. (cm)	Position of Bulb Fowd. End from F.P. (cm)	Bulb Disp. (lbs)	Model Disp. with Bulb (lbs)	Bulb Wetted Surface (ft <sup>2</sup> )	Model Wetted Surface with Bulb (ft <sup>2</sup> )
Bulb I	2.9	I- $a_0/2$	1.45	4.35	0.57	20.10	0.176	3.329
		I- $a_0$	2.9	5.8	0.62	20.15	0.202	3.355
		I- $3/2a_0$	4.35	7.25	0.68	20.21	0.229	3.382
		I- $2a_0$	5.8	8.7	0.74	20.27	0.255	3.408
		I- $5/2a_0$	7.25	10.15	0.80	20.33	0.282	3.435
		I- $3a_0$	8.7	11.6	0.86	20.39	0.309	3.462
		I- $7/2a_0$	10.15	13.05	0.92	20.45	0.336	3.489
Bulb II	3.15	II-0	0	3.15	0.47	20.00	0.168	3.321
		II- $a_0$	3.15	6.3	0.70	20.23	0.228	3.381
		II- $2a_0$	6.3	9.45	0.86	20.39	0.288	3.441
		II- $3a_0$	9.45	12.6	1.03	20.56	0.348	3.501
		II- $4a_0$	12.6	15.75	1.20	20.73	0.408	3.561
		II- $9/2a_0$	14.16	17.31	1.28	20.81	0.438	3.591
		II- $5a_0$	15.75	18.9	1.37	20.90	0.468	3.621
Bulb III	3.4	III- $a_0/2$	1.7	5.1	0.70	20.23	0.225	3.378
		III- $a_0$	3.4	6.8	0.80	20.33	0.261	3.414
		III- $3/2a_0$	5.1	8.5	0.90	20.43	0.296	3.449
		III- $2a_0$	6.8	10.2	1.00	20.53	0.331	3.484
		III- $5/2a_0$	8.5	11.9	1.10	20.63	0.366	3.519
		III- $3a_0$	10.2	13.6	1.20	20.73	0.401	3.554
		III- $7/2a_0$	11.9	15.3	1.30	20.83	0.436	3.589
Bulb IV	3.65	IV- $a_0/2$	1.83	5.48	0.80	20.33	0.260	3.413
		IV- $a_0$	3.65	7.3	0.91	20.44	0.300	3.453
		IV- $3/2 a_0$	5.48	9.13	1.02	20.55	0.340	3.493
		IV- $2 a_0$	7.3	10.95	1.13	20.66	0.380	3.533
		IV- $5/2 a_0$	9.13	12.78	1.25	20.78	0.420	3.573
		IV- $3 a_0$	10.95	14.6	1.37	20.90	0.460	3.613
		IV- $7/2 a_0$	12.78	16.43	1.49	21.02	0.500	3.653

Displacement of Main Hull without Bulb

19.53 lbs.

Wetted Surface Area of Main Hull without Bulb

3.153 ft<sup>2</sup>

劃 Froude 數 附近의 速度에서 豫備實驗을 實施한 結果 球의 半徑이 3.15~3.4 cm 일때에 가장 消波現象이 뚜렷함을 觀察하였기 때문이다.

各種 半徑의 bulb 는 第4圖에서 圖示한바와 같이 中心位置를 水平方向으로 變化시켜서 各各 實驗을 하였다. 이같은 모든 bulb 는 半徑에 따라 Bulb I (半徑 2.9 cm), Bulb II (半徑 3.15 cm), Bulb III (3.4 cm) 및 Bulb IV (半徑 3.65 cm)等 group 로 指稱하고 各個의 bulb 는 그 中心位置에 따라 Bulb I- $2a_0$  와 같은 記號로서 表示하였다. 여기에 있어서 記號 I은 半徑이 2.9 cm 인 것을 뜻하고 記號  $2a_0$ 는 F.P.로부터 bulb 의 中心까지의 距離를 半徑의 倍數로서 나타낸것이다 (第4表).

이 같은 基本치수를 갖인 各 bulb 의 모양은 第4圖 및 第5圖와 같으며 一般의으로 高速船에 對하여는 球形 bulb 가 適當하다는 定論 [7]에 따라 球와 主船體를 fairing 하여 얻어진 것이다. 模型과 實船에 있어서의 各 bulb 의 特性은 第5表 및 第6表와 같다.

Bulb 의 頭部는 木製로 하여 添劑이 容易한 燒石膏로서 主船體와 fairing 을 하였다. 따라서 bulb 는 나무와 石膏의 두 部分으로 되어 主船體에 附着된 것이라 할 수 있다. 石膏가 水中에서 化學的 變化를 이끄는 것을 防止하며 木材部와 表面狀態를 고르게 하기 위하여 「와니스」를 數回 塗裝하였다.

Table 5 Bulb Characteristics

Radius of Bulb $a_0$ (cm)	$a_0/L$	Bulb Immersion $f$ (cm)	$f/T$
2.90	0.0263	5.60	0.795
3.15	0.0286	5.85	0.831
3.40	0.0309	6.10	0.867
3.65	0.0332	6.35	0.902

Table 6 Corresponding Bulb Characteristics for Actual Ship

Radius of Bulb $a_0$ (cm)	$a_0/L$	Bulb Immersion $f$ (cm)	$f/T$
67.96	0.0263	131.23	0.795
73.82	0.0286	137.09	0.831
79.68	0.0309	142.95	0.867
85.54	0.0332	148.81	0.902

2) 實驗裝置

모든 實驗이 施行된 서울大學校 工科大學 船型試驗水槽 裝置의 概要는 다음과 같다 [18].

(1) 水 槽

水槽의 斷面은 矩形이고 그 안쪽 치수는 길이 120 呎, 나비 10 呎, 標準水深 5 呎이며, 水槽의 底面은 淺水試驗에 支障이 없도록 水平으로 維持되어 있고, 水槽의 一端에는 檢力裝置를 收容할 수 있는 15呎 길이의 圓形 우물(井)이 있다. 물은 水槽內에 Diatomaceous Earth Type Filter 를 通하여 供給된다.

(2) 重力式 檢力裝置 및 曳引裝置

檢力裝置는 第6圖에서 보는 바와 같이 驅動滑車, 무게접시, 遊動滑車로 되어 있고 曳引裝置는 滑車를 連結하는 曳引索 및 曳引부라켓으로 構成되어 있다.

驅動滑車 有效直徑의 1/10 의 치수를 가지는 驅動滑車軸에 감겨있는 줄의 兩端에 메달린 무게접시에 서로 다른 무게의 추를 놓으므로써 그 重量差에 의한 힘을 얻어 模型을 曳引한다. 이 重量差의 1/10에서 미리 캐리

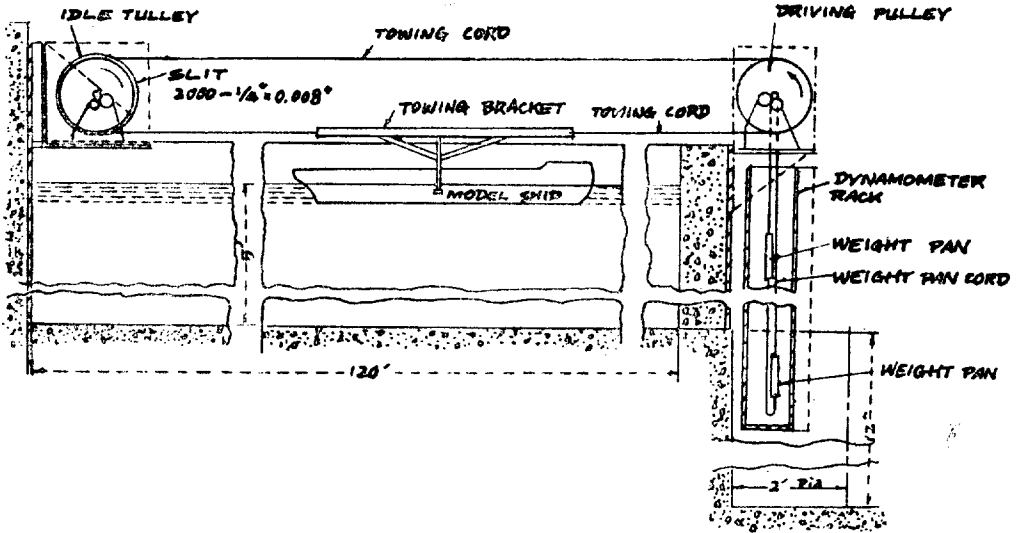


Fig. 6 Dynamometer & Towing Apparatus

브레이큰에 놓은 遊動滑車와 驅動滑車의 摩擦抵抗力을 빼면 驅動力 即 模型의 그 速力에 있어서의 全抵抗이 計算된다. 이대 模型의 速力은 다음과 같은 裝置로서 測定한다.

(3) 速力測定裝置

速力測定裝置는 速力을 pick up 하는 光電管裝置와 그것을 記錄으로 나타내는 EPUT(Event Per Unit Timer) 로 構成되어 있다. 遊動滑車의 림(rim)周邊에 等間隙의 2,000 個의 slit 이 둘러 있는 圓環狀板이 固着되어 있고 그 한쪽에는 光源이 있으며 反對쪽에 光電管裝置가 있다. 模型이 一定한 速力으로 曳引되면 遊動滑車도 回轉하게 되고 圓環狀板의 slit 은 光電管과 光源사이를 通過하게 된다. 單位時間에 通過하는 slit 의 數을 光電管은 catch 하게 되며 이것이 增幅되어 EPUT 에 傳達되어 速力으로 나타나게 된다.

이같이 하여 일어난 模型의 速력과 檢力裝置에서의 驅動力 即 抵抗으로 模型船의 抵抗係數는 다음과 같이 求해진다.

$$C_r = \frac{R_r}{\frac{1}{2} \rho S U^2} \tag{26}$$

여기서  $C_r$  는 全抵抗係數,  $R_r$  는 全抵抗,  $\rho$  는 流體의 密度,  $S$  는 浸水面積,  $U$  는 速力이다.

(4) 測定の 精度

$C_r$  의 誤差는 式(26)으로 보아  $R_r$  의 測定誤差에  $U$  의 測定誤差의 2 倍을 더한 것과 같다. 그런데  $R_r$  의 誤差는  $\pm 0.0001$  lbs 이고 速度計의 誤差는  $\pm 0.001$  노트이다.

따라서 模型의 길이가 3.5 呎이며 大體로  $R_r = (0.05 \sim 0.4)$  lbs,  $U = (0.8 \sim 2.5)$  노트의 範圍에서 이루어진 本實驗에 있어서의  $C_r$  의 誤差는 大略(0.10~0.45)%이라 할 수 있다.



(5) 淺水試驗裝置

淺水試驗은 一般大型水槽에 있어서는 模型曳引트럭의 下降이 不可能하므로 大端히 困難한데 反하여 서울 大學校 工科大學 水槽에 있어서는 檢力裝置 및 模型曳引裝置를 guide screw 를 通하여 自由로 下降할 수 있으므로 大端히 容易하다.

驅動滑車端 水槽壁은 檢力裝置 및 模型曳引裝置를 引下할 때 曳引索이 貫通할 수 있도록 1"의 슬릿 slit)를 가지고 있다.

III 結果 및 考察

A. 深수에 있어서 大型球狀船首가 造波抵抗 減少에 미치는 影響

1) 實驗結果

第4圖와 같은 各種 船首 bulb 를 가지는 120 GT 旅客船에 對하여 深수에 있어서 模型抵抗試驗을 實施한 바 그 結果는 第7圖와 같다.

모든 實驗은 吃水가 一定한 狀態 — 模型의 吃水 7.04cm, 實船의 吃水 165cm — 에서 實施하였으며, 이 때 bulb 에 依한 排水量 및 浸水面積의 增加量은 第4表에 나타나 있다. 造波抵抗係數

$$C_w = \frac{R_w}{\frac{1}{2} \rho S U^2} \tag{27}$$

를 算出함에 있어서 浸水面積 S는 bulb 를 包含한 實際值를 使用하였다. 또한 모든 實驗은 比較研究가 目的 이므로 亂流促進은 하지 않았다.

2) 大型球狀船首의 消波效果

大型球狀船首로 因한 造波抵抗係數의 變化는 第7圖로서 뚜렷히 알 수 있다. 主船體만의 造波抵抗係數와 bulb 를 갖인 船體의 造波抵抗係數를 比較할 때 大體로 Froude 數  $F=0.25\sim 0.28$  을 境界로 하여 그 보다 低 速度域에 있어서는 오히려 bulb 로 因하여 抵抗이 增加되지만 그 보다 高速域에 있어서는 bulb 를 갖인 船體가 훨씬 抵抗이 작아짐을 알 수 있다. 比較를 明確히 하기 위하여 第7圖로부터 比較表를 作成하면 第7表와 같다.

Table 7 Comparison of Wave Resistance Coefficients

F	Without Bulb	Bulb I	Bulb II	Bulb III	Bulb IV
0.22	$0.76 \times 10^{-3}$	$1.04 \sim 1.32 \times 10^{-3}$	$1.31 \sim 1.70 \times 10^{-3}$	$1.48 \sim 1.53 \times 10^{-3}$	$2.08 \sim 2.61 \times 10^{-3}$
0.24	1.06	1.04~1.44	1.25~1.65	1.52~1.58	2.02~2.48
0.26	1.46	1.05~1.55	1.20~1.63	1.49~1.58	1.90~2.30
0.28	1.81	1.09~1.58	1.18~1.64	1.44~1.60	1.82~2.18
0.30	2.13	1.21~1.83	1.21~1.68	1.44~1.70	1.75~2.12
0.32	2.54	1.44~2.02	1.34~1.82	1.50~1.94	1.82~2.20
0.34	2.95	1.73~2.29	1.63~2.17	1.80~2.22	2.02~2.23
0.36	3.62	2.33~2.95	2.19~2.83	2.34~2.80	2.48~3.06
0.38		3.36~	3.15~	3.06~	3.08~

또한 實驗值로서 計劃 Froude 數 0.34 附近에서 가장 消波效果가 큰 Bulb II-3a<sub>0</sub>에 對하여 實船의 有效馬力을 算出하여 bulb 가 없는 主船體의 것과 比較하면 第8表와 같다.

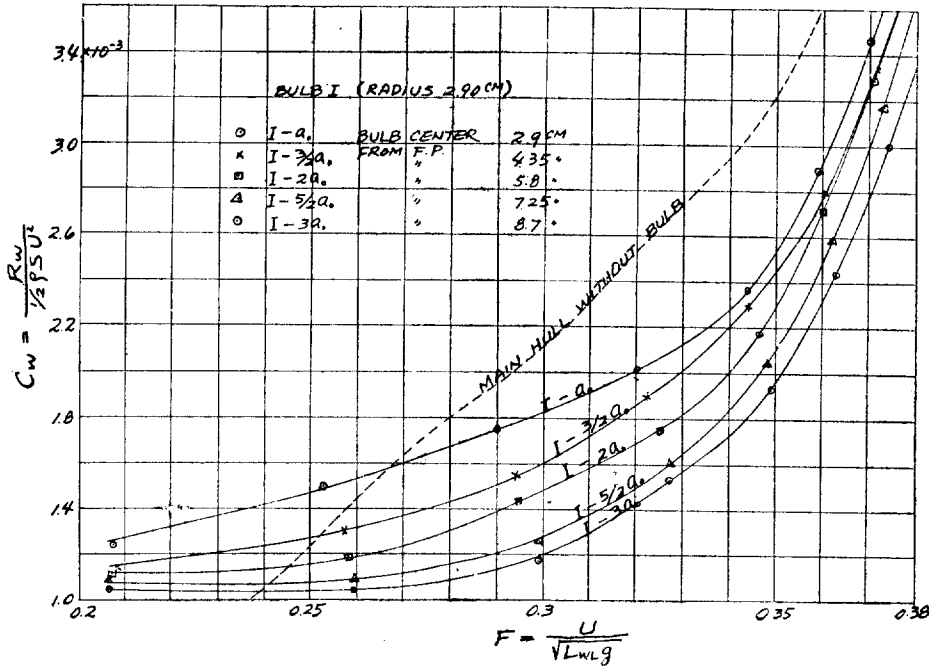


Fig. 7-1 Resistance Test Results with Bulb I

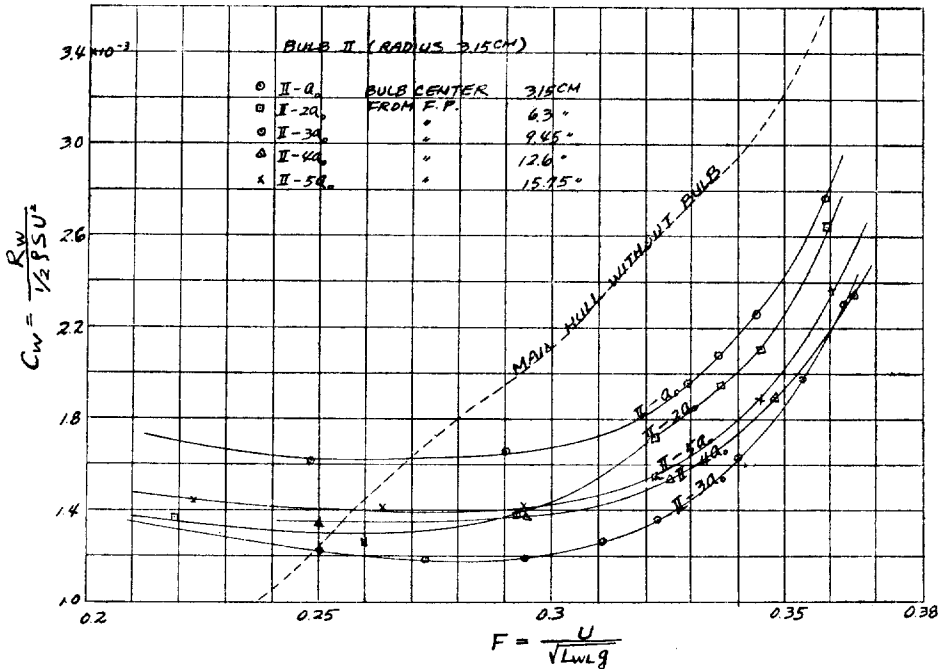


Fig. 7-2 Resistance Test Results with Bulb II

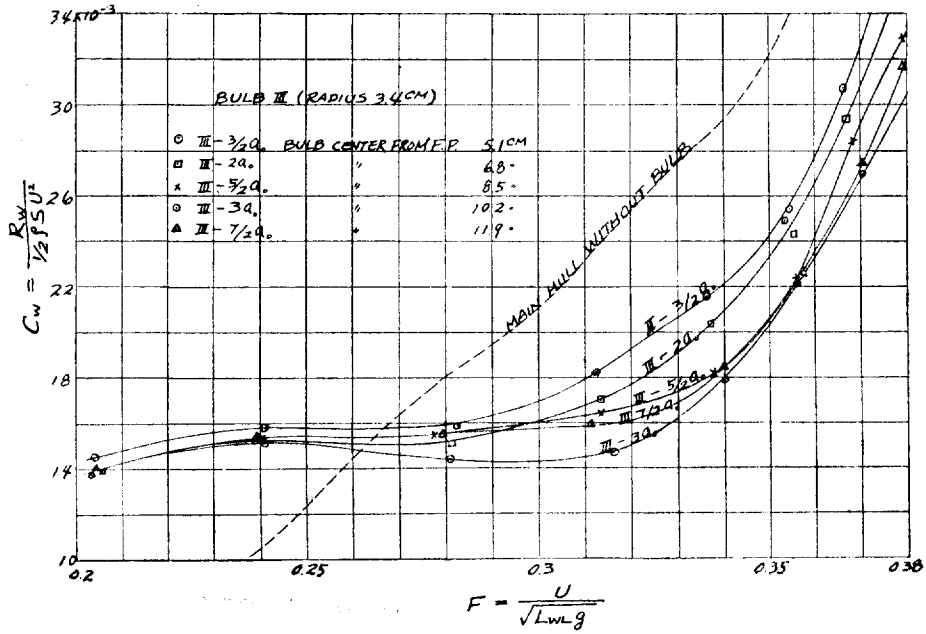


Fig. 7-3 Resistance Test Results with Bulb III

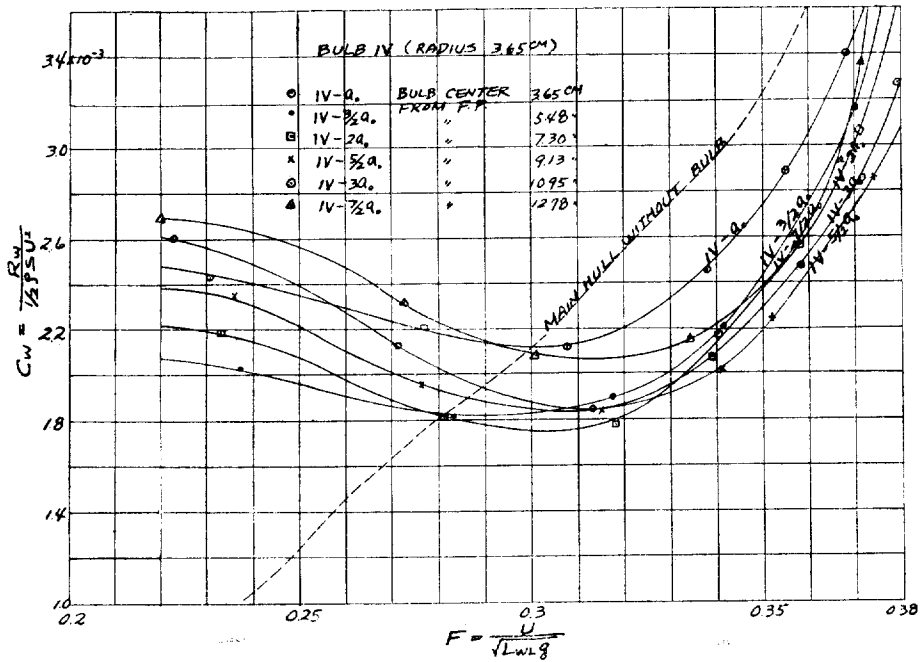


Fig. 7-4 Resistance Test Results with Bulb IV

Table 8 Comparison of Effective Horse Power

$\frac{U}{\sqrt{Lg}}$	Speed(knots)	EHP		$\frac{(EHP)_1 - (EHP)_0}{(EHP)_0} \times 100$
		Without Bulb (EHP) <sub>0</sub>	With Bulb II-3a <sub>0</sub> (EHP) <sub>1</sub>	
0.200	6.182	12.4	15.8	+27.6
0.225	6.955	18.7	21.9	+17.2
0.250	7.728	28.7	29.2	+ 1.8
0.275	8.501	41.8	38.0	- 9.2
0.300	9.247	58.1	49.5	-14.7
0.325	10.050	80.2	66.1	-17.6
0.340	10.500	98.1	79.4	-19.2
0.360	11.130	129.3	105.0	-18.8

여기에 Inui-Takahei 理論을 適用하여 造波抵抗의 減少를 考察하여 보던 다음과 같다. 式(20)과 式(22)로부터 V型船體의 振幅函數와 bulb의 振幅函數는 各各

$$A_F(\theta) = \frac{e^{-K_0 L \sec^2 \theta} - 1}{-K_0 T \sec^2 \theta} \cdot \frac{L}{\pi^3} (K_0 L) a_1 \quad (28)$$

$$B_F(\theta) = 2(K_0 L)^2 L \left(\frac{a_0}{L}\right)^3 \sec^4 \theta e^{-K_0 f \sec^2 \theta} \quad (29)$$

와 같이 變形할 수 있으며 主船體의 船首波에 依한 造波抵抗  $R_{WF}$  와 主船體와 bulb의 複合船首波에 依한 造波抵抗  $R_{WF_B}$  는 各各

$$R_{WF} = \pi \rho U^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{A_F(\theta)\}^2 \cos^3 \theta d\theta \quad (23)$$

$$R_{WF_B} = \pi \rho U^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{A_F(\theta) - B_F(\theta)\}^2 \cos^3 \theta d\theta \quad (24)$$

와 같다. 이들 式으로 數值計算을 하여  $R_{WF}$  와  $R_{WF_B}$  를 算出하고 이것을 抵抗係數로 고쳐 實驗値와 比較해 보기로 한다.

數值計算에 있어서

$$F = 0.24, 0.30, 0.34, 0.38$$

$$a_1 = 0.7, 0.8$$

의 값을 取하였다. Takahei는  $\frac{B}{L}$ 가 크면 클수록 式(28)의  $a_1$ 의 값을 크게 잡을 것을 提案하고 그의 實驗의 供試船型 C101 ( $\frac{B}{L} = 0.0904$ ), C202 ( $\frac{B}{L} = 0.1208$ )에 對하여 各各 0.4, 0.6을 取하였다 [7]. 本試驗의 供試船型의  $\frac{B}{L}$ 는 0.223이며 Takahei의 船型보다 크므로  $a_1$ 은 0.6보다 클 것이 分明하므로  $a_1$ 을 0.7 및 0.8로 잡아 보았다. 또한 實船에 對하여

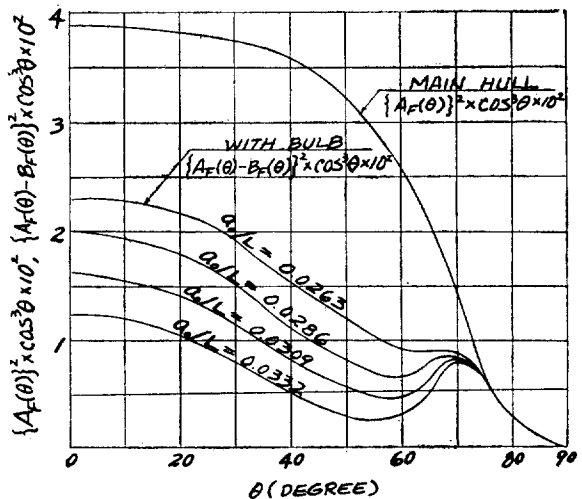


Fig. 8 Curves for Integrand in Wave-making Resistance Integrals (F=0.34)

$L=25.8m, T=1.65m, K_0L=\frac{1}{F^2}$  이고  $f$  는 bulb 에 따라 第6表의 값과 같다.

以上과 같은 값들에 대하여 式(28) 및 式(29)로부터  $A_F(\theta)$  와  $B_F(\theta)$  를 計算한 다음에 第8圖와 같이  $\theta$  에 對한  $[A_F(\theta)]^2 \cos^3 \theta$  및  $[A_F(\theta) - B_F(\theta)]^2 \cos^3 \theta$  의 曲線을 그리고 그 曲線과  $\theta$  軸사이의 面積을 求하여  $R_{WF}$ ,  $R_{WF_B}$  를 計算하고 式(27)로 造波抵抗係數를 算出한바 그 結果는 第9表와 같다.

Table 9 Theoretical Wave Resistance Coefficients for Bow Wave

F	Bulb Radius $a_0$ (cm)	$\frac{a_0}{L}$	Cw at $a_1=0.7$		Cw at $a_1=0.8$	
			With Bulb	Without Bulb	With Bulb	Without Bulb
0.24	2.9	0.0263	$0.041 \times 10^{-3}$	$0.708 \times 10^{-3}$	$0.081 \times 10^{-3}$	$0.927 \times 10^{-3}$
	3.15	0.0286	0.043		0.045	
	3.4	0.0309	0.091		0.066	
	3.65	0.0332	0.193		0.135	
0.30	2.9	0.0263	0.270	1.074	0.432	1.401
	3.15	0.0286	0.180		0.308	
	3.4	0.0309	0.105		0.203	
	3.65	0.0332	0.061		0.122	
0.34	2.9	0.0263	0.508	1.285	0.769	1.680
	3.15	0.0286	0.395		0.603	
	3.4	0.0309	0.287		0.468	
	3.65	0.0332	0.199		0.353	
0.38	2.9	0.0263	0.928	1.718	1.294	2.243
	3.15	0.0286	0.800		1.132	
	3.4	0.0309	0.689		0.964	
	3.65	0.0332	0.530		0.796	

第9表의 理論値를 考察할 때 Froude 數에 따라 서로 다르기는 하지만 大體로 (45~90)%의 船首造波抵抗의 減少가 可能할 것이고 計劃 Froude 數 0.34 에 있어서는 (55~85)%의 減少가 可能할 것이다.

한편 第7表에서 實驗値를 볼 때 供試船型의 計劃速力에 該當하는  $F=0.34$  에 있어서 bulb 가 없는 主船體의 全造波抵抗係數  $C_w$  는  $2.95 \times 10^{-3}$  이고 Bulb II 의  $C_w$  는  $1.63 \times 10^{-3} \sim 2.17 \times 10^{-3}$  이다. Bulb 가 없는 主船體에 있어서 船首波에 의한 抵抗이 船尾波 및 前後의 shoulder wave 에 의한 抵抗과 大體로 同一하여 船首波에 의한 抵抗이 全造波抵抗의 50%를 차지한다고 하면 船首波에 의한 造波抵抗係數는  $1.475 \times 10^{-3}$  이며 bulb 가 붙은 船體의 船首波에 의한 造波抵抗係數는  $1.63 \times 10^{-3} \sim 2.17 \times 10^{-3}$  에서 船尾波 및 前後 shoulder wave 에 의한 造波抵抗係數  $1.475 \times 10^{-3}$  를 뺀  $0.155 \times 10^{-3} \sim 0.695 \times 10^{-3}$  이다. 이것은 原來  $1.475 \times 10^{-3}$  이던 造波抵抗係數가 bulb 로 因하여 (10.5~47.5)%로 減少되었다는 것 即 船首의 造波抵抗이 (52.5~89.5)% 減少되었음을 意味한다. 이 數字는 理論値와 大體로 合致한다. Froude 數 0.34 以上에 있어서도 實驗과 計算의 結果는 合致하고 相當한 消波效果를 期待할 수 있을 것이 豫測된다.

이로서 Inui-Takahei 理論은 沿岸客船과 같이 船型이 特異하며 高 Froude 數 領域에서 運航되는 船舶에도 適用되어 充分한 效果를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 3) Bulb 의 位置의 影響

第7圖에서 bulb 의 中心位置가 造波抵抗係數에 미치는 影響을 보면 bulb 의 中心位置가 F.P. 에서 前方으로

移動하면 一定한 限度까지는 造波抵抗係數가 減少되고 그 以上 앞으로 前進하면 오히려 造波抵抗係數가 增加함을 알 수 있다. 그 境界는 Froude 數에 따라 어느 程度 다르지만 Bulb II와 Bulb III에 있어서는 F.P.로부터 前方  $3a_0$ 이고 bulb IV에 있어서는  $\frac{5}{2}a_0$ 이다.

이들 가장 optimum 한 bulb 中心의 關係位置를 表示하면 다음과 같이 大體로 F.P. 前方 (8.2~9.2)%  $L$ 이다.

Bulb II	$3a_0$	9.45 cm	8.5% $L$
Bulb III	$3a_0$	10.2 cm	9.2% $L$
Bulb IV	$\frac{5}{2}a_0$	9.13 cm	8.2% $L$

實際의 船舶에서 일어나는 船首波의 實際의 位相이  $F \leq 0.4$ 의 速度域에 있어서 理論值보다 3~6%  $L$  前進하고 있다는 高幣의 觀測[7] 및 first wave crest 가 船首로 부터 波長의 6% 가량 앞으로 온다는 Niggert의 所論[19]을 參照한 타치타라도  $C_w$ 가 最少가 되는 bulb 中心位置는 그 以上 더 前進되어 있다.

Froude 數 0.34에 있어서 各 bulb의 F.P. 前方  $a_0$  때의 抵抗係數와  $3a_0$  때의 抵抗係數를 比較해 보면 第10表와 같으며 그 差는 大端히 크다.

Table 10 Comparison of Wave Resistance Coefficients based on Bulb Location

	Bulb- $a_0$	Bulb- $3a_0$	Difference	% of difference*
Bulb I	$2.39 \times 10^{-3}$	$1.73 \times 10^{-3}$	$0.66 \times 10^{-3}$	22.3
Bulb II	2.17	1.63	0.54	18.3
Bulb III	** 2.34	1.80	0.54	18.3
Bulb IV	2.51	2.02	0.49	16.6

\* Bulb 없는 主船體의 全抵抗係數  $2.95 \times 10^{-3}$ 에 對한 百分率

\*\* 推算值

大型球狀船首의 消波理論에 있어서 最大의 消波效果를 實現하기 위하여는 主船體와 bulb에 依한 wave의 位相差를  $1/2$  波長差 即 逆位相으로 가져와야 한다는 條件으로 보건, 第10表의 實驗值로 보건 bulb의 位置는 大端히 重要한 것이지만 現在로서는 그 適當한 位置는 個別的으로 實驗에 依하여 決定할 수 밖에 없는 形便이다. Bulb 中心의 系統的인 最近의 實驗으로서는 trawler에 關한 Yokoyama의 實驗[15]이 있으며 過去의 것으로는 Wigley의 實驗[14]이 있다.

沿岸客船에 實際로 bulb를 適用함에 있어서는 條件이 許容하는限 bulb의 中心을 앞으로 前進시켜야 할 것이다.

#### 4) Bulb의 크기의 影響

Bulb의 크기가 造波抵抗에 미치는 影響을 第7圖로 考察하면 低 Froude 數에 있어서는 작은 bulb를 가진 船體일수록  $C_w$ 가 작은 反面에 Froude 數 3.0 以上에 있어서는 Froude 數가 높아질수록 큰 bulb를 가지는 船體가 造波抵抗이 작아진다는 一般的인 傾向을 알 수 있다.

Froude 數 0.24에 있어서 半徑이 3.65 cm인 Bulb IV의  $C_w$ 는  $2.02 \times 10^{-3} \sim 2.48 \times 10^{-3}$ 인데 이것은 漸次로 減少되어 半徑이 2.9 cm인 Bulb I에 있어서는  $1.04 \times 10^{-3} \sim 1.44 \times 10^{-3}$ 으로 大體로 半減된다. 그러나 Froude 數가 0.32~0.34에 이르면 Bulb II, Bulb III의 抵抗은 Bulb I의 것보다 작아지고 Froude 數 0.38에 있어서는 Bulb III, IV의  $C_w$ 가 Bulb I 및 Bulb II의 것보다도 若干 작아진다.

한편 理論的인 면에서 bulb의 크기와 造波抵抗의 關係를 생각해 볼때 第9表는 Froude 數 0.24에 있어서 작은 bulb가 작은 편이 좋으나 Froude 數 0.3 以上에 있어서는 모두 bulb가 큰 편이 造波抵抗係數가 작다는

것을 나타내고 있다.

理論値와 實驗値의 比較를 좀더 明確히 하기 위하여 Froude 數 0.34 에 있어서의 實驗値를 bulb 마다 21 면에 있어서와 같은 方法으로 取扱하면 第11表와 같은 一覽表를 얻을 수 있다.

Table 11 Separation of  $C_w$

F	Bulb	Bulb Radius $a_0$ (cm)	Total $C_w$ (With Bulb)	Bow Wave $C_w$ (With Bulb)	Bow Wave $C_w$ (Without Bulb)
0.34	Bulb I	2.9	1.73~2.29×10 <sup>-3</sup>	0.255~0.815×10 <sup>-3</sup>	1.475×10 <sup>-3</sup>
	Bulb II	3.15	1.63~2.17	0.155~0.695	
	Bulb III	3.4	1.80~2.22	0.325~0.745	
	Bulb IV	3.65	2.02~2.23	0.545~0.755	

第11表의 實驗値를 第9表의 이에 對應하는 理論値와 比較하여 보면 Bulb I 과 Bulb II에 있어서의  $C_w$ 가 大體로 合致하지만 Bulb III과 Bulb IV에 있어서의 合致하지 않고 實驗値가 理論値보다 크다는 것을 알 수 있다.

理論的으로는 bulb 가 크면  $C_w$  가 減少되어야 할 것인데 實驗에 있어서의 오히려 增加되어 있다. 이것은 大型球狀船首의 理論展開에 있어서 bulb 를 doublet 로 생각한 것인데 現實의 bulb 는 完全한 球도 아니고 船體로부터 길게 뻗어 있기 때문에 생긴 差異라고 할 수 밖에 없다.

그러나 Froude 數가 더 커지면 큰 bulb 가 좋아진다는 點으로 보아 全般的인 傾向으로는 理論과 實驗이 어느 程度 合致한다고 할 수 있다.

**B. 淺水에 있어서 大型球狀船首가 造波抵抗減少에 미치는 影響**

**1) 實驗結果**

深水에서 가장 消波效果가 큰 Bulb II group 의 各種 bulb(第4-2圖)를 가지는 船體에 對하여 水深 11.50 cm ( $\frac{\text{水深}}{\text{吃水}} = \frac{H}{T} = 1.63$ ), 14.08 cm ( $\frac{H}{T} = 2.0$ ), 21.12 cm ( $\frac{H}{T} = 3.0$ ) 및 28.16 cm ( $\frac{H}{T} = 4.0$ )에 있어서 抵抗試驗을 實施하고 또한 bulb 가 없는 主船體의 淺水試驗도 同一한 水深에서 施行한바 그 結果는 各各 第9圖 및 第10圖와 같다.

이들 曲線에 있어서 抵抗係數  $C$  는 全抵抗係數  $C_T$  에서 Schoenherr 의 摩擦抵抗係數  $C_F$  를 控除한 것으로서 深水 때는 宜當 造波抵抗係數  $C_w$  와 同一하지만 淺水의 경우에 있어서의 造波抵抗係數外에 淺水로 因한 餘他 抵抗의 增加分도 包含되어 있는 값이다. 또한  $R$  는 抵抗係數  $C$  에 對應하는 抵抗値이다.

**2) Bulb 가 없는 主船體의 淺水影響**

一般的으로 淺水에 있어서 船體抵抗의 增加는 水深이 얕아짐으로 船底에 沿한 相對流速이 加速되어 摩擦抵抗이 增加하고 造波現象이 變化하여 造波抵抗이 增加하며 船尾부에 있어서 水壓의 變化에 따른 造渦現象도 激甚해지는 까닭에 일어난다고 할 수 있다.

Schlichting [20]은 船首의 造波抵抗은 主로 transverse wave 의 波長만에 依하여 그 값이 決定된다고 假定하고 淺水中을 速度  $U$  로 航走하는 배의 transverse wave 의 波長은 同船이 深水海面에 있어서의 速度  $U_0$  로 發生하는 transverse wave 의 波長과 同一할때 兩者의 造波抵抗은 同一하다고 생각하였다. 이 波長을  $\lambda$ , 波의 傳播速度 即 배의 速度를  $U$ , 水深을  $H$  라고 하면

$$U = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi H}{\lambda}}$$

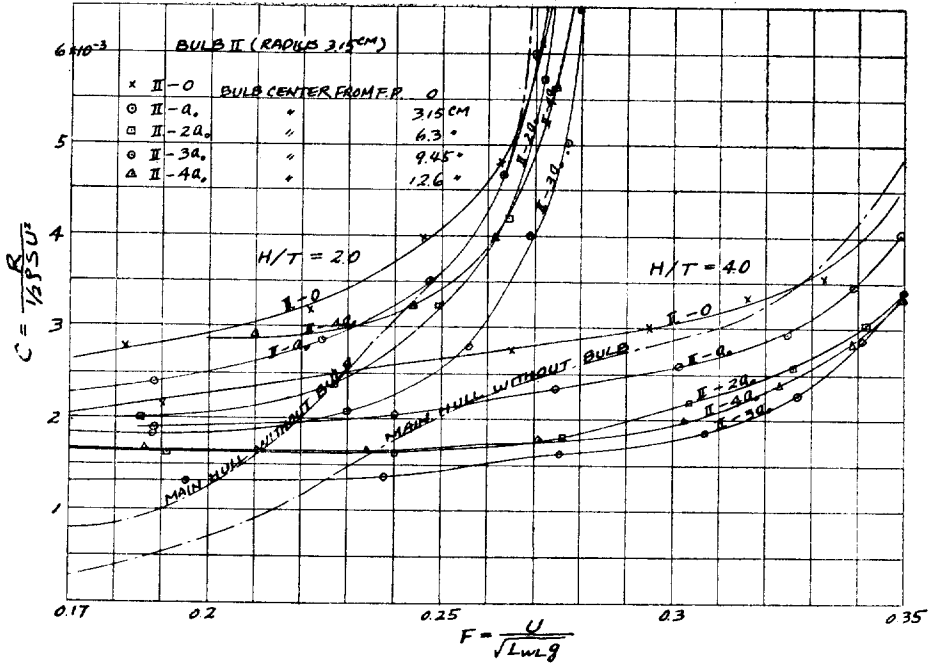


Fig. 9-1 Shallow Water Effect — with Bulb II. H/T = 2.0, 4.0

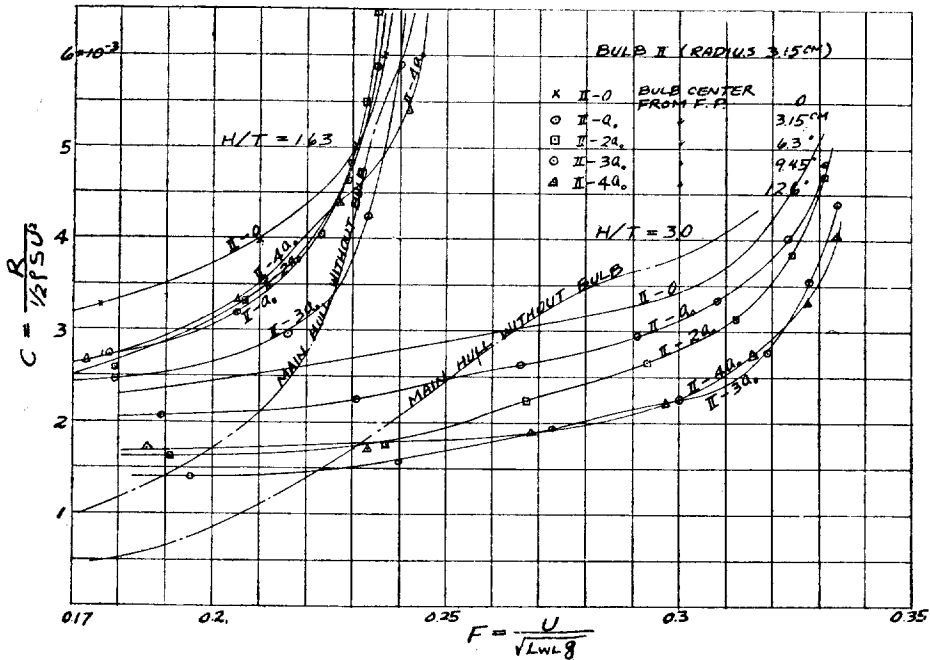


Fig. 9-2 Shallow Water Effect — with Bulb II. H/T = 1.63, 3.0



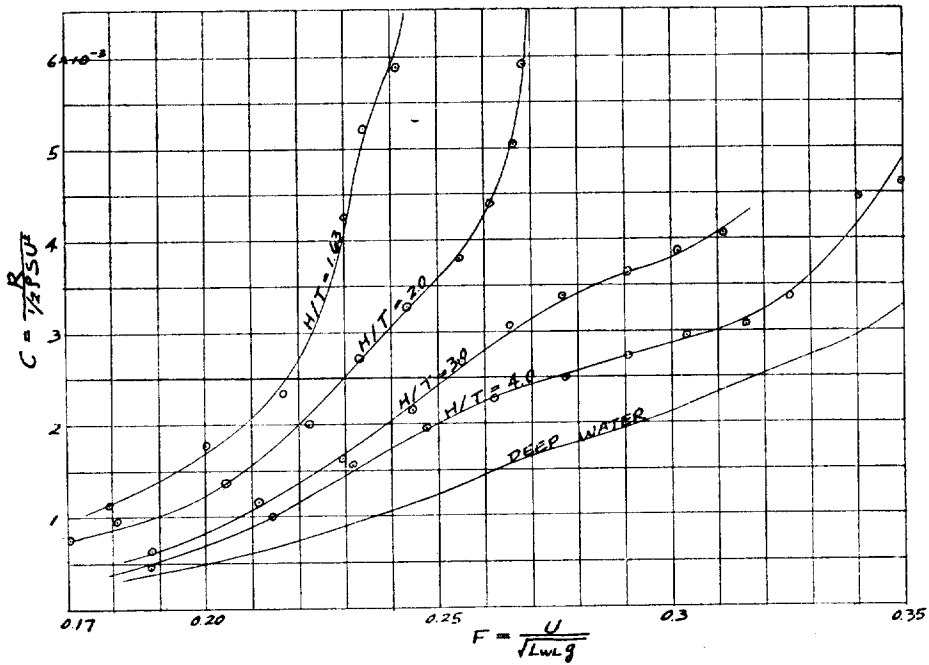


Fig. 10 Shallow Water Effect—Main Hull without Bulb

$H$ 가 充分이 큰 深水인 경우에는

$$\begin{aligned}
 U_0 &= \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \\
 \therefore \frac{U}{U_0} &= \sqrt{\tanh \frac{2\pi H}{\lambda}} = \sqrt{\tanh \frac{2\pi gH}{2\pi U_0^2}} = \sqrt{\tanh \frac{gH}{U_0^2}} \\
 &= \sqrt{\tanh \frac{H}{F^2 L}} \tag{30}
 \end{aligned}$$

이다.

또한 Weinblum [21]은 造波抵抗에 의한 淺水影響이 나타나는 限界는

$$\begin{aligned}
 \tanh \frac{2\pi H}{\lambda} &< 0.95 \\
 \frac{2\pi H}{\lambda} = \frac{H}{F^2 L} &< 1.83 \tag{31}
 \end{aligned}$$

이라고 提示하였다.

한편 摩擦抵抗을 생각할 때 Yamagata [22]에 의하면 水深이 작아질 때에는 船體와 그 周圍의 물의 平均相對速度  $U_m$  는 近似的으로

$$U_m = \sqrt{U^2 + g\{(1 \pm 2n)S_f + (1 \mp 2n)S_a\}} \tag{32}$$

와 같이 加速되어 摩擦抵抗이 增加되며, 摩擦抵抗의 增加率은 水深이 比較的 작은 때 水深이 減少됨에 따라 激增加고 또한 同一한 水深에 있어서는 Froude 數가 增加함에 따라 增加한다. 式(32)에서  $U$ 는 船의 前進速度,  $S_f$  및  $S_a$ 는 各各 水線의 前端 및 後端에 있어서의 船體의 沈下量,  $n$ 는 船體中央에서 浮面心까지의 距離를 船의 길이로 나눈 값이다.

供試船型에 있어서 bulb가 없는 主船體의 淺水에 있어서의 抵抗의 增加狀況은 第10圖로서 알 수 있지만 이것으로부터 深水에 있어서의 抵抗係數  $C_w$  에對한 各水深에 있어서의 抵抗係數  $C$  의 比를 算出하면 第11圖과 같다. 그것으로서  $H/T=4.0$  및  $H/T=3.0$  에 있어서는  $C/C_w$  의 값은 그다지 크지 않고 大體로 2以內이지만  $H/T=2.0$  및  $H/T=1.63$  으로 水深이 淺아짐에 따라  $C/C_w$  는 增大하고 一定한 Froude 數에서부터는 더욱 激增함을 알 수 있다.

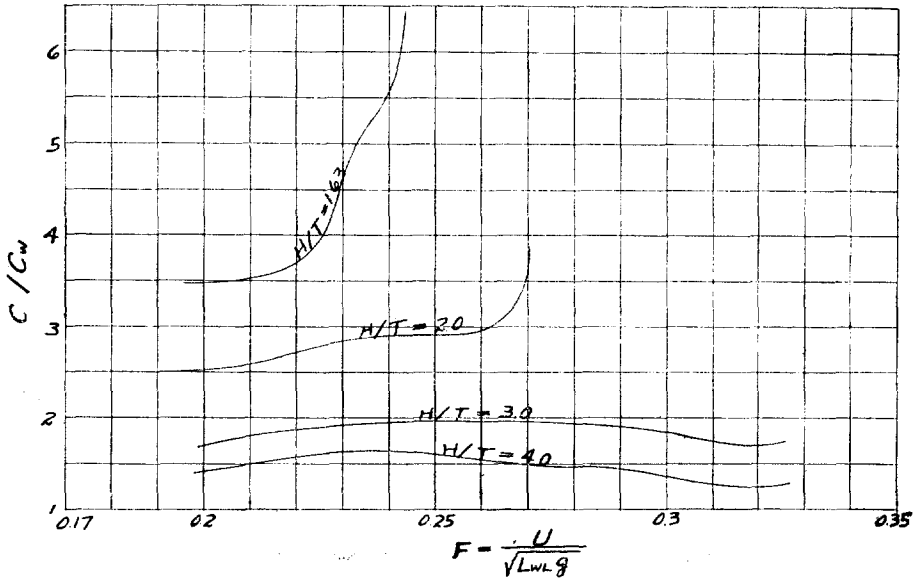


Fig. 11 Ratio of Shallow Water Resistance Coefficient ( $C$ ) to Deep Water Resistance Coefficients ( $C_w$ )—without Bulb.

$H/T=3.0$  까지 에 있어서  $C/C_w$  가 그다지 크지 않다는 것은 淺水影響이 크게 나타나지 않고 그 成分에 있어서도 造波抵抗, 摩擦抵抗 및 造渦抵抗이 各各 若干 增大된 것이라 할 수 있다.

$H/T=2.0$ ,  $H/T=1.63$  으로  $H/T$  의 값이 淺아짐에 따라  $C/C_w$  가 보다 커진다는 것은 水深이 淺아짐에 따라 모든 成分抵抗이 增大된 때문이지만 特히  $H/T=2.0$  에서는 Froude 數 0.26,  $H/T=1.63$  에 있어서는 Froude 數 0.22 附近에서부터  $C/C_w$  가 激增하기 시작한다는 것은 主로 造波抵抗의 激增에 起因한 것이라 할 수 있다.

式(31)을 引用하여 供試船型에 있어서  $\frac{H}{T^2L} = 1.83$  이 成立하는 水深  $H$  와 Froude 數  $F$  와의 關係를 보면 第12表와 같으며 이 表中의 Froude 數는 各水深에 있어서 特히 造波抵抗에 依한 淺水影響이 뚜렷하게 나타나기 始作하는 點을 意味하는데 이것을 實驗値와 比較해 보면  $H/T=1.63$  에 있어서는 實驗値가 若干 작고

Table 12

$H(\text{cm})$	$H/T$	$F$
28.16	4.0	0.375
21.12	3.0	0.324
14.08	2.0	0.264
11.50	1.63	0.239

但,  $L=110.1 \text{ cm}$ ,  $T=7.04 \text{ cm}$

$H/T=2.0$ 에 있어서는 거의 一致하며  $H/T=3.0$ 과  $H/T=4.0$ 에 있어서는 分明치 않다.

이와 같이  $C/C_w$ 의 값이 큰 部分의 抵抗增加는 造波抵抗의 增加에 基因하는 것이지만 水深에 따른 摩擦抵抗의 增加率은 船體의 形狀에 따라 極甚하게 變化하는 것이 普通이고 또한 造渦現象의 促進狀況도 判別하기 困難한 것이므로 造波抵抗의 增加를 定量的으로 究明하기는 힘들다.

3) Bulb 를 가진 船體의 淺水影響

大型球狀船首를 가진 船體의 淺水에 있어서의 抵抗의 增加狀況은 第9圖로서 綜合적으로 알 수 있다. 그러나 個別的인 各 bulb의 淺水影響은 第9圖 및 第7-2圖에서 一定한 bulb에 對한 曲線을 골라내어 各 bulb에 對한 深水 및 各 淺水의 抵抗曲線이 組合되어 있는 第12圖(Bulb II-3  $a_0$ 에 對한 것)와 같은 圖表를 만들고 또한 이들로부터  $C/C_w$ 를 表示하는 第13圖와 같은 圖表를 作成함으로써 좀더 明確하게 判斷할 수 있다.

一定한 水深에 있어서 Froude 數와  $C/C_w$ 와의 關係를 보면  $H/T=4.0$ 에 있어서  $C/C_w$ 는 Froude 數에 따라 漸進적으로 增加하고 있다. 이것은 水深이 比較的 깊으므로 造波抵抗에 依한 淺水影響이 별로 나타나지 않은 때문이라고 할 수 있다.  $H/T=3.0$ 에 있어서  $C/C_w$ 는 Froude 數가 0.32인 附近에서 上昇할 氣勢를 보이고 있는데 이것은 造波抵抗의 增加가 甚해지기 시작한 것이며 이 Froude 數는 第12表의 計算値와 一致한다.  $H/T=2.0$ 에 있어서는 Froude 數가 0.24~0.25에서부터  $C/C_w$ 가 커지기 시작하며  $H/T=1.63$ 에 있어서는 Froude 數가 0.20~0.22에서 벌써 造波抵抗의 影響을 크게 받기 시작한다. 이같은 點들은 大體로 bulb가 없는 船體에 있어서의 諸傾向과 同一한 것이지만 造波抵抗의 影響이 介入되는 Froude 數가 若干 작아진 感이 있다.

한편 水深에 따른 抵抗係數의 增加傾向을 第13圖와 第13表(第11圖와 第13圖로부터 作成한  $C/C_w$ 의 比較表)로서 보면 다음과 같다. 水深이 比較的 깊은  $H/T=4.0$ ,  $H/T=3.0$ 까지에 있어서 抵抗係數의 增加는

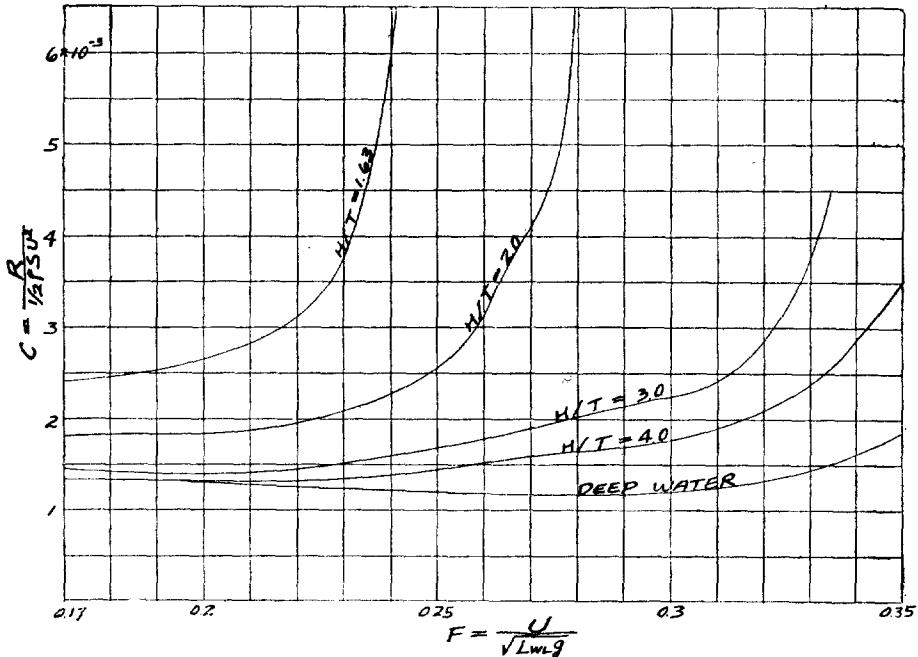


Fig. 12 Shallow Water Effect — Bulb II-3  $a_0$

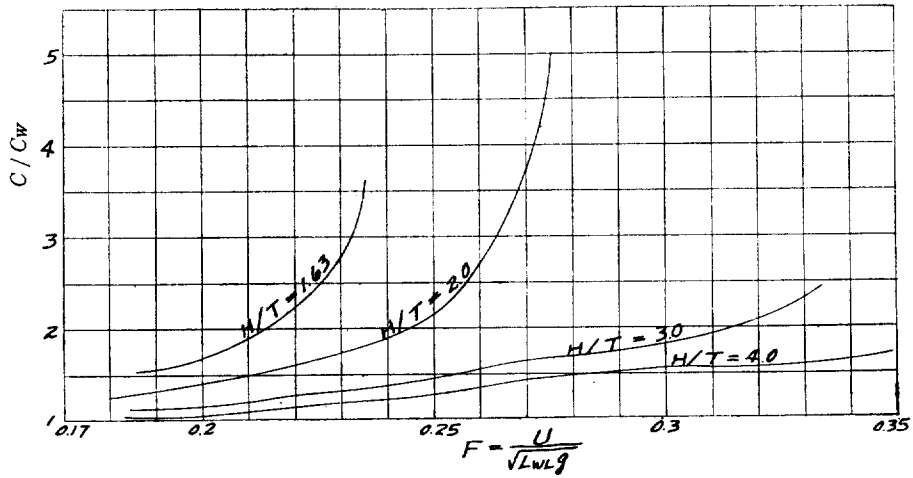


Fig. 13-1 Ratio of Shallow Water Resistance Coefficients ( $C$ ) to Deep Water Resistance Coefficients ( $C_w$ ) — Bulb II- $a_0$

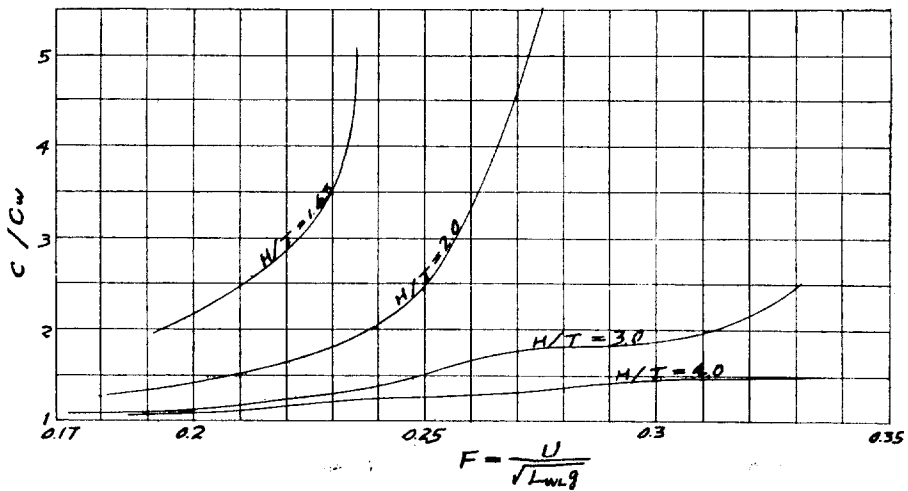


Fig. 13-2 Ratio of Shallow Water Resistance Coefficients ( $C$ ) to Deep Water Resistance Coefficients ( $C_w$ ) — Bulb II-2  $a_0$

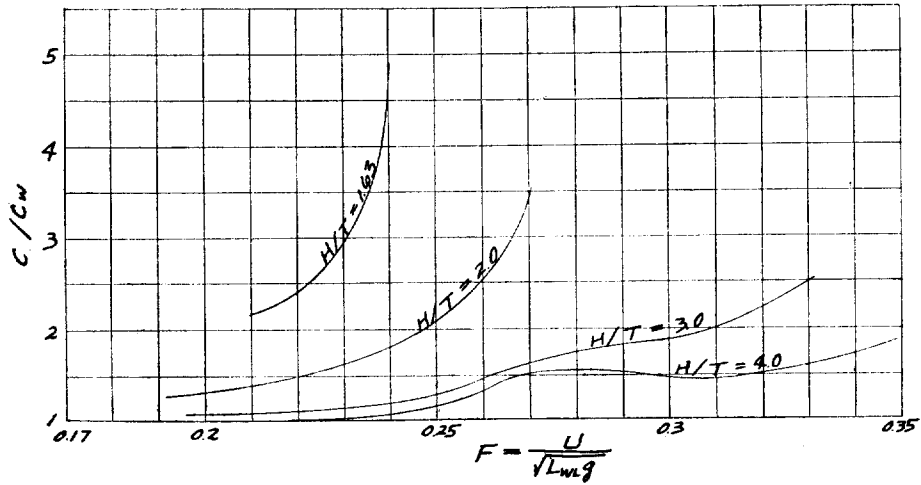


Fig. 13-3 Ratio of Shallow Water Resistance Coefficients ( $C$ ) to Deep Water Resistance Coefficients ( $C_w$ ) — Bulb II-3  $a_0$

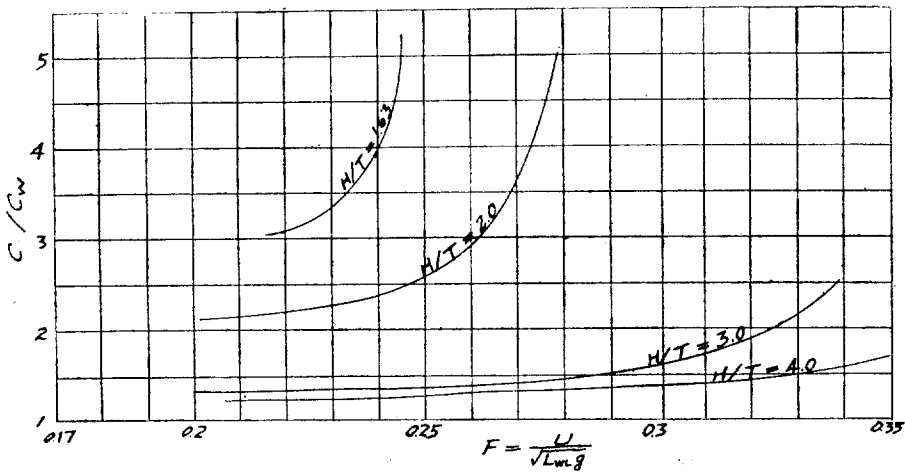


Fig. 13-4 Ratio of Shallow Water Resistance Coefficients ( $C$ ) to Deep Water Resistance Coefficients ( $C_w$ ) — Bulb II-4  $a_0$

Table 13 Summary of Ratio of Shallow Water Resistance Coefficients to Deep Water Resistance Coefficients,  $C/C_w$

F	H/T=4.0		H/T=3.0		H/T=2.0		H/T=1.63	
	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>
0.34	1.42	1.50~1.72						
0.32	1.25	1.48~1.57	1.70	1.93~2.23				
0.30	1.35	1.40~1.55	1.85	1.62~1.88				
0.28	1.47	1.35~1.56	1.92	1.45~1.80	*4.00	*3.47~4.65		
0.26	1.55	1.28~1.35	1.96	1.38~1.66	2.93	2.54~2.94		
0.24	1.64	1.08~1.26	1.93	1.20~1.40	2.88	1.90~2.38	5.55	3.97~
0.22	1.57	1.02~1.22	1.86	1.10~1.34	2.72	1.48~2.20	3.67	2.20~3.07
0.20	1.40	1.00~1.10	1.70	1.08~1.17	2.52	1.40~2.10	3.44	1.70~

\* F=0.27에 대한 값

그나지 크지않고 H/T=2.0, H/T=1.63으로水深이 얇아질에 따라 抵抗係數의 增加가 激甚해지고 있다. 이것은 淺水影響의 一般的 特性으로서 bulb가 없는 船體의 경우와 傾向에 있어서는 大體로 同一하다. 그러나 第13表에 依하면 bulb를 가진 船體의 C/C<sub>w</sub>는 bulb가 없는 船體의 것에 比하여 Froude數가 0.30以下에 있어서 훨씬 작다. 또한 各 bulb別로 볼 때水深이 얇은 H/T=2.0, H/T=1.63에 있어서 bulb의 中心이 船體에 가장 가까운 Bulb II-a<sub>0</sub>의 C/C<sub>w</sub>가 가장 작고 中心이 船體에서 가장 멀리 떨어진 Bulb II-4 a<sub>0</sub>의 C/C<sub>w</sub>가 가장 크다.

Bulb를 가진 船體의 淺水에 있어서의 抵抗係數는 bulb가 없는 船體의 것에 比하여 一定한 Froude數 以上에 있어서 大端히 작아짐을 第9圖로서 쉽게 알 수 있는데 이것은 다음 節에서 더具體적으로 論하기로 한다.

Bulb를 가진 船體의 淺水影響을 bulb가 없는 船體의 것에 比하면 以上과 같이 (1) 一定한 Froude數 以上에 있어서 抵抗이 작고 (2) 造波抵抗에 依한 影響을 받는 Froude數가 全般的으로 若干 작아지는 傾向이 있으며 (3) C/C<sub>w</sub>는 Froude數 0.30以下에 있어서 훨씬 작고 또한 bulb의 中心이 主船體쪽에 가까울수록 작아진다.

一定한 Froude數 以上에 있어서 抵抗이 작아진다는 것은 大型球狀船首가 淺水에 있어서도 消波效果를 가진다는 것을 뜻하고 C/C<sub>w</sub>가 작아진다는 것은 Froude數가 작은 領域에서 適用된다는 點으로 보아 bulb의 直接的인 消波效果라고는 보기가 困難하고 bulb의 消波外的 二次的인 效果라고 밖에 할 수 없다.

4) 淺水에 있어서 大型球狀船首의 消波效果

前節에서 bulb를 가진 船體의水深과 抵抗係數와의 關係 및 抵抗係數의 增加傾向을 考察하였지만 本節에 있어서는 bulb를 가진 船體의 淺水에 있어서의 抵抗係數를 bulb가 없는 船體의 것과 比較하여 大型球狀船首의 淺水에 있어서의 消波效果를 考察하기로 한다.

Bulb를 가진 船體와 bulb가 없는 船體의 淺水에 있어서의 抵抗係數는 第9圖와 第10圖에 나타나 있는바 bulb가 없는 船體의 것을 基準으로 한 抵抗係數의 增減百分率은 各水深에 對하여 第14表와 같고 또한 深水에 對하여는 第15表와 같다.

第14表와 第9圖로서 bulb를 가진 船體의 抵抗係數는 bulb가 없는 船體의 것보다 大體로 Froude數가 0.24以下에 있어서는 크지만 Froude數 0.24以上에 있어서는 훨씬 작음을 알 수 있다. 이것을 17面 2節에서 論述한 深水의 경우의 Froude數 0.25~0.28과 比較해 보면 若干 低下되어 있다.

Table 14 Summary of Resistance Coefficients in Shallow Water

F	H/T=4.0			H/T=3.0			H/T=2.0			H/T=1.63		
	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	±(%)	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	±(%)	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	±(%)	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	±(%)
0.34	×10 <sup>-3</sup> 4.17	×10 <sup>-3</sup> 2.88~3.53	×10 <sup>-3</sup> -31.0~15.4									
0.32	3.25	2.10~2.88	-35.4~11.2	×10 <sup>-3</sup> 4.50	×10 <sup>-3</sup> 2.85~3.84	×10 <sup>-3</sup> -36.7~14.6						
0.30	2.89	1.77~2.57	-39.0~11.0	3.81	2.26~3.13	-40.6~17.8						
0.28	2.60	1.65~2.40	-40.3~7.5	3.45	1.98~2.78	-42.5~19.5	* ×10 <sup>-3</sup> 7.0	* ×10 <sup>-3</sup> 4.10~5.90	×10 <sup>-3</sup> -41.4~15.5			
0.26	2.27	1.52~2.20	-32.9~3.0	2.85	1.80~2.60	-36.7~8.6	4.30	3.13~4.30	-27.0~0			
0.24	1.77	1.38~2.05	-22.0~+16.0	2.07	1.60~2.35	-22.7~+13.5	3.10	2.28~3.25	-26.4~+5.0	×10 <sup>-3</sup> 5.95	×10 <sup>-3</sup> 5.25~	×10 <sup>-3</sup> -11.7~
0.22	1.18	1.33~1.96	+13.0~66.0	1.40	1.46~2.17	+4.5~55.0	2.02	1.95~2.78	-3.5~+37.5	3.75	3.13~4.05	-16.5~+8.0
0.20	0.70	1.32~1.92	+89~174	0.85	1.41~2.10	+65.4~147	1.27	1.84~2.51	+45.2~97.8	1.72	2.65~3.18	+54.0~85.0
0.18				0.85			0.85	1.84~2.35	+117~176	1.17	2.47~2.76	+211~237

\* F=0.27에 대한 값

Table 15 Wave Resistance Coefficients in Deep Water

F	C <sub>w</sub> × 10 <sup>-3</sup>		±(%)	F	C <sub>w</sub> × 10 <sup>-3</sup>		±(%)
	Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>			Without Bulb	Bulb II a <sub>0</sub> ~II 4a <sub>0</sub>	
0.36	3.62	2.19~2.83	-39.5~21.5	0.28	1.81	1.18~1.64	-34.7~9.3
0.34	2.95	1.63~2.17	-44.8~26.5	0.26	1.46	1.20~1.63	-17.7~+11.5
0.32	2.54	1.34~1.82	-45.2~25.5	0.24	1.06	1.25~1.65	+17.6~55.5
0.30	2.13	1.21~1.68	-43.2~21.2	0.22	0.76	1.31~1.70	+72.0~124

또한 第 14 表와 第 15 表로서 淺水와 深수에 있어서의 bulb 가 없는 船體에 對한 bulb 를 가진 船體의 抵抗增減率을 比較해 보면 F > 3.0 에 있어서는 深水 때의 減少率이 크고 F < 0.28 에 있어서는 淺水 때의 減少率이 크다. 그러나 이것은 水深이 淺아짐으로 速力이 全般的으로 低下된 때문에 일어난 shifting 이라 할 수 있을 것이고 淺수에 있어서 bulb 가 없는 船體에 對한 bulb 가 있는 船體의 抵抗減少率은 深水 때의 것보다 全般的으로 若干 작다고 할 수 있다.

그러나 造波抵抗만의 見地에서 본다면 造波抵抗의 減少率은 第 14 表의 減少率보다 더 클 것이다. 第 15 表에서 보는 深水 때의 bulb 를 가진 船體의 抵抗減少率은 純全히 造波抵抗만을 基準으로 한 것이지만 第 14 表에서 보는 淺수에 있어서 bulb 를 가진 船體의 抵抗減少率은 造波抵抗과 摩擦抵抗 및 造渦抵抗의 增加分도 包含한 C 값을 基準으로 한 것이다. 即 第 9 圖와 第 14 表의 抵抗係數 C 는

$$C = C_w + \Delta C$$

$$= C_w + \Delta C_w + \Delta C_F + \Delta C_E$$

여기서

- C<sub>w</sub> = 深水에 있어서의 造波抵抗係數
- ΔC<sub>w</sub> = 淺수로 인한 造波抵抗係數의 增加量
- ΔC<sub>F</sub> = 淺수로 인한 摩擦抵抗係數의 增加量
- ΔC<sub>E</sub> = 淺수로 인한 造渦抵抗增加량을 係數化한 값

이라고 할 수 있다. 深水에 있어서의 抵抗係數減少率(第 15 表의 값)은 δC<sub>w</sub> 를 bulb 가 있는 때와 없는 때의 抵抗係數의 差라고 하면  $\frac{\delta C_w}{C_w}$  이고 淺수에 있어서의 抵抗係數減少率(第 14 表의 값)은 ΔC<sub>F</sub> + ΔC<sub>E</sub> 가 bulb 의 有無에 關係없이 一定하다고 假定하면  $\frac{\delta C_w}{C} = \frac{\delta C_w}{C_w + \Delta C_w + \Delta C_F + \Delta C_E}$  로서 確實히 後者 即 第 14 表의 값은 第 15 表의 값보다 작게 나와 있다

이 때까지 모든 bulb 는 一括적으로 생각하였지만 各 bulb 를 個別的으로 보면 第 9 圖로부터 bulb 의 中心位置에 따라 抵抗係數는 相當히 큰 差가 있음을 알 수 있다. Bulb 의 中心位置가 F.P.에서 前方으로 移動하면 3a<sub>0</sub> 即 9.45 cm 까지는 抵抗係數가 減少되고 그 以上 前進하면 오히려 抵抗係數가 增加되고 있다. 水深에 따라 若干의 例外는 있지만 全領域의 Froude 數에서 同一한 傾向을 보여 주고 있으며 이것은 深水에 있어서의 傾向과 大體로 一致하고 있다.

以上 論述한 바로서 大型球狀船首를 가진 供試船型은 淺수에 있어서도 F ≥ 0.24, H/T ≥ 2.0 의 範圍에서 深水에 있어서와 同一한 程度로 消波效果를 나타내는 것이라고 할 수 있다.

#### IV 結 論

以上과 같은 實驗과 考察을 통하여 大型球狀船首의 沿岸客船에 對한 効用과 淺水影響에 關하여 다음과 같



이 말할 수 있다.

1. Froude 수가 0.34 또는 그 이상이 되는 沿岸客船에 있어서도 大型球狀船首는 造波抵抗係數를 大略 30% 以上 減少시킬 수 있다.
2. 造波抵抗係數는 大型球狀船首의 中心位置가 船首垂線으로부터 8%  $L$  까지 前進할수록 작아진다.
3. 120 GT 沿岸客船에 있어서 가장 適合한 bulb 의 크기는  $a_0/L \approx 0.028$  에 該當한 것이며 이것은 理論値보다는 작은 값이다.
4. 淺水에 있어서 大型球狀船首의 効果는 水深에 對한 吃水의 比가 2.0 인 水深까지도 深水에 있어서와 거의 같은 程度로 크며 造波抵抗만을 考慮한 消波効果는 深水의 경우보다 작지 않다.
5. 水深이 淺아짐으로 因하여 增大된 抵抗의 深水抵抗에 對한 比率는 大型球狀船首를 가진 船體의 경우가 bulb 를 갖지 않는 船體의 경우보다 大體로 작으며 또한 bulb 가 船體에 가까울수록 이와같은 傾向은 顯著하다.

이와 같은 點들로 보아 大型球狀船首는 沿岸客船과 같은 크기가 작고 船型이 獨特하며 Froude 수가 比較的 큰 船舶에 適用하여도 相當한 消波效果를 期待할 수 있으며 淺水에 있어서도 充分한 效果를 얻는 있다고 할 수 있다.

#### 附 記

끝으로 本研究와 關聯된 大型球狀船首의 理論, 淺水影響實驗을 包含한 一般的 實驗方法 등에 關하여 日本國에서 相面한 機會에 많은 敎示와 激勵을 하여 주신 高幣哲夫 教授, 모든 면에서 始終 誠意있는 協力을 하여 주신 黃宗屹 副教授, 本論文의 原稿를 읽고 有益한 助言을 하여 주신 李澤植 教授와 安守漢 副教授, 計算과 作圖에 手筈을 하여 준 李在旭, 權寧中 兩君等 여러분께 深甚한 感謝를 드려 마지 않는 바이다.

#### 參 考 文 獻

- [1] J.H. Michell; The Wave Resistance of a Ship, *Phil. Mag.*, Vol. 45, 1898.
- [2] T.H. Havelock; The Calculation of Wave Resistance, *P.R.S., A*, Vol. 144, 1934.
- [3] 丸尾孟; 造波抵抗 Symposium, p.6. 日本造船協會, 1965.
- [4] T.H. Havelock; Wave Patterns and Wave Resistance, *T.I.N.A.* Vol. 76, 1934.
- [5] Lord Kelvin; On Ship Waves, *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 1887.
- [6] 乾, 高幣, 熊野; 球狀船首의 造波效果에 關する 水槽試驗, 日本造船協會論文集, 第108號, 1960
- [7] 高幣哲夫; Waveless Bow の研究(その 1), 日本造船協會論文集, 第108號, 1960.
- [8] 高幣哲夫; Waveless Bow の研究(その 2), 日本造船協會論文集, 第109號, 1961.
- [9] 熊野道雄; Waveless Stern の研究(その 1), 日本造船協會論文集, 第108號, 1960.
- [10] 熊野道雄; Waveless Stern の研究(その 2), 日本造船協會論文集, 第109號, 1961.
- [11] T. Inui; A New Theory of Wave-Making Resistance Based on the Exact Conditions of the Surface of Ships, *J.S.N.A.* Vol. 93, 1953.
- [12] 乾, 高幣; 高速客船くれない丸における Waveless Bulb の船首波打消に 關する 研究(第1報水槽試驗),

日本造船協會論文集, 第110號, 1961.

[13] T. Inui; Wave-Making Resistance of Ships, *TSNA&ME*, Vol. 70, 1962.

[14] W.C.S. Wigley; The Theory of the Bulbous Bow and its Practical Application, *T.N.E.I.S.*, 1935/36

[15] N. Yokoyama; Fishing Boat of the Waveless Hull Form, 日本造船協會論文集, 第110號, 1961.

[16] B. Yim; On Ship with Zero and Small Wave Resistance, *Proc. of International Seminar of Theoretical Wave-Resistance, Univ. of Michigan*, 1963.

[17] FY 65 商工部標準型船設計報告, 大韓造船學會誌, 3-1, 1966.

[18] 金貞勳; 서울大學校模型試驗水槽, 서울大學校論文集, 理工系, 第12輯, 1962.

[19] E.F. Niggert; From Resistance Experiments, *TSNA&ME*. 1935.

[20] O. Schlichting; Schiffwiderstand auf beschränkter Wassertiefe, *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft*, 1934.

[21] G. Weinblum; Wellenwiderstand auf beschränktem Wasser, *J.S.T.G.*, 1938.

[22] 山縣昌夫; 船型學(上卷) 抵抗篇, 天然社, 1941.