

流線追跡에 의한 實用船型 決定法에 關한 研究

曹 奎 鍾\*

A Study on the Determination of a Practical Ship Hull Form  
by the Streamline Tracing Method

by

Kyu Jong Cho\*

Abstract

Ship hulls obtained by the streamline tracing method usually have characteristically drooped keel lines at the bottom, and a flattening of these bottoms would contribute considerably in utilizing these analytically obtainable hull forms in practical usage.

In this dissertation, the author deals with a study on the determination of a practical hull form by the streamline tracing method with a particular emphasis on the bottom flattening problem. Investigations are centered around the form and the terms of bottom doublet distribution. Several examples are computed by varying bottom doublet sheet systematically while the main side source distribution is kept the same.

The following conclusions are obtained based on those computed results:

The strength of a bottom doublet sheet can be determined more easily and efficiently by employing the concept of a control plane.

If the distance from the distributed plane of the bottom doublet sheet to the control plane is defined as the control distance, the strength of the bottom doublet sheet, the flatness of traced lines, and the increment of the beam length ratio by adding the bottom doublet sheet are all related to the control distance by linear equations near the design bottom.

It is observed that a better result can be obtained by using a "line-sampling method" for  $\zeta_K > 2T/L$ , and a "plane-sampling method" for  $\zeta_K \leq 2T/L$ , provided that the check points are sampled in the range  $\xi \leq 0.7$ .

記 號

- $L$  배의 길이
- $l$  배의 길이의 半, Main Side Source 의 分布面의 길이의 半
- $B$  배의 幅
- $T$  吃水
- $T_0$  特異點 分布의 吃水方向의 分布깊이
- $x, y, z$  任意點의 座標

接受日字 1971年 4月 30日

\* 正會員 仁荷工科學

$x_0, y_0, z_0$	特異點 分布位置의 座標
$\xi, \eta, \zeta$	任意點의 無次元 座標
$\xi_0, \eta_0, \zeta_0$	特異點 分布位置를 無次元化한 座標
$U$	X 軸 方向의 均一速度
$V$	배의 速力
$u, v, w$	攪亂速度成分
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	無次元化한 攪亂速度成分
$u_s, v_s, w_s$	Main Side Source 에 依한 無次元 速度成分
$u_d, v_d, w_d$	Bottom Doublet 에 依한 無次元 速度成分
$F_n$	Froude's Number
$K_0$	$g/U^2, K_0L=1/F_n^2$
$\phi$	速度 Potential
$\phi_s$	Point Source 에 依한 速度 Potential
$a_{ij}$	Main Side Source 系의 分布係數
$d_{ij}$	Bottom Doublet 系의 分布係數
$m(\xi_0, \eta_0, \zeta_0)$	Main Side Source 系의 세기
$M(\xi_0, \eta_0, \zeta_0)$	Point Doublet 의 세기
$d(\xi_0, \eta_0, \zeta_0)$	Bottom Doublet 系의 세기
$\gamma_s$	Main Side Source 系의 分布面
$\gamma_b$	Bottom Doublet 系의 分布面
$m_0$	船首에서의 Main Side Source 系의 세기
$\zeta_K$	調査面
$A_m$	船體中央橫斷面積
$A_w$	船體의 水線面積
$A_{wF}$	船體前半部의 水線面積
$\nabla$	排水量 容積
$\nabla_F$	船體前半部의 排水量 容積
$\Delta$	船體의 排水量
$C_B$	Block 係數
$C_P$	Prismatic 係數
$\alpha$	水線流入角
$W_n$	$B/L$ 或은 $A_{wF}$ 에 對應하는 變分副條件
$V_n$	$A_m$ 或은 $\nabla_F$ 에 對應하는 變分副條件
$V'$	計劃船底 밑으로 치진 排水容積
$t_0$	$2T_0/L$
$\delta$	調整距離(Bottom Doublet 의 分布面부터 調整面까지의 無次元 距離)

- $\zeta_B$  Bottom Doublet 分布面の 位置( $2T_0/L$ )의 座標.
- $(B/L)_s$  Main Side Source 面に 依한 船型의 幅長比.

## I. 序 論

流線追跡法에 依해서 船型을 決定하는데는 主로 Inuid 法과 Pienoid 法의 두가지를 들 수 있다. 그러나 이 두가지 方法들은 모두가 結果의으로 얻어지는 船型의 船底가 아래로 치지는 現象을 나타내는 缺點을 지니고 있다. 이것은 流線追跡法을 써서 얻어진 理論船型을 直接 實用化하지 못하는 決定的인 難點中의 하나이다.

따라서 理論船型 實用化의 關鍵은 平底化問題라 할 수 있다. 本報에서는 이 問題解決을 위하여 平底化의 理論的인 主役을 맡게되는 Bottom Doublet 系에 關하여 그 表示式의 形式과 項數를 檢計하였으며 또한 Main Side Source 의 分布를 固定시킨채 系統的으로 Bottom Doublet 系를 變化시켜서 8種의 船型을 追跡하고 그 結果를 考察하였다. 그 結果 Bottom Doublet 系의 分布세기를 決定하는데 있어서 調整面의 概念을 導入하면 한층더 迅速하게 効率的으로 決定할 수 있음을 究明하였다.

## 2. 理論船型의 實用化

### 2.1 理論船型의 平底化

流線追跡法에 依해서 船型을 決定하는데는 主로 Inuid 法[1]과 Pienoid 法[2]의 두 가지를 들 수 있다.

Pienoid 法[3]에서는 Main Side Source 面に 依한 第一次 對應船型을 그대로 採用하지 않고, 船體內的 船底에 가까운 部分의 水平面에 鉛直軸 Bottom Doublet 系와 Bottom Sink 系를 附加하여 平底化를 企圖하였었다. 그러나 本報에서는 Pienoid 法에 따라 流線追跡된 理論船型의 平底化를 위한 船底特異點系로서 鉛直軸 Bottom Doublet 系만을 採用하기로 한다.

그 理由는 鉛直軸 Bottom Doublet 系만을 附加하면 各 斷面의 形狀은 變하여도 船體의  $C_p$  값은 거의 變하지 않는다는 設計上의 利點이 있는데 反해 Bottom Sink 를 같이 附加하면 船體의  $C_p$  값까지 變한다는 缺點이 있기 때문이다.

本報에서 使用된 座標系는 Fig. 1과 같다.

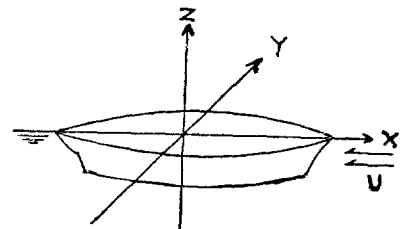


Fig. 1 Co-ordinate System

### 2.2. 特異點의 分布面과 分布面의 位置

Pienoid 法에서는 分布面  $\eta_s(\xi)$ 의 選擇에는 많은 自由度가 있게 된다.  $\eta_s(\xi)$ 는 結果의으로 決定될 船型의 內部에 存在해야 하는 條件이 있으므로 計劃吃水 및 豫想되는 水線의 傾向等を 考慮하여 適切히 判斷하여 決定하면 되지만, 本報에서는 文獻[4]을 參照하여 文獻[5]에서 使用한 것과 같은 比較的 잘 정돈된 式을 採用키로 한다.

即 Main Side Source 의 分布面으로서는

$$\eta_s = 0.1 \{ (1 - \xi^2) \}^2 \tag{1}$$

Bottom Doublet 의 分布面  $\eta_b$  및 分布깊이  $\zeta_B$  로서는

$$\left. \begin{aligned} \eta_b &= 0.10 \left\{ 1 - \left( \frac{\xi}{0.8} \right)^2 \right\}^2 \\ \zeta_B &= 0.09 \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

Main Side Source 와 Bottom Doublet 의 分布面을 圖示하면 Fig.2와 같고 이들 特異點系分布面을 立體的으로 表示하면 Fig.3과 같다.

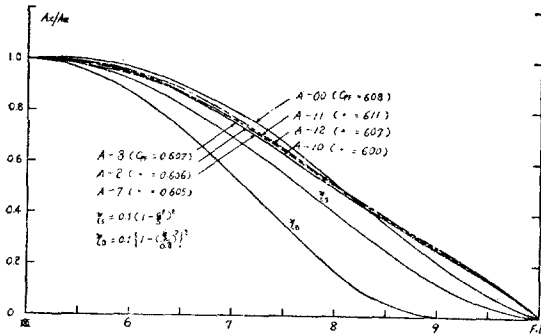


Fig. 2 Distribution Plane of Main Side Source and Bottom Doublet and  $C_{PF}$  Curves of M.S.A Series.

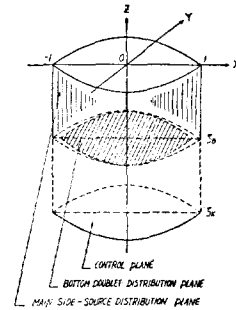


Fig. 3 Singularity Distribution Plane in Piensoid

2.3. 速度成分의 計算

船體가 無限한 理想流體中을 均一한 速度  $U$  로 運動할 때의 流線方程式은

$$\frac{dx}{-U+u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \tag{3}$$

여기서  $u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, v = \frac{\partial \phi}{\partial y}, w = \frac{\partial \phi}{\partial z}$  (4)

와 같이 表示되고,  $\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$ 인 條件을 考慮하여, 自由表面을 固體壁으로 보고, 自由表面에 對한 正鏡象, 即 上下對稱인 二重特異點分布系를 생각하면 速度 potential 은

$$\phi = -\frac{1}{4\pi} \int_s \frac{m(x_0, y_0, z_0)}{R} ds$$

但  $R^2 = (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2$  (5)

$$|x_0| \leq l, |z_0| \leq T_0$$

따라서 船體와 等價인 特異點分布系가 주어지면 (5)式에 依하여 速度成分이 求해지고 이 結果를 써서 (3)式에 關한 流線을 計算하면 目的하는 理論船型이 얻어지는 바, 實際計算에 있어서는 (3)式을 푸는데는 數值解法을 쓰는 것이 普通이고, 또한 無次元化 表示로써 다루는 것이 便하다. 本報에서도 이에따라 배의 길이 의 半  $l$  및 船體의 均一速度  $U$  로써 無次元化한 다음量으로 다루었다.

$$\left. \begin{aligned} \text{即 } u &= U\bar{u}, v = U\bar{v}, w = U\bar{w} \\ x &= l\xi, y = l\eta, z = l\zeta \\ x_0 &= l\xi_0, y_0 = l\eta_0, z_0 = l\zeta_0 \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

$$m(x_0, y_0, z_0) = m(\xi_0, \eta_0, \zeta_0) l^2 U$$

船體內的 鉛直曲面

$$\eta_s(\xi, \zeta) = \alpha(1-\xi^2)^2 \tag{7}$$

上에 그 세기가

$$m(\xi_0, \zeta_0) = \frac{1}{\sqrt{1+(\eta_s^2)_{\xi_0} + (\eta_s^2)_{\zeta_0}}} \cdot \sum_{i=1}^a \sum_{j=0}^b a_{ij} \xi_0^i \zeta_0^j \tag{8}$$

단  $|\xi_0| \leq 1, |\zeta_0| \leq t_0$

로 주어지는 Side Source 系를 分布시켰을 때는  $ds = \sqrt{1 + (\eta_s^2)_{\xi_0} + (\gamma_s^2)_{\zeta_0}} \cdot d\xi_0 \cdot d\zeta_0$  이므로 速度成分  $u_s, v_s, w_s$  는 다음과 같이 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} u_s &= \frac{U}{4\pi} \int_{-1}^1 \int_{-t_0}^{t_0} \left\{ m(\xi_0, \zeta_0) \cdot (\xi - \xi_0) \cdot \left( \frac{1}{r_r^3} + \frac{1}{r_l^3} \right) \right\} d\xi_0 \cdot d\zeta_0 \\ v_s &= \frac{U}{4\pi} \int_{-1}^1 \int_{-t_0}^{t_0} \left\{ m(\xi_0, \zeta_0) \cdot \left( \frac{\eta + \eta_0}{r_r^3} - \frac{\eta - \eta_0}{r_l^3} \right) \right\} \cdot d\xi_0 \cdot d\zeta_0 \\ w_s &= \frac{1}{4\pi} \int_{-1}^1 \int_{-t_0}^{t_0} \left\{ m(\xi_0, \zeta_0) \cdot (\zeta - \zeta_0) \cdot \left( \frac{1}{r_r^3} + \frac{1}{r_l^3} \right) \right\} \cdot d\xi_0 \cdot d\zeta_0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} r_r^2 &= (\xi - \xi_0)^2 + (\eta + \eta_0)^2 + (\zeta - \zeta_0)^2 \\ r_l^2 &= (\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2 + (\zeta - \zeta_0)^2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

一方 船體內의 水平面  $\zeta_0 = -t_0$ ,  $\zeta_0 = t_0$ 에 各各 鉛直上向 및 鉛直下向軸의 Bottom Doublet 系  $M(\xi_0, \eta_0)$ 가  $|\xi_0| < 1$ ,  $|\eta_0| \leq |\eta_b|$ 의 領域에 分布되었을 때 그로 因한 速度 potential 은 다음과 같이 表示된다.

$$\phi(\xi, \eta, \zeta) = \int_{-\xi_0}^{\xi_0} \int_{-\eta_0}^{\eta_0} \left\{ -\frac{\zeta + t_0}{4\pi r_1^3} \cdot M(\xi_0, \eta_0) + \frac{\zeta - t_0}{4\pi r_2^3} \cdot M(\xi_0, \eta_0) \right\} d\xi_0 d\eta_0 \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= (\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2 + (\zeta + t_0)^2 \\ r_2^2 &= (\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2 + (\zeta - t_0)^2 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\eta_b = 0.1 \left\{ 1 - \left( \frac{\xi}{0.8} \right)^2 \right\} \quad (13)$$

$$\text{여기에 } M(\xi_0, \eta_0) = \Sigma \Sigma d_{ij} \xi_0^i \eta_0^j \quad (14)$$

인 Doublet 系가  $\zeta = \pm t_0$ 인 水平面  $\eta_b$  上에 分布되었을 때의 各 速度成分은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} u_d &= \int_{-\xi_0}^{\xi_0} \int_{-\eta_0}^{\eta_0} \frac{3}{4\pi} \cdot M(\xi_0, \eta_0) \cdot (\xi - \xi_0) \left( \frac{\zeta + t_0}{r_1^5} - \frac{\zeta - t_0}{r_2^5} \right) d\xi_0 d\eta_0 \\ v_d &= \int_{-\xi_0}^{\xi_0} \int_{-\eta_0}^{\eta_0} \frac{3}{4\pi} M(\xi_0, \eta_0) \cdot (\eta - \eta_0) \left( \frac{\zeta + t_0}{r_1^5} - \frac{\zeta - t_0}{r_2^5} \right) d\xi_0 d\eta_0 \\ w_d &= \int_{-\xi_0}^{\xi_0} \int_{-\eta_0}^{\eta_0} \frac{M(\xi_0, \eta_0)}{4\pi} \cdot \left\{ \frac{3}{r_1^5} (\zeta + t_0)^2 - \frac{3}{r_2^5} (\zeta - t_0)^2 - \frac{1}{r_1^3} + \frac{1}{r_2^3} \right\} d\xi_0 d\eta_0 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

實際 計算에 있어서는 (9)式은  $\zeta_0$ , (15)式은  $\eta_0$ 에 關해서는 解析積分을 하고,  $\xi_0$  方向으로는 數值積分을 하는 것이 便利하다.

本報에서는 被積分函數의 特殊性을 考慮하여, 速度計算에는 Gauss의 數值積分 公式를 써서 計算하였으며 流線追跡은 Runge Kutta 法을 使用하였다. 또 (7)式의  $\alpha$ 는 0.1로 (8)式의  $a, b$ 는 各各  $a=4, b=0$ 으로, (14)式의  $i, j$ 에는  $i=3$ , 또는 5,  $j=0$ 으로 잡아 計算하였다.

#### 2.4 Bottom Doublet Sheet의 決定

本報에서 Bottom Doublet Sheet를 決定하는대는 다음과 같은 方法을 使用하였다. 即 實船의 船底로 豫想되는 水平面 或은 그에 가까운 位置에 있는 水平面上에 適當數의 調査點을 選擇하여, 이 位置에 있어서의 Main Side Source 系 및 Bottom Doublet 系에 依한 速度의 垂直成分의 自乘平均을 極小化하는 最小自乘法를 採擇하였다. 即 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Bottom Doublet 分布面上에 分布될 Bottom Doublet Sheet를

$$d(\xi_0, \eta_0) = \Sigma \Sigma d_{ij} \xi_0^i \eta_0^j \quad (16)$$

인 多項式으로 表示하고, 實船의 船底로 豫想되는 水平面 或은 이에 가까운 位置에 있는 水平面上의 任意的 點  $K$ 를 任意個 取한다. 이 點에 있어서 (16)式의 單位係數의 各 單項  $\xi_0^i \eta_0^j$ 에 對應하는 速度의 垂直成分을  $[(w_d)_{ij}]_K$ , Main Side Source 系에 依한 速度의 垂直成分을  $[w_s]_K$ 라고 하면  $K$ 點에서의 合速度의 垂直成分  $[w]_K$ 는

$$[w]_K = \sum \sum d_{ij} [(w_a)_{ij}]_K + [w_s]_K \tag{17}$$

로 表示할 수 있다.

여기에서  $\sum_{K=1}^n [w]^2_K$  이 極小가 되도록 最小自乘法를 使用하여 係數  $d_{ij}$  를 求하면 自動的으로 Bottom Doublet Sheet 式이 決定된다.

### 3. 試 算

#### 3.1. 供試船型

文獻[5]에서는 1967年度 商工部 標準型船中에서 10,000 G.T.級 Liner 船型, 即 M.S.A-00 에 流線追跡法을 適用하여 改良을 試圖하였고, 이러한 目的下에서 Main Side Source 系의 分布面에 依하여 얻은 極小造波抵抗船型이 M.S.A-10 이다.

本報에서는 既得資料의 効率的인 使用과 研究計劃의 連續性等을 考慮하여 供試船型으로서 M.S.A-10을 採擇키로 한다.

供試船型 M.S.A.-10과 그 原型인 M.S.A-00의 特性을 各各 Table 2 및 Table 1에, 또 M.S.A-10의 Body plan 을 Fig. 19에 주었다.

Table 1 Particulars of M.S.A-00

$L_{PP}$	146.00 m	$C_{PF}$	0.608
$B$	21.80 m	$C_{PA}$	0.662
$D$	12.30 m	$Am/L^2$	$9.38 \times 10^{-3}$
$T$	9.35 m	$F/(0.1L)^3$	5.974
$\Delta$	19060 tons	$F_0$	$2.03 \times 10^{-2}$ (Correspond to $Am$ )
$\nabla$	18591.8933 m <sup>3</sup>	$F_1$	$1.25 \times 10^{-2}$ (Correspond to $F$ )
$V$ (Trial)	20.7 kts ( $F_n=0.281$ $K_0L=12.57$ )	$L/B$	6.70 ( $B/L=0.1493$ )
$V$	18.0 kts ( $F_n=0.245$ $K_0L=16.67$ )	$L/T$	15.62 ( $T/L=0.0640$ )
$C_B$	0.625	$B/T$	2.33
$C_P$	0.635		

Table 2 Design Plan of Model Ship

Fundamental	Plan
$L$	2.0m
$Am/L^2$	$9.38 \times 10^{-3}$
$F/(0.1L)^3$	5.7200
$2 T_0/L$	0.09
$V$	$K_0L=14$ ( $F_n=0.267$ )
$F_0$ (Correspond to $Am$ )	$2.03 \times 10^{-2}$
$F_1$ (Correspond to $F$ )	$1.194 \times 10^{-2}$
$i_s$	<1, 2, 3, 4>
$\gamma_s$	$0.1(1-\xi^2)^2$
$\gamma_b$	$0.1 \left\{ 1 - \left( \frac{\xi}{0.8} \right)^2 \right\}^2$
$\zeta_B$	0.09
$i_d$	<1, 2, 3>

M.S.A-10	Side Source only
副 條 件	$F_0=2.03 \times 10^{-2}$
分 布 係 數	$F_1=1.194$
	$a_1=0.074934$
	$a_2=5.127134$
	$a_3=-11.200247$
	$a_4=6.397521$
$C_w$	$0.185 \times 10^{-3}$
$m_0$	0.399

3.2. 試算計劃 및 試算

理論船型的 實用化란 곧 理論船型的 平底化라고 말할 수 있다. 따라서 이 問題를 檢討하기 위하여 供試船型 M.S.A-10에 對해 Table 3과 같은 試算計劃을 세웠다. 卽 Bottom Doublet 系의 分布式의 型式과 項數에 依한 影響, 調查點 選定方式에 따른 영향, 等を 檢討하기 위하여 M.S.A-1~M.S.A-6을 計劃하였으며 이들은 全部 調查點을 計劃船底面  $\zeta_K=0.128$ 上에 取한 것이다.

이들의 分布式을 M.S.A-1, M.S.A-2에 對해서는

Table 3 Design Plan of Model Ships and Coefficients of  $d(\xi_0, \eta_0)$  of Designed Model Ships.

$$m(\xi_0) = 0.074934\xi_0 - 5.127134\xi_0^2 - 11.200247\xi_0^3 + 6.397521\xi_0^4$$

M.S. No	$\zeta_K$	check. pt	$d_{ij}$		
A-1	0.128	14 points. on center line	0.1019540	-0.2402556	0.2955132
A-2	0.128	18 points. on plane	0.1173149	-0.3004842	0.3764137
A-3	0.128	14 points on center line	389.2802 746.3288 1380.267 26.20282 3165.728	-5439.851 -38056.46 -1929.903 377112.0 513425.4	101794 295382.9 155898.8 -367783.0 2915618
A-4	0.128	17 points on plane	22.23511 -159.0025 887.9879 -2168.624 2035.302	-984.1958 11361.73 -74181.26 204763.4 -21452.0	-16952.43 -285486.7 1999771 -5801493 6169754
A-5	0.128	15 points. on center line.	0.1284267 -11.56170	-1.070092 8.243061	5.554733
A-6	0.128	17 points. on plane	0.02377686 -5.2616460	0.1892329 5.4016780	1.013106
A-7	0.115	18 points. on plane	0.08580785 -7.861796	-0.5679322 5.885269	3.407597
A-8	0.140	17 points on plane	0.1458513 -18.52093	-1.329582 14.33407	8.022310

$$d(\xi_0) = \sum_{i=1}^3 d_i \xi_0^i \quad (18)$$

M.S.A-3, M.S.A-4 에 대해서는

$$d(\xi_0, \eta_0) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 d_{ij} \cdot \xi_0^i \eta_0^j \quad (19)$$

M.S.A-5, M.S.A-6 에 대해서는

$$d(\xi_0) = \sum_{i=1}^5 d_i \xi_0^i \quad (20)$$

으로選擇한 것으로 分布式的 型式과 項數影響을 檢討하기 위한 計劃이며, M.S.A-1, M.S.A-3, M.S.A-5 는 調査點을 中心線上에 取한 것이고, M.S.A-2, M.S.A-4, M.S.A-6 는 調査點을 面上에 取한 것으로서 線取點法과 面取點法の 影響을 檢討하기 위한 計劃이다.

끝으로 調査點을 選定하는面(以下 本報에서는 이 面을 調整面이라 부르기로 한다)을 計劃船底에서 上, 下로 移動시킬 때의 影響을 檢討하기 위하여 追加된 것이 M.S.A-7과 M.S.A-8이다. 이들은 모두 M.S.A-6 과 같이 面取點法을 擇하기로 하였다. 以上の 計劃에 따라 KIST電子計算室의 C.D.C. 3300을 使用하여 各 船型에 對해 計算을 遂行하였다. 計算結果中 考察과 結論에 必要한 最少限의 代表的인 結果를 Fig. 4~Fig. 26에 表示하였다. Fig. 4는 M.S.A-5의 Bottom Doublet系 分布式的 單位係數의 各 單項의 垂直速度成分  $w_{di}$ 를 表示하며 Fig. 5~Fig. 9는 各 各 M.S.A-6의  $w_{di}$ 를  $i=1, 2, 3, 4, 5$  때에 對해 表示한 것이며 Fig. 10~Fig. 17은 M.S.A-1~M.S.A-8의  $w_s$ 와  $w_d$ 의 比較曲線이다. 또 Fig. 18은 M.S.A Series의 Main Side Source와 Botton Doublet Sheet의 分布를 表示하고 Fig. 19~Fig. 26은 M.S.-A Series의 追跡된 Lines의 Body plan을 表示한다.

## 4. 考 察

### 4.1. Bottom Doublet 系의 分布式과 船型

分布式으로서의 前述 한대로  $\xi_0$  및  $\eta_0$ 의 多項式으로 表示하되 計算 및 其他 取扱에 便利하도록 가장 簡單한 型式이면서도 所期의 船型을 能히 表示할 수 있어야 한다는 條件이 要求된다.

첫째로 Bottom Doublet系 分布式的 單位係數의 各 單項의 垂直速度成分에 對한 기여도를 調査한다.

線最點法에 依한 M.S.A-1과 M.S.A-3를 比較調査한 結果로는 兩者 共히 1次項의 기여도가 가장 크고 次數가 높아질수록 작아졌다. 이것은 M.S.A-5에 對한 Fig. 4에서도 마찬가지다. Bottom Doublet의 分布式에  $\eta_0$  가지를 包含한 M.S.A-3에 依하면  $\eta_0$ 의 1次項을 包含한 項들에 依한 調査點에 있어서의 垂直速度成分  $w_{di}$ 에 對한 기여도가 顯著했을 뿐이고,  $\eta_0$ 에 關한 2次以上の 項들의  $w_{di}$ 에 對한 기여도는 急速히 減少되어  $\eta_0$ 에 關한 3次項을 包含하는 項에 이르러서는 거의 零에 가깝게 되었다. 面取點法에 依한 船型 M.S.A-2 및 M.S.A-4를 比較檢討한 結果에 依하면 次數에 依한 기여도는 線取點法에 依한 경우와 같았으나, 船體의  $\eta$  方向의 垂直速度成分의 分布는 M.S.A-2에서는 分布面  $\eta_b$ 의  $\zeta_K$  面に 對한 投影面의 中心線上에서 最大이며, 그 外側으로 감에 따라 漸次減少되나, 特히  $\eta_b$ 의 投影線을 境界로 그 外側에서는 急速히 減少됨을 알았다. 이 事實은 M.S.A-6에 對한 Fig. 5~Fig. 9로부터도 알 수 있다. 이에 反하여, M.S.A-4의 垂直速度成分의 分布는 複雜한 波狀面分布를 나타낸다.



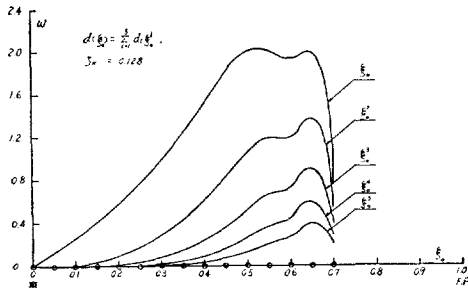


Fig. 4 Z-Component of Velocity at  $\zeta_K=0.128$  by  $\xi_0^1$  of Bottom Doublet Sheet of M.S.A-5.

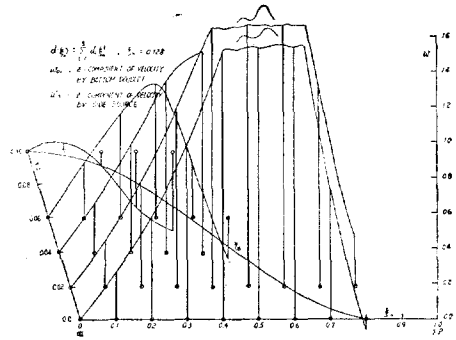


Fig. 5  $w_{d1}$  Distribution at  $\zeta_K=0.128$  by a Term  $\xi_0^1$  of Bottom Doublet Sheet of M.S.A-6.

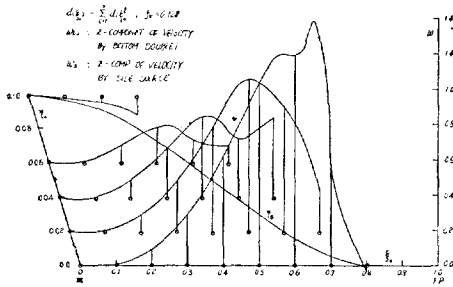


Fig. 6  $w_{d2}$  Distribution at  $\zeta_K=0.128$  by a Term  $\xi_0^2$  of Bottom Doublet sheet of M.S.A-6.

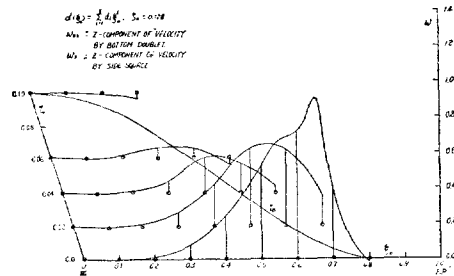


Fig. 7  $w_{d3}$  Distribution at  $\zeta_K=0.128$  by a Term  $\xi_0^3$  of Bottom Doublet Sheet of M.S.A-6.

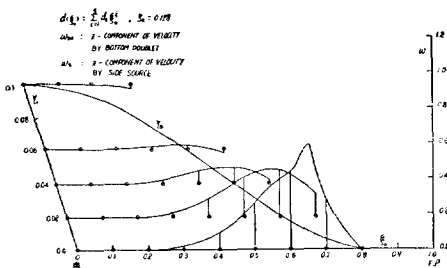


Fig. 8  $w_{d4}$  Distribution at  $\zeta_K=0.128$  by a Term  $\xi_0^4$  of Bottom Doublet Sheet of M.S.A-6.

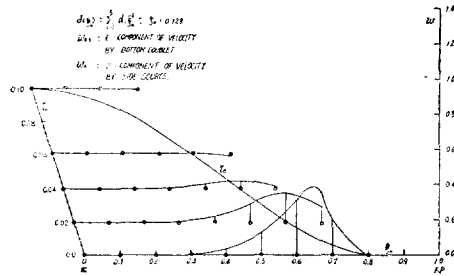


Fig. 9  $w_{d5}$  Distribution at  $\zeta_K=0.128$  by a Term  $\xi_0^5$  of Bottom Doublet Sheet of M.S.A-6.

둘째로 Main Side Source 系에 의한 調査點에 있어서는 垂直速度成分을 써서 最小自乘法으로 決定한 Bottom Doublet 系에 의한 調査點에 있어서는 垂直速度成分과의 相殺度를 調査한다. M.S.A-3 및 M.S.A-4 의  $w_d$  와  $w_s$  는 Fig. 12 와 Fig. 13 으로 부터 알 수 있듯이 거의 完全이 一致하고 있고, 한편 M.S.A-1 과 M.S.A-2 에 있어서는 Fig. 10 과 Fig. 11 에서 보듯이 前者와 같은 一致는 볼 수 없으나 充分히 近似化 되었다는 것이 事實이다. 이와같은  $[w_s]_K$  와  $[w_d]_K$  의 近似度만에 局限시켜서 생각한다면, 分布式的 項數가 많을수록 좋은 近似를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

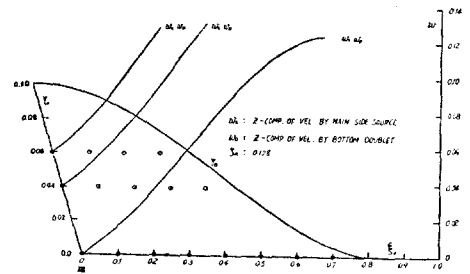
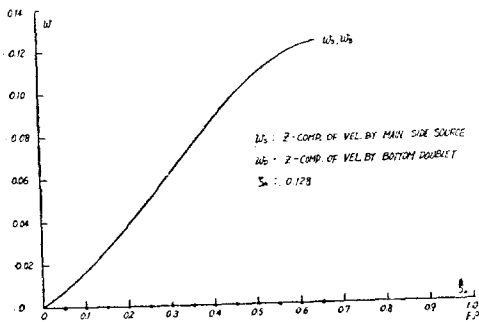
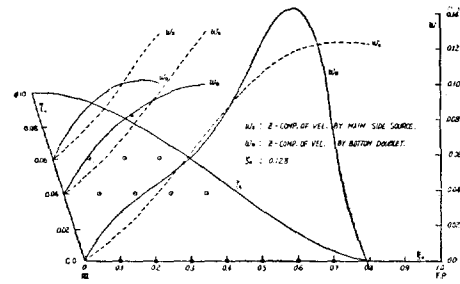
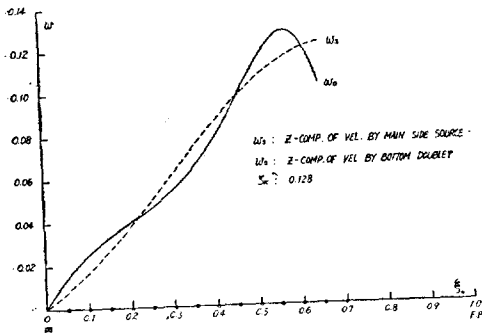


Fig. 12 Z-Component of Velocity at  $\zeta_{\kappa}=0.128$  of M.S.A-3.

Fig. 13 Z-Component of Velocity at  $\zeta_{\kappa}=0.128$  of M.S.A-4.

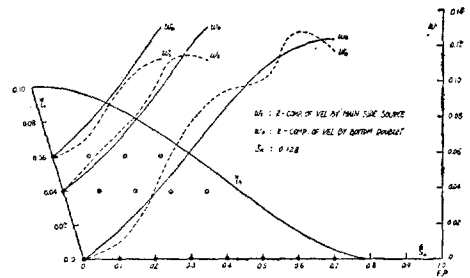
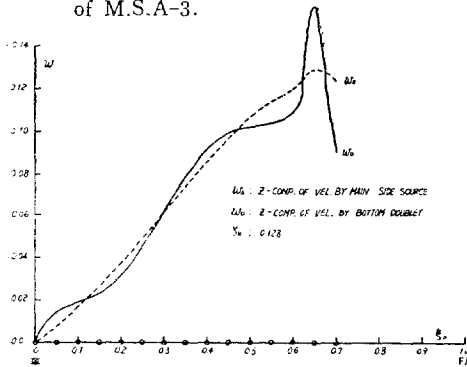


Fig. 14 Z-Component of Velocity at  $\zeta_{\kappa}=0.128$  of M.S.A-5.

Fig. 15 Z-Component of Velocity at  $\zeta_{\kappa}=0.128$  of M.S.A-6.

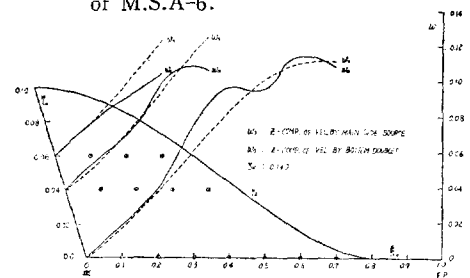
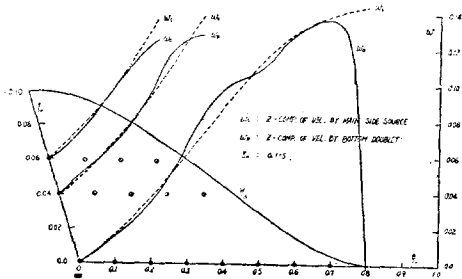


Fig. 16 Z-Component of Velocity at  $\zeta_{\kappa}=0.115$  of M.S.A-7.

Fig. 17 Z-Component of Velocity at  $\zeta_{\kappa}=0.140$  of M.S.A-8.

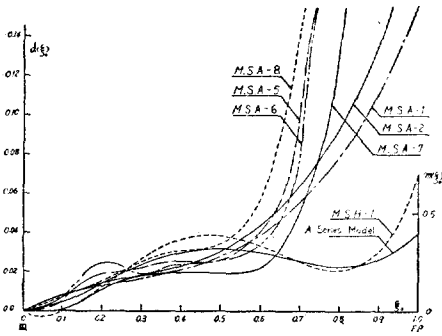


Fig. 18 Bottom Doublet Distribution and  $m(\xi_0) \sim \xi_0$

세째로 이 결과를 流線追跡한 船型을 比較하여 본다. M.S.A-1(Fig. 20) 및 M.S.A-2(Fig. 21)는 船底가 계획보다 若干 아래로 처졌고, 中心線部가 突出하기도 하였으나 無理없는 線圖를 얻을 수 있는데 反하여 M.S.A-3는 7 Station 以後에서는 作圖조차도 不可能한 結果가 얻어졌고, M.S.A-4(Fig. 22)에 있어서도 船體中央橫斷面部的 船底가 吸込되어서 實用하기 困難한 船型이 되어 버렸다. 以上을 綜合하여 考慮하면 分布式의 項數가 많고, 分布式에  $\eta_0$ 까지 包含시키면  $[w_s]_K$ 와  $[w_d]_K$ 의 近

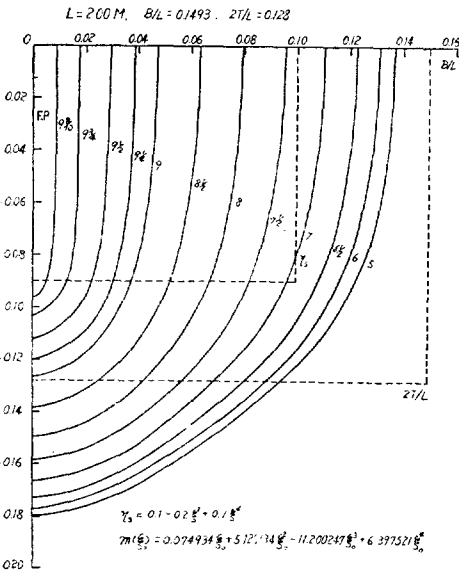


Fig. 19 Body Plan of M.S.A-10.

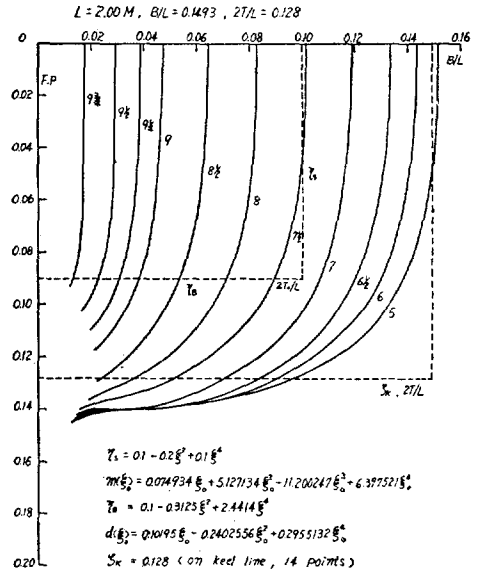


Fig. 20 Body Plan of M.S.A-1.

似度는 높아지나 이로 因하여 오히려 流線에 無理를 초래하게 되는 것으로 여겨진다. 그러므로  $\eta_0$ 까지 包含시킨 많은 項으로 이루어진 分布式은 取扱이 複雑할 뿐만 아니라 目的과 相反되는 結果를 가져올 뿐이므로, 分布式으로서는  $\xi_0$ 만의 函數로 하되 項數는 適當한 次數로 줄이는 것이 좋을 것으로 判斷된다. 그러나 M.S.A-1 및 M.S.A-2에 對한 計算結果에 依하면  $\xi_0^3$ 項의  $[w_d]_K$ 에 對한 기여도는 無視하지 못한 정도로 큰 것이었다. 이 點을 감안할 때 分布式의 3次項 表示는 지나친 簡單化인 것으로 여겨진다. 예에 對해  $\xi_0$ 만에 依한 5次 5項式

$$d(\xi_0) = \sum_{i=1}^5 d_i \xi_0^i \tag{20}$$

을 採擇하여 線取點法과 面取點法에 따라 取點한 M.S.A-5 및 M.S.A-6에 對해  $w_s$ 와  $w_d$ 의 相殺度를 調査해 보면 Fig. 14, Fig. 15와 같고 그것을 流線追跡해서 얻은 Body Plan은 各各 Fig. 23, Fig. 24와 같다. 이 Body Plan을 前者들과 比較할 때 平底度도 若干 좋아졌을 뿐만 아니라 훨씬 無理없는 船型들을 나타내고 있음을

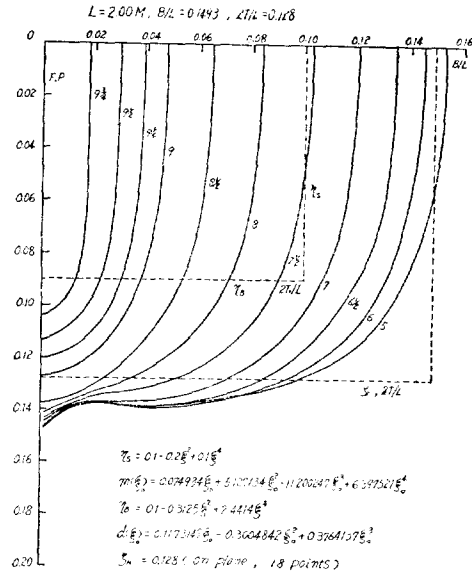


Fig. 21 Body Plan of M.S.A-2.

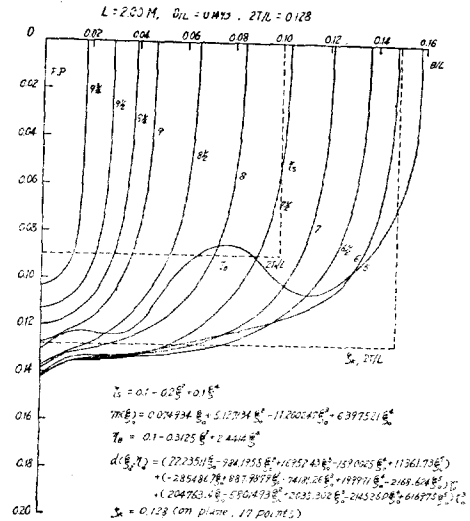


Fig. 22 Body Plan of M.S.A-4.

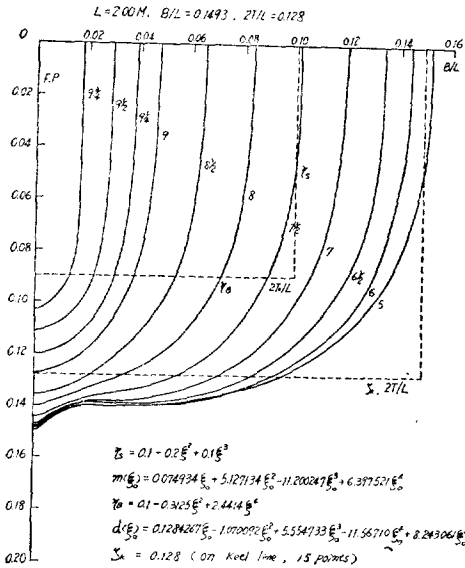


Fig. 23 Body Plan of M.S.A-5.

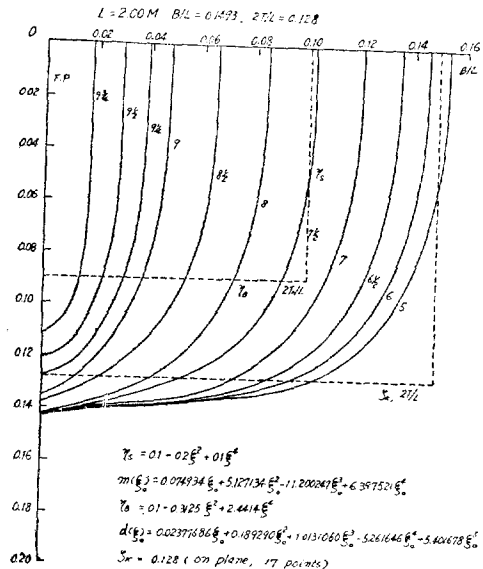


Fig. 24 Body Plan of M.S.A-6.

알 수 있다. 한편 이 (20)식은 前者의 (18)식에 비해 別로 計算이 複雜하지만도 않으므로 Bottom Doublet의 分布式으로서는 (20)식이 適當한 것으로 여겨진다.

4.2. 調査點의 選定

Bottom Doublet系의 分布式의 型식이 決定되었을 때 調査點의 選定은 理論船型의 平底化 計算의 出發點인 同時에 結果的인 船型에 及지 않은 影響을 미치는 重要한 要因의 하나이다. 이것을 調査하기 위하여 이미 얻어진 資料 即 M.S.A-10, M.S.A-1, M.S.A-2, M.S.A-5, M.S.A-6 및 調整面에 關한 檢討를 하기 위하여 這

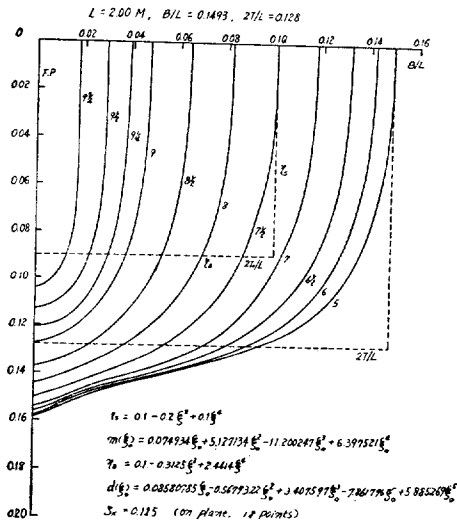


Fig. 25 Body Plan of M.S.A-7.

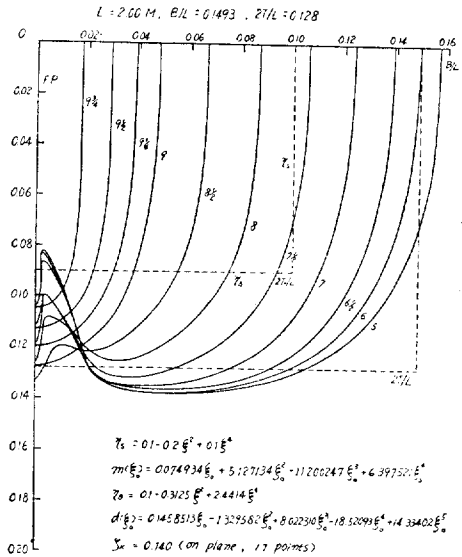


Fig. 26 Body Plan of M.S.A-8.

加된 船型 M.S.A-7, M.S.A-8에 關하여 考察키로 한다. 最終結果인 Body Plan(Fig.20~Fig.26)만을 考慮하면 一般的으로 調整面의 中心線上에서 取點하는 線取點法을 썼을 때는 Keel Line 部가 突出하는 傾向이 있고, 調整面上에서 取點하는 面取點法을 썼을 경우 Keel Line 部가 上昇하는 傾向을 보이고 있다. 調整面  $\zeta_K=0.140$ 으로 잡고, 面取點法을 擇한 M.S.A-8(Fig.26)은 이 現象의 極端的인 好例이다. Bottom Doublet 系의 分布式이  $\xi_0$  단의 函數로 表示될 때  $[w_{ai}]_K$ 의 크기는 調整面 中心線上에서 가장 크고 中心線에서  $\eta$  方向으로 갈에 따라 漸次的으로 減少하고  $\eta_0$ 의 調整面上的의 投影線에서 벗어나려는 部分부터 急激히 減少한다. 따라서  $[w_{ai}]_K$ 가 가장 큰 調整面의 中心線上的의 點들을 調査點으로 取하여  $d(\xi_0)$ 를 決定하면, 이것이 Keel Line 部에 미치는 影響은 Keel Line 外側部에 미치는 影響에 比해 작아질 것이고 調整面의 外側部의 點들을 調査點으로 取點하였을 때는 이와 反對現象이 일어나게 될 것이므로 前述한 바와같은 推理가 可能할 것으로 여겨진다. 또한 各船型에 關한 各 調査點에 있어서  $[w_s]_K$ 와  $[w_d]_K$ 와의 近似度를 表示하는 圖面 Fig.10~Fig.17를 보건대 보다 船首에 가까운 部分에서 兩者間의 큰 差異를 나타내고 있다. 이러한 結果를 招來하게 되는 原因으로서는 Bottom Doublet Sheet의 分布限界가  $\xi=0.8$ 임에도 不拘하고, 調査點을 選擇하는데 있어서  $\xi \geq 0.8$  範圍까지 包含시킨데에 無理가 있는 것으로 여겨진다. 따라서 調査點 選定에 있어서는 船首部까지 맞추려는 努力은 포기하고,  $\xi < 0.8$ 로 限定하는 것이 좋을 것으로 여겨진다. 따라서 著者は 다음과 같은 調査點의 選定法을 추천한다.

- ①  $\xi$  方向의 取點範圍는  $\xi \leq 0.70$
- ②  $\zeta_K \leq 2T/L$  일 때는 面取點法
- ③  $\zeta_K > 2T/L$  일 때는 線取點法

4.3. 平底度의 調整

今 調整面의 位置를 上下로 調整한 때를 생각하여 그때 調整面에서의 速度의 垂直成分이 零이 되게 하는  $d(\xi_0)$ 의 세기의 變化를 考察해 보자.

問題를 單純化하기 위해 다음과 같이 假定한다.

Fig.27 에서와 같이 Side Source 의 分布面  $\eta_s$  上에 分布된  $m(\xi_0)$ 와 等價인 Resultant Source  $2m'(\xi_0)$ 가 M 點에 있다고 하고 Bottom Doublet 의 分布面  $\eta_b$  上에 分布된  $d(\xi_0)$ 와 等價인 Resultant Doublet  $d'(\xi_0)$ 가 D 點에 있다고 하면 調整面上의 點 K 에서의 速度 Potential 은 各各

$$\phi_s = -\frac{2m'(\xi_0)}{4\pi(\delta+a)} = -\frac{m'(\xi_0)}{2\pi l} \tag{21}$$

$$\phi_d = -\frac{d'(\xi_0)}{4\pi} \cdot \frac{\delta}{\delta^3} = -\frac{d'(\xi_0)}{4\pi} \cdot \frac{1}{\delta^2} \tag{22}$$

$$[w_s]_K = \frac{\partial \phi_s}{\partial l} = \frac{\partial \phi_s}{\partial S} = \frac{m'(\xi_0)}{2\pi\delta^2} \tag{23}$$

$$[w_d]_K = \frac{\partial \phi_d}{\partial \delta} = \frac{d'(\xi_0)}{2\pi\delta^3} \tag{24}$$

$$[w_s]_K = [w_d]_K \text{ 되려면}$$

$$\frac{m'(\xi_0)}{\delta^2} = \frac{d'(\xi_0)}{\delta^3}$$

故로  $d'(\xi_0) = \delta \cdot m'(\xi_0)$  (25)

但  $\delta = KD$      $a = DM$      $l = \delta + a$

即 上記 假定下에서는  $m(\xi_0)$ 가 주어졌을 때 Bottom Doublet 의 세기  $d(\xi_0)$ 는  $d(\xi_0)$ 의 分布面으로부터 調整面까지의 距離  $\delta$ 에 比例하게 되며 이 事實은 Fig.28로부터 認定할 수 있다.

이 距離를 調整距離(Control Distance)라 부르기로 한다.

지금 追跡된 船型의 全排水容積에 對한 計劃船底까지의 排水容積의 比를 平底度라고 定義하면 平底度는 調整距離  $\delta$ 에 大略 比例하게 됨을 Fig.29로부터 알 수 있다.

따라서 調整面의 位置를 移動시킴으로써 大體의으로 願하는 平底度까지 平底化할수 있을 것이다.

이때 問題로 남는 것은 같은 平底度를 가지면서도 船體 中央部 近處의 斷面模樣이 Keel Line 近處에서 一致되 지거나 치켜올라가는 일이 있다는 點이다.

이 問題를 解決하기 위해서는 調整面의 位置와 함께 調査點의 選定을 아울러 考慮해야 할 것으로 여겨진다.

即, 調整距離  $\delta$ 가 過大해지면 Keel Line 近處에서 船體中央部の 船底가 올라가는 故로 調査點을 線取點法에 依하여 選定하고 調整距離  $\delta$ 가 작을 때는 中心線 近處에서 中央部 船底가 치켜올라가므로 調査點을 面取點法에

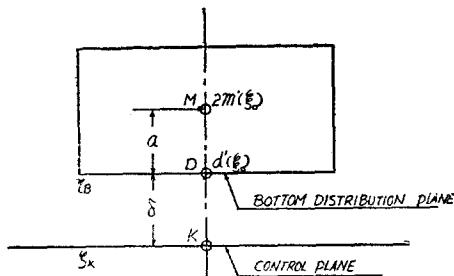


Fig. 27 Definition of Control Plane and Control Distance

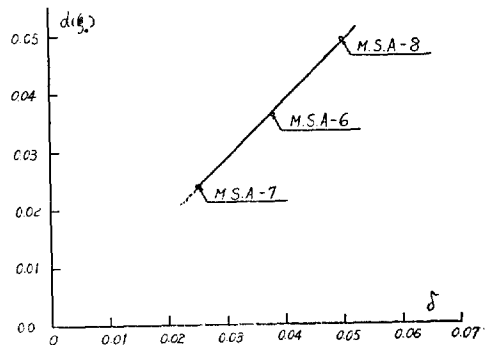


Fig. 28 Relation between Strength of Bottom Doublet Sheet and Control Distance  $\delta$ .

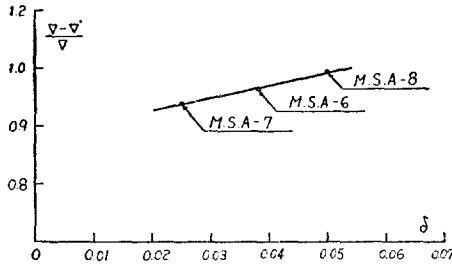


Fig. 29 Relation between Values of Flatness  $\frac{v-v'}{v}$  and Control Distance  $\delta$ .

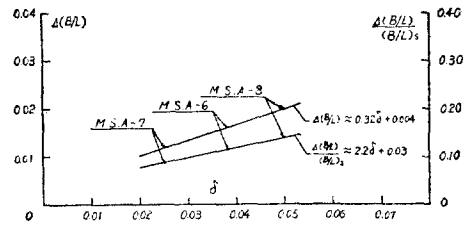


Fig. 30 Variation of  $\Delta(B/L)$  &  $\frac{\Delta(B/L)}{(B/L)_s}$  with Control Distance  $\delta$ .

依하여 選定하는 것이 좋을 것으로 믿어진다.

4.4. 調査距離와 B/L

Bottom Doublet 를 加해 주면 排水容積은 別로 變치 않고 船底가 켜켜 올러지게 되므로 當然히 船幅이 커지게 될 것이다.

Inui[4] 는 이때 B/L 의 增加를 約 0.012 라고 論及하여 이를 더러 豫見하여 船型計劃을 할것을 主張하고 있다.

그러나 이것은 當然히 附加할 Bottom Doublet 의 세기와 關係지워져야 할 것이며 그 세기는 調整距離와 關係가 있으므로 B/L 의 増分은 調整距離 delta 와 關係 지워질 수 있다.

Table 4 를 보면 이 事實은 곧 認定될 수 있다.

Table 4. Values of Control Distance,  $\Delta(B/L)$  and  $\Delta(B/L)/(B/L)_s$

M.S. No	$\zeta_K$	check point	$\delta$	B/L	$\Delta(B/L)$	$\frac{\Delta(B/L)}{(B/L)_s}$
A-10				0.137		
A-1	0.128	C	0.038	0.151	0.014	0.102
A-2	0.128	P	0.038	0.153	0.016	0.116
A-5	0.128	C	0.038	0.152	0.015	0.110
A-6	0.128	P	0.038	0.153	0.016	0.116
A-7	0.115	P	0.025	0.149	0.012	0.088
A-8	0.140	P	0.050	0.157	0.020	0.143

(B/L)<sub>s</sub>: Beam Length Ratio when only main side source  $m(\xi_0)$  is distributed.

B/L 의 増分 即 Bottom Doublet 를 附加해서 追跡할 경우의 B/L 와 Side Source 만에 依해 追跡된 B/L 의 差  $\Delta(B/L)$  와, 調整距離 delta 사이에는 大體로 直線關係가 成立하며 本報의 供試船型에 對해서는 다음 關係式이 成立된다.

Fig.30 에서 보는 바와 같이

$$\Delta(B/L) \approx 0.32\delta + 0.004 \tag{26}$$

$$\text{또는 } \frac{\Delta(B/L)}{(B/L)_s} \approx 2.2\delta + 0.03 \tag{27}$$

Inui 의  $\Delta(B/L)$  約 0.012 增加라는 것은 (26)式에서  $\delta=0.025$  의 경우에 該當한다.

5. 結 論

流線 追跡法에 依하여 求해진 理論船型을 實用化하는데 있어서 큰 難點으로 되어있는 平底化 問題에 關한-

叙上の考察을 綜合하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. Bottom Doublet 系의 分布세기를 決定하는데 있어서 調整面의 概念을 導入하면 한층 더 迅速하게 効率的으로 決定할 수 있다.

2. Bottom Doublet 系의 分布面으로부터 調査點의 選定面 即 調整面까지의 距離를 變化시키면 計劃船底近處에서는 Bottom Doublet 系의 세기와 追跡된 船型의 全排水 容積에 對한 計劃船底까지의 排水容積의 比(平底度)는 各各 調整距離에 大略 比例한다.

또한 Bottom Doublet 系를 附加시켰을 때의  $B/L$ 의 増分과 調整距離 사이에는 大體로 直線關係가 成立한다.

3. 調整面上에서 調査點을 選定하는데는 線取點法과 面取點法의 두가지 方法을 並行하는 것이 效果的이며 이 方法을 使用하는데 있어서는  $\xi$  方向의 取點範圍를  $\xi \leq 0.70$  로 하고,  $\zeta_K \leq \frac{2T}{L}$  일 때는 面取點法,  $\zeta_K > \frac{2T}{L}$  일 때는 線取點法을 適用하는 것이 有利한 것으로 判斷된다.

4. Bottom Doublet 系의 分布式에 關하여서는  $\xi$  만의 5次式을 使用하여도 計算이 過히 複雜하지 않으므로  $\zeta$  만의 5次式을 使用할 것을 추천한다.

## 後 記

本 研究을 遂行하는 동안 全過程을 通해 항상 가치 論議해 주고 諸般事를 도와준 洪性完 教授와 計算과 圖面의 整理等을 도와준 朴魯愼 助教에게 甚深한 感謝를 드린다.

## 參 考 文 獻

- [1] Inui, T.: "A New Theory of Wave-Making Resistance Based on the Exact Condition of the Surface of Ships", 日本造船協會論文集, 93號, 1953.
- [2] Pien, P.C. and Moore, W.L.: "Theoretical and Experimental Study of Wave-Making Resistance of Ships", *Seminar on Theoretical Wave-Resistance, Ann Arbor, Michigan*, 1951.
- [3] Pien, P.C.: "The Application of Wave-Making Resistance Theory to the Design of Ship Hull with Low Total Resistance", *5th Symposium on Naval Hydrodynamics, O.N.R.*, 1964.
- [4] 乾 崇夫: "理論船型 決定にいたるまでの 諸計算", *LITAC*, 1969.
- [5] 曹奎鍾, 洪性完: "流線追跡法에 依한 Liner 船型의 改良", 大韓造船學會誌, 7卷 2號, 1970.