

세미나 : 超大型船建造에 따르는 諸問題 點

大型船의 操縱性能의 特性과 舵面積의 選定方法

黃 宗 岷*

1. 結 論

大型船의 操縱性에 관해서는 小型性에서 보지 못한 여러가지 特性이 있다. 本稿은 文獻[1]에 따라서 그 特性을 紹介하고 舵面積의 選定方法을 中心으로 操縱性設計에 關한 概念의 一端을 說明할가 한다.

大型船의 操縱性에 관한 特性을 說明하기에 앞서서 操縱性과 그 設計에 關한 基本概念을 說明하겠다.

(1) 操縱성이 좋은 배란 쉽게 操縱될 수 있는 배를 말한다. 直進할 때는 hope course를 困難없이保持할 수 있고 方向轉換이 必要할 때에는 直時로 必要한 세기의 回頭運動을 일으키고, 그것을 멈출려고 할 때는 곧 制動이 둔고, 새로운 針路의 直進을 할 수 있어야 한다.

(2) 船體主要目을 操縱性에 對한 考慮에 依해서決定하는 것은合理的이 아니다. 操縱性에 關한 設計上の問題는 操縱性以外의 要因으로부터決定되는 主船體에 그 배의 使用目的上, 必要한 操縱性을 줄 수 있는 舵, skeg, 其他의 可動 또는 固定의 control surface와 그 制御方法을決定하는 것이다.

(3) 操縱運動에 關與하는 基本的 物理量은 배의 懣性, 運動에 의해서 誘起되는 流體力(旋迴抵抗), 操舵에 의해서 誘起되는 流體力(旋迴力), 이 三者이다. 旋迴抵抗은 船體 및 舵에 作用하고, 一般으로 旋迴를 妨害하는 方向으로 作用하는데, 逆方向이 되는 일도 있다. 旋迴力은 主로 舵에 作用한다.

旋迴性能은 旋迴力과 旋迴抵抗의 balance로決定되며 旋迴力/旋迴抵抗의 比率이 크면 클수록, 旋迴性能은 우수하다. 即 旋迴半徑은 작고, 正常 旋迴角速度는 크다. 한편 針路安定性 및 操舵에 關한 追從性能은 懣性/旋迴抵抗의 比率에支配되며, 이 값이 클수록, 一旦 加해진 旋迴運動이 減衰하는 時間이 길고(針路安定性이나쁨), 同時に 操舵後對應하는 正常 旋迴運動으로 整定되는데, 긴 時間이 걸린다(追従이 느리다).

上記 3 基本的 物理量中 懣性은 船體主要部의 形狀 치수로 거의決定된다. 一般으로 C_B 가 큰 船, L/B 가 작은 배는 相對的으로 懣性이 크고, $C_B/(L/B) \equiv V/L^2d$ (배의 肥大度를 나타내는 係數)가 操縱運動을支配하는

慣性을 나타낸다고 생각하여도 좋다. 그러나 이미 論한 바와 같이, 主船體의 形狀 치수를 操縱性에 關한 考慮로부터 左右하는 것은 實際의 뜻으로 이 懣性은 操縱性과는 別途의 要素에 의해서決定되는 것으로 생각하여야 한다.

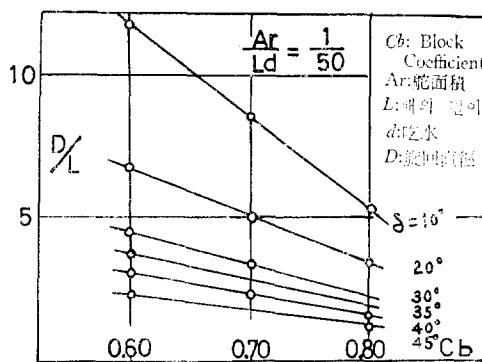
따라서 操縱性에 關한 設計의 要點은 이 주어진 懣性에 對해서 必要하고 充分한 懣性/旋迴抵抗의 比率을 定해놓고, 針路安定性과 追從性을 確保할 수 있는 舵, skeg, 其他의 control surface의 形狀, 치수와 그 制御方法을 求하는 것이 第一段階가 된다. control surface의 形狀이나 制御方法은 배의 懣性를 크게 바꿀 수 있지만, 배에 作用하는 流體力에는 큰 變化를 줄 수 있으므로 주어진 主船體의 懣性에 適應하는 旋迴抵抗을 만들어내어 必要한 針路安定性을 確保할 수가 있다. 이것은 다음에 論하고자 하는 旋迴力에 對해서도 適用된다. 이것으로부터 主船體는 所與의 것으로 받아들이고, 操縱性은 舵, 其他의 control surface로 調整한다는前述한 方針에 對한 根據가 理解되리라고 생각한다.

操縱性 設計의 第 2 段階는 上述한 바와 같이決定된 旋迴抵抗에 對해서, 必要하고 充分한 旋迴力/旋迴抵抗의 比率을 주어서 所要의 旋迴性能을 確保하는데 充分한 旋迴力を 만들어 내는 일이다.

2. 大型船의 操縱特性과 舵面積의 選定

2.1. 肥大型船에 있어서의 舵의 作用

近年에 驚異의 發達을 한 大型 tanker는 $L/B=6$,

Fig.1. C_B 가 旋迴直徑에 미치는 影響

* 正會員, 서울大學校 工科大學

$C_B=0.82$ 와 같은 肥大船型을 냉았다.

작은 L/B 와 큰 C_B 는 相對的으로 배의 慣性를 크게 하고, 같은 旋迴抵抗이라 하드라도 針路安定性은 나빠진다. 그에 더해서 tanker 船型에 관한 많은 實驗結果는, 작은 L/B 와 큰 C_B 는 또 旋迴抵抗을大幅減少시킨다는 것을 알리고 있다. 이 結果로 부터 大型 tanker는 從來의 商船보다 針路安定性이 매우 나빠졌다는 것을 알수있다.

Tanker의 操縱性問題는, 如何히 하여서 잘 旋迴시킬 것인가하는 것이 아니고, 어떻게 하여서 旋迴에 brake를 거는가 하는 問題라고 생각하여도 좋을 程度이다. Fig. 1은 L, B, d 와 舵面積은 같으며 C_B 를 바꾼 3隻의 模型船의 旋迴半徑을 나타낸 것이다. [2] $C_B=0.8$ 의 強한 旋迴는 一目瞭然한데, 舵面積比는 같으므로 舵의 旋迴力에 이와같은 大差가 있다고는 생각되지 않는다. 이것은 $C_B=0.8$ 의 肥大船型은 旋迴抵抗이 매우 작다고 解釋되며, 이와같은 생각은 事實上 옳다.

Fig. 2는 같은 $C_B=0.8$ 의 模型船의 舵를 完全히 떠어 놓고 自走시킨 航跡이다. 靜止로부터 가만히 發進시키면 小圓으로 나타낸 航跡을 따라서 매우 큰 右旋迴를繼續한다[3]. 이것은 이에 舵를 붙여, 右舵 25°를 取했을 때와 同程度의 旋迴이다.

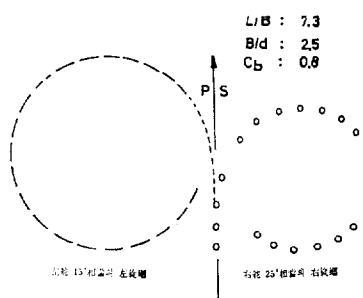


Fig. 2. 肥大船型模型船의 無舵旋迴

한편 左旋迴에 對해서 同一하게 하여 보면 舵角 15°相當의 左旋迴를 한다. 左旋迴와 右旋迴와의 差異는 右旋迴는 推進器(single)가 若干의 右旋 moment를 發生시킨다는 것과 右旋迴를 시작하면 더욱 더욱 右旋迴를 強하게 하는 힘이 作用하고, 左旋迴를 시작하면 더욱더 左旋迴를 強하게 하는 힘이 作用하는데 原因이 있다. 即 右旋迴하면 右旋迴를 強하게 하는 流體力이 船體에 作用하고, 左旋迴를 하면 逆으로 左旋迴를 強하게 하는 流體力이 船體에 作用하여, 이것을 陰의 旋迴抵抗이라 부른다. 이 陰의 旋迴抵抗이 肥大船型을 特徵짓는 것이다.

여기서 例로 잡고 있는 船型에 對해서, 旋迴中의 船體(rudderless)에 作用하는 流體力を 圖示하면 Fig. 3 과 같다. 直進時에는 single screw 때문에 若干의 右旋力이 있으며 右旋迴가 强해짐에 따라서 右旋力이 增加하고, 그에 中 右旋迴力의 增加는 減少하기 시작하여 舵角 25°相當의 右旋迴가 되기까지 右旋迴한다. 그때 流體力이 zero가 되며 그것보다 弱한 旋迴에서는 右旋力, 強한 旋迴에서는 左旋力이 된다. 左旋迴에 對해서도 마찬가지이다.

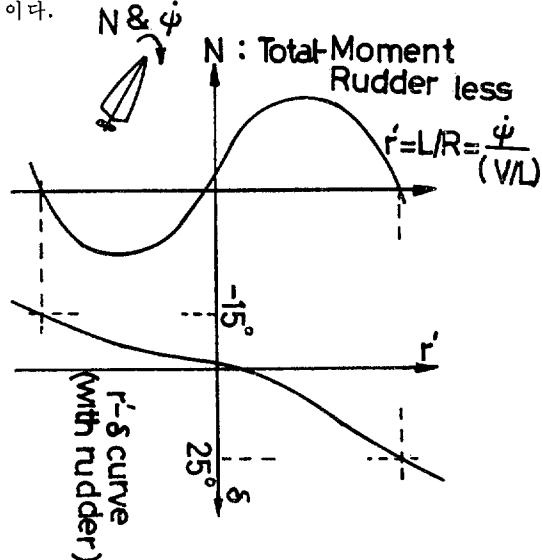


Fig. 3. Ruddlerless 旋迴中 船體에 作用하는 moment

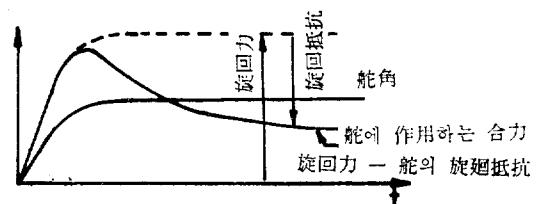
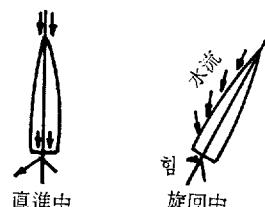


Fig. 4. Ruddler의 作用一舵의 旋迴力과 旋迴抵抗

다음에 陰의 旋迴抵抗을 갖는 船體에 붙인 舵의 効果를 생각하여보자.

右舵를 取하면 舵의 右舷側으로부터 물이 流入하여 左向의 힘을 發生하고, 그것은 右旋迴를 이르키는 힘이 된다. 잠시後에 右旋迴가 發達하면, 船尾에 流入하는

水流은 左舵側으로부터 傾斜해서 流入하게 된다. 이것은 勿論舵에의 流入角을 減少하고 舵에作用하고 있는 左向力 即 右旋力を 減少시킨다 (Fig. 4). 여기서 旋迴力과 旋迴抵抗의 定義를 다시 생각하여보자. 操舵에 따라서 作用하는 流體力이 旋迴力이며, 배의 運動에 따라서 作用하는 流體力이 旋迴抵抗이다. 이 定義를 지금경우에 適用하면 다음과 같이 말할수 있다. 舵에는 舵角에 따른 旋迴力外에 배의 運動에 따른 旋迴抵抗이 作用하고 있으며, 兩者的 代數合이 實際의 舵에 作用하는 힘이다 (Fig. 4). 舵中央狀態에서 外力を 받아 배가 旋迴할 때, 舵에 作用하는 힘은 旋迴抵抗 뿐인것은 두말할것없다.

이미 말한바와 같이 tanker와 같은 肥大船型의 船體는 陰의 旋迴抵抗을 갖는다. 舵를 불이면, 가령 舵中央을 固定한채로 두드라도, 舵가 發生하는 양의 旋迴抵抗은 船體의 陰抵抗을 減少시켜, 上記의 傾向 即 針路不安定의 程度를 痛烈화하거나 安定化시키는 일이있다. 이전에 더해서 항상 배의 運動을 減衰시키도록 舵를 움직이면 더욱 有効할 것은 分明하다. [4]

2.2. 旋迴抵抗에 重點을 둔 舵面積의 決定法

여기서는 旋迴抵抗이 작은 肥大船型에 適當한 旋迴抵抗을 確保하여, 좋은 保針性, 操舵에 對한 追從性을 주는 것을 條件으로 하여 舵面積을 決定하는 것은 생각하여 보자.

$\frac{A_r}{Ld} \cdot K'$: 旋迴抵抗의 大小를 나타내는 尺度

A_r/Ld : 舵面積比

$C_B/(L/B)$: 肥大度, 배의 慣性을 나타내는 尺度

B/d : Beam-draft ratio

K' : 10° 試驗으로부터 얻은 無次元의 K 指數

Fig. 5는 $B/d=2.6$ 前後의 배에 對한 圖表이다. [5]

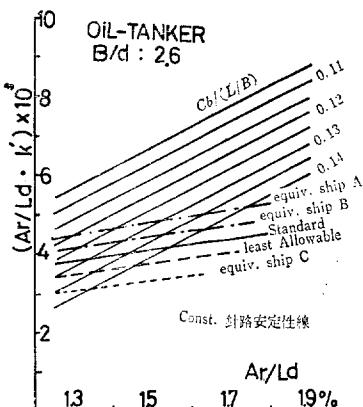


Fig. 5 船型·舵面積과 旋迴抵抗

舵面積이 減少하면 旋迴抵抗($A_r/Ld \cdot K'$)이 減少한다. $C_B/(L/B)$ 가 클 수록 旋迴抵抗이 작다.

Rudderless ($A_r/Ld=0$)에서는 旋迴抵抗이 陰이다. 針路安定性은(慣性)/（旋迴抵抗）의 값에 따라서 決定되며 이 比가 클수록 나쁘다. 따라서 이 圖表上에서 針路安定性 constant의 點은, 鎮線으로 나타내지는 左下降線上에 沿하게된다. 圖中 equiv. A라는 것은, 母集團中, 特히 保針性, 追從性이 좋은 A船과 同等한 慣性/旋迴抵抗의 比를 갖는 點을 連結한 것이며, 標準이라고 한것이 母集團의 平均의인 것, 許容界限라고 한것이 그 以下의 安定性으로서는 適當치 않다고 생각되는 慣性/抵抗의 比에 對應한다.

같은 圖表를 몇개의 B/d 에 對해서 만들고 標準이라고 생각되는 慣性/旋迴抵抗의 比——換言하면 針路安定性——를 주는 A_r/Ld 를 $C_B/(L/B)$ 및 B/d 의 函数

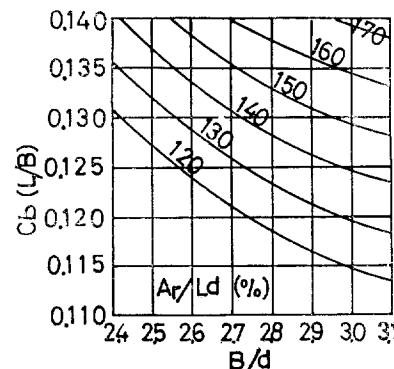


Fig. 6. Yamada의 舵面積決定圖表

의 꼴로 表現한 것이 Fig. 6이다 [5]. C_B , L/B , B/d 의 3者가 決定되면 이 圖表로부터, 지금 생각하고 있는 條件에 의한 舵面積을 決定할수가 있다.

2.3. 舵面積의 諸計算式과 그 比較

2.3.1. NV法則

NV는 1964年的 rule에서 다음式에 의해서 舵面積을 规定하고 있다.

$$\frac{A_r}{Ld} = \frac{1}{100} \left\{ 1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

B/L 이 크면 Nr' 의 減少를 가지오며, 또 B/L 이 커지면 그에 따라서 d/L 도 작아지므로 Y_B' 도 減少하여 針路安定의 低下를 招來하므로, 式(1)은 B/L 의 增大에 同伴되는 針路安定의 低下를 考慮해서 定해진 것이라고 생각된다.

이式에 의해서 定해지는 舵面積은 比較的 큰 값을 주는것 같다.

2.3.2 Murabashi-Yamada의 方法[6]

i) 方法은 1966년에 Murabashi-Yamada兩氏에 의해서 發表된 것이며, 旋迴性 및 針路安定性의 두개의 見地로부터 舵面積을 決定하려고 하는 方法이다.

針路安定의 見地:

無次元의 安定判定式

$$\frac{(Y_r - (m+m_s)) \cdot Y_\beta}{-(m+m_s)(I_z + J_z) - Y_r N_\beta} \times \left\{ \frac{N_r}{Y_r - (m+m_s)} - \frac{N_\beta}{Y_\beta} \right\} > 0$$

上式의 左邊 > 0.002 即 針路安定으로 保持하는데 必要한 舵面積比를, 가장 영향이 크다고 생각되는 船型要素 $p = \frac{BC_B}{d}$, $k = \frac{2d}{L}$ 를 使用해서 다음式으로 주고 있다.

$$\frac{A_r}{Ld} = \frac{0.002 - (1.07p - 2.29)k^2}{(4.82 + 2.08p)k \cdot r} \quad (2)$$

但. r 는 舵에 맞는 水流의 整流係數

旋迴性的 見地:

$3L$ 進行하는 사이에 60° 의 變針을 하는 것을 基準으로 하여

$$\frac{A_R}{Ld} = \frac{(0.1335 - 0.0121p)k}{1 - 0.0363p} \quad (3)$$

(2), (3)兩式을 고려하고 實際의 data에 의해서 修正을 加하여 Fig. 7과 같은 chart가 最終으로 提案되었다.

i) chart에 의해서 $p = C_B B/d$ 와 $k = 2d/L$ 를 變數로 해서 舵面積을 決定할수가 있다.

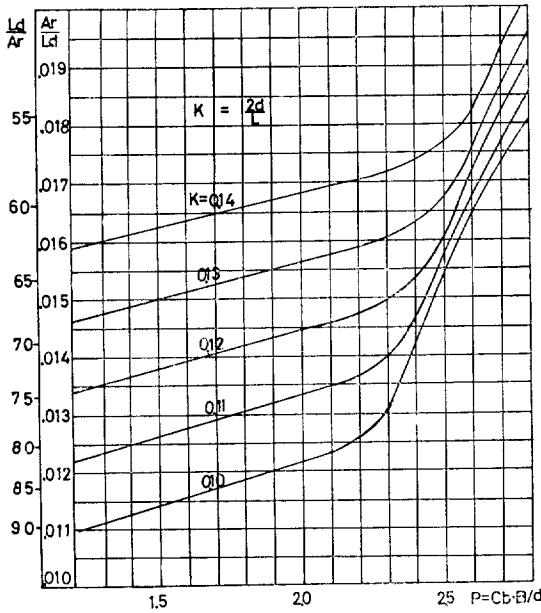


Fig. 7 Murabashi-Yamada Chart
(舵面積決定圖表)

2.3.3. Yamada의 方法[5]

이미 2.2에서 論한 方法이며, 特히 旋迴抵抗에 重點을 둔것이며, 따라서 L/B 가 直接 들어가 있는 것이 特徵이다. (Fig. 6).

2.3.4. N.K. 試案[7]

試案:

客船以外의 船舶에 對해서 操舵時間은 다음 算式에 依해서 算定된 値을 넘지 않는 限度內에서 길게 잡는 것을 認定하는 規定을 規則에 採用하는 것.

$$t = 7.22 \frac{L}{V} \left(\frac{1 - \frac{Ld}{A_e} \cdot \frac{BC_B}{L}}{13.3 - \frac{R}{L}} \right) \text{ sec} \quad (4)$$

$$A_e = \frac{A_r (0.6 + 0.4 \frac{D}{h})}{0.45 + 0.675 \frac{1}{\lambda}} \quad (5)$$

여기서

L : ship length (m).

V : ship speed (kts)

d : load draft (m)

B : beam (m)

A_e : effective rudder area

A_r : 舵의 可動部分의 側面積(m^2)

D : Propeller 直徑

h : 舵의 可動部分의 平均高(m)

λ : 舵의 aspect ratio

$\frac{R}{L}$: 다음 두가지의 算式에 의한 算定值中 큰 値

$$3.0 \left(\frac{B}{d} + 5 \right) \frac{Ld}{A_e} \times 10^{-3} \quad (6)$$

$$4.2 \left(\frac{L}{BC_B} \right)^2 \cdot \left(3 \frac{B}{d} - 1 \right) \frac{Ld}{A_e} \times 10^{-5} \quad (7)$$

i) 試案은 어떤 程度以上의 舵面積을 갖는 배에 對한 緩和規程이며, 이것에 의해서 큰 舵面積을 설정하는 것을 延長하려는 것이며, (4)式에서 操舵時間으로 28 sec 놓으면, 基準으로 생각되는 舵面積이 얻어진다. 巨大船에서는 R/L 은 (6)을 쓰게 되므로 (6)을 (4)에 代入하고 $t=28$ 秒에 對應한 舵面積比를 求하면 다음과 같다.

$$\frac{A_e}{Ld} = \frac{1}{13.3} \left\{ \frac{BC_B}{L} \frac{1}{\left(1 - \frac{t}{7.22 L/V} \right)} + \left(\frac{B}{d} + 5 \right) 0.003 \right\} \quad (8)$$

$$\text{또는 } \frac{A_e}{Ld} = \frac{1}{13.3} \left[\left\{ \frac{k}{2 \left(1 - \frac{t}{7.22 L/V} \right)} + \frac{0.003}{C_B} \right\} p + 0.015 \right] \quad (9)$$

2.3.5. 各計算法의 比較

Fig. 8는 大型 tanker 를 對象으로 해서 $L/B=5.5 \sim 7.0$, $B/d=2.4 \sim 3.0$, $C_B=0.8$ 의 範圍에 對해서 以上의 各法에 의해서 求한 舵面積을 比較한 것이다. NV規則이 큰 面積을 주고 있는 것을 알 수 있다. 또 NV規則에서는 全혀, NK規則에서는 거의 B/d 의 影響이 나와 있지 않다. 그러나 Murabashi-Yamada와 Yamada의 方法에서는 B/d 에 의한 差가 明白하다. 그런데 姵頭能力에 重點을 둔 村橋・山田의 方法과 旋迴抵抗乃至는 安

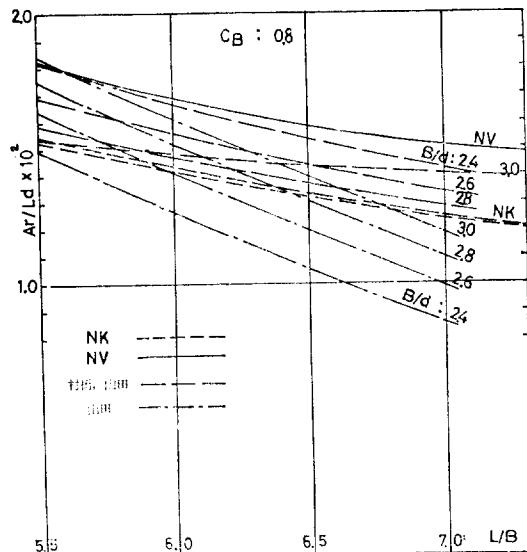


Fig.8. 舵面積比計算式의 比較

定性에 重點을 둔 山田의 方法에서는 B/d 의 영향이 逆이 되어 있다는데 注意하여야 하겠다. 더욱이 村橋・山田法에서는 $B/d=3.0$ 이 되면 針路安定性에 對한 補正이 갑자기 들어서 山田法과 같은 크기의 舵面積을 要求하고 있다.

大型 tanker의 平均的인 $B/d=2.8$ 程度에서 보면, $L/B=6.0 \sim 6.5$ 程度에서는 NK, 村橋・山田, 山田의 三者は 거의 一致한다. $L/B > 6.5$ 에서는 旋迴抵抗의 條件만으로서는 過小한 舵面積을 주게되는 것 같다.

3. 操舵速度와 操縱性

現行의 各船級協會, 各國政府規程이 모두 操舵速度에 對해서 35°로부터 反對舷 35°까지를 28秒 以內에 움직일 것을 要求하고 있는데 이값은 배의 大小, 速力에 關係없이 一律의이다. 이것은 不合理하다고 생각된다.

$$\psi = k\delta_0 \left\{ t - (T_1 + T_2 - T_3) - \frac{t_1}{2} + \frac{(T_1 - T_3)T_1^2}{(T_1 - T_2)t_1} (e^{t_1/T_1} - 1)e^{-t_1/T_1} - \frac{(T_2 - T_3)T_2^2}{(T_1 - T_2)t_1} (e^{t_1/T_1} - 1)e^{-t_1/T_1} \right\}$$

이식은 線型運動方程式을 써서 操舵後의 배의 運動을 計算한 결과이다. 여기서 ψ : 姵頭角, δ_0 : 舵角, K_1, T_2, T_3 : 船型舵等으로 決定되는 特性常數(K =旋迴力指數, T =追進安定指數), t_1 : 操舵에 消費한 時間이다.

時間이 充分히 經過되었을 때를 생각하면 배의 運動은

$$\psi \approx K\delta_0 \left\{ t - (T_1 + T_2 - T_3) \right\} - \frac{t_1}{2}$$

이 된다. 運動의 lag가 全혀 없다고하면

$$\psi = K\delta_0 t$$

가 되므로, 이것으로부터 생각하면 배의 姵頭運動이 일어나는 time lag는

$$(T_1 + T_2 - T_3) + \frac{t_1}{2} \equiv T + \frac{t_1}{2}$$

으로 생각할 수 있다. 그리고 T 가 배自身의 運動 lag, $t_1/2$ 가 操舵機의 lag라고 생각해도 좋다. 이것은 實驗에 의해서 確認되었다.

操舵發令後, 배가 充分한 姵頭運動에 到達하기 까지의 遲延時間은 操舵機의 lag와 배의 lag의 합이다. 大型船은 배의 lag가 큼으로, 全體의 lag 中에서 操舵機의 lag이 占領하는 率이 작다. 따라서 천천히 操舵해도 全體의 lag에는 큰 影響을 끼치지 않는다.

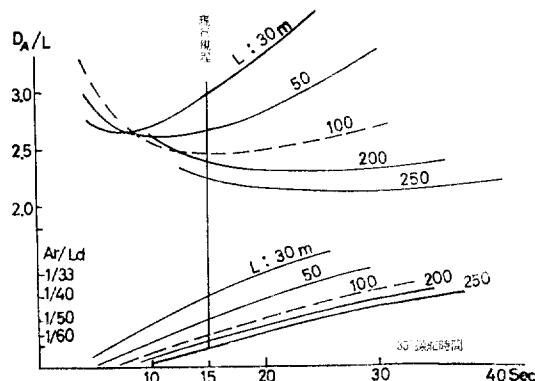


Fig.9 操舵機馬力一定條件下에서의 操舵時間과 advance

그리므로 操舵時間은 배의 運動 lag, 換言하면 배의大小, 速力等에 따라서 最適值가 있을 것이며 大形船에서는 不必要하게 舵를 빨리 움직여서 操舵馬力を 올리고 있을 턴지 모른다.

操舵機馬力を 一定하게 하고 舵面積과 操舵速度를 바꾸는 것을 생각하여보자. 舵面積의 增加는 그 1.5倍의 比率로 舵 torque를 增加하고, 그만큼 操舵速度의 減少를 招來한다. 舵面積의 增加는 배의 運動의 lag를 減少하고, 操舵速度의 減少는 操舵機의 lag를 增加한다. 따라서, 操舵馬力一定條件下에서 全體의 姵頭遲延을 最

小료하는 舵面積과 操舵速度의 combination이 있을 것이다. 또 衝突迴避等에 큰 關聯을 갖는다고 보여지는 advance를 取하여, 上記의 姻頭 lag 最小代身에 advance 最小의 舵面積, 操舵速度의 combination을 생각 할 수 있다.

Fig. 9는 위의 結果이다.

結　　言

지금까지 大型船의 操縱性能과 舵面積에 關해서 論하였는데 大型化함에 따라서 2軸1舵, 2軸2舵等의 問題도 있다. 앞으로 大型船의 操縱性의 特性에 關한 研究에도 注力하여 그 特性을 考慮한 操縱性設計가 이루어질 것을 念願한다.

參　　考　文　獻

- [1] 野本・元良, “操縦性研究の船舶設計に對する應用”, 第2回操縦性シンポジウム, 日本造船學會, 1970.
- [2] 志波・水野・富田・江田, “模型船による最適舵面積の研究”, 造船協會論文集, 第105號, 1959
- [3] H. Shiba, “Model Experiments about the Maneuverability and Turning of Ships,” Discussion Fig.2. DTMB Report 1961, 1960
- [4] 元良・小山, “自動操縦による 操縦性能の向上について”, 造船協會論文集, 第116號, 1964
- [5] 山田, “大型船의 操縱性判定と 舵面積の 決定”, 關西造船協會誌, 第134號, 1969
- [6] 村橋・山田, “操縦性より見た舵面積決定法”, 西部造船會會報, 第32號, 1966
- [7] 日本海事協會, “操縦速度研究小委員會報告書(案)”, 1970