

# 船舶의 最短停止距離와 所要時間의 計算式에 關한 研究

尹 順 東

A Study on Formulas Calculating  
the Shortest Stopping Distance and  
the Time Required During Stopping Manoeuvre

Soon-dong Yoon

〈目 次〉

Abstract

記 號 說 明

i. 序 論

II. 理 論

1. 座標系와 船體運動의 基本式

2. 最短停止距離와 所要時間에 대한 理論式

III. 實驗結果 및 考察

1. 實驗値와 理論計算値의 比較檢討

IV. 結 論

參 考 文 獻

附錄 I. 表 1, 2, 3,

附錄 II. S, t 의 解

附錄 III. 反轉 惰力 試驗圖

## A B S T R A C T

In this paper, the author tried to show the theoretical formulas about the shortest stopping distance and the time required during stopping manoeuvre.

The following method of investigation is used. The motion of ship during stopping manoeuvre is divided into two phases. The one is the ship motion from the time of turn astern engine ordered to that of engine revolution stopped, the other, her motion from the time of engine revolution stopped to that of ship stopped.

The theoretical formulas about the shortest stopping distance and the time required during stopping manoeuvre are derived from ships general equation of motion and the characteristic values of an inherent ship motion. And then the author calculated them with the proposed theoretical formulas. Comparing the calculated results with the experimental results, they coincide well with each other.

In conclusion

- i) The shortest stopping distance can be predicted by the theoretical formula(12), and roughly by the formula  $S = 860 + 102 \Delta$ . in case of the normal cruising speed 15kt of general merchant ships.
- ii) The time required to stopping can be predicted by the theoretical formula(14), and roughly by the formula  $t = 3.7 + 0.31 \Delta$ . in case of the normal cruising speed 15kt of general merchant ships.

記 號 說 明

- $I_z$  : z 軸周圍의 慣性 모우멘트  
 $J_z$  : z 軸周圍의 附加慣性 모우멘트  
 $m$  : 船體質量  
 $m_x$  : x 軸方向의 附加質量  
 $m_y$  : y 軸方向의 附加質量  
 $u$  : x 軸方向의 速度  
 $v$  : y 軸方向의 速度  
 $r$  : 旋回角速度  
 $X$  : x 軸方向의 合力  
 $Y$  : y 軸方向의 合力  
 $N$  : z 軸周圍의 합모우멘트  
 $T_o$  : 有效 前進推力  
 $T_s$  : 有效後進推力  
 $R_h$  : 船體의 全抵抗  
 $R_o$  : 初速力에 대한 船體抵抗  
 $S_1$  :  $t = t_1$  까지의 船體進出距離  
 $t_1$  :  $t = t_1$  까지의 所要時間  
 $S_2$  :  $t_1$  에서 停船時까지의 進出距離  
 $t_2$  :  $t_1$  에서 停船時까지의 所要時間  
 $S$  : 最短停止距離 (  $S = S_1 + S_2$  )  
 $t'$  : 所要時間 (  $t' = t_1 + t_2$  )  
 $t''$  : 所要時間 (  $t'$  의 修正值 )  
 $n$  : 速力減小率  
 $\alpha_1$  :  $S_1$  의 修正係數  
 $\beta_1$  :  $t_1$  의 修正係數  
 $\alpha_2$  :  $S_2$  의 減小係數  
 $\beta_2$  :  $t_2$  의 減小係數  
 $U_o$  : 初速力  
 $U_1$  :  $t_1$  時 船速  
 $\Delta_o$  : 排水量 / 4,000 噸  
 $\alpha$  : Drift angle



## I. 序 論

航海者는 船舶의 衝突危險 또는 坐礁 危險이 急迫하면 最善의 勞力을 기울여 이러한 危險을 막아야 하고 不可能할 때에는 次善策으로 船體損傷을 最小化 하여야 한다.

이러한 때에는 航行中인 船舶이 主機關을 逆轉하여 最短時間內에 船舶의 前進速力를 줄이고 急停止하는 것이 큰 事故를 豫防하는 가장 좋은 方法이다. 船舶이 前進全速으로 航行中에 機關을 後進全速으로 發動하고 나서 前進을 멈출 때까지의 惰力을 反轉惰力, 後進機關 發動地點부터 前進을 멈출때까지의 進出距離를 最短停止距離라고 부른다.

現在 모든 船舶에는 換船時 參考할 資料의 하나로서 船舶建造를 完了하여 海上試運轉을 행할때에 反轉惰力 試驗을 행하여 作成한 反轉惰力曲線圖가 備置되어 있다.

이것은 어디까지나 實船試驗을 행하여 얻은 曲線圖들이며 理論計算과는 一致하지 않는다.

反轉惰力에 관한 外國에서의 理論的인 研究는 日本의 東京商船大學 Tani 教授의 論文<sup>1)</sup> 을 비롯하여 數編의 研究들이 있다. 그러나 中小型의 貨物船, 油槽船을 對象으로 하면 이들이 研究한 數式에 의한 計算値는 實船實驗値보다 過小한 값이 되는 것 같다.

그 理由로서는 船舶이 機關逆轉時 斜航할 때의 後進推力, 附加質量等의 正確한 推定이 어려운때 原因이 있다고 생각된다.

本 論文의 目的은 實船實驗에 잘 一致하는 最短停止 距離와 所要時間에 대한 理論式을 만드는 것이다.

研究方法로서는 船舶의 固有한 運動特性値를 算出하는 式을 만들고, 이것과 船體一般 運動方程式을 利用하여 最短停止距離와 所要時間을 算出하는 計算式을 定立한다. 그리고 여러 船舶의 實船試驗成績圖를 基礎로하여 위의 計算式의 係數를 決定하였다.

## II. 理 論

### 1. 座標系와 船體運動의 基本式

船體가 旋回運動을 할때에 重心 G에 座標原點을 잡고 船首尾方向, 正橫方向, 垂直方向을 各各 x, y, z 軸으로 한 座標를 設定하여 旋回運動時 各軸에 대한 船體의 運動方程式을 나타내면 式(1)과 같다.

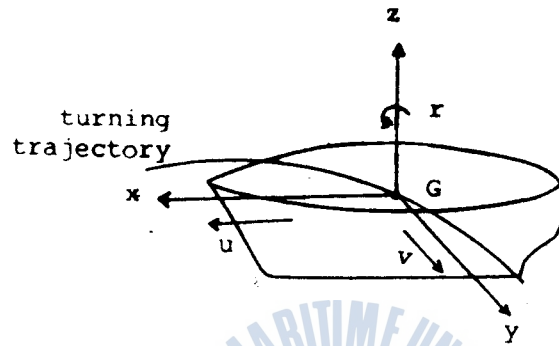


Fig. 1. Coordinate system

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} + (m + m_y) v_r &= X \\ (m + m_y) \dot{v} - (m + m_x) u_r &= Y \\ (I_z + J_z) \dot{r} &= N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)^2$$

단 부호는 x 軸에서는 前方을 +, y 軸에서는 左舷方向을 +, z 軸에서는 上方을 +로 한다.

式(1)의 x 軸方向의 힘 X를  $T_o - R_h$ 로 바꾼 運動方程式으로 만들면 式(2)가 된다.

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} + (m + m_y) v_r &= T_o - R_h \\ (m + m_y) \dot{v} - (m + m_x) u_r &= Y \\ (I_z + J_z) \dot{r} &= N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2) \quad \dots\dots\dots 3)$$

2. 最短停止距離와 所要時間에 대한 理論式

前進全速으로 航走하다가 機關을 後進全速으로 發動하여 航體가 停止하기까지의 進出距離와 停止에 要하는 時間을 구하기 위하여 式(2)의 x 軸方向 運動式을 利用한다.

x軸方向에 作用하는 힘은 機關停止 發令時 부터 Screw Propeller 停止時까지 미치는 前進推力. 機關逆轉에 의한 後進推力, 船體에 作用하는 抵抗力이다. 反轉轉力 試驗時 固定 艤차 右旋短推進器를 裝備한 船舶을 對象으로 하고 舵角을 正中으로 하여 前進中 後進機關을 걸면 外力이 없는 條件에서 排水流의 側壓作用에 의하여 船首가 右回頭한다. 이 船首 右回頭에 의하여 나타나 는 遠心力中 x軸方向의 抵抗成分만큼 抵抗이 增加한다. 前進航走中 後進機關을 發令하면 Screw Propeller가 停止하기까지는 相當한 時間이 걸리는데 이때의 船體는 直進하고, 機關이 逆轉된 後 船首가 서서히 右回頭하게 되는데 뚜렷한 船體旋回は FIG. 2와 같이 船速이 아주 느리고 停止點에 가까웠을 때에 나타난다.

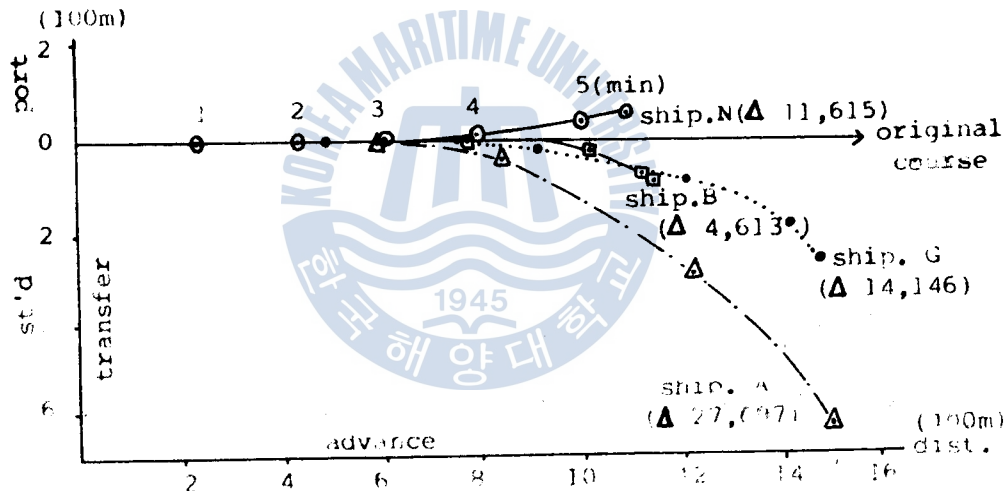


Fig. 2. Ship's track in Crash stop astern test

FIG. 2를 보면 船體의 運動軌跡이 中小型船에서는 旋回角이 적어서 直線에 가깝고 大型船이 될수록 旋回角이 커져서 曲率이 커지나 初期의 進出距離가 크며 旋回角이 大略 50°程度되었을 때에는 이미 全進出 距離의 90% 이상 進出하였을 때이다 (附錄 I - 表 1). 따라서 旋回에 의한 遠心力의 抵抗成分은 相對적으로 대단히 적은 것이므로 無視하여 最短停止距離에 影響을 미치지 않는 것으로 본다.

船體抵抗  $R_H$ 는 船速의 자승에 比例한다고 보아서  $R_H = R_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^2$ 으로 놓는다. 또한 이렇게 假定함으로써 船體의 運動方程式의 解를 容易하게 만든다.

FIG. 3은 船速, RPM, 推力變化를 圖示한 것이다.

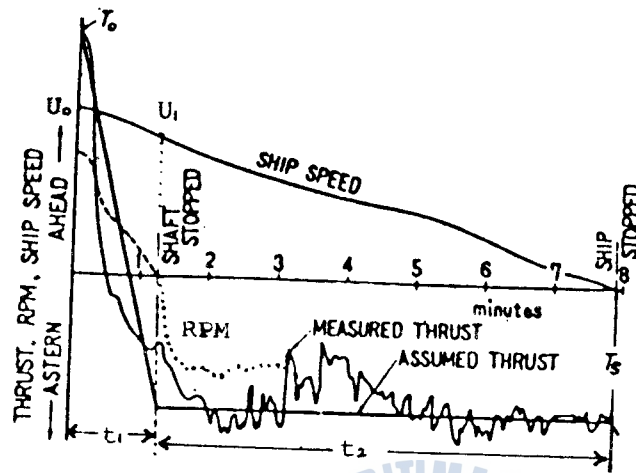


Fig.3. Results of Crash stop manoeuvre

FIG.3의 推力變化를 보면 前進全速으로 航走中 後進機關을 發令하면 Propeller는 前進RPM에서 不規則的으로 減小하면서 Zero로 된 後 곧바로 (約 2 - 3 秒)<sup>4)</sup> 一定한 後進 RPM이 나온다고 볼 수 있다.

이때의 推力變化는 대단히 複雜하여 解析이 어려우므로 解析이 容易하도록 하기 위하여 다음과 같이 假定한다.

Propeller가 前進全速 RPM에서 Zero로 바뀔때까지 推力은 前進推力에서 後進 推力으로<sup>5)</sup> 直線的으로 減小한다(一段階). 이 後에는 一定한 後進推力이 나온다(二段階),라고 보고 FIG. 3과 같이 推力을 假定한다.

이때의 一定한 後進推力의 推算도 어려우며, FIG. 3에서의 船體의 運動軌跡을 보면 船首가 右回頭하면서 前進하므로 直進時보다도 附加質量이 增加하는데 이 附加質量을 一率的으로 算定하기가 容易하지 않다<sup>6)</sup>.

航海速力時 前進推力은 有效推進効率을 65%<sup>7)</sup>로 假定하여 求하고 後進推力의 附加質量을 一率的으로 다음과 같이 假定한다.

이때 後進推力은 前進推力의 倍數 ( $T_s = 0.7 T_0$ )로 잡는다.

또한 反轉惰力 試驗時 附加質量은  $m_x = 0.2 m$ 로 잡는다<sup>8)</sup>.

이런계 問題을 單純化시킨 後 進出距離와 所要時間을 求하기 위하여 式(2)의

x-軸方向運動式을 利用하되 上記의 推力變化에 따른 두 段階로 나누어 計算式을 세운다.

(1)  $t = t_1$ 될때까지의 船體進出距離 및 所要時間 計算式

船舶의 크기, 船型 및 主機特性에 따라서 S 및  $t_1$ 이 船舶마다 달리 나  
오므로 一率的인 數式을 定立하기 위하여 다음과 같은 方法을 取한다.

- ① 船舶特性에 따른 固有值로서  $\frac{U_0^3 (m + m_w)}{2 T_0}$ 의 假想距離值와  $\frac{U_0 (m + m_w)}{T_0}$ 의 假想時間值를 想定한다.
- ② 推力이  $T_0$ 에서  $T_s$ 까지 減小될때의 速度減小率  $n = \frac{U_0 - U_s}{U_0}$ 를 實船試驗成績을 利用하여 구한다.
- ③ 實船試驗成績에 의하면 S,  $t_1$ 의 增加量이 排水量增加에 比하여 鈍化되므로 (FIG. 4) 이들에 대한 修正係數를  $\alpha_1, \beta_1$ 이라고 假定한다.

이렇게 하여 船舶의 進出距離와 所要時間을 算出하는 式을 만들면 式(3)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{U_0^2 (m + m_w)}{2 T_0} \quad n \cdot \alpha_1 \\ t_1 &= \frac{U_0 (m + m_w)}{T_0} \quad n \cdot \beta_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

實船試驗成績에 의한 速度減小率 n과 排水量과의 關係는 FIG. 4와 같다.

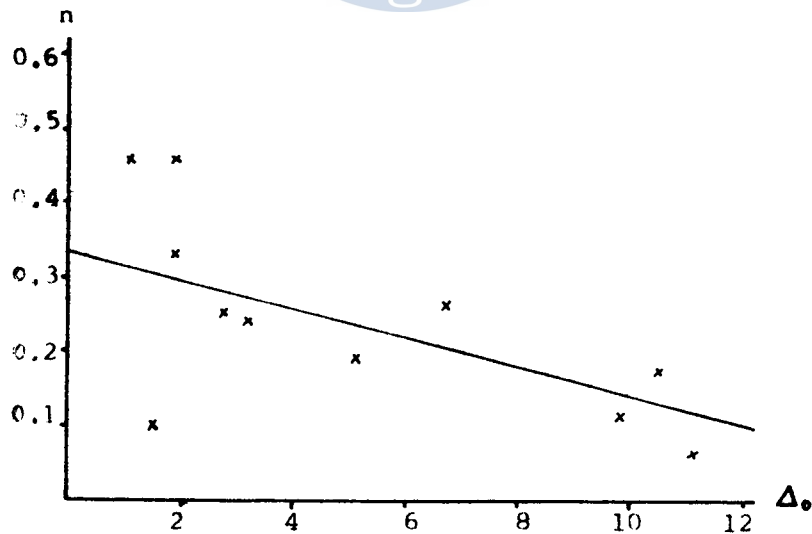


Fig. 4. Speed reduction rate versus displacement



直線的으로 減小한다고 볼 수 있다.

最小自乘法을 利用하여 速度減小率  $n$ 의 變化를 實驗式으로 나타내면

$$n = 0.34 - 0.02 \Delta_0 \dots \dots \dots (4) \text{ 가 된다.}$$

단,  $\Delta_0$ 은 排水量을 無次元化한 數值이다.

試驗時의 排水量과  $S_1$ ,  $t_1$ 과의 關係를 圖示하면 FIG. 5와 같다

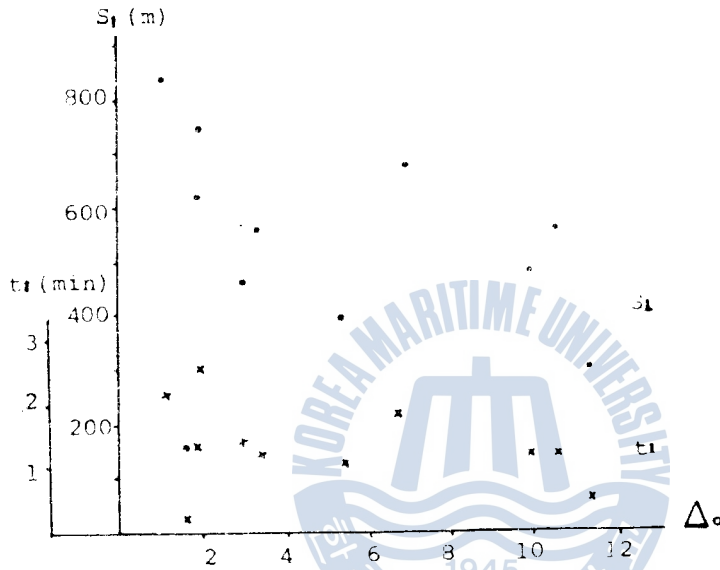


Fig. 5. Real ship test results of  $S_1$  and  $t_1$

$S_1$ 의 係數  $a_1$ 을 구하기 FIG. 5의 排水量에 대한  $S_1$ 의 graph를 排水量과

인  $S_1 = 10^{-2} / n (10^2 (m + n \Delta_0^2))$ 에 관한 graph로 바꾸면 FIG. 6과 같다.

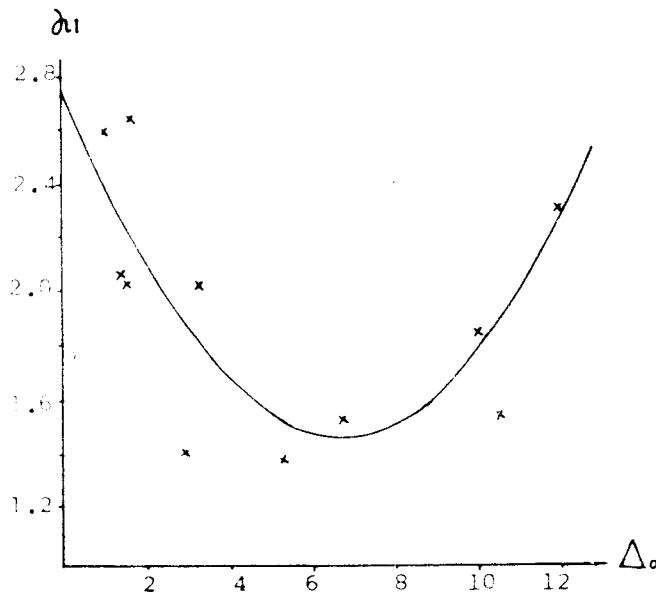


Fig. 6. Coefficient  $a_1$  versus displacement

FIG. 6을 觀察하여 보면  $\alpha_1$  값은 拋物線形을 이루고 있음을 알 수 있다. 最小自乘法를 利用하여 이 傾向線을 2次 拋物線으로 나타내면 式(5)가 된다.

$$\alpha_1 = 2.79 - 0.4 \Delta_0 + 0.03 \Delta_0^2 \dots\dots\dots (5)$$

$t_1$ 의 係數  $\beta_1$ 을 구하기 위하여 FIG. 6의 排水量에 對한  $t_1$ 의 graph를 排水量과  $T_0 t_1 / \nu_0(m + m_x)$ 에 關한 graph로 바꾸면 FIG. 7과 같다.

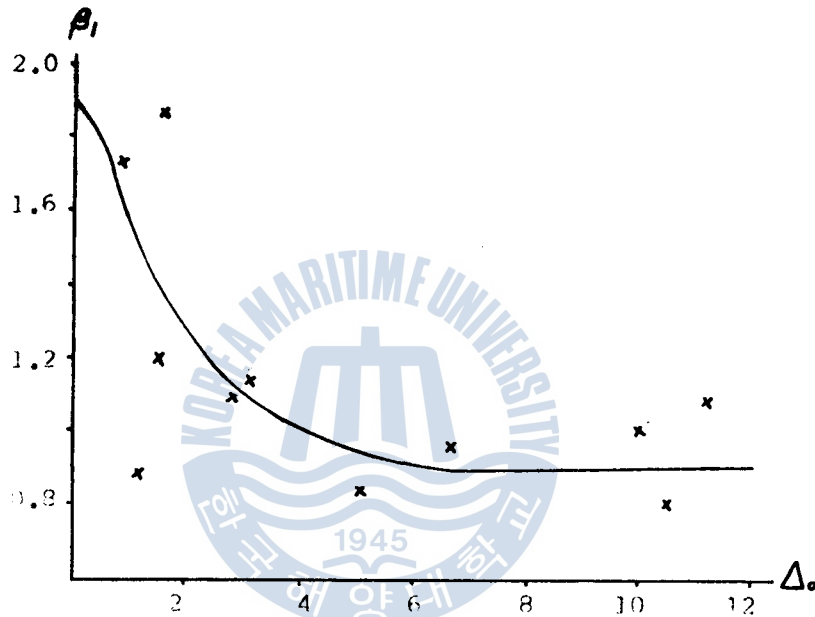


Fig. 7. Coefficient  $\beta_1$  versus displacement

FIG. 7에서 排水量과 係數  $\beta_1$ 은 hyperbolic 函數를 이루고 있다. 이 傾向線을 數式으로 나타내면 式(6)이 된다.

$$\beta_1 = 0.90 + \text{Sech}(0.75 \Delta_0) \dots\dots\dots (6)$$

(2)  $t \geq t_1$ 일때 運動方程式

이때의 推力은 一定한 後進推力  $T_s$ 가 나온다고 假定하였으므로 x 軸方向의 運動方程式

$$(m + m_x) \frac{du}{dt} = -T_s - T_0 \left(\frac{u}{U_b}\right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

이 된다.

이 運動方程式을  $S, t$ 에 關하여 풀고  $S_2, t_2$ 라고 놓는다(附錄II參照).

$$\left. \begin{aligned} S_2 &= \frac{U^2 (m + m_x)}{2 T_0} \ln \left( 1 + \frac{U^2}{0.7U_0^2} \right) \\ t_2 &= \frac{1.19U_0 (m + m_x)}{T_0} \tan^{-1} \left( \frac{1.19U}{U_0} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

實船試驗成績의  $S_2$ ,  $t_2$ 를 實船試驗時의 排水量과의 關係로 나타내면 FIG. 8 이 된다.

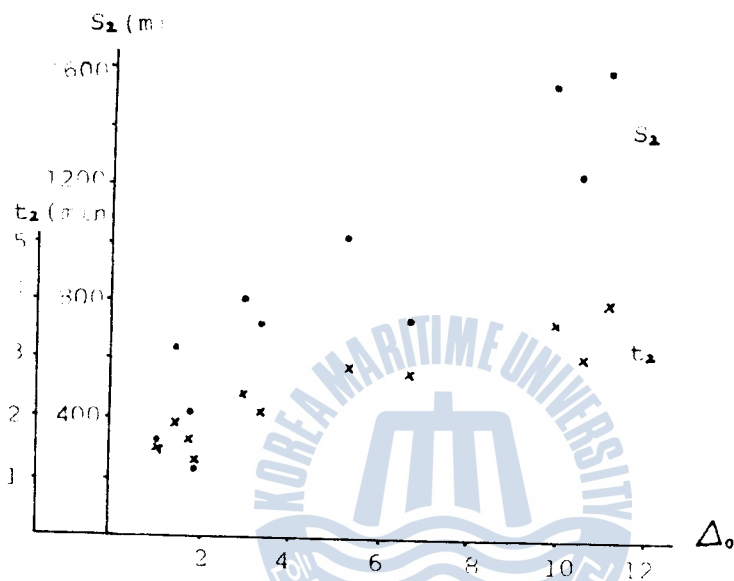


FIG. 8. Real ship test results of  $S_2$  and  $t_2$

FIG. 8에서  $S_2$ ,  $t_2$ 는 排水量의 增加와 더불어 增加하고 있다. 實船試驗成績에 一致시키기 위하여 減小係數  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ 를 넣으면 式(8)은

$$\left. \begin{aligned} S_2 &= \frac{U_0^2 (m + m_x)}{2 T_0} \cdot \frac{1}{\alpha_2} \ln \left( 1 + \frac{U^2}{0.7U_0^2} \right) \\ t_2 &= \frac{1.19U_0 (m + m_x)}{T_0} \cdot \frac{1}{\beta_2} \tan^{-1} \left( \frac{1.19U}{U_0} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

이 된다.

式(9)  $S_2$ 의 減小係數  $\alpha_2$ 를 구하기 위하여 排水量과

$\frac{U_0^2 (m + m_x)}{2 T_0 S_2} \ln \left( 1 + \frac{U^2}{0.7U_0^2} \right)$ 에 關한 graph를 그리면 FIG. 9가 된다.

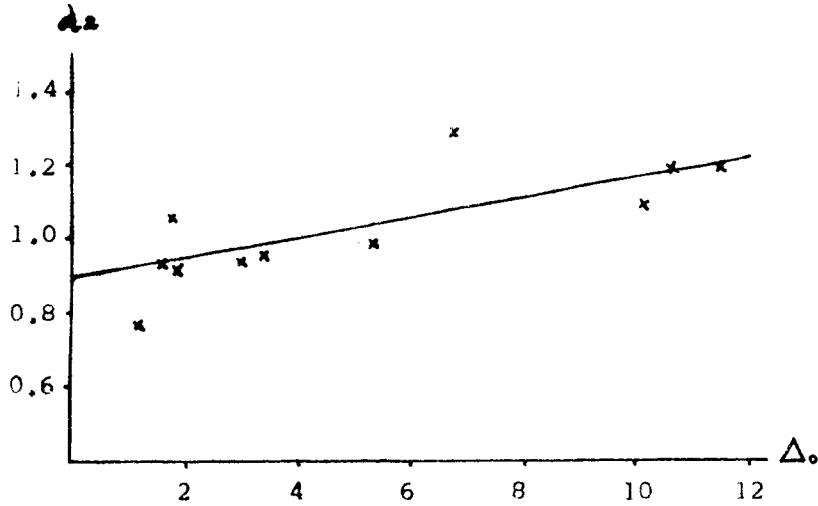


Fig. 9. Decaying coefficient  $\alpha_2$  versus displacement

FIG. 9에서  $\alpha_2$ 는 排水量 增加와 함께 直線的으로 增加함을 나타내고 있다. 이 傾向線은 式(10)과 같은 一次式이 된다.

$$\alpha_2 = 0.88 + 0.03\Delta_0 \dots\dots\dots (10)$$

$t_2$ 의 减小係數  $\beta_2$ 를 찾아내기 위하여 排水量과

$$\frac{1.19U_0(m+m_k)}{T_0 t_2} \tan^{-1} \left( \frac{1.19U_1}{U_0} \right) \text{에 關한 graph를 그리면 FIG.10이}$$

된다.

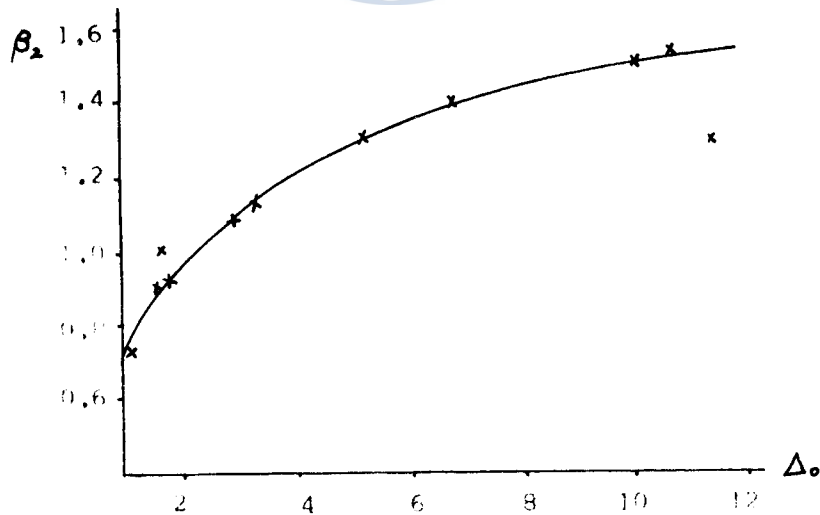


Fig.10. Decaying coefficient  $\beta_2$  versus displacement

FIG. 10에서  $\beta_2$ 는 排水量 增加와 함께 對數函數的으로 增加한다.

이것을 數式으로 만들면

$$\beta_2 = 0.70 + 0.83 \log \Delta_o \dots\dots\dots (11) \text{ 가 된다.}$$

以上の 結果를 綜合하여

(3) 最短停止距離

$$S = S_1 + S_2$$

따라서 
$$S = \frac{U_o^2 (m + m_x)}{2 T_o} \cdot n \alpha_1 + \frac{U_o^2 (m + m_x)}{2 T_o} \cdot \frac{1}{\alpha_2} \ln \left( 1 + \frac{U_1^2}{0.7 U_o^2} \right)$$

$$S = \frac{U_o^2 (m + m_x)}{2 T_o} \left[ n ( 2.79 - 0.4 \Delta_o + 0.03 \Delta_o^2 ) + \frac{1}{0.88 + 0.03 \Delta_o} \ln \left( 1 + \frac{U_1^2}{0.7 U_o^2} \right) \right] \dots\dots\dots (12)$$

(4) 所要時間

$$t' = t_1 + t_2$$

따라서

$$t' = \frac{U_o (m + m_x)}{T_o} \cdot n \beta_1 + \frac{1.19 U_o (m + m_x)}{T_o} \cdot \frac{1}{\beta_2} \tan^{-1} \left( \frac{1.19 U_1}{U_o} \right)$$

$$t' = \frac{U_o (m + m_x)}{T_o} \left[ n \{ 0.90 + \operatorname{sech} (0.75 \Delta_o) \} + \frac{1}{0.83 + 0.99 \log \Delta_o} \tan^{-1} \left( \frac{1.19 U_1}{U_o} \right) \right] \dots\dots\dots (13)$$

이 理論式  $t'$ 의 값은 排水量 增加와 함께 一定한 比率로 實驗값과의 差가 커진다 (FIG. 12).

實船實驗 값에 一致시키기 위하여  $t'$ 에 所要時間 係數  $1.18 e^{0.014 \Delta_o}$

를 곱하여  $t''$ 라고 하면

$$t'' = \frac{1.18 U_o (m + m_x)}{T_o} \cdot e^{0.014 \Delta_o} \left[ n \{ 0.90 + \operatorname{sech} (0.75 \Delta_o) \} + \frac{1}{0.83 + 0.99 \log \Delta_o} \tan^{-1} \left( \frac{1.19 U_1}{U_o} \right) \right] \dots\dots\dots (14)$$

이 된다.

III. 實驗結果 및 考察

1. 實驗値와 理論計算値의 比較檢討

(1) 最短停止距離

最短停止距離에 대한 實驗値과 理論計算値를 比較하면 FIG .11 과 같다 .

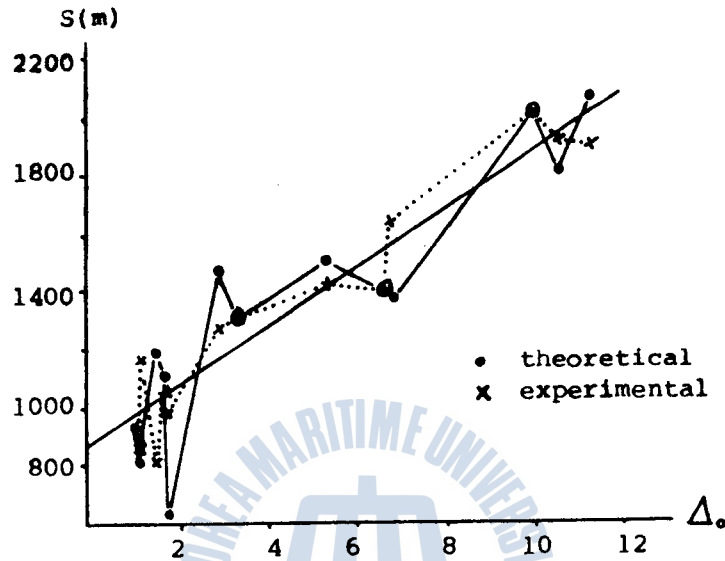


Fig.11. Comparisons of theoretical distance and experimental distance

FIG . 11에서 最短停止距離에 대한 實驗値와 理論計算値가 比較的 잘 一致하고 있으며 이때 最短停止距離는 數式

$$S = 860 + 102 \Delta . (m) \dots\dots\dots (15)$$

로 略算할 수 있다.

## (2) 所要時間

所要時間에 대한 實驗값과 式(13)의 理論計算값을 比較하면 FIG. 12와 같다 .

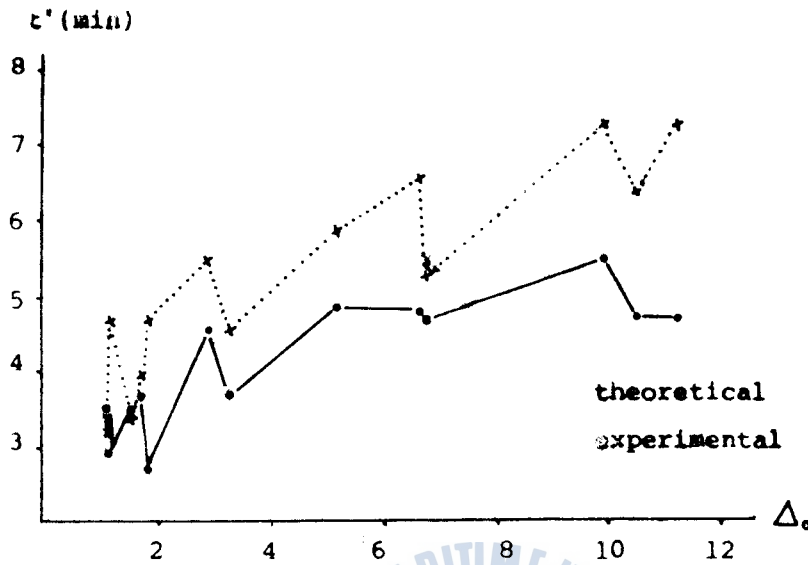


Fig.12. Comparisons of theoretical time  $t'$  and experimental time

FIG. 12를 보면  $t'$ 의 實驗値와 理論値의 差가 排水量 增加와 함께 一定한 比率로 커지고 있음을 나타낸다.

FIG.12의 實驗値와 理論値를 一致시키기 위하여 式(13)에 所要時間 係數  $1.18 e^{0.014 \Delta_0}$  倍를 곱한 式(14)의 理論計算値와 實驗値를 比較하면 FIG.13과 같다.

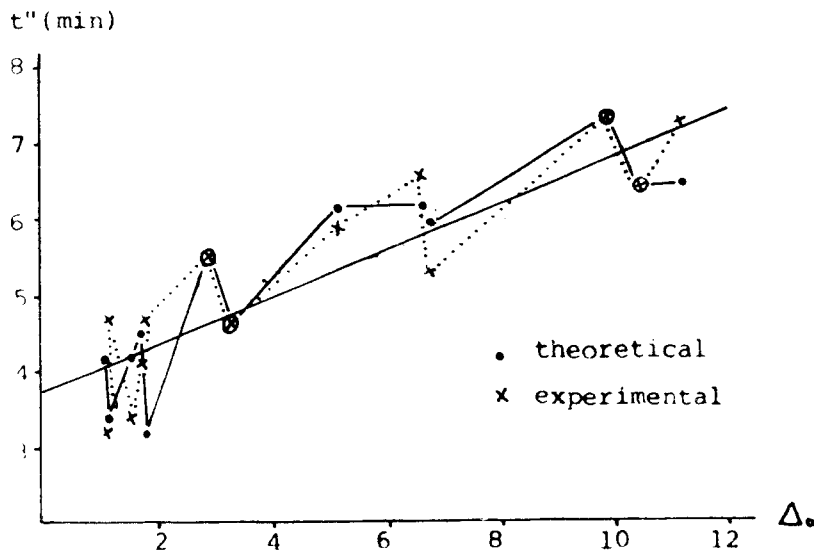


Fig.13. Comparisons of theoretical time  $t''$  and experimental time

FIG.13에서 所要時間에 대한 實驗値와 理論計算値가 比較的 잘 一致하고 있으며, 이때 所要時間은 數式

$$t^* = 3.7 + 0.31 \Delta. (\text{min}) \dots\dots\dots (16)$$

으로 略算할 수 있다.

以上の 比較에서 最短停止距離와 所要時間에 대한 理論式은 實驗값에 比較的 잘 一致함을 알았다. 보다 精密한 計算은 本論文에서 假定으로 處理한 後進時 附加質量, 後進推力和 比較的 微小하여 無視한 時驗時的 外力等を 考慮하여야 할 것이다.

#### IV. 結 論

以上の 理論式과 實驗結果에 의하여 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

- (1) 最短停止距離는 理論式(12)로서 計算할 수 있고 一般商船의 平均航海 速度가 15 Kt 程度일 때에는  $S = 860 + 102 \Delta$ 로서 略算할 수 있다.
- (2) 所要時間은 理論式(14)로서 計算할 수 있고 一般商船의 平均航海速度가 15kt 程度일 때에는  $t^* = 3.7 + 0.31 \Delta$ 로서 略算할 수 있다.

이러한 結論은 實驗對象船을 中小型船으로 限定하여 얻었으므로 巨大型船에 대하여는 이 理論式的 適用與否에 대한 研究가 必要하다고 생각된다.



參 考 文 獻

1. 谷初藏 外1人, 船の急速停止について, 第2回 操縦性シンポジウム テキスト,  
日本造船學會, 東京(1970.11) PP.85-99
2. 元良誠三, 船體運動力學, 共立出版社, 東京(1964.8)  
P. 11
3. 船海便覽編集委員會, 航海便覽, 海文堂, 東京(1972.4)  
P. 622
4. 日本海難防止協會, 超大型船 操船の手引き, 成山堂, 東京(1975.9)  
P. 17 - 21
5. D.W.Taylor, The speed and Power of ships, U.S Maritime Commission  
(1933) P. 175
6. 仲渡道夫 外3人, 船の加減運動に 關する 實驗的 研究.  
日本造船學會 論文集 第140號, 東京(1976.12) P.82
7. 尹點東, 船舶運用의 理論과 實務, 第一文化社, 釜山(1982.4)  
P. 113 - 119
8. 岩井聰, 操船論, 海文堂, 東京(1967.3)  
P.54

## 附錄 I

Table 1. Turning angle versus advanced distance rate during crash stop astern test

Ship's Name	Displacement (ton)	Turning angle	Advanced distance					
			Distance (m)	Percentage	Distance (m)	Percentage		
B . H	4,613	0 ° 15 ° 25 °						
		Time taken	2' 3' 4' 4'-40					
		Advanced distance	780	1,030	1,140	1,160(m)		
NSD	11,615	0 ° 6 ° 9 °						
		Time taken	3' 4' 5' 5'-30					
		Advanced distance	420	800	1,200	1,280(m)		
G . P	14,146	0 ° 7 ° 22 ° 54 ° 71 °						
		Time taken	1' 2' 3' 4' 5'-11					
		Advanced distance	500	910	1,230	1,420 1,470		
A . 17	27,097	0 ° 12 ° 28 ° 48 ° 71 °						
		Time taken	50'' 1' 2' 3' 4' 5'-15''					
		Advanced distance	600	850	1,220	1,480 1,620 1,642		
			37%	52%	74%	90%	99%	100%

附錄 1

Table 2. Real Ship Trial Condition

Ship's name	L × B (m)	Displacement (ton)	Mean Draft (m)	Trim by the stern	B. H. P	Initial speed (kt)	Sea state	Rel. Wind direction	Wind Speed
K. C	119 × 18	4,573	3 - 21	3.36	5,260	16.5	Calm	Calm	Calm
B. H	111.5 × 19.2	4,613	3 - 40	3.51	5,100	16.7	Slight	1 o'clock	8 m/s
O. B	136 × 21.6	6,631	3 - 27	4.41	8,000	17.7	Smooth	3 "	9 m/s
O. P <sub>1</sub>	135 × 21	7,068	3 - 57	4.12	6,400	17.0	Calm	2 "	6.5 m/s
J. M	109.9 × 20	7,125	3 - 89	1.19	4,830	13.5	moed	7 "	13.4 m/s
N. S. D	142 × 22.6	11,615	4 - 12	2 - 02	6,600	16.3	Slight	10 $\frac{1}{2}$ "	8 m/s
P. 1	164.5 × 22.8	13,185	4 - 47	2.38	10,000	17.4	Smooth	2 "	10 m/s
B. J	127 × 23	21,118	8 - 98	0.95	7,316	14.6	Slight	11 "	8 m/s
G. G	148.6 × 22.9	27,049	9 - 50	0.50	8,040	14.3	Slight	3 "	8 m/s
A. 17	178 × 23.4	27,097	6 - 89	2.12	8,960	15.1	Calm	Calm	Calm
O. H	215 × 32	39,896	7 - 42	0.25	10,950	15.5	Smooth	10 $\frac{1}{2}$ "	10 m/s
S. B	169 × 29.6	42,330	6 - 91	1.80	14,400	16.3	Calm	Calm	Calm
U. A. L	180 × 30	45,373	6 - 49	1.58	15,000	17.2	Slight	1 "	13 m/s

## 附錄 I

Table 3. The Shortest Stopping distance and the time required  
Stop her

Ship's name	Displacement (ton)	C <sub>b</sub>	L/B	Experimental		Theoretical	
				S (m)	t" (sec)	S(m)	t'''(sec)
B. H	4,613	0.675	5.8	1,160	280	816	233
O. Pe	6,631	0.698	6.3	806	205	1,177	254
O. Pi	7,068	0.681	6.4	1,045	245	1,106	294
J. M	7,125	0.690	5.5	980	281	635	204
N. S. D	11,615	0.734	6.3	1,280	330	1,480	336
P. I	13,185	0.777	7.2	1,302	277	1,318	273
B. J	21,118	0.777	5.5	1,422	354	1,526	372
G. G	27,049	0.811	6.5	1,410	397	1,386	368
O. H	39,896	0.758	6.7	2,009	437	2,066	453
S. B	42,330	0.775	5.7	1,920	384	1,783	382
U. A. L	45,373	0.780	6.0	1,900	438	2,388	453
K. C	4,573	0.689	6.6	862	190	553	255
A. 17	27,097	0.758	6.3	1,642	315	1,376	358

附錄 II .  $S_2$  ,  $t_2$  의 解

$S_2$  의 解

$$(m + m_x) \frac{du}{dt} = -T_s - T_o \left( \frac{U}{U_o} \right)^2$$

단  $0 \leq U \leq U_1$        $T_s = 0.7 T_o$

$$(m + m_x) U \frac{du}{ds} = -T_o \cdot \frac{0.7U_o^2 + U^2}{U_o^2}$$

$$\frac{du}{ds} = -T_o \frac{0.7 U_o^2 + U^2}{U_o^2 (m + m_x) U}$$

$$\frac{ds}{du} = \frac{U_o^2 (m + m_x) U}{T_o(0.7U_o^2 + U^2)} = - \frac{U_o^2 (m + m_x)}{T_o} \cdot \frac{U}{0.7 U_o^2 + U^2}$$

$$S_2 = - \frac{U_o^2 (m + m_x)}{2 T_o} \left[ \ln (0.7 U_o^2 + U^2) \right]_{U=0}^{U=U_1}$$

$$= - \frac{U_o^2 (m + m_x)}{2 T_o} \left\{ \ln (0.7 U_o^2) - \ln (0.7 U_o^2 + U_1^2) \right\}$$

$$S_2 = \frac{U_o^2 (m + m_x)}{2 T_o} \ln \left( 1 + \frac{U_1^2}{0.7 U_o^2} \right)$$

$t_2$  의 解

$$\frac{du}{dt} = \frac{T_o \left( 0.7 + \frac{U^2}{U_o^2} \right)}{m + m_x} \quad \text{단} \quad 0 \leq U \leq U_1, \quad T_s = 0.7 T_o$$

$$\frac{dt}{du} = \frac{U_o^2 (m + m_x)}{T_o} \cdot \frac{1}{0.7 U_o^2 + U^2} = - \frac{U_o^2 (m + m_x)}{T_o} \cdot \frac{1}{(0.84 U_o^2)^2 + U^2}$$

$$t_2 = - \frac{U_o^2 (m + m_x)}{T_o} \left[ \frac{1}{0.84 U_o} \tan^{-1} \frac{U}{0.84 U_o} \right]_{U=0}^{U=U_1}$$

$$= \frac{1.19 U_o (m + m_x)}{T_o} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{1.19 U_1}{U_o} \right)$$

附錄 III Diagram of Crash stop astern test results

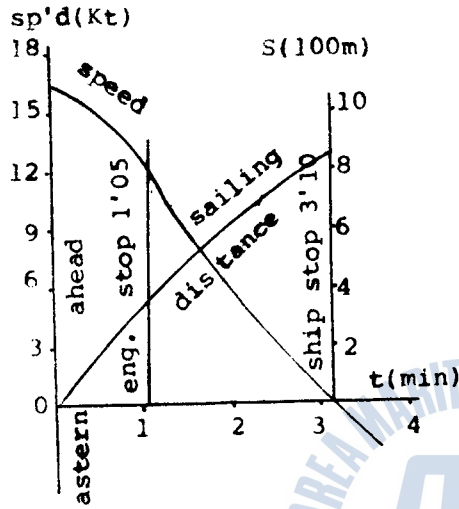


Fig.A-1. M/S K.C

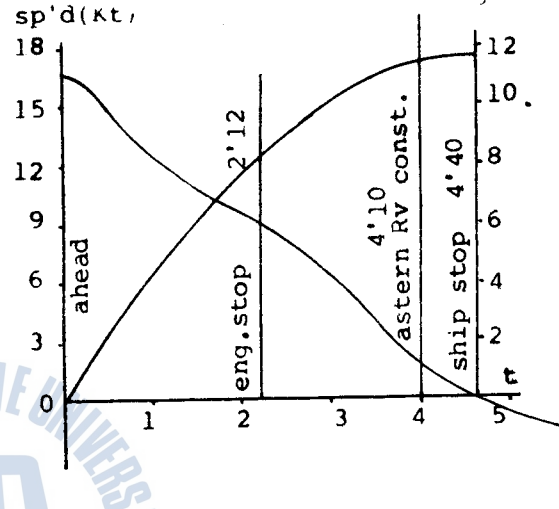


Fig.A-2. M/S B.H

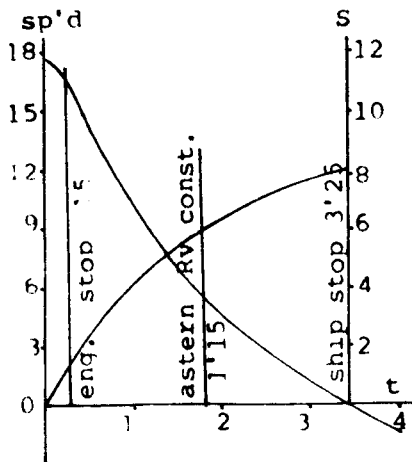


Fig. A-3. M/S O.P.e

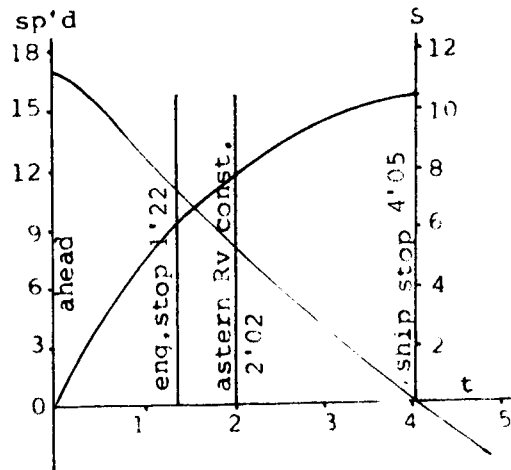


Fig. A-4. M/S O.P.i

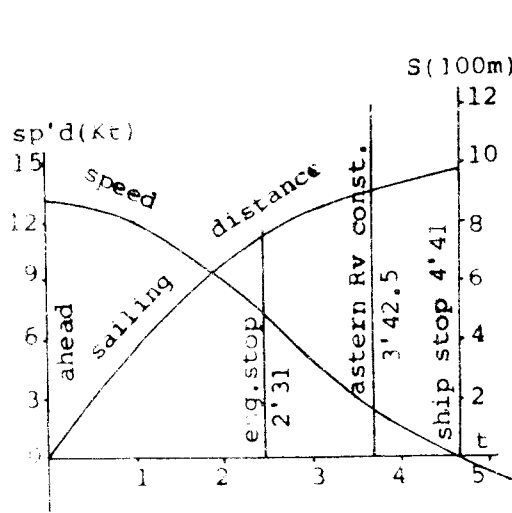


Fig. A-5. M/S J.M

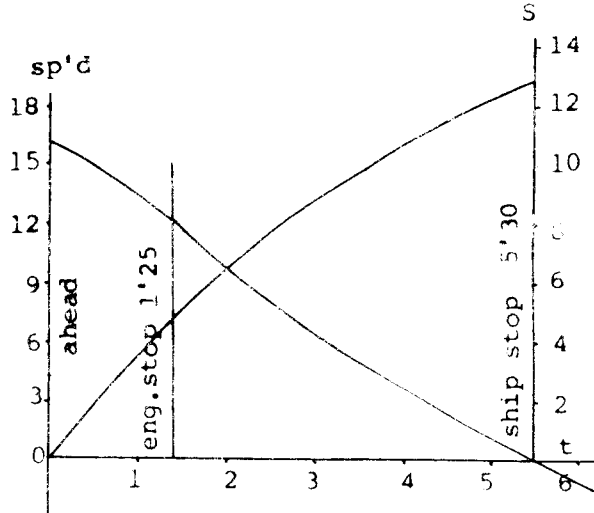


Fig. A-6 M/S N.S.D

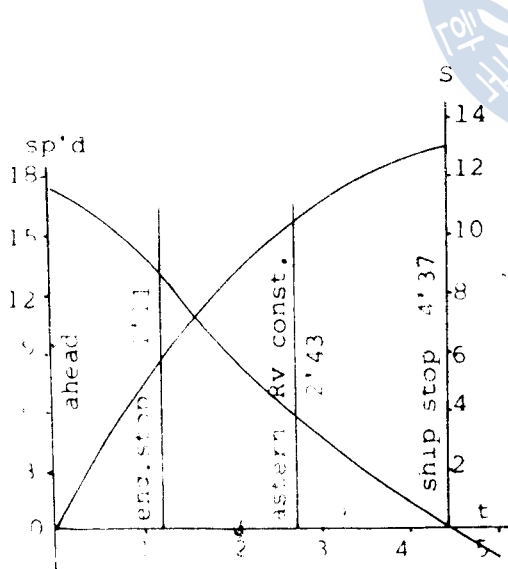


Fig. A-7. M/S P.I

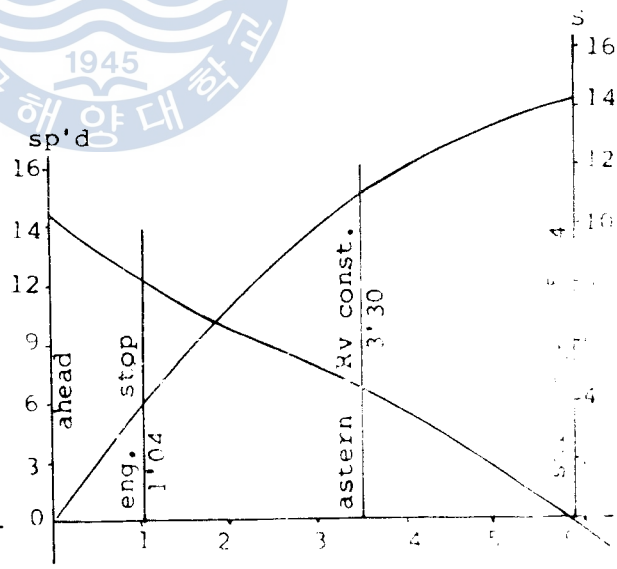
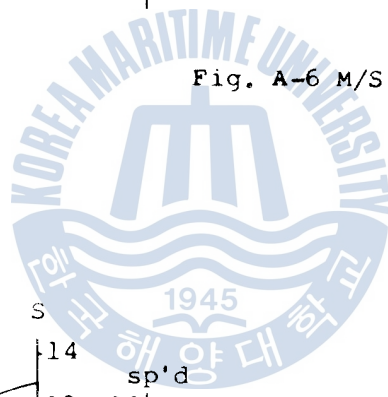


Fig. A-8. M/S B.J



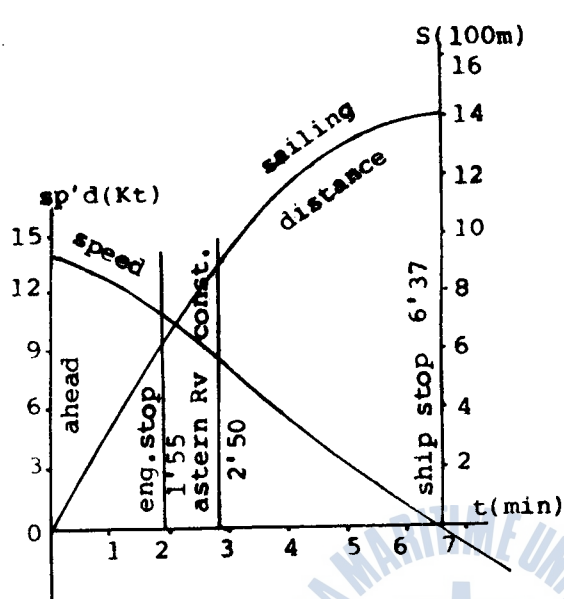


Fig. A-9. M/S G.G

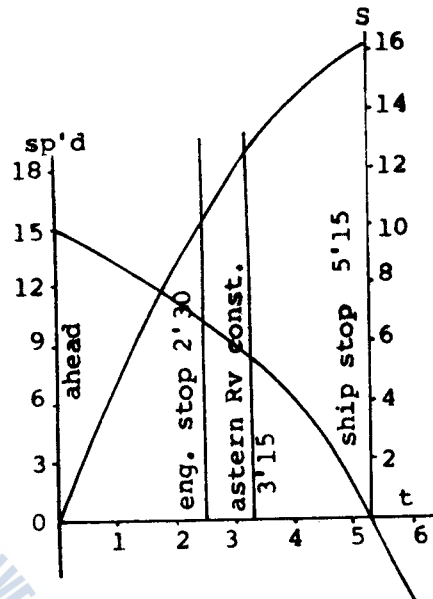


Fig. A-10. M/S A.17

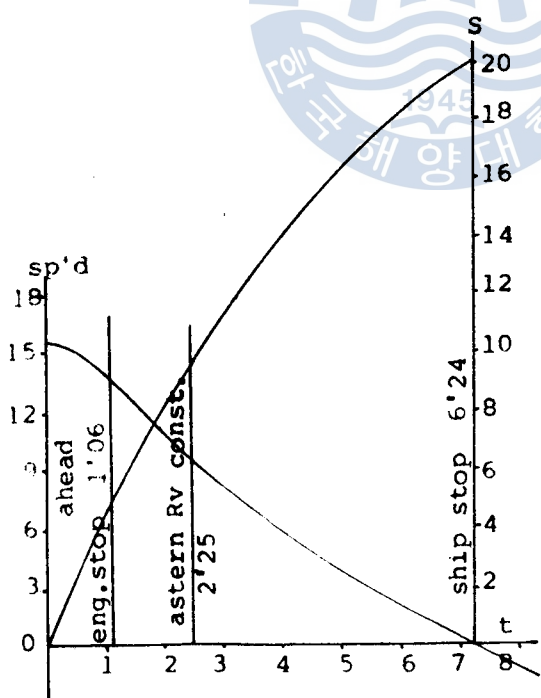


Fig. A-11. M/S O.H

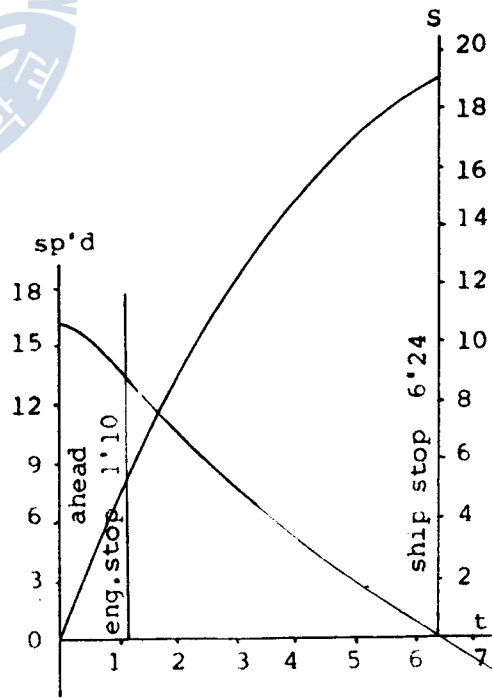


Fig. A-12. M/S S.B



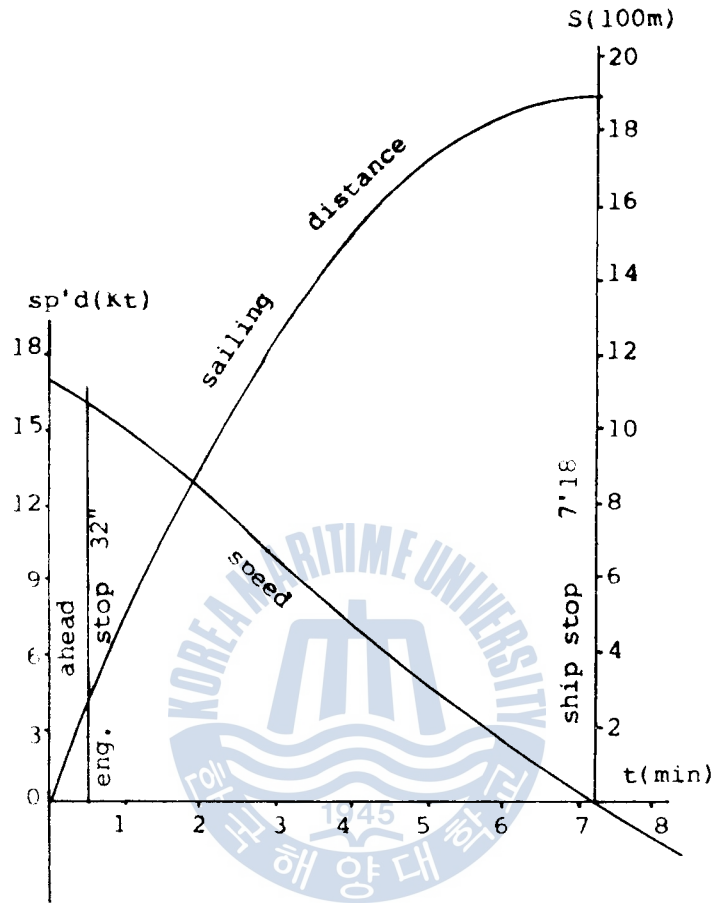


Fig. A-13. M/S U.A.L

Ballast 航海時의 排水量은 滿載 航海時의 排水量의 거의 半。

# 코너리프렉타를 排列集合한 레이다리프렉타의 性能에 關한 研究

金 禹 塾

A Study on the Performance of  
Radar Reflector Composed of Multiple  
Corner Reflectors Array

Woo-sook Kim



〈目 次〉

Abstract

記 號 說 明

I. 序 論

II. 코너리프렉타의 有效反射面積에 關한 考察

1. 單一코너리프렉타의 有效反射面積의 計算法

2. 排列集合시킨 코너리프렉타의 有效反射面積의 檢討

3. 排列集合型리프렉타의 指向性에 關한 檢討

III. 實驗 및 結果

1. 實驗用 리프렉타의 製作

2. 一 次 實 驗

3. 二 次 實 驗

IV. 結 論

參 考 文 獻