

# 船速이 旋回圈에 미치는 影響 및 이의 實船操縱 適用에 關한 研究

尹 点 東

## A Study about the Effect of Speed on Turning Circle and Applying it to Actual Ship Handling

Yoon Jum Dong

目 次	
Abstract	1. 試驗船의 要目 및 條件
記號說明	2. 試驗方法 및 旋回半徑에 關聯된 諸般 數值計算
I. 序 論	3. Advance 및 이에 關聯된 諸般 數值計算
II. 理論的인 考察	IV. 實船試驗 資料分析에 對한 考察
1. 旋回半徑에 對한 數式定立 및 이의 檢討	1. 旋回時의 速力과 角速度의 整定關係
2. 縱距에 對한 數式定立 및 이의 檢討	V. 結 論
III. 實船試驗資料에 依한 數值計算	附錄(數式에 對한 注, 試驗成績圖 및 參考文獻)

### Abstract

A turning circle of a vessel is the track followed by her center of gravity during a turn of 360 degrees with helm at constant angle. But generally it means the path traced by a vessel with helm at full angle.

One of the standard methods of finding any ship's maneuvering characteristics is to turn her in a number of complete circles under varying conditions and to record the results for each turn. The variables used are: right or left rudder of various degrees; steady speed of different value ; and differences in draft and trim.

It has been usually understood that turning circle is essentially independent of speed at Froude numbers less than about 0.30. However the author found that speed provided considerable effect upon turning circle during the turning test of M.S. HANBADA, the training ship of R.O.K. Merchant Marine College with paralell line method near port Busan.

In this paper the author examined what effects speed could provide on turning circle theoretically from the point of mathematics and dynamics and calculated radius and advances of the turning circles of three ships with data obtained from their full-scale

trial tests.

Comparing the calculated values with those of full-scale tests, the author demonstrated that speed at Froude no. under 0.30 provides considerable effects on turning circle and suggested that navigators should take the effects into account during piloting their vessels.

### 記號說明

$X, Y$  : 各軸方向의 힘

$N$  : 旋回偶力

$V$  : 質点의 速度

$m$  : 質量

$u, \dot{u}$  :  $x$ 軸方向의 速度 및 加速度

$v, \dot{v}$  :  $y$ 軸方向의 速度 및 加速度

$\phi, \dot{\phi}, \ddot{\phi}$  : 船首方位角의 角變化量, 角速度, 角加速度

$I_z$  :  $z$ 軸周圍의 慣性能率

$x_G$  : 原点으로부터 重心点까지의  $x$ 軸上의 距離, 船首方向에 있으면(+), 反對이면(-)

$\delta$  : 舵角

$X_v, Y_v, N_v$  :  $\frac{\partial X}{\partial u}, \frac{\partial Y}{\partial v}, \frac{\partial N}{\partial v}$  와 같이 大字에 첨자를 表示한 것은 微係數를 表示한다

$r$  : 旋回角速度

$R$  : 旋回半徑

$B, L$  : 船幅, 船体長

$\rho$  : 密度

無次元한 數值

$$m' : \frac{m}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

$$v' : \frac{v}{V}$$

$$\dot{v}' : \dot{v} \frac{L}{V^2}$$

$$I_z' : \frac{I_z}{\frac{\rho}{2} L^5}$$

$$r' : r \frac{L}{V}$$

$$\dot{r}' : \dot{r} \frac{L^2}{V^2}$$

$$Y_v' : \frac{Y_v}{\frac{\rho}{2} L^3 V}$$

$$Y_r' : \frac{Y_r}{\frac{\rho}{2} L^3 V}$$

$$N_v' : \frac{N_v}{\frac{\rho}{2} L^3 V}$$

$$N_r' : \frac{N_r}{\frac{\rho}{2} L^4 V}$$

$$Y_v'' : \frac{Y_v}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

$$Y_r'' : \frac{Y_r}{\frac{\rho}{2} L^4}$$

$$N_v'' : \frac{N_v}{\frac{\rho}{2} L^4}$$

$$N_r'' : \frac{N_r}{\frac{\rho}{2} L^5}$$

$$Y_{\delta}' : \frac{Y_{\delta}}{\frac{\rho}{2} L^2 V^2} \quad N_{\delta}' : \frac{N_{\delta}}{\frac{\rho}{2} L^3 V^2} \quad \text{大々 : 대단히 큰 값}$$

操縱性指數  $R_a$  : Actual radius

$$T : \text{追從性指數} \quad T' : T \frac{v}{L} \quad R_c : \text{Computed radius}$$

$$K : \text{旋回性指數} \quad K' : K \frac{L}{v} \quad T \cdot D : \text{Tactical diameter}$$

$$D_A : \text{Advance}$$

## I. 序 論

旋回圈이란 舵角  $0^\circ$ 에서 直進하는 船체에 任意舵角  $\delta$ 를 주었을 때 船体の 重心点  $G$ 가 그리는 旋回軌跡을, 船体の 回頭가  $360^\circ$  이루어 질 때까지, 계속하여 그려 놓은 圓에 가까운 曲線狀의 旋回軌跡을 指稱하는 말이며 通常은 最大舵角에 對한 그것을 指稱한다.

本論文의 目的은 船速이 旋回圈에 어떠한 影響을 미치고 있는가를 糾明하고 이것을 實際 避航操船에 어떻게 適用할 것인가를 提案하는데 있다.

船速이 旋回圈에 미치는 影響에 關하여는 일찍부터 여러 先進造船國의 學者들에 依하여 研究되어 왔으며 船速은 旋回圈에 影響을 미치기는 하지만, Froude No. 0.3 以下の 船速에서는 速力은 旋回圈에 거의 影響을 미치지 아니하는 것으로 되어 있다.<sup>2)4)6)11)</sup> 따라서 操船者들도 船速이 旋回圈에 미치는 影響에 對하여는 크게 留意하지 아니하여 왔다.<sup>6)</sup> 그러나 筆者는 韓國海洋大學 練習船 한바다號를 利用하여 釜山港 附近에서 旋回試驗을 하는 過程에서 Froude No. 0.3 以下の 船速에서도 速力은 旋回圈에 注目할 만한 影響을 미치고 있음을 알았으며 操船者는 實船操船時 當然히 이것을 考慮하여야 할 것으로 判斷하였다. 왜냐하면 危急한 境遇를 當하여서는 操船者는 自己가 取할 수 있는 여러 措置中에서 安全確率이 가장 높은 最善의 措置를 當然히 取하여 海難의 發生을 防止하여야 하기 때문이다.

本論文에서는 船舶의 速力이 旋回圈에 어떠한 影響을 미치는가를 船体運動方程式을 利用하여 理論的으로 檢討하였으며 實船試驗을 通하여 얻은 資料에 依하여 旋回運動에 關聯된 諸般數值計算을 行하고 實船試驗의 結果와 比較 檢討 하였다. 이리하여 Froude No. 0.3 以下の 船速에서도 速力變化는 旋回圈에 相當한 影響을 미치고 있음을 表示하였으며, 이것을 實船의 避航操船에 어떻게 利用할 것인가를 提案하였다.

## II. 理論的인 考察

### 1. 旋回半徑에 對한 數式定立 및 이의 檢討

#### (1) 數式定立

重心을 通하는 三直較軸에서 船首方向을  $+x$ , 右舷正橫方向을  $+y$ , 船底方向을  $+z$ 軸으로 定하면 軸方向은 그림1과 같다. 角變位量은 時計方向을(+), 그와 反對方向을(-)로 한다. 偏角을 재는 基準線은  $V$ 의 方向線 즉, 旋回軌跡에 接하는 線이고 이것으로부터  $x$ 軸까지 轉 角度가  $\beta$ 이다.

重心点  $G$ 를 通하는 三軸에 對한 船体の 運動方程式은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} m\dot{u} &= X + mv\dot{\phi} \\ m\dot{v} &= Y - mu\dot{\phi} \\ I_x\ddot{\phi} &= N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

만약 幾何學的인 對稱中心에 原点을 取하면 運動方程式은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} m\dot{u} &= X + mv\dot{\phi} + mx_G\dot{\phi}^2 \\ m\dot{v} &= Y - mu\dot{\phi} - mx_G\dot{\phi} \\ I_x\ddot{\phi} &= N - m\dot{v}x_G - mu\dot{\phi}x_G \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

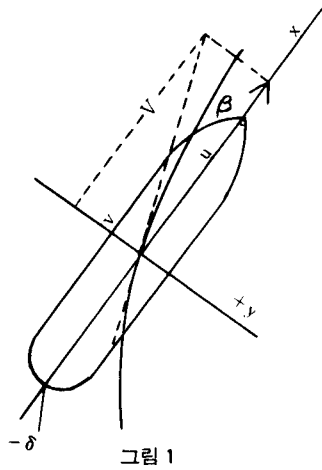


그림 1

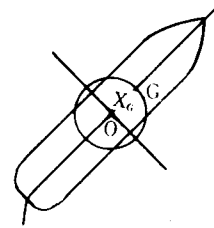


그림 2

힘 X 및 Y와 旋回偶力 N에 關한 各 要素의 函數關係式은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} X &= F_x(u, v, \dot{u}, \dot{v}, \dot{\phi}, \delta, \dot{\delta}) \\ Y &= F_y(u, v, \dot{u}, \dot{v}, \dot{\phi}, \delta, \dot{\delta}) \\ N &= F_\phi(u, v, \dot{u}, \dot{v}, \dot{\phi}, \delta, \dot{\delta}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

(3)式을 Taylor 展開하여 船體運動에 關한 微係數를 求하고 이것을 線形化하여 (2)式에 代入하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} -X_u(u - u_1) + (m - X_{\dot{u}})\dot{u} &= X_{\delta}\delta \\ -Y_v v + (m - Y_{\dot{v}})\dot{v} - (Y_r - mu_1)r - (Y_{\dot{r}} - mX_G)\dot{r} &= Y_{\delta}\delta \\ -N_v v - (N_{\dot{v}} - mX_G)\dot{v} - (N_r - mx_G u_1)r + (I_x - N_{\dot{r}})\dot{r} &= N_{\delta}\delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

(4)式의 第2 및 第3式을 無次元化하여 表示하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} -Y'_v v' + (m' - Y'_{\dot{v}})\dot{v}' - (Y'_r - m')r' - (Y'_{\dot{r}} - m'X'_G)\dot{r}' &= Y'_{\delta}\delta \\ -N'_v v' - (N'_{\dot{v}} - m'x'_G)\dot{v}' - (N'_r - m'X'_G)r' + (I'_x - N'_{\dot{r}})\dot{r}' &= N'_{\delta}\delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

船體가 定常旋回時에는 (5)式은 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} -Y'_v v' - (Y'_r - m')r' &= Y'_{\delta}\delta \\ -N'_v v' - (N'_r - m'x'_G)r' &= N'_{\delta}\delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

微係數  $Y'_v, Y'_r, Y'_{\delta}, N'_v, N'_r, N'_{\delta}$ 만 알려지면  $r$  및  $v$ 에 關하여 (6)式을 解決할 수 있다.  $r' = r \cdot L/V, v' = v/R \therefore r' = V/R \cdot L/V = L/R$ 를 利用하여 (6)式에서  $R$ 에 關한 數式을 誘導하면 다음과 같다.

$$R = -\frac{L}{\delta} \left[ \frac{Y'_v(N'_r - m'x'_G) - N'_v(Y'_r - m')}{Y'_v N'_{\delta} - N'_v Y'_{\delta}} \right] \dots\dots\dots(7)$$

故로 旋回半徑을 船體길이  $L$ 의 倍數로 表示하는 式은 다음과 같다.

$$\frac{R}{L} = -\frac{1}{\delta} \left[ \frac{Y'_v(N'_r - m'x'_G) - N'_v(Y'_r - m')}{Y'_v N'_{\delta} - N'_v Y'_{\delta}} \right] \dots\dots\dots(8)$$

(8)式의 微係數를 檢討하면 다음과 같다.

微係數	符號	크기	微係數	符號	크기
$Y'_v$	(-)	大	$N'_v$	(+, -)	小
$N'_r$	(-)	大	$Y'_r$	(+, -)	小
$m'$		大	$N'_s$	(-)	大
$x_G'$	(+, -)	小	$Y'_s$	(+)	中

따라서 이들 微係數에 依한 計算結果는 다음과 같다.

$$Y'_v N'_r \dots \dots \dots [(-) \times (-)] \text{大} \cdot \text{大} = (+) \text{大}$$

$$m' x_G' \dots \dots \dots [(+) \times (+, -)] \text{大} \cdot \text{小} = (+, -) \text{小}$$

( $x_G'$ : 流體力學的인 對稱中心에 軸을 잡으면 商船에서는 通常 (+, -) 小, G點에 軸을 잡으면 零)

$$(Y'_v - m') \dots \dots \dots (-, +) \text{小} + (-) \text{大} = (-) \text{大}$$

$N'_v$ 는 적으므로 (8)式의 分子는  $Y'_v, N'_r$ 에 依하여 그 크기가 決定된다.

$$Y'_v N'_s \dots \dots \dots [(-) \times (-)] \text{大} \cdot \text{大} = (+) \text{大}$$

$$N'_v Y'_s \dots \dots \dots [(+, -) \times (+)] \text{小} \cdot \text{中} = (+, -) \text{小}$$

(8)式의 分母는  $Y'_v N'_s$ 의 값에 依하여 크기가 決定되나  $N'_v$ 가 (-)면 즉, 側方壓力中心이 G點前方에 있으면  $N'_v(-) \times Y'_s(+)$  = (-)가 되므로 旋回半徑 R는 적어진다.

G點과 流體力學的인 中心點이 一致한다고 假定하면 (8)式은 다음과 같은 略式으로 表示할 수 있다.

$$\frac{L}{R} = -\frac{1}{\delta} \cdot \frac{N'_v}{N'_s} \dots \dots \dots (9)$$

$$\frac{R}{L} = -\frac{1}{\delta} \cdot \frac{1}{K'} \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{단, } K' = \frac{N'_s}{N'_r}$$

$K' = N'_s / N'_r \cdot L / V = K \cdot L / V$ 이므로 R는 다음과 같다.

$$R = -\frac{1}{\delta} \cdot \frac{V}{K} \dots \dots \dots (11)$$

(2) (11)式에 對한 檢討

(11)式을 보면 R의 크기는 V의 增加에 對한 K의 增加率에 따라서 決定된다.

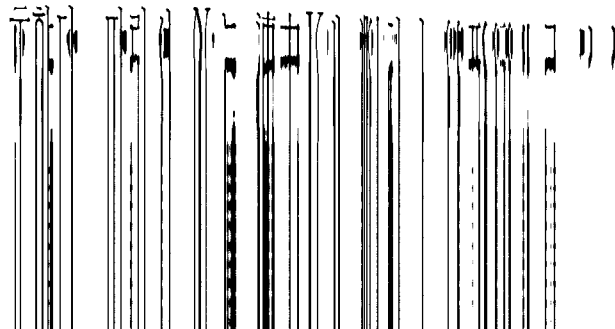
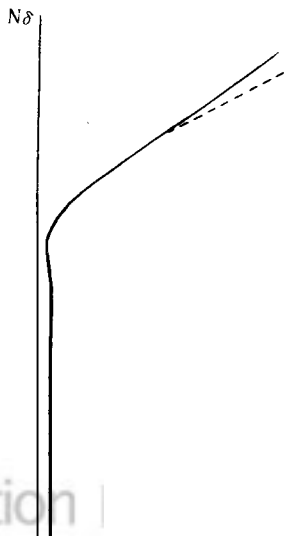
(가) 速力 V의 變化에 對한 旋回偶力係數  $N'_s$ 의 變化

$$N(\delta) = CAV^2 \sin 2\delta$$

$$\frac{dN(\delta)}{dV} = (2C \cdot A \cdot \sin 2\delta) V$$

그러므로 舵角  $\delta$ 를 一定하게 두고 速力 V만 變化시켰을 때 速力 V 對 旋回偶力係數  $N'_s$ 는 그림3과 같다.

그림3에서 點線은 渦流 때문에 생기는 偶力係數의 低下를 表



微係數	符號	크기	微係數	符號	크기
$Y'_v$	(-)	大	$N'_v$	(+, -)	小
$N'_r$	(-)	大	$Y'_r$	(+, -)	小
$m'$		大	$N'_s$	(-)	大
$x'_G$	(+, -)	小	$Y'_s$	(+)	中

따라서 이들 微係數에 依한 計算結果는 다음과 같다.

$$Y'_v N'_r \dots \dots \dots [(-) \times (-)] \text{大} \cdot \text{大} = (+) \text{大}$$

$$m' x'_G \dots \dots \dots [(+) \times (+, -)] \text{大} \cdot \text{小} = (+, -) \text{小}$$

( $x'_G$ : 流體力學的인 對稱中心에 軸을 잡으면 商船에서는 通常 (+, -)小, G點에 軸을 잡으면 零)

$$(Y'_v - m') \dots \dots \dots (-, +) \text{小} + (-) \text{大} = (-) \text{大}$$

$N'_v$ 는 적으므로 (8)式의 分子는  $Y'_v N'_r$ 에 依하여 그 크기가 決定된다.

$$Y'_v N'_s \dots \dots \dots [(-) \times (-)] \text{大} \cdot \text{大} = (+) \text{大}$$

$$N'_v Y'_s \dots \dots \dots [(+, -) \times (+)] \text{小} \cdot \text{中} = (+, -) \text{小}$$

(8)式의 分母는  $Y'_v N'_s$ 의 값에 依하여 크기가 決定되나  $N'_v$ 가 (-)면 즉, 側方壓力中心이 G點前方에 있으면  $N'_v(-) \times Y'_s(+)=(-)$ 가 되므로 旋回半徑 R는 적어진다.

G點과 流體力學的인 中心點이 一致한다고 假定하면 (8)式은 다음과 같은 略式으로 表示할 수 있다.

$$\frac{L}{R} = -\frac{1}{\delta} \cdot \frac{N'_r}{N'_s} \dots \dots \dots (9)$$

$$\frac{R}{L} = -\frac{1}{\delta} \cdot \frac{1}{K'} \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{단, } K' = \frac{N'_s}{N'_r}$$

$K' = N'_s/N'_r \cdot L/V = K \cdot L/V$ 이므로 R는 다음과 같다.

$$R = -\frac{1}{\delta} \cdot \frac{V}{K} \dots \dots \dots (11)$$

(2) (11)式에 對한 檢討

(11)式을 보면 R의 크기는 V의 增加에 對한 K의 增加率에 따라서 決定된다.

(가) 速力 V의 變化에 對한 旋回偶力係數  $N_s$ 의 變化

$$N(\delta) = CA V^2 \sin 2\delta$$

$$\frac{dN(\delta)}{dV} = (2C \cdot A \cdot \sin 2\delta) V$$

그러므로 舵角  $\delta$ 를 一定하게 두고 速力 V만 變化시켰을 때 速力 V 對 旋回偶力係數  $N_s$ 는 그림3과 같다.

그림3에서 點線은 渦流 때문에 생기는 偶力係數의 低下를 表示한다. 따라서  $N_s$ 는 速力 V에 對하여 線形變化를 한다.

(나) 速力 V의 變化에 對한 旋回抵抗偶力係數  $N_\phi$ (또는  $N_r$ )의

變化

① 旋回抵抗偶力の 性質

旋回運動에 關한 微分方程式은 다음과 같다.

$$(I_r + i_r) \ddot{\phi} + f(\dot{\phi}) = N_\phi \delta \dots \dots \dots (12)^{1)}$$

(12)式的 左邊 第2項이 旋回抵抗에 關係되는 項으로 그것은 다음과 같이 假定할 수 있다.

$$f(\dot{\phi})=a\dot{\phi}+b\dot{\phi}^2 \dots\dots\dots(13)$$

(13)式的 右邊 第1項은 渦流 및 造波로 因한 抵抗偶力を 表示하고 第2項은 旋回流速으로 因한 動壓 및 摩擦抵抗 때문에 생기는 抵抗偶力에 關한 項이다.

係數  $b$ 가  $a$ 에 比하여 적다고 假定하고 (13)式을 graph로 表示하면 그림 4와 같다. 그림 4에서 보면 角速度  $\dot{\phi}$ 가 적은 範圍에서는 抵抗偶力  $f(\dot{\phi})$ 의 變化는 線形的으로 變化하며  $\dot{\phi}$ 가 커 지면 線形性이 사라져 간다.

$$\frac{df(\dot{\phi})}{d\dot{\phi}}=a+2b\dot{\phi} \dots\dots\dots(14)$$

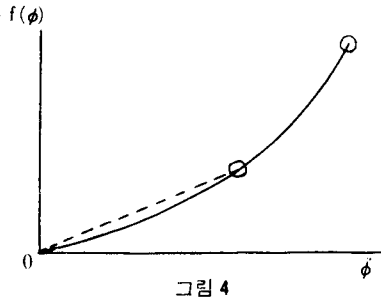


그림 4

따라서  $\dot{\phi}$ 가 적은 範圍에서는 右邊 第2項은 無視할 수 있고 微係數  $df(\dot{\phi})/d\dot{\phi}=N_{\dot{\phi}}$ 는 常數로 取扱할 수 있다. 그러나  $V$ 가 커 지면  $\dot{\phi}$ 가 커지고 第2項이 效果를 나타내서  $N_{\dot{\phi}}$ 는  $\dot{\phi}$ 에 對하여 線形變化를 한다고 볼 수 있다.  $V$ 가 變化하더라도  $R$ 는 큰 變化가 없으므로  $\dot{\phi}=CV$ 로 大略 表示할 수 있으므로  $V$ 의 變化에 따른  $N_{\delta}$  및  $N_{\dot{\phi}}$ 의 變化를 그림 5와 같이 表示할 수 있다.

따라서  $K=N_{\delta}/N_{\dot{\phi}}$ 의 값은  $V$ 가 적은 範圍에서는 線形的으로 變化하지만  $V$ 가 커 지면 線形性이 없어지므로  $V$ 의 倍率에 比하여  $K$ 의 倍率이 적어 진다. 따라서 旋回半徑  $R$ 는 커 질 것이다.

### 2. 縱距(Advance)에 對한 數式定立 및 이의 檢討

操縱性指數를 利用한 Advance 表示는 다음 數式으로 表示할 수 있다.

$$D_A=VT+(1/2t_1)V+V/K\delta \dots\dots\dots(13)$$

船速變化에 따른 Advance의 變化는 (13)式 右邊의 第1項의  $T$ , 第2項의  $t_1$  및 第3項의  $K$ 값이 速度變化에 對하여 어떻게 變化하는 가에 따라서 決定된다.

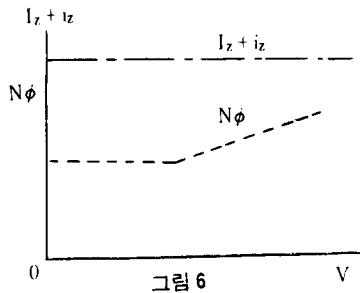


그림 5

#### (1) 船速變化에 따른 追從性指數 T값의 變化에 對한 考察

그림 6에서 보면  $V$ 가 적은 範圍에서는  $T$ 는 變動이 없고 進出距離  $TV$ 는  $V$ 에 比例하여 커 진다. 그러나  $V$ 가 커 지면  $T$ 는  $V$ 에 反하여 적어 진다. 그러나  $T$ 의 減少率은  $V$ 의 增加率에 미치지 못한다.

따라서 速力이 增加하면 進出距離  $S=TV$ 는 약간씩 커 질 것이다.

結論的으로 速力이 增加하면 어떠한 境遇에도 進出距離  $S$ 는

크게 나타난다.

#### (2) 旋回圈圖에서 追從性指數 T를 計算하는 數式定立

$$\phi=K\delta_0\left(t-T+Te^{-\frac{t}{T}}\right) \dots\dots\dots(14)$$

旋回圈圖에서 자기 다른 2時点  $t_1$  및  $t_2$ 를 取하되  $t_2=2t_1$ 이 되도록 時間間隔을 取하여  $T$ 를 求하면 다음과 같다.

$$T = \frac{a_1^2}{(a_2 - 2a_1)b} \dots\dots\dots(15) \text{註1)}$$

단,  $a_1 = \phi_1 - K\delta_0 t_1$   
 $a_2 = \phi_2 - K\delta_0 t_2$   
 $b = K\delta_0$

(3) 船速變化에 따른 操舵時間  $t_1$ 의 變化에 對한 考察

船速이 變化하더라도 一定舵角  $\delta$ 를 잡는데 要하는 時間  $t_1$ 에는 큰 變化가 없고 따라서 船速이 높으면 Advance는  $1/2 \cdot t_1(V_2 - V_1)$ 만큼 커지게 된다.

(4) 船速에 따른  $R$  즉  $V/K \cdot \delta$ 의 變化에 對한 考察

1의 (2)에서 考察한 바와 같이 船速의 增加率에  $K$ 의 增加率이 미치지 못한다.  
 以上에서 論述한 바와 같이 船速이 커지면 Advance는 相當히 커질 것이 豫想된다.

Ⅲ. 實船試驗資料에 依한 數值計算

本節의 數值計算에 使用한 實船試驗資料는 울산의 現代造船所에서 建造한 Displacement 300,000톤級 船舶 3隻의 公試運轉試驗成績에서 取한 것이며 筆者는 그와 같은 同型船 1隻의 船舶에 乘船하여 試驗의 進行을 觀察하였다.  $K$  및  $R$ (計算值) 등은 正常旋回가 이루어진 回頭角  $90^\circ$ 에서  $180^\circ$ 사이의 資料를 根據로 하여 計算하였다.

1. 試驗船의 要目 및 條件

(1) Cattleya號의 要目 및 條件

表 1: 要目

$L_{pp}$	$B_m$	$D_m$	$d_m$	S. H. P.	R. P. M.	$C_b$	$C_{\infty}$
329	52	26.5	20.6	36,000	85	0.8478	0.9988

表 2: 條件: 滿載狀態

$d_f$	$d_a$	$d_m$	Trim	Wind	Sea	Swell	Disp.	Sag.
20.65	20.66	20.655	+0.010	1	1	0	306,705톤	0.045m

(2) World Heritage號의 要目 및 條件(要目은 Cattleya號와 同一함)

表 3: 條件: 滿載狀態

$d_f$	$d_a$	$d_m$	Trim	Wind	Sea	Swell	Disp.	Sag.
20.65	20.65	20.65	0				130,420톤	



## (3) Althea號의 要目 및 條件

表 4: 要目

$L_{pp}$	$B_m$	$D_m$	$d_m$	S. H. P.	R. P. M.	$C_b$	$C_{\infty}$
305.0	53.0	25.3	19.65	36,000	90	0.822	0.9911

表 5: 條件: 滿載狀態, Ballast 狀態

$d_f$	$d_a$	$d_m$	Trim	Wind	Sea	Swell	Disp.	Sag.
19.64	19.67	19.66	+0.03				268,097톤	
8.81	11.12	9.97	+2.31				128,152톤	

## 2. 試驗方法 및 旋回半徑에 關한 諸般數值計算

現代造船의 試運轉에서는 轉舵後 時間經過에 따라서 일어나는 方位角變化와 速度變化를 記錄하여 이것을 積分하는 方法에 依하여 旋回圈을 表示하였고, 그것을 Full ahead와 Slow ahead에 對하여 實施하였다. 위의 資料에서  $\phi$ 角  $90^\circ \sim 180^\circ$  사이의 값에서  $K$  및  $R$ 值를 計算하고  $V_2/V_1$  및  $K_2/K_1$ 의 比를 比較하였다.  $T$ 值에 對하여는  $0^\circ \sim 30^\circ$  사이의 資料에 依하여 計算하였다.

(1) 旋回性指數  $K$ 의 比와 速度比와의 比較

## (가) C號에 對한 資料 및 數值計算結果

表 6: (右舵角  $35^\circ$ 로 實施함)

全速前進	(初速度 16.75 kts)	Froude no. 0.15	微速前進	(初速度 5.55 kts)	Froude no. 0.05		
角變位置	經過時間	船速(kts)	R. P. M	角變位置	經過時間	船速(kts)	R. P. M
$90^\circ$	2'—47"	10.70	84	$90^\circ$	9'—00"	3.30	30
$135^\circ$	4'—03"	8.35	82	$120^\circ$	11'—25"	2.89	30
$180^\circ$	5'—30"	6.70	81	$150^\circ$	14'—05"	2.60	30
				$180^\circ$	17'—05"	2.50	30
角變位置總量	總經過時間	平均速度		總變位置	總經過時間	平均速度	
$90^\circ$	163"	4.412 m/sec		$90^\circ$	485"	1.450 m/sec	

表 7: (表6의 資料를 根據로하여 計算한 數值)

	$K$	$K'$	$V^2/V_1$	$K_2/K_1$	$R/L$	$R_c(10式)$	$Ra(90^\circ \sim 100^\circ)$	$K_2'/K_1'$	$T \cdot D/L(實測值)$
全速	0.0158	1.1764			1.384	455	430		3.10
			3.043	2.977				0.9779	
微速	0.0053	1.2030			1.354	446	425		3.08

(나) W. H號에 對한 資料 및 數值計算

表 8 : (右舵角 35°로 實施함)

全速前進 (初速力 16.92 kts) Froude no. 0.15				微速前進 (初速力 6.0 kts) Froude no. 0.05			
角變位量	經過時間	船速(kts)	R. P. M.	角變位量	經過時間	船速(kts)	R. P. M.
90°	2'—32"	10.9	83	90°	7'—25"	3.05	30
135°	3'—50"	7.9	80	120°	9'—40"	2.30	30
180°	5'—20"	5.9	78	150°	12'—70"	1.82	30
				180°	14'—50"	1.60	30
變位角總量			總經過時間	變位角總量			總經過時間
90°			162"	90°			445"
			4.23				1.13

表 9 : (表8의 資料를 根據로 하여 計算한 數值)

	K	K'	V <sub>2</sub> /V <sub>1</sub>	K <sub>2</sub> /K <sub>1</sub>	R/L	R <sub>c</sub> (10式)	R <sub>a</sub> (90°~180°)	K <sub>2</sub> '/K <sub>1</sub> '	T. D/L(實測值)
全速	0.0153	1.190	3.74	2.64	1.368	450	480	0.705	3.17
微速	0.0058	1.689			0.964	318	330		2.49

(다) A號에 對한 資料 및 數值計算

表 10 : (右舵角 35°로 實施함 Ballast狀態)

全速前進 (初速力 18.52 kts) Froude no. 0.17				微速前進 (初速力 5.28 kts) Froude no. 0.05			
角變位量	經過時間	船速(kts)	R. P. M.	角變位量	經過時間	船速(kts)	R. P. M.
90°	2'—10"	11.15	84	90°	5'—53"	3.53	29
135°	3'—20"	7.80	82	120°	7'—44"	3.14	30
180°	4'—37"	6.20	81	150°	9'—36"	2.81	30
				180°	11'—35"	2.51	29
角變位總量			總經過時間	角變位總量			總經過時間
90°			147"	90°			342"
			4.31				1.54

表 11 : (表10의 資料를 根據로 하여 計算한 數值)

	K	K'	V <sub>2</sub> /V <sub>1</sub>	K <sub>2</sub> /K <sub>1</sub>	R/L	R <sub>c</sub> (10式)	R <sub>a</sub> (90°~180°)	K <sub>2</sub> /K <sub>1</sub>	T. D/L(實測值)
全速	0.0175	1.238	2.80	2.33	1.316	401	380	0.83	3.06
微速	0.0075	1.489			1.094	334	318		2.50

## 3. Advance 및 이에 關聯된 諸般數值計算

## (1) C號에 對한 計算

(가) 追從性指數로 因한 進出距離差

表 12

	速 力	追從性指數	$V_2/V_1$ 比	$T_1/T_2$ 比	進出距離	$S_2-S_1$
微 速	$V_1$ 5.55 kts 2.85m/sec	$T_1$ 87 sec	3.018	2.07	$S_1$ 248m	113m
全 速	$V_2$ 16.75 kts 8.60m/sec	$T_2$ 42 sec			$S_2$ 361m	

(나) 操舵에 要하는 時間으로 因한 進出距離差

操舵에 要하는 時間的인 지연은 共히 15秒程度이다.

微速時의 進出距離  $d_1=21m$       全速時의 進出距離  $d_2=65m$        $d_2-d_1$   
44m

(다) 旋回半徑差로 因하여 Advance에 生기는 距離差

微速時( $R_1$ ) 446      全速時( $R_2$ ) 455       $R_2-R_1$   
9m

(라) 速力差로 因한 Advance 總差

全速時의 Advance( $D_{A2}$ ) 微速時의 Advance( $D_{A1}$ )  $D_{A2}-D_{A1}$       成績圖에 依한 實測差  
361+65+455=881m      248+21+446=715m      166m      940-630=310m

## (2) W.H號에 對한 計算

(가) 追從性指數로 因한 進出距離差

表 13

	速 力	追從性指數	$V_2/V_1$ 比	$T_1/T_2$ 比	進出距離	$S_2-S_1$
微 速	$V_1$ 6.0 kts 3.80 m/sec	$T_1$ 72 sec	2.80	2.77	$S_1$ 274m	-48m
全 速	$V_2$ 16.92 kts 8.70 m/sec	$T_2$ 26 sec			$S_2$ 226m	

(나) 操舵에 要하는 時間으로 因한 進出距離差

操舵에 要하는 時間的인 지연은 共히 15秒程度이다.

微速時의 進出距離  $d_1=29m$       全速時의 進出距離  $d_2=65m$        $d_2-d_1$   
36m

(다) 旋回半徑差로 因하여 Advance에 生기는 距離差

微速時( $R_1$ ) 286m      全速時( $R_2$ ) 450m       $R_2-R_1$   
164m

(라) 速力差로 因한 Advance總差

全速時의 Advance( $D_{A2}$ )    微速時의 Advance( $D_{A1}$ )     $D_{A2}-D_{A1}$     成績圖에 依한 差  
 226+65+450=741m    274+29+286=589m    152m    912-862=50m

(3) A號에 對한 計算

(가) 追從性指數로 因한 進出距離差

表 14

	速 力	追從性指數	$V_2/V_1$ 比	$T_1/T_2$ 比	進出距離	$S_2-S_1$
微 速	$V_1$ 5.28 kts 2.71 m/sec	$T_1$ 48 sec	3.51	1.6	$S_1$ 130m	156m
全 速	$V_2$ 18.52 kts 9.52 m/sec	$T_2$ 30 sec			$S_2$ 286m	

(나) 操舵에 要하는 時間으로 因한 進出距離差

操舵에 要하는 時間的인 지연은 全速時 15秒 微速時 12秒程度이다.

微速時의 進出距離    全速時의 進出距離     $d_2-d_1$   
 $d_1=16m$      $d_2=71m$     55m

(다) 旋回半徑差로 因하여 Advance에 生기는 距離差

微速時( $R_1$ )    全速時( $R_2$ )     $R_2-R_1$   
 334m    401m    67m

(라) 速力差로 因한 Advance 總差

全速時의 Advance( $D_{A2}$ )    微速時의 Advance( $D_{A1}$ )     $D_{A2}-D_{A1}$     成績圖에 依한 差  
 286+55+401=742m    130+16+334=480m    262m    822-620=202m

(4) 計算値와 實驗値의 比較

위에서 본 計算値와 試驗値를 比較 要略하면 다음과 같다.

(가) 旋回徑에 關한 比較

表 15

船 名	$V_2/V_1$	$K_2/K_1$	$K_2'/K_1'$	$R_c$ 增加率	$R_a$ 增加率	TD 增加率
C 號	3.04	2.98	0.98	( 9m) 2%	( 5m) 1%	(0.02L) 1%
W. H 號	3.74	2.64	0.71	(132m)42%	(150m)45%	(0.68L)27%
A 號	2.80	2.33	0.83	( 67m)21%	( 62m)20%	(0.56L)22%
平 均	3.19	2.57	0.81	( 69m)22% (0.2L)22%	(72m)22% (0.2L)22%	(0.42L)17%

%의 基準値는 微速時의 값,

(나) Advance에 關한 比較

表 16

船 名	$V_2/V_1$	$T_1/T_2$	計算上의 $D_{A2}-D_{A1}$	計算上의 $D_A$ 增加率	實際의 $D_{A2}-D_{A1}$	實際의 $D_A$ 增加率
C 號	3.02	2.07	166m	23%	310m	49%
W. H 號	2.80	2.77	152"	26"	50"	6"
A 號	3.51	1.60	262"	55"	202"	33"
平 均	3.11	3.05	187" (0.60L)	35"	187" (0.60L)	29"

%의 基準値는 微速時의 값임

### V. 實船試驗資料의 分析에 對한 考察

巨大型船의 旋回運動은 小型 또는 中型船의 그것과는 현저히 다른 點이 있고 計算資料의 選擇에 是 留意할 만한 點이 있으므로 本節에서는 그것에 關한 것을 簡單히 考察하여 본다.

#### 1. 旋回時의 速力과 角速度의 整定關係

通常크기의 船舶이 旋回를 할 때에는 約 90°程度 旋回하면 角速度와 速力이 整定되고 速力低下는 40~50% 程度이나 巨大型船이 旋回할 때에는 速力의 低下는 360°를 旋回할 때까지 나타나고 約 75%의 速力低下가 생긴다. 速力이 현저히 低下되더라도 旋回圈이 圓形을 유지하는 것은 角速度의 低下 때문이라고 생각된다.

#### 2. 操縱性指數 算出時 利用할 資料의 選擇問題

旋回半徑을 計算할 要素로서의  $K'$ 의 計算資料는 回頭角 90°~180° 사이에서 取하는 것이 좋으며 Advance를 計算하기 爲한  $T$ 의 計算에는 當然히 旋回初期段階의 資料를 利用하여야 할 것이다.

### V. 結 論

以上과 같이 船舶의 速力이 旋回圈에 미치는 影響을 研究 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. Froude No. 0.3 以下의 速力에 있어서도 船速의 變化는 旋回圈의 크기에 相當한 影響을 준다. 本研究를 基準으로 하면 그것은 다음과 같다.

(1) 速力이 最終旋回徑(Final diameter) 및 旋回徑(Tactical diameter)의 크기에 미치는 影響 前進全速時의 最終旋回徑은 前進微速時의 그것보다 計算上으로 約 22%程度 增加한다. 實際로도 約 22%程度 增加하였다. 그러나 船舶에 따라서 差異의 程度가 相當히 달리 나타난다. 旋回徑은 速力이 微速에서 全速으로 變化함에 따라 約 17% 程度 增加한다.

(2) 速力이 縱距(Advance)에 미치는 影響

前進全速時의 Advance는 前進微速時의 그것보다 計算上으로는 約 35% 增加하며 實際로는 約 29% 增加하였다.

(3) Advance의 增加率이 旋回徑의 增加率보다 크게 나타 난다.

2. 時間的인 要素를 考慮할 必要가 없는 固定障礙物을 避하는 때의 操船이 速力의 變更과 回頭만으로 이루어질 境遇에 前方移動距離 또는 橫方向移動距離를 단축하기 위하여서는 항상 減速하는 것이 增速하는 것 보다 有利하다. 前方短縮距離는 橫方向短縮距離 보다 크게 나타 난다.

參 考 文 獻

- (1) 元良誠三, 船体運動力學, 東京: 共立出版社, 1963, pp. 72~74.
- (2) 岩井聰, 操船論, 東京: 海文堂, 1971, pp. 19~20.
- (3) 赤崎繁, 船体旋回學, 東京: 海文堂, 1974, pp. 46, 124.
- (4) 杉原喜義, 理論運用學(運動編), 東京: 海文堂, 1966, pp. 101~102.
- (5) 大串雅信, 理論船舶工學(下卷), 東京: 海文堂, 1971, pp. 251~259.
- (6) 西阪廣六助, 運用と操船, 東京: 成山堂, 1968, p. 226.
- (7) 横田利雄, 船舶運用學(操船編), 東京: 海文堂, 1969, pp. 45~46.
- (8) 日本海難 超大型船操船の手引き, 東京: 成山堂, 1974, pp. 28~33. 防止協會,
- (9) 日本造船學會, 第2回操縱性, 東京: 啓文堂, 1970, pp. 2~8. シンポジウム
- (10) 尹点東, 船舶運用的 理論斗 實務, 釜山: 亜成出版社, 1973, pp. 55~57.
- (11) 志波久光, 舵と旋回, 東京: 成山堂, 1972, pp. 28~29.
- (12) Philip Mandel, Principles of Naval Architecture, New York, U. S. A : SNAME. 1967, p. 494.
- (13) Austin M. Knight, Modern Seamanship(14th edition), Princeton, U. S. A : D. Van Nostrand Co., Inc., 1968, p. 193.

附 錄 I 數式에 關한 注

注 1.

$$\phi = K \cdot \delta (t - T + T e^{-\frac{t}{T}})$$

$$\phi - K \cdot \delta t = -K \delta T + K \cdot \delta T e^{-\frac{t}{T}}$$

$$a = -bT + bT e^{-x}$$

$$\text{단, } a = \phi - K \cdot \delta t$$

$$b = K \cdot \delta$$

$$\frac{t}{T} = x$$

$$\phi_1 - K \cdot \delta t_1 = -K \cdot \delta T + K \cdot \delta T e^{-\frac{t_1}{T}}$$

$$\phi_2 - 2K \cdot \delta t_1 = -K \cdot \delta T + K \cdot \delta T e^{-\frac{2t_1}{T}}$$

$$a_1 = -bT + bT e^{-x}$$

$$a_2 = -bT + bT e^{-2x}$$

$$e^{-x} = \frac{a_1 + bT}{bT}, \quad e^{-2x} = \frac{a_2 + bT}{bT} = \frac{(a_1 + bT)^2}{(bT)^2}$$

$$T = \frac{a_1^2}{(a_2 - 2a_1)b}$$

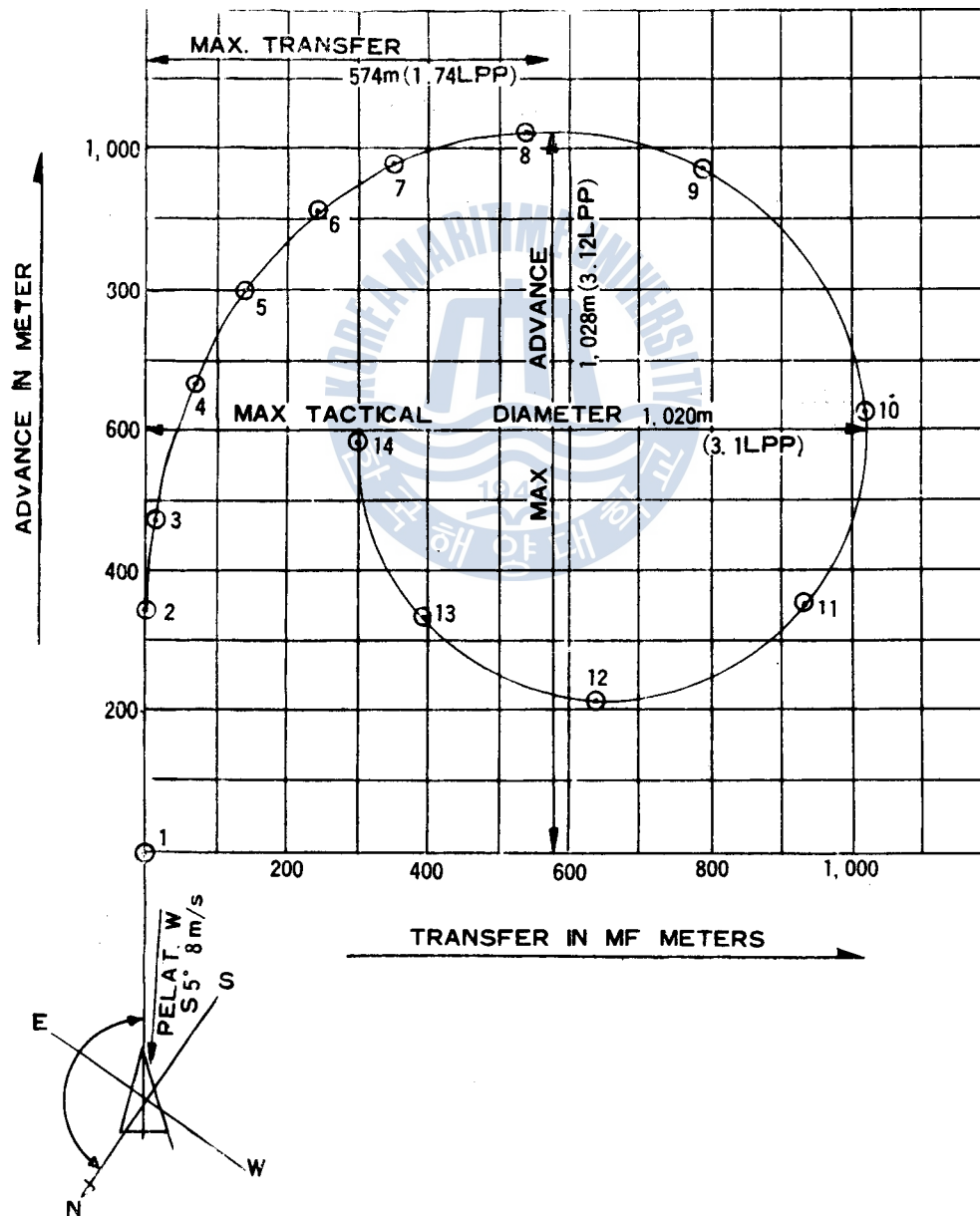
## 附錄 II. 實船旋回圈圖

## NORMAL RIGHT TURNING

CATTLEYA 號

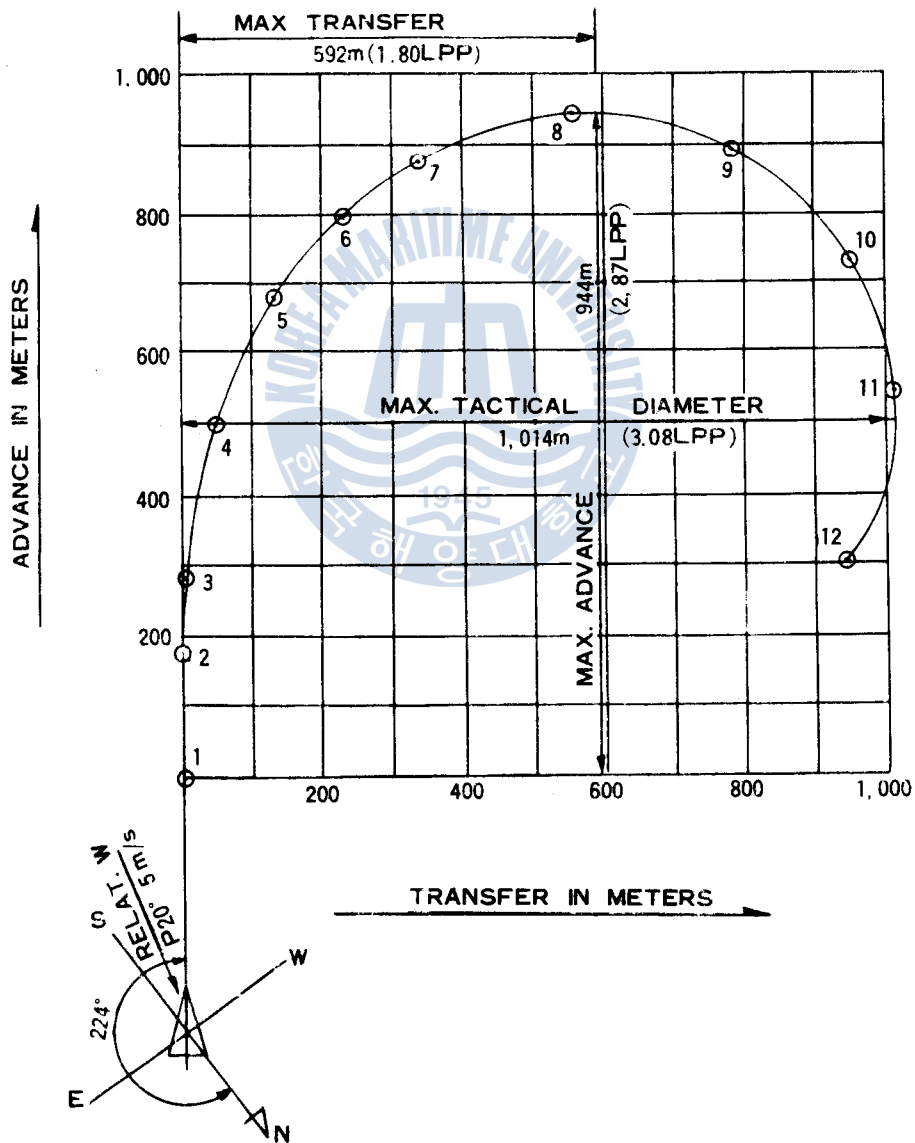
## FULLY LOADED CONDITION

$d_f$ : 20.65 m	RUDDER ANGLE : 35°
$d_a$ : 20.65 m	SEA STATE : smooth
$d_m$ : 20.655m	SEA DEPTH : 133m
TRIM : 0.01m(by the stern)	WEATHER : blue sky
DISP : 306,705 ton	SPEED : 16.75kts



**CATTLEYA 號**  
**SLOW RIGHT TURNING**  
**FULLY LOADED CONDITION**

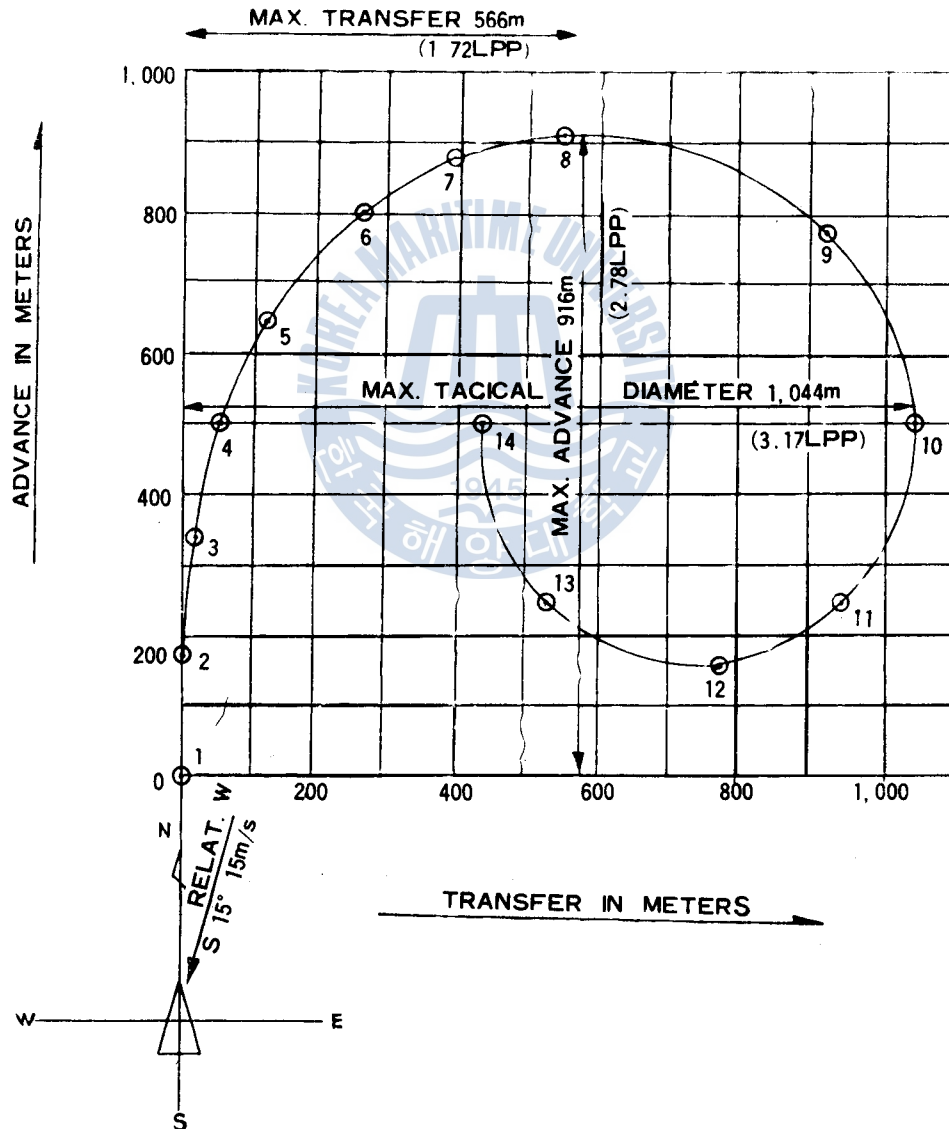
$d_f$ : 20.65 m	RUDDER ANGLE : 35°
$d_a$ : 20.66 m	SHE STATE : smooth
$d_m$ : 20.655m	SEA DEPTH : 140m
TRIM : 0.01m(by the stern)	WEATHER : blue sky
DISP : 306,705ton	SPEED : 5.55kts





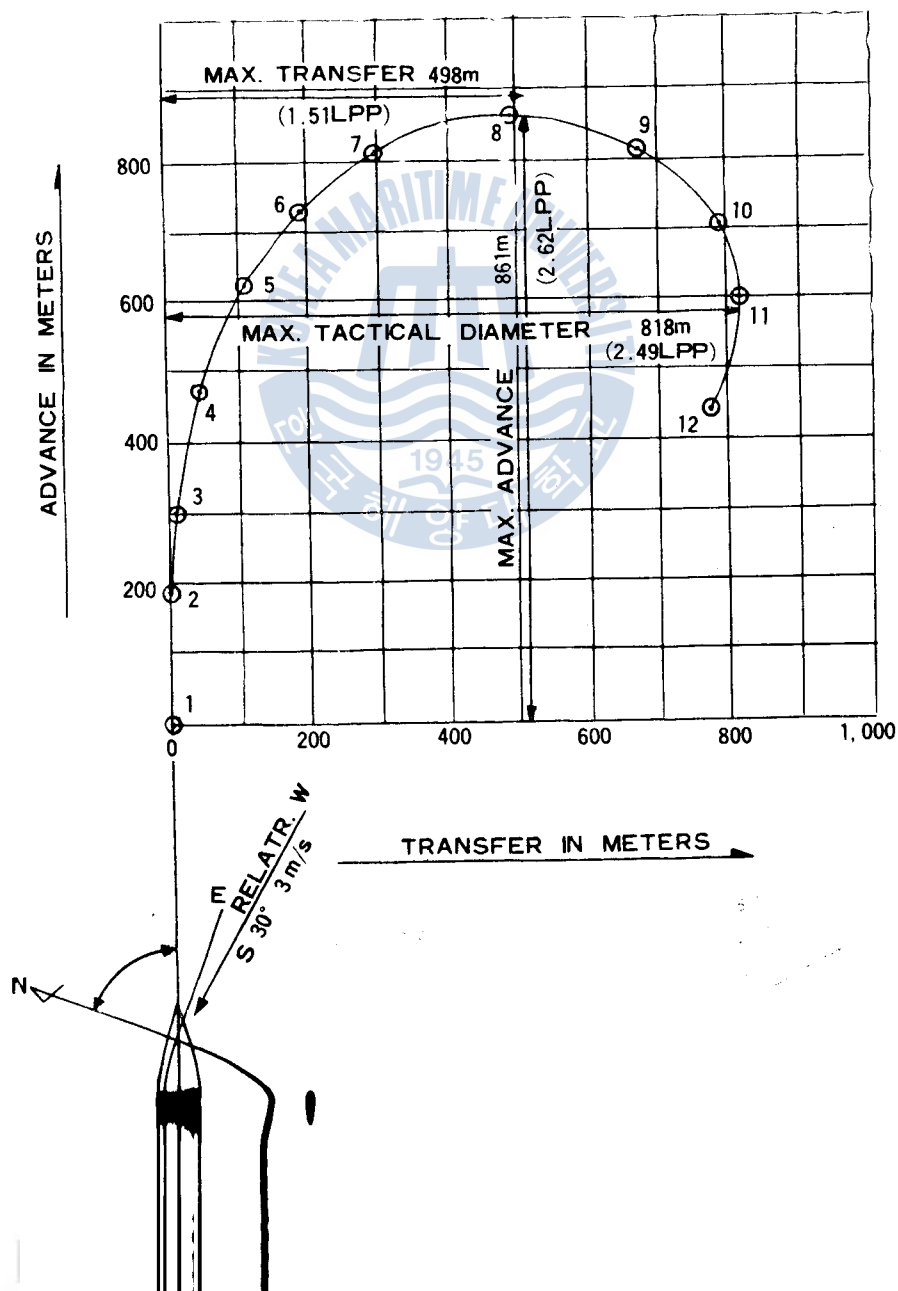
**WORLD HERITAGE 號**  
**NORMAL RIGHT TURNING**  
**FULLY LOADED CONDITION**

$d_f$ : 20,656 m	RUDDER ANGLE : 35°
$d_a$ : 20,656 m	SHE STATE : slight
$d_m$ : 20,656 m	SEA DEPTH : 118 m
TRIM : 0.000 m	WEATHER : blue sky
DISP : 310,420ton	SPEED : 16.92kts



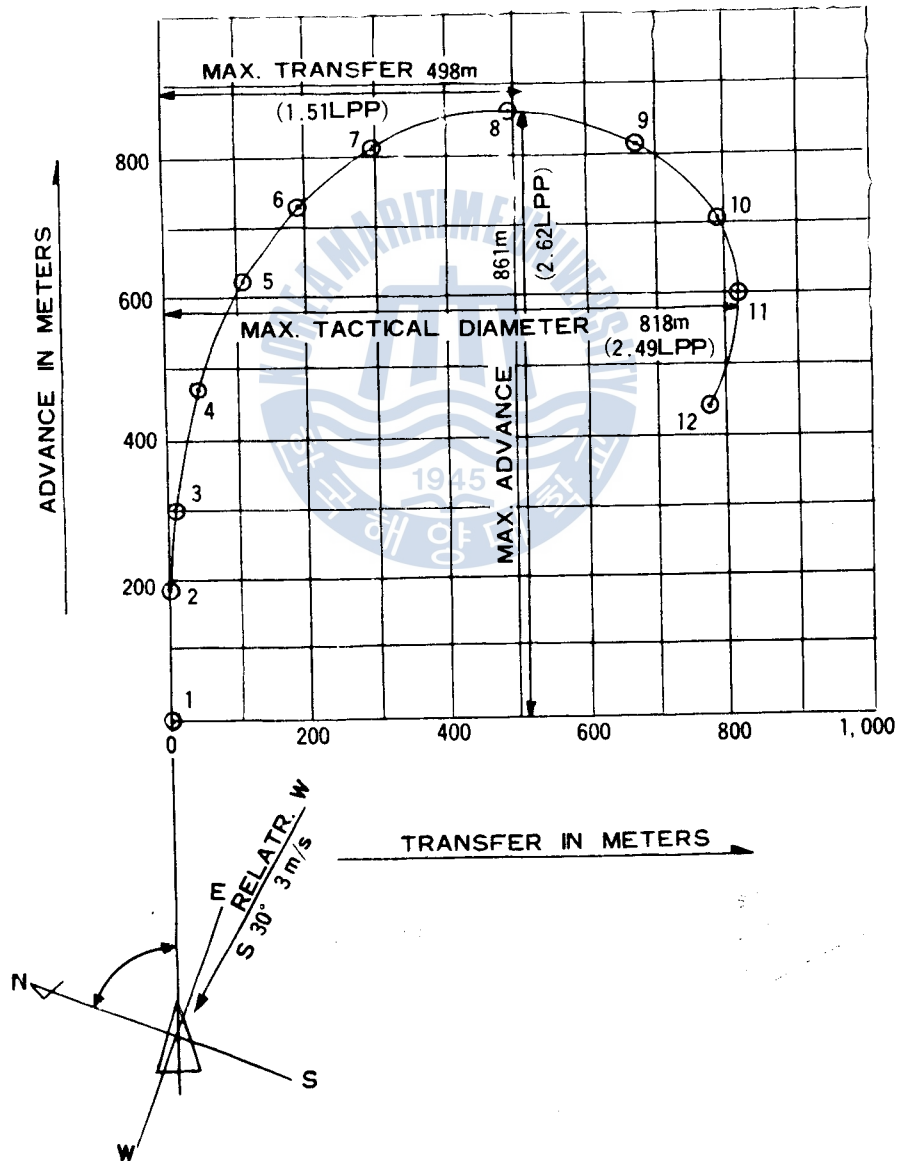
WORLD HERITAGE 號  
SLOW RIGTH TURNING  
FULLY LOADED CONDITION

$d_f$ : 20.656 m	RUDDER ANGLE : 35°
$d_a$ : 20.656 m	SEA STATE : slight
$d_m$ : 20.656 m	SEA DEPTH : 112m
DISP : 310,420ton	WEATHER : cloudy
	SPEED : 6.0 kts



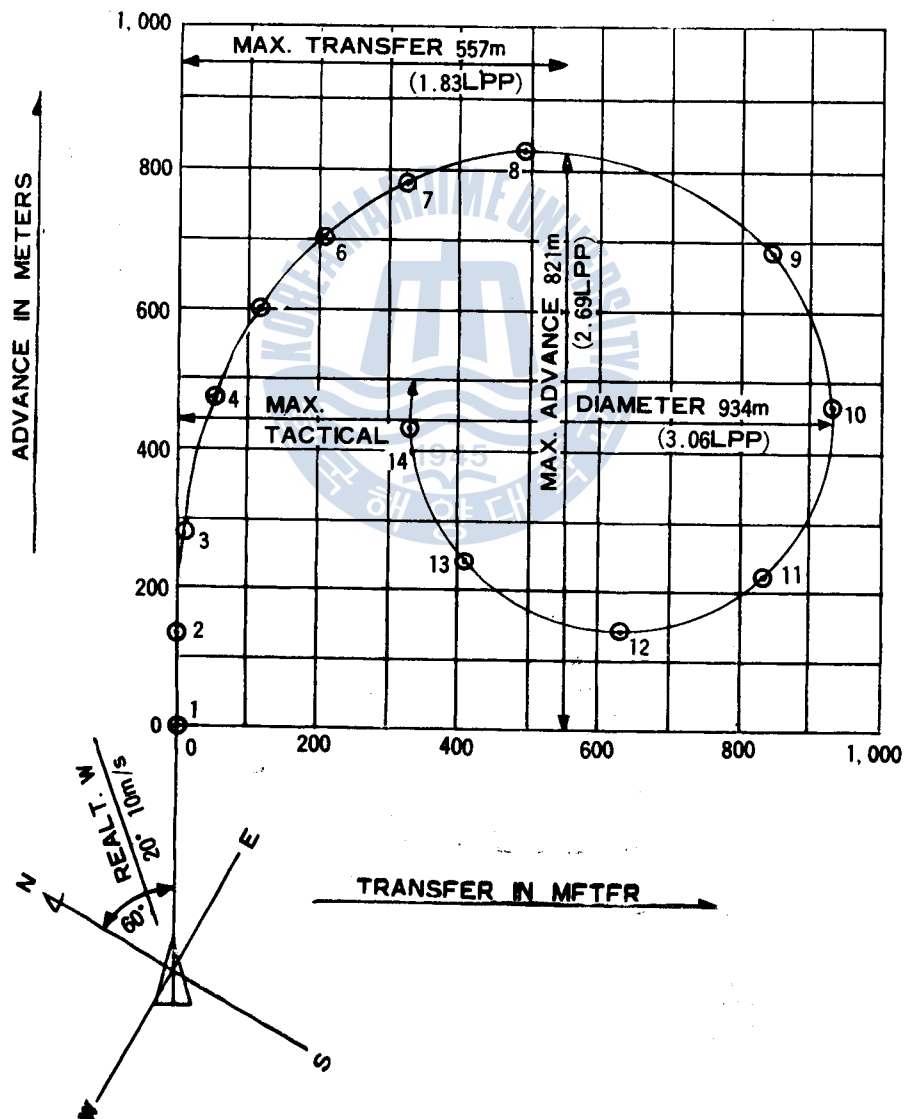
WORLD HERITAGE 號  
SLOW RIGTH TURNING  
FULLY LOADED CONDITION

$d_f$ : 20.656 m	RUDDER ANGLE : 35°
$d_a$ : 20.656 m	SEA STATE : slight
$d_m$ : 20.656 m	SEA DEPTH : 112m
DISP : 310,420ton	WEATHER : cloudy
	SPEED : 6.0 kts



**ALTHEA 號**  
**NORMAL RIGHT TURNING**  
**BALLAST CONDITION**

$d_f$ : 8.81 m	RUDDER ANGLE : 35°
$d_a$ : 13.12 m	SHE STATE : slight
$d_m$ : 9.97 m	SEA DEPTH : 1,040m
TRIM : 2.31 m (by the stern)	WEATHER : cloudy
DISP : 128, 152 ton	SPEED : 18.52 kts



ALTHEA 號  
SLOW RIGHT TURNING  
BALLAST CONDITION

$d_f$ : 8.81 m	RUDDER ANGLE : 35.5°
$d_a$ : 11.12 m	SEA STATE : smooth
$d_m$ : 9.97 m	SEA DEPTH : 270m
TRIM : 2.31 m (by the stern)	WEATHER : cloudy
DISP : 128,152 ton	SPEED : 5.028 kts

