

두 船舶間의 限界接近距離의 計算法에 關하여

孫 景 浩

On the Calculation Method of Critical Approaching Distance between Two Ships

Son Kyoung Ho

〈目 次〉

- | | |
|-------------------|------------------|
| I. 序 論 | 1. 供試船의 概要 |
| II. 理論解析 | 2. 旋回試驗에 依한 計算 |
| 1. 操縱性指數 | 3. Z-操縱試驗에 依한 計算 |
| 2. 船体移動距離 | 4. 計算結果에 對한 考察 |
| III. 實船試驗에 對한 計算例 | IV. 結 論 |

Abstract

We can grasp turning performance from turning test and maneuvering performance from Z-test by calculating maneuvering indices K, T. But these turning and maneuvering performances are separate, and then relation of which have not been studied.

In case of a practical question of ship handling, these turning and maneuvering performances have not been applied to critical approaching distance between two ships.

In this paper the author developed the method of calculating K, T indices from turning test results. Besides assuming that there was no obstacle on motion waters, the author made a form calculating critical distance between two ships facing each other, which was calculated on trial, making use of turning and Z-test results of Korea Merchant Marine College Training Ship HANBADA.

記號說明

B : 船幅

x : 船首尾方向의 軸

z : x, y 軸에 直角인 軸

K : 旋回性指數

N : 回頭 모우멘트

D : 旋回圈의 Reach

y : 船体の 正橫方向의 軸

I_z : z 軸에 關한 慣性모우멘트

m : 船体の 質量

R : 旋回半徑

t : 回頭始作後의 經過時間	t_0 : 操舵에 要하는 時間
T : 追從性指數	u : x 軸方向의 速度
v : y 軸方向의 速度	w : 角速度
w_s : 定常旋回角速度	φ : 回頭角
δ : 舵角	L : 船體의 길이
X : 船體에 作用하는 x 軸方向의 힘	Y : 船體에 作用하는 y 軸方向의 힘
V : 接線速度	V_0 : 直進時의 速度
G : 船舶의 重心 (船體의 中央에 있다고 假定)	

I. 序 論

船體의 運動性能 및 操縱性能은 直進中인 船舶이 一定舵角을 取하였을 때 어떠한 回頭運動을 하는가에 注目한 것으로서 旋回試驗과 Z-操縱試驗에 依해서 그 性能을 把握할 수 있다.

旋回試驗에 依해서 船舶이 一定舵角을 取하였을 때 回頭中의 運動特性值들을 計算할 수 있고 여러가지의 試驗方法이 開發되었으며¹⁾ 試驗者의 目的에 適合한 試驗을 行하면 된다. 또 Z-操縱試驗에 依해서 旋回力을 表示하는 旋回性指數 K 와 quick responsibility를 表示하는 追從性指數 T 를 求하여 船舶의 操縱性能의 良否를 判斷할 수 있다.

그러나 이러한 運動性能 및 操縱性能에 對한 여러가지의 特性值들과 實際의 操舵에 있어서 兩船舶間의 限界接近距離와의 關係에 對해서는 規定된 바가 없다. 즉 1977年 7月15日부터 發効되고 있는 國際海上衝突豫防規則의 第14條 a項²⁾에는 서로 마주보면서 航走接近하는 두 船舶間의 避航動作에 關하여 規定하고 있으나 兩船舶이 어느 程度의 距離로 가까워졌을 때 動作을 取해야 하는가에 對해서는 전혀 言及되어 있지 아니하다. 또 旋回試驗과 Z-操縱試驗은 別個로 存在해 왔으며 兩者間의 關係에 對해서는 研究되어 있지 아니하다. 따라서 造船所의 schedule 關係上 Z-操縱試驗을 省略하고 旋回試驗만을 行할 경우 K, T 의 값을 計算할 수가 없었다.

本論文에서는 旋回試驗과 Z-操縱試驗의 結果로부터 運動水面에는 어떠한 障礙物도 없다는 假定下에 두 船舶이 正面으로 마주치는 경우의 兩船舶間의 限界接近距離에 關한 計算法의 數式과 旋回試驗 結果로부터 K, T 를 推定計算하는 數式을 定立하고 韓國海洋大學 練習船 “한바다호”의 旋回試驗 및 Z-操縱試驗의 結果를 利用하여 試算, 比較考察하였다.

本計算法에 依해서 特定한 船型에 對한 限界接近距離를 算出해 두면 感覺에 依한 操舵方法을 止揚할 수 있고 衝突이라는 海難을 豫防하는 데 도움이 될 것으로 생각한다.

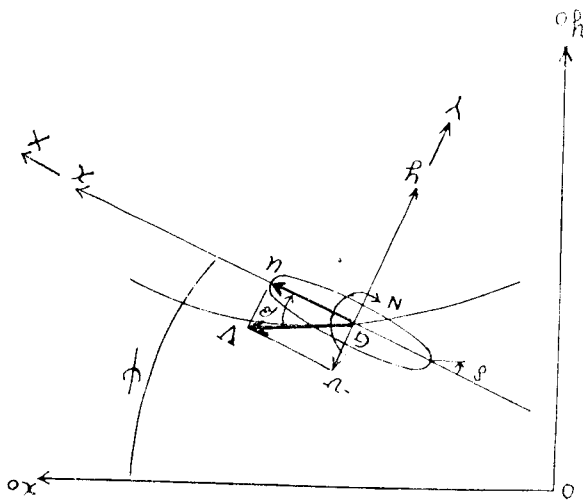
II. 理論解析

1. 操縱性指數

<그림 2.1>과 같이 船舶의 重心을 原點으로 하고 船首尾方向을 x 軸, 正橫方向을 y 軸, x, y 軸에 直角인 方向을 z 軸으로 取하면 이미 잘 알려진 바와 같이 船體의 運動方程式은 다음식으로 表示된다.³⁾

$$\left. \begin{aligned} m(\dot{u} - vw) &= X \\ m(\dot{v} + uw) &= Y \\ I_z \dot{w} &= N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

式(2.1)과 같이 運動方程式은 前進, 橫移動, 旋回의 3가지 運動으로 構成되는데 操舵에 隨伴하여



<그림 2.1>

式 (2.3)과 式 (2.4)를 比較하여

$$T = T_1 + T_2 - T_3 \dots \dots \dots (2.5)$$

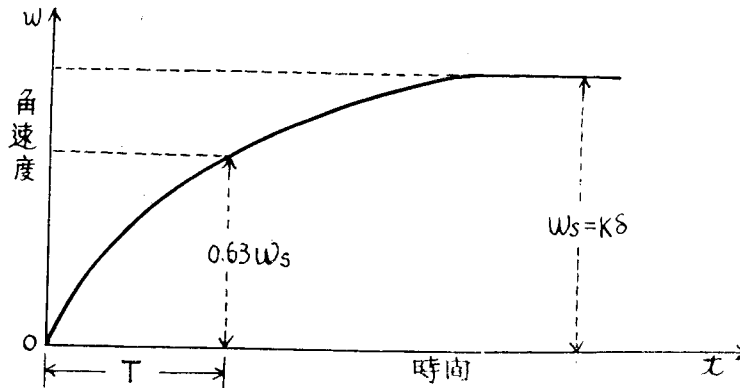
따라서 式 (2.5)로부터 運動方程式 (2.2)의 一次系近似式은

$$T \frac{d\dot{\phi}}{dt} + \dot{\phi} = K\delta \dots \dots \dots (2.6)$$

式 (2.6)에서 보는 바와 같이 K 와 T 는 船舶의 操縱性能에 따라서 決定되는 定數이고 通常 操縱性指數라고 불리며 操縱性能의 良否가 이것에 依해서 判定되는 性質을 가지고 있다. 式(2.6)에 依해서 船舶의 回頭角速度의 時間的인 變化가 <그림 2.2>와 같이 그려진다.

回頭角速度가 一定值로 되는 點이 定常旋回이고 K 는 定常旋回角速度와 舵角의 比로서 旋回의 強弱의 程度를 表示하고 있다. 이 K 를 旋回性指數라 부르므로 K 의 값이 클수록 旋回力이 強하다.

즉, $w_s = K\delta \dots \dots \dots (2.7)$



<그림 2.2>

생기는 前進力의 變化는 副次的인 것으로 看做하여 이를 無視하고, 式(2.1)로부터 Y, N 를 各變數에 關해서 Taylor 展開하여 船體運動에 關한 微分方程式을 만들면 다음식으로 表示된다.⁴⁾

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \dot{\phi}}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\dot{\phi}}{dt} + \dot{\phi} = K\delta + K T_3 \frac{d\delta}{dt} \dots \dots \dots (2.2)$$

式 (2.2)를 Laplace 變換하여 傳達函數를 求하면

$$Y_s(p) = \frac{K(1 + T_3 p)}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)} \dots \dots \dots (2.3)$$

式 (2.3)을 周波數가 낮은 部分 즉 $|p|$ 가 작은 範圍內에서 展開하여 近似化하면

$$Y_s(p) = \frac{K}{1 + T p} \dots \dots \dots (2.4)$$

한편 T 는 操舵에 應答하는 船體의 回頭運動이 늦은가 빠른가를 나타내는 것으로써 一定舵角을 取하여 回頭角速度가 어떤 一定值의 크기까지 達하는데 要하는 時間을 表示하는 量이다. 이 T 를 追從性指數라고 부르고 T 가 작을수록 좋은 旋回性能을 갖는다.

2. 船體移動距離

舵角을 주고난 다음의 回頭의 遲延을 追從性指數 T 로 表示한다고 하였으나 더욱더 實際的인 경우 操舵에 要하는 時間을 考慮해 주면

$$\text{回頭遲延} = (T + \frac{1}{2}t_0)\text{秒}$$

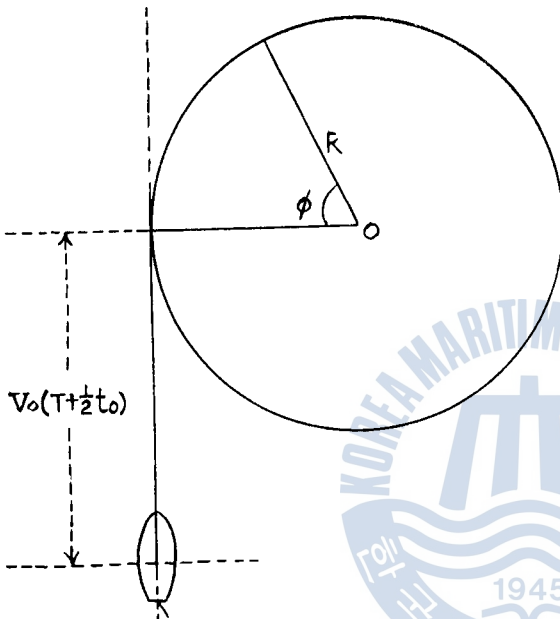
가 된다. <그림 2.3>과 같이 船舶이 一定舵角을 取하면 一般的으로 船體는 回頭遲延時間만큼 直進時의 速度 V_0 로 原針路上을 移脫하지 않고 前進하다가 半徑 R 로 回頭運動을 始作한다고 假定하면 回頭前의 前進距離(Reach)는

$$D = V_0(T + \frac{1}{2}t_0) \dots\dots\dots(2.8)$$

轉舵命令을 發한 地點을 基準으로 하여 回頭後의 前進方向移動距離 및 橫方向移動距離를 各各 d_x, d_y 라 하면

$$\left. \begin{aligned} d_x &= V_0(T + \frac{1}{2}t_0) + R \sin K\delta t \\ d_y &= R - R \cos K\delta t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.9)$$

<그림 2.4>와 같이 두 船舶이 서로 相反되는 針路上을 接近하면서 避航作動을 取할 때 各 船舶의 橫方向移動距離 d_y 가 自



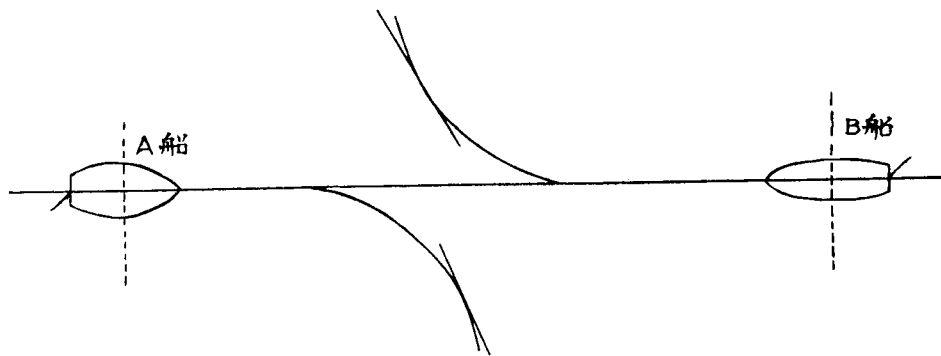
<그림 2.3>

船에 對한 $(\frac{L}{2} \sin K\delta t + \frac{B}{2} \cos K\delta t)$ 보다 크면 兩船舶은 衝突을 免하게 된다.

따라서

$$R - R \cos K\delta t \geq \frac{L}{2} \sin K\delta t + \frac{B}{2} \cos K\delta t \dots\dots\dots(2.10)$$

式 (2.10)에서 t 를 求하면



<그림 2.4>

$$t \geq \frac{1}{K\delta} \tan^{-1} \frac{BL+2RL+2R\sqrt{L^2+B^2+4BR}}{4R^2-L^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

그러므로 한 船舶이 轉舵旋回하여 原針路上으로부터 船체가 安全히 離脫할 때까지의 前進方向移動距離 d_x 는 式(2.11)에 依해서 求한 t 의 最小값을 式(2.9)의 첫째式에 代入하여 計算할 수 있다.

<그림 2.4>에서와 같이 A, B 두 船舶이 서로 相反되는 針路上을 接近하고 있을 때 避航動作을 取하여야 하는 限界接近距離 d_s 는 다음 式과 같다.

$$d_s = \left. \begin{aligned} &(T_A + \frac{1}{2}t_{OA})V_{OA} + R_A \sin K_A \delta_A t_A \\ &+ (T_B + \frac{1}{2}t_{OB})V_{OB} + R_B \sin K_B \delta_B t_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.12)$$

여기서 添字 A, B는 A船, B船을 意味함.

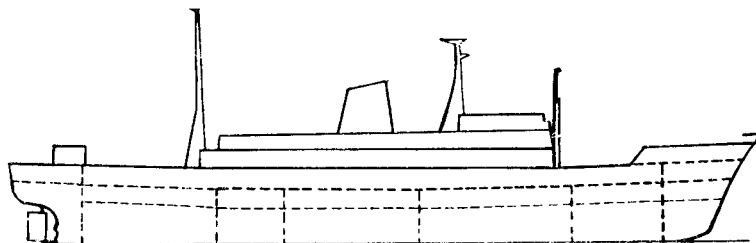
Ⅲ. 實船試驗에 對한 計算例

1. 供試船의 概要

試驗에 使用된 船舶은 韓國海洋大學 練習船 “한바다호”이며 “한바다호”의 要目^{하)}은 <表 3.1>, 側面圖는 <그림 3.1>과 같다.

<表 3.1>

Kind of ship	Training ship
Length(L. O. A.)	99.8m
Breadth (Mld.)	14.5m
Depth (to shelter deck)	9.5m
Full load draught	5.2m
Full load displacement	4230.35t
Dead weight	2169.15t
Gross tonnage	3491.77t
Net tonnage	1515.78t
Main engine	Diesel 3800 H. P. (230 rpm)
Max. speed(sea trial)	16.55 kt
Rudder type	Stream lined balanced
Rudder area	9.31m ²
Area ratio	1/49.3

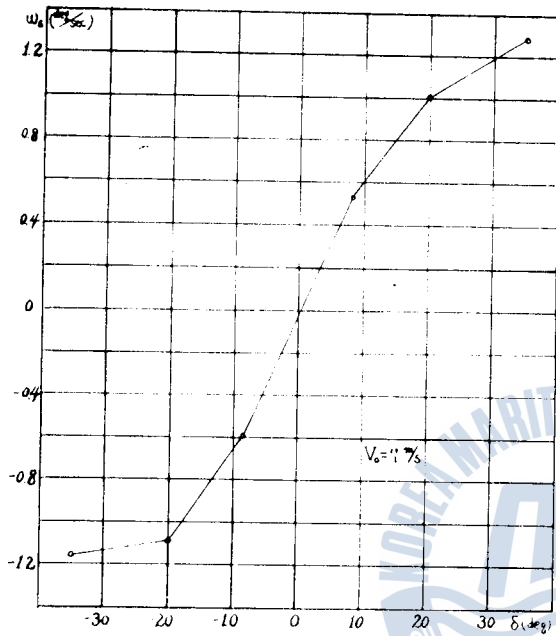


<그림 3.1>

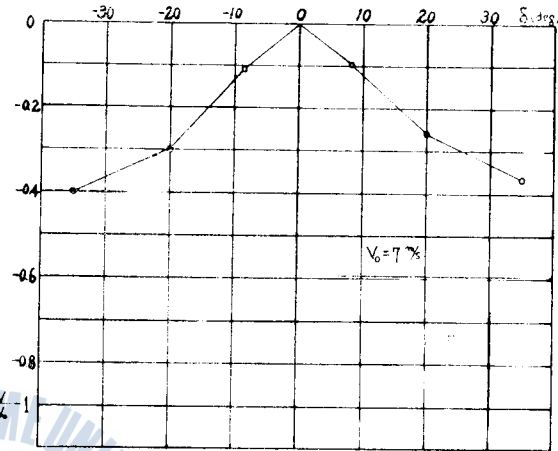
2. 旋回試驗에 依한 計算

(1) 試驗方法 및 試驗結果

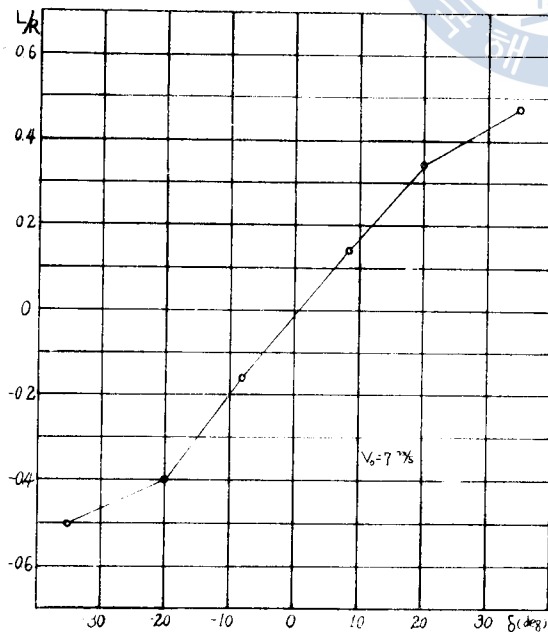
試驗方法是 拙稿 “平行導標線을 利用한 旋回圈의 實船試驗”에서 發表했으며 試驗結果를 要約하
민 <그림 3.2>, <그림 3.3>, <그림 3.4> 및 <그림 3.5>의 graph와 같다.



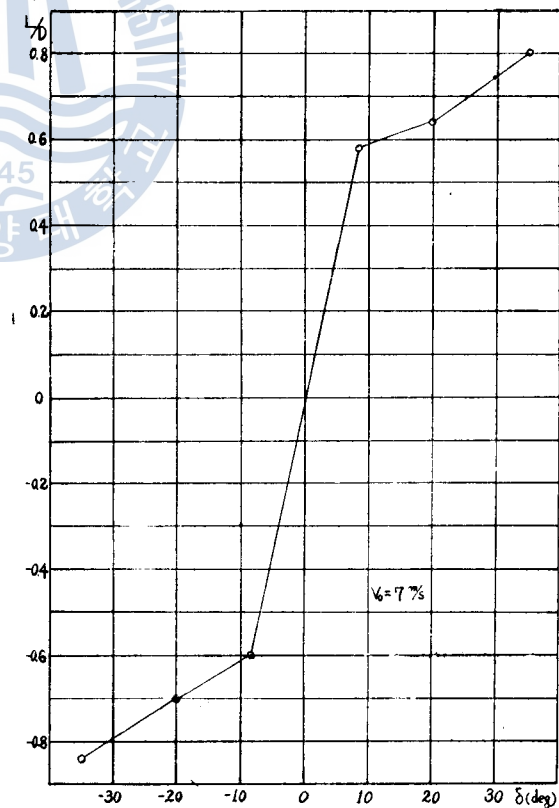
<그림 3.2> 舵角對 定常旋回角速度



<그림 3.4> 舵角對 速度低下



<그림 3.3> 舵角對 旋回半徑



<그림 3.5> 舵角對 Reach

(2) 限界接近距離의 計算

供試船의 主要치수와 旋回試驗結果를 利用하여 旋回性指數 K 는 式(2.7)에 依해서, 追從性指數 T 는 式(2.8)에 依해서, 原針路上으로 부터 船體가 完全히 離脫하는데 要하는 最小時間 t 는 式(2.11)에 依해서 그리고 原針路上으로 부터 船體가 完全히 離脫하는데 要하는 最小의 前進距離 (限界接近距離) d_x 는 式(2.9)에 依해서 다음의 <表3.2>와 같이 計算한다.

<表 3.2>

轉 舵 方 向	右 舷			左 舷		
	35°	20°	8°	35°	20°	8°
舵 角	35°	20°	8°	35°	20°	8°
操舵에 要하는 時間	13 sec	9	4	13	9	4
旋 回 半 徑	212.3 m	293.5	712.86	199.6	249.5	623.75
旋 回 性 指 數	0.0363 sec ⁻¹	0.0515	0.0663	0.0331	0.0545	0.0725
追 從 性 指 數	11.32 sec	17.78	22.58	10.47	15.87	21.76
針路移脫에 要하는 最小時間	25.4 sec	24.4	24.5	29.2	26.1	24.7
限 界 接 近 距 離	238.1m (2.4L)	280.6m (2.8L)	332.4m (3.3L)	230.1m (2.3L)	261.4m (2.6L)	320.7m (3.2L)

3. Z-操縱試驗에 依한 計算

(1) 試驗方法 및 試驗結果

試驗方法은 尹⁷⁾의 研究 “操縱性 指數에 依한 衝突回避動作의 量的 把握에 關한 研究”에서 發表한 것으로서 試驗結果에 對한 計算值를 要約하면 다음의 <表3.3>과 같다.

<表 3.3>

+10°Z Test		-20°Z Test		+35°Z Test	
K	T	K	T	K	T
0.045	10	0.055	9	0.042	6

(2) 限界接近距離의 計算

供試船의 主要치수와 Z-操縱試驗結果의 操縱性指數 K, T 및 旋回試驗結果의 旋回半徑 R 를 利用하여 式(2.11) 및 式(2.9)에 依해서 限界接近距離를 다음의 <表3.4>와 같이 計算한다.

〈表 3.4〉

舵 角	+35°	-20°	+10°
操舵에 要하는 時間	13 sec	9	5
旋 回 半 徑	205.95 m	271.5	554.4
旋 回 性 指 數	0.042 sec ⁻¹	0.055	0.045
追 操 性 指 數	6 sec	9	10
針路移脫에 要하는 最小時間	22.5 sec	24.2	34.6
限 界 接 近 距 離	199.9 m (2.0L)	216.2m (2.2L)	236.3m (2.4L)

但, { ① +는 右舷처음, -는 左舷처음 回頭를 意味함
 ② 旋回半徑은 右舷, 左舷의 平均値 임

4. 計算結果에 對한 考察

供試船에 對한 限界接近距離를 旋回試驗에 依한 計算法과 Z-操縱試驗에 依한 計算法으로 算出해 냈으나 兩方法에는 試驗時의 狀態나 條件이 다를뿐 아니라 旋回試驗에 依한 計算結果는 定常旋回中인 경우이고 Z-操縱試驗에 對한 計算結果는 旋回初期인 過渡狀態의 경우이므로 兩者間에는 多少의 差異가 난다. 實際 操船時에는 이들의 平均값을 使用하면 安全上 좋을 것이며 또 兩船舶間에 생기는 流體力學的인 相互作用을 考慮하여야 하므로 위와 같은 計算結果가 나온다 할 지라도 兩船首間의 接近距離는 最小限 兩船舶의 長이를 合한 값의 約 3배以內의 距離가 되기 前에 避航動作(舵角 20°以上)을 取하여야 한다고 解析된다.

V. 結 論

- (1) 旋回試驗結果를 利用하여 操縱性指數 K , T 를 算出할 수 있었으며 Z-操縱試驗結果와 比較한 즉, K 는 거의 비슷한 값이지만 T 는 旋回試驗結果로부터 求한 값이 Z-操縱試驗結果值보다 多少크다.
- (2) 두 船舶이 正面으로 마주치는 경우 變針만으로 避航動作을 取할 때에는 兩船舶의 長이를 合한 값의 約 3배의 距離가 限界接近距離이다.
- (3) 特定한 船型에 對하여 本計算法에 依한 限界接近距離를 算出해 두면 感覺에 依한 操船方法을 止揚할 수 있을 것이다.
- (4) 造船所의 schedule 關係上 Z-操縱試驗을 省略하는 경우 旋回試驗結果만으로 操縱性指數 K , T 의 概略值를 算出할 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

- (1) 赤崎繁：“船体旋回學”，海文堂，東京（1975.6），p.123~125
- (2) 閔星奎，朴東喆：“새 國際海上衝突豫防規則”，海軍圖書出版部，釜山（1976.12），p.90~97
- (3) 日本造船學會：“第2回操縱性シンポジウムテキスト”(1970.11)，p.2~3
- (4) 野本謙作：“船の操縱性”，日本造船協會誌，第424號(昭和39年 11月)，p.794~808
- (5) 한바다號關係靑寫眞
- (6) 孫京浩：“平行導標線을 利用한 旋回圈의 實船試驗”，韓國海洋大學論文集，第12集(1977.3)，p.471~480
- (7) 尹点東：“操縱性指數에 의한 衝突回避動作의 量的把握에 關한 研究”，韓國海洋大學論文集，第11集(1976.3) p.121~138



