

## 船体運動學的으로 본 衝突回遊動作에 關한 研究

金 基 允\*

A Study on the Ship's Collision Avoiding Action Analyzed from  
a Viewpoint of Ship Kinematics

Ki-Yun KIM\*

## Abstract

The rule 15, 16 and 17 of International Regulations for Preventing Collisions at Sea direct actions to avoid collision when two power-driven vessels are crossing.

But these rules do not present the safety minimum approaching distances outside which a give-way vessel keeps out of the way of a stand-on vessel.

In this paper, the author analyzed the ship's collision avoiding actions from a viewpoint of ship kinematics as the method to calculate this distance.

The author worked out mathematic formulas for calculating the safety minimum approaching distances outside which the give-way vessel takes the actions to avoid collisions in accordance with the cross angles of the crossing vessels' courses.

Figuring out actually the values of maneuvering indices of the M. S. "Koan Ack San" (GT: 224 tons), the training ship of the National Fisheries University of Busan and the M. S. "Golden Clover" (GT:101, 235tons) of the Eastern Shipping Co., Ltd. through their Z test, the author applied these values to the calculating formulas and calculated the safety minimum approaching distances.

The results of calculations are as follows;

1. The greatest distance is to be kept by the give-way vessel to avoid collision when the cross angle of courses is  $90^\circ$  or near it. In such case the safety minimum approaching distance of a small vessel must be more than 5 times of her own length and that of a large vessel more than 11 times of her own length.
2. Collision danger is greater when crossing angle is obtuse than in an acute angle, therefore greater distance is to be kept by the give-way vessel to avoid collision in the case of the obtuse angle.
3. The actions to be taken to avoid collisions by the give-way vessel in Rule 16 and by the stand-on vessel in Rule 17(a)(ii) of International Regulations for Preventing Collisions at Sea, must be done outside the above safety minimum approaching distance. When inevitably such actions are to be taken within the safety minimum approaching distance, they should be accompanied with engine motions.

\* 釜山水産大學. National Fisheries University of Busan.

記 號 說 明

- $M$  : 船体質量
- $M_x$  :  $x$ 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
- $\dot{u}$  :  $x$ 軸方向의 加速度
- $v$  :  $y$ 軸方向의 速度
- $\dot{v}$  :  $y$ 軸方向의 加速度
- $V$  : 船速
- $X$  :  $x$ 軸方向의 힘
- $Y$  :  $y$ 軸方向의 힘
- $N$  : 旋回 moment
- $S$  : 船体中央橫斷面積
- $L$  : 船体の 全長
- $B$  : 船体の 全幅
- $I_x$  :  $Z$ 軸에 對한 慣性能率
- $i_x$  : 附加慣性能率
- $\phi$  : 角變位置
- $\dot{\phi}$  : 角速度
- $\ddot{\phi}$  : 角加速度
- $\rho$  : 密度
- $K$  : 旋回性指數
- $T$  : 追縱性指數
- $\beta$  : 偏角

$$C_{y\beta} = \frac{\partial C_y}{\partial \beta}$$

$\delta$  : 舵角

$\delta_0$  : 一定舵角

$\delta_r$  : 舵角誤差

$t$  : 秒單位의 經過時間

$t_1$  : 一定舵角을 잡는데 要하는 時間

$$m_x = \frac{M+M_x}{\frac{\rho}{2} \cdot S \cdot L}$$

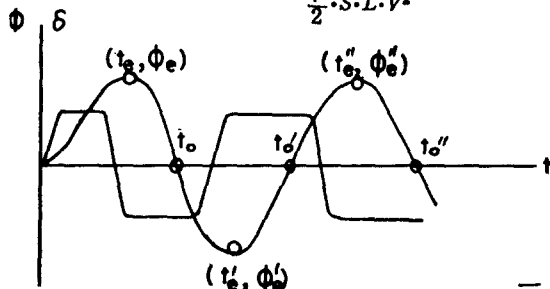
$$m_y = \frac{M+M_y}{\frac{\rho}{2} \cdot S \cdot L}$$

$$n = \frac{I_x+i_x}{\frac{\rho}{2} \cdot S \cdot L^3}$$

$$C_y = \frac{Y}{\frac{\rho}{2} \cdot S \cdot V^2}$$

$$\omega = \frac{L \cdot \dot{\phi}}{V}$$

$$C_M = \frac{N}{\frac{\rho}{2} \cdot S \cdot L \cdot V^2}$$



$A_0 \sim A''_0$  :  $t=0$ 로 부터 시작하여  $t_0, t'_0, t''_0, t_0, t'_0, t''_0$ 의 各点까지  $\delta$ 曲線과  $t$ 軸이 만드는 面積

緒 言

船舶의 操縱性能과 衝突防止를 위한 操船과는 密接한 關係가 있다. 操縱性能은 操舵動作에 따라서 일어나는 船舶의 對應運動으로서 操船上 大端히 重要하며, 一般의 最大舵角에 對한 旋回軌跡을 그려서 이것을 表示하고 있다.

이러한 運動軌跡에서 나타나는 旋回徑과 縱距는 船舶의 操舵動作에 따른 操縱性能의 一面을 잘 나타낸다고 생각되지만 여기에는 時間的인 要素가 表示되어 있지 않기 때문에, 運動을 하고 있는 船舶間의 衝突防止를 위한 操船에 이것을 利用하는데는 問題點이 많다.)

大小雜多한 船舶의 往來가 甚한 오늘날의 大都市 附近의 沿岸, 狹水道, 港界附近等에서 船舶相互間의 衝突을 避하면서 올바른 進路로 的 進入, 또는 離脫等을 效果의 遂行하기 위해서는 操船者는 自己가 指揮하는 船体の 運動을 時空間兩面에서 把握하고 있지 않으면 안된다. 自船에 對한 이러한 操縱性能의 量的把握은 旋回圈을 利用하는 것만으로는 不可能하며 操縱性指數를 利用함으로써 可能하게 된다.

一定舵角을 주었을 때 일어나는 船体の 運動過程이 舵角에 따라 어떠한 傳達特性으로 나타나는가를 把握되기 위하여서는 이것을 微分方程式, 또는 Laplace 變換의 傳達函數形式으로 나타내야 하며, 船体の 操縱性能은 이들 方程式의 係數인 操縱性指數나 또는 이것과 密接한 關係가 있는 數值로 表示되는 것이 바람직하다.) 이러한 操縱性能의 表現方法은 先進造船國의 學者들에 의하여 最近 20年 동안 많은 研究가 이루어졌고 基礎가 完成되었다고 볼 수 있다.

그러나 이러한 研究結果를 船舶相互間의 衝突防止를 위한 動作에 適用하여 그 動作의 크기나 範圍를 數值的인 基礎위에서 決定하고 또한 適法性을 檢討하려는 研究는 尹<sup>1)</sup>의 研究報告가 있을 뿐이며 稀少하다.

本論文에서는 1977年 부터 施行하고 있는 新國際海上衝突豫防規則 第15條, 第16條 및 第17條가 橫斷狀態에 있는 船舶들의 避航方法에 對해서 指示하고 있음에도 避航船이 避航動作을 取할 安全限界接近距離에 對해서는 全혀 言及이 없으므로 이것을 船体運

動學的으로 解析, 算出하여 提示하였다.

算出하는 方法으로는 避航船이 針路遭遇角度에 따라 衝突回避動作을 取할 安全限界接近距離算出式을 導出하고, 이것에 實船試驗에서 求한 小型船 및 大型船의 操縱性指數를 適用하여 安全限界接近距離를 計算하였다.

操縱性指數를 求하기 위하여 釜山水產大學實習船 冠岳山號(GT: 224ton)와 Eastern Shipping Co., Ltd.의 "Golden Clover"(GT: 101, 235ton)를 利用하여 實船試驗을 行하였다.

小型船에 對한 操縱性指數로는 "冠岳山號"의 試驗 值를, 大型船에 對해서는 "Golden Clover 號"의 試驗 值를 使用하였다.

### 安全限界接近距離算出式의 導出

#### 1. 操縱性指數算出式

船體의 運動은 一般的으로 三軸方向의 並進運動과 三軸周圍의 回轉運動으로 表示되지만 平水面에 浮上하는 船體의 操縱運動은  $x, y$  軸方向의 並進運動(前後進, 橫方向移動)과  $z$  軸周圍의 回轉運動만의 合成運動으로 取扱하고 있다.

波浪中에서는 當然히 各軸方向의 動揺나 波에 의한 強制力의 影響을 考慮하여야 하지만 甚하게 거치른 波浪中이 아니면 波에 의한 船體運動의 影響은 매우 적으므로 船體의 旋回運動은 平均하여 平水中의 運動으로 取扱할 수 있다<sup>8)7)</sup>

따라서 Fig. 1과 같이 船體의 重心G에 直交하는 三軸을 잡고  $x$  및  $y$  軸周圍의 回轉運動과  $z$  軸上의 直進運動을 無視하면 船體의 運動方程式은 다음과 같다. <sup>8)7)8)</sup>

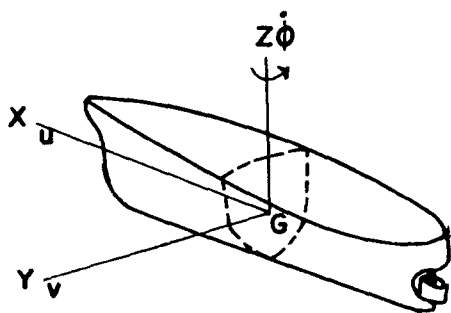


Fig. 1. 3 axis through the point G and direction of motion.

$$\left. \begin{aligned} (M+M_x)\dot{u} &= (M+M_y)\dot{\phi}v + X \\ (M+M_y)\dot{v} &= -(M+M_x)\phi u + Y \\ (I_x + i_x)\dot{\phi} &= N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

式(1)의 第2 및 3式을 無次元化하면 다음과 같다. <sup>8)</sup>

$$\left. \begin{aligned} -m_y \left( \frac{L}{V} \right) \dot{\beta} + m_x \omega &= C_y \\ n \left( \frac{L}{V} \right) \dot{\omega} &= C_M \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

또  $C_y, C_M$ 는  $\beta, \omega$  및  $\delta$ 의 函數이므로 이들은 다음과 같다. <sup>8)</sup>

$$\left. \begin{aligned} C_y &= C_{y\beta} \cdot \beta + C_{y\omega} \cdot \omega - C_{y\delta} \cdot \delta \\ C_M &= C_{M\beta} \cdot \beta - C_{M\omega} \cdot \omega + C_{M\delta} \cdot \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

式(2) 및 (3)에서  $\dot{\phi}$ 와  $\delta$ 에 關한 微分方程式을 만들면 다음과 같다. <sup>8)</sup>

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \dot{\phi}}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\dot{\phi}}{dt} + \dot{\phi} = K \cdot \delta + K T_3 \frac{d\delta}{dt} \dots\dots\dots(4)$$

(4)式을 Laplace 變換하여 傳達函數를 求하면 다음과 같다. <sup>7)</sup>

$$\frac{\dot{\phi}(s)}{\delta(s)} = \frac{K(1+T_3S)}{(1+T_1S)(1+T_2S)} \dots\dots\dots(5)$$

단, 初期値는 모두 零.

式(5)를  $|\omega|$ 가 적은 範圍에서 近似化하면

$$\frac{\dot{\phi}(s)}{\delta(s)} = \frac{K}{1+TS} \text{ 가 되므로 } \text{運動方程式은 } T\dot{\phi} + \phi = K \cdot \delta \dots\dots\dots(6)$$

으로 된다.

여기서  $T, K$ 는 操縱性指數이다.

$T$ 는 一定舵角을 준後 船體가 곧 따라 回頭하는가 않는가를 決定하는 要素인 追從性指數이며,  $K$ 는 一定舵角을 줄 때 旋回角速度의 크기를 決定하는 要素인 旋回性指數이다.

#### 2. 橫斷船(Crossing Vessel)의 避航關係

國際海上衝突豫防親則 第15條, 第16條 및 第17條 (附錄參照)에서 橫斷船에 對한 定義와 이들 船舶들이 取하여야 할 衝突防止動作이 明示된 것을 Fig. 2와 같이 그림으로 나타내었다.

여기서 R船(Reference ship)은 A區間에 있는 모든 船舶에 대하여는 維持船이 되지만 B區間에 있는 모든 船舶에 대하여는 避航船의 位置에 있다.

規則에 의하면 避航船은 避航動作을 取할 때 主機關의 運轉狀態를 바꾸면서 할 수 있지만 一般的으로 긴급한 境遇를 除外하고는 主機關의 使用은 하지 않는다. 따라서 本論文에서도 主機關의 使用없이 變針

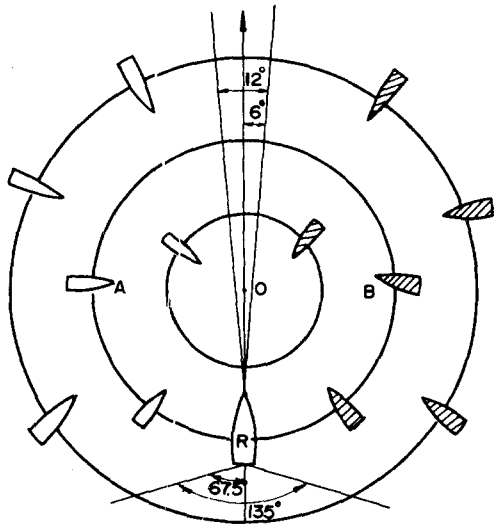


Fig. 2. Crossing vessels

만므로 避航動作이 이루어 지며 動作을 取하는 水域에는 避航船의 動作을 妨害하는 障害物이나 第3船이 없는 것으로 假定한다.

3. 新針路距離算出式

船舶이 避航動作을 取하고자 轉舵하여 原針路에서  $\phi_0$  角度變針되었을 때 實際적인 回頭지연은  $T + \frac{1}{2}t_1$  으로 表示되고 이때의 前進距離는  $V(T + \frac{1}{2}t_1)$  으로 表示할 수 있다.

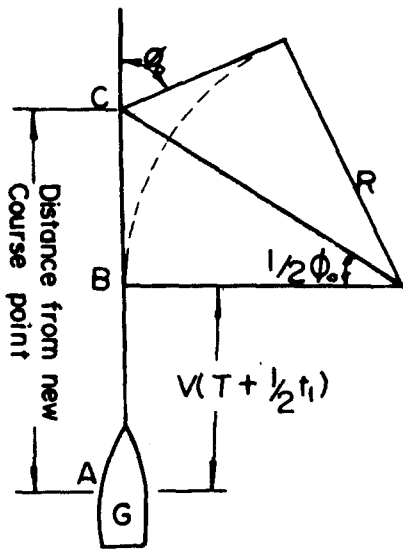


Fig. 3. Distance from new course point

新針路距離란 操舵를 行하는 地点으로부터 原針路와 新針路의 交點에 있는 點까지의 距離이며 다음과 같은 式으로 求할 수 있다.

$$AC \approx V(T + \frac{1}{2}t_1 + \frac{1}{K\delta_0} \tan \frac{\phi_0}{2}) \dots \dots \dots (9)$$

4. 安全限界接近距離算出式의 誘導

① 兩船舶의 針路交角  $\phi_c$ 가  $90^\circ$ 보다 클때, 즉 外角  $\phi_0$ 가  $90^\circ$ 보다 적을 때

橫斷狀態에 있는 船舶들 間에 衝突의 우려가 있는 境遇는 兩針路의 交點 C(Crossing point)에 兩船舶이 같은 時刻에 오는 時를 말한다.

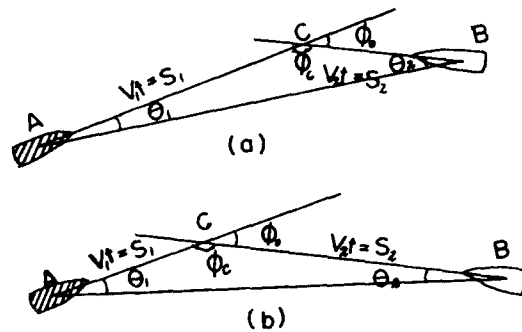


Fig. 4. Vessels on the collision course.

즉  $t = \frac{S_1}{V_1} = \frac{S_2}{V_2}$  를 滿足 시키는 境遇가 된다.

이러한 境遇 A船은 針路를 右轉하여 B船을 避하는 措置를 取하여야 한다. 이때 A船이 B船을 滿足하게 避하는 方法은 Fig. 5와 같으며, 衝突回避動作을 取할 安全限界接近距離를 算出하는 數式은 다음 (11)式이 된다.

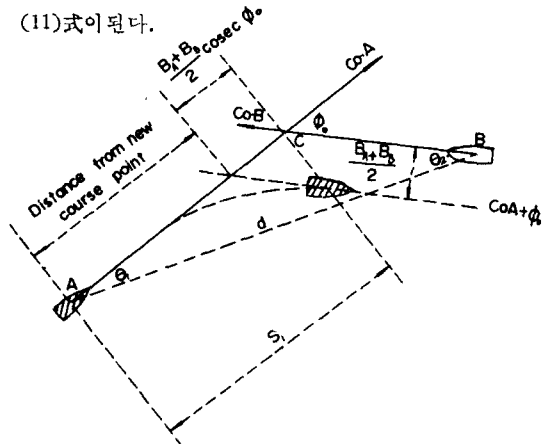


Fig. 5. Condition to head off the collision in crossing situation when the angle  $\phi_0$  is smaller than  $90^\circ$

Fig. 5에서

$$S_1 \geq \left( T + \frac{1}{2}t_1 + \frac{1}{K \cdot \delta_0} \tan \frac{\phi_0}{2} \right) V_1 + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec} \phi_0 \dots \dots \dots (10)$$

$\tan \frac{\phi_0}{2} = \frac{\phi_0}{2}$  이므로

$$S_1 \geq \left( T + \frac{1}{2}t_1 + \frac{\phi_0}{2K \cdot \delta_0} \right) V_1 + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec} \phi_0$$

따라서 距離 AB를 d라고 놓으면

$$d = \left[ \left( T + \frac{t_1}{2} + \frac{\phi_0}{2K \cdot \delta_0} \right) V_1 + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec} \phi_0 \right]$$

$$\cos \theta_1 + \left( T + \frac{t_1}{2} + \frac{\phi_0}{2K \cdot \delta_0} + \frac{B_A + B_B}{2V_1} \operatorname{cosec} \phi_0 \right) V_2 \cos \theta_2$$

똑같은 性能의 船舶이 接近하고 있다고 假定하면

$$d = \left( 2T + t_1 + 2 \frac{\phi_0}{K \cdot \delta_0} \right) V \cos \frac{\phi_0}{2} \dots \dots \dots (11)$$

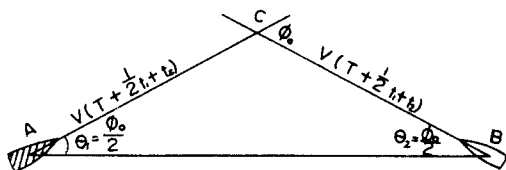


Fig. 6. Minimum approaching distance of the same vessels

② 兩船舶의 針路交角  $\phi_0$ 가  $90^\circ$ 보다 적을 때, 즉 外角  $\theta_0$ 가  $90^\circ$ 보다 클 때

이러한 橫斷狀態에 있는 船舶들의 遭遇姿勢는 Fig.

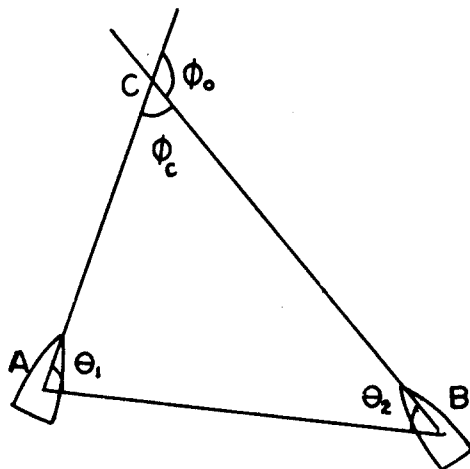


Fig. 7. Crossing situation when the angle  $\phi_0$  is greater than  $90^\circ$

7과 같이 된다.

衝突回遊動作을 取할 安全限界接近距離를 算出하는 數式은 다음(13)式이 된다.

$$d = \left[ \left( T + \frac{1}{2}t_1 + \frac{\pi - \phi_0}{2K \cdot \delta_0} \right) V_1 + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec}(\pi - \phi_0) \right] \cos \theta_1 + \left[ \left( T + \frac{1}{2}t_1 + \frac{\pi - \phi_0}{2K \cdot \delta_0} + \frac{B_A + B_B}{2V_1} \operatorname{cosec}(\pi - \phi_0) \right) V_2 \cos \theta_2 \right] \dots \dots \dots (12)$$

똑같은 性能의 船舶이 같은 時刻에 C點에서 接觸되도록 接近하고 있다고 假定하면

$$d = \left( 2T + t_1 + 2 \frac{\pi - \phi_0}{K \cdot \delta_0} \right) V \cos \frac{\phi_0}{2} \dots \dots \dots (13)$$

### 實船試驗에 依한 操縱性指數計算

安全限界接近距離를 算出하는 數式에 適用할 操縱性指數를 求하기 위하여, 釜山水產大學實習船 “冠岳山號”와 Eastern Shipping Co., Ltd.의 “Golden Clover 號”에 依한 實船試驗을 하였다. “附錄 I”의 方法에 依하여 試驗을 하였고 操縱性指數計算은 附錄 II “注2”의 數式에 依한 方法으로 計算하였다.

兩船舶의 操縱性指數計算結果는 다음과 같다.

1. “冠岳山號”의 操縱性指數 및 船舶의 要目, 試驗當時의 條件, (試驗日字: 1978年 8月 3日, 試驗場所: 釜山外港)

(1) 操縱性指數 K 및 T (附錄 II 및 Table 1 參照)

Table 1. Maneuvering indices K and T of “Koan Ack San”

10°Z		20°Z		30°	
K	T	K	T	K	T
0.167	4	0.170	6.2	0.152	5

(2) 船舶의 要目 (Table 2와 같음)

Table 2. Principal items of “Koan Ack San”

L. O. A	B. Md	D. Md	G/T	M. E	Speed	R. P. M
43.15m	7.00m	3.25m	244ton	1,000ps	11.8kt	665

金 基 允

(3) 試驗當時의 本船狀態 및 氣象條件(Table 3과 같음)

Table 3. "Koan Ack San" situation and meteorologic condition at test

$d_f$	$d_a$	Disp.	Visibility	Wind Direction	Wind Force	Effect at Sea
1.69m	3.81m	480K/T	good	SE	2	Light Breeze

2. "Golden Clover號"의 操縱性指數 및 船舶의 要目, 試驗當時의 條件(試驗日字: 1978年 8月 20日 航海中試驗)

(1) 操縱性指數  $K$  및  $T$  (附錄 I 및 Table 4 參照)

Table 4. Maneuvering indices  $K$  and  $T$  of "Golden Clover"

10° Z		20° Z		30° Z	
$K$	$T$	$K$	$T$	$K$	$T$
0.0695	410	0.0267	142	0.0178	102

(2) 船舶의 要目(Table 5와 같음)

Table 5. Principal items of "Golden Clover"

L. O. A	B. Md	D. Md	dFL	Disp.	G/T	M. E	Speed	R. P. M
295m	47.4m	24.80m	17.43m	193,551ton	101,235ton	28,000 S. H. P	16kt	90

(3) 試驗當時의 本船狀態 및 氣象條件(Table 6과 같음)

Table 6. "Golden Clover" situation and meteorologic condition at test

$d_f$	$d_a$	disp.	Visibility	Wind Direction	Wind Force	Effect at Sea
16.80m	17.64m	191,264ton	good	NNE	3	Light Breeze

安全限界接近距離計算

大海에서 避航動作을 取하는데는 30° 舵角을 자주 使用하므로 實船試驗에서 얻은 30° Z test時의 操縱性指數  $K$  및  $T$  值를 安全限界接近距離算出式(11) 및 (13)式에 代入하여, 針路의 各遭遇角度  $\phi_0$ 에 대한 安全限界接近距離를 計算하여 얻은 結果는 다음과 같다.

1. 冠岳山號에 關한 計算值

(1)  $6^\circ \leq \phi_0 \leq 90^\circ$ 의 境遇(Table 7과 같음)

Table 7. Safety minimum approaching distances calculated with "Koan Ack San"

遭遇角度 $\phi_0$ (度)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
安全距離 $d(m)$	112	134	155	174	189	202	210	215	216
$d/L$	2.6	3.1	3.6	4.0	4.4	4.7	4.9	5.0	5.0

(2)  $90^\circ \leq \phi_0 \leq 180^\circ$ 의 境遇(Table 8과 같음)

Table 8. Safety minimum approaching distances calculated with "Koan Ack San"

$\phi_0$ (度)	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$d(m)$	216	203	189	170	146	117	83	43	병항
$d/L$	4.9	4.7	4.4	4.0	3.4	2.7	1.9	1	

Table 7, Table 8을 그림으로 나타내면 Fig. 8과 같다.

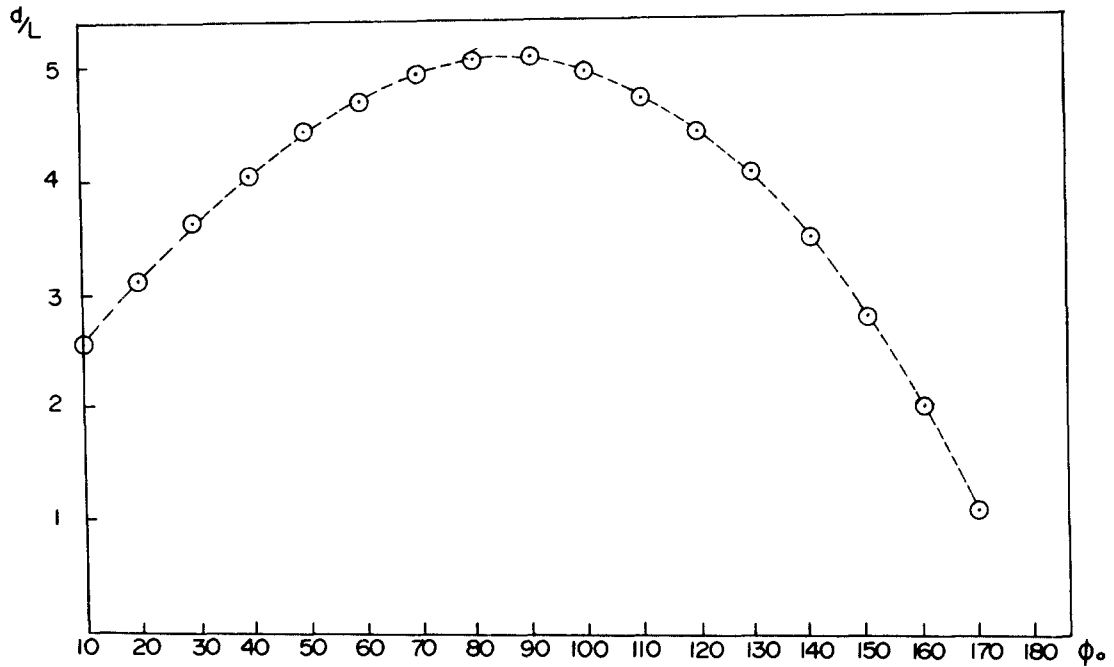


Fig. 8. Relation between the crossing course angle  $\phi_0$  and the safety approaching minimum distance ratio  $d/L$ , calculated with "Koan Ack San"

2. Golden clover 號에 關한 計算值

(1)  $6^\circ \leq \phi_0 \leq 90^\circ$ 의 境遇 (Table 9와 같음)

Table 9. Safety minimum approaching distances calculated with "Golden Clover"

$\phi_0$ (度)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$d(m)$	2048	2309	2550	2761	2929	3057	3133	3156	3123
$d/L$	6.9	7.8	8.7	9.4	9.9	10.4	10.6	10.7	10.6

(2)  $90^\circ \leq \phi_0 \leq 180^\circ$ 의 境遇 (Table 10과 같음)

Table 10. Safety minimum approaching distances calculated with "Golden Clover"

$\phi_0$ (度)	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$d(m)$	3030	2876	2653	2244	2017	1605	1129	591	병항
$d/L$	10.3	9.8	9.0	7.6	6.8	5.4	3.8	2	

Table 9, Table 10의 結果를 그림으로 나타내면 Fig. 9와 같다.

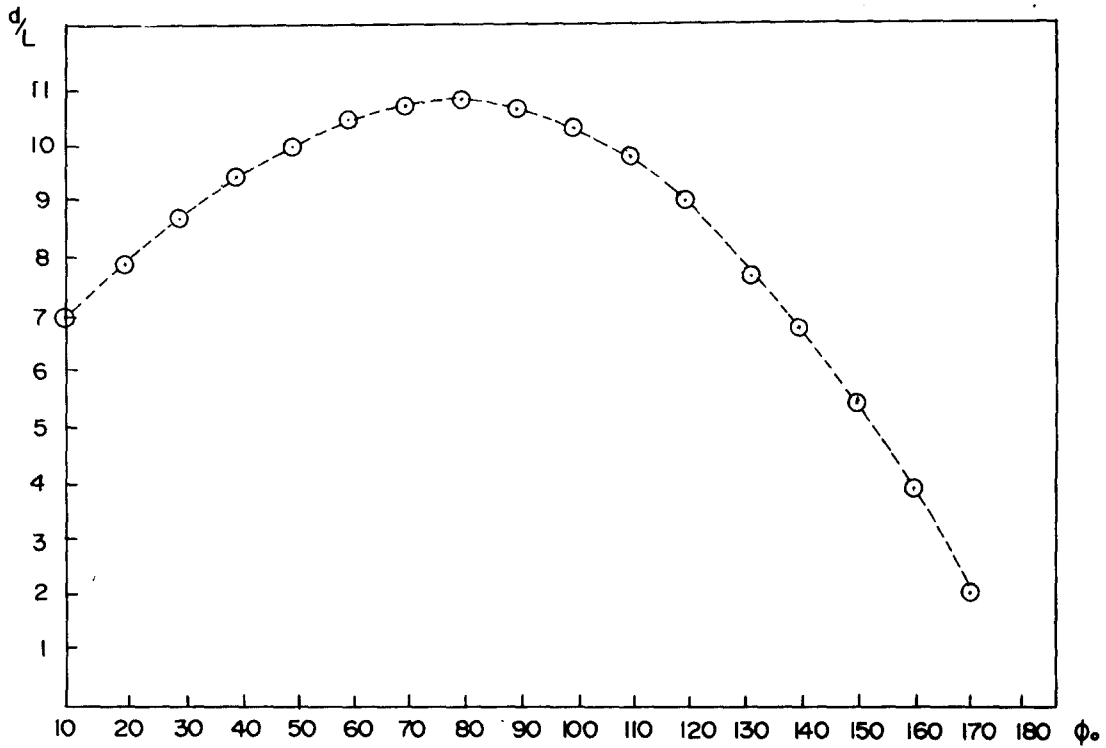


Fig. 9. Relation between the crossing course angle  $\phi_0$  and the safety approaching minimum distance ratio  $d/L$ , calculated with "Golden Clover"

考 察

1. 實船試驗結果에 對한 考察

(1) 氣象條件이 試驗에 미치는 影響

一般的으로 風力3까지는 Z試驗에 큰 支障을 주지 않는 것으로 判斷되나 小型船에서는 風力 3以上이 되면 이것이 試驗結果에 相當히 介入될 것이라는 點을 今般試驗結果를 分析하면서 알았다. 이것들은 計算過程에서  $\delta$ , 값으로 나타날 것으로 判斷된다. 可能하면 風力이 2以下인 平穩한 날씨에 海潮流의 影響이 적은 조용한 海面을 擇하여 試驗을 實施하는 것이 좋을 것이다.

(2) 試驗船의 狀態

一般的으로 Even keel 狀態가 理想的인 條件이라고 생각되나 今般 實施한 冠岳山號의 境遇는 漁船이므로 Even keel로 하기가 困難하여 2.12m trim by the stern으로 하였으므로 Even keel 狀態下에서는 旋回性指數 K는 약간 增加할것으로 判斷된다.

(3) 舵角에 대한 舵効率

小型船과 大型船의 操縱性指數에는 약간의 性質上의 差異가 생기는데 이러한 現象은 舵角에 對한 舵

効率問題와 旋回角速度에 對한 旋回抵抗의 性質들을 分析하면 合當한 解釋이 可能할 것으로 判斷된다.

2. 安全限界接近距離計算結果에 對한 考察

小型船에 對한 操縱性指數로는 冠岳山號의 試驗值를, 大型船에 對해서는 Golden Clover號의 試驗值를 使用하여 安全限界接近距離를 計算한 結果 두 경우 다 針路交角이 90°附近의 角度에서 最大의 距離가 됨을 알았다 즉 90°附近의 角度에서 衝突의 危險이 가장 크며, 이 경우 小型船(200~300 ton 級船船)에서는 自船 길이의 約 5倍以上, 大型船(100,000 ton 級船船)에서는 自船길이 11倍 以上의 距離에서 避航動作을 取하여야 한다.

그리고 Fig. 9, Fig. 10에서 各 $\phi_0$ 에 對한 安全距離比  $d/L$ 를 檢討하여 보면  $\phi_0$  90°를 中心으로 그 附近角度에서는 左右 비슷한 對稱曲線이나,  $\phi_0$ 가 적을 때 (10°~40°)는  $\phi_0$ 가 클 때 (140°~180°) 보다 算出된 安全距離比들은 크다. 이 現狀은 大型船의 경우 더욱 現著하다. 즉 冠岳山號의 경우  $\phi_0$ 가 10°, 30°, 40°일 때의 安全距離比는 2.6, 3.6, 4.0이며  $\phi_0$ 가 170°, 150°, 140°일 때의 安全距離比는 1.0, 2.7, 3.4가 된다.



Golden Clover 號의 경우  $\phi_0$ 가  $10^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ 일 때의 安全距離比는 6.9, 8.7, 9.4이나,  $\phi_0$ 가  $170^\circ, 150^\circ, 140^\circ$ 일 때의 安全距離比는 2.0, 5.4, 6.8이 된다.

그러므로 兩針路의 交角(內角)이 크게 鈍角인 경우에는 작은 銳角인 경우 보다 衝突의 危險이 더 크다는 것을 알 수 있다.

## 要 約

國際海上衝突豫防規則(International Regulations for Preventing Collision at Sea) 第15條, 第16條 및 第17條는 橫斷狀態에 있는 船舶들의 避航方法에 對해서 指示하고 있으나, 避航船이 避航動作을 取할 安全限界接近距離에 對해서는 全히 言及이 없으므로 本論文에서는 이 距離를 船體運動學의으로 解析하여 이에 대한 算出式을 導出하였다. 實船試驗에서 小型 및 大型船의 操縱性指數를 求하고, 이를 算出式에 適用하여 安全限界接近距離를 計算하였다. 이 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 小型船 및 大型船을 莫論하고 가장 큰 距離를 두고 避航動作에 들어가야 하는 境遇는 兩船이 遭遇하는 針路交角이  $90^\circ$ 附近의 角度이며, 安全限界接近距離는 小型船(200~300 ton 級船舶)에서는 自船 길이의 約 5倍以上, 大型船(100,000 ton 級船舶)에서는 自船 길이의 約 11倍以上이 되어야 한다.

2. 兩船이 遭遇하는 針路交角이 크게 鈍角인 경우에는 작은 銳角인 경우 보다 衝突의 危險이 더 크므로, 더 큰 距離를 두고 避航動作에 들어가야 하며, 특히 大型船인 경우에는 注意를 要한다.

3. 國際海上衝突豫防規則 第16條의 避航船의 動作은 勿論, 同 第17條 a項 (ii)號의 維持船의 避航動作도 위의 安全限界接近距離밖에서 이루어져야 하며, 不得已 安全限界接近距離以內에서 避航動作을 取할 때는 主機關의 動作이 반드시 隨伴되어야

한다.

4. 橫斷狀態에 있는 兩船間에 避航船이 變針單으로 避航動作을 取하는 경우 本論文에서 計算한 各針路交角에 對한 安全限界距離를 미리 念頭에 두고 避航操船을 하게되면 感覺에 의한 操船方法으로 야기되는 衝突海難事故를 止揚할 수 있으리라 생각된다.

## 附錄 I 冠岳山號 및 Golden Clover 號에 의한 Z 試驗方法 및 操縱性指數計算數值資料 및 圖表

### 1. 試驗方法

本試驗을 위하여 操舵室에 研究補助員 6名을 動員하여 1名은 定한 信號에 따라서 舵를 左右로 잡아 所定の 舵角에 이르도록 操舵命令을 하게 하였으며 1名은 Stop watch를 가지고 Zero time으로 부터 適當한 時間間隔(5秒, 10秒, 20秒)으로 읽도록 하였다. 1名은 Course recorder에 配置하여 船首方位를 읽도록 하고 2名은 미리 마련된 用紙에 各 Time에 맞추어 船首方位를 記錄토록하였다. 나머지 1名은 船首方位와 舵角을 比較하여 舵角과 船首方位가 같아질 때 信號를 하면서 主要時點의 舵角, 船首方位 및 時間을 記錄토록 하였다. 이렇게 하여 筆者의 總體的인 指揮下에 任意 Co.에 對한 全速  $10^\circ, 20^\circ$  및  $30^\circ$ 의 Z 試驗을 하였다.

### 2. 冠岳山號 Z 試驗에서 求한 數值資料 및 圖表

(1)  $10^\circ$  Z 試驗(速力: 全速前進, 相對風向: 右舷  $90^\circ$ , Co.:  $300^\circ$ , R. P. M.: 660, 左舷처음)

各時點에 對한 船首方位 및 主要時點의 時間은 Table 11과 같다.

Table 11. Ship's heading at each time and time interval at principal time point ( $10^\circ$  Z test of the m. s. "Koan Ack San")

$t$ :	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60			
S. H.:	300	295	288	283	287	294	304	314	317	315	307	301			
$t$ :	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120			
S. H.:	292	284	285	290	298	305	313	315	311	303	299	298			
$p. t. p.$ :	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$	$t_{10}$	$t_{11}$	$t_{12}$	$t_{13}$	$t_{14}$	$t_{15}$
$t. i.$ :	4	14	17.5	20	21	32.5	38	45	45	59	66	70	72	73	86

(2)  $20^\circ$  Z 試驗(諸般條件  $10^\circ$  Z 試驗때와 같음)

金 基 允

各時點에 對한 船首方位 및 主要時點의 時間은 Table 12와 같다.

Table 12. Ship's heading at each time and time interval at principal time point (20° Z test of the m. s. "Koan Ack San")

<i>t</i> :	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65			
<i>S. H.</i> :	298	287	272	261	264	270	289	305	322	335	337	330	318			
<i>t</i> :	70	75	80	85	90	95	100	105								
<i>S. H.</i> :	302	285	268	259	263	276	288	304								
<i>p. t. p.</i> :	<i>t</i> <sub>1</sub>	<i>t</i> <sub>2</sub>	<i>t</i> <sub>3</sub>	<i>t</i> <sub>4</sub>	<i>t</i> <sub>5</sub>	<i>t</i> <sub>6</sub>	<i>t</i> <sub>7</sub>	<i>t</i> <sub>8</sub>	<i>t</i> <sub>9</sub>	<i>t</i> <sub>10</sub>	<i>t</i> <sub>11</sub>	<i>t</i> <sub>12</sub>	<i>t</i> <sub>13</sub>	<i>t</i> <sub>14</sub>	<i>t</i> <sub>15</sub>	<i>t</i> <sub>16</sub>
<i>t. i.</i> :	5	12	17.5	21	23	39	44	50	55	55	71	76	81.5	85	87	104

(3) 30° Z 試驗(諸般條件 10° Z 試驗 때와 같음)

各時點에 對한 船首方位 및 主要時點의 時間은 Table 13과 같다.

Table 13. Ship's heading at each time and time interval at principal time point (30° Z test of the m. s. "Koan Ack San")

<i>t</i> :	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65			
<i>S. H.</i> :	293	285	265	245	234	238	256	276	300	319	340	356	358			
<i>t</i> :	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125				
<i>S. H.</i> :	348	330	308	286	260	247	242	250	265	285	306	327				
<i>p. t. p.</i> :	<i>t</i> <sub>1</sub>	<i>t</i> <sub>2</sub>	<i>t</i> <sub>3</sub>	<i>t</i> <sub>4</sub>	<i>t</i> <sub>5</sub>	<i>t</i> <sub>6</sub>	<i>t</i> <sub>7</sub>	<i>t</i> <sub>8</sub>	<i>t</i> <sub>9</sub>	<i>t</i> <sub>10</sub>	<i>t</i> <sub>11</sub>	<i>t</i> <sub>12</sub>	<i>t</i> <sub>13</sub>	<i>t</i> <sub>14</sub>	<i>t</i> <sub>15</sub>	<i>t</i> <sub>16</sub>
<i>t. i.</i> :	6	13	20.5	25	28	45	53	59	63	65	82	88	95	100	103	120

Table 11, Table 12, Table 13에 對한 數值를 그림으로 나타내면 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12와 같다.

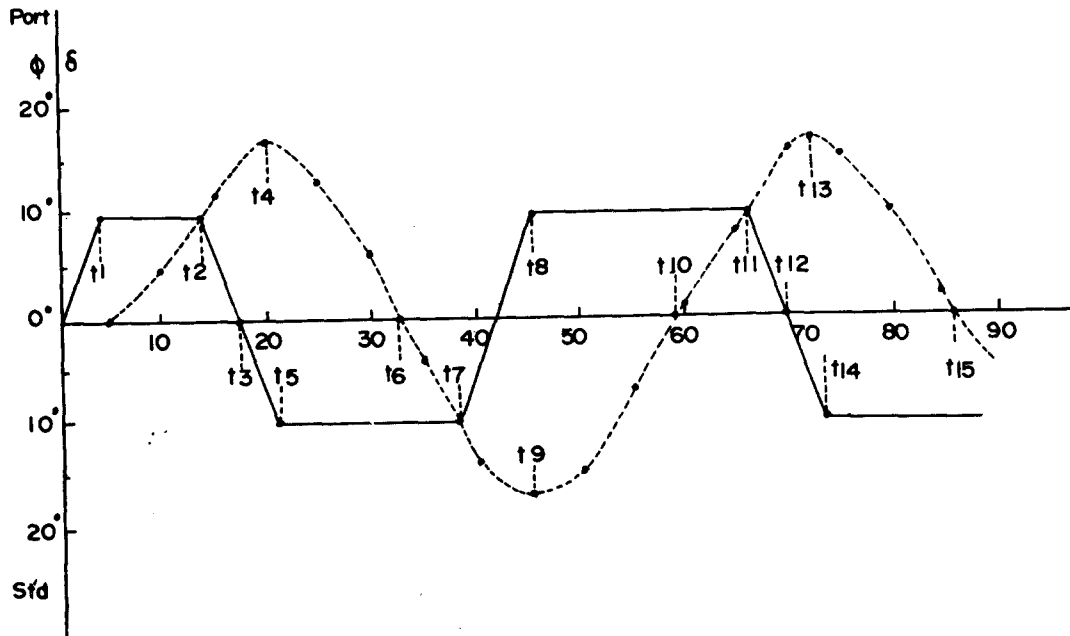


Fig. 10. 10° Z test of "Koan Ack San"

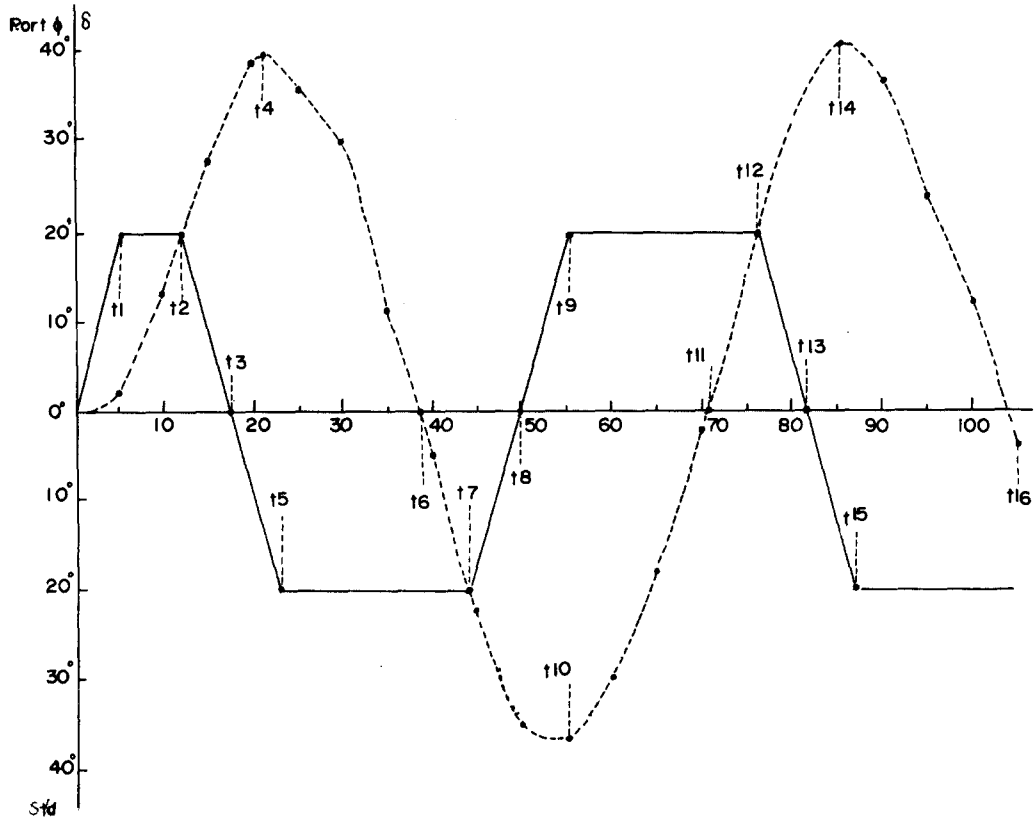


Fig. 11. 20° Z test of "Koan Ack San"

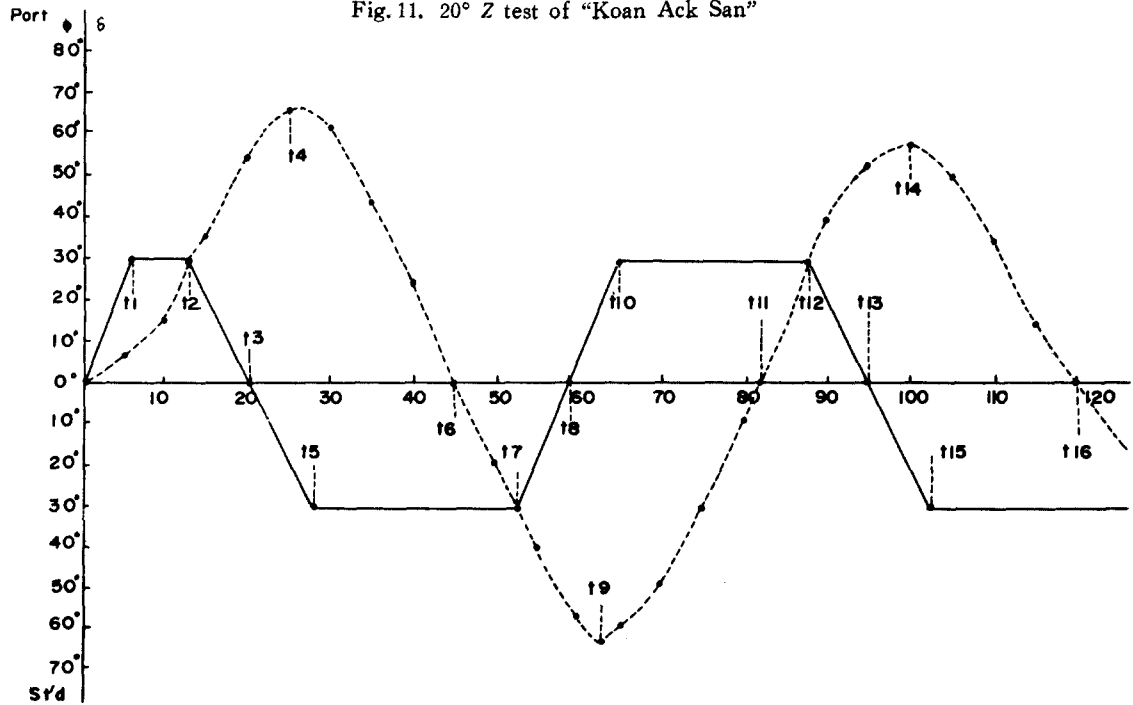


Fig. 12. 30° Z test of "Koan Ack San"

3. Golden Clover號 Z 試驗에서 求한  
資料 및 圖表

(1) 10° Z 試驗(速力: 全速前進, 相對風向: 右舷  
50° Co: 000° 右舷측음)

註 (+)°: st'd angle  
(-)°: port angle

各時點에 對한 船首方位 및 主要時點의 時間은  
Table 14와 같다.

Table 14. Ship's heading at each time and time interval at principal time point (10° Z  
test of the m. s. "Golden Clover")

t :	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
S.H:	1	3.3	7.7	13	16	17.5	17.8	17.6	16.6	15	12.3	8.3	3.5
t :	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520
S.H:	-2.3	-9	-16	-20.8	-24	-26	-27.2	27.7	-27.6	-26.1	-23.8	-20.2	-15.2
t :	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	
S.H:	-9.3	-3.2	3.5	10	16.2	19.4	21.3	23.5	23.5	23.5	23.1	22.3	
t :	780	800	820	840	860	880	900	920	940	960	980		
S.H:	21.1	19.5	16.5	13.1	9.0	3.8	-2.1	-8.7	-15	-19.3	-21.7		
t :	1000												
S.H:	-23												
p. t. p:	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>	t <sub>11</sub>	t <sub>12</sub>	t <sub>13</sub>
t. i:	7	69	83	127	272	304	314	416	570	600	612	690	893
p. t. p:	t <sub>14</sub>	t <sub>15</sub>	t <sub>16</sub>										
t. i:	924	935	1009										

(2) 20° Z 試驗(諸般條件 10° Z 試驗 때와 같음)

各時點에 對한 船首方位 및 主要時點의 時間은 Table 15와 같다.

Table 15. Ship's heading at each time and time interval at principal time point (20° Z  
test of the m. s. "Golden Clover")

t :	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
S.H:	1.3	6.0	13.1	21.8	28.4	30.7	30.4	28.8	25.0	20.0	13.0
t :	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	
S.H:	5.4	-3.3	-12.6	-22	-29.4	-32.8	-33.3	-32.7	-30.5	-27	
t :	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	
S.H:	-22.2	-15.9	-8.9	-1.1	7.5	16.2	25	30	32	32.2	
t :	640	660	680	700	720	740	760	780	800	820	
S.H:	31	28.7	25.3	20.7	14.8	7.8	0	-8.5	-17.3	-26	
t :	840	860	880	900	920	940	960				
S.H:	-30.7	-32.5	-32.9	-31.1	-28.6	-24	18.2				
p. t. p:	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>	
t. i:	11	76	98	127	252	295	313	357	503	548	
p. t. p:	t <sub>11</sub>	t <sub>12</sub>	t <sub>13</sub>	t <sub>14</sub>							
t. i:	570	611	760	806							

(3) 30° Z 試驗(諸般條件 10° Z 試驗 때와 같음)

各時點에 對한 船首方位 및 主要時點의 時間은 Table 16과 같다.

船体運動學的으로 본 衝突回避動作에 관한 研究

Table 16. Ship's heading at each time and time interval at principal time point (30° Z test of the m. s. "Golden Clover")

$t :$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220		
$S.H :$	1.1	6.2	14.4	24.1	34.5	42.2	44.5	43.5	40.1	34.3	26.7		
$t :$	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420			
$S.H :$	17.8	7.3	-3.1	-13.7	-24.1	-34.2	-41.2	-44.2	-44	-41.3			
$t :$	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620			
$S.H :$	-37.4	-31.1	-24	-16.1	-8	1.8	11	20.5	30	38			
$t :$	640	660	680	700	720	740	760	780	800	820			
$S.H :$	42	42.3	40.8	37.2	32	25	17.5	8.7	0	-9			
$t :$	840	860	880	900	920	940	960	980	1000				
$S.H :$	-18	-27	-35.6	-41.5	-42.5	-41.7	-38.8	-35.1	-29.2				
$t :$	1020	1040	1060	1080									
$S.H :$	-23	-15.8	-8	0									
$p.t.p :$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$	$t_{10}$	$t_{11}$	$t_{12}$	$t_{13}$
$t.i :$	15	91	120	144	274	332	358	378	537	600	629	654	800
$p.t.p :$	$t_{14}$												
$t.i :$	868												

Table 14, Table 15, Table 16에 對한 數值를 그림으로 나타내면 Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15와 같다.

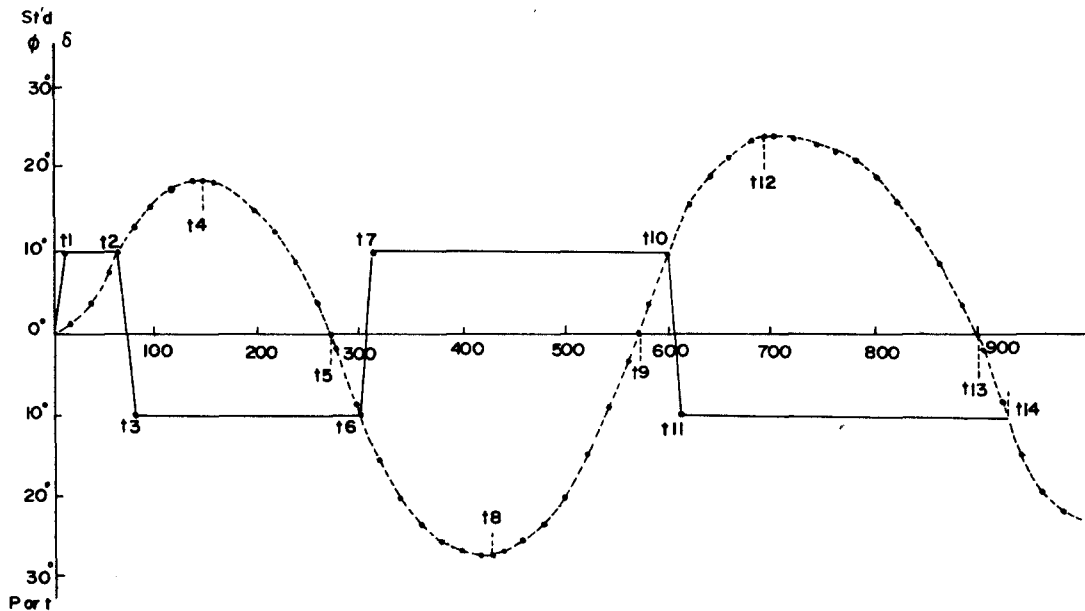


Fig. 13. 10° Z test of "Golden Clover"

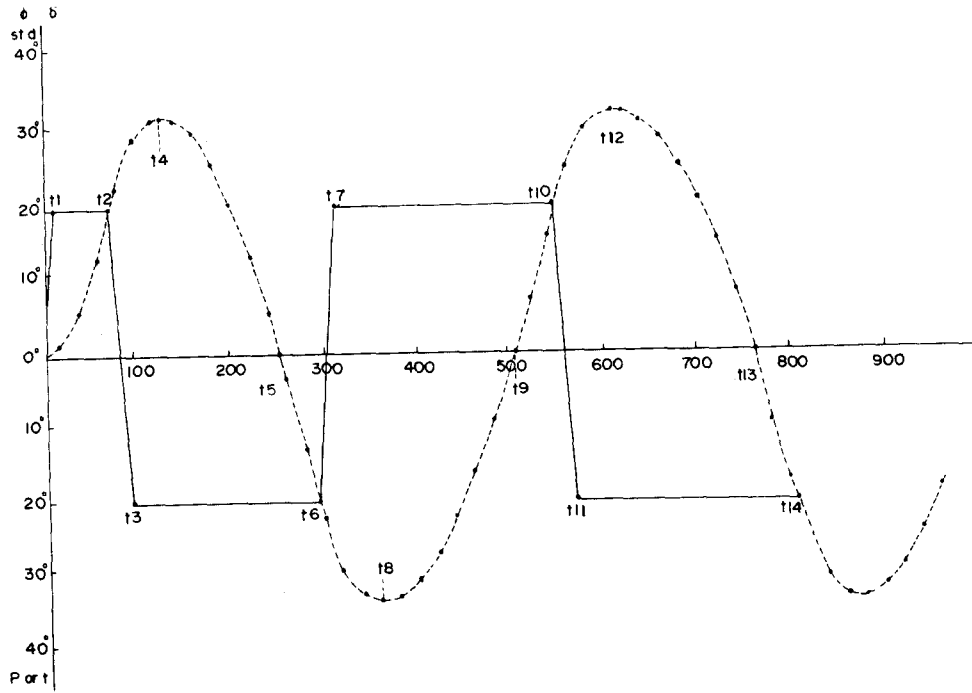


Fig. 4. 20° Z test of "Golden Clover"

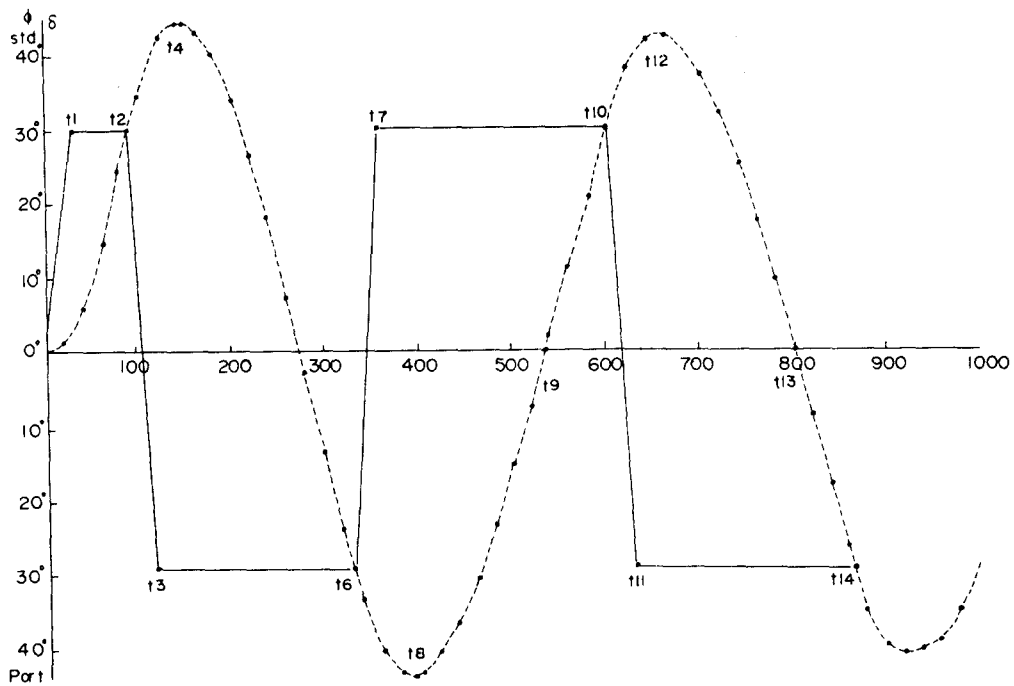


Fig. 15. 30° Z test of "Goden Clover"

附錄 II. International Regulations  
for Preventing Collisions  
at Sea, Rule 15, 16, 17

RULE 15

Crossing Situation

When two power-driven vessels are crossing so as to involve risk of collision, the vessel which has the other on her own starboard side shall keep out of the way and shall, if the circumstances of the case admit, avoid crossing ahead of the other vessel.

RULE 16

Action by Give-way Vessel

Every Vessel which is directed by these Rules to keep out of the way of another vessel shall, so far as possible, take early and substantial action to keep well clear.

RULE 17

Action by Stand-on Vessel

(a) (i) Where one of two vessels is to keep out of the way the other shall keep her course and speed.

(ii) The latter vessel may however take action to avoid collision by her manoeuvre alone, as soon as it becomes apparent to her that the vessel required to keep out of the way is not taking appropriate action in compliance with these Rules.

(b) When, from any cause, the vessel required to keep her course and speed finds herself so close that collision cannot be avoided by the action of the give-way vessel alone, she shall take such action as will best aid to avoid collision.

(c) A power-driven vessel which takes action in a crossing situation in accordance with subparagraph (a) (ii) of this Rules to avoid collision with another power-driven vessel shall, if the circumstances of the case admit, not alter course to port for a vessel on her own port side.

(d) This Rule does not relieve the give-way vessel of her obligation to keep out of the way.

附 錄 III

數式에 對한 註

註 1)  $R \tan \frac{\phi_0}{2} \sin \phi_0 \geq B$

$$2 \times 7.2B \frac{\sin \frac{\phi_0}{2}}{\cos \frac{\phi_0}{2}} \geq 2 \sin \frac{\phi_0}{2} \cos \frac{\phi_0}{2} \geq B$$

$$4 \times 7.2 \sin^2 \frac{\phi_0}{2} \geq 1$$

$$\sin^2 \frac{\phi_0}{2} \geq 0.0347$$

$$\sin \frac{\phi_0}{2} \geq 0.1863$$

$$\therefore \phi_0 \geq \sin^{-1} 0.1863$$

$$\approx 22^\circ$$

$$\phi_0 \geq 22^\circ \text{ 時}$$

$$R \tan \frac{\phi_0}{2} \sin \phi_0 \geq B$$

註 2)  $T \frac{d\dot{\phi}}{dt} + \dot{\phi} = K(\delta_0 + \delta_r)$

$$T[\dot{\phi}(t) - \dot{\phi}(0)] + \phi(t) - \phi(0) = K \left[ \delta_r t + \int_0^t \delta_0 dt \right]$$

$$T\dot{\phi} + \phi = K\delta_r t + K \int_0^t \delta_0 dt$$

$$\phi_s = K\delta_r t_s + KA_s$$

$$\phi'_s = K\delta_r t'_s + KA'_s$$

$$\phi''_s = K\delta_r t''_s + KA''_s$$

$$T\dot{\phi}(t_0) = K\delta_r t_0 + KA_0$$

$$T\dot{\phi}'(t'_0) = K\delta_r t'_0 + KA'_0$$

$$T\dot{\phi}''(t''_0) = K\delta_r t''_0 + KA''_0$$

文 献

藤田齊(1972): 船の方向安定性について, 日本造船學會誌, 514, 26-27.

元良誠三(1956): 船体運動力學, 共立出版社, 東京, pp. 1-19.

野本謙作(1964): 船の操縦性, 日本造船協會操縦性シンポジウム, 1964, 6, 8-22.

元良誠三・藤野正隆(1970): 針路不安定な船の特質, 日本造船協會操縦性シンポジウム 1970, 11, 50.

岩井聰(1966): 操船論, 海文堂, 東京, pp. 33-36.

尹点東(1976): 巨大型船의 操船理論과 實務, 亜成出版社, 釜山, pp. 11-14.

金 基 允

- 藤井齊・野本謙作(1972): 操縦性試験法, 日本造船協會操縦シンポジウム, 1972. 11, 1-39.
- 三光汽船海務部(1970): 巨大船の操船上の問題点, 成山堂, 東京, pp. 1-43.
- 日本海難防止協會(1970): 超大型船の操船の手引き, 成山堂, 東京, pp. 25-35.
- 大串雅信(1971): 理論船舶工学(下), 海文堂, 東京, p. 251.
- 河田伸一・川元春夫(1966): サーボおよび自動操縦操作, 共立出版社, 東京, pp. 153-163.
- 高塚裕(1971): 海上衝突豫防法の實務的解説, 成山堂, 東京, p. 41.
- 尹点東(1976): 操縦性指數에 의한 衝突回避動作의 量的把握에 관한 研究, 韓國海洋大學論文集 Vol. 12, 471-480.
- 杉原意義(1966): 理論運用學(船体運動編), 海文堂, 東京 pp. 86-116.
- 尹点東(1977): 最新海上衝突豫防規則, 亜性出版社 pp. 142-147.
- Philip Mandel (1976): Ship Maneuvering and Control (P. N. A), The Society of Naval Architect and Marine Engineers, New York, pp. 463-485.