

## 船舶衝突回避를 위한 避航開始距離에 關한 研究\*

金 基 允\*\*

## A Study on the Relative Distance in Taking Action to Avoid Ship's Collision\*

Ki-yun KIM\*\*

In the Steering and Sailing Rules of International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972, any relative distance between two vessels necessary for taking action to avoid collision in head-on situation is not referred.

In this paper, the author analyzed the ship's collision avoiding actions from a viewpoint of ship motions and worked out mathematical formulas to calculate the relative distances necessary for collision avoiding actions.

Figuring out the values of maneuvering indices through experiments of actual ships, the author applied these values to the calculating formulas and calculated the minimum safe relative distances.

On the assumption that two vessels same in size and condition are approaching each other in head-on situation, the minimum safe relative distance was calculated as 5.0 times, sufficient safe relative one as 10.0 times their own length.

## 記號說明

$m$  : 배의 質量  
 $u, \dot{u}$  :  $x$ 軸方向의 速度 및 加速度  
 $U$  : 切線速度  
 $v, \dot{v}$  :  $y$ 軸方向의 速度 및 加速度  
 $\phi, \dot{\phi}$  :  $z$ 軸方向의 角速度 및 角加速度  
 $I_x$  :  $z$ 軸周圍의 質量慣性 moment  
 $X$  : 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  
 $N$  : 船體에 作用하는  $z$ 軸周圍의 旋回 moment  
 $T$  : 追從性 指數  
 $K$  : 旋回性 指數  
 $\delta_0$  : 一定舵角  
 $t_1$  : 操舵에 要하는 時間

$t$  : 一定角變位量이 생기는데 要하는 時間  
 $R$  : 旋回半徑  
 $B$  : 배의 型幅(B. Md)  
 $D$  : 배의 型深(D. Md)  
 $L$  : 배의 全長(L. O. A)  
 $G$  : 배의 重心  
 $\phi$  : 回頭角  
 $\delta_r$  : 舵角誤差  
 $\phi_e, \phi'_e, \phi''_e$  :  $\phi$ 의 最大値  
 $t_e, t'_e, t''_e$  :  $\phi$ 가 最大로 되는 時刻  
 $t_0, t'_0, t''_0$  :  $\phi$ 가 0이 되는 時刻  
 $A_e(A_0), A'_e(A'_0), A''_e(A''_0)$  :  $t=0$ 부터 시작하여  
 $t_e(t_0), t'_e(t'_0), t''_e(t''_0)$ 의 各點까지 舵角曲  
 線과  $t$ 軸이 만드는 面積

\* 이 논문은 1982년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

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

Table 1에서 探知可能範圍은 音束幅이 銳利한 魚群探知機일수록, 또 水深이 깊을수록 그 橫斷面積이 좁다.

한편, 船體가 橫揺하여 音束軸에 角變位가 생기면 Fig.5와 같이 探知可能範圍은 角移動을 하게 된다.

즉, Fig.5에서 橫揺角이 0°일 때 探知可能範圍  $\overline{ABDC}$ 는 音束幅이  $\theta_r$ 만큼 角變位할 때  $\overline{abcd}$ 로 이동하여 物標을 探知할 수 없는 領域 즉, 物標의 消失領域  $\overline{ABDgbe}$ 가 생긴다. 이때 그 領域을 橫揺角 0°일 때의 探知可能範圍에 대한 비율로 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2. The ratio of the area of  $\overline{ABDgbe}$  to the area of  $\overline{ABDC}$  in Fig.5

		unit(%)					
T	$\theta_r$	15KHz		28KHz		50KHz	
D		6°	12°	6°	12°	3°	6°
25m		27.2	41.2	36.1	52.8	27.3	45.2
75m		36.2	62.2	39.5	73.8	54.5	92.4

T: Frequency  $\theta_r$ : Roll angle D: Depth

Table 2에서 그 消失率은 音束幅이 銳利할수록 또 橫揺角이 클수록 큰 경향을 나타내었으며, 水深이

깊어짐에 따라서도 큰 경향을 나타내었다. 특히, 50 KHz 魚群探知機인 경우는 水深 75m, 橫揺角 6° 정도에서 92.4%의 消失率을 나타내어, 魚群探知機의 探知能力은 橫揺에 直接的인 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

## 要 約

船體의 橫揺에 따른 魚群探知機의 指向性損失과 探知可能範圍에 관하여 理論적으로 考察하고, 15 KHz, 28KHz, 50KHz用 魚群探知機를 對象으로 水深 25m와 75m의 音束橫斷面上 各物標의 位置에 대한 指向性損失을 計算機 시뮬레이션하여 橫揺角에 따른 探知可能範圍의 變動限界를 檢討·分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 本論文에서 제시한 指向角의 理論式을 이용하면 船體의 橫揺에 따른 指向性損失의 變動을 量的으로 推定할 수 있다.

2. 物標方向에 대한 指向性損失은 送受波器의 音束幅, 船體의 橫揺角, 物標의 所在水深에 따라 광범하게 變動하였다.

3. 15KHz, 28KHz, 50KHz用 魚群探知機의 경우, 水深 25m의 音束橫斷面上에 位置한 反射強度 -25 dB의 物標을 探知할 수 있는 橫斷面積은 각각 824.1 m<sup>2</sup>, 697.2m<sup>2</sup>, 81.7m<sup>2</sup>이며, 水深 75m에 대해서는 각각 517.9m<sup>2</sup>, 142.9m<sup>2</sup>, 11.4m<sup>2</sup>이었다.

4. 船體의 橫揺에 따른 消失領域의 비율은 音束幅이 銳利할수록, 또 橫揺角이 클수록 큰 경향을 나타내었다.

## 參 考 文 獻

1. Stanton, T.K.(1982): Effects of transducer motion on echo-integration techniques. J. Acoust. Soc. Am. 72(3), 947-949.
2. Suomala, J.B.(1970): The application of a digital computer simulation to aid in the evaluation of echo sounder design and performance. FAO, FF/70/29, 1-5.
3. 實吉純一·菊池吉充·能本之彦(1978): 超音波技術便覽. 日刊工業新聞社, 東京.
4. 李昊在(1983): 水中코오너리프렉터의 超音波反射特性에 관한 研究. 釜山水産大學 碩士學位論文, 1-26.

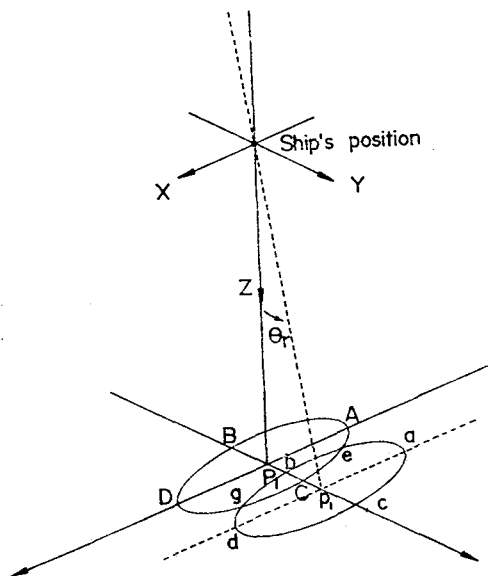


Fig. 5. The angular shift of the detectable area due to roll motion of the transducer.

海上의 船舶 특히 大型船舶은 轉舵後 相當한 時間이 經過하여야 轉舵效果가 나타나므로 이러한 避航開始距離는 操船者의 單純한 經驗이나 感覺的인 判斷에 의하여 決定되어서는 안되며, 船舶의 操縱特性을 基礎로 하여 數理的인 計算에 의하여 決定되어야 한다고 보아진다.

航法規則에 의하면 相互 接近하는 船舶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은 使用하지 않는다. 따라서 本 論文에서도 主機關의 運轉狀態는 그대로 維持하고 操舵에 의한 變針動作만으로 避航動作이 이루어지며, 動作을 取하는 水域에는 航海障礙物이나 第3船이 없는 것으로 假定한다.

3) 最小避航開始距離 算出式

直進中인 船舶이 Fig. 3과 같이 避航動作을 取하고자 一定舵角  $\delta_0$ 로 轉舵하여 回頭運動을 시작한다고 가정하면, 回頭前의 前進距離  $D_R$ 는 다음과 같이

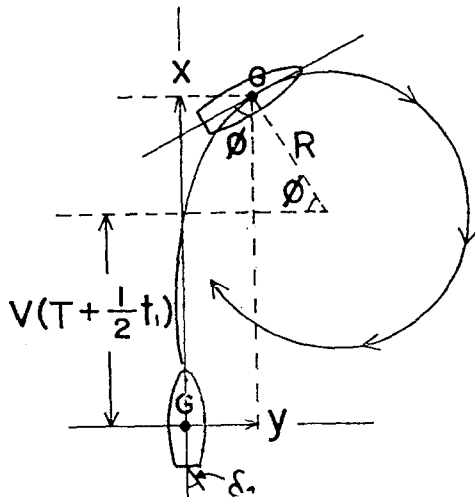


Fig. 3. Displacement from original point centered at rudder ordered position.

나타낼 수 있다.

$$D_R = V\left(T + \frac{1}{2}t_1\right) \dots\dots\dots(6)$$

轉舵命令을 내린 地點을 原點으로 하여 回頭後의 前進距離  $x$  및 正橫移動距離  $y$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} x &= V\left(T + \frac{1}{2}t_1\right) + R \sin K\delta_0 t \\ y &= R - R \cos K\delta_0 t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

두 船舶이 正面으로 마주치는 狀態에서 規則에 規定된 避航動作을 取할 때 各船舶의 原針路에서의 正橫移動距離  $y$  즉  $R - R \cos K\delta_0 t$ 가 Fig. 4에서 原針路離脫을 위한 自船의 最小 正橫距離인  $\frac{L}{2} \sin K\delta_0 t + \frac{B}{2} \cos K\delta_0 t$  값보다 크다면 衝突을 免하게 된다.

따라서,

$$R - R \cos K\delta_0 t \geq \frac{L}{2} \sin K\delta_0 t + \frac{B}{2} \cos K\delta_0 t \dots\dots\dots(8)$$

가 된다. (8)式에서  $t$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{R}{\cos \phi} - R \geq \frac{1}{2} \tan \phi + \frac{B}{2} \quad (\phi = K\delta_0 t)$$

$$2R \sqrt{1 + \tan^2 \phi} \geq L \tan \phi + B + 2R$$

$\tan \phi = x$ 라 놓고 정리하면

$$(4R^2 - L^2)x^2 - 2(BL + 2RL)x - (B^2 + 4BR) \geq 0$$

위의 부등식을 풀면

$$x = \tan K\delta_0 t \geq \frac{BL + 2RL + 2R \sqrt{L^2 + B^2 + 4BR}}{4R^2 - L^2}$$

$K\delta_0$ 는 상수이고 양의 값이므로

$$t \geq \frac{1}{K\delta_0} \tan^{-1} \frac{BL + 2RL + 2R \sqrt{L^2 + B^2 + 4BR}}{4R^2 - L^2} \dots\dots\dots(9)$$

그러므로 한 船舶이 轉舵旋回하여 原針路上으로부터 船體가 完全히 離脫할 때까지의 前進距離  $x$ 는 (9)式에 의해서 구한  $t$ 의 값을 (7)式의 첫째 式에 代入하여 計算할 수 있다.

따라서 Fig. 4에서와 같이 A, B 두 船舶이 正面으로 마주치는 狀態로 接近하고 있을 때 避航動作을 取할 最小避航開始距離  $D_s$ 의 算出式은 다음과 같다.

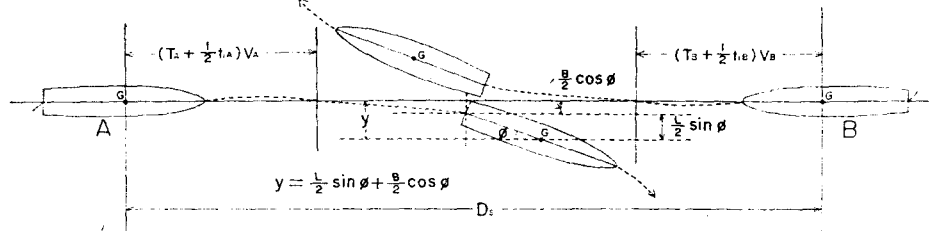


Fig. 4. Collision avoiding action and minimum transverse displacement from original course line to avoid collision.

緒 論

近年, 世界的인 船腹量의 增加와 船舶의 大型化에 의하여 海難事故도 激増함에 따라, 船舶衝突海難을 防止하기 위한 研究가 船舶의 操縱性과 運動特性을 研究하는 分野에서 활발히 研究되고 있다<sup>1), 2), 3)</sup>.

現行 國際海上衝突豫防規則 第14條에서는 兩 船舶이 正面 또는 거의 正面으로 마주치는 狀態에서 衝突의 危險을 안고 航走接近할 때의 避航動作에 關하여 規定하고 있으나, 이들이 어느 程度의 距離로 接近하였을 때 避航動作을 取하여야 하는지 避航開始 距離에 對해서는 전혀 言及되지 않고 있다.

船舶이 避航動作을 取할 때 實際 動作發動時機의 基準이 될 수 있는 避航開始距離를 船體의 運動特性이나 操縱性에 基礎를 두고 研究한 것은 지금까지 매우 적다<sup>4)</sup>.

本 論文에서는 避航開始距離를 航法規則을 解釋하는데 어떤 尺度가 되도록 하며 實際의 避航操縱에 活用케 하기 위하여, 이것을 船體運動學的인 觀點에서 解析究明하였으며, 또한 釜山水產大學 實習船 “새바다號”와 “관악산號”를 비롯한 數隻의 大小型船舶의 實船試驗을 通하여 求한 操縱性指數<sup>5), 6)</sup>를 利用하여, 避航開始距離를 算出하고 이를 檢討, 考察하였다.

理 論

1) 船體의 操縱運動方程式

舵를 操作하여 針路를 維持시키거나 回頭運動을 시킬 때의 船體의 操縱運動은 Fig. 1과 같이 船體重心을 經하는 直角座標軸을 잡아  $x, y$ 軸 方向의 並進

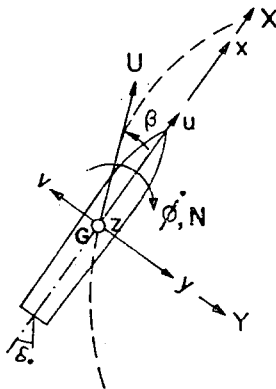


Fig. 1. Coordinate system centered on G point of a ship.

運動과  $z$ 軸 周圍의 回頭運動의 連成運動으로 構成되며 그 運動方程式은 다음과 같다<sup>5), 6), 9)</sup>.

$$\left. \begin{aligned} m(\dot{u} - vw) &= X \\ m(\dot{v} + uw) &= Y \\ I_z \dot{w} &= N \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

船體의 操縱運動中 船首尾方向의 速度變化는 他運動과 連成이 弱하므로 (1)式的 第1式은 버리고 第2, 第3式의  $Y, N$ 에 對하여 이들을 支配하는 函數를 代入하고 線型의 範圍에서 處理하여 操縱運動에 關한 微分方程式을 만들면 다음과 같다<sup>5), 6), 9)</sup>.

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \phi}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\phi}{dt} + \phi = K \delta_0 + K T_3 \frac{d\delta_0}{dt} \dots \dots (2)$$

(2)式을 Laplace 變換하여 傳達函數를 求하면

$$Y_s(p) = \frac{K(1+T_3 p)}{(1+T_1 p)(1+T_2 p)} \dots \dots \dots (3)$$

과 같으며 이 式을 周波數가 낮은 部分 즉  $|p|$ 가 작은 範圍內에서 展開하여 近似化하면 다음과 같다.

$$Y_s(p) = \frac{K}{1+T p} \dots \dots \dots (4)$$

(3)式과 (4)式에서  $T = T_1 + T_2 - T_3$ 이라 하면

運動方程式 (2)式의 一次系近似式은

$$T \dot{\phi} + \phi = K \delta_0 \dots \dots \dots (5)$$

으로 된다.

여기서  $T$ 는 追從性指數<sup>5), 6), 9)</sup>,  $K$ 는 旋回性指數<sup>5), 6), 9)</sup>로서 操縱性의 良否를 決定하는 操縱性指數이다.

2) 正面 또는 거의 正面으로 마주치는 狀態의 航法規則

現行 國際海上衝突豫防規則 第14條의 正面 또는 거의 正面으로 마주치는 狀態의 航法은 Fig. 2와 같이 兩 船舶이 針路를 右轉하여 左舷對左舷으로 航過하여야 한다고 規定하고 있다. 그러나 避航開始距離 (Fig. 2에서  $D_s$ )가 最小 어느 程度 되었을 때 變針하면 衝突을 免할 수 있는가에 對하여는 전혀 言及되지 않고 있으며, 다만 同規則 第8條 (d)項에 의하면 “他船과의 衝突回避動作은 安全한 距離를 두고 航過할 수 있도록 取해져야 한다”는 것만을 言及하고 있으므로 避航開始距離의 決定은 操船者의 判斷에 一任하였다고 볼 수 밖에 없다.



Fig. 2. Collision avoiding action in head-on situation.

船舶衝突回避를 위한 避航開始距離에 關한 研究

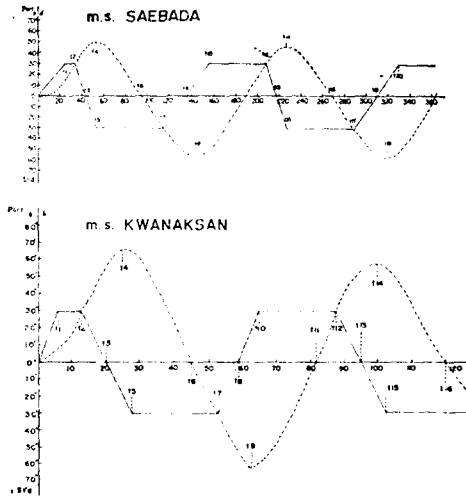


Fig.5 30°Z test curves of experimental ships.

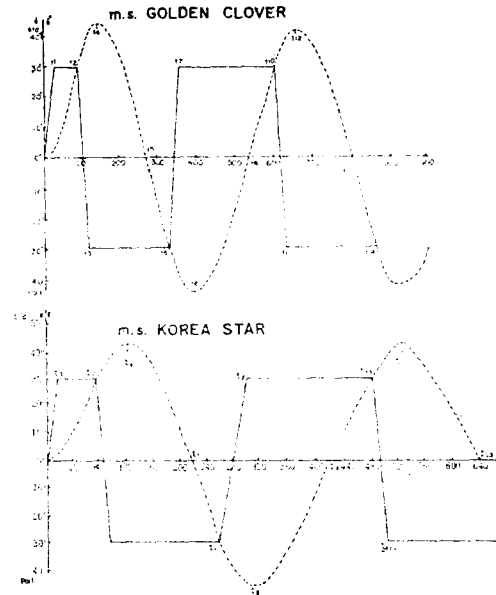


Fig. 5. 30° Z test curves of experimental ships.

2) 試驗方法

試驗船을 全速前進시키면서 舵를 左右로 잡아, 所定의 舵角에 이르도록 操舵命令을 내리면서 5秒 間隔의 各時點의 船首方位를 記錄하고, 또한 舵角과 船首方位가 같아질 時의 時間 및 主要時點의 時間, 船首方位, 舵角을 記錄하여 舵角 30°의 Z試驗을 行하였다.

3) 試驗資料에 의한 操縱性指數 計算方法

試驗資料에 의하여 操縱性指數를 計算하는 方法은 다음 數式에 의한 方法<sup>5),7)</sup>으로 計算하였다.

$$\left. \begin{aligned} \phi_e &= K\delta_r t_e + KA_e \\ \phi'_e &= K\delta_r t'_e + KA'_e \\ \phi''_e &= K\delta_r t''_e + KA''_e \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

$$\left. \begin{aligned} T\dot{\phi}(t_0) &= T \tan \alpha_0 = K\delta_r t_0 + KA_0 \\ T\dot{\phi}(t'_0) &= T \tan \alpha'_0 = K\delta_r t'_0 + KA'_0 \\ T\dot{\phi}(t''_0) &= T \tan \alpha''_0 = K\delta_r t''_0 + KA''_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

結 果

1) Z 試驗結果

試驗船들의 30°Z 試驗結果를 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

2) 操縱性指數 K 및 T

試驗船들의 30°Z 試驗에서의 操縱性指數 K 및 T의 計算結果는 Table 9와 같다.

3) 最小避航開始距離

試驗船들의 Z試驗에서 求한 操縱性指數를 利用하여 (9)式 및 (11)式에 의해 最小避航開始距離를 計算하면 Table 10과 같다.

考 察

Table 10에서 計算된 試驗船 4隻의 最小避航開始距離는 各々 自船 길이의 約 5倍가 되므로, 最小避航開始距離는 배 길이의 約 5倍라 할 수 있다.

이 距離는 마주치는 狀態의 二 船舶이 通常의 航海速力으로 接近하는 경우, 이 거리가 되었을 때 二 船舶이 同時에 30°의 舵角으로 右轉하여 避航動作에 들어간다면 衝突을 免할 수 있는 最小距離가 된다. 그러나, 만약 二 船舶중 어느 船舶이 조그만한 착오를 일으켜 규정된 航法에 의하지 않는 避航動作을 取한다면 衝突이 결정적으로 일어나기 쉬운 거리가 된다. 따라서 어느 船舶이든 大洋上에서는 더 단히 餘裕가 없는 거리이다.

예를 들면 “새바다號”의 경우 最小避航開始距離를 배 길이 의 5倍로 잡으면 410m가 되므로, 2300噸級 二 船舶이 마주치는 상태로 接近中 이 거리가 되어 避航動作에 들어갈 때, 二 船舶中 어느 한 船舶이 착오를 일으켜 올바른 避航動作을 取하지 않았을 경우 어느 정도 의 衝突危險度가 있는지 고찰하여 보자.

Fig. 6과 같이 A船은 올바르게 避航動作을 取하였 는데 B船이 狀況判斷을 잘 못하였거나 기타 理由로

實 船 試 驗

$$D_s = \left( \begin{array}{l} (T_A + \frac{1}{2}t_{1A})V_A + R_A \sin K_A \delta_0 A t_A \\ + (T_B + \frac{1}{2}t_{1B})V_B + R_B \sin K_B \delta_0 B t_B \end{array} \right) \dots (10)$$

但, 添字 A, B는 A船, B船을 의미함.

특 같은 크기와 성능을 가진 두 船船이 接近하고 있다고 가정하면  $D_s$ 의 算出式은 다음과 같다.

$$D_s = (2T + t_1)V + 2R \sin K \delta_0 t \dots (11)$$

1) 試驗船의 要目 및 試驗條件

實船試驗에 利用한 4隻의 試驗船의 要目 및 試驗條件은 다음과 같다. (Table 1~Table 8)

Table 1. Particulars of experimental ship, m. s. "SAEBADA"

L	B	D	G/T	M. E	Speed	R. P. M(p)
81.63m	13.60m	9.20m	2,275.71ton	3,600H. P	12.0Kt	235

Table 2. Trial condition of experimental ship, m. s. "SAEBADA"

F. d	A. d	Disp.	VSBY	Wind Direction	Wind Force	Sea State
3.20m	5.60m	1,933ton	Fair	200°	2	2

Table 3. Particulars of experimental ship, m. s. "KWANAKSAN"

L	B	D	G/T	M. E	Speed	R. P. M(p)
43.15m	7.00m	3.25m	244ton	1,000Ps	11.8Kt	665

Table 4. Trial condition of experimental ship, m. s. "KWANAKSAN"

F. d	A. d	Disp.	VSBY	Wind Direction	Wind Force	Sea State
1.69m	3.81m	480ton	Fair	135°	2	2

Table 5. Particulars of experimental ship, m. s. "GOLDEN CLOVER"

L	B	D	G/T	M. E	Speed	R. P. M
295m	47.4m	24.80m	101,235ton	S. H. P. 28,000	16.0Kt	90

Table 6. Trial Condition of experimental ship, m. s. "GOLDEN CLOVER"

F. d	A. d	disp.	VSBY	Wind Direction	Wind Force	Sea State
16.80m	17.64m	191,264ton	Fair	045°	3	3

Table 7. Particulars of experimental ship, m. s. "KOREA STAR"

L	B	D	G/T	M. E	Speed	R. P. M
344.4m	51.8m	26.5m	138,764ton	S. H. P 36,000	16.0Kt	85

Table 8. Trial condition of experimental ship, m. s. "KOREA STAR"

F. d	A. d	Disp.	VSBY	Wind Direction	Wind Force	Sea State
8.30m	11.30m	139,129ton	Fair	023°	4	4

船舶衝突回避를 위한 避航開始距離에 관한 研究

Table 11. Times and advances for 90°-turns of experimental ships

Experimental Ship	$T + \frac{1}{2}t_1$ (sec)	Rudder angle(°)	$\dot{\phi}$ (°/sec)	Speed (m/sec)	Time for 90°-turn(sec)	Advance for 90°-turn(A) (m)	A/L	m·A/L
SAEBADA	19	30	1.65	6.2	74	458.8	5.6	
KWANAKSAN	8	30	4.56	6.1	28	170.8	4.0	
GOLDEN CLOVER	50.5	30	0.54	8.2	218	1787.6	6.1	5.0
KOREA STAR	60.5	30	0.81	8.2	172	1410.4	4.1	

Table 12. Distances of experimental ships, advanced by reversing engine full ahead until 90°-turn of other ship has been completed to avoid collision

Experimental Ship	Speed (Knot)	Time for 90°-turn of other ship (sec)	Dist. by R.E(D)	D/L	m·D/L
SAEBADA	12.0	74	177.6	2.2	
KWANAKSAN	11.8	28	66.08	1.5	
GOLDEN CLOVER	16.0	218	697.6	2.4	1.9
KOREA STAR	16.0	172	550.4	1.6	

그러므로 두 船舶中 한船舶이 繼續인 旋回運動을 하기만 하면 다른 船舶이 어떤 補正動作을 취하는데 確實하게 衝突이 일어나지 않는 安全避航開始距離는 배 길이의 約 10배이면 충분하다고 보아진다(Fig. 7).

要 約

現行 國際海上衝突豫防規則 第14條의 마주치는 狀態의 航法에서 避航船들이 避航動作을 취할 時機의 基準이 되는 避航開始距離를 船體運動學的으로 解析算出하기 위하여, 數隻의 大小型 船舶의 實船試驗에서 求한 操縱性指數를 利用하여 避航開始距離를 算出하고 이를 檢討考察하였다. 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 二隻의 動力船이 衝突의 危險이 內包되도록 正面 또는 거의 正面으로 마주치는 경우 變針만으로 避航動作을 취할 때 最小避航開始距離는 自船 길이의 約 5배이다.
2. 二隻의 動力船이 衝突의 危險이 內包되도록 正面 또는 거의 正面으로 마주치는 경우 避航動作을 취할 安全避航開始距離는 自船 길이의 約 10배이다.
3. 特定한 船型에 대하여는 本 研究에서의 計算法에 의한 最小避航開始距離와 安全避航開始距離를 算出하여 두면 感覺에 의한 操船方法으로 惹起되는 衝突海難事故를 止揚할 수 있으리라 생각된다.

文 獻

1) 長畑司(1980): 避航의 判斷と操船者의 特性-Ⅲ.

日本航海學會論文集 63, 19-28.  
 2) 今津隼馬(1981): 他船의 行動變化를 考慮した 衝突危險度について. 日本航海學會論文集 64, 73-78.  
 3) 原深·野本謙作·小須田敏(1981): 操船シミュレータによる 避航操船の研究- 1. 日本航海學會論文集 64, 79-86.  
 4) 金基允(1978): 船體運動學的으로 본 衝突回避動作에 관한 研究. 漁業技術 14(2), 97-112.  
 5) 藤井齊·野本謙作(1970): 操縱性試驗法. 日本造船學會操縱性シンポジウム, 2-3.  
 6) 岩井聰(1977): 操船論. 初版, p.12-23. 海文堂, 東京.  
 7) 金基允(1979): “새바다號”의 操縱性能에 관한 研究. 韓水誌 12(4), 209-215.  
 8) 日本海難防止協會(1976): 超大型船操船の手引き. 2版, p.25-35, 成山堂, 東京.  
 9) Philip Mandel (1976): Principles of Naval Architecture. p.470, SNAME, New York.  
 10) 日本船主協會(1975): 1970年國際海上衝突豫防規則. 船舶通報別冊 No.37, p.53-57, 東京.  
 11) R. Faymond (1968): Farwells Rules of the Nautical Road. p.175, George Banta Co. Inc., Wisconsin.  
 12) Cock Crobt, A. N. and J. N. F. Lameijer (1976): A Guide to the Collision Avoidance Rules. p.106-107, Stanford Maritime, London.  
 13) Alvin Moscow(1959): Collision Course. p.102-112, Longmans, Green and Co. Ltd., New York.

Table 9. Calculated maneuvering indices  $K$  and  $T$  in  $30^\circ Z$  tests of experimental ships

m. s.	SAEBADA	m. s.	KWANAKSAN	m. s.	GOLDEN CLOVER	m. s.	KOREA STAR	
	$K$	$T$	$K$	$T$	$K$	$T$	$K$	$T$
	0.055	7	0.152	5	0.018	43	0.027	53

Table 10. Minimum safe relative distances of experimental ships in taking action to avoid collision

Experimental Ship	$L$ (m)	$B$ (m)	Disp. (ton)	$K$ (1/sec)	$T$ (sec)	$t_1$ (sec)	$t$ (sec)	$R$ (m)	Speed (m/sec)	Rudder angle( $^\circ$ )	M. R. Dist. ( $D_s$ ) (m)	$D_s/L$
SAEBADA	82	14	1,933	0.055	7	24	23.3	143	6.2	30	413.4	5.04
KWANAKSAN	43	7	480	0.152	5	6	11	76	6.1	30	214.3	4.98
GOLDEN CLOVER	295	47	191,264	0.018	43	15	69.9	520	8.2	30	1464.9	4.96
KOREA STAR	344	52	139,129	0.027	53	15	46.7	600	8.2	30	1728.1	5.02

規則과는 反對되는 避航動作을 取하였을 때 衝突危險度를 計算하면 다음과 같다.

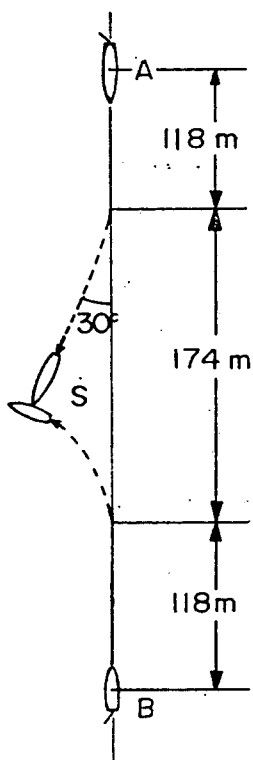


Fig. 6. A mismaneuvered status within minimum relative distance.

安全避航開始距離는 될 수 없다<sup>10),12)</sup>.

실사 두 선박 중 한 船舶이 避航措置를 잘못된 경우에도 그것을 是正하고 衝突을 避할 수 있는 거리가 安全避航開始距離가 되어야 할 것이다<sup>11),13)</sup>.

$$410 - 2(19 \times 6.2) \approx 174(m)$$

$$174 \div 2 = 87(m)$$

$$87 \tan 30^\circ \approx 50.2(m)$$

$$S = 87 \times 50.2 = 4,367.4 (m^2)$$

衝突區域인 面積  $S$ 에서 두 船舶이 차지하는 假想 衝突面積을 船體 길이 自乘의 半分으로 表示하고 그것을  $S'$ 라 하면

$$S' = \frac{1}{2}L^2 = 3,362(m^2)이다.$$

衝突危險度  $R_c$ 는 다음과 같다고 볼 수 있다.

$$R_c = \frac{3,362}{4,367.4} \times 100 \approx 77\%$$

따라서 最小避航開始距離는 規則에 의한 올바른 避航動作을 取하지 않았을 경우에는 衝突可能性이 大端히 높은 피항개시 거리라고 볼 수 있다.

그러므로 最小避航開始距離는 航法規則 第8條(衝突을 避하기 위한 動作) (d)項에서 言及하고 있는

Fig. 7과 같이 두 船舶 중 한 船舶이 避航動作을 잘못 取하였을 때, 한쪽 船舶이 機關을 全速後進으로 使用하거나, 舵를 反對로 使用하던 간에 계속하여 旋回를 하는 다른 쪽 船舶의 旋回角度가  $90^\circ$ 를

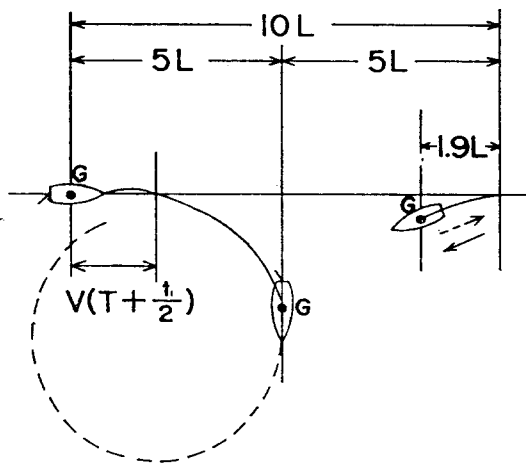


Fig. 7. Safe relative distance to avoid collision in mismaneuvered status.

넘을 때까지 衝突이 생기지 않으면 安全하다고 본다.

試驗船들이 通常의 航海速력으로  $90^\circ$ 의 旋回가 이루어질 때 까지 要하는 時間과  $90^\circ$  旋回後 계속적인 旋回動作을 하지 않고 어떤 補正動作에 들어가려 할 때까지의 船體의 最大進出距離는 Table 11과 같으며 그 平均은 배 길이의 約 5배가 된다.

한편, 旋回를 中斷한 船舶이 全速後進을 할 경우에 相對船舶이  $90^\circ$  旋回를 이루는 동안 進出하는 距離를 Knight의 略算式을 利用하여 計算하면 Table 12와 같으며, 그 平均은 배 길이의 約 1.9배가 된다.



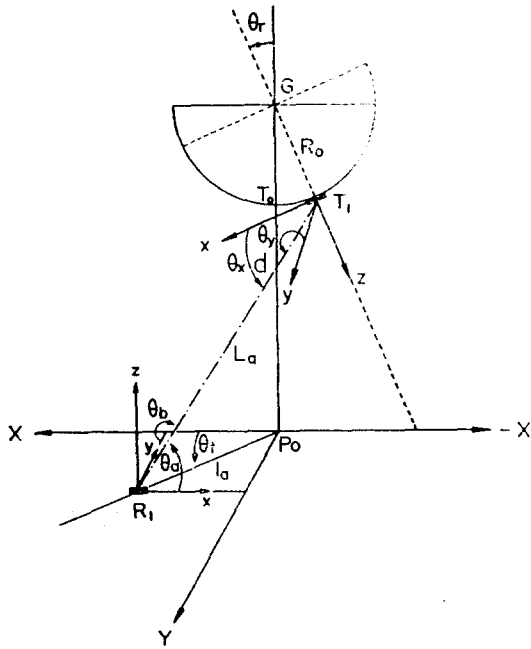


Fig. 1. Geometry showing the change of the directional angle due to roll motion of the transmitter.

만일, 船體가  $\theta_r$ 만큼 橫揺하면 送波器는  $T_0$ 로 부터  $T_1$ 으로 이동한다. 그때, 그 送波器에서 發射된 超音波가  $R_1$ 의 受波器에 受信될 때, 그 入射音壓에 相當하는 出力電壓  $V_s$ 는 送波音壓을  $P_0$ , 受波器의 受信感度を  $M_r$ , 受波器의 增幅度를  $G_r$ , 送波器와 受波器의 距離를  $L_a$ , 吸收減衰係數를  $\alpha$ , 送波器의 指向性係數를  $R_s(\theta_x, \theta_y)$ , 受波器의 指向性係數를  $R_r(\theta_a, \theta_b)$ 라고 하면 (1)式과 같다<sup>2)</sup>.

$$V_s = P_0 \cdot \frac{10^{-0.05 \cdot \alpha \cdot L_a}}{L_a} \cdot M_r \cdot G_r \cdot R_s(\theta_x, \theta_y) \cdot R_r(\theta_a, \theta_b) \dots \dots \dots (1)$$

또, (1)式에서  $P_0$ 에 相當하는 受信出力電壓  $V_0$ 는 (2)과 같으므로

$$V_0 = P_0 \cdot M_r \cdot G_r \dots \dots \dots (2)$$

(1)式과 (2)式으로 부터  $V_s$ 는 (3)式과 같이 쓸 수 있다.

$$V_s = V_0 \cdot \frac{10^{-0.05 \cdot \alpha \cdot L_a}}{L_a} \cdot R_s(\theta_x, \theta_y) \cdot R_r(\theta_a, \theta_b) \dots \dots (3)$$

따라서, 船體의 橫揺角 즉, 音束의 角變位  $\theta_r$ 와  $R_s(\theta_x, \theta_y)$ ,  $R_r(\theta_a, \theta_b)$ ,  $L_a$ 와의 關係를 각각 구하면  $V_s$  값을 구할 수 있다.

Fig. 1에서  $\theta_r$ 와  $\theta_x, \theta_y, L_a$ 와의 關係는 朴等<sup>3)</sup>이 報告한 바와 같으며, 船體橫揺中心의 높이를  $R_0$ , 그 中心으로 부터 受波器가 위치하는 音束橫斷面까지의 연직 깊이를  $d$ , 受波器의 方位角을  $\theta_i$ , 音束軸上  $P_0$ 點과 受波器의 距離를  $l_a$ 라고 하면  $\theta_r$ 와  $\theta_a$  및  $\theta_b$  사이에는 다음과 같은 關係가 성립한다 .

左橫揺의 경우

$$\theta_a = \tan^{-1} \left( \frac{[(l_a \cdot \sin \theta_i)^2 + (d - R_0 \cdot \cos \theta_r)^2]^{1/2}}{l_a \cdot \cos \theta_i + R_0 \cdot \sin \theta_r} \right) \dots (4)$$

$$\theta_b = \tan^{-1} \left( \frac{[(l_a \cdot \cos \theta_i + R_0 \cdot \sin \theta_r)^2 + (d - R_0 \cdot \cos \theta_r)^2]^{1/2}}{l_a \cdot \sin \theta_i} \right) \dots \dots \dots (5)$$

右橫揺의 경우

1)  $d \cdot \tan \theta_r > l_a \cdot \cos \theta_i$ 일 때

$$\theta_a = \tan^{-1} \left( \frac{[(l_a \cdot \sin \theta_i)^2 + (d - R_0 \cdot \cos \theta_r)^2]^{1/2}}{d \cdot \tan \theta_r - l_a \cdot \cos \theta_i} \right) \dots (6)$$

$$\theta_b = \tan^{-1} \left( \frac{[(d \cdot \tan \theta_r - l_a \cdot \cos \theta_i)^2 + (d - R_0 \cdot \cos \theta_r)^2]^{1/2}}{l_a \cdot \sin \theta_i} \right) \dots \dots \dots (7)$$

2)  $l_a \cdot \cos \theta_i > d \cdot \tan \theta_r$ 일 때

(4)式과 (5)式에서  $R_0 \cdot \sin \theta_r$ 의 부호를 (-)로 바꾸면 이 경우에 대한  $\theta_a, \theta_b$ 의 式이 구해진다.

따라서, 各 경우에 대한  $\theta_a, \theta_b$ 값을 구하여 (8)式에 대입하면  $R_r(\theta_a, \theta_b)$ 의 값을 구할 수 있고, 이것을 (3)式에 대입하면  $V_s$ 값을 얻을 수 있다.

$$R_r(\theta_a, \theta_b) = \left| \frac{\sin(ka \cdot \cos \theta_a)}{ka \cdot \cos \theta_a} \cdot \frac{\sin(kb \cdot \cos \theta_b)}{kb \cdot \cos \theta_b} \right| \dots \dots \dots (8)$$

但,  $k = 2\pi/\lambda$  ( $\lambda$ : 波長)

$a, b$ : 矩形振動子の 各 邊의 길이

### 實驗裝置 및 方法

實驗은 콘크리트水槽(L×B×H 5.7m×1.76m×1.0m)에서 행하였고, 實驗에 사용한 模型船은 釜山水產大學 實習船 새바다호(G. T. 2, 275)를 縮尺 1/50로 縮小한 FRP船으로 그 全長, 船幅, 滿載吃水는 각각 158cm, 27.2cm, 11.0cm였으며, 送波器는 模型船의 船底에 裝置하였다.

左右橫揺 20°範圍에 대한 直接波音壓을 測定하기 위하여 Fig. 2와 같이 送波器의 音束軸上  $P_0$ 點으로부터 左側正橫線(A-Line), 船尾線(B-Line), 中央線(C-Line)에 15cm 간격으로  $P_1, P_2, P_3, P_4$ 點을 각각 정하고, 여기에 受波器를 裝置하였다.