

避航動作時の 限界接近距離에 關한 研究

尹 点 東* · 朴 愼 圭**

A Study on the Approaching Distance in Taking Action to Avoid Collision

Jaem Dong Yoon · Sun Kyu Parg

目 次	次
Abstract	1. 正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇
記號說明	2. 橫斷의 境遇
I. 序 論	IV. 計算된 限界接近距離에 對한 檢討
II. 理 論	1. 正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇
1. 航法規則에 關한 考察	2. 橫斷의 境遇
2. 正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇 및 橫斷의 境遇의 航法規則	V. 結 論
3. 限界接近距離 算出式	參考文獻
III. 實船試驗資料에 依한 限界接近距離의 數值計算	附錄 I. 한바다호에 對한 Z 試驗
	II. Korea Star호에 對한 Z 試驗
	III. 式(7)의 解

Abstract

In the Sailing Rules of International Regulation for Preventing Collisions at Sea, 1972, any definite distance between two vessels approaching each other is not referred for adequate maneuvering to avoid collision.

At sea the officer in charge of bridge duty is required to guess safe distance before he takes maneuvering actions needed to avoid collision.

Papers on safe distances calculated on the base of the motional characteristics of ships for collision avoiding actions are very few.

In this paper, the minimum safe approaching distances necessary for actions to be taken to avoid collision are calculated in numerical numbers definitely by mathematic formula based on the maneuvering indices got from experiments of actual ships.

On the assumption that two vessels same in size and conditions are approaching each other, the author calculated the minimum safe approaching distance as 4.5 times, sufficient safe approaching one as 9.0 times the length of the ship involved in head-on situation and 5.0 times, 10 times respectively the length of the ship in each case mentioned above in crossing situation.

* 正會員, 韓國海洋大學

** 正會員, 木浦海洋專門大學

記 號 說 明

Y : y 軸方向의 힘	δ_0 : 一定舵角
u, \dot{u} : X 軸方向의 速度 및 加速度	t_1 : 操舵에 要하는 時間
v, \dot{v} : y 軸方向의 速度 및 加速度	t_2 : 一定角變位量이 생기는데 要하는 時間
$\phi, \dot{\phi}$: Z 軸周圍의 角速度 및 角加速度	R : 旋回半徑
I_z : Z 軸周圍의 質量慣性 moment	B : 船體의 幅 (B_{Ma})
N : Z 軸周圍의 旋回 moment	L : 船體의 길이 (L, O, A)
$Y_v, Y_{\dot{v}}$: $\frac{\partial Y}{\partial v}, \frac{\partial Y}{\partial \dot{v}}$ 를 表示함	L_A, B_A, L_B, B_B : 添字 A, B 는 A 船舶, B 船舶을 意味함
T : 追從性 指數	ϕ_i : 針路交叉角
K : 旋回性 指數	ϕ_o : 針路交叉角의 外角
	d_s : 限界接近距離

I. 序 論

現行 國際海上衝突豫防規則 第14條 (a)項은 正面으로 마주보는 狀態(Head-on Situation)에서 衝突의 危險을 안고 接近하는 船舶들이 取할 避航動作에 關하여 規定하고, 第15條는 橫斷狀態(Crossing Situation)에서 衝突의 危險을 안고 接近하는 船舶들 중 어느 船舶이 避航動作을 取할 것인가를 規定하고, 第16條는 위 15條의 境遇에 있어서 避航船이 取하여야 할 避航動作에 對하여 規定하고, 第17條는 위 15條의 境遇에 있어서 維持船이 지키거나 取하여야 할 動作들에 關하여 規定하고 있다.

그러나 그들이 相互 어느 程度의 距離로 接近하면 避航動作 또는 衝突防止를 위한 協力動作을 取하여야 할 것인가에 對하여는 “安全한 航過距離가 되도록 避航動作을 取하라[同規則 第8條 (b)項]”는 것 以外에는 전혀 言及되지 아니하고 있다.

本 論文의 目的은 船體旋回運動特性의 指標가 되는 操縱性指數를 利用하여 그들의 限界接近距離를 數學的인 觀點에서 算出하고 그 距離를 위에 列擧한 航法規則을 解釋하는데 어떤 尺度가 되도록 하는데 있다.

行先地와 遂行하고 있는 航海目的이 各各 다른 大小雜多한 船舶의 往來가 甚한 오늘날 狹水道, 港界 및 港內에서는 多數 船舶間의 航法關係는 操船者의 意圖 및 決心 등이 不確定 變數로 남기 때문에 時間을 變數로 하여 多數船舶의 動作을 同時에 數理的으로 處理하는 것은 不可能하고 또한 歷史的으로 有名한 船舶衝突事故¹⁾는 거의가 航海上的 障礙物이나 避航動作을 困難하게 만드는 第3船이 없는 大海上에서 두 船舶間에 發生하고 있으므로, 本 論文에서도 相互 接近하는 船舶은 航海障礙物이나 第3船이 없는 넓은 水域에서 서로 가까와지고 있으며 衝突防止動作을 取함에 있어서 이들은 主機關의 迴轉狀態는 그대로 維持하고 操舵에 依한 變針動作만으로 避航動作에 들어 간다고 假定한다.

船舶이 避航動作을 取할 때에 잡아야 할 兩船舶 사이의 最少限의 基準距離에 對하여는 過去나 現

在 諸外國에서 各 船舶의 操縱特性에 基礎를 둔 具體的인 數值計算에 依하여 研究된 것이 別로 없다.²⁾

規則適用上 必要한 어떤 限界接近距離는 航法規則의 解釋上 可能한 範圍까지는 切實하게 要求되는 事項이다. 本 論文에서는 實船試驗을 通하여 얻은 操縱性 指數^{3,4,6)}를 利用하여 限界接近距離에 對한 數值計算을 하고 이것이 實際避航動作 發動時期의 基準이 될 수 있는지를 檢討하였다.

그리고 數隻의 大小型船舶에 對한 計算值를 平均하여 安全接近距離를 船體 길이의 倍數로 나타내고 船體運動特性에 基礎를 둔 航法規則의 解釋을 하였다.

Ⅱ. 理 論

1. 航法規則에 관한 考察

正常的으로 航海하는 船舶間에 衝突危險이 생기는 遭遇姿勢는 다음의 3가지로 大別할 수 있다.

(1) 衝突危險이 있는 두 船舶이 一直線上 또는 거의 一直線이 되는 線上에서 서로 正面 또는 거의 正面으로 마주보며 反對方向에서 接近하는 모든 경우(Head-on Situation)⁶⁾

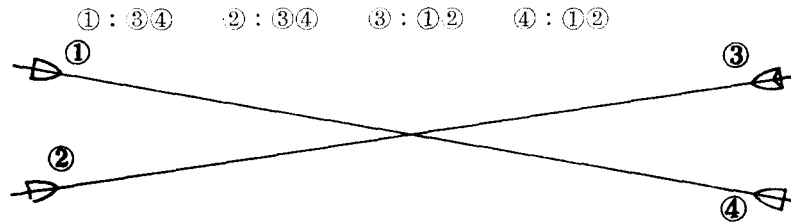


Fig. 1. Head-on Situation

(2) 衝突危險이 있는 두 船舶의 針路가 X字로 交叉하는 狀態로 서로 接近하고 있는 모든 경우(Crossing Situation)

① : ② ② : ③ ③ : ④ ④ : ①

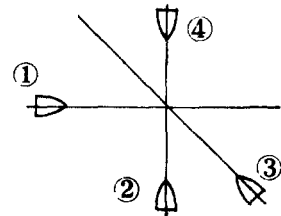


Fig. 2. Crossing Situation

(3) 衝突危險을 안고 接近하는 두 船舶中 한 船舶이 다른 船舶을 後方으로 부터 追越하고 있는 모든 경우(Overtaking Situation)

① : ②, ③, ④

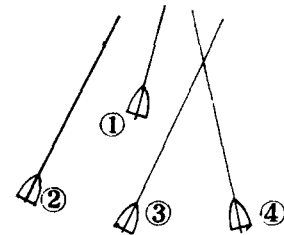


Fig. 3. Overtaking Situation

이와 같이 세가지 境遇로 大別할 수 있으나 (3)의 追越의 경우는 追越하는 船舶이 避航動作을 取하여야 하고 또한 그들의 限界接近距離도 數理的 計算의 必要없이 流體力學的인 見地에서 $d_s = L_1 + L_2$ ¹⁰⁾를 接近限界로 생각하면 된다.

따라서 (3)의 境遇는 本論文의 檢討對象에서 除外한다.

2. 正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇(Head-on Situation) 및 橫斷의 境遇(Crossing Situation)의 航法規則

(1) 서로 마주보는 境遇(Head-on Situation)에 대한 航法

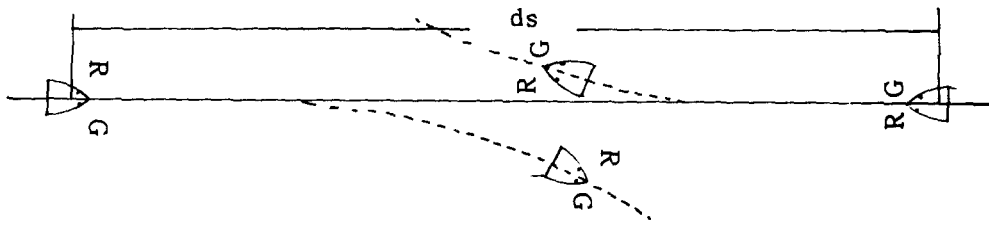


Fig. 4. Collision avoiding action in head-on situation

이 境遇는 서로 針路를 右轉하여 左舷 對 左舷으로 航過한다(規則 第14條). 그러나 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 두 船舶 사이의 距離가 어느 程度가 되었을 때 變針을 할 것인가 하는 것이 問題로 남아 있다. 規則에는 이러한 距離에 對하여는 전혀 言及이 없으므로 操船者의 判斷에 一任하였다고 볼 수 밖에 없다.

이러한 距離는 規則의 條文으로 明示할 수 없고 船體의 旋回運動特性을 基礎로 하여 數理的인 計算에 依하여 決定될 性質의 것이다.

(2) 橫斷의 境遇(Crossing Situation)에 對한 航法

他船舶의 左舷側 또는 紅燈을 보는 船舶이 避航動作을 取하도록 되어 있다.

Fig. 5의 B船은 A船에 對하여 維持船이고 A船은 B船에 對하여 避航船이 되는 關係에 있다. 그러나 어떤 距離로 接近하였을 때 避航船이 避航動作을 取할 것인가 하는 問題는 法條文으로 決定할 수 없다는 것은 (1)의 境遇와 같다.

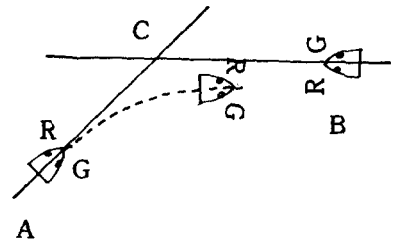


Fig. 5. Collision avoiding action in crossing situation

(3) 接近距離의 段階的인 區分

一般的으로 말하여 衝突危險을 解消시키는 過程에서 接近되는 距離는 다음의 三段階로 區分할 수 있다.

① 初期段階

두 船舶中 어느 한 船舶이 그 때의 狀況을 잘못 判斷하여 規則에 反하는 動作을 取하더라도 그 動作을 다시 是正하여 變針動作만으로 衝突危險을 充分히 解消할 수 있는 距離, 이것은 舷燈이 視認되는 初期로부터 어떤 接近距離까지의 範圍內에서 可能하다. 以後 이 距離를 安全接近距離라 부르기로 한다.

② 中期段階

두 船舶이 避航動作을 올바르게 取하기만 하면 變針動作만으로 衝突危險을 解消할 수 있고, 動作을 잘못 取하였더라도 主機關과 變針動作을 併用하여야 衝突을 充分히 避할 수 있는 距離, 이것은 初期段階의 末期로부터 어떤 基準에서 決定된 限界接近距離의 사이에 있다. 以後 이 距離를 限界接近距離라 부르기로 한다.

③ 末期段階

避航船이 規則에서 規定하는 內容대로 避航動作을 取하더라도 變針動作만으로는 衝突을 避할 수

없고 衝突을 避하기 爲하여는 維持船의 協力動作^{7,8)}이 必要하고 또한 主機關의 使用을 最大로 活用 하여야 하는 距離이고 어떤 理由에서든 兩船舶이 아무런 避航動作을 取하지 아니하고 限界接近距離를 넘어선 境遇이다.

3. 限界接近距離 算出式

(1) 船體의 運動方程式

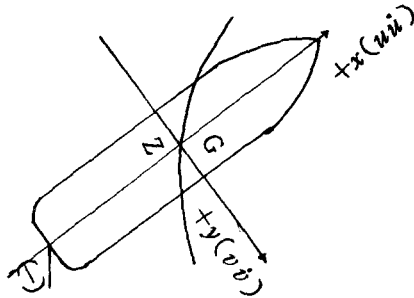


Fig. 6. Coordinate system centered on G point of a ship

Fig. 6과 같이 船體의 G點을 原點으로 잡고 이 點을 通하는 三直較軸을 x, y, z 로 하여 y 軸方向 直進運動 및 z 軸周圍의 回轉運動에 對한 運動方程式을 세우면 다음과 같다.^{2, 6, 9)}

$$mv = Y - u\dot{\phi} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Iz\ddot{\phi} = N$$

$$\left. \begin{aligned} Y &= Y_{\delta}\dot{u} + Y_{\delta}\ddot{\phi} + Y_{\delta}v + Y_{\delta}\dot{\phi} + Y_{\delta}\delta + Y_{\delta}\dot{\delta} \\ N &= N_{\delta}\dot{u} + N_{\delta}\ddot{\phi} + N_{\delta}v + N_{\delta}\dot{\phi} + N_{\delta}\delta + N_{\delta}\dot{\delta} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

(1) 및 (2)式의 各項을 無次元하고 連成하여 ϕ 에 關한 方程式을 만들면 다음과 같다.

$$\dot{\phi}(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ -\frac{K \cdot \delta_0}{(TS + 1)S} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

(3)式을 變換하면 다음과 같이 된다.

$$\phi(t) = K\delta_0 (1 - e^{-t/T}) \dots\dots\dots (4)$$

(4)式에서 T 및 K 값을 通稱하여 操縱性指數^{3, 4, 9)}라고 부르고 T 를 追從性指數, K 를 旋回性指數라고 한다.

(2) 限界接近距離 算出式

① 서로 마주보는 境遇(Head-on Situation)

直進인 船舶에 一定舵角 δ_0 를 주어서 船舶이 旋回運動을 할 때 原針路上에서의 移動距離를 x , 이에 直角인 方向에의 移動距離를 y 라고 하면 x 및 y 는 다음 式으로 表示된다.

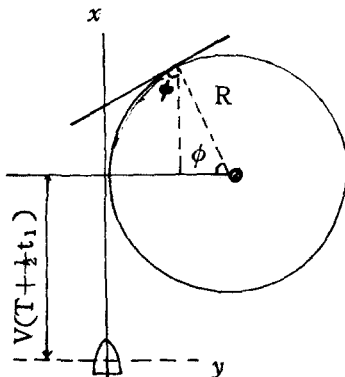


Fig. 7. Displacements from original point centered at rudder ordered position

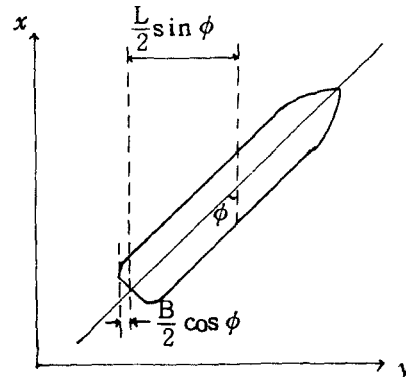


Fig. 8. Minimum transverse displacement from original course line to avoid collision

$$\left. \begin{aligned} x &= (T + \frac{1}{2} t_1) v + R \sin K\delta_o t_2 \\ y &= R - R \cos K\delta_o t_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

2隻의 船舶이 相反되는 針路上에서 接近하면서 規則 第14條 (a)項에 規定된 避航動作을 取할 때 各 船舶의 原針路에서의 正橫移脫距離 y 즉 $R - R \cos K\delta_o t_2$ 가 自船에 對한 $\frac{L}{2} \sin K\delta_o t_2 + \frac{B}{2} \cos K\delta_o t_2$ 값보다 크다면 그들은 衝突을 免하게 될 것이다.

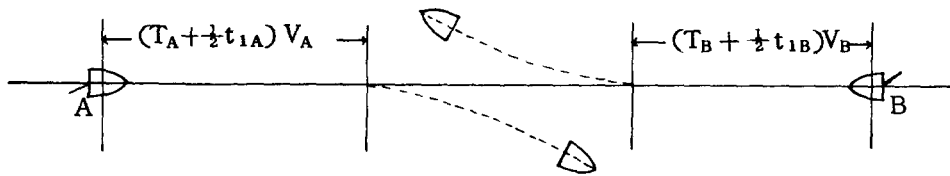


Fig. 9. Collision avoiding action and displacement on the original course line in head-on situation

따라서,

$$R - R \cos K\delta_o t_2 \geq \frac{L}{2} \sin K\delta_o t_2 + \frac{B}{2} \cos K\delta_o t_2 \dots\dots\dots (6)$$

가 되도록 t_2 를 定하여 原針路上에서의 限界接近距離를 求하면 된다. (6)式에서 t_2 를 求하면 다음과 같다.

$$t_2 \geq \frac{1}{K\delta_o} \tan^{-1} \frac{BL + 2RL + 2R\sqrt{L^2 + B^2} + 4BR}{4R^2 - L^2} \text{ (부록 III 참조)} \dots\dots\dots (7)$$

그러므로 限界接近距離 d_s 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d_s &= (T_A + \frac{1}{2} t_{1A}) V_A + R_A \sin K_A \delta_{oA} t_{2A} \\ &+ (T_B + \frac{1}{2} t_{1B}) V_B + R_B \sin K_B \delta_{oB} t_{2B} \end{aligned} \dots\dots\dots (8)$$

② 橫斷의 境遇 (Crossing Situation) 의 限界接近距離 算出式

㉞ 針路交角이 90° 以上 될 때

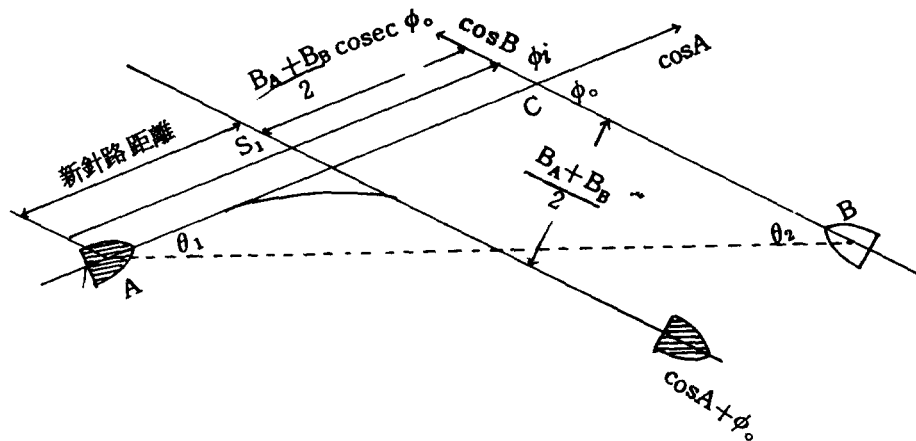


Fig. 10. Minimum safe approaching distance in case of $\phi_i \geq 90^\circ$

A, B 두 船舶이 衝突의 危險을 안고 橫斷關係로 接近하고 있을 때 그대로 進行하면 C point에서 衝突이 發生할 것이다.

이 때 A船이 右舷變針만의 動作으로 B船을 避하려면 AC까지의 距離 S_1 은 적어도 다음의 條件을 滿足시켜야 한다.

$$S_1 \geq (T_A + \frac{1}{2} t_{1A} + \frac{1}{K_A \delta_c} \tan \frac{\phi_c}{2}) V_A + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec} \phi_c \dots \dots \dots (9)$$

$\phi_c \leq 90_c$ 이고 $\frac{\phi_c}{2} \leq 45_c$ 이므로 $\tan \frac{\phi_c}{2} \approx \frac{\phi_c}{2}$ 로 略하여 處理할 수 있으므로

$$S_1 \geq (T_A + \frac{1}{2} t_1 + \frac{\phi_c}{2K_A \delta_c}) V_A + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec} \phi_c \text{ 이다.}$$

따라서 限界接近距離 d_s 는 다음과 같다.

$$d_s = [(T_A + \frac{1}{2} t_1 + \frac{\phi_c}{2K_A \delta_c}) V_A + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec} \phi_c] \cos \theta_1 \\ + [(T_B + \frac{1}{2} t_1 + \frac{\phi_c}{2K_B \delta_c}) V_B + \frac{B_A + B_B}{2} \operatorname{cosec} \phi_c] \cos \theta_2$$

똑 같은 크기와 性能을 가진 두 船舶이 $\theta_1 = \theta_2$ 라는 條件으로 接近하고 있다고 假定하면 d_s 는 다음과 같다.

$$d_s = (2T + t_1 + 2 \frac{\phi_c}{K \delta_c}) V \cos \frac{\phi_c}{2} \dots \dots \dots (10)$$

ⓐ 針路交角이 90° 보다 작을 때

Fig. 11과 같이 針路交角이 90° 보다 작을 때의 d_s 는 다음과 같다.

$$d_s = (2T + t_1 + 2 \frac{\phi_i}{K \delta_c}) V \cos \frac{\phi_i}{2} \dots \dots \dots (11)$$

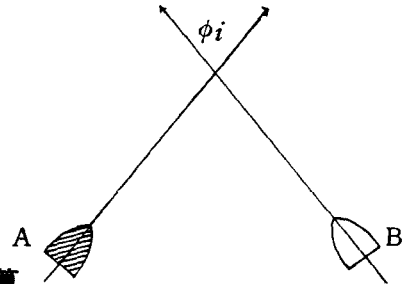


Fig. 11. Situation in case of $\phi_i < 90^\circ$

Ⅲ. 實船試驗資料에 依한 限界接近距離의 數值計算

Table 5, 6, 7, 8, 9의 限界接近距離는 똑 같은 船舶이 接近하고 있다는 假定下에 正面으로 마주 보는 境遇에 對하여는 式 (6) 및 (7)에 의하여 橫斷의 境遇에 對하여는 式 (10) 및 (11)에 의하여 限界接近距離를 求하여 이것을 船體의 길이 L 의 倍數로 表示한 것이다.

Table 1. Particulars of M/V Hanbada

L	B	D	F. L. d	Disp. (F)	G/T	Cb	M. E	Speed	A/L × d
98m	14.5m	9.5m	5.1m	4,230ton	3,492ton	0.576	3,800H. P	15Kt	1/49

Table 2. Trial condition of M/V Hanbada

F. d	A. d	Disp.	VSBY	Wind Direction	Wind Force	Sea State
3.1m	5.30m	3,226.8ton	Fair	040°	3	3

Table 3. Particulars of M/V Korea Star

L	B	D	F. L. d	Disp. (F)	G/T	Cb	M. E	Speed	R. P. M	A/L × d
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	ton	to		S. H. P	Kt		
344.4	51.8	26.5	188	306,705	138,764	0.85	36,000	16	85	

Table 4. Trial condition of M/V Korea Star

F. d	A. d	Disp.	VSBY	Wind Direction	Wind Force	Sea State
8. 30 <i>m</i>	11. 30 <i>m</i>	139, 129ton	Fair	023°	4	4

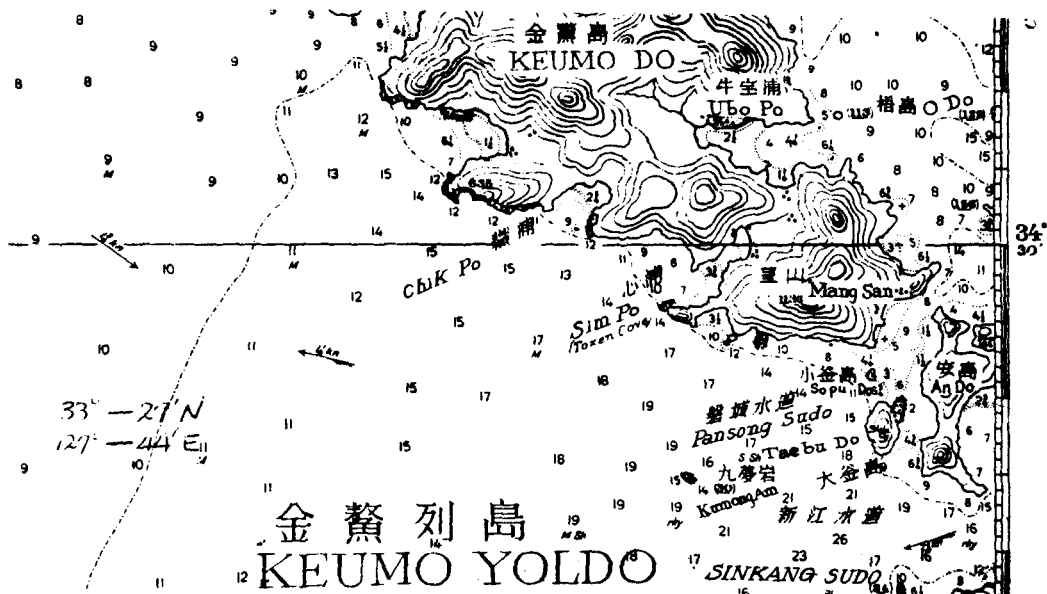


Fig. 12. Test conducted area

1. 正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇

正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇에 對하여 限界接近距離를 求하면 Table 5와 같으며 그 平均은 4.3L이다.

Table 5. Minimum safe approaching distance in head-on situation

Ship	L (m)	B (m)	Disp. (ton)	K 1/sec	T sec	t ₁	t ₂	R (m)	Speed m/sec	Rndder angle	M. S. A Distance
Hanbada	98	14.5	3,450	0.039	5	14	24	143	5.4	35°	3.0L
Korea Star	344	52	306,705	0.027	53	15	52	600	6.7	30°	4.4L
World Heritage	344	52	306,705	0.015	44	16	74	560	8.7	30°	4.8L
Althea	320	53	268,097	0.018	36	16	83	550	8.7	30°	5.0L

2. 横斷의 境遇

Table 6, 7, 8, 9는 横斷의 境遇 各各의 交叉角에 對하여 計算한 限界接近距離이다.

Table 6. Minimum safe approaching distance of M/V Hanbada(Rudder angle 35°)

ϕ_0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
M. S. A Distance	2.2L	2.9L	3.7L	4.3L	4.9L	5.4L	5.8L	6.0L	6.1L
100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	160°	180°	
5.0L	4.0L	3.5L	2.3L	1.6L	1.0L	0.6L	0.2L	—	

Table 7. Minimum safe approaching distance of M/V Korea Star(Rudder angle 30°)

ϕ_0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
M. S. A Distance	2.8L	3.2L	3.6L	4.0L	4.3L	4.5L	4.7L	4.72L	4.7L
100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
4.0L	3.3L	3.6L	2.0L	1.5L	1.0L	0.6L	0.2L	—	

Table 8. Minimum safe approaching distance of M/V World Heritage(Rudder angle 30°)

ϕ_0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
M. S. A Distance	3.3L	3.8L	4.2L	4.6L	4.9L	5.1L	5.3L	5.32L	5.25L
100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
4.4L	3.6L	2.9L	2.3L	1.7L	1.2L	0.6L	0.3L	—	

Table 9. Minimum safe approaching distance of M/V Althea(Rudder angle 30°)

ϕ_0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
M. S. A Distance	2.6L	3.0L	3.4L	3.9L	4.1L	4.1L	4.2L	4.23L	4.2L
100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
3.6L	2.9L	2.4L	1.8L	1.3L	0.9L	0.5L	0.3L	—	

Ⅳ. 計算된 限界接近距離에 對한 檢討

1. 正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇

이 距離는 大略 4~5L의 範圍內에 있고 平均값은 4.3L 程度이다. 그러면 이것을 그대로 基準值로 잡아서 規則을 解析하는 것이 어느 程度의 妥當性을 갖게 되는지 다음에 檢討하여 보고자 한다.

이것을 “한 바다호”의 境遇에 對하여 適用할 것을 생각하면 그 距離는 約 421m 程度이고 “Korea Star”호의 境遇에 對하여는 約 1,479m 程度이다. 大洋上에서의 距離인 것을 考慮에 넣으면 어느 船長이고 간에 이것은 대단히 餘裕가 없는 距離라는 것을 생각하게 될 것이다. 이에 對하여 “한 바다호”의 境遇에 確率概念을 가지고 檢討해 보자.

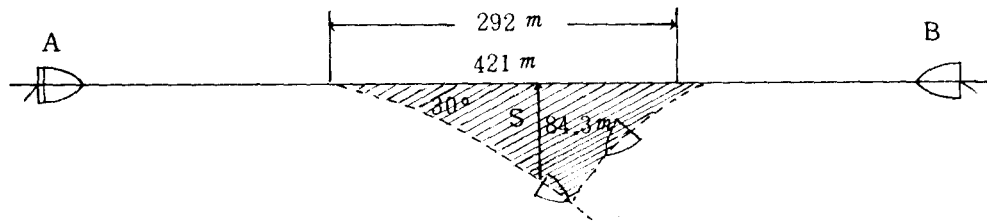


Fig. 13. A misconducted status within minimum safe approaching distance

Fig. 13과 같이 A船은 올바르게 避航動作을 取하였는데 B船이 狀況判斷을 잘못 하였거나 其他理由로 規則上에서 期待되는 것과 反對되는 避航動作을 取하였을 때의 衝突確率을 計算하면 다음과 같다.

$$421 - 2(12 \times 5.4) \approx 291$$

$$291 \div 2 \approx 146$$

$$146 \tan 30^\circ = 84.3$$

$$S = 146 \times 84.3 = 12,308m^2$$

衝突이 發生하였을 때 面積 S中에서 두 船舶이 차지하는 假想衝突面積을 船體길이의 自乘으로 表示하고 그것을 S'라 하면

$$S' = L^2 = 98^2 = 9604(m^2)이다.$$

따라서 衝突確率 P는 다음과 같다고 볼 수 있다.

$$P = \frac{9604}{12308} \times 100 = 78\%$$

避할 수 있는 境遇임에도 不拘하고 이와 같이 衝突確率이 높은 距離가 規則解釋上 許容되지 아니한다는 것은 同規則 第18條(衝突을 避하기 위한 動作) (d)項의 趣旨를 보면 곧 알 수 있다.

실사 한쪽 船舶이 避航措置를 잘못된 境遇에도 그것을 是正하고 衝突을 避할 수 있는 距離가 規則解釋上 許容되는 標準距離가 되지 않으면 안될 것이다.¹¹⁾

두 船舶中 어느 한 船舶이 避航動作을 잘못 取하였을 때 한쪽 船舶이 機關을 全速後進을 使用하든, 舵를 反對로 使用하든 間に 繼續하여 旋回를 하는 다른 쪽 船舶의 旋回角度가 90°를 넘을 때까지 衝突이 생기지 않으면 安全하다고 보면 된다. 한 바다의 境遇 初速 5.4m/sec에서 90°의 旋回가 이루어 질 때까지 要하는 時間은 約 80秒 程度, 30萬噸의 VLCC, Korea Star의 境遇는 初速 8m/sec에서 約 150秒 程度이다. 이때 繼續的인 旋回動作을 하지 아니하고 어떤 補正動作에 들어가는 船體의 最大進出距離를 計算하면 다음과 같다.

$$\text{한 바다} = 5.4 \times 80 = 432 \approx 4.4L$$

$$\text{Korea Star} = 8 \times 150 = 1200 \approx 3.5L$$

다음은 繼續的인 旋回를 中斷한 船舶이 全速後進을 할 境遇에 相對船舶이 90° 旋回를 이루는 동안 進出하는 距離를 Knight의 略算式을 利用하여 計算하면 다음과 같다.

$$\text{한 바다} : D = \frac{1}{5} \times 10.5 \times 80 = 168m \approx 1.7L$$

$$\text{Korea Star} : D = m \frac{1}{5} \times 16 \times 150 = 480m \approx 1.4L$$

그러므로 두 船舶中 한 船舶이 繼續的인 旋回運動을 하기만 하면 다른 船舶이 어떤 補正動作을 取하든 間に 確實하게 衝突이 일어나지 않는 安全接近距離는 約 9L이면 充分할 程度이다.

2. 橫斷의 境遇

Table 6, 7, 8, 9를 보면, 이 때의 境遇는 마주보는 境遇에 比하여 相當히 작은 距離가 나왔었는데 그것은 計算式의 定立過程에서 考察하면 ϕ 가 25° 未滿인 範圍內에서는 精度가 떨어져기 때문이다.

그것은 $\frac{B_1+B_2}{2} \cdot \text{cosec } \phi$ 를 無理하게 處理한데서 나타나는 影響이다. 따라서 거의 正反對針路上에서 마주보는 境遇가 아니고 그것에 가까운 橫斷의 境遇인 때는 마주보는 境遇에 準하여 處理하면 될 것이다.

(2) 針路交角이 90°에 가까운 境遇

이 境遇의 平均限界接近距離는 5.1L이고 이것을 다시 “한 바다호”의 境遇에 대하여 適用시키면 다음과 같다.

$$98 \times 5.1 \approx 500, \quad 500 \sin 45^\circ = 354m$$

$$S = 289^2 - \frac{1}{4} \pi \times 289^2 = 83521 - 65597 = 17924m^2$$

$$S' = 98^2 = 9604m^2, \quad P = \frac{S'}{S} = \frac{9604}{17924} \times 100 = 54\%$$

이 때의 衝突確率は 約 54% 程度되므로 한쪽이 避航動作을 잘못 取하였을 境遇에는 衝突危險이 存在하게 된다.

한 바다의 Tactical diameter는 320m 程度되므로 어느

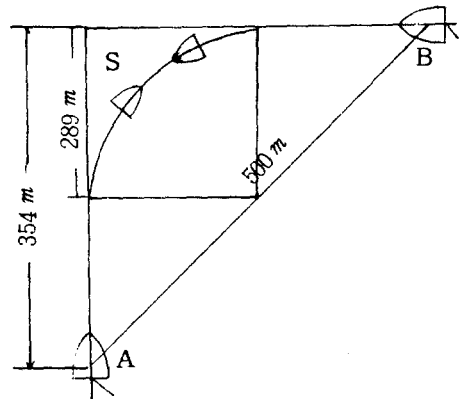


Fig. 14. A misconducted status within minimum safe approaching distance

境遇에도 320m의 2배數 以上の 距離가 있으면 確實하게 衝突을 避할 수 있고 따라서 640m 以上 即 7L 以上이면 된다고 보겠으나 安全上 限界接近距離의 2배數 即 10L 程度로 安全接近距離를 잡는 것이 좋을 것이다.

(3) 針路交角이 작은 銳角인 境遇

Table 6, 7, 8, 9에서 보던 이 때의 接近距離는 大端히 작게 나타나므로 避航上의 難點이 發生하는 境遇는 드물다고 본다.

그러나 이러한 境遇는 流體力學的인 觀點에서 限界接近距離를 定하여야 한다. 通常 流體力學的인 觀點에서 船舶間의 相互作用이 發生하는 範圍는 같은 船舶이 航行하는 境遇를 생각하면 2L 程度로 볼 수 있으므로 安全接近距離는 이의 2배數인 4L 程度로 보면 좋을 것으로 생각된다.

結論의으로 正面으로 마주보는 境遇 安全接近距離는 9L, 橫斷의 境遇 安全接近距離는 10L 程度이다.

V. 結 論

以上에서 論述한 限界接近距離와 安全接近距離를 尺度로 하여 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다

1. 正面 또는 거의 正面으로 마주보는 境遇(規則 第14條 a項) 衝突의 危險이 內包되도록 二隻의 動力船이 反對方向 또는 거의 反對方向으로 마주치는 境遇 限界接近距離는 4.5L, 安全接近距離는 9L 程度이다.

2. 橫斷의 境遇(規則 第15條)

(1) 橫斷의 境遇中 針路交角이 큰 鈍角인 境遇는 正面으로 마주보는 境遇에 準하여 限界接近距離 및 安全接近距離를 잡으면 된다.

(2) 針路交角이 90°에 가까운 境遇 限界接近距離는 5L, 安全接近距離는 10L 程度이다.

(3) 針路交角이 銳角인 境遇 限界接近距離는 2L, 安全接近距離는 4L 程度이다.

3. 早期動作(規則 第16條)에 關하여

避航船의 早期避航動作은 兩船舶의 接近距離가 安全接近距離인 10L 程度로 되기 以前에 取하는 것이 좋고 늦어도 限界接近距離인 5L에 이르기 以前에 반드시 取하여야 한다.

參 考 文 獻

1. Alvin Moscow : Collision course, Longmans, Green and Co. Ltd., N. Y., pp.102~112(1959).
2. 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, 亞成出版社, 釜山 : pp. 4~6(1976).
3. 尹点東 : 巨大型船의 操船理論과 實務, 亞成出版社, 釜山 : pp. 9~13(1976).
4. 岩井聰 : 操船論, 海文堂, 東京 : pp. 13~20(1977. 3).
5. A. N COCK CROFT, J. N. F LAMEIJER, A Guide to the Collision Avoidance Rules, Stanford Maritime, London, pp. 106~107(1976).

6. 藤井齊, 野本謙作 : 操縦試験法, 日本造船學會, 操縦性 シンポジウム, p. 3(1970).
7. 日本船主協會 : 1970年 國際海上 衝突豫防規則, 船舶通報別冊 No. 37. pp. 53~57(1975).
8. R. FAYMOND, F. FARWELL : Farwells Rules of the Nautical Road, George Banta Co. Inc., Wisconsin, p. 175(1968).
9. PHILIP MANDEL : Principles of Naval Architecture. SNAME, New York, p. 470(1967).
10. K. J. RAWSON: E. C. TUPPER, Basic Ship Theory, Long man, London, p. 510(1978).
11. 今津伴馬 : 他船の 行動變化を 考慮した 衝突危險度について, 日本航海學會論文集 第64號, 東京, pp. 73~79. (1981)

附錄 I. 한 바다호에 對한 Z 試驗

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의 舵角에 이르도록 操舵命수를 하게 하였으며, 1名은 Stop watch를 가지고 Zero time으로부터 適當한 時間間隔(5秒, 10秒, 15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토록 하였다. 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 任意 Co.에 對한 全速 및 舵角 35°의 Z 試驗을 실시한 結果 $K=0.039/sec$, $T=5 sec$ 가 되었다.

Z 試驗 結果

Starboard 처음													
t	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
H. d	240	241	244	250	256	263	270	277	283	285	285	280	
t	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	
H. d	273	266	261	253	246	240	234	227	221	215	209	203	
t	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	
H. d	197	194	194	196	201	207	213	219	225	231	238	244	
t	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	
H. d	250	256	263	268	275	280	285	286	284	280	274	266	
t	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
H. d	260	254	247	241									

主要 Point																
主要時點	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 ₁₆
時 間	14	34	44	47.5	54	85	114	125	127.5	134	172	200	210	215	220	257

Port 처음												
t	0	5	10	15	20	26	30	35	40	45	50	55
H. d	240	240	237	232	225	218	211	205	198	194	193	196
t	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
H. d	200	206	212	219	225	231	238	244	250	256	263	270

t	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	
H. d	275	281	285	286	283	277	272	265	258	252	245	239	
t	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	
H. d	233	227	221	217	210	204	199	196	197	200	205	210	
t	240	345	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300
H. d	216	222	228	235	241								

主要 Point

主要時點	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 ₁₆
時 間	14	35	47	59	59	92	120	132	135	144	174	203	215	217	227	259

Z 試驗 計算

1. Hard Starboard

$$\textcircled{1} A_1 = \frac{35}{2}(44 + 20) = 1120$$

$$A_2 = \frac{35}{2}(80 + 60) = -2450$$

$$A_3 = \frac{35}{2}(86 + 66) = 2660$$

$$\textcircled{2} A_e = A_1 - \frac{3 \times 11}{2} = 1103.5$$

$$A_e' = A_1 - A_2 + \frac{4 \times 15}{2} = -1300$$

$$A_e'' = A_1 - A_2 + A_3 - \frac{5 \times 17}{2} = 1287.5$$

$$\textcircled{3} A_o = A_1 - \frac{35}{2}(41 + 31) = -140$$

$$A_o' = A_1 - A_2 + \frac{35}{2}(48 + 38) = 175$$

$$A_o'' = A_1 - A_2 + A_3 - \frac{35}{2}(46 + 36) = -105$$

$$\textcircled{4} 45 = 47 K\delta r + KA_e \dots\dots\dots(1)$$

$$-47 = 128 K\delta r + KA_e' \dots\dots\dots(2)$$

$$46 = 215 K\delta r + KA_e'' \dots\dots\dots(3)$$

$$K_{2.4} = 0.036 \qquad \delta r = -0.043$$

(1)에 δr 을 代入하여 $K_1 = 0.041/\text{sec}$

$\therefore K = 0.039/\text{sec}$

$$\begin{aligned} \textcircled{5} \quad & -\frac{60}{47}T_1 = 0.039 \times (-0.043) \times 85 + 0.039 \times (-140) \\ & -\frac{60}{48}T_2 = 0.039 \times (-0.043) \times 172 + 0.039 \times 175 \\ & -\frac{40}{31}T_3 = 0.039 \times (-0.043) \times 257 + 0.039 \times (-105) \\ & T_1 = 5.396 \quad T_2 = 3.152 \quad T_3 = 6.515 \\ & \therefore T = T_1 + \frac{T_2 + T_3}{2} = 5.1(\text{sec}) \end{aligned}$$

2. Hard Port

$$\textcircled{1} \quad A_1 = \frac{35}{2}(47 + 21) = -1190$$

$$A_2 = \frac{35}{2}(85 + 61) = 2555$$

$$A_3 = \frac{35}{2}(83 + 59) = -2485$$

$$\textcircled{2} \quad A_e = -A_1 + \frac{3 \times 8}{2} = -1178$$

$$A_e' = -A_1 + A_2 - \frac{3 \times 9}{2} = 1351.5 = 1352$$

$$A_e'' = -A_1 + A_2 - A_3 + \frac{2 \times 8}{2} = -1112$$

$$\textcircled{3} \quad A_o = -A_1 + \frac{35}{2}(45 + 33) = 175$$

$$A_o' = -A_1 + A_2 - \frac{35}{2}(42 + 30) = 105$$

$$A_o'' = -A_1 + A_2 - A_3 + \frac{35}{2}(44 + 32) = 210$$

$$\textcircled{4} \quad -47 = 50 K\delta r + KA_e \dots\dots\dots(1)$$

$$46 = 135 K\delta r + KA_e' \dots\dots\dots(2)$$

$$-44 = 215 K\delta r + KA_e'' \dots\dots\dots(3)$$

$K_{\delta r} = 0.036 \quad \delta_r = 0.55$ (1)에 δ_r 을代入하여 $K_1 = 0.041$

$\therefore K = 0.039/\text{sec}$

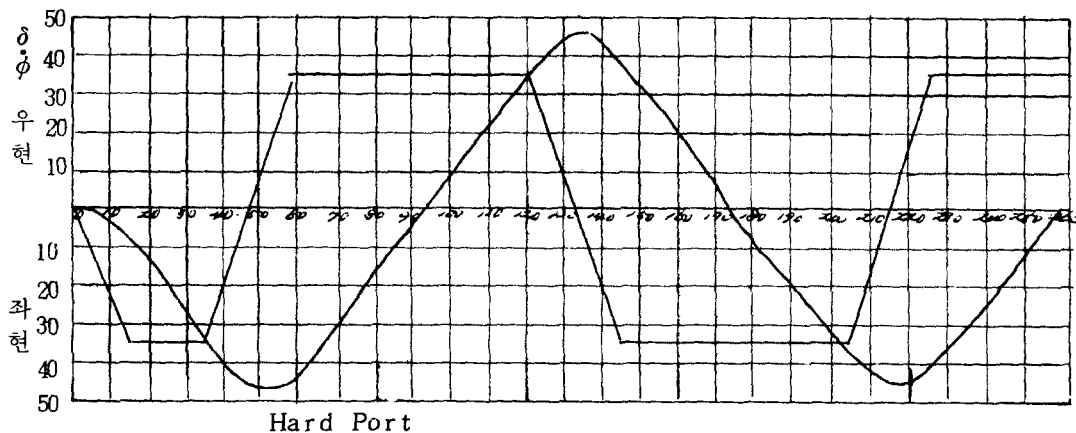
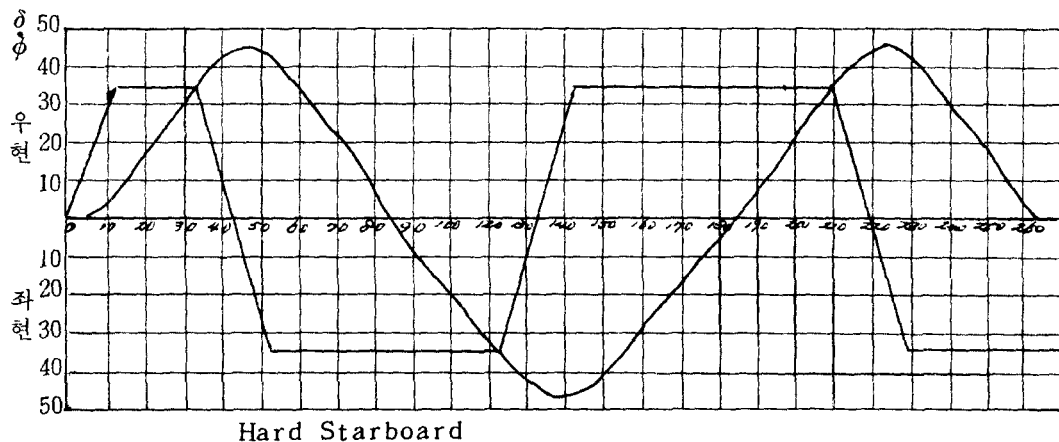
$$\textcircled{5} \quad T_1 \frac{30}{47} = 0.039 \times (-0.55) \times 92 + 0.039 \times 175$$

$$-T_2 \frac{30}{48} = 0.039 \times (-0.55) \times 174 + 0.039 \times 105$$

$$T_3 \frac{15}{24} = 0.039 \times (-0.55) \times 259 + 0.039 \times 210$$

$$T_1 = 7.5 \quad T_2 = 0.45 \quad T_3 = 4.5$$

$$\therefore T = T_1 + \frac{T_2 + T_3}{2} = 5.0(\text{sec})$$



附錄 II . Korea Star호에 關한 Z 試驗

30° Z 試驗記錄

t	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
H. d	0.0	2.0	10.0	21.2	34.0	43.5	44.2	40.0	31.7	22.0	10.0	-1.8
t	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440
H. d	-1.8	-14.2	-26.2	-37.0	-42.5	-42.0	-38.5	-32.5	-23.0	-13.5	-3.0	-8.0

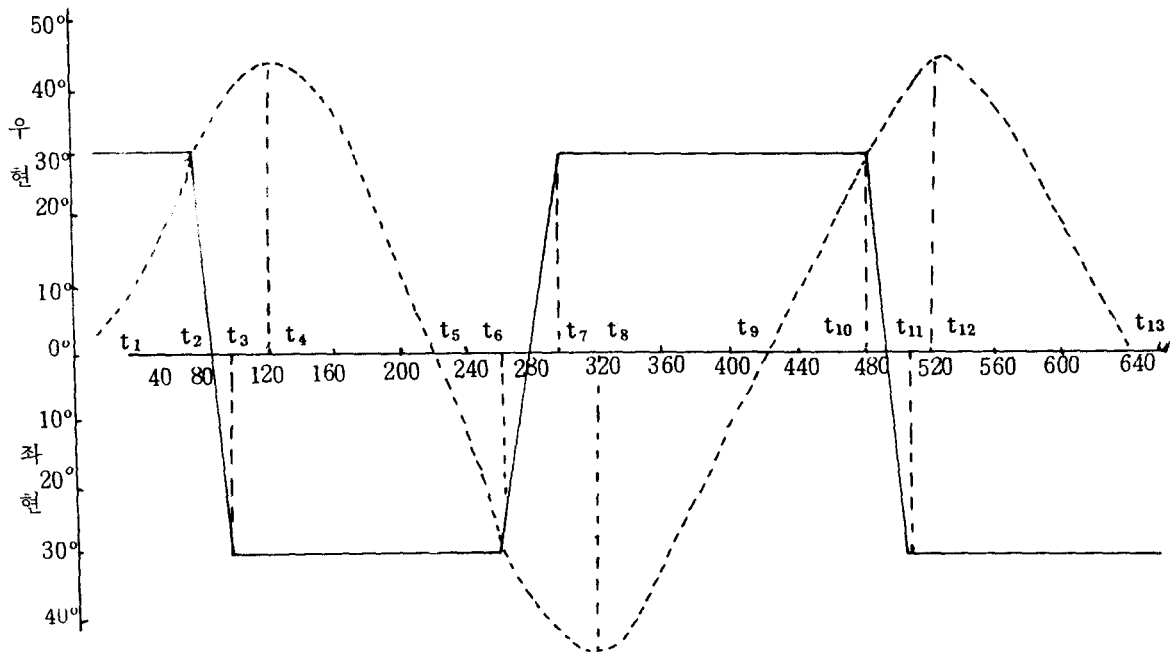
t	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640
H. d	18.5	29.8	39.0	41.8	40.5	36.0	29.8	20.8	11.0	0.8

主要 Point

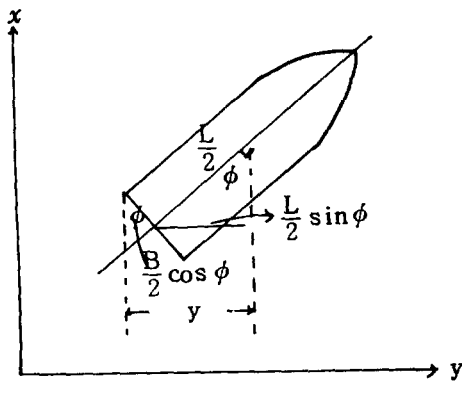
主要時點	t ₀	t ₁	t ₂	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂	t ₁₃
時間	0	12	73	102	117	217	267	295	313	481	509	524	642

數值計算은 한 바다호와 같은 方法으로 行한 結果

$K=0.0241/\text{sec}$ $T=5.3 \text{ sec}$ 이다.



附錄 III. 式 (7)의 解



그림에서

$$Y \geq \frac{L}{2} \sin \phi + \frac{B}{2} \cos \phi \quad (\phi = K\delta \cdot t_2)$$

式 (5)에서 부터

$$Y = R - R \cos K\delta \cdot t_2$$

따라서

$$R - R \cos \phi \geq \frac{L}{2} \sin \phi$$

$$\frac{R}{\cos \phi} - R \geq \frac{L}{2} \tan \phi + \frac{B}{2}$$

변형하면

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

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

$\tan\phi=x$ 라 놓고 양변을 제곱하여 x 에 대해 정리하면

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

여기서 $L^2-4R^2 < 0$ 임이 분명하므로

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

위의 부등식을 풀면

$$x\leq \frac{BL+2RL-2R\sqrt{B^2+L^2+4BR}}{4R^2-L^2}$$

$$\text{또는 } x\geq \frac{BL+2RL+2R\sqrt{B^2+L^2+4BR}}{4R^2-L^2}$$

그런데

$$x=\tan K\delta_0, t_2\leq \frac{BL+2RL-2R\sqrt{B^2+L^2+4BR}}{4R^2-L^2}$$

意味가 없으므로

$$x=\tan K\delta_0, t_2\geq \frac{BL+2RL+2R\sqrt{B^2+L^2+4BR}}{4R^2-L^2}$$

따라서

$$K\delta_0, t_2\geq \tan^{-1} \frac{BL+2RL+2R\sqrt{B^2+L^2+4BR}}{4R^2-L^2}$$

$K\delta_0$ 는 상수이고 양의 값이므로

$$t_2\geq \frac{1}{K\delta_0} \tan^{-1} \frac{BL+2RL+2R\sqrt{B^2+L^2+4BR}}{4R^2-L^2}$$