

避航操船時の 避航開始基準要素의 量的把握 및 그 利用에 관한 研究

金 基 允

釜慶大學校

(1999년 1월 21일 접수)

The Quantitative Analysis on the Criterion Elements for Collision Avoidance Action in Collision Avoidance Maneuver and Its Application

Ki-Yun KIM

Pukyong National University

(Received January 21, 1999)

Abstract

The Steering and Sailing Rules of International Regulation for Preventing Collisions at Sea now in use direct actions to avoid collision when two power-driven vessels are meeting on reciprocal or nearly reciprocal courses so as to involve risk of collision. But these rules do not refer to the minimum relative distances and safety relative distances between two vessels when they should take such actions.

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

The values of maneuvering indices being figured out through experiments of 20 actual ships of small, medium, large and mammoth size and applied to calculating formulas, the minimum relative distances and safety relative distances were calculated.

The main results were as follows.

1. It was confirmed that the criterion elements for collision avoiding actions in head-on situation of two vessels shall be the minimum relative distances and safety relative distances between them.

2. On the assumption that two vessels same in size and condition were approaching each other in head-on situation, the minimum relative distance of small vessel (GT : 160~650tons) was found to be about 4.7 times her own length, and those of medium (GT : 2,300~4,500tons), large (GT : 15,000~62,000tons) and mammoth (GT : 91,000~194,000tons) vessels were found to be about 5.2 times, about 5.2 times and about 6.1 times their own lengths respectively.

3. On the assumption that two vessels same in size and condition were approaching each other in head-on situation, the safe relative distance of small vessel (GT : 160~650tons) was found to be about 6.8 times her own length, and those of medium (GT : 2,300~4,500tons), large (GT : 15,000~62,000tons) and mammoth (GT : 91,000~194,000tons) vessels were found to be about 9.0 times, about 6.3 times, and about 8.0 times their own lengths respectively.

4. It is considered to be helpful for the safety of ship handling that the sufficient safe relative distances for every vessels shall be more than about 12~14 times, which are 2 times minimum relative distance, their own length on above assumption.

記號說明

- T : 추종성지수
- K : 선회성지수
- δ : 타각
- t_1 : 조타에 요하는 시간
- B : 배의 형폭(B.Md)
- L : 배의 형심(D.Md)
- D : 배의 전장(L.O.A)
- ϕ : 회두각
- δ_0 : 일정타각
- δ_r : 타각오차
- $\dot{\phi}$: 회두각속도
- $\phi_e, \phi'_e, \phi''_e$: ϕ 의 최대치
- t_e, t'_e, t''_e : ϕ 가 최대로 되는 시간
- t_0, t'_0, t''_0 : ϕ 가 0이 되는 시간
- $A_e(A_0), A'_e(A'_0), A''_e(A''_0)$: $t=0$ 부터 시작하여 $t_e(t_0), t'_e(t'_0), t''_e(t''_0)$ 의 각 점까지 타각곡선과 t 축이 만드는 면적

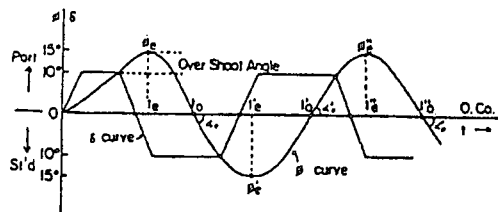


Fig. 1. Curves of Z test.

緒 論

요즘 세계적으로 선박량이 증가하고 선박이 전

용선화 및 대형화 됨에 따라, 해상교통은 폭주하고 피항조선은 복잡하여 해난사고는 격증하고 있다. 그러므로 최근 20여년 동안 선박충돌해난을 방지하기 위한 연구가 선박의 조종성과 운동특성을 연구하는 분야에서 활발이 연구되고 있다¹⁻⁷⁾. 또한 최근 IMO에서는 선박의 항행안전성을 확보하는 관점에서, 선박에 요구되는 항행안전과 피항조선에 필요한 최소한도의 선박조종성의 기준과 조선 Manual의 국제적 기준을 설정하는 움직임도 보이고 있다⁸⁻⁹⁾.

현행 국제해상충돌예방규칙에서는 마주치는 상태에서 상호 충돌의 위험을 안고 접근하는 선박들이 취하여야할 피항동작에 대하여 규정하고 있으나, 규칙 조문의 정신은 각 선박이 충분한 시간과 거리를 두고 피항동작에 들어가는 것을 원칙으로 하고 있을 뿐, 이들이 어떻게 접근하였을 때 피항동작을 개시하여야 하는지 기준이 되는 피항개시 기준요소에 대하여는 구체적인 언급이 없다.

따라서, 피항조선시 실제로 피항을 개시하는 시기의 기준이 되는 시간과 거리 등 제요소를 산출하는 방법을 연구하여야 할 필요성이 절실히 요구되고 있으나, 지금까지 이들 피항개시의 기준요소를 선박의 운동특성이나 조종성에 기초를 두고, 선박 상호간의 충돌방지를 위한 동작에 적용하여 연구한 것은 매우 드물다¹⁰⁾.

본 연구에서는 피항개시의 기준요소를 항법규칙을 해석·적용하는데 척도가 되도록 하며, 또한 실제의 피항조선에 활용케 하기위하여, 이것을 선체운동학적인 관점에서 해석·연구였으며, 또한 실선시험에서 구한 20척의 소형, 중형, 대형 및 초대형선박들의 조종성지수를 이용하여 피항개시의

기준요소를 산출하고 이를 검토·고찰하였다.

理 論

1. 國際海上衝突豫防規則에서의 航法上的 避航動作

현행 국제해상충돌예방규칙에서의 두 척의 동력선이 정면으로 마주치는 방향 또는 거의 정면으로 마주치는 방향으로 접근하는 경우, 항법상의 피항 동작은 두 선박이 침로를 서로 우전하여 다른 선박과 좌현대 좌현으로 항과하여야 한다고 규정하고 있다. 그러나 두 선박이 어느 정도로 접근되었을 때 피항개시를 하여야 충돌을 면할 수 있는가에 대하여는 전혀 언급되지 않고 있으며, 다만 동규칙 제 8 조(d)항에서 "타선과의 충돌 회피동작은 안전한 거리를 두고 항과할 수 있도록 취해져야 한다"는 것만을 언급하고 있으므로 피항을 개시할 때 기준이 되는 요소인 선체의 동작이 차지하는 시간과 두 선박간의 거리 등에 관한 조선자의 양적파악에 대하여는 전혀 언급이 없다. 따라서 이것들의 결정은 단순히 조선자의 판단에 일임하였다고 볼 수밖에 없다.

그러나 해상의 선박 특히 대형선박은 전타후 상당한 시간이 경과하여야 선체의 동작효과가 나타나므로 이들 시간이나 거리 등의 결정은 조선자의 단순한 경험이나 감각적인 판단에 의하여 이루어져서는 안되며, 선박의 운동특성을 기초로 하여 수리적인 계산에 의하여 결정되어야 한다고 보아진다.

선박이 피항동작을 취할 때는 주기관의 운전 상태를 바꾸면서 할 수도 있지만 일반적으로 긴급한 경우를 제외하고는 주기관의 운전상태는 바꾸지 않는다. 따라서, 본 논문에서도 주기관의 운전상태는 그대로 유지하고 조타에 의한 변침동작만으로 피항 동작이 이루어지며 동작을 취하는 구역에는 항해장해물이나 제 3의 선박이 없는 것으로 가정한다.

2. 避航開始基準要素

1) 避航動作에 대한 回頭遲延 및 回頭前의 前進距離

선박이 피항동작을 취하고자 일정각도 δ_0 로 전

타하여 회두운동을 시작한다고 가정하면, 실제적인 회두지연은 $T + \frac{1}{2}t_1$ 으로 표시되고 회두전의 전진거리는 D_R 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_R = V(T + \frac{1}{2}t_1) \tag{1}$$

2) 避航動作에 대한 回頭後의 前進距離 및 正橫移動距離

전타명령을 내린 지점을 원점으로 하여 회두후의 전진거리 x 및 정횡이동거리 y 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

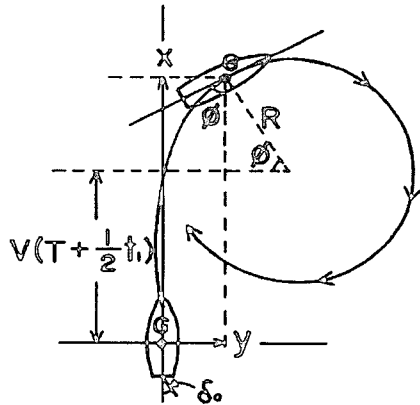


Fig. 2. Displacement from original point centered at rudder ordered position.

3) 最小避航開始距離

두 선박이 정면으로 마주치는 상태에서 규칙에 규정된 피항동작을 취할 때 각 선박의 원침로에서의 정횡이동거리 y 즉 $R - R \cos K\delta_0 t$ 가 Fig. 2에서 원침로 이탈을 위한 자선의 최소정횡거리인 $\frac{L}{2} \sin K\delta_0 t + \frac{B}{2} \cos K\delta_0 t$ 값보다 크다면 충돌을 면하게 된다.

따라서,

$$R - R \cos K\delta_0 t \geq \frac{L}{2} K\delta_0 t + \frac{B}{2} \cos K\delta_0 t \tag{3}$$

가 된다. (3)식에서 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

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

그러므로 한 선박이 전타선회하여 원침로상으로부터 완전히 이탈할 때까지의 전진거리 x 는 (4)식에 의해서 구한 t 의 값을 (2)식의 첫째 식에 대입하여 계산할 수 있다. 따라서, Fig. 3에서와 같이 A, B 두 선박이 정면으로 마주치는 방향으로 접근하고 있을 때 피항동작을 취할 최소피항개시거리 D_m 의 산출식은 다음과 같다.

$$D_m = \left. \begin{aligned} &(T_A + \frac{1}{2} t_{1A})V_A + R_A \sin K_A \delta_{0A} t_A \\ &+ (T_B + \frac{1}{2} t_{1B})V_B + R_B \sin K_B \delta_{0B} t_B \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

단, 첨자 A, B는 A선, B선을 의미함.

똑 같은 크기와 성능을 가진 두 선박이 접근하

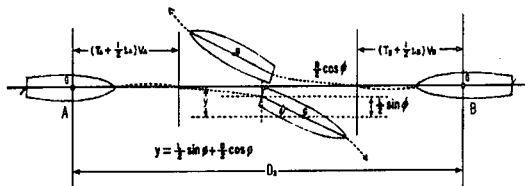


Fig. 3. Collision avoiding action and minimum transverse displacement from original course line to avoid collision.

고 있다고 가정하면 D_m 의 산출식은 다음과 같다.

$$D_m = (2T + t_1)V + 2R \sin K \delta_0 t \quad (6)$$

그러므로 최소피항개시거리 D_m 는 똑같은 크기와 성능을 가진 두 선박이 마주치는 방향으로 접근 중 이 거리가 되었을 때 두 선박이 규칙에 의한 올바른 피항동작으로 피항개시를 하였다면 충돌을 면할수 있는 최소거리가 된다. 따라서 피항을 개시할 때 기준이 되는 요소는 최소피항개시거리가 되며, 이 거리는 선박의 조종성지수 조타에 요하는 시간, 속력, 선회반경 및 회두각에 의하여 결정된다.

4) 安全避航開始距離

최소피항개시거리는 두 선박 중 어느 한 선박이 항법상의 착오를 일으키거나 또는 기타의 사유로 인하여 올바른 피항동작을 취하지 않았을 경우에는 피항하는데 시간적으로 충분한 여유는 없는 거리이다.

안전피항개시거리는 항법규칙 제8조(d)항에서 언급하고 있는 바와 같이, 두 선박이 안전하게 항과 할 수 있는 거리로서, 혹시 두 선박 중 한 선박이 피항조치를 잘못된 경우에도 그것을 시정하고 충돌을 피하여 항과하는데 여유가 있는 거리이다. 마주치는 상태중에서 가장 충돌이 많이 일어나는 경우는 Fig. 4와 같이 각 조선자가 판단을 달리하고 있을 때 일어 날 수 있다. A선은 좌현대좌현으

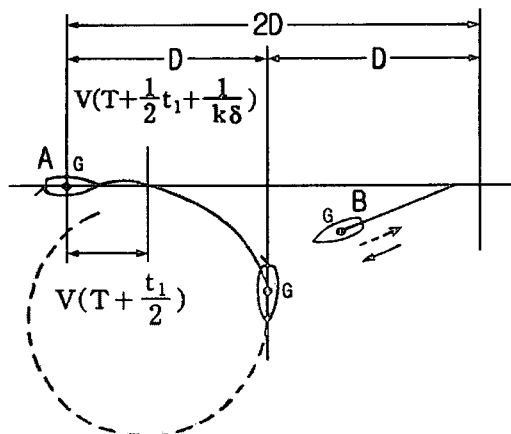


Fig. 4. Safe relative distance to avoid collision in misconducted status.

로 올바르게 항과하기 위해 우선하고, B선은 우현 대우현항과로 착각하여 좌전하는 경우이다.

Fig. 4에서 똑같은 크기와 성능을 가진 A, B 두 선박이 정면으로 마주치는 방향으로 접근 중 B선이 피항동작을 잘못 취하였을 때, A선이 선회피항하여, 회두각도가 90°를 넘을 때까지, B선은 그 사이에 감속피항, 주기역전에 의한 급속정선, 또는 변침피항에 의하여 충돌을 피할수 있으며, 충돌을 피하여 항과하는데도 시간적으로 충분한 여유가 있다.

따라서 이 때의 안전피항개시거리 D_s 의 산출식은 다음과 같다.

$$D_s = 2V(T + \frac{1}{2}t_1 + \frac{1}{K\delta}) \quad (7)$$

그러므로 결국 피항을 개시할 때 기준이 되는 요소는 최소피항개시거리와 안전피항개시거리가 된다.

資料 및 方法

1. 試驗船의 要目 및 試驗條件

실선 시험에 이용한 160~650ton급 소형선 6척, 2,300~4,500ton급 중형선 4척, 1,500~6,200ton급 대형선 5척 및 91,000~194,000ton급 초대형선 5척 총 20척 시험선의 요목 및 시험조건은 Table 1 및 Table 2와 같다.

2. 試驗方法 및 操縱性指數 計算方法

시험방법은 Z시험을 하기위하여 시험선을 전속 전진시키면서 타를 좌우로 잡아, 소정의 타각에 이르도록 조타명령을 내리면서 5초 간격의 각 시점의 선수방위를 기록하고, 또한 타각과 선수방위가 같아 질 때의 시간 및 주요시점의 시간, 선수방위, 타각을 기록하여 타각 30°의 Z시험을 행하였다.

조종성지수를 계산하는 방법은 시험자료를 이용하여 (8),(9)식에 의한 방법^{14,21)}으로 계산하였다.

Table 1. Particulars of experimental ships

Ship's size	Experimental ship's name	L (m)	B (m)	D (m)	GT (ton)	M.E	Speed (kt)	RPM
160~650ton (Small)	A	30.10	7.00	2.80	159.71	800 HP	10.0	820
	B	34.00	6.60	2.85	160.38	750 PS	12.0	660
	C	43.15	7.00	3.25	244.0	1,000 PS	11.8	665
	D	52.25	8.80	3.50	350.0	1,200 PS	12.0	380
	E	37.00	8.00	3.70	435.0	1,200 PS	10.0	640
	F	58.10	11.00	4.80	653.0	1,800 PS	14.7	240
2300~4500ton (Medium)	G	81.63	13.60	9.20	2,275.70	3,600 HP	12.0	235
	H	98.00	14.50	9.50	3,492.0	3,800 HP	16.6	230
	I	92.00	14.30	9.30	3,500.0	3,700 HP	14.0	220
	J	93.00	14.30	7.35	3,700.0	3,750 HP	12.0	225
15,000~62,000ton (Large)	K	133.00	18.60	10.40	15,160.0	2,200 SHP	14.5	120
	L	154.00	19.60	12.50	16,000.0	21,000 SHP	14.0	110
	M	157.00	20.00	11.80	20,583.0	23,000 SHP	13.8	125
	N	150.00	20.50	12.90	22,000.0	22,000 SHP	15.5	120
	O	250.00	40.00	22.00	62,189.0	24,000 SHP	16.0	110
91,000~194,000ton (Mammoth)	P	280.00	47.00	35.00	91,098.0	27,000 SHP	14.5	90
	Q	295.00	47.40	24.80	101,235.0	28,000 SHP	16.0	90
	R	344.40	51.80	26.50	138,764.0	36,000 SHP	16.0	85
	S	276.00	43.00	22.20	162,200.0	37,000 SHP	16.5	80
	T	280.00	47.00	35.00	194,639.0	3,800 SHP	14.5	80

Table 2. Trial condition of experimental ships

Experimental ship's name	F.d (m)	A.d (m)	Disp (ton)	VSBY	Wind direction (°)	Wind force
A	1.6	3.4	290	Fair	315	1
B	1.20	2.80	320	Fair	045	1
C	1.69	3.81	480	Fair	135	2
D	1.95	3.50	680	Fair	225	1
E	1.63	3.85	576	Fair	030	2
F	2.80	3.60	1,027	Fair	330	2
G	3.20	5.60	1,933	Fair	200	2
H	3.05	5.60	3,450	Fair	250	3
I	3.10	5.70	5,320	Fair	290	2
J	3.15	5.68	4,925	Fair	300	2
K	6.85	7.20	31,000	Fair	295	2
L	6.70	7.10	30,895	Fair	310	2
M	7.02	7.75	39,872	Fair	225	1
N	7.10	7.90	41,000	Fair	260	2
O	7.25	8.33	115,281	Fair	265	2
P	18.62	17.10	174,639	Fair	220	2
Q	16.80	17.64	191,264	Fair	045	3
R	8.30	9.40	198,592	Fair	023	3
S	15.80	16.68	298,245	Fair	300	3
T	14.90	15.50	368,620	Fair	285	3

$$\left. \begin{aligned} \phi_e &= K\delta\gamma t_e + KA_e \\ \phi'_e &= K\delta\gamma t'_e + KA'_e \\ \phi''_e &= K\delta\gamma t''_e + KA''_e \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} T\phi(t_0) &= T\delta_r\alpha_0 = K\delta\gamma t_0 + KA_0 \\ T\phi(t'_0) &= T\delta_r t'_0 = K\delta\gamma t'_0 + KA'_0 \\ T\phi(t''_0) &= T\delta_r t''_0 = K\delta\gamma t''_0 + KA''_0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

結果 및 考察

1. Z 試驗結果

소형시험선 "A" 호(M. S. HEUIMANBONG), 중형시험선 "G" 호(M. S. SAEBADA) 및 초대형시험선 "Q" 호(M. S. GOLDEN CLOVER)의 30° Z 시험 결과를 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

2. 操縱性指數 K 및 T

시험선 20척의 30° Z 시험에서의 조종성지수 K 및 T의 계산결과는 Table 3, Table 4, Table 5 및 Table 6과 같다.

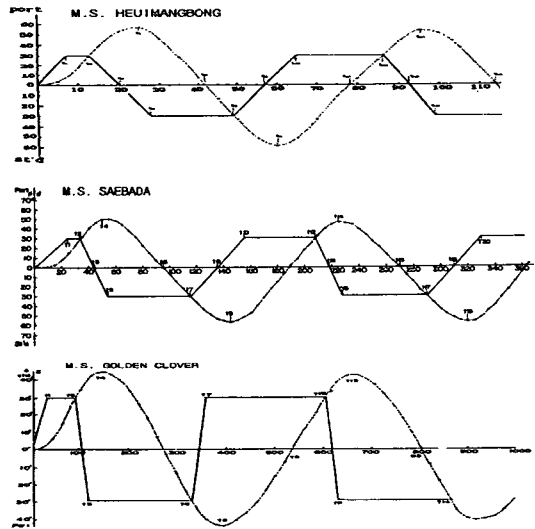


Fig. 5. 30° Z-test curves of experimental ships.

Table 3. Calculated maneuvering indices K and T of experimental ships(160~650ton)

Experimental ship's name	A	B	C	D	E	F
K	0.147	0.145	0.152	0.13	0.09	0.093
T	4.18	4.5	5.0	1.24	5.0	3.9

Table 4. Calculated maneuvering indices K and T of experimental ships(2,300~4,500ton)

Experimental ship's name	G	H	I	J
K	0.055	0.042	0.05	0.04
T	7.0	6.0	10	1.2

Table 5. Calculated maneuvering indices K and T of experimental ships(15,000~62,000ton)

Experimental ship's name	K	L	M	N	O
K	0.09	0.07	0.09	0.08	0.02
T	28.6	26.6	27.0	25.1	27.0

Table 6. Calculated maneuvering indices K and T of experimental ships(91,000~194,000ton)

Experimental ship's name	P	Q	R	S	T
K	0.02	0.018	0.027	0.04	0.03
T	25.0	43.0	53.0	61.8	67.0

Table 7. Minimum relative distances experimental ships of small size(160~650ton)

Experimental ship's name	L (m)	B (m)	Disp (ton)	K (l/sec)	T (sec)	t ₁ (sec)	t (sec)	R (m)	V (m/sec)	δ ₀ (°)	M.R. Dist (D _m) (m)	D _m /L	M · D _m /L
A	30	7	290	0.147	4.18	7	7.7	66	5.1	30	152	5.0	
B	34	3.6	320	0.145	4.5	6	7.1	82	6.2	30	177	5.2	
C	43	7	480	0.152	5	6	8.2	77	6.1	30	191	4.4	4.7
D	52.8	8.8	680	0.13	1.24	9	9.8	91	6.2	30	184	3.5	
E	37	8	576	0.09	5.0	7	10.1	108	5.1	30	186	5.0	
F	58	11	1,027	0.09	3.9	10	10.2	161	7.6	30	284	4.8	

M.D_m/L : Mean values of D_m/L

Table 8. Minimum relative distances experimental ships of medium size(2,300~4,500ton)

Experimental ship's name	L (m)	B (m)	Disp (ton)	K (l/sec)	T (sec)	t ₁ (sec)	t (sec)	R (m)	V (m/sec)	δ ₀ (°)	M.R. Dist (D _m) (m)	D _m /L	M · D _m /L
G	82	14	1,933	0.055	7	24	17.1	215	6.2	30	439	5.4	
H	98	14.5	3,450	0.042	6	13	16.0	386	8.5	30	379	4.9	5.2
I	92	14.3	5,320	0.05	10	14	16.7	275	7.2	30	378	5.2	
J	93	14.3	4,925	0.04	12	18	19.9	296	6.2	30	500	5.3	

M.D_m/L : Mean values of D_m/L

Table 9. Minimum relative distances experimental ships of large size(15,000~62,000ton)

Experimental ship's name	L (m)	B (m)	Disp (ton)	K (l/sec)	T (sec)	t ₁ (sec)	t (sec)	R (m)	V (m/sec)	δ ₀ (°)	M.R. Dist (D _m) (m)	D _m /L	M · D _m /L
K	133	18.6	31,000	0.09	28.6	13	18.4	169	7.5	30	770	5.8	
L	154	19.6	30,895	0.07	26.6	13	22.6	196	7.2	30	765	5.0	
M	157	20.0	39,872	0.09	27.0	15	22.0	148	7.0	30	738	4.9	5.2
N	150	20.5	41,000	0.08	25.1	14	19.9	190	8.0	30	795	5.3	
O	250	40	115,281	0.02	27.0	15	40.7	782	8.3	30	1212	4.8	

3. 最小避航開始距離

대양에서 피항동작을 취하는데는 30° 타각을 자주 사용하므로 소형(160~650ton), 중형(2,300~4,500ton), 대형(1,500~6,200ton) 및 초대형(91,000~194,000ton) 시험선들의 Z시험에서 구한 조종성지수를 이용하여 (4)식 및 (6)식에 의해 최소피항개시거리를 계산하면 Table 7, 8, 9, 10과 같으며, 이들을 그림으로 나타내면 Fig. 6과 같다.

최소피항개시거리는 소형선에서는 자선길이의 약 4.7배 중형 및 대형선에서는 자선길이의 약 5.2배, 초대형선에서는 약 6.1배로서 가장크며 선박이 클수록 약간 증가되는 경향을 나타내었다. 또 이들의 평균은 약 5.3배가 된다.

4. 安全避航開始距離

소형, 중형, 대형 및 초대형 시험선들의 Z시험에서 구한 조종성지수를 이용하여 (7)식에 의하여 안

전피항개시거리를 계산하면 Table 11, 12, 13, 14와 같으며, 이들을 그림으로 나타내면 Fig. 7과 같다.

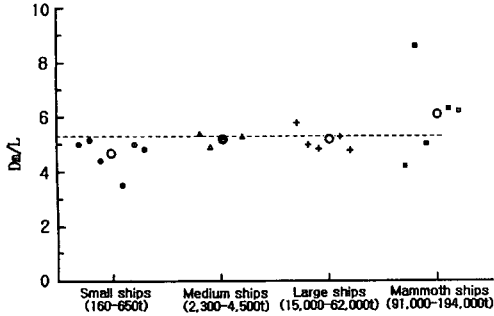


Fig. 6. Distribution of the ratios, minimum relative distances to lengths(D_m/L) of experimental ships.

- note 1) ● : D_m/L of experimental ships of small size.
- 2) ▲ : D_m/L of experimental ships of midium size.
- 3) + : D_m/L of experimental ships of large size.
- 4) ■ : D_m/L of experimental ships of mammoth size.
- 5) ○ : Mean values of D_m/L .
- 6) -- : Mean values of total D_m/L .

안전피항개시거리는 소형선에서는 자선길이의 약 6.8배, 중형선에서는 자선길이의 약 9.0배, 대형선에서는 약 6.3배, 초대형선에서는 약 8.0배가 되어, 중형선에서 가장 크다. 또 이들의 평균은 약 7.3배가 된다.

한편 안전피항개시거리는 최소피항개시거리보다 평균 약 1.4배 크나, 중형선에서는 약 1.7배로써 가장 크다.

따라서, 최소피항개시거리와 안전피항개시거리는 선박의 크기에 따라 차이는 있으나, 최소피항개시거리를 택할때는 최소한 자선길이의 약 6~7배, 안전피항개시거리를 택할때는 이보다 2배가 큰 자선길이의 약 12~14배의 피항개시거리를 취하면 피항조선상 지장이 없는 피항개시거리라 사료된다. 참고로 길이 100m의 중형선과 350m의 초대형선의 경우로 예를 들면 최소피항개시거리는 약 0.4mile, 약 1.3mile, 안전피항개시거리는 약 0.8mile, 약 2.7mile의 거리가 된다.

Table 10. Miniam relative distances experimental ships of mammoth size(91,000~194,000ton)

Experimental ship's name	L (m)	B (m)	Disp (ton)	K (1/sec)	T (sec)	t_1 (sec)	t (sec)	R (m)	V (m/sec)	δ_0 (°)	M.R. Dist (D_m) (m)	D_m/L	M · D_m/L
P	280	47	174,639	0.02	25	16	47.8	715	7.5	30	1181	4.2	
Q	295	47.4	191,264	0.018	102	15	47.3	869	8.2	30	2545	8.6	
R	344	52	139,192	0.027	53	15	47.9	580	8.2	30	1719	5.0	6.1
S	276	43	298,245	0.04	61.8	16	36.4	401	8.4	30	1726	6.3	
T	280	47	368,620	0.03	67	17	43.4	477	7.5	30	1733	6.2	

Table 11. Safety relative distances of experimental ships of small size(160~650ton)

Experimental ship's name	L (m)	$T+1/2t_1$ (sec)	K (1/sec)	δ_0 (rad)	V (m/sec)	ϕ (°/sec)	D_s (m)	D_s/L	M · D_s/L
A	30.0	7.68	0.147	0.524	5.1	4.41	210.76	7.0	
B	34.0	7.50	0.145	0.524	6.2	4.35	256.20	7.5	
C	43.0	8.00	0.152	0.524	6.1	4.56	250.80	5.8	6.8
D	52.3	5.74	0.130	0.524	6.2	3.90	253.20	4.8	
E	37.0	8.50	0.090	0.524	5.1	2.70	303.00	8.1	
F	58.0	8.90	0.090	0.524	7.6	2.70	457.50	7.8	

Table 12. Safety relative distances of experimental ships of medium size(2,300~4,500ton)

Experimental ship's name	L (m)	$T+1/2t_1$ (sec)	K (1/sec)	δ_0 (rad)	V (m/sec)	ϕ (°/sec)	D_s (m)	D_s/L	M · D_s/L
G	82	19.0	0.055	0.524	6.2	1.65	666.0	8.1	
H	98	12.5	0.042	0.524	8.5	1.26	984.9	10.0	9.0
I	92	17.0	0.050	0.524	7.2	1.50	794.4	8.6	
J	93	21.0	0.040	0.524	6.2	1.20	852.0	9.2	

Table 13. Safety relative distances of experimental ships of large size(15,000~62,000ton)

Experimental ship's name	L (m)	T+1/2t ₁ (sec)	K (1/sec)	δ ₀ (rad)	V (m/sec)	φ (°/sec)	Ds (m)	Ds/L	M · Ds/L
K	133	35.1	0.09	0.524	7.5	2.7	844.6	6.4	
L	154	33.1	0.07	0.524	7.2	2.1	869.2	5.6	
M	157	34.5	0.09	0.524	7.0	2.7	780.0	5.0	6.3
N	150	32.1	0.08	0.524	8.0	2.4	895.2	6.0	
O	250	34.5	0.02	0.524	8.2	0.6	2131.0	8.5	

Table 14. Safety relative distances of experimental ships of mammoth size(91,000~194,000ton)

Experimental ship's name	L (m)	T+1/2t ₁ (sec)	K (1/sec)	δ ₀ (rad)	V (m/sec)	φ (°/sec)	Ds (m)	Ds/L	M · Ds/L
P	280	33	0.02	0.524	7.5	0.6	1926.2	6.9	
Q	295	109.5	0.018	0.524	8.2	0.54	3534.6	12.0	
R	344	60.5	0.027	0.524	8.2	0.81	2151.4	6.3	8.0
S	276	69.8	0.04	0.524	8.4	1.2	1974.1	7.2	
T	280	75.5	0.03	0.524	7.5	0.9	2086.7	7.5	

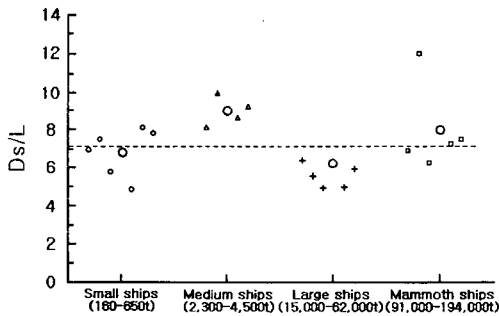


Fig. 7. Distribution of the ratios, minimum relative distances to lengths(Ds/L) of experimental ships.

- note 1) ○ : Ds/L of experimental ships of small size.
 2) △ : Ds/L of experimental ships of midium size.
 3) + : Ds/L of experimental ships of large size.
 4) □ : Ds/L of experimental ships of mammoth size.
 5) ○ : Mean values of Dm/L.
 6) -- : Mean values of total Dm/L.

要 約

현행 국제해상충돌예방규칙에서의 두 척의 동력선이 정면으로 마주치는 방향 또는 거의 정면으로 마주치는 방향으로 접근하는 경우, 항법상 피항동작은 양 선박이 침로를 우선하여 좌현대 좌현으로 항과하여야 한다고 규정하고 있으나, 양 선박이 어느 정도로 접근하였을 때 피항동작을 개시하여야 하는지 피항개시 기준요소에 대하여는 전

혀 언급되지 않고 있다. 그러므로 본 논문에서는 피항개시기준요소를 구하기 위하여, 이를 선체운동학적 관점에서 해석·연구하였으며, 또한 실선시험에서 구한 20척의 소형, 중형, 대형 및 초대형 선박의 조종성지수를 이용하여 피항개시기준요소를 산출하고, 이를 검토·고찰하였다.

이 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 피항개시기준요소는 선박의 조종성 지수, 조타에 요하는 시간, 속도, 선회반경 및 회주각에 의하여 결정되는 최소피항개시거리와 안전피항개시거리가 된다.
2. 똑같은 크기와 성능을 가진 두 선박이 충돌의 위험이 내포되도록 마주치는 방향 또는 거의 마주치는 방향에서 통상의 항해속력으로 접근하는 경우, 두 선박이 동시에 30°의 타각으로 우선하여 피항동작을 취할 때 최소피항개시거리는 소형선(160~650ton)에서는 자선길이의 약 4.7배, 중형선(2,300~4,500ton) 및 대형선(15,000~62,000ton)에서는 자선길이의 약 5.2배, 초대형선(91,000~194,000ton)에서는 자선길이의 약 6.1배이며, 이들의 평균값은 자선길이의 약 5.3배가 된다.
3. 똑같은 크기와 성능을 가진 두 선박이 충돌의 위험이 내포되도록 마주치는 방향 또는 거의 마주치는 방향에서 통상의 항해속력으로 접근하는 경우, 두 선박이 동시에 30° 타각을 사

용하여 피항동작을 취할 때 안전피항개시거리
리는 소형선(160~650ton)에서는 자선길이
의 약 6.8배, 중형선(2,300~4,500ton)에서는
자선길이의 약 9.0배, 대형선(15,000~
62,000ton)에서는 자선길이의 약 6.3배, 초
대형선(91,000~194,000ton)에서는 자선 길
이의 약 8.0배이다. 이들의 평균값은 자선길
이의 약 7.3배가 되고 최소피항개시거리보다
약 1.4배 크다.

4. 최소피항개시거리와 안전피항개시거리는 선
박의 크기에 따라 차이가 있으나, 실제 대양
에서 최소피항개시거리를 택할 때는 최소한
자선길이의 약 6~7배, 안전피항개시거리를
택할 때는 이보다 2배 큰 자선길이의 약 12~
14배의 피항개시거리를 취하면 피항조선상
지장이 없는 피항개시거리라고 사료된다.
5. 특정한 선형에 대하여는 본 연구의 계산법에
의한 최소피항 개시거리와 안전피항개시거리
를 산출하여 두면 감각에 의한 조전방법으로
야기되는 충돌해난사고를 지양할 수 있을 것
으로 사료된다.

參考文獻

- 1) 原潔(1977) : 避航操船의 信賴性工學的考察, 關西
造船協會誌 167, 12~19.
- 2) 日本海難防止協會(1980) : 衝突海難防止に關する
調査研究報告書.
- 3) 今津準馬(1977) : 衝突危險の判定と避航處置, 避航
操船シンポジウム.
- 4) 原潔(1977) : 避航能力と避航限界, 避航操船シンポ
ジウム.
- 5) 今津・小山(1984, 1985) : 避航判定基準の最適化
に關する研究-I, II, III, 日本航海學會論文集 71,
72, 73, 123~130, 23~30, 19~26.
- 6) 長可(1980) : 避航の判斷と操船者の特性-III, 日本
航海學會論文集 63, 19~28.
- 7) 原潔・野本謙作・小順田敏(1981) : 操船シミュレ
タによる避航操船の研究-I, 日本航海學會論文集
64, 79~86.
- 8) 貴島勝郎(1985) : 操縱性基準とManeuvering
Book-letに關する國際動向, 日本造船學會運動性能
研究委員會 第2回シンポジウム.
- 9) 日本造船研究協會 PP.742 分科會(1988) : 船舶の
操縱性能に關するIMOの動向, 日本造船研究協會
研究資料, 164R, 2~3.
- 10) 尹点東(1988) : 國際海上衝突豫防規則 및 關係된
國內法規解説, 亞成出版社, 釜山, 162~172.
- 11) 高塚裕(1971) : 海上衝突豫防法の實務的解説, 成山
堂, 東京, 41~42.
- 12) 岩井聰(1970) : 操船論, 海文堂, 東京, 45~47.
- 13) 金基允(1996) : 避航操船時の維持船の避航開始距
離에 관한 研究, 韓國漁業技術學會誌 32(4), 372~
380.
- 14) 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.
- 15) 佐藤修臣(1981) : 船舶衝突の實能, 日本航海學會論
文集 65, 163~169.
- 16) 小瀬・兒島・高橋(1991) : 避航エキスパートシステ
ムと航路航行シミュレーションに關する研究, 日本
航海學會論文集 84, 165~172.
- 17) 原潔(1991) : 輻輳海域における避航操船基準の有
効性, 日本航海學會論文集 85, 33~40.
- 18) 福戶・沼野・金湖・田中・奥住・今津(1992) : 操
船シミュレタ實驗にする避航開始位置の觀測, 日
本航海學會論文集 86, 49~55.
- 19) 日本海難防止協會(1976) : 超大型船操船の手引き,
成山堂, 東京, 25~35.
- 20) 日本海難防止協會(1980) : 海難防止指針, 成山堂,
東京, 20~45.
- 21) 金基允(1979) : “새바다”號의 操縱性能에 關한 研
究, 韓水誌 12(4), 209~215.
- 22) Philip Mandel(1976) : Principles of Naval
Architecture, SNAME, New York, 470.
- 23) A. Hammer, K Hara(1990) : Knowledge
Aquisition of Collision Avoidance Maneuver by
Shiphandling Simulator, Proc. of MARSIM &
ICSM' 90.
- 24) T. Koyama. Y. Jin(1987) : An Export System
Approach to Collision Avoidance, Proceedings of
7th Ship Control System Symposium.
- 25) Calvert. E(1973) : Comparison of two system for
Avoiding Collision, J. of Inst. Nav. 14, 13~30.
- 26) 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, 37, 東京, 53~57.