

실습선 가야호 충돌회피 동작에 관한 연구

김민석[†]
(부경대학교)

A Study on the Collision-avoidance Action of the T.S. Kaya

Min-Seok KIM[†]

Pukyung National University

(Received October 20, 2008 / Accepted January 22, 2009)

Abstract

With the increase of marine traffic capacity, marine accidents have also been increased for recent several years. Especially watch officer must maneuver not entering into the safety minimum approaching distances when two power-driven vessels are crossing.

The author calculated the safety minimum approaching distances to provide a navigator with them based on zig-zag motion by experimental ship.

The obtained results are summarized as follows :

1. The greatest distance is to be kept by the give way vessel to avoid collision when the crossing course angle is 90°. In this case the safety minimum approaching distance must be more than from 5 times to 11 times of her own length according to her size.
2. The watch officer of the give way vessel must always take an action to avoid collisions outside of the safety minimum approaching distance.
3. When the navigator used rudder to small angle than to large angle to avoid other vessel he must take action outside the sufficient safety minimum outside distances in advance.
4. Risk of collision in crossing situation is more greater in obtuse situation than in acute one.

Key words : Marine traffic capacity, Safety minimum approaching distances

I. 서론

1. 연구의 필요성

세계적으로 경제성장과 함께 국가 간의 물동량 증가는 선복량의 증가를 가져왔고 선복량의 증가는 해상교통의 폭주로 이어지면서 해상에서는 크

고 작은 여러 가지 형태의 선박간의 충돌사고도 증가추세에 있다. 특히 최근 들어 한국, 중국, 일본 간의 교역증대로 한국주변 수역에서는 많은 선박들의 통행으로 충돌사고는 매년 증가하고 있다. 그래서 각국은 이와 같은 해난사고 방지를 위한 여러 가지 대책을 강구하여 시행하고 있으며 그 일환으로 선박의 조종성능에 관한 연구도

[†] Corresponding author : 051-629-5994, minskim@pknu.ac.kr

활발하게 진행되고 있다. 국제해상충돌예방규칙에서는 여러 가지 상황에서 충돌의 위험이 있을 경우에 유지선과 피항선 간에 충돌의 방지를 위하여 취해야 할 조치들을 규정해 놓고 있으며 피항선의 동작만으로 충돌의 위험을 피할 수 없을 경우에는 유지선도 충돌의 위험을 피하기 위한 협력동작을 취할 것을 요구하고 있다. 그러나 피항선에 의한 동작만으로는 충돌의 위험을 피하기가 어려워 유지선의 협력동작이 필요할 정도이면 상황은 상당히 급박한 경우가 대부분일 것이다. 국제해상충돌예방규칙에서는 피항선과 유지선의 거리가 어느 정도일 때 유지선이 협력동작에 나설 것인지에 대해서는 구체적인 언급이 없어 이의 결정은 조선자에게 맡기고 있다. 그러므로 선박간의 피항동작은 운항자들의 경험이나 주관적 판단에 따를 수밖에 없으나 경험부족과 주관적 판단은 중대한 착오를 일으킬 가능성이 있기 때문에 실선시험을 통하여 이러한 상황을 좀 더 정량적으로 분석된 자료가 선박의 운항자들에게 제공된다면 막연한 주관적 판단에 의한 방법보다는 안전한 피항방법이 될 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 실선시험에 기초를 둔 피항개시거리를 산정하여 피항해야 할 때 그 시기를 놓치지 않도록 하기 위해 선박의 운항자들에게 이에 관한 기초자료를 제공하고자 하였다.

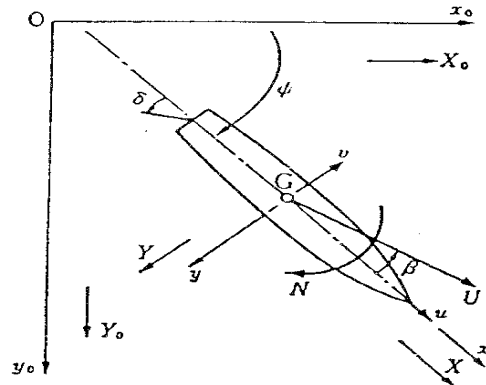
II. 이론적 고찰

1. 조종성지수 산출식

[Fig. 1]에서와 같이 지구표면에 고정된 직각좌표계에서 타각 δ 를 주었을 때 선박의 중심을 G라하면 선박의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다(岩井聰, 1982; 本田啓之輔, 1986)

$$X_0 = m\ddot{x}_0G$$

$$Y_0 = m\ddot{y}_0G$$



[Fig. 1] Coordinate system of a plane movement

$$N = I_{zz}\ddot{\Psi} \dots\dots\dots (1)$$

단, X_0, Y_0 : 선박에 작용하는 x_0, y_0 축 방향의 힘

\ddot{x}, \ddot{y} : x_0, y_0 축 방향의 가속도

m : 선박의 질량

Ψ : 선박의 회두 각가속도

N : 중심(G)을 통하여 z_0 축 주위에 작용하는 중심 moment

I_{zz} : 중심의 z_0 축 주위의 관성 moment

(1) 식을 배에 고정된 좌표계에 관한 식으로 변환하면 (2)식과 같다.

$$X = X_0 \cos \Psi + Y_0 \sin \Psi$$

$$Y = Y_0 \cos \Psi - X_0 \sin \Psi \dots\dots\dots (2)$$

$$\ddot{x}_0G = u \cos \Psi - v \sin \Psi$$

$$\ddot{y}_0G = u \sin \Psi + v \cos \Psi \dots\dots\dots (3)$$

(3)식을 한 번 더 미분하여 가속도 \ddot{x}_0, \ddot{y}_0 를 구하여 정리하면 (1)식은

$$X = m(\dot{u} - v\dot{\Psi})$$

$$Y = m(\dot{v} + u\dot{\Psi})$$

$$N = I_{zz}\ddot{\Psi} \dots\dots\dots (4)$$

로 나타낼 수 있다(野本謙作, 1970).

단, X : 선박에 작용하는 선수미방향의 힘

Y : 선박에 작용하는 횡방향의 힘

v, \dot{v} : 횡방향의 선속 및 가속도

Ψ : 회두각속도

(4)식에서 조타에 의한 회두운동은 전진속도의 영향은 적으므로 첫째 식은 무시하고 둘째 및 셋째 식에 작용하는 함수를 대입하여 무차원화하여 선체운동에 관한 미분방정식을 만들면, (5)식과 같다.

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \Psi}{dT^2} + (T_1 + T_2) \frac{d \Psi}{dT} + \Psi = K \delta + T_3 \frac{d \delta}{dT} \quad (5)$$

이 식을 조종운동방정식이라 부르며, 이 식을 Laplace 변환하여 전달함수를 구하면

$$G(P) = \frac{K(1 + PT_3)}{(1 + PT_1)(1 + PT_2)} \quad (6)$$

(6)식을 작은 범위에서 근사하면, (7)식과 같다.

$$G(P) = \frac{K}{1 + PT} \quad (7)$$

(6)식과 (7)식을 비교하여

$T = T_1 + T_2 + T_3$ 로 하면 (5)식은

$$T \frac{d \Psi}{dt} + \Psi = K \delta \quad (8)$$

로 나타낼 수 있다.

단, T : 추종성 지수

K : 선회성 지수

(8)식에서 $t=0 \sim t=t_4$ 일 때

$$T[\Psi]_0^4 + [\Psi_0^4] = K \int_0^4 \delta dt \quad (9)$$

(9)식에서

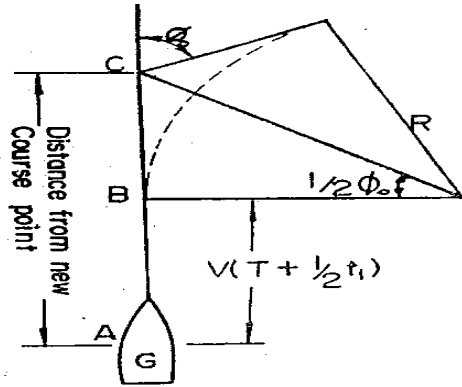
$$K = \frac{\Psi_4}{\delta(t_2 - t_1/2 - t_4 + t_3)} \quad (10)$$

$t=0 \sim t=t_2$ 일 때

$$T[\Psi]_0^4 + [\Psi_0^4] = \int_0^4 \delta dt \quad (11)$$

(11)을 변형하여

$$T = \frac{K \delta (t_2 - t_1/2) - \Psi_2}{\Psi_2} \quad (12)$$



[Fig. 2] New course distance

(10)식과 (12)식을 이용하면 [Fig. 2]에서 신침로 거리는 (13)식과 같다.

$$D = V \left(T + \frac{t_1}{2} + \frac{1}{K \delta} \tan \frac{\Psi_4}{2} \right) \quad (13)$$

단, D : 신침로 거리

t_0 : 타각 0° 일때의 타각

t_1 : 전타 후 소정의 타각에 이르는 시간

t_2 : 반대현으로 전타 명령한 시각

t_3 : 반대현으로 전타 완료된 시각

t_4 : 선수회두가 정지한 시각

Ψ_2 : t_2 에 있어서 선수회두각

Ψ_4 : 선수 회두각의 최대치

V : 선속

Ψ : 변침각

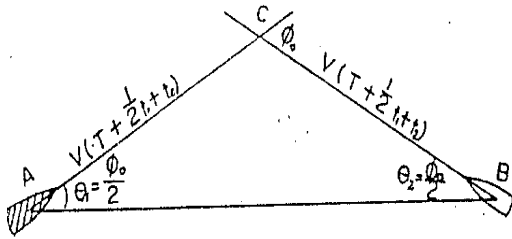
δ : 타각

Ψ_2 : 회두각 Ψ_2 에서의 각속도
와 같이 나타낼 수 있다(杉原喜義, 1981).

2. 안전한계 접근거리 산출

횡단상태의 선박이 양 선박의 침로의 교점C에서 같은 시각에 만나는 것으로 한다. 단, 이때 수식을 간단히 하기 위해 접근하는 두 선박은 크기와 성능이 같은 조건의 선박이라고 가정하면, 충돌회피동작을 취해야 할 안전한계 접근거리의 산출은 다음 식으로 나타낼 수 있다

$$d = (2T + t_1 + 2 \frac{\Phi_0}{K \delta_0}) V \cos \frac{\Phi_0}{2} \quad (14)$$



[Fig. 3] Minimum approaching distance in case of the same vessels

Ⅲ. 방법

1. 사용한 선박

실험에 사용한 선박은 부경대학교 실습선 가야호이며, 그 요목과 실험조건은 <Table 1>과 같다.

2. 측정방법

시험선을 전속전진 시키면서 속력이 최대에 이르렀을 때 먼저 우현이 소정타각에 이르도록 조타함과 동시에 5초 간격으로 선수방위를 기록하

고 선수침로가 원침로에서 소정타각 만큼 변했을 때 반대로 좌현의 소정타각에 이르도록 조타하면서 Zig-zag 운동을 수회 반복했다. 이렇게 Zig-zag 운동을 하면서 타각 0°에서 소정의 타각에 이를 때까지 시간, 선수방위가 원침로에서 소정의 타각만큼 변했을 때의 시간, 다시 타를 반대 현으로 해서 타각이 소정의 타각에 이를 때까지의 시간, 침로가 원침로에서 반대 현으로 소정의 타각만큼 변했을 때의 시간 등 주요시점의 시간, 선수방위를 기록하고, 똑같은 동작을 타각이 10°, 20°, 30°일 때 좌우로 번갈아 가면서 시험을 하였다.

<Table 1> Principal Particulars and trial conditions of experimental ship

Name of ship	T.S. KAYA
Kind of ship	Stern Trawler
L .O. A	81.7m
L. B. P	72.5m
B. Md	13.2m
Draft	F. 3.6m, A. 5.6m
Main Engine	2,976ps×250rpm
Propeller No. of blade	4
Wind direction	NW
Wind force	1~3(Beaufort wind scale)
Sea state	1~2
Current	E 0.2~0.4k't

Ⅳ. 결과 및 고찰

1. 조종성 지수

Z시험의 결과를 계산하여 K와 T로 <Table 2>에 나타내었다.

<Table 2> Calculated maneuvering indices K, T of the T.S. Kaya

	10°Z	20°Z	30°Z
K	0.110	0.088	0.068
T	13.8	10.6	6.3

<Table 2>에서 K는 선회성의 양부를 나타내는 지수로 K값이 클수록 선회각속도는 크고 선회성이 좋다. T는 추종성지수로 조타에 대한 응답의 빠른 정도를 나타내는데 T값이 작을수록 조타운동에 대한 선체의 응답이 빠르다. K값이 클수록 T값이 작을수록 선회성과 추종성이 좋으나, K와 T는 서로 상반된 관계로 하나가 양호한 방향을 가지면 다른 하나는 반드시 나쁜 방향을 가지게 되어있다. <Table 2>에서 30도의 대타각을 사용하면 10도의 소타각을 사용할 때보다도 선회성은 나쁘나 추종성은 양호함을 알 수 있다.

2. 안전한계 접근거리

1) 사용 타각에 따른 안전한계접근거리

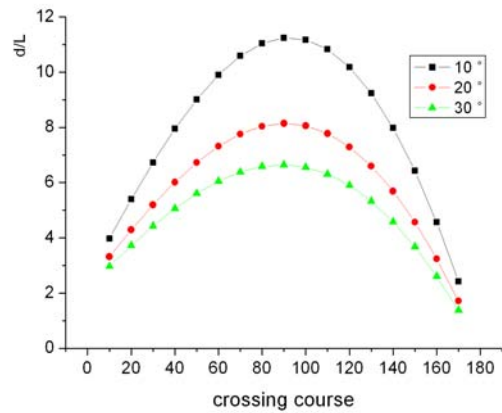
항해중에 해상에서 피항시의 동작은 상대선박과의 침로교각, 선박의 크기, 변침시에 사용한 타각 등에 따라서 피항해야 할 시점이 달라진다. 즉 긴급하거나 또는 피항할 여유거리가 충분치 않다면 대 타각에 의한 피항동작을 취해야 한다. 가야호의 경우 피항개시 시점에서 사용한 타각이 각각 10°, 20°, 30°일 경우 안전한계접근거리를 구하여 <Table 3>에 나타내었다.

<Table 3>에서 타각에 따라서 안전한계접근거리를 계산한 결과를 보면 사용한 타각에 상관없이 침로교각이 90° 부근에서 최대가 되었다. 즉 두 선박의 침로교각이 90° 부근에서 가장 크게 나타났다. 이것은 두 선박의 침로교각이 90°로 접근할 때 충돌의 위험이 가장 높다는 것을 의미한다. <Table 3>의 자료에 의해 안전한계접근거리(d)를 시험선의 길이(L)로 나눈 값을 [Fig. 4]에 나타내었다.

[Fig. 4]에서 10도 타각을 사용하면 조우각도가 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°일 때 d/L값은 각각 4.0, 5.4, 6.7, 7.9, 9.0, 9.9로 증가하다가 조우각도가 70°, 80°, 90°, 100°일 경우는 각각 10.6, 11.0, 11.2, 11.2로 90°부근에서 최대가 되었다가 조우각도가 커지면서 d/L값이 작아졌다.

<Table 3> Safety minimum approaching distance calculated with T.S. KAYA

조우각도 (ψ_0)	사용타각(°)		
	10	20	30
10	325	271	243
20	441	350	304
30	550	424	362
40	649	491	414
50	736	550	458
60	809	598	495
70	865	634	522
80	902	657	538
90	918	665	543
100	913	659	536
110	884	636	516
120	832	596	482
130	754	539	435
140	652	465	375
150	525	373	301
160	373	265	213
170	198	140	113



[Fig. 4] Relation between the crossing course angle(ψ_0) and the safe approaching minimum distance ratio d/L

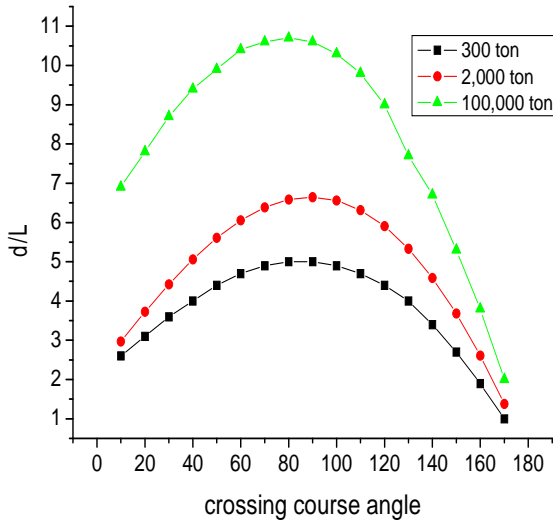
20도 타각을 사용하면 조우각도가 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°일 경우 d/L값은 각각 3.3, 4.3, 5.2, 6.0, 6.7, 7.3으로 커지다가 조우각도가 70°,

80°, 90°, 100°일 경우 각각 7.8, 8.0, 8.1, 8.1로 90°부근에서 최대가 되었다가 조우각도가 커지면서 d/L값이 작아졌다.

30도 타각을 사용할 경우도 조우각도의 변화에 따른 안전한계접근거리의 변화는 타각을 10도나 20도 사용할 때와 같은 현상을 보여서 조우각도가 90도 부근에서 선박의 충돌위험이 가장 높은 것으로 나타났다.

2) 선박크기별 안전한계접근거리

또 타각을 30도 사용했을 때 안전거리에 대한 선박길이의 비를 선박 크기별로 [Fig. 5]에 나타내었다.



[Fig. 5] Variation of d/L according to the size of ship

[Fig. 5]에서 선박은 관악산(300톤), 가야호(1,700톤), Golden Clover호(100,000톤)으로 d/L의 값은 선박의 크기에 상관없이 90도 부근을 중심으로 거의 대칭된 모양을 하고 있고, 90도 부근에서 d/L의 값이 가장 크게 나타났다(Kim, G.Y, 1978). 조우각도가 10°, 20°, 30°일 때 관악산호는 d/L의 값이 2.6, 3.1, 3.6이고 조우각도가 150°, 160°, 170°일 때는 각각 2.7, 1.9, 1.0이었고, 가야호의 경우에도 조우각도가 10°, 20°, 30°일 때

d/L의 값은 3.0, 3.7, 4.4이고, 조우각도가 150°, 160°, 170°일 때는 3.7, 2.6, 1.4이고, Golden Clover호의 경우에도 조우각도가 10°, 20°, 30°일 때 d/L은 6.9, 7.8, 8.6이고 조우각도가 150°, 160°, 170°일 때는 각각 5.4, 3.8, 2.0으로 조우각도가 클 때가 적을 때보다도 d/L값이 큰 것으로 나타났다. 이것은 선박의 크기에 상관없이 두 선박의 조우각도가 클 때보다도 적을 때 피항동작을 빨리 취해야 한다는 것을 의미하며 선박이 클 수록 이러한 현상이 두드러져서 피항시기를 놓치지 않도록 해야 한다.

V. 요약

항행중에 두 선박이 접근하여 충돌의 위험이 있을 경우 안전한계접근거리 즉 피항을 시작해야 할 시점에 대해서 실선시험을 통한 자료에 근거를 하여 조종성지수를 산출하고 안전한계접근거리를 계산하여 제공함으로써 항행중에 선박의 조종자들이 상대선박과 피항동작을 취해야 할 경우에 경험이나 감각에만 의존함으로써 생기는 착오를 방지하고자 하였다. 앞의 논의 과정을 요약하면 다음과 같다.

1. 조우각도가 같을 경우에도 타각을 10도사용하면 타각을 30도 사용할 때보다도 안전한계접근거리는 최소 1.3배에서 최대 1.8배정도 더 증가하므로 해상상태, 자선의 적하상태를 고려해서 대타각의 전타가 어려울 경우 특히 피항개시 시점을 충분히 주의해야한다.
2. 선박의 크기에 상관없이 조우각도가 90도 부근에서 충돌의 위험이 가장 커서 안전한계접근거리는 소형선(300톤급)에서는 자선 길이의 5.0배에서, 대형선(100,000톤급)에서는 10.7배로서 대형선일수록 피항개시 시기를 놓치지 않도록 해야 한다.
3. 조우각도가 적을 경우가 클 경우보다도 안전한계접근거리가 훨씬 크게 나타났고 대형선에서 더욱 두드러지게 나타났다.

참고 문헌

- 岩井聽(1982). 造船論, 海文堂, 11~50.
本田啓之輔(1986). 造船通論, 海文堂, 237~261.
膝井劑, 野本謙作(1970). 操縱性能試驗法, 日本造船學會 操縱性 symposium, 2~3
- 森弼(1981). 新針路の 室船實驗, 航海 70, 1~5.
杉原喜義(1981). 理論運用學, 海文堂, 71~119.
Kim, G.Y(1978). A study on the ship's collision avoiding action analyzed from a view point of ship kinematics, Bull. Korean Soc. Fish. Tech 14(2), 97~112.