

조업중인 저층 트롤선의 충돌회피 동작에 관한 연구

김민석† · 김진건 · 김종화 · 정순범

(부경대학교)

A Study on the Collision-Avoidance Action of Bottom Trawler under Operation

Min-Seok KIM · Jin-Gun KIM · Jong-Hwa KIM · Sun-Beom JEONG

Pukyong National University

(Received April 4, 2003 / Accepted May 6, 2003)

Abstract

Recently with the conclusion of fisheries agreements between Korea and Japan, and between Korea and China, trawlers in Korea must operate in smaller fishing ground than before.

As a result of this, the possibilities of collision increase gradually between trawlers under operation in this area.

Authors performed a series of experiments on board to give the information of collision avoiding action to navigators of trawlers.

The obtained results are summarized as follows :

1. The greater the rudder angle, the smaller the value of T, but there is no big difference in K due to rudder angle.
2. The greatest distance is to be kept by the give way vessel to avoid collision when the crossing course angle is $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$. In this case the safety minimum approaching distance must be more than 5 times of her own length.
3. Risk of collision in crossing is more greater in obtuse situation than in acute one.
4. The navigator of the give way vessel must take an action to avoid collisions outside of the minimum safety approaching distance.

key words : Trawler under operation, Vessel, Navigator, Collision

† Corresponding author : 051-620-6197, minskim@pknu.ac.kr

I. 서론

우리 나라의 주변 해역은 일본, 중국은 물론 동남아 국가들과 활발한 교역으로 인한 많은 선박의 항행으로 상호 충돌의 위험성이 증가하고 있다.

더욱이 최근 한·일 및 한·중 어업협정의 체결로 더욱 좁아진 어장환경은 어선들의 어업환경을 더욱 복잡하게 만들고 있으며, 좁아진 어장에서 밀집한 어선들의 조업은 조업선들 간의 접촉사고나 충돌로 어업분쟁도 증가하고 있는 실정이다. 이에 대한 일차적인 책임은 선박의 운항자들에게 있으나 조업이라는 특수한 상황에서 충돌의 위험에 직면했을 때 충돌을 회피하기 위한 동작은 어구저항 때문에 조선자의 의도대로 선박이 조종되지 않는다. 만일 같은 상황하에서 충돌회피동작을 하여야 할 경우 조업중이 아니고 항행중이라면 비교적 쉽게 충돌을 회피할 수 있을 것이다. 국제 해상충돌예방규칙에 따르면 두 척의 선박이 마주칠 경우 두 선박은 좌현 대 좌현으로 통과하도록 규정하고 있으나, 횡단선의 경우 구체적 피항방법을 제시하지 않고 이의 결정은 조선자에게 맡기고 있다.

선박간의 피항동작은 운항자들의 경험이나 주관적 판단에 따를 수밖에 없으나 경험부족과 주관적 판단은 중대한 착오를 일으킬 가능성이 있기 때문에 실선시험을 통하여 이러한 상황이 좀더 정량적으로 분석된 자료가 운항자들에게 제공된다면 막연한 주관적 판단에 의한 방법보다는 안전한 피항방법이 될 수 있을 것이다. 특히 연구자들이 조사한 바로는 조업중인 트롤선의 충돌회피동작과 관련된 논문은 거의 없는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 저층트롤선이 조업중인 선박간에 충돌의 위험을 피항해야 할 때 피항시기를 놓치지 않도록 하기 위해 트롤선 운항자들에게 이에 관한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

II. 이론적 고찰

1. 조종성 지수 산출식

Fig. 1에서와 같이 지구표면에 고정된 직각좌표계에서 타각 δ 를 주었을 때 선박의 중심을 G라 하면 선박의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다^{1,2)}.

$$\begin{aligned} X_0 &= m\ddot{x}_0 G \\ Y_0 &= m\ddot{y}_0 G \\ N &= I_{zz} \ddot{\Psi} \end{aligned} \quad (1)$$

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

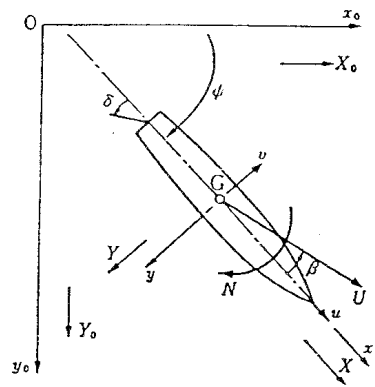


Fig. 1. Coordinate system of a plane movement.

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.

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

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

$$\ddot{x}_0 G = u \cos \Psi - v \sin \Psi$$

$$\ddot{y}_0 G = u \sin \Psi + v \cos \Psi \quad (3)$$

(3)식을 한번 더 미분하여 가속도 \dot{x}_0, \dot{y}_0 을 구하여 정리하면 (1)식은

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

$$Y = m(\dot{v} + u\Psi) \quad N = I_{zz} \ddot{\Psi} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다³⁾.

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.

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

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

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

(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

$$T[\Psi]_0^2 + [\Psi_0] = \int_0^2 \delta dt \quad (11)$$

(11)을 변형하여

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

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

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

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

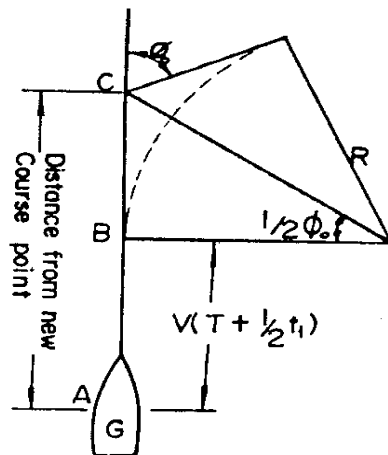


Fig. 2. New course distance.

와 같이 나타낼 수 있다^{4,5)}.

2. 안전한계 접근거리 산출

횡단상태의 선박이 양 선박의 침로의 교점 C에서 같은 시각에 만나는 것으로 한다. 단, 이때 수식을 간단히 하기 위해 접근하는 두 선박은 크기와 성능이 같은 조건의 선박이라고 가정하면, 충돌회피 동작을 취해야 할 안전한계 접근거리의 산출은 다음 식으로 나타낼 수 있다^{6,7)}.

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

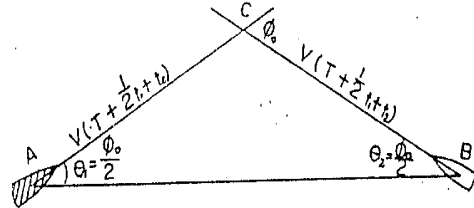


Fig. 3. Minimum approaching distance in case of the same vessels.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 사용한 선박

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

Table 1. Principal Particulars and trial conditions of experimental ship

Name of ship	M.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 blader	4
Wind direction	NW
Wind force	1~3(Beaufort wind scale)
Sea state	1~2
Current	E 0.2~0.4k't

2. 사용한 어구

실험에 사용한 어구는 저층 트롤어구로써 그물의 전개도와 연결도는 Fig. 4와 같다. 예망속력을 3.5k't로 했을 때 어구의 전 저항은 14~16 ton 이었다.

3. 측정방법

끌줄의 길이를 400m 내어주고 예망속력을 3.5kt's로 유지하면서 선수를 일정 침로에 유지시킨 다음, 먼저 우현 타각을 15°를 취하여 선수방위가 우현 15°회두하였을 때 반대현의 타각 15°를 취한다. 이와 같은 동작을 3-4회 반복하여 Zig-Zag운동이 되도록 하였다. 이렇게 해서 15°Z 운동이 끝나면 같은 방법으로 타각을 25°, 35°취하여 Z시험을 실시하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 조종성 지수

본 실험은 통상적인 항행선의 경우와 달리 수중에 어구를 예망하고 있는 상황에서의 피항전 단계 접근거리를 파악하기 위한 시험이었다. 따라서 풍력이 본 실험의 결과에 영향을 미치지 않아야 함은 물론 유속도 수중어구의 예망에 지장을 주지 않을 만큼 약한 시기를 선택하였다. 그러나 풍력은 약한 날을 선정하면 별문제는 없으나 조류가 예망에 미치는 영향은 예상외로 크게 나타나서 지수산정에 어려움이 많았다. 결국 수회에 걸친 시험의 결과를 가지고 바람과 조류의 영향이 가장 적게 미치는 자료에 의해 K, T값을 산정하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Maneuvering indices K and T of "KAYA"

15°Z		25°Z		35°Z	
K	T	K	T	K	T
0.0343	129.48	0.0421	85.41	0.0343	67.48

Table 2에서 15°Z, 25°Z, 35°Z일 때 K값은 0.03, 0.04, 0.03으로 타각에 따른 K값은 큰 변화가 없었다. 그러나 T값은 각각 129.48, 85.41, 67.48로 15°Z일 때에 비해 25°Z, 35°Z일 경우 각각 0.65, 0.52배만큼 작았다. 여기서 K/T값은 15°Z, 25°Z, 35°Z일 때 각각 0.00027, 0.00049, 0.00051로 타각이 35°Z일 때 가장 높게 나타나서 예망중일 경우 35°타각을 사용할 때 조종성이 좋을 수 있다.

2. 안전한계 접근거리

예망중 해상에서 피항시의 동작은 상대선박과의 거리에 따라서 타각의 범위가 달라질 수 있다. 즉 긴급하거나 또는 피항할 여유거리가 충분치 않다면 대 타각에 의한 피항동작을 취해야 한다. 그러나 이 경우 예망중에 있는 어구는 대 타각에 의한 선회운동을 하게 되므로 오타보드가 해저에 넘어지는 등의 경우가 발생할 수 있기 때문에 가능하면 적은 타각에 의한 변침이

바람직하다. 따라서 타각을 15°, 25°, 35°사용했을 때 안전한계 접근거리를 구하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 조우각도(ψ_0)가 10°, 20°, 30°일 경우 15°Z의 안전한계 접근거리는 35°Z일 경우에 비해 1.9, 1.8, 1.7배 더 컸으나 조우각도가 클수록 15°Z의 안전한계 접근거리와 35°Z의 안전한계 접근거리의 차이는 작아져서 조우각도가 140°에서 170°의 범위에서는 1.3배로 조우각도가 작을 때에 비해 그 차이도 50% 정도 감소했다.

Table 3의 자료를 이용해서 안전한계 접근거리를 선체의 길이로 나눈 값을 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 15° 타각으로 조종할 때 조우각도가 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°일 때 d/L값은 각각 6.9, 7.2, 7.4, 7.5, 7.6, 7.6으로 증가하다가 조우각도가 70°, 80°, 90°일 경우는 각각 7.5, 7.2, 6.9로 50°와 60°에서 최대가 되었다가 조우각도가 커지면서 d/L값이 작아졌다.

Table 3. Safety minimum approaching distance calculated with "KAYA" under operation

조우각도 (ψ_0)	안전한계 접근거리		
	15.	25.	35.
10	566	475	295
20	589	494	321
30	605	508	344
40	616	517	363
50	621	521	377
60	618	519	387
70	609	511	390
80	592	496	388
90	567	476	379
100	534	448	364
110	493	414	342
120	445	373	313
130	388	326	278
140	324	272	235
150	253	212	186
160	175	147	130
170	91	76	68

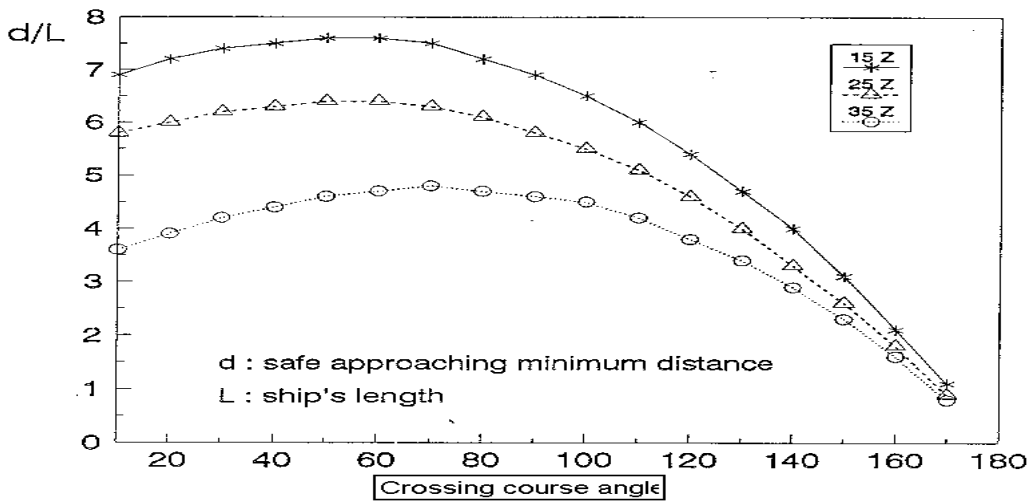


Fig. 5. Relation between the crossing course angle(ψ_0) and the safe approaching minimum distance ration d/L.

25°Z 조종시 조우각도가 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°일 경우 d/L값은 각각 5.8, 6.0, 6.2, 6.3, 6.4, 6.4로 60°일 경우 최대가 되었다가 조우각도가 70°, 80°, 90°일 경우 각각 6.3, 6.1, 5.8로 d/L값이 작아지기 시작했다.

35°Z 조종시 조우각도가 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°일 경우 d/L값은 3.6, 3.9, 4.2, 4.4, 4.6, 4.7, 4.8로 70°일 경우 최대가 되었다가 80°, 90°일 경우 각각 4.7, 4.6으로 작아지기 시작해서 15°Z, 25°Z에 비해 35°Z일 경우 d/L값은 70°를 중심으로 대칭적인 모양을 하고 있다. 또 조우각도가 10°일 경우 타각을 15°, 25°, 35°사용 시 d/L값은 각각 6.9, 5.8, 3.6으로 15°타각을 사용하면 35°타각을 사용할 때보다도 안전한게 접근거리는 1.9배나 증가했다.

조우각도가 커질수록 15°타각을 사용할 때와 35°타각을 사용할 때 d/L값은 작아져서 조우각도가 170°일 때는 1.3배로 감소했다.

예망중에 피항동작을 취했을 때 조우각도가 작을 경우 15°타각을 사용한다면 35°타각을 사용할 때보다 거의 최대 2배 이상의 거리에서 미리 피항동작을 취해야 됨을 의미한다. 이와같이 15°Z, 25°Z에 비해 35°Z일 경우 d/L값이 70°를 중심으로 대칭적인 모양을 하고 있고, 조우각도가 같을 경우 타각을 적게 사용할 경우 d/L값이 크게 나타난 것은 예망중에 타각을 적게 사용하면 침로와 속력에 의한 영향보다는 외력 즉 바람이나 조류에 의한 영향이 선박의 조종성능에 더욱 크게 작용하기 때문이라 생각한다. 따라서 트롤선의 운항자들은 피항시 상대선박과의 거리와 오타보드의 안정이라는 두 가지를 동시에 고려하여 피항시의 타각의 범위를 고려해야 될 것으로 사료된다.

V. 요약

최근 한·일, 한·중 어업협정의 발효와 함께 더욱 좁아진 우리 나라 어장에서 트롤선의 조업이 한정된 수역에서 많이 이루어짐으로써 조업중 트롤선끼리의 충돌의 위험성이 높아졌다. 조업중에는 어구의 저항 때문에 충돌회피 동작을 취하려고 해도 조종자의 의도대로 선박이 조종되지 않을 것이다. 따라서 본 논문에서는 조업중인 트롤선의 경우 충돌회피 동작을 위한 안전한게 거리를 실선시험을 통하여 구한 자료를 분석, 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 15°Z, 25°Z, 35°Z시험 중 선박의 조종성은 35°Z시험에서 가장 좋았다.
2. 가장 먼 거리에서 피항동작에 들어가야 되는 경우는 양 선박의 침로교각이 60°~90° 부근이며 이 경우 자선길이의 약 5배 이상이 되어야 한다.
3. 양 선박이 조우하는 침로교각이 둔각인 경우에는 예각일 경우보다 충돌위험이 더 크므로 더 먼 거리에서 피항동작에 들어가야 한다.
4. 피항선은 물론 유지선의 피항동작도 안전한게 접근거리 밖에서 이루어져야 한다.
5. 횡단상태에서 양 선박간에 변침만으로 피항동작을 취하는 경우 최대 안전한게 접근거리를 염두에 두고 피항해야 되며, 최대 안전한게 접근거리 이내에서 피항동작을 취하여야 될 것

우 예망속력의 조절도 수반되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 岩井聽, 造船論, 海文堂, PP. 11~50, 1982.
本田啓之輔, 造船通論, 海文堂, PP. 237~261, 1986.
藤井劑, 野本謙作, 操縱性能試驗法, 日本造船學會 操縱性 symposium, PP. 2~3, 1970.
森弼, 新針路の 室船實驗, 航海 70, PP. 1~5, 1981.
杉原喜義, 理論運用學, 海文堂, PP. 71~119, 1981.
金基允, 선체운동학적으로 본 충돌회피동작에 관한 연구, 한국어업기술학회지, 14(2),
PP. 100~101, 1978.
金鎮乾 外 4人, 船舶運用學 -操縱編-, 有一文化社, pp. 12~18, 1998.