

근접상황 선박충돌회피지원모델에 관한 연구(I)

양형선* · 예병덕**

* 한국해양대학교 대학원, ** 한국해양대학교 교수

Ship Collision Avoidance Support Model in Close Quarters Situation(I)

Hyoung-Seon Yang* · Byeong-Deok Yea**

* Graduate course of Korea Maritime University

** Division of Ship Operation System Engineering, Korea Maritime University

요 약 : 선박운항시스템은 첨단화 되고 있으며, 선박충돌회피시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그럼에도 선박 충돌사고율은 줄어들지 않는 실정이다. 시스템에 의한 충돌회피 조종에도 불구하고 근접거리로 충돌위험이 계속 존재한다면, 충돌위험 결정 및 판단기준에 있어서 단순히 TCPA, DCPA만의 입력변수 사용은 근접상황에서 충돌위험회피에 도움을 주지 못한다. 최근 5년간 국내 선박충돌사고 상대선 초인 거리 조사에 의하면 약 45%가 2마일 이하 근거리 초인하는 것으로 분석된다. 이런 요소는 선박조종성능 특성과 행위결정을 위한 시간적 특성의 영향을 많이 받는 근접조우를 유발한다. 따라서 근접상황에서 선박충돌회피동작 결정에 관한 연구는 안전항해의 필수적인 요소라고 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 선박조종성능 특성에 따른 선회조종과 선박의 거동을 분석하여 근접상황에서 신속하고 올바른 충돌회피 조선을 지원할 수 있는 선박충돌회피지원 모델을 제시한다.

핵심어 : 선박충돌회피지원, 근접상황, 잔존충돌한계영역, 선박조종성능, 선회권

Abstract : Up to now a lot of the study on ship collision avoidance systems have proceeded actively. However the rate of ship collision accidents hasn't decreased yet. If there is collision risk in close quarters situation in spite of maneuvering ship for collision avoidance according to the system, only use of TCPA and DCPA as input factor for collision risk decision is not useful to avoiding collision action. For the recent 5 years by the analysis of first observation distance about approaching ship in domestic collision accidents, nearly 45% of accidents is close first observation less than 2 miles. Therefore it is essential part for safety navigations to study for collision avoidance action in close encounter. In this paper, as a fundamental study of supporting collision avoidance maneuvering for navigators, we proposed ship collision avoidance support model in close quarters situation through analysis of collision accidents to effectively get rid of the causes.

Key words : ship collision avoidance support, close quarters situation, potential collision limit area, ship maneuvering performance, turning circle

1. 서 론

선박운항시스템은 계속해서 첨단화, 자동화 되어가지만, 그럼에도 불구하고 선박 충돌사고는 끊임없이 발생하고, 그 사고율도 줄어들지 않는 실정이다. 현재까지 선박충돌회피에 관한 많은 연구가 활발히 진행되어 왔다. Hasegawa는 TCPA (Time of the closest Point of Approach), DCPA(Distance of the Closest Point of Approach)를 입력변수로 이용해 충돌 위험도를 추론하였고(Hasegawa, 1987), Hara와 Hammer는 인간이 느끼는 타선의 상대거리와 상대각속도를 이용하여 충돌 위험도를 추론하였다(Hara, 1990; Hammer, 1993). 또한 이를 바탕으로 충돌회피시스템을 개발하였다. 하지만, 시스템에 의한 충돌회피 조션에도 불구하고 근접거리로 충돌위험이 계속 존재할 수 있으며, 충돌위험결정 및 판단기준을 위해 단순히

TCPA, DCPA를 입력변수로 사용하는 것은 근거리 충돌회피 동작에 도움을 주지 못하고 있다.

근접거리에서 충돌회피동작을 취해야 할 경우 항해사는 선박의 조종성능 특성을 상당히 숙지하고 경험적으로 충분하여야 올바르게 신속한 회피동작 결정을 할 수 있다. 긴급한 상황에서 인간행동은 정보습득의 질적저하, 정보처리능력 저하, 판단력 저하, 검토 및 신뢰성 저하를 유발하며, 오랜 기간 해상 근무를 한 선원이라도 승선 중에 긴급한 상황을 경험하는 기회는 많지 않고 실제 상황이 발생하면 어떻게 효과적으로 대응하는 것이 바람직한지를 판단하기는 곤란하다. 따라서 항해사가 판단한 결정이 검토되고 그 신뢰성을 확인할 수 있다면 선박충돌 원인은 효과적으로 제거될 수 있을 것이다.

본 연구는 근접상황에서 선박충돌회피조선을 지원하여 선박의 안전항해를 향상시킬 수 있도록 하기 위한 시스템의 기초연구로 수행 되었으며, 그 방법으로써 최근 국내에서 발생

* 대표저자 : 양형선(정회원), epicyang@hanmir.com 061)284-8459
** 정회원, byea@mail.hhu.ac.kr 051)410-4243

한 선박충돌사고 원인을 조사·분석하여, 그 원인을 효과적으로 제거할 수 있는 선박충돌회피 지원모델을 제안한 것이다.

2. 선박충돌사고 원인 조사 및 분석

오늘날 해운 산업분야는 산업발달과 함께 눈부신 발전을 거듭하고 있으며, 선박은 자동화 되고 있다. 선박은 무엇보다도 선박의 안정성을 보장할 수 있는 충돌회피시스템의 역할이 강화 되고 있다. 충돌회피는 자선에서 이루어지는 해상장애물에 대한 피항 행위로 충돌위험도와 선박의 조종성능 특성을 기준으로 결정되어야 한다. 현재까지 충돌회피시스템에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔으며, 실제 선박운항에 적용되고 있다. 그러나 선박 충돌사고는 끊임없이 발생하고, 그 빈도수도 감소되지 않는 실정이다. Table 1~3은 해양안전심판원에서 조사한 1999년~2004년 7월까지의 국내 해양사고 현황 및 충돌사고 원인을 통계 분석한 것이다(해양안전심판원, 2004). Table 1에 나타난 바와 같이 선박충돌사고가 전체 해양사고의 약 20%~34%를 차지하며, 최근 항해장비의 발달에 비해 전체 해양사고 대비 충돌사고는 오히려 증가하고 있다. 또한 매년 발생하는 충돌사고 수도 감소되지 않고 있다.

Table 1 Analysis of Ship's Collision(1999~2004)

연도	1999	2000	2001	2002	2003	2004 (7월)	
해양사고 총계	849	634	610	557	531	402	
충돌사고 (구성비%)	173 (20.3%)	130 (20.5%)	141 (23.1%)	184 (33%)	182 (34.3%)	113 (28.1%)	
충돌운항과실	부적절한 조선	19	10	5	24	20	-
	경계소홀	110	117	104	124	125	-
	항법위반	35	57	64	49	51	-
	계	164 (73.2%)	184 (81.4%)	173 (73%)	197 (79.4%)	196 (84.8%)	-

(주) 충돌운항과실은 사전에 복수의 원인이 있을 경우에 모든 원인을 중복 계산함

선박충돌사고 원인으로는 부적절한 조선, 경계소홀, 항법위반이 주요 항목을 이루며, 전체 원인의 약 70~80%를 차지한다. 경계소홀 및 항법위반의 의미를 광의해석하면 접근하는 상대선박의 근거리 초인과 상대선박의 의도를 정확하게 파악하지 못함으로써 발생하는 것이라고 할 수 있을 것이다. 이것은 결국 근접거리 충돌회피 조선을 유발하며, Table 3의 결과와 비교해 보면 더욱 분명하다. 이러한 긴급한 상황에서 인간 행동은 상황인식의 부족(Lack of situational awareness), 지각결핍(Lack of perception), 인식부족(Incorrect recognition) 및 부정확한 식별(Incorrect identification) 등을 가져 올 수 있으므로 부적절한 조선의 원인이 된다.

대부분의 항해사들은 안개로 인해 시야가 제한되거나, 기상악화로 인하여 조선하기 힘든 경우에 충돌 가능성이 더 높다고 생각한다. 그러나 Table 2에 나타난 바와 같이 전체 충돌

사고의 58.7%가 시야가 좋은 맑은 날씨에서 발생하고 있다. 충분한 시야가 확보되고 조선하기 적절한 맑은 날씨에서도 발생하는 선박충돌은 견시 및 경계의 소홀로 접근하는 상대선의 근거리 초인 및 거동을 정확하게 판단하지 못함으로 충분한 회피 동작을 취하지 못하여 발생하는 것으로 분석된다.

Table 2 Visibility Condition at Collision Accidents

(Unit : ships)

연도	시정	무중	맑은 날씨	기상 악화	기타	계
1998		17	94	12	8	131
1999		21	66	3	30	120
2000		30	68	4	20	122
2001		32	72	3	18	125
2002		26	58	3	25	112
계 (구성비%)		126 (20.6%)	358 (58.7%)	25 (4.1%)	101 (16.6%)	610 (100%)

Table 3은 1998~2002년에 국내에서 발생한 선박 충돌사고시의 상대선 초인거리를 거리별로 분석한 것이다. 전체 충돌사고의 45%가 2마일 이하로 초인하였을 경우에 발생하며, 5마일 이하로 초인 하였을 경우에는 약 59%로서, 전체사고의 절반 이상을 차지한다. 근거리 초인은 결국 높은 충돌 가능성을 의미하며, 이는 접근하는 상대선박의 거동 및 의도를 미리 파악할 수 있는 시간적 여유를 상실하게 된다. 따라서 해상교통법을 위반하는 요인이 되며, 항해사는 행하는 조선이 효과적인 결정인지 판단하기 어려운 요인으로 작용한다.

Table 3 Analysis of First Observation Distance(Unit:ships)

연도	초인거리	1마일 미만	1~2 마일	2~5 마일	5마일 이상	미발견	기타	계
1998		69	31	29	20	115	21	285
1999		110	16	36	18	58	23	261
2000		85	29	43	25	48	10	240
2001		91	26	51	24	56	1	249
2002		95	30	34	25	73	-	257
계 (구성비%)		450 (34.8)	132 (10.2)	193 (14.9)	112 (8.7)	350 (27.1)	55 (4.3)	1,292 (100)

해난 안전심판원 2004년도 해양안전심판 사례집의 추월, 마주치는 경우 및 횡단 등 유형별 충돌사고 사례 살펴보면, 접근하는 상대선의 초인거리에서 신속하고 적절한 피항 조선을 하였다면 충돌을 면할 수 있는 경우가 총13건 중 8건으로 조사되었다. 예를 들면 Fig. 1은 2001년에 발생한 화물선 충돌사고를 선회조종성과 함께 예시한 것이다. 대다수의 상선은 최대 타각에서 자선 길이의 3~4배가 되는 선회직경을 가지며, 종방향 이동거리(Advance) 또한 5배를 넘지 않는다. 따라서 B선박은 A선박을 2마일 거리로 초인하였을 때 좌우현으로 전타하였다면 충돌을 피할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 피항 행위 결정의 망설임에 따른 충돌회피 가능시간의 상실로 결국 충돌하게 되었다.

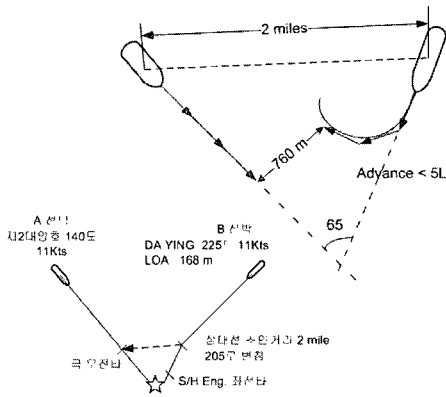


Fig. 1 Collision accident illustration

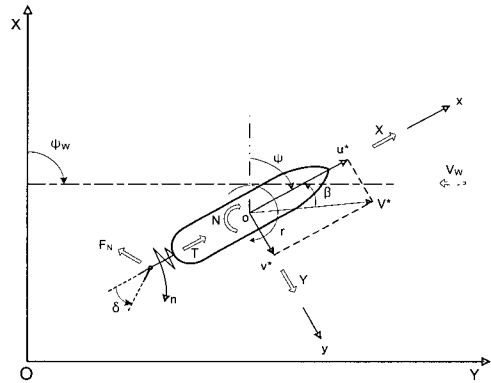


Fig. 2 Coordinate System

위에서 분석한 바와 같이 대부분의 선박 사고는 2마일 이하 근거리 초인으로 인하여 발생되며, 이러한 근접 상황에서는 무엇보다도 선박조종성능과 행위 개시 시간의 영향을 크게 받는다. 긴급한 상황에서 피항조선은 선박의 정확한 거동을 예측해야 하지만, 근접상황에서 이러한 판단은 쉬운 일이 아니며, 그 정확성을 확인할 시간적 여유가 없으므로 잘못된 조선을 하게 되는 것으로 분석된다. 따라서 충돌회피 조선에 따른 선박의 거동을 사전에 분석하여 시각적으로 확인할 수 있다면, 선박조종성능에 대해 지식적으로나 경험적으로 충분치 않다 하더라도 올바른 조선을 행하는 데 도움이 될 것이다.

3. 선박 충돌회피지원 모델

선박거동을 판단하기에 시간적 여유가 부족한 근접상황에서 올바른 충돌회피 조선을 위해 항해사의 판단에 대한 선박의 진행을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 사전에 분석하고, 시각적으로 표현하는 시스템이 필수적으로 요구 된다. 이러한 시스템은 선회조종성능을 갖춘 조종운동방정식과 상대선의 관계를 벡터 분석하여 사전 시뮬레이션 함으로써 피항동작 결정을 신속하게 검토하고, 신뢰성 있는 충돌회피동작지원이 가능하도록 제안한 것이다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션시 상대선박과 본선은 좌표점으로 인식되므로 이러한 문제점을 보완하기 위해 잔존충돌한계영역(Potential Collision Limit Area)을 제한함으로써 보다 신뢰성 있는 피항동작 분석이 가능할 것이다.

3.1 좌표계 및 조종운동방정식

선박의 조종운동방정식은 지구고정좌표계 $O-XY$ 와 선체 고정좌표계 $o-xy$ 로 구성된다. 수면에서 회두각(ψ) 변화는 지구고정좌표계를 이용한다. 선체고정좌표계는 선체중앙을 원점으로 하여 전진방향을 $+x$, 우현방향을 $+y$, 연직하방을 $+z$ 로 하는 직각 오른손 좌표계로 정의하였다.

선박의 조종운동은 주로 평면상에서의 Surge, Sway, Yaw 운동이라고 할 수 있으며, 선박 무게중심의 x 좌표인 x_G 를 원점으로 하는 조종운동방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G \dot{r}^2) &= X \\ m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y \\ I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N \end{aligned} \quad (1)$$

m 은 선체의 질량이고, I_{zz} 는 z 축 주위의 관성 모멘트이다. u, v, r 은 각각 선체 중앙에서 x 축 방향 속도성분, y 축 방향 속도성분, z 축 주위의 각속도 성분이다. $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ 는 시간에 대한 1차 도함수이며, X, Y, N 은 각각 x, y 축 방향 유체력과 z 축 주위의 유체력 모멘트를 나타낸다. 또한 선박에 작용하는 힘의 상호 간섭을 고려함으로써 선박의 운동을 보다 잘 표현한다고 알려진 일본 MMG 수학모델(小川陽弘, 1977~1980)을 사용하여 x, y 축 방향의 부가질량과 z 축 주위의 부가관성모멘트를 식(2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - (m + m_y) vr - (m x_G + m_y a) r^2 &= X_H + X_P + X_R \\ (m + m_y) \dot{v} + (m + m_x) ur + (m x_G + m_y a) \dot{r} &= Y_H + Y_P + Y_R \\ (I_{zz} + J_{zz}) \dot{r} + (m x_G + m_y a) \dot{v} + m x_G ur &= N_H + N_P + N_R \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, 첨자 H, P, R 은 각각 선체(Hull), 프로펠러(Propeller), 타(Rudder)에 의한 유체력 또는 외력성분을 나타낸다. 그리고 m_x, m_y 는 x, y 축 방향의 부가질량, I_{zz} 는 z 축에 대한 선박의 관성모멘트, J_{zz} 는 z 축 방향의 부가관성모멘트, a 는 m_y 중심의 x 좌표를 나타낸다.

3.2 선체에 작용하는 유체력 및 프로펠러 추력

선체에 작용하는 유체력과 모멘트에 관한 모델은 저속 조종운동에 적합한 Takashina 모델을 개선한 문헌에 따라 주선체에 작용하는 유체력을 표현한다. 본 논문에서는 저속에서도 사용할 수 있는 모델로서 문헌의 결과를 이용한다(손, 1991).

$$\begin{aligned} X_H &= \frac{1}{2} \rho L d V^2 (X_{uu} u' |u'| + X_{vv} v' |v'|) \\ Y_H &= \frac{1}{2} \rho L d V^2 (Y_{vv} v' |v'| + Y_{uv} u' |u'| + Y_{vv} v' |v'| + Y_{vv} v' |v'| \\ &\quad + Y_{uv} u' |u'| + Y_{vv} v' |v'|) \\ N_H &= \frac{1}{2} \rho L^2 d V^2 (N_{vv} v' |v'| + N_{uv} u' |u'| + N_{vv} v' |v'| + N_{vv} v' |v'| \\ &\quad + N_{uv} u' |u'| + N_{vv} v' |v'| + N_{vv} v' |v'|) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 ρ 는 유체밀도, L 과 d 는 각각 선체길이(LBP)와 평균흘수이다. ‘ ’ 표시는 무차원화 한 것이다. X 방향으로 프로펠러에 작용하는 힘은 다음과 같다.

$$X_P = \rho(1-t_{\theta})n^2 D_P^4 K_T(J_P), \quad J_P = \frac{u_p}{nD_P} = \frac{u(1-w_p)}{nD_P} \quad (4)$$

여기서 n 은 프로펠러 회전수(rps), D_P 는 프로펠러 원반의 직경을 나타내며, t_{θ} 는 자항시험으로 구해 질 수 있다. 추력계수 K_T 는 전진계수 $J_P L$ 의 함수($K_T = a_1 + a_2 J_P + a_3 J_P^2 + a_4 J_P^3$)로 표현된다. 한편, u_p (m/s)는 프로펠러에 유입되는 유체흐름의 평균속도를 의미하며, w_p 는 프로펠러 위치에서의 유효반류계수이다

3.3 조타 유체력 및 조타기 응답모델

MMG 수학모델을 참고로 하여 조타에 기인하는 유체력은 식(5)와 같이 표현된다. 여기서 δ 는 타각, F_N 은 타직압력, x_R 은 타위치의 x 좌표이며, 타력의 감소계수인 t_R 과 a_H 는 타에 의해 선체에 유기된 횡방향 유체력과 타력과의 비로서, 조타에 의해서 주선체에 유기되는 간섭유체력의 영향을 나타낸다. x_H 는 선체에 작용하는 타의 간섭력의 작용위치 x 좌표를 나타낸다(Hasegawa, 1980).

$$\begin{aligned} X_R &= -(1-t_R)F_N \sin \delta \\ Y_R &= -(1+a_H)F_N \cos \delta \\ N_R &= -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta \end{aligned} \quad (5)$$

일반적으로 가장 널리 사용되는 전동 유압식 조타기의 수학적 모델은 다음과 같다. δ^* 는 명령타각, T_E 는 시정수, $|\delta^*_{max}|$ 는 최대 타각속도를 나타낸다.

$$\dot{\delta} = \begin{cases} (\delta^* - \delta)/T_E & ; \quad |\delta^* - \delta| \leq T_E |\dot{\delta}^*_{max}| \\ \text{sign}(\delta^* - \delta) |\dot{\delta}^*_{max}| & ; \quad |\delta^* - \delta| > T_E |\dot{\delta}^*_{max}| \end{cases} \quad (6)$$

3.4 벡터분석

충돌회피 동작에 있어 가장 효과적인 방법은 조타에 의한 침로변경이며, 상대선박의 거동과 타각변화에 따라 선회하는 자선의 진행을 분석하는 것은 근접상황에서 충돌회피 동작을 지원하는 중요한 요소가 된다. 이러한 선박 거동에 관한 분석은 선회 조종특성을 갖춘 자선의 조종운동방정식과 상대선의 속도와 침로 데이터를 통하여 분석할 수 있다. 분석된 정보를 이용한 시뮬레이션은 충돌회피동작 개시 점에서 어느 정도로 타각을 결정해야만 안전하게 항행할 수 있는지 그 판단의 근거가 되며 타각의 정량화가 가능하다. 근접거리 피항 동작은 시간적 여유가 없으므로 대각도 조타에 의한 변침으로 조선되어야 하며, Fig. 4와 같이 타각 10도, 20도, 35도에 대한 자선의 진행과 상대선박의 거동을 시뮬레이션을 통하여 사전에 분석한다. 또한 선박 ARPA 레이다와 연계하여 분석정보를 시

각화 한다면, 항해사가 올바른 변침방향과 변침량 및 조타각을 결정할 수 있는 효과적인 지원시스템이 될 것이다.

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 분석시 선체의 영역은 좌표점으로 인식되므로 근접거리 조건에서는 상대선과 최근접점이 다르게 된다. 따라서 선박의 길이와 폭을 좌표계 축척에 따라 표시하는 실선화 과정을 수행하여 신뢰성 있는 피항동작 비교 분석은 중요하다. 하지만 긴박한 상황에 상대선박의 데이터를 입력할 시간적 여유가 없다는 것은 문제점으로 작용한다. 이러한 문제점 해결을 위해 필자는 잔존충돌한계영역을 제안하였다. Fujii는 선박충돌 동작의 형태를 조사한 데이터를 통하여 두선박이 같은 방향으로 진행할 경우 피항영역을 폐쇄영역이라하고 진행방향의 $8L$ (L 은 두선박의평균 길이), 횡방향은 그 40% 정도로 설정하였다(Yahei Fujii, 1978). 하지만 이 영역은 피항개시 거리와 관련하며, 근접거리 피항에서는 충돌여부를 판단할 수 있어야 하므로 다르게 정의 되어야 한다. 일반적으로 상선은 선박전장(LOA, Length overall) 400미터를 넘지 않는다. 상대선박과 본선이 충돌시점을 가정하여 도시할 경우, 충돌각 $0^\circ, 90^\circ$ 일 때 선박의 종·횡방향으로 최대가 될 것이다. 따라서 Fig. 3에서 보는 바와 같이 무차원화하여 종방향 길이와 횡방향 길이가 최대가 되는 잔존충돌한계영역(상대선박을 좌표점으로 가정, 폐쇄영역 가장자리와 닮게 되면 충돌로 간주되는 영역)을 설정함으로써 더욱 자세한 시뮬레이션 분석이 가능할 것이다.

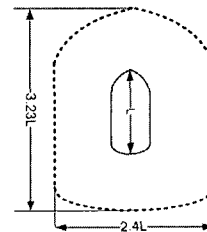


Fig. 3 Potential Collision Limit Area

선박조종운동방정식은 비선형 연립방정식이므로 수치계산은 Runge-Kutta-Gill 방법에 의한 축차 근사적분법을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} u(t) &= u(0) + \sum_{t=0}^{t-\Delta t} \dot{u}(t) \Delta t, & v(t) &= v(0) + \sum_{t=0}^{t-\Delta t} \dot{v}(t) \Delta t \\ r(t) &= r(0) + \sum_{t=0}^{t-\Delta t} \dot{r}(t) \Delta t, & \psi(t) &= \psi(0) + \sum_{t=0}^{t-\Delta t} \dot{\psi}(t) \Delta t \\ x_o(t) &= x_o(0) + \sum_{t=0}^{t-\Delta t} \{u(t) \cos \psi(t) - v(t) \sin \psi(t)\} \Delta t \\ y_o(t) &= y_o(0) + \sum_{t=0}^{t-\Delta t} \{u(t) \sin \psi(t) + v(t) \cos \psi(t)\} \Delta t \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 x_0, y_0 는 지구상에 고정된 고정좌표계를 ψ 는 회두각을 t 는 시간을 Δt 는 미소 시간간격을 의미한다. 따라서 지구고정좌표계에서 X, Y 축의 미소시간에 따른 자선의 진백터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{x}_o &= u(t) \cos \psi(t) - v(t) \sin \psi(t) \\ \vec{y}_o &= u(t) \sin \psi(t) + v(t) \cos \psi(t) \end{aligned} \quad (8)$$

상대선박은 조종성능의 정보를 얻을 수 없으므로 속도 V_a 와 침로 ψ_a 를 가지고 진벡터를 표현하면 식(9)와 같다. 따라서 본선에 대한 상대선박의 진행은 식(10)으로 나타낼 수 있다.

$$\vec{x}_a = V_a \cos \psi_a(t) \quad \vec{y}_a = V_a \sin \psi_a(t) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} x_s(t) &= x_a(0) + \int_0^t (V_a \cos \psi_a(t) - u(t) \cos \psi(t) + v(t) \sin \psi(t)) dt \\ y_s(t) &= y_a(0) + \int_0^t (V_a \sin \psi_a(t) - u(t) \sin \psi(t) - v(t) \cos \psi(t)) dt \end{aligned} \quad (10)$$

또한 선체고정좌표계에서는 상대선박 움직임은 $x_s(t)$, $y_s(t)$ 를 자선 타각에 의한 회전각 변화로 t 시간에서 침로각만큼 좌표 회전하여 나타내며 식(11)과 같이 계산된다.

$$\begin{pmatrix} x_{headup}(t) \\ y_{headup}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi_o(t) & \sin \psi_o(t) \\ -\sin \psi_o(t) & \cos \psi_o(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_s(t) \\ y_s(t) \end{pmatrix} \quad (11)$$

4. 시뮬레이션 및 고찰

본 연구에서 제안된 모델에 관한 유용성을 확인하기 위해 위에서 제시된 수학적 모델을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 상대선박은 본선 좌현 35도 방위 0.791마일 위치에서 횡단하며, 침로와 속도를 유지 한다고 가정하고 본선의 조선에 따른 상대선박의 진행을 분석하기로 한다. 또한 선박제적 곡선에 내포된 위험성을 분석하기 위해, $t=20\text{sec}$ 후 좌, 우현 침로 변화량 30도로 침로 유지하도록 하였다. Fig. 4는 조타각에 대한 선박의 진행을 진운동(True Motion: TM mode)으로 나타낸 것으로서, 상대선박을 안전하게 회피하기 위한 변침방향, 조타각, 변침량을 사전 시뮬레이션을 통하여 미리 알 수 있다. IMO나 COLREG에서는 충돌 피향의무를 규정할 뿐 정량화된 지침을 제공하지 못하고 있다. 따라서 근접거리 회피 동작 사전분석을 통하여 피향행위에 따른 행동의 정량화가 가능할 것이다. Fig. 4에서는 좌우현 모두 타각 20도 이상 실행으로 상대선을 피향할 수 있다. 하지만, 상대선박이 진행도중 침로를 변경하게 된다면, 그 위험도 또한 다르게 된다. TM모드를 상대운동(Relative Motion mode)과 Head Up Motion 모드로 변환하면, 궤적곡선에 잠재된 위험을 더욱 쉽고 정확하게 판단할 수 있다.

Fig. 5는 RM모드에서 상대선의 진행을 나타내며, 최근접점은 궤적의 기울기 변화가 멈추는 점이 된다. 상대선박 방위각 변화를 쉽게 파악할 수 있으며, 상대선의 좌우현 변침에 따른 궤적의 변화는 상대선 변침량에 따라 회전하게 된다. 우현전타 경우 상대선의 침로 변경과 무관하게 좌현 항과하여 피향할 수 있으나, 좌현전타에는 상대선 우현 변침에 충돌위험이 있으므로 우현 전타에 의한 선회로 충돌회피 동작을 취해야

한다는 것을 예측할 수 있다. 우현전타 곡선에서 굴곡부 이후 다시 본선과 가까워지는 이유는 상대선박과 이미 충돌회피 동작이 종료 되었지만 계속 선회함으로 다시 가까워지기 때문이다. 따라서 이 꼭지점은 충돌위험상황에서 벗어났음을 의미하며, 본선 침로의 정침을 유지하여야 한다.

Fig. 6은 선체고정좌표계인 Head Up 모드로 상대선박의 진행을 분석한 것이며, 궤적곡선은 상대선박이 본선을 기점으로 이동하는 항적을 의미한다. 위에서 제시한 잔존충돌한계영역 입력으로 RM Mode에서 판단하기 다소 힘들었던 상대선과 충돌여부와 선박의 충돌 위치 부분을 더욱 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있다. 또한 본선의 좌우현 전타 조건 따른 상대선의 좌우현 항과를 쉽게 파악할 수 있고, 상대선박이 변침하게 되면 선박 이동궤적도 회전 되므로 침로 변경이 충돌위험에 미치는 영향을 RM 모드 보다 더욱 쉽게 판단할 수 있다. 여기서 DCPA는 곡선이 선미로 변하는 시점까지 원점과 최단거리이다.

Table 4 Particulars of the model ship

Type : Container	Rudder	Propeller
Lpp : 175 m	H _R : 7.7m	Pitch : 6.8575m
Breadth : 25.4m	L _R : 4.21m	D _P : 6.5m
Draft : 8.5m	A _R : 30.48m ²	Blade : 5
C _b : 0.559		

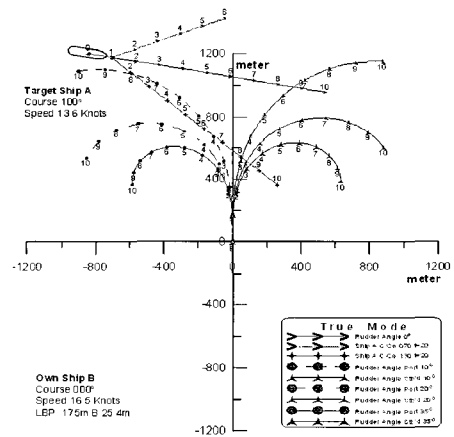


Fig. 4 True motion trajectory in encounter

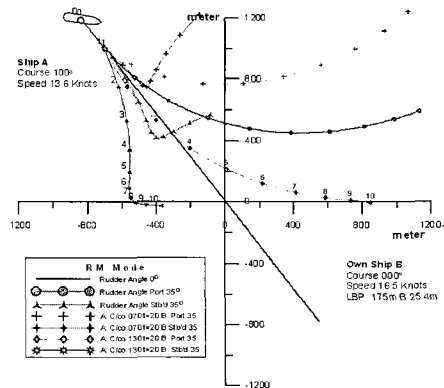


Fig. 5 Relative motion Trajectory of approaching ship

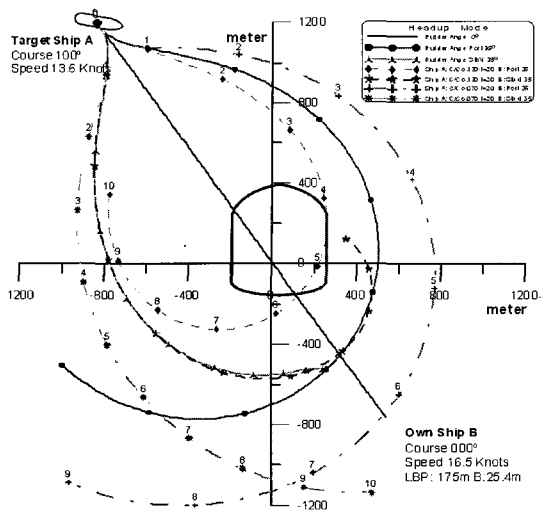


Fig. 6 Trajectory of approaching ship in Head Up mode

결론

충돌사고 분석을 통하여 약 45%의 충돌사고가 2마일 이하 근거리 초인에서 발생함을 알 수 있다. 근접 상황에서는 무엇보다도 선박조종성과 행위 개시 시간의 영향을 크게 받는다. 긴급한 상황에서 충돌회피조선은 선박의 정확한 거동을 예측해야 하지만, 근접상황에서 이러한 판단은 쉬운 일이 아니며, 그 정확성을 확인할 시간적 여유가 부족하여 잘못된 조선을 하게 되는 것으로 분석된다. 또한 충돌회피조선은 선박 조종성에 대한 지식적 및 경험적으로 상당 속지가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 근접상황에서 충분한 충돌회피 조선을 지원하기 위해, 선박의 조종성능 특성을 갖춘 선박조종 운동방정식과 상대선박의 속도와 침로에 대한 운동역학 방정식을 이용하여, 근접거리에서 적용 가능한 충돌회피지원 모델을 제안하였다. 제안된 모델은 충돌위험 상황에서 항해사의 판단을 신속하게 검토할 수 있으며, 올바른 피항 동작을 취할 수 있도록 지원하는 실용성을 확인 하였다. 아울러 본 연구는 근접상황에서 외력을 고려한 충돌회피지원시스템의 기초연구로 수행 되었으며, ARPA 레이다와 연계하여 상대선박의 정보를 실시간 입력받아 상대선박의 불안정한 동작에 따른 본선의 충돌회피 기능을 향상시킬 수 있을 것이다. 선박운동은 위에서 기술한 유체력 이외의 선체에 작용하는 조류 및 풍압력과 선회전에 영향을 주는 알은 수심에 의한 저항력의 영향을

받는다. 따라서 이들 요소의 분석을 통하여 재구성 되고, 선박 항해장비와 전기적 통신으로 연결하여 자동화 된 시스템으로 지원 된다면, 그 실용성을 증가할 것이다. 향후연구에 있어서 이러한 사항을 반영해야 할 과제이며, 또한 상대선박의 조종성능에 대한 침로 변경과 회두각속도에 따른 선박충돌위험도의 재평가는 완전한 선박자동충돌회피시스템을 위하여 계속적으로 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 손경호(1991), "저속시 선체에 작용하는 조종유체력 및 조종성능에 관한 연구", 한국해양학회지, 제15권 제4호.
- [2] 해양안전심판원(2004), "사고통계분석 1998~2004(재결분)", [http://www.kmst.go.kr/statistics/ statistics1.sh tml](http://www.kmst.go.kr/statistics/statistics1.sh tml)
- [3] 小川陽弘 et al.(1977~1980), MMG Report- I, II, III, IV, V, 日本造船學會誌, 第575, 577, 578, 579, 616號.
- [4] Hammer A. and Hara K.(1990), "Knowledge Acquisition for Collision Avoidance Maneuver by Ship Handling Simulator", MARSIM & ICSA 90, Tokyo.
- [5] Hara K. and Hammer A.(1993), "A safe Way of Collision Avoidance Maneuver based on Maneuvering Standard using Fuzzy Reasoning Model", MARSIM 93, St. John's.
- [6] Hasegawa K.(1980), "On a performance Criterion of Auto Pilot Navigation", Journal of Kansai Society of Naval Architects, Japan.
- [7] Hasegawa K.(1987), "Automatic Collision Avoidance System for Ship using Fuzzy Control", 8th Ship Control System Symposium.
- [8] "Watch Keeping in Bridge", Korean Institute of Maritime and Fisheries Technology.
- [9] Yahei Fujii et al.(1978), "Studies on Marine Traffic Control-2", Journal of the Japan Institute of Navigation, No.55, pp 127-132.

원고접수일 : 2004년 10월 26일

원고채택일 : 2004년 12월 14일