

충돌위험 회피를 위한 선박 운항자의 초동조치에 관한 연구

† 이윤석 · 박준모* · 안영중**

† 한국해양대학교 선박운항과, * 한국해양대학교 대학원, ** 한국해양수산연수원

A Study on the Initial Action of Navigators to Avoid Risk of Collision at Sea

† Yun-Suk Lee · Jun-Mo Park* · Young-Joong Lee**

† Department of Ship Operation of Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

* Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

** Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 606-791, Korea

요 약 : 해상에서의 충돌사고 예방을 위한 충돌회피 원칙 및 각종 항법 등을 규정하고 있는 국제해상충돌예방규칙은 선박 간 충돌회피를 위한 초기대응 기준에 대해 대부분 선박 운항자 경험 및 주관적 판단에 의해 결정하도록 명시되어 있다. 그러나 초임 해기사나 학생들은 선박 운항 환경을 종합적으로 판단할 수 있는 경험 및 능력이 부족하므로, 충돌방지를 위한 최소한의 정량적인 초동조치 기준을 제시해 줌으로써 충돌사고를 효과적으로 예방할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서는 해상충돌예방규칙 및 기존 충돌위험 관련 연구 동향을 분석하였으며, 다양한 승선경력을 가진 선박 운항자들을 대상으로 설문을 실시하여 선박 간 조우관계에 따라 주관적으로 판단하는 최소 안전 이격거리와 초기대응의 개시 거리 및 변침각도를 조사하였다. 이러한 분석 결과를 기초로 선박 조우 관계별 충돌회피를 위한 초기 동작이 필요한 거리, 안전 이격거리 및 변침각도를 제시한다. 초기대응 기준은 해양사고 예방뿐만 아니라 점진적인 운항 기술의 향상에 기여할 것이다.

핵심용어 : 국제해상충돌예방규칙, 충돌회피, 최소 안전 이격거리, 초동조치 개시 거리, 변침각도

Abstract : The Convention on the international regulations for preventing collisions at sea, 1972(COLREGs) defines the collision avoidance principles and various navigation rules for the prevention of collision at sea. In particular, the initial responses to avoid risk of collision are mainly decided by navigation officer's experience and subjective judgement. However, collision accidents could be effectively prevented if the minimum criteria of quantitative initial response are suggested to the junior officers and the cadets who have insufficient sea experience and navigation competency. This study reviewed the COLREGs terms related to the initial response and the existing papers concerned with risk assessment model. A questionnaire survey is also carried out for safe passing distance, degrees of alternating course and initial response distance to avoid collision in accordance with various encounter situations. Base on these results, we propose the proper minimum safe passing distance between the vessels, the initial response distance and required turning angles for alternation in each encounter situations. The suggested criteria of initial response will contribute to the prevention of collision at sea as well as the improvement of gradual navigation technology.

Key words : COLREGs, Collision Avoidance, Minimum safe passing distance, Initial response distance, Turning angles

1. 서 론

해상에서 선박 간 충돌사고 예방을 위한 선박운항의 원칙으로 국제해상충돌예방규칙이 널리 통용되고 있다. 또한 해양사고 발생 시 이 규칙을 기초로 항법위반에 따른 운항과실이나 법규위반, 근무태만과 부주의 등을 판결하고 있는 등 해상에서의 안전, 특히 충돌방지를 위해 해기사들이 꼭 익혀야 할 핵심 규칙이다. 그러나 실제 이 규칙을 자세히 살펴보면 선박 간 위험 상황에서의 충돌회피 원칙을 규정하였으나, 초기대응의 시기와 정도에 대해서는 당시 선박의 운항 환경을 종합적

으로 판단하여 선박 운항자의 주관 및 경험에 따라 실시하도록 권고하고 있다. 이것은 선박 통항환경의 복잡성과 다양성 등으로 인하여 정량적인 값을 제시하기에 무리가 있기 때문이라고 볼 수 있다. 그러나 선박 경험이 없는 초임해기사나 항해사 교육을 받고 있는 학생들에게는 선박운항 환경을 종합적으로 판단할 수 있는 능력이 부족하기 때문에 이러한 규칙과 더불어서 최소한의 초동조치 거리, 통과 시 적정 이격거리 및 초기 변침각도 등의 제시를 통해 선박안전 확보에 큰 도움이 될 것으로 판단되나 아직 관련 연구의 진행이 미비한 실정이다. 기존에 수행된 유사한 연구로는 선박 간 충돌회피와 관련

† Corresponding author : 종신회원, lys@kmou.ac.kr 051)410-4204

* 학생회원, jmpark@kmou.ac.kr 051)410-4204

** 연회원, yjahn@seaman.or.kr 051)620-5537

(주) 이 논문은 “해양사고 예방용 교육 훈련 지침 및 시뮬레이션 평가 모듈 개발에 관한 연구” 란 제목으로 “2013년도 공동학술대회 한국해양학회논문집(해군사관학교, 2013.06.27-28, pp. 332-334)”에 발표되었음.

하여 퍼지이론을 접목한 선박충돌회피지원을 위한 자동제어 (Im, 2004), 시뮬레이터 기반의 퍼지 알고리즘과 환경스트레스를 이용한 충돌위험도 추정, 해상에서 해역의 위험도를 평가하기 위한 선박항로 위험도 평가 시뮬레이터 개발(Kim, et al., 2013) 및 충돌위험도의 정량적 평가를 위한 기율기계수 결정 (Jeong, 2003) 등이 있다. 즉, 충돌방지를 위해 퍼지이론을 접목한 자동제어 알고리즘 개발이나 충돌 위험도의 정량적 평가 등 대부분의 연구 결과에서도 충돌회피 시기와 선박과의 안전 통과 이격거리에 대해서는 그 값을 추정하거나 연구자가 주관적으로 판단하여 사용하는 등 일반화한 값을 제시하지 못하였다는 한계점이 있다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 해기사의 충돌회피와 관련된 선박 운항술 교육 차원에서 선박의 조우 관계에 따른 초기대응 시기와 안전 이격거리 및 변침각도를 검토하고자 국제해상충돌예방규칙에 명시된 충돌회피 기본 항법을 분석하고 모든 선박에 적용되는 항법에 따라 경계의 기준이 되는 선박간 거리를 분석한다. 또한 실무 현장에서 충돌회피와 관련한 주관적인 초기대응 기준에 대한 분석을 위해서 항해사 경력을 가진 192명을 대상으로 초기대응 거리, 안전이격거리 및 변침각도에 대한 설문 실시하였고, 이 결과를 이론적인 계산을 통해 검증하였다. 이러한 연구를 통해서 위험한 조우관계별 충돌회피를 위한 최소한의 초기대응 시기, 안전 통과 거리 및 변침각도를 일반화하여 제시하고자 한다.

2. 국제해상충돌예방규칙 및 충돌위험도 평가모델 분석

2.1 국제해상충돌예방규칙 분석

국제해상충돌예방규칙에 명시된 규정 중에서 선박 간 충돌회피와 직접 관련이 있는 기본원칙 및 해당 규정에서 묵시적으로 시사하고 있는 초동조치 관련 내용을 분석한다.

국제해상충돌예방규칙 제2장 항법규정 중 모든 시계 내에서 공통적으로 적용되는 항목으로 경계, 안전속력, 충돌위험, 충돌회피동작, 협수로 및 통항분리방식이 선박운항의 기본 요건으로 명시되어 있다. 특히 충돌위험성을 사전에 파악하기 위해 적절한 경계 및 안전속력을 유지할 것을 규정하고 있으며, 충돌의 위험성에 대해서는 이용 가능한 항해 장비를 최대한 활용해서 상대 선박과의 방위변화를 충분히 검토해야 하고, 충돌회피 동작은 적극적으로 충분한 시간을 두고 적절한 운용술을 발휘토록 규정하고 있다. 이처럼 항법규칙을 명시한 규정에서 조차 충돌회피를 위한 초기대응(위험상황 회피를 위한 상대선박과의 거리, 안전이격거리 및 변침각도)에 대한 구체적인 충돌회피의 방법은 기술되어 있지 않고, 대부분 선박 운항자의 경험 및 주관에 위임하고 있는 실정이다.

다음으로 선박이 상호 시계 내에 있을 때 선박 간 조우관계

를 추월, 정면으로 마주치는 상태, 횡단상태, 피항선의 동작, 유지선의 동작, 선박 상호간의 책임한계로 나누어 기술하고 있다. 선박 간 조우상태에 대해서는 구체적으로 정면으로 마주치는 상태, 횡단상태, 추월상태로 분리되어 있고, 각 상태별로 유지선과 피항선에 대한 충돌회피 방향은 다음과 같이 명시되어 있으나 구체적인 초동조치 방법에 대한 언급은 없다.

- ① Head-on : 상호간 마스트 정부등, 양현등을 선수방향에서 바라보며 접근하는 두 선박은 각각 우현으로 변침하여 좌현 대 좌현으로 통항해야 한다.
- ② Crossing : 타 선박의 홍등을 바라보고 있는 선박이 우현측으로 진로를 피하여야 한다.
- ③ Overtaking : 현등이 보이지 않고 선미등을 볼 수 있을 경우 추월선은 완전히 앞질러 멀어질 때까지 추월당하는 선박의 진로를 피하여야 할 의무가 있다.

그리고 해양사고가 발생할 경우 적절한 경계의 범위 또는 초동조치의 근거가 될 수 있는 묵시적인 내용으로 제3장 선박 등화 및 형상물의 시인거리를 정리하면 다음과 같다.

- ① 길이 50m 이상의 선박 : 마스트 정부등 6마일, 현등 및 선미등 3마일
- ② 길이 12m에서 50m까지의 선박 : 마스트 정부등 3마일, 현등 및 선미등 2마일
- ③ 길이 12m 미만 선박 : 마스트 정부등 2마일, 현등 및 선미등 1마일

선박 등화의 시인거리는 적절한 경계의 기준이 되므로 결국 최소한의 초동조치가 수행되어야 하는 거리를 묵시적으로 시사하고 있다고 볼 수 있다. 그러므로 길이 50m 이상의 선박에서는 Head-on은 6마일, Crossing 및 Overtaking은 3마일, 어선 등과 같은 소형 선박의 경우에는 Head-on은 3마일, Crossing 및 Overtaking은 2마일 전방에서 충돌회피에 필요한 적절한 초기대응이 수행될 필요가 있다고 판단된다.

2.2 충돌위험도 평가모델 분석

1) IMAZU의 충돌위험도 평가 모델

이 평가 모델은 선박 간 충돌위험 평가법으로 충돌위험에 따른 피항개시 시기를 결정하는 방법과 원침로에서 벗어나는 변위량을 최소화하는 회피 동작을 함수로 응용한 것이다. 충돌위험 평가값은 식(1)과 같이, 선박 간 거리적 여유(R/d)가 작을수록, 시간적 여유(R/Vc)가 작을수록 충돌위험이 높게 평가된다.

$$u_c = (m_1 d + m_2 V_c) / R \quad (1)$$

$$L = V t_a \sqrt{1 - \cos \Delta C}$$

여기서, m_1 , m_2 는 거리적 및 시간적 여유를 나타내는 계수이며, L 은 원침로에서 벗어난 북귀시점에서의 최대 변위량, t_a 는 북귀시점, ΔC 는 원침로에 직각으로 내린 최근접 변위를

의미한다. Imazu 모델(Imazu and Koyama, 1988)은 충돌위험도 평가를 수치화하였고 회피동작의 개시시점에 따른 원침로에서의 변위량을 정의하여 임계값을 설정하는 등의 성과를 나타내었으나, 충돌위험도와 초동조치 기준에 대한 명확한 임계값의 설정은 향후 과제로 남겨두고 있다.

2) 항로 충돌위험도 평가 모델

해상 교통류를 기초로 항로에서의 통항량, 선속, 선박길이 등의 통계적인 데이터를 바탕으로 기하학적 충돌빈도를 산출한 충돌위험도 평가 모델(Kim et al., 2011)이다. 다만, 이 모델은 Fujii의 점유 영역 이론(Fujii and Tanaka, 1971)을 기초로 하고 있으며, 선박 간 충돌위험에 따른 초동조치 기준에 대한 검토는 이루어지지 않았다.

3) Fuzzy 이론을 접목한 충돌회피 모델

최근 가장 활발한 충돌회피 연구는 주로 fuzzy이론을 활용한 자동제어나 충돌회피 알고리즘에 관한 것이며, 국내 유사한 연구로는 대표적으로 선박 간 충돌위험도(CR)지수를 이용하여 최 근접 거리와 시간을 활용하고 퍼지 추론을 접목한 연구(Im, 2004)가 있으며, 또한 충돌위험도에 퍼지 이론을 접목하고 AIS 데이터를 이용한 선박위험도 추정 알고리즘을 개발(Son and Kim, 2010)하는 수준까지 확장되고 있다. 이러한 연구는 시뮬레이터를 기반으로 충돌사고 저감을 위해 실시간 충돌위험을 표시하는 기능까지도 응용되고 있다.

CR을 효과적으로 추정하기 위한 퍼지 이론은 식(2)와 같이, i 번째 선박의과 k 방향의 선박과의 최 근접 거리와 시간, 선박길이(L)와 속도(V) 등으로 표현된다.

$$CR_k(i) = f_{fuzzy} \left(\frac{TCPA_{j,k}(i)}{L/V}, \frac{DCPA_{j,k}(i)}{L} \right) \quad (2)$$

$$CR_k(i) = \max(CR_k(i))$$

이러한 퍼지이론을 접목한 CR 연구는 다양한 항행환경(항내조선, 연안 및 원양항해)에 따라 충돌회피를 위한 피항개시시점과 선박 간 정형 통과 거리 등을 임의로 선정하여 사용하고 있어, 향후 충돌회피를 위한 자동제어 및 알고리즘 개발을 위해서는 궁극적으로 초동조치에 대한 명확한 기준 마련이 선행되어야 한다고 볼 수 있다.

3. 초기대응 조사를 위한 설문조사 및 이론적 검증

선박 운항자들의 주관적인 초기대응 판단 기준을 조사하기 위해 설문양식을 구성하여 2013년 3월부터 6월까지 약 3개월간 온라인 설문조사를 이용하여 실시하였다. 192명이 본 설문조사에 응하였으며, 선장을 포함한 다양한 경력을 가진 선박 운항자들의 설문조사 결과를 통해 초기대응 경향을 분석하여 정량화 하였다. 설문조사의 내용은 선박 운항자들이 타선 조우 시 안전 통과를 위해 확보하고자 하는 최소 안전 이격거리

와 초동조치 개시거리 및 변침각도를 정량화하기 위한 항목들로 구성하였다. 기본적인 초기대응 교육지침을 마련하기 위하여 설문 내용은 연안항해 시 복합적인 조우상황들을 제외한 두 선박 간의 일대일 조우 상황으로 한정하였고, 항해 시의 경험과 소속회사의 지침 등을 고려하여 작성토록 요청하였다. 조우상황에 대해서는 Head-on, Crossing, Overtaking으로 크게 세 가지로 분류하였고, 조우각도에 따라 위험도를 느끼는 수준이 상이하므로 Fig. 1과 같이 Crossing에 대해서는 Fine, Broad, Converging으로 분류하여 선박 운항자의 조우 상황에 따른 주관적인 초기대응 개시거리와 변침각도를 조사하였다.

또한 설문조사 결과인 초동조치 거리 및 변침각도를 계산값과 비교하여 선박 운항자가 주관적으로 생각하는 초동조치가 정량적인 계산과 얼마나 차이가 있는지 확인하였다.

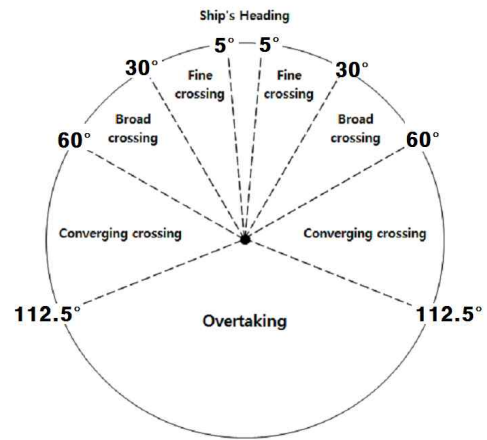


Fig. 1 Separated section of crossing situation

3.1 초기대응 설문결과 분석

1) 최소 안전 이격거리 조사 결과

최소 안전 이격거리는 선박 간 교행 시 선박 운항자들의 주관적인 판단 하에 안전운항을 위해 확보하고자 하는 거리로, 자연적 운항 조건과 선박운항자의 경험 및 면허소지 등의 인위적인 조건에 따라 상이하다(Park et al., 2010). 설문을 통해 조사된 최소 안전 이격거리는 Table 1과 같이 1.0해상마일(이하 마일)이 직급별로 응답률이 가장 높게 나타났다.

Table 1 The ratio of minimum safe distance

Rank Distance	Third Officer	Second Officer	Chief Officer	Captain
0.5mile	2 (6.9%)	13 (21.6%)	32 (35.6%)	5 (38.5%)
1.0mile	24 (82.8%)	46 (76.7%)	52 (57.8%)	7 (53.8%)
2.0mile	2 (6.9%)	1 (1.7%)	5 (5.5%)	1 (7.7%)
3.0mile	1 (3.4%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)	0 (0.0%)

또한 직급별 특징을 보면, 초급항해사에 해당하는 삼등항해사의 경우 1.0마일이라는 의견이 82.8%로 높은 응답을 보인 반면, 상급사관으로 갈수록 최소 안전 이격거리로 0.5마일의 응답률이 증가하고 있다.

2) 초동조치 개시거리 조사 결과

초동조치 개시거리는 타선과의 충돌 위험을 확인한 경우, 조우 상황에 따라 초동조치는 얼마만큼의 거리를 두고 개시할 것인가에 대해 설문한 것으로서 결과는 Table 2 및 Fig. 2와 같다.

Table 2 The ratio of initial response distance

Rank Dist.	Third Officer	Second Officer	Chief Officer	Captain
Head on situation				
0.5 NM	1 (3.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
1 NM	0 (0.0%)	3 (5.0%)	2 (2.2%)	0 (0.0%)
3 NM	7 (24.1%)	18 (30.0%)	37 (41.1%)	6 (46.2%)
6 NM	21 (72.4%)	39 (65.0%)	51 (56.7%)	7 (53.8%)
Fine crossing situation				
0.5 NM	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (1.1%)	0 (0.0%)
1 NM	1 (3.4%)	2 (3.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
3 NM	10 (34.5%)	23 (38.3%)	37 (41.1%)	7 (53.8%)
6 NM	18 (62.1%)	35 (58.3%)	52 (57.8%)	6 (46.2%)
Broad crossing situation				
0.5 NM	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
1 NM	1 (3.4%)	6 (10.0%)	10 (11.1%)	2 (15.4%)
3 NM	19 (65.5%)	40 (66.7%)	54 (60.0%)	8 (61.5%)
6 NM	9 (31.0%)	14 (23.3%)	26 (28.9%)	3 (23.1%)
Conversing crossing situation				
0.5 NM	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
1 NM	4 (13.8%)	7 (11.7%)	13 (14.4%)	3 (23.1%)
3 NM	21 (72.4%)	42 (70.0%)	58 (64.4%)	7 (53.8%)
6 NM	4 (13.8%)	11 (18.3%)	19 (21.1%)	3 (23.1%)
Overtaking situation				
0.5 NM	1 (3.4%)	3 (5.0%)	4 (4.4%)	0 (0.0%)
1 NM	3 (10.3%)	3 (5.0%)	8 (8.9%)	5 (38.5%)
3 NM	15 (51.7%)	30 (50.0%)	40 (44.4%)	6 (46.2%)
6 NM	10 (34.5%)	24 (40.0%)	38 (42.2%)	2 (15.4%)

즉, 설문조사 결과에 있어 직급별 차이는 있으나, Head-on 상황과 Fine crossing 상황의 경우 6.0마일, Broad crossing, Converging crossing 및 Overtaking의 경우는 3.0마일로 확인되었다. 이 결과에 있어 특징적인 것은 결과가 일관되지 않고 상황별로 초동조치 거리의 차이를 보인다는 것이다. 이는 Head-on과 Fine crossing의 경우 다른 조우상황들과 비교해

상대적으로 선박간의 상대 선속이 빠르기 때문에 보다 충분한 거리를 두고 변침을 하려는 의도 때문인 것으로 분석된다. 또한 Converging crossing, Overtaking의 경우는 타선의 선미를 보며 통과하기 때문에 심리적 부담이 타 조우상황보다 적은 것으로 판단된다. 또한 선박 운항자의 초동조치 개시거리 설문조사 결과는 국제해상충돌예방규칙에서 초동조치 거리에 대해 묵시적으로 시사하고 있는 Head-on 6.0마일, Crossing 및 Overtaking 3.0마일과 유사함을 확인하였다.

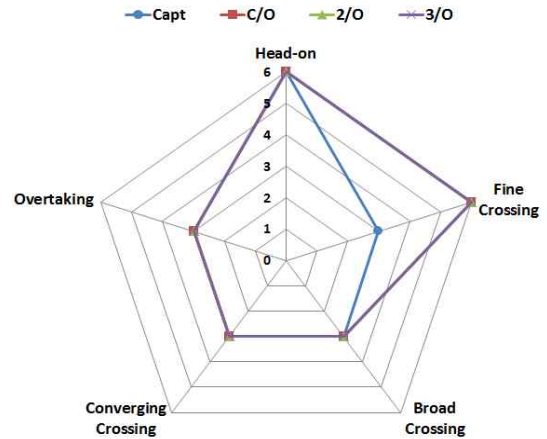


Fig. 2 Initial response distance

3) 초기 변침각도 조사 결과

초기 변침각도는 초동조치 개시거리에서 변침을 한다면 얼마만큼의 변침을 할 것인가를 설문한 것이며, 그 결과는 Table 3과 같다.

조우상황 별 초기대응 변침각도는 전체 응답 중 가장 많은 응답으로 Head-on의 경우 10°, Crossing의 경우 Fine 15°, Broad 20°, Converging 30° 및 Overtaking은 10°로 설문결과 확인되었다. 즉, 선박 운항자가 타선과 조우하는 각도가 작아 질수록 초기대응을 시작하는 개시거리는 커지는 반면 변침각도는 작아지는 경향이 있는 것으로 분석되었다.

Table 3 The ratio of turning angle of initial response

Rank Dist.	Third Officer	Second Officer	Chief Officer	Captain
Head on situation				
5°	4 (13.8%)	5 (8.3%)	6 (6.7%)	3 (23.1%)
10°	15 (51.7%)	31 (51.7%)	38 (42.2%)	8 (61.5%)
15°	10 (34.5%)	17 (28.3%)	39 (43.3%)	2 (15.4%)
20°	0 (0.0%)	3 (5.0%)	7 (7.8%)	0 (0.0%)
30°	0 (0.0%)	4 (6.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Fine crossing situation				
5°	4 (13.8%)	0 (0.0%)	4 (4.4%)	0 (0.0%)

Rank Dist.	Third Officer	Second Officer	Chief Officer	Captain
10°	9 (31.0%)	20 (33.3%)	23 (25.6%)	5 (38.5%)
15°	12 (41.4%)	21 (35.0%)	43 (47.8%)	4 (30.8%)
20°	1 (3.4%)	9 (15.0%)	15 (16.7%)	4 (30.8%)
30°	3 (10.3%)	10 (16.7%)	5 (5.6%)	0 (0.0%)
Broad crossing situation				
5°	4 (13.8%)	0 (0.0%)	3 (3.3%)	0 (0.0%)
10°	6 (20.7%)	16 (26.7%)	9 (10.0%)	2 (15.4%)
15°	6 (20.7%)	12 (20.0%)	21 (23.3%)	3 (23.1%)
20°	11 (37.9%)	25 (41.7%)	39 (43.3%)	7 (53.8%)
30°	2 (6.9%)	7 (11.7%)	18 (20.0%)	1 (7.7%)
Converging crossing situation				
5°	2 (6.9%)	4 (6.7%)	1 (1.1%)	0 (0.0%)
10°	3 (10.3%)	4 (6.7%)	13 (14.4%)	0 (0.0%)
15°	0 (0.0%)	8 (13.3%)	10 (11.1%)	3 (23.1%)
20°	11 (37.9%)	15 (25.0%)	25 (27.8%)	3 (23.1%)
30°	13 (44.8%)	29 (48.3%)	41 (45.6%)	7 (53.8%)
Overtaking situation				
5°	5 (17.2%)	7 (11.7%)	12 (13.3%)	1 (7.7%)
10°	12 (41.4%)	35 (58.3%)	44 (48.9%)	6 (46.2%)
15°	9 (31.0%)	14 (23.3%)	25 (27.8%)	3 (23.1%)
20°	3 (10.3%)	3 (5.0%)	6 (6.7%)	1 (7.7%)
30°	0 (0.0%)	1 (1.7%)	3 (3.3%)	2 (15.4%)

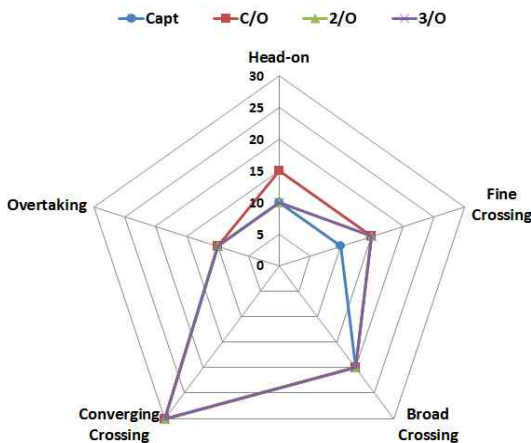


Fig. 3 Turning angle of initial response

3.2 초기대응 설문결과 검증

설문조사 결과를 검증하기 위해 Fig. 4와 같이 충돌회피를 위한 초기대응 개시거리(D) 및 초기 변침각도로 변침하였을 때 두 선박간의 DCPA(최단근접거리; Distance at Closest Point of Approach)를 식(3,4,5)을 이용해 도출하였다(단, 선박의 선회성능은 계산에 반영하지 않음).

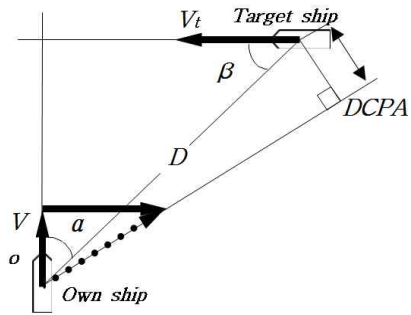


Fig. 4 Coordinate system of DCPA

$$V_r^2 = V_o^2 + V_t^2 - 2V_oV_t\cos\alpha \tag{3}$$

$$\cos\beta = \frac{V_r^2 + V_t^2 - V_o^2}{2V_rV_t} \tag{4}$$

$$DCPA = \sin(\theta_t - \beta - \theta_o)D \tag{5}$$

계산 결과 Table 4와 같이 추월의 경우를 제외하고는 1.0마일 이상의 안전 이격거리를 확보하지 못하였다. 왜냐하면 실제 해상에서 선박 운항자는 충돌 회피 동작을 할 때 초동조치만으로 이격거리를 확보하는 것이 아니고, 초동조치 이후 지속적인 경계와 타선의 움직임을 보고 추가적인 변침을 실시하며 경제적인 운항 측면에서 대각도로 변침하여 피항동작을 취하지 않는 경향이 있기 때문에 선박 운항자들이 생각하는 초기 변침각도와 안전이격거리가 계산값과 상이한 것으로 사료된다. 그러므로 초기 변침각도로 변침 후 지속적인 경계를 통해 추가 변침이 이루어진다면, 1.0마일의 안전 이격거리는 충분히 확보 할 수 있는 것으로 분석된다.

Table 4 Result of DCPA calculation

Situation	Distance	Turning angle	Calculation result
Head on	6 NM	10°	0.52 NM
Fine crossing	6 NM	15°	0.78 NM
Broad crossing	3 NM	20°	0.52 NM
Converging crossing	3 NM	30°	0.77 NM
Overtaking	3 NM	10°	1.02 NM

4. 초기대응 조치 기준 제시

선박의 충돌사고 예방을 위해 해기교육 측면에서 다양한 항행환경과 위험한 조우관계를 망라할 수 있는 정량적인 충돌회피 초동조치 기준은 아니더라도 안전적인 측면에서 해양사고 예방을 위한 기본적인 충돌회피 원칙과 기준을 수립하여 제시한다면 도움이 될 것으로 판단된다. 그래서 본 절에서는 설문조사 및 DCPA 결과를 반영하여 선박의 조우상황별 초동조치거리, 안전이격거리 및 변침각도 기준을 제시하고자 한다.

4.1 Head-on 상황에서의 기준 제시

Head-on 상황에서의 초기대응 기준을 제시하기 위해 DCPA를 도출하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. 즉, 초동조치 개시거리가 6.0마일이고, 최소 안전 이격거리를 1.0마일로 통과하기 위해서는 15°~25°의 초기 변침각도가 필요하다는 것을 알 수 있다.

선박 운항자의 설문조사 결과와 같이 Head-on 상황에서 충돌을 회피하기 위한 초동조치 개시거리가 6.0마일이고 최소 안전 이격거리가 0.5마일~1.0마일이며 초기 변침각도가 10°~15°라는 점, 타선의 선속을 본선의 0.5배, 1.0배, 1.5배로 설정하고 설문조사 결과를 적용하여 DCPA를 계산한 결과 필요한 초기 변침각도가 평균 15°로 도출되었다는 점, XTE(Cross Track Error)등을 고려해 보았을 때 Head-on 상황에서의 초기대응 기준은 타선의 선속이 본선의 0.5배, 1.0배, 1.5배일 경우 초동조치 개시거리가 6.0마일, 초기 변침각도는 15°로 제시한다.

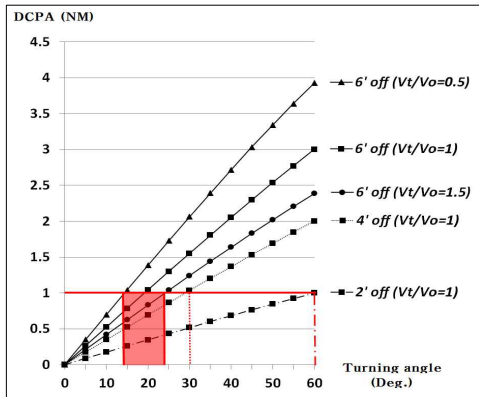


Fig. 5 DCPA result of Head-on situation

4.2 Crossing 상황에서의 기준 제시

Crossing 상황에서의 초기대응 기준을 제시하기 위해 타선과의 조우각도가 90°인 경우에 대한 DCPA를 도출하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다. 즉, Crossing 상황에서는 초동조치 개시거리 3.0마일 및 0.5마일 이상의 최소 안전 이격거리로 타선을 통과할 때 적정 변침각도는 4.0마일과 2.0마일의 중첩위치에 해당하는 변침각도 20°가 적정한 것으로 분석되었다.

그러나 Fig. 6의 그래프는 타선과의 조우각도가 90°인 경우에 대한 결과로서 조우각도가 112.5°로 커지는 Converging Crossing 상황을 고려한다면 충돌 회피를 위해서는 20°보다 큰 초기 변침각도가 필요하다 하겠다.

그러므로 Crossing 상황의 경우 설문조사 결과 선박 운항자가 Converging Crossing의 경우 초기변침 각도를 30°도로 제시했다는 점, DCPA 도출식을 이용하여 검증한 결과 초동조치 개시거리 3.0마일, 변침각도를 30°로 하였을 때 DCPA가 0.77마일로 도출되었다는 점, Head-on 상황에 비해 충돌에 대한 심리적 부담감이 적으며 타선과의 접근속도가 느려 장시간

동안 변침각도를 유지해야 하므로 XTE가 늘어난다는 점, 다양한 Crossing 상황을 고려해야 한다는 점을 고려할 때 Crossing 상황에서의 초기대응 기준은 타선의 선속이 본선의 0.5배, 1.0배, 1.5배일 경우 초동조치 개시거리가 3.0마일, 초기 변침각도는 30°로 제시한다.

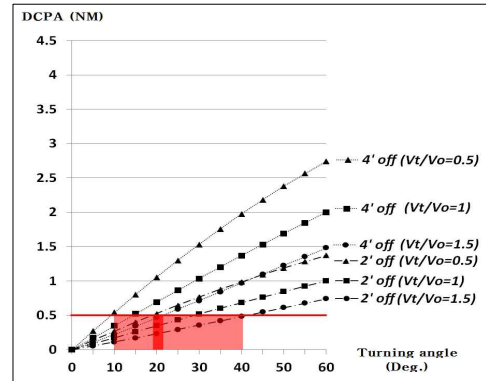


Fig. 6 DCPA result of Crossing situation

4.3 Overtaking 상황에서의 기준 제시

Overtaking 상황에서의 초기대응 기준을 제시하기 위해 DCPA를 도출하였으며 그 결과는 Fig. 7과 같다. 즉, Overtaking 상황에서는 초동조치 개시거리 3.0마일 및 1.0마일 이상의 최소 안전 이격거리로 타선을 통과할 때 적정 변침각도는 타선의 선속에 따라 7°~10°인 것으로 분석되었다.

선박 운항자의 설문조사 결과와 같이 Overtaking 상황에서 충돌을 회피하기 위한 초동조치 개시거리가 3.0마일이고 최소 안전 이격거리가 1.0마일이며 초기 변침각도가 10°라는 점, 본선의 선속을 타선의 1.5배, 2.0배로 설정하고 설문조사 결과를 적용하여 DCPA를 계산한 결과 필요한 초기 변침각도가 약 10°로 도출되었다는 점, 타선의 선미를 지속적으로 보며 추월하게 되므로 조선의 부담감이 가장 적다는 점을 고려할 때 Overtaking 상황에서의 초기대응 기준은 본선의 선속이 타선의 1.5배, 2.0배일 경우 초동조치 개시거리 3.0마일, 초기 변침각도 10°로 제시한다.

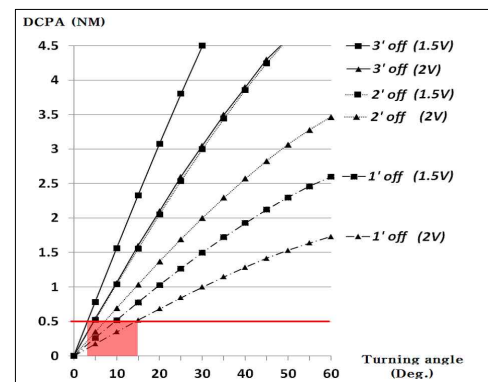


Fig. 7 DCPA result of Overtaking situation

5. 결론

본 연구에서는 선박의 충돌사고를 방지하기 위해 초입 해기사 및 해기사 양성 교육에 사용할 수 있는 정량적인 초동조치 거리, 초기 변침각도 및 안전 이격거리 등을 제시하기 위해 국제해상충돌예방규칙에 명시된 충돌방지항법 분석, 기존에 수행된 충돌위험도 평가 모델에 대한 연구자료 분석 및 선박 운항자를 대상으로 설문조사 및 검증을 실시하였다.

국제해상충돌예방규칙을 분석한 결과 정량적인 초동조치에 대한 기준이 전무하나, 등화의 시인거리로서 묵시적으로 초동조치 거리(Head-on은 6마일, Crossing 및 Overtaking은 3마일)를 시사하고 있음을 확인하였고, 기존의 충돌위험도 평가 모델 연구 자료를 분석한 결과 초동조치에 관한 부분에 대해서는 연구자가 임의로 설정하거나, 추후 연구과제로 제시하는 등 연구 성과가 미비한 실정이었다.

선박 운항자를 대상으로 한 설문조사 결과 전체 응답과 정책에 따른 그룹별 응답이 유사하였으며, 최소 안전 이격거리는 0.5마일에서 1.0마일로 분석되었다. 선박 운항자들이 응답한 초동조치 기준을 검증하기 위해 DCPA 계산을 수행한 결과 타선의 협력동작이 없을 시 1.0마일 이상의 최소 안전 이격거리를 확보할 수 없음이 검증되었다. 초동조치 개시 후 지속적인 경계와 주의를 기울이며 추가적인 변침이 이루어져야 최소 안전 이격거리를 확보할 수 있으므로 본 연구에서 기준으로 제시하지는 않았지만, 선박 운항자가 이를 충분히 인지해야 하며, 해기교육에도 이러한 내용을 반영할 필요가 있다.

선박 운항자를 대상으로 선박간의 최소 안전 이격거리와 초기 변침각도 등에 관한 주관적 기준을 설문조사를 통해 통계 처리 후 이론적인 계산방법을 통해 검증하고 조우 상황별 초동조치 기준을 제시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- ① Head-on : 6.0마일 전, 15도 변침 (DCPA 1.0마일)
- ② Crossing : 3.0마일 전, 30도 변침 (DCPA 0.5마일)
- ③ Overtaking : 3.0마일 전, 10도 변침 (DCPA 1.0마일)

본 연구에서 제안한 초동조치 기준은 초급 해기사 교육 및 각종 해운선사의 현장교육에 반영하여 그 동안 선박 운항자의 주관에 의존했던 충돌회피 이격거리와 변침각도를 정량적인 기준으로 운항 현장에 적용할 경우 일정한 거리에서부터 타선의 경계를 높임으로써 선박 간 충돌사고 예방에 기여할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 복합적인 관계가 아닌 자선과 타선만의 기본적인 조우관계를 분석하였고, 추후 다양한 상황이 동시에 발생하는 다수 선박과의 초기대응에 대한 추가적인 연구를 수행하여 해기교육에 적용한다면 해양사고 중 충돌사고 예방에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 해양수산부의 해양안전기술개발사업(인적요인에

의한 해양사고 예방 및 관리기술 개발, 2차년도 해양사고 예방용 교육·훈련 지침 및 시뮬레이션 평가 모듈 개발에 관한 연구) 과제의 지원에 의해 수행되었음.

References

- [1] Fujii, Y. and Tanaka, K.(1971), Traffic Capacity, The Journal of Navigation(Japan), Vol. 24, pp. 543-552.
- [2] Im. N. K.(2004), Automatic Control for Ship Collision Avoidance Support-III, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 28. No. 6, pp. 475-480.
- [3] Imazu, H. and Koyama, T.(1988), The Determination of Collision Avoidance Action, Journal of Japan Institute of Navigation, No.70, pp. 31-37.
- [4] Jeong. T. G.(2003), A New Approach to the Evaluation of Collision Risk using Sech Function, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 27. No. 2, pp. 103-109.
- [5] Kim. J. S., Park Y. S., Heo. T. Y. and Jeong. J. Y. and Park. J. S.(2011), A Study on the Development of Basic Model for Marine Traffic Assessment Considering the Encounter Type Between Vessels, Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 4, pp. 401-406.
- [6] Kim. K. I., Jeong. J. S. and Park. G. K.(2013), A Study on the Development of Ship's Passage Risk Assessment Simulator, Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 23, No. 3, pp. 220-225.
- [7] Park. Y. S., Lee Y. S.(2008), Development of Efficient Training Material through Danger Analysis to Various Encounter Types using Training Ship, Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 32, No. 1, pp. 103-108.
- [8] Park Y. S., Jeong. J. Y. and Kim. J. S.(2010), A Study on the Minimum Safety Distance between Navigation Vessels based on Vessel Operator's Safety Consciousness, Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 4, pp. 401-406.
- [9] Son. N. S. and Kim. S. Y.(2010), Validation on the Algorithm of Estimation of Collision Risk among Ships based on AIS Data of Actual Ship's Collision Accident, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 34. No. 10, pp. 727-733.

원고접수일 : 2014년 7월 28일
 심사완료일 : 2014년 8월 4일
 원고채택일 : 2014년 8월 11일