

WAVE 통신을 활용한 소형선박의 충돌예방 알고리즘 구축에 관한 연구

이명기* · 박영수**† · 강원식***

* 한국해양대학교 해양과학기술전문대학원, ** 한국해양대학교 해사대학, *** 선박안전기술공단

A Study on Construction of Collision Prevention Algorithm for Small Vessel Using WAVE Communication System

Myoung-ki Lee* · Young-Soo Park**† · Won-Sik Kang***

* Ocean Science and Technology school, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

** College of Maritime Sciences, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

*** Korea Ship Safety Technology Authority, Se-jong 30100, Korea

요 약 : 2017년 12월 인천의 영흥도에서 발생한 급유선과 낚시어선의 충돌사고를 비롯하여 소형 어선의 충돌 사고가 잇따라 발생하고 있다. 해양수산부에서 이러한 소형 어선의 해양사고를 예방하기 위하여 5톤 미만의 어선원에 대한 교육·훈련 규정 마련 등 교육 강화 및 근로환경 개선 등 선박종사자의 안전역량 제고를 위해 노력하고 있으나, 여전히 소형 선박은 해양사고에 매우 취약한 실정이다. 본 연구에서는 소형선박의 충돌 사고를 예방하기 위하여 새로운 통신 기법인 차량용 무선통신(WAVE 통신)을 활용한 소형 선박을 위한 충돌 예방 알고리즘을 구축하고자 하였다. 충돌 예방 알고리즘은 DCPA/TCPA를 기반으로 구성되었으며, DCPA/TCPA의 기준 설정을 위하여 선행 연구 분석, 시뮬레이션 실험 및 설문조사를 실시하였다. 그 결과 DCPA $8(L_a + L_b)$, TCPA 2.5min의 기준을 적용하였다. 각각 다른 조우 상황의 3가지 사고 사례를 선별한 후 구성된 알고리즘을 적용하여 어느 시기에 경보가 발생하는지 확인하였다. 추후에 실선 적용을 통하여 문제점을 식별하고 알고리즘을 고도화한다면 소형 선박의 운항자가 충돌 상황을 사전에 인지하는데 정보를 제공할 수 있다.

핵심용어 : 소형선박, 해양사고, 충돌예방알고리즘, WAVE 통신 시스템, DCPA, TCPA

Abstract : In December 2017, many collision accidents of small vessels, such as those between oil refineries and fishing boats, occurred near Yeonghung-do in Incheon. In order to prevent marine casualties from small vessels, the government is striving to improve the safety capabilities of ship operators by strengthening education and improving the working environment. They are providing education and refining training regulations for fishermen operating vessels under 5 tons. However, the situation includes certain vulnerabilities. In this study, we propose a collision prevention algorithm for small vessels using the Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) communication system, which is a new communication technique to prevent collisions with small ships. The collision avoidance algorithm used is based on DCPA/TCPA. Research analyses, simulation experiments and questionnaires have been conducted to define the criteria of DCPA/TCPA. As a result, the standard for DCPA was $8(L_a + L_b)$ and for TCPA was 2.5 min. Three different accident cases were selected, and this algorithm was applied to confirm alarm responses at certain times. This algorithm can provide information to the operators of small ships in advance to help them recognize potential collision situations.

Key Words : Small vessel, Marine accident, Collision prevention algorithm, WAVE communication System, DCPA, TCPA

1. 서 론

2017년 12월 인천 영흥도에서 발생한 급유선과 낚시어선 충돌사고를 비롯하여 최근 신안 해상에서 발생한 소형 어선

끼리의 충돌사고, 여수 월호도 인근에서 발생한 낚시어선과 소형어선 사고 등 소형 어선 충돌 사고로 인한 크고 작은 인명 피해가 잇따라 발생하고 있다. 한편 국내 해양사고 통계에 따르면 최근 5년간 발생한 국내 해양사고 중 어선 사고가 약 68.2%, 100톤 미만의 선박 사고가 약 80.0%를 차지하고 있다(KMST, 2018). 또한 어선 사고 중 11.6%는 충돌 사고

* First Author : lmk0620@kmou.ac.kr

† Corresponding Author : youngsoo@kmou.ac.kr, 051-410-5085

로 기관 손상 다음으로 높은 비율을 차지하고 있으며, 그 원인으로는 경계소홀, 항행법규 위반 등 운항과실이 충돌 사고 원인의 약 94.6%를 차지하고 있다. 이러한 인적오류에 의한 해양사고를 예방하기 위하여 해양수산부에서는 5톤 미만의 어선원에 대한 교육·훈련 규정 마련 등 교육 강화 및 근로환경 개선 등 선박종사자의 안전역량 제고를 위해 노력하고 있으나, 여전히 소형 선박은 해양사고에 매우 취약한 실정이다.

한편, 어선의 충돌 예방을 위한 대책 방안으로 Lee(2004)는 공기 중에 초음파 펄스를 발사하여 충돌위험을 오디오와 발광 경보신호를 알려주는 초음파 경보 시스템을 제안하였으며, Lee et al.(2011)은 이동통신망을 이용한 대책 방안으로 휴대전화를 이용한 안전운항 지원 프로그램을 활용하는 방안을 제시하였다. 또한 Seo et al.(2018)은 AIS대신 스마트폰에서 동작할 수 있는 소형선박 항해지원시스템을 개발하여 보고하였다.

본 연구와 관련있는 충돌 예방 알고리즘에 관한 선행 연구로는 Kim et al.(2011)가 조우선박의 상대방위를 측정함으로써 자신이 피항선인지 유지선인지 판단한 후 타원형 선박 안전영역 모델을 이용하여 피항 시점을 결정하는 알고리즘을 개발한 연구가 있으며, Wang et al.(2017)은 선박 조종 시에 실시간으로 동적 DCPA와 TCPA를 지원할 수 있는 시스템을 제안하였다.

지금까지 제안된 연구에서는 통신 수단으로 초음파나 휴대전화를 활용한 어선 충돌 예방 시스템을 제안하였고, 단순히 거리에 의한 경보를 발생하거나 명확한 경보 기준을 제시하지 못하였다. 또한 AIS를 기반으로 상선 대상의 충돌 알고리즘을 제안하였기 때문에 소형 선박의 조종 특성을 반영하는데 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 소형 선박의 특성을 반영할 수 있는 새로운 통신기술을 기반으로 충돌 예방 알고리즘을 고안하고 이를 해양사고에 적용하여 그 실효성을 검증하고자 하였다.

2. 선행연구 및 이론적 고찰

2.1 WAVE 통신의 이론적 고찰

차량용 무선통신기술(Wireless Access in Vehicular Environments, WAVE)은 도로교통과 IT 기술의 융합으로 차량과 차량, 차량과 인프라 통신을 지원하여 차량의 안전을 확보하는 통신 서비스이다. 도로교통뿐만 아니라 최근에는 철도 교통 분야에서도 WAVE통신 적용을 위한 시험 평가를 수행했을 뿐만 아니라, 해상에서도 실선 실험을 통해 해상적용 가능성을 검토하였다. Table 1은 WAVE 통신과 AIS를 비교한 표이다.

Table 1. Comparison of WAVE communication and AIS

Equipment	WAVE	AIS
Frequency	5.8 GHz (5.855 ~ 5.925 GHz)	161.975 Mhz, 162.025 Mhz
Power	less than 100 mW	2 W ~ 12.5 W
Transmission Period	100 msec	2 sec ~ 3 min
Transmission Distance	Max. 5 miles	Approx. 50 miles

WAVE 통신 기술은 Device to Device 통신이 가능하고, 사용료가 없으며 전송주기가 100 msec으로 신뢰성 높은 통신이 가능하다는 장점이 있지만, 통신거리가 최대 약 5해리인 것은 단점일 수 있다(Kang et al., 2018).

한편, 일반적으로 해상에서 선박과 선박 또는 선박과 연안 기지국간의 항해 관련 데이터 통신을 위한 시스템으로 선박자동식별장치(Automatic Identification System, AIS)를 활용하고 있다. AIS는 해양수산부 고시의 선박설비기준 제108조의5에 의거하여 연해구역 이상을 항해하는 총톤수 50톤 이상의 선박에 필수로 탑재하고, 어선설비기준 제188조에 의거하여 10톤 이상의 어선에 필수로 탑재하도록 하고 있기 때문에 AIS 필수로 탑재한 많은 선박 간의 정보 교환이 자유롭고, 통신거리가 약 50해리라는 장점이 있지만 통신 주기가 약 2초~3분으로 조종 성능이 좋은 소형 선박의 특성을 반영하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 WAVE 통신과 AIS의 장단점을 비교·분석하고, 소형 선박의 특성을 반영할 수 있는 장점을 가진 WAVE 통신 기술을 적용하고자 하였다.

2.2 충돌 예방 알고리즘의 선행 연구

소형선박의 충돌 예방 알고리즘을 구성하기 위하여 기존의 소형선박 및 일반상선 대상의 충돌 예방 관련 연구를 분석하고자 하였다.

Lee(2004)는 선박의 상부층에 초음파 센서를 설치하고 공기 중에 초음파 펄스를 발사하여 충돌 위험을 오디오와 발광 경보신호를 알려주는 초음파 경보 시스템을 제안했다. 이때 경보신호 거리는 초음파 특성을 고려하여 50m에서 처음 발생하여 위험성이 높아짐에 따라 반복 주기를 짧게 하여 운항자의 반사 신경을 자극하도록 개발하였다.

Lee et al.(2011)은 소형 선박 내 AIS 탑재의 어려움에 대한 방안으로 대부분의 성인이 휴대하고 다니는 휴대폰을 활용하여 충돌 예방에 도움을 주고자 하였다. 휴대폰을 통해 파악된 위치 정보를 바탕으로 TCPA와 DCPA값을 계산하여 알려준다면 사고 예방에 도움이 될 것이라고 제안하였다.

Seo et al.(2018)은 서버가 AIS 수신기와 연계하여 스마트폰 위치와 AIS 정보를 모두 수집하고, 이 정보를 스마트폰에 제공함으로써 안전항해를 지원하는 시스템을 개발하였다. 이 연구에서는 국토교통성의 가이드라인에 따라 500m 이내에 접근할 경우 경고를 울리도록 개발하였고, 해상 실험을 통하여 시스템이 문제없이 작동함을 확인하였다.

Kim et al.(2011)은 상대 방위를 관측하여 본선이 CORLEG에 의한 피항선 또는 유지선의 위치에 있는지를 판단하여 충돌 회피 동작을 수행하는 알고리즘을 제안하였다.

Szlapczynski and Szlapczynska(2016)은 도메인 기반의 충돌 파라미터로 Degree of Domain Violation(DDV)와 Time to Domain Violation(TDV)를 사용하여 충돌 위험을 판단하는 알고리즘을 제안하였다.

Wang et al.(2017)은 충돌 회피 동적 지원 시스템을 개발하였는데, 이 시스템은 선박 조종 모션 및 컨트롤 메커니즘, 동적 계산 모델 등을 활용하여 선박 조종 시에 실시간으로 동적 DCPA와 TCPA를 지원할 수 있는 시스템이다.

Table 2는 충돌예방 알고리즘 선행연구를 요약한 표이다.

Table 2. A summary of previous research

Previous Study	Target ship	Communication Equip.	Criteria
Lee(2004)	Fishing vessel	Ultrasonic	Distance (50 m)
Lee et al.(2011)	Fishing vessel	Cellular phone	DCPA/TCPA
Seo et al.(2018)	Fishing vessel	Cellular phone	Distance (500 m)
Kim et al.(2011)	Merchant ship	AIS	Ship domain
Szlapczynski and Szlapczynska(2016)	Merchant ship	AIS	DDV, TDV
Wang et al.(2017)	Merchant ship	AIS	Dynamic DCPA/TCPA

본 연구에서는 각각 3가지의 상선, 어선과 관련된 선행연구를 제시하였으나, 그 외에도 충돌 예방과 관련된 많은 연구가 AIS 기반 상선 대상으로 이루어졌음을 확인하였으며, 어선과 관련된 충돌예방 연구에서는 초음파 또는 휴대전화의 통신장비를 사용하여 단순히 Distance만을 이용하였거나 명확한 DCPA/TCPA의 기준을 제시하지 않았다. 반면에 상선에 관한 선행연구에서는 AIS를 기반으로 선박안전영역과 DCPA/TCPA 등을 기준으로 보다 명확한 기준을 제시하였으나, 다소 복잡하다는 한계가 존재하였다. 따라서 본 연구에서는 두 선박이 조우하는 상황에서 위험 여부를 결정할 수

있는 가장 일반적인 방법인 TCPA와 DCPA를 기반으로 충돌 예방 알고리즘을 구축하고자 하였다.

2.3 TCPA/DCPA의 이론적 고찰

TCPA(Time of the Closest Point of Approach)는 상대 선박이 현재 위치에서 본선과 가장 가까운 지점을 통과하는 시점까지 걸리는 시간이고, DCPA(Distance of the Closest Point of Approach)는 상대선박이 본선으로 접근할 때 본선과 가장 가까운 지점까지의 거리를 의미한다.

Fig. 1은 DCPA/TCPA 개념도를 나타낸다.

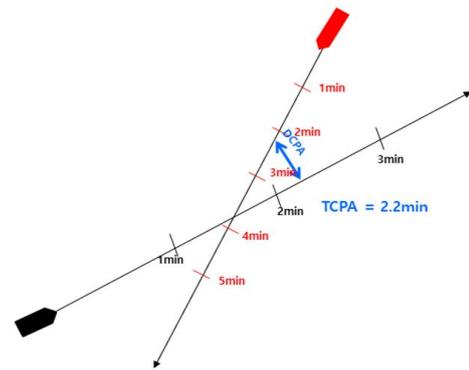


Fig. 1. DCPA/TCPA conceptual diagram.

일반적으로 DCPA/TCPA는 레이더 플로팅에 의하여 계산하며, Fig. 1의 DCPA/TCPA 개념도를 바탕으로 도출된 DCPA와 TCPA 계산식은 다음과 같다(Kim, 2013).

$$RV_x = V_T \times \sin C_T - V_o \times \sin C_o \quad (1)$$

$$RV_y = V_T \times \cos C_T - V_o \times \cos C_o \quad (2)$$

$$\overrightarrow{RV} = \sqrt{(RV_x)^2 + (RV_y)^2} \quad (3)$$

$$TCPA = \frac{(x' - x) \times RV_x + (y' - y) \times RV_y}{RV^2} \quad (4)$$

$$DCPA = \sqrt{D^2 - (RV \times TCPA)^2} \quad (5)$$

- 여기에서, (x, y) : 본선 좌표 (x', y') : 타선 좌표
- V_o : 본선 속도(kts) V_T : 타선 속도(kts)
- C_o : 본선 침로(°) C_T : 타선 침로(°)
- \overrightarrow{RV} : 상대벡터 D : 두 선박의 거리(mile)
- (RV_x, RV_y) : 상대벡터 좌표

3. 소형선박 충돌예방 알고리즘 구성

3.1 충돌예방 알고리즘 범위 설정

본 연구에서는 대상선박을 소형선박으로 한정하고 있으며, 소형선박이란 선박직원법 시행령 제2조의 소형선박 정의에 의거하여 총톤수 25톤 미만의 선박을 의미한다. 상선에서는 대양항해 시 8마일 이상에서 상대선을 초인하면 DCPA가 1.0마일 이상, 8마일 내에서 초인하면 DCPA가 1.0마일 이하로 분석되었으며(Park and Lee, 2008), 홍콩의 한 해운회사의 Guidance for Collision Avoidance에서는 위험 인지 및 행동 개시를 하여야 하는 시간과 거리는 상황별로 다르며, 행동 개시 최대 거리를 8마일로 제시하고 있다(Anglo-eastern, 2010).

그러나 소형선박의 경우 선박의 크기가 작아 8마일 거리에서 탐지가 어렵고, 대형선에 비해 조종성능이 좋기 때문에 먼 거리에서부터 선박을 판별할 필요가 없을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 WAVE 통신의 최대 수신 가능 거리 8~9 km를 감안하여 3마일을 알고리즘 범위로 설정하였다(Kang et al., 2018).

3.2 DCPA 기준 설정

소형 선박의 특성상 보침성능이 좋지 않기 때문에 이로 인하여 변화하는 DCPA의 기준 설정이 본 연구의 신뢰성 및 정확성에 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션 실험을 통하여 소형 선박의 보침성능을 확인하고, 이를 반영한 DCPA 기준을 설정하고자 하였다.

(1) 시나리오 설정

시뮬레이션을 수행하기 위하여 대상 해역 및 선박, 자연 환경 등을 고려한 시나리오를 설정하였다. 이때 해역은 주변에 장애물이 없는 넓은 수역으로 설정하였고, 대상 선박은 길이 약 10 m의 소형 선박으로 설정하였다. 또한 자연 환경은 최악의 조건을 고려하여 풍속 20 kts, 풍향 045°, 조류 1 kt/270°, 파고 2.5 m로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 2는 시뮬레이션 대상 선박 및 시뮬레이션 그림을 나타낸다.



Fig. 2. Target ships and simulation.

(2) 실험 방법

실험은 선속을 각각 5 kts, 10 kts, 15 kts, 20 kts로 설정하고 침로를 000°로 정침하여 약 1마일 거리를 운항하도록 하였다. 그리고 이때의 선수 방향의 움직임을 분석함으로써 대상 선박의 보침 성능을 확인하였다.

(3) 실험 결과

실험 결과는 Table 3과 같다.

5 kts 이상의 속력에서는 선수방향의 움직임이 최대 3°이하로 비교적 정침이 잘 되는 것을 확인하였고, 5 kts의 속력에서는 최대 10°, 평균 4.5°로 선수 방향의 움직임이 큰 것으로 나타났다.

Table 3. The result of simulation

Items \ Ship's Speed	5 kts	10 kts	15 kts	20 kts
Average Speed	5.6 kts	7.8 kts	12.8 kts	18.2 kts
Average ROT(°/min)	68.9	9.8	21.7	33.6°
Average course	343.1°	0.1°	0°	0°
Average course movement	4.5°	1.5°	2.1°	2.3°
Max. course movement	10°	3°	4°	5°

Fig. 3은 선수 방향의 움직임과 DCPA 기준과의 관계를 나타낸 그림이다.

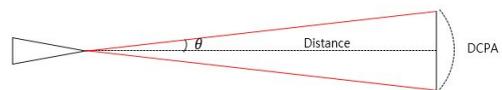


Fig. 3. Relationship between course movement and DCPA Criteria.

가장 큰 선수방향의 움직임 값인 4.5°를 고려하여 거리별로 선수 방향이 5° 움직일 때 변화하는 DCPA를 식(6)에 의하여 산출하였다.

$$DCPA = 2(Distance \times \tan\theta) \quad (6)$$

1마일 거리에서는 80.7 m, 2마일 거리에서는 161.6 m, 3마일 거리에서는 242.2 m로 나타났다. 선박의 크기에 따라 운항자가 느끼는 안전 항행 거리가 다르기 때문에 실험에서 도출된 거리와 두 선박의 길이를 고려하여 식으로 나타내고자 하였다. 따라서 1마일 거리에서는 $4(L_a + L_b)$, 2마일 거리에서는 $8(L_a + L_b)$, 3마일 거리에서는 $12(L_a + L_b)$ 의 DCPA 여유를

설정함으로써 선수방향의 움직임을 보완할 수 있는 것으로 판단했다.

3.3 TCPA 기준 설정

(1) 설문조사

본 연구에서는 사용자 의견을 조사·분석하기 위하여 어선 운항자 19명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문 대상은 근해에서 조업하는 25톤 미만의 어선을 승선하고 있는 40대 이상의 선장을 대상으로 하였으며, 문항은 타선과의 위험을 감지하는 수단, 타선으로부터 위험을 느끼는 거리, 충돌 회피 가능한 거리, 항해 중 및 조업 중 일 때 선박의 이동 속도 등으로 구성되었다. 설문 항목 중 본 연구의 알고리즘 구성과 관련 있는 문항으로는 피항 가능 최단 거리 및 선박의 평균 이동속도 두 가지로 추출할 수 있다. 피항 가능 최단 거리는 최소 100 m에서 최대 0.5마일까지라고 응답하였으며, 평균 307 m로 도출되었다. 또한 항해 중 선박의 이동속도는 최소 8 kts에서 최대 30 kts까지 응답하였으며, 평균 14 kts로 나타났다. Fig. 4는 피항 가능 최단 거리와 항해 속도에 관한 설문 결과를 나타낸 그림이다.

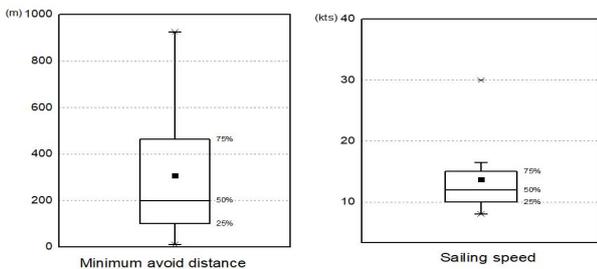


Fig. 4. Survey result on minimum avoid distance and sailing speed.

(2) 소형선박 조종성능

상대선박과의 충돌을 피하기 위한 최소거리는 선회권의 크기와 전타 시 최대 전진 거리에 의하여 결정된다. 선속에 따른 선회권의 크기는 거의 변하지 않기 때문에 최대 전진 거리의 크기가 충돌회피 최소거리 판단에 사용될 수 있다 (Inoue, 2017). 특히 다가 작동된 후 선수방위가 변하면서 선회를 시작할 때 전타를 시작한 지점에서 선수가 90° 회두했을 때까지의 선체의 종방향 거리를 종거(advance)라고 하고, 이 거리는 타 선박과 조우하였을 때 피항 동작을 취하여야 하는 최소한의 거리이기 때문에 본 연구에서는 이 거리를 이용하여 TCPA를 설정했다.

TCPA 기준 재설정을 위해 한국해양대학교 마린시뮬레이션센터에서 보유 중인 선박조종 시뮬레이터의 총톤수 25톤

미만 소형선박의 선박조종 data(pilot card 및 wheel house post)의 선회능력(Advance, Tactical diameter, Transfer, Stopping distance, Emergency manoeuver 등)을 추출하였다.

그 결과는 Table 4와 같으며, 총 11척의 Advance는 최소 61.1 m에서 최대 111.1 m로 조사되었다.

Table 4. Maneuverability of small vessel

(Unit: m)					
No.	LOA	Beam	Advance	Transfer	Tactical Diameter
1	17.0	5.0	111.1	59.3	131.5
2	16.0	4.9	85.2	40.7	90.7
3	11.6	3.6	63.0	27.8	66.7
4	14.6	4.3	101.9	48.2	113.0
5	14.3	4.2	77.8	37.0	81.5
6	14.9	4.2	81.5	50.0	113.0
7	13.9	3.8	92.6	20.4	87.0
8	12.2	3.5	98.2	61.1	146.3
9	10.1	3.0	79.6	27.8	75.9
10	5.6	2.0	61.1	29.6	53.7
11	9.9	2.6	88.9	40.7	94.5

(3) TCPA 기준 설정

총 11척의 Advance는 61 m부터 111 m로 측정되었으며, 설문 조사를 통해 도출된 중소형 선박의 항해 평균 속도인 14 kts를 적용하면 Advance 거리의 이동 시간은 2.1분~2.3분이 된다. 최종적으로 여기에 Safety margin을 고려하여 2.5분을 TCPA의 기준으로 설정하였다.

3.4 최종 알고리즘 구성

최종적으로 알고리즘은 선박이 3마일 범위에 들어오면 DCPA, TCPA 계산을 시작하며, $8(L_a + L_b)/2.5$ min의 기준을 적용하여 선박 간의 거리가 2마일 이내로 들어오면 경보를 발생시키도록 구성하였다.

3.5 해양사고사례 적용

상황별 대표 해양사고 3건을 선정하여 본 연구에서 제안하는 소형선박 충돌예방 알고리즘을 적용하여 어느 시점에 경보가 발생하는지 확인하고자 하였다. 해양사고는 어선 충돌 사고 중 마주치는 상황, 교차하는 상황, 정지해있는 선박에 접근하는 상황으로 구분하여 선별하였다. Table 5는 선별된 해양사고 3가지를 나타낸다. 검증을 위하여 충돌 상황별 해양사고사례를 선택하였다.

Table 5. Case study for marine accident on fishing boats

	Situation	Accident Name	Date
1	Head on Situation	Collision between fishing boat Seasidaeho and fishing boat Jeilho	2014.2.12.
2	Approaching Situation	Collision between fishing boat Je1006Jinkangho and fishing boat Je11kyongnamho	2014.10.3.
3	Crossing Situation	Collision between fishing boat Gisungho and fishing boat Badaho	2014.1.8.

선정한 해양사고의 재결서를 기반으로 사고 선박의 항적을 시간대별로 추정하고(KMST, 2018), 이를 알고리즘에 적용하여 두 선박간의 거리, DCPA, TCPA, 경보 발생 여부를 확인하였다. 해양사고 사례 3가지에 대한 적용 결과는 아래와 같다.

(1) 낚시어선 새시대호와 어선 제일호 충돌사건

2014년 2월 12일 18시 50분경 진도 인근 해상에서 낚시어선 새시대호와 어선 제일호가 충돌한 사건으로, 두 선박 모두 견시 소홀로 인하여 상대 선박을 인지하지 못한 채 항해하다가 발생한 사고이다. 여기에서 새시대호의 전장은 14.40 m, 제일호의 전장은 10.00 m로 DCPA 기준은 $8(L_a + L_b) = 195.20m$ 이다. Fig. 5는 두 선박의 항적을 나타낸 그림이며, 경보가 발생한 시점부터 붉은색으로 표시했다. Table 6은 시간대별 두 선박간의 거리, DCPA, TCPA 경보 발생을 나타낸 표이다.

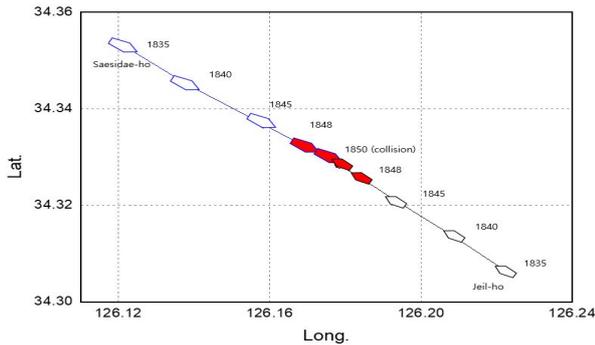


Fig. 5. Accident summary for case 1.

Table 6. Distance, DCPA, and TCPA by time of day in case 1

Time	Distance (mile)	DCPA (mile)	TCPA (min)	Alarm
18:35	5.75	0.00	13.82	0
18:40	3.94	0.07	10.25	0
18:45	2.42	0.00	4.73	0
18:47	1.92	0.02	2.87	0
18:48	0.80	0.01	1.92	1
18:50	Collision			

(2) 어선 제2006진강호와 어선 제11경남호 충돌사건

2014년 10월 6일 14시 08분경 제주 인근 해상에서 어선 제2006진강호와 어선 제11경남호가 충돌한 사건이다. 제2006진강호는 닻을 놓고 어로장비 점검을 하고 있었고, 제11경남호는 출항 전에 마셨던 술의 영향으로 졸음 운항으로 서로 선박을 인지하지 못하여 사고가 발생했다. 여기에서 제2006진강호의 전장은 21.45 m, 제11경남호의 전장은 20.10 m로 DCPA 기준은 $8(L_a + L_b) = 332.45m$ 이다. Fig. 6은 두 선박의 항적을 나타낸 그림이며, 경보가 발생한 시점부터 붉은색으로 표시했다. Table 7은 시간대별 두 선박간의 거리, DCPA, TCPA 경보 발생을 나타낸 표이다.

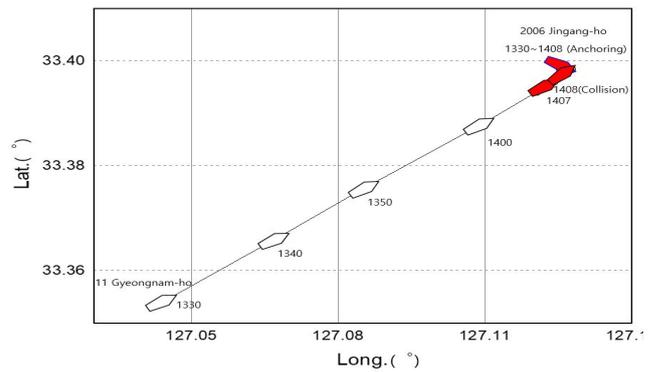


Fig. 6. Accident summary for case 2.

Table 7. Distance, DCPA, and TCPA by time of day in case 2

Time	Distance (mile)	DCPA (mile)	TCPA (min)	Alarm
13:30	4.98	0.17	43.63	0
13:40	3.67	0.06	31.45	0
13:50	2.50	0.31	21.30	0
14:00	1.12	0.04	8.37	0
14:05	0.43	0.02	3.33	0
14:06	0.36	0.02	2.67	0
14:07	0.22	0.02	1.62	1
14:08	Collision			

(3) 어선 기성호와 어선 바다호 충돌사건

2014년 1월 8일 10시 50분경 거제시 이수도항 인근 해역에서 어선 기성호와 어선 바다호가 충돌한 사건이며, 두 선박 모두 경계를 소홀히하여 충돌때까지 상대선을 발견하지 못하여 발생했다. 여기에서 기성호의 전장은 9.77 m이며, 바다호의 전장은 7.65 m로, DCPA 기준은 $8(L_a + L_b) = 139.36m$ 이다. Fig. 7은 두 선박의 항적을 나타낸 그림이며, 경보가 발생한 시점부터 붉은색으로 표시했다. Table 8은 시간대별 두 선박간의 거리, DCPA, TCPA 경보 발생을 나타낸 표이다.

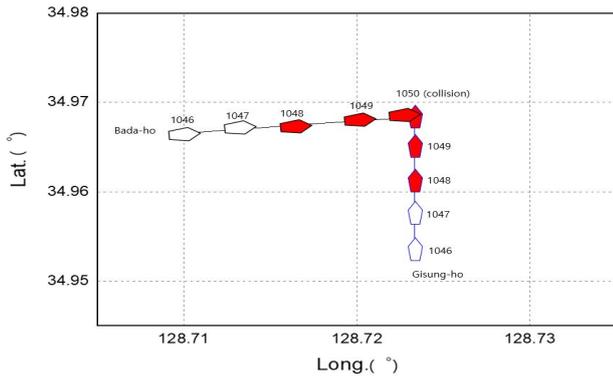


Fig. 7. Accident summary for case 3.

Table 8. Distance, DCPA, and TCPA by time of day in case 3

Time	Distance (mile)	DCPA (mile)	TCPA (min)	Alarm
10:46	1.01	0.01	4.07	0
10:47	0.76	0.01	3.05	0
10:48	0.51	0.01	2.05	1
10:49	0.26	0.00	1.03	1
10:50	Collision			

3.6 소결론

본 연구에서 제안하는 소형선박 충돌예방 알고리즘을 적용하여 해양사고사례 3가지 각각의 상황별로 적용한 결과, 본 연구에서 제안하는 알고리즘에 의하여 사고 직전에 경보 발생을 확인할 수 있었다.

첫 번째 상황에서 거리가 1.92마일~0.8마일 사이, DCPA가 0.02마일~0.01마일 사이, TCPA 2.5분에서 경보가 발생하였으며, 두 번째 상황에서는 거리가 0.36마일~0.22마일 사이, DCPA가 0.2마일, TCPA 2.5분에 경보가 발생했다. 그리고 마지막 상황에서는 거리가 0.76마일~0.51마일 사이, DCPA가 0.01마일, TCPA가 2.5분에서 경보가 발생했다.

이러한 결과는 조종성능이 좋은 소형 선박에서는 피항하기에 거리와 시간이 충분한 것으로 분석된다.

즉, 소형 선박의 특성을 반영할 수 있는 새로운 통신기술을 기반으로 충돌 예방 알고리즘 구축에 대한 실효성을 다양한 충돌상황에서 확인한 것이며, 계속적으로 발생하고 있는 소형 선박에서의 충돌사고에 대하여 충돌 예방 알고리즘을 제안할 수 있다. 그러나 해양사고의 적용에서 실시간으로 선박의 자료를 받은 것이 아닌 재결서를 기반으로 사고 선박의 침몰과 선속을 추정하였다는 한계가 있다.

4. 결론

잇따라 발생하고 있는 소형 선박의 해양사고를 예방을 위해 충돌 예방하는 알고리즘을 개발하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 소형 선박의 특성을 반영하고 새로운 통신기술을 기반으로 충돌 예방 알고리즘을 제안하였으며, 그 실효성에 대하여 검증하였다.

소형선박의 충돌 예방 알고리즘은 선박이 3마일 범위로 들어오면 DCPA, TCPA 계산을 시작하여, $8(L_a + L_b)/2.5$ min의 기준을 적용하여 선박 간의 거리가 2마일 이내로 들어오면 경보를 발생시키도록 구성하였다. 이를 상황별 대표 해양사고 3건을 선정하여 검증해 보고자 하였다.

그 결과 대표적인 충돌상황인 마주치는 상황, 교차하는 상황, 정지해있는 선박에 접근하는 상황 3가지 모두 본 연구에서 제안한 알고리즘에 의하여 경보가 발생함을 확인할 수 있었으며, 그 거리와 시간은 소형선박이 피항함에 있어 충분한 것으로 분석되었다.

추후에는 실선 적용을 통하여 알고리즘의 문제점을 식별하고 이를 고도화한다면 소형 선박의 운항자가 충돌 상황을 사전에 인지하는데 정보를 제공하여 소형선박의 해양사고 예방에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Anglo-eastern(2010), Guideline for Collision Avoidance, pp. 1-2.
- [2] Inoue, K.(2017), Theory and Practice of Ship Handling, MunHyun, p. 56, p. 170.
- [3] Kang, W. S., S. B. Jeon and Y. D. Kim(2018), A Study on Marine Application of Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) Communication Technology, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 24, No. 4, pp. 445-450.
- [4] Kim, D. G., J. S. Jeong and G. K. Park(2011), A Study on Ship Collision Avoidance Algorithm by COLREG, Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 21, No. 3, pp. 290-295.
- [5] Kim, S. W.(2013), A Study on Ship Collision Avoidance and Order of Priority Designation Model, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, No. 11, pp. 5442-5447.
- [6] KMST(2018), Korean Maritime Safety Tribunal, Annual report of Marine Safety Judgement Cases, <http://www.kmst.go.kr/> (Accessed: December, 2018).

- [7] Lee, E. B.(2004), A Basic Study on the Development of Ultrasonic Alert System for Preventing Collision Accident of Small ships, Journal of the Research Institute of Maritime Industry, Vol. 15, pp. 1-7.
- [8] Lee, S. J., H. S. Kim, Z. J. Long and S. K. Lee(2011), A Study on the Korea Marine Accident and the Countermeasures, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 3, pp. 205-211.
- [9] Park, Y. S. and Y. S. Lee(2008), Development of Efficient Training Material through Danger Analysis to Various Encounter Types using Training Ship, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 32, No. 1, pp. 103-108.
- [10] Seo, A., T. Hida, M. Nishiyama and K. Nagao(2018), Comparison and Evaluation on User Interface of Small Ship Navigation Support System, 2018 Proceeding of Japan Institute of Navigation, Vol. 6, No. 1, pp. 1-4.
- [11] Szlapczynski, R. and J. Szlapczynska(2016), An analysis of domain-based ship collision risk parameters, Ocean Engineering, Vol. 126, pp. 47-56.
- [12] Wang, X., Z. Liu and Y. Cai(2017), The ship maneuverability based on collision avoidance dynamic support system in close-quarter situation, Ocean Engineering, 146, pp. 486-497.

Received : 2018. 12. 19.

Revised : 2019. 02. 11.

Accepted : 2019. 02. 25.