

사용자 의견 기반 소형선박 충돌예방 알고리즘 개선 연구

박민정* · 박영수*** · 이명기*** · 김대원** · 김니은****

* 한국해양수산개발원 연구원, ** 한국해양대학교 해사대학 교수,

*** 한국해양대학교 해양과학기술대학원 박사과정, **** 한국해양대학교 일반대학원 석사과정

A Study on the Improvement of Collision Prevention Algorithm for Small Vessel Based on User Opinion

Min-Jeong Park* · Young-Soo Park*** · Myoung-Ki Lee*** · Dae-Won Kim** · Ni-Eun Kim****

* Researcher, Korea Maritime Institute, Busan 49111, Korea

** Professor, College of Maritime Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

*** Ph.D. program, Ocean Science and Technology School, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

**** Master program, Graduate school, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

요약 : 어선과 같은 소형선박의 충돌사고는 큰 인명피해를 초래한다. 본 연구 이전에 선행된 연구에서는 충돌위험을 판단하고 경보를 발생시키는 소형선박 충돌예방 알고리즘을 개발하였다. 하지만 충돌경보와 같이 안전을 위해 제공되는 서비스는 위험을 예방할 뿐 아니라 이용자의 만족도 또한 어느 정도 수반되어야 효과적으로 기능할 수 있다. 본 연구에서는 소형선박 충돌예방 알고리즘의 실용성 향상을 위해 알고리즘을 개선하고, 알고리즘을 실제로 적용하여 개선결과 및 효과를 확인하고자 하였다. 충돌경보 서비스를 사용한 소형선박 운항자들을 대상으로 설문조사를 수행한 결과, 충돌경보의 정확도 향상과 경보 횟수 및 음량에 대한 사용자들의 요구사항이 확인되었다. 이에 따라 본 연구에서는 사용자 만족도 향상을 위해 알고리즘을 개선하였으며 실제 해상환경에서 개선된 알고리즘을 적용한 실선실험을 수행하였다. 그 결과 개선 전보다 경보 발생 빈도가 감소하였지만, 위험한 상황에서는 경보가 비교적 꾸준히 발생하였으며, 충돌경보의 정확성과 실용성이 향상된 것으로 분석되었다. 추후에는 개선된 알고리즘의 적정성에 대한 근거자료를 마련하여 알고리즘의 실용성과 신뢰성을 확보한다면 소형선박 충돌사고 예방에 효과적으로 기여할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 충돌예방 알고리즘, 설문조사, 알고리즘 개선, 실선실험, 사용자 만족도

Abstract : Collision of small vessels such as fishing boats cause great personal injury. Prior to this study, the collision prevention algorithm was developed to assess the collision risk and make the collision alarm. However, a service provided for safety, such as a collision warning, not only prevents risks, but also requires a certain degree of user satisfaction to function effectively. In this study, the collision prevention algorithm for small vessels was improved to be more practical, and the effects of the improvement were confirmed by applying the algorithm. A survey conducted on the users of the collision warning service confirmed the user requirements for improving the accuracy of the collision warning system and reducing the volume and number of alarms. Accordingly, the algorithm was improved for user satisfaction, and the actual vessel experiment was performed applying the improved algorithm in an actual maritime environment. As a result, the frequency of alarm occurrence decreased compared to former algorithm, but the alarm was relatively steadily generated in dangerous situations. It was analyzed that the accuracy and practicality of the collision alarm were improved. If the practicality and reliability of the improved algorithm are verified in the further study, it will be able to effectively contribute to the prevention of collisions of small vessels.

Key Words : Collision prevention algorithm, Survey, Algorithm improvement, Actual vessel experiment, User satisfaction

* First Author : parkminjeong@kmi.re.kr

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

1. 서론

해양안전심판원에 따르면 국내 해양사고 발생 건수는 최근 5년간 2015년 2,101건에서 2019년 2,971건으로 지속적으로 증가하고 있다(KMST, 2020). 그중 어선 사고가 전체 해양사고의 약 67.7%로 선박 종류 중 가장 많은 사고 비율을 차지하고 있으며, 계속적으로 증가 추세를 보이고 있어 전체 해양사고의 증가에 크게 영향을 미치고 있다. 또한, 어선의 충돌사고는 최근 5년간 전체 어선 사고의 약 9.6%를 차지하여 사고 종류 중 네 번째로 많은 사고 비율을 차지하지만, 어선 사고 인명피해의 약 37.5%를 차지해 안전사고(구 인명사상, 약 40.7%) 다음으로 가장 많다. 실제 2017년에 영흥도 인근 해역에서 발생한 낚시어선과 급유선의 충돌사고는 15명의 사망자가 발생하여 어선 충돌사고 발생 시 피해의 심각성을 보여주는 사례이다(Kim, 2017).

한편, Kim et al.(2017)은 결함수 분석(FTA, Fault Tree Analysis)을 통해 어선 해양사고 중 가장 큰 원인인 경계 소홀의 간접적인 2차 원인을 정량적으로 파악하고자 하였다. 그 결과 어선에서의 경계 소홀은 인적 요인(승무원 자체 과실)보다 과중한 업무, 불충분한 선원 수 및 업무책임 분담 등의 물질·환경적 요인에 의해 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 경계 소홀로 인한 어선 해양사고를 예방하기 위해서 승무원 교육·훈련에만 초점을 맞추기보다는, 다른 잠재적인 원인을 파악한 후의 우선순위에 따른 예방 필요성을 제시하였다.

이처럼 여러가지 잠재 원인으로 인한 경계 소홀이 어선과 같은 소형선박의 큰 충돌사고 원인이기 때문에, 소형선박에서의 경계 강화를 위해 운항자에게 충돌위험을 시·청각적 경보를 통해 충돌위험을 알릴 수 있는 소형선박 충돌경보가 소형선박 충돌사고 예방대책으로 여러 연구에서 제시되었다. Lee(2004)는 소형선박 운항자의 충돌위험 인지 능력을 높이기 위해 40 kHz대의 초음파 펄스를 발사해 50 m 이내의 타선박과 장애물을 감지하고 오디오와 발광 경보 신호를 발하는 시스템을 제안하였다. Kao and Lee(2010)는 레이더 신호 수신기와 Marine GIS를 이용해 주변 선박을 실시간으로 모니터링하고, 충돌위험이 감지될 경우 버저나 경고등을 통해 운항자에게 알릴 수 있는 시스템을 제안하였으며, Subash et al.(2020)은 초음파 센서로 선박이나 물체를 감지하고 GPS와 GSM 모듈을 이용하여 장애물의 경위도를 파악해 메시지와 버저로 위험을 알리는 시스템을 제시하였다. 또한, 2021년 1월부터 시행된 한국형 e-Navigation 서비스에서는 AIS와 LTE-M을 활용하여 스마트폰 애플리케이션 또는 단말기를 통해 선박 위치정보를 수신하고 충돌 및 좌초 위험도를 평가하여 위험상황 예측 시 음성으로 운항자에게 알리고 선박과 관계기관에 통보하는 서비스를 운영한다(MOF, 2021; Smartnav, 2021). 선행연구들에서

는 충돌위험을 파악하고 이를 경보로써 제공할 수 있는 기술적인 방법에 대한 연구들이 주로 이루어졌으나, 상선과는 다른 소형선박의 조종 및 운항 특성 등을 고려한 충돌위험 판단 기준에 관한 연구는 부족한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구의 선행연구에서는 0.1초의 통신주기를 가진 WAVE 통신을 활용하여 소형선박의 조종성능과 어선 운항자 설문조사 결과를 바탕으로 충돌위험 판단 기준을 수립하고, 소형선박 충돌예방 알고리즘을 개발하였다(Kang et al., 2018; Kang et al., 2019; Lee et al., 2019; Lee and Park, 2020).

한편, Kuo(2007)에 따르면 안전을 위한 서비스를 제공하는 주체는 허용 가능한 수준의 안전에서 비용 효율이 높은 방법으로 고객의 요구를 충족하는 데 있어 경쟁력을 갖기 위해 노력해야 한다. 이를 선행연구에서 개발된 충돌예방 알고리즘을 통한 경보 방안에 적용 시 충돌경보가 시각·청각적으로 많이 발생한다면 소형선박 운항자들의 경계가 강화되어 안전은 높아질 수 있지만, 소형선박 운항자들의 피로도와 불만이 높아져 효율이 떨어질 수 있고 고객의 요구를 충족하지 않는다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 충돌예방 알고리즘을 실제 소형선박 운항자가 활용할 수 있도록 실용성을 향상시키기 위해 사용자 측면의 의견을 반영하여 알고리즘을 개선하는 것이다. 이를 위해 실제 운항 시 충돌예방 알고리즘에 의한 경보 시스템을 이용한 소형선박 운항자들의 만족도와 의견을 설문조사를 통해 수집하고, 이를 바탕으로 알고리즘을 개선하였다. 또한, 개선된 알고리즘에 따른 경보 발생 결과를 분석하기 위해 해상에서 실선실험을 수행하였으며, 개선 전후의 알고리즘에 따른 실험 결과를 비교·분석하였다.

2. 사용자 의견 기반 알고리즘 보완

2.1 사용자 의견 분석

현재 진두항을 모항으로 둔 소형선박 50여척을 대상으로 충돌예방 알고리즘에 따른 충돌경보 서비스를 포함한 선박 안전 서비스를 시범 운영하고 있다. KIMA(2020)는 선박안전 서비스를 실제 운항 시 사용한 사용자들의 의견을 분석하고 개선방안을 마련하기 위해 설문조사와 심층인터뷰를 실시하였다. 여기서 선박안전 서비스란, 충돌경보 서비스와 운항에 필요한 기상, 조류, 파도, 풍향 등의 항해정보를 제공하는 서비스를 포함한 종합 서비스이다. 그리고 사용자란, 서비스를 사용하고 있는 소형선박의 운항자들을 의미한다. 본 연구에서는 충돌예방 알고리즘과 경보에 대한 사용자 의견을 분석하고 개선점을 도출하기 위해 KIMA가 실시한 전체 사용자 의견 조사결과 중 충돌예방 알고리즘에 따른 경보에 대한 설문 및 인터뷰 결과를 분석하였다.

설문조사에는 서비스 사용자 34명이 응답하였으며, 심층 인터뷰는 설문조사 응답자 중 5명을 대상으로 수행되었다. Table 1은 설문조사의 응답자 현황을 나타낸다.

Table 1. Survey respondent composition status

Respondent		Number (persons)	Rate(%)
Rank	Captain	31	91.2
	Officer	1	2.9
	No answer	2	5.9
Career (years)	Less than 10	7	20.6
	10~20	12	35.3
	20~30	7	20.6
	More than 30	5	14.7
	No answer	3	8.8
Tonnage of vessel	4.97 tons or less	3	8.8
	4.97~6.67	5	14.7
	6.67~9.77	24	70.6
	No answer	2	5.9

충돌경보 서비스에 대한 설문 문항에서는 응답자들은 1(낮음)에서 5(높음)까지의 숫자 중 하나를 선택하여 응답하였다. 설문조사 결과 “충돌알람은 위험 상황에서 즉시 울림”에 대한 응답자들의 중요도는 100점 환산 점수 중 79.5점으로 산출되었으며, 이는 전체 서비스의 중요도 평균이 76.1점임을 고려할 때 응답자들이 충돌경보 서비스에 대해 비교적 중요하다고 평가한 것으로 판단된다. 동일 항목에 대한 만족도는 100점 환산 점수 중 74.1점으로 산출되었으며, 이는 전체 서비스의 만족도 평균이 72.6점임을 고려할 때 응답자들의 만족도가 비교적 높은 것으로 판단된다. 또한, 선박간 충돌경보와 정보제공이 충돌위험을 회피하기 위한 의사결정에 도움을 주었는지에 대한 질문에서 긍정적인 응답이 54.5%, 보통이 33.3%, 그렇지 않다는 응답이 12.1%로 나타났다. Table 2는 전체 선박안전 서비스 항목에 대한 중요도와 만족도 조사 결과를 나타내며, 표시된 항목은 알고리즘에 따른 충돌경보에 대한 항목이다.

충돌경보 개선 필요사항에 대한 사용자들의 의견을 취합하기 위해 설문조사 시 서술형으로 조사된 개선 필요사항 의견과 심층 인터뷰 결과를 종합하여 분석하였다. 분석 결과, 사용자들은 실제로 경보가 발생할 때마다 경계를 강화하게 되어 모든 선박에 서비스를 사용하게 된다면 사고 감소에 기여할 것이라고 기대하는 것으로 나타났다. 하지만 빈번한 경보 발생이 운항자와 승객들의 피로감을 누적시키므로 경보의 정확도 향상과 경보의 빈도와 음량에 대한 개선을 요청하는 의견이 수렴되었다. 이에 따라 본 연구에서는 충돌예방

알고리즘의 충돌위험 발생과 해제에 대한 민감도와 사용자 만족도를 향상시키기 위해 알고리즘을 개선하고, 해상에서 실제 선박들에 적용하여 실선실험을 수행하였다.

Table 2. Importance and satisfaction survey results of Ship Safety Service

Service	Importance	Satisfaction
Information provided by the service is accurate	75.0	72.3
Information provided is latest and suitable for fishing operation and navigation	74.5	73.2
The terminal has few breakdowns and provides a stable service	74.5	69.5
Alarm occurs immediately in a dangerous situation	79.5	74.1
The volume of the alarm is suitable for alerting and avoiding dangerous situations	78.2	75.9
Easy to access the terminal	77.7	74.1
Easily find the desired information on the display device	74.5	71.8
In case of failure or breakdown, complaints are received and handled quickly	74.5	70.0
Average	76.1	72.6

*The score in the table is converted by using 100 points as the maximum score.

2.2 충돌예방 알고리즘 보완

선행된 충돌예방 알고리즘 개발 연구에서는 WAVE 통신의 수신 가능 거리, 소형선박의 조종성능, 어선 운항자 대상 설문조사 결과를 바탕으로 알고리즘의 거리, DCPA, TCPA 기준을 설정하였다(Lee and Park, 2020). 또한, 소형선박 보침 성능에 의한 불규칙적인 경보 발생 현상을 보완하기 위해 해상교통위험도 평가모델(PARK model)의 위험도 기준을 혼합하여 3단계의 경보가 발생하는 알고리즘을 구성하였다(MLTM, 2011; Nguyen, 2014). 이때, 충돌경보는 시각적으로는 단계별로 색상이 모니터링 화면에서 다르게 나타나며, 청각적으로는 경보음이 발생할 수 있도록 설정하였다. 현재 시범적으로 경보 서비스를 제공하는 단말기에서는 경보 단계별로 충돌위험 선박이 초록, 주황, 빨강으로 단말기 화면에 표시되고, Pre-alarm은 시각적으로만 표시되고 경보 음향은 없지만 Main-alarm 중 1st는 단음 2회, 2nd는 단음 3회의 음향이 발생한다. 또한, 2척 이상의 선박과 동시에 충돌위험 상황이 발생할 경우, 알고리즘 계산 결과 더 높은 위험 경보가 계산된 선박에 대해 경보 음향이 발생한다.

본 연구에서는 실제 운항 시 충돌경보를 사용한 사용자들의 의견을 반영하여 충돌예방 알고리즘을 개선하였다. 이를

위해 기존 알고리즘의 충돌위험 판단 기준은 유지하되 경보 발생 및 해제 기준을 강화하여 경보 발생 빈도를 적절하게 감소시켜, 경계 강화 기능은 유지하고 사용자 만족도를 향상시키고자 하였다. 기존 알고리즘에서 개선된 점은 첫째, 경보단계별 거리 범위 내에서 0.1초 단위로 수집되는 10개 데이터의 중앙값이 DCPA, TCPA 기준과 위험도 기준을 만족한 데이터가 3번 누적될 경우 경보가 발생하도록 하였다. 둘째, 가장 위험한 단계의 경보인 2nd Main-alarm의 경보 발생 거리를 사용자 의견을 수렴하여 0.5마일 이하에서 0.35마일 이하로 감소시켰다. 셋째, 기존에는 소형선박의 불안정한 보침성능 보안을 위해 경보가 1번 발생한 후에는 CPA 기준과 관계없이 위험도 기준만 만족하면 경보가 계속적으로 발생하도록 하였다. 개선된 알고리즘에서는 과도한 경보 발생을 방지하기 위해 동일한 경보가 1.5초간 계속적으로 울리게 되면 다시 알고리즘을 초기화하여 처음부터 계산하도록 하였다. Table 3은 기존 알고리즘의 소형선박 충돌경보 발생기준과 개선된 알고리즘의 기준을 비교한 표이다.

Table 3. Comparison between former and improved algorithm

Alarm	Former Algorithm		Improved Algorithm		
	Distance (mile)	DCPA(m)/TCPA(min)/Risk value	Distance (mile)	DCPA(m)/TCPA(min)/Risk value	
Pre-alarm	1~2	DCPA $\leq 1.5(La+Lb)$ & TCPA ≤ 2.5 & Risk ≥ 5	1~2	MV of DCPA $\leq 1.5(La+Lb)$ & MV of TCPA ≤ 2.5 & Risk ≥ 5	Alarm occurs when 3 consecutive accumulations
1st Main-alarm	0.5~1		0.35~1		
2nd Main-alarm	Less than 0.5		Less than 0.35		

*La is the length of the own ship, Lb is the length of the other ship
 *After the initial alarm, if only the risk criterion is satisfied, the alarm is continuously generated. After improvement, the algorithm is initialized when the same alarm occurs for more than 1.5 seconds.
 *MV : Median Value

3. 실선실험 기반 알고리즘 개선 결과 분석

3.1 개요

Lee and Park(2020)은 실제 해상환경에서 충돌예방 알고리즘을 검증하기 위해 두 척의 선박을 대상으로 실선 실험을 진행한 바 있다. 본 연구에서는 앞서 개선한 알고리즘을 적용하여 알고리즘 개선 결과를 분석하고, 선박 1척 대 1척 조우 상황이 아닌 2척 이상의 선박을 동시에 조우할 때 경보 발생 결과를 분석하고자 실선실험을 수행하였다. 실험 시나리오는 조우각도 45° 단위별로의 조우상황(마주치는 상황,

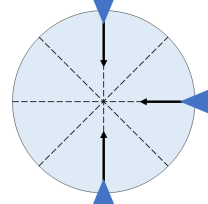
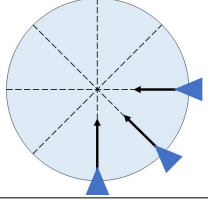
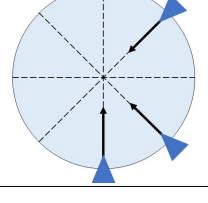
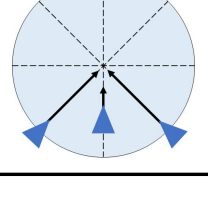
횡단 상황)과 추월상황을 종합하여 구성하였으며 실험 속력은 약 10kts로 설정하였다. 실험 당시 해역의 상황과 실험대상 어선의 운항자와의 소통 문제 등으로 인해 시나리오 구성대로 실험이 정확히 이루어지지는 못했으나 다양한 조우 상황에 대한 실험 결과를 얻을 수 있었기 때문에 실험 목적에는 큰 영향을 미치지 않았다. 실험 결과를 분석하기 위해 실험 항적을 재현하고, 시나리오별로 경보가 발생한 결과와 실험 데이터를 이용하여 계산한 기존 알고리즘에 따른 경보 발생 결과를 비교하였다.

Table 4는 실험대상 선박의 제원을 요약한 표이며, Table 5는 계획한 실험 시나리오별 조우 상황과 속력을 나타낸다.

Table 4. Specifications of vessels subject to experiment

Vessel Name	Gross tonnage(ton)	LOA(m)	Beam(m)
A	9.77	16.16	3.7
B	9.77	13.53	3.53
C	9.77	13.91	4.12

Table 5. Situation and speed by experimental scenario

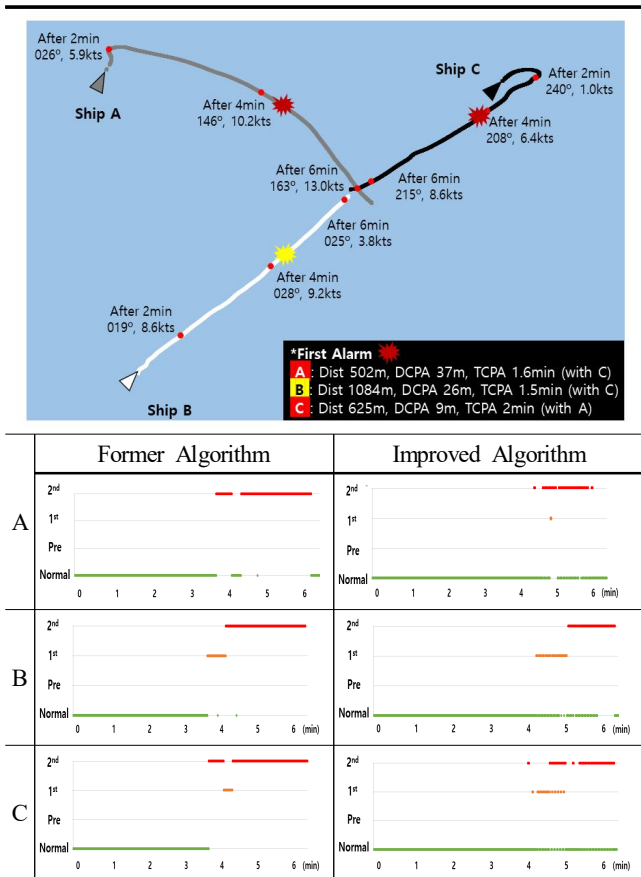
	Scenario	Situation	Speed
1		Head on + Crossing (090°)	The speed of all three vessels is 10kts.
2		Crossing (045°) + Crossing (090°)	The speed of all three vessels is 10kts.
3		Crossing (045°) + Crossing (135°)	The speed of all three vessels is 10kts.
4		Crossing + Overtaking	One of three vessels has a speed less than 10kts. The other two overtake the small vessels.

3.2 실선실험 결과

1) 시나리오 1

Table 6은 시나리오 1의 실험 항적과 경보 발생 결과를 나타낸다. 실험 항적도에서는 선박별 속력과 침로, 경보가 발생하기 시작한 거리와 CPA를 나타내었으며, 기존 알고리즘과 개선 알고리즘에 따른 경보 발생 결과를 그래프로 나타내어 비교하였다. 경보 발생 결과 그래프의 x축은 실험시간, y축은 시간별로 발생한 경보의 단계를 나타낸다. 시나리오 1 실험에서는 B선박이 약 028°, C선박이 약 208°로 항해하여 마주치는 상황으로 조우하고, A선박이 약 150°로 B선의 좌현 및 C선의 우현 방향에서 접근하여 횡단 조우 상황을 형성하였다. B선과 C선은 서로 마주치는 조우 상황으로 인해 빠르게 접근하는 위험한 상황에서 1st Main-alarm이 발생하여 위험상황을 알렸다. 실험 결과를 바탕으로 기존 알고리즘과 개선된 알고리즘을 비교하였을 때, 계속적으로 해지없이 위험 경보가 울리던 기존과 달리 경보의 해지가 적절히 이루어졌으며, 2nd Main-alarm의 거리 기준의 변화에 따라 2nd Main-alarm은 감소하고 1st Main-alarm의 발생이 증가하였다.

Table 6. Scenario 1 experiment track and alarm result



개선한 알고리즘에 따른 각 선박의 경보 발생 결과를 상세히 살펴보면, A선은 C선에 대해 실험시작 263초 경과 후 거리 502 m, DCPA 37 m, TCPA 1.6분일 때 2nd Main-alarm이 발생하기 시작했으며, 290초 후 C선에 대한 경보가 잠시 해제되었을 때 B선에 대해 1st Main-alarm이 발생하였다. 그리고 292초 후부터는 계속적으로 B선과 C선에 대한 2nd Main-alarm이 발생하였다.

B선의 경우 C선에 대해 254초부터 거리 1084 m, DCPA 26 m, TCPA 1.5분으로 계산되어 1st Main-alarm이 먼저 발생하고 그 후 A선에 대해서도 1st Main-alarm 발생하였다. 304초부터는 A선에 대해 거리 605 m에서 2nd Main-alarm이 먼저 발생했으며 그 후 계속적으로 A선과 C선에 대한 2nd Main-alarm이 발생하였다.

C선의 경우 A선에 대해 241초부터 거리 625 m, DCPA 9 m, TCPA 2분으로 계산되어 2nd Main-alarm이 발생하다가 잠깐 해제되었을 때 248초부터 B선에 대해 계산된 1st Main-alarm이 발생하였다. 311초까지 A와 B선에 대한 1st와 2nd Main-alarm이 번갈아 발생하다가 그 후부터는 두 선박 모두에 대한 2nd Main-alarm이 계속적으로 발생하였다.

2) 시나리오 2

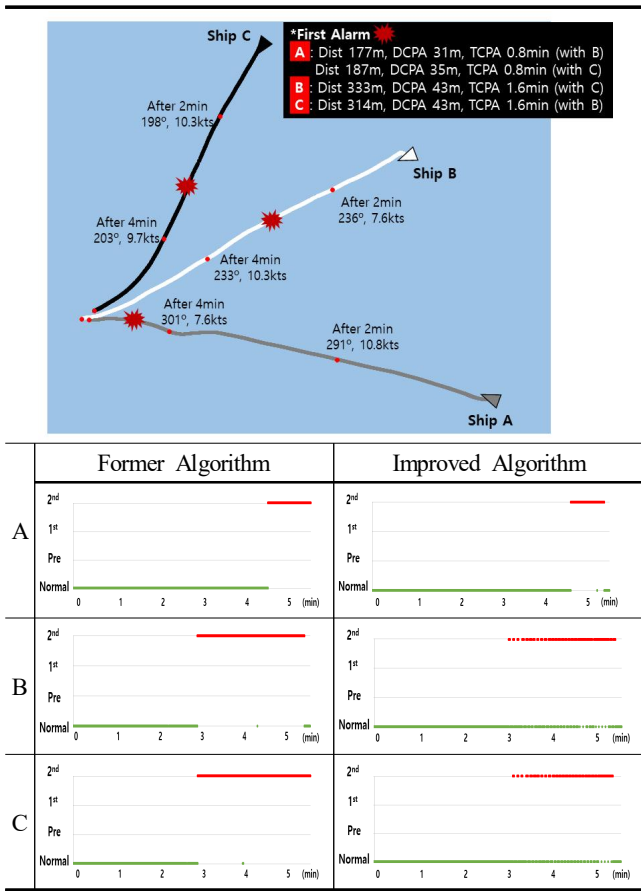
Table 7은 시나리오 2의 실험 항적과 경보 발생 결과를 나타낸다. 시나리오 2 실험에서는 A선박과 C선박이 각각 약 290°, 200°로 항해하여 약 90° 사이각을 두고 횡단 상황으로 조우했으며, B선이 A선과 C선 사이에서 약 235°로 항해하여 다수척 횡단 상황을 형성하였다. 실험 결과, 세 선박 모두가 가까이 접근하여 충돌위험이 커짐에 따라 2nd Main-alarm이 발생하였다. 또한 알고리즘 개선 후에 경보 발생 빈도수가 감소한 점과, 실험이 진행됨에 따라 위험이 커질수록 경보가 꾸준히 발생하게 되는 것을 확인할 수 있었다.

각 선박의 경보 발생 결과를 상세히 살펴보면, A선은 실험시작 286초 경과 후 B선(거리 177 m, DCPA 31 m, TCPA 0.8 분)과 C선(거리 187 m, DCPA 35 m, TCPA 0.8분) 모두에 대해서 2nd Main-alarm이 발생하기 시작하여 충돌위험의 증가에 따라 계속적으로 경보가 발생하였다.

B선의 경우 186초부터 C선에 대해 거리 333 m, DCPA 43 m, TCPA 1.6분으로 계산되어 먼저 2nd Main-alarm이 발생하기 시작했으며, 그 후 A선에 대해서도 경보가 발생하여 계속적으로 A선과 C선에 대해서 2nd Main-alarm이 발생하였다.

C선의 경우 192초부터 B선에 대해 거리 314 m, DCPA 43 m, TCPA 1.6분으로 계산되어 먼저 2nd Main-alarm이 발생하기 시작했으며, 그 후 A선에 대해서도 경보가 발생하여 계속적으로 B선과 C선에 대해서 2nd Main-alarm이 발생하였다.

Table 7. Scenario 2 experiment track and alarm result



3) 시나리오 3

Table 8은 시나리오 3의 실험 항적과 경보 발생 결과를 나타낸다. 원래 시나리오 3의 구성은 A선과 C선이 135도 사이 각을 두고 횡단하는 상태로 조우하고 B선이 A선과 C선 사이에서 접근하는 시나리오였으나, 실험역 실험에서의 한계로 인해 A선박이 약 090°, B선박이 약 060°, C선박이 약 000°로 동시에 횡단하는 상황으로 접근하는 실험이 이루어졌다. 실험 과정에서 실험 선박들의 속력이 계속적으로 바뀌었지만 실시간으로 이를 반영한 충돌 위험을 계산하여 경보가 발생했으며, 특히 급격하게 속도가 증가한 C선에 대해서 A선이 비교적 먼 거리에서 1st Main-alarm이 발생하여 위험을 알렸다.

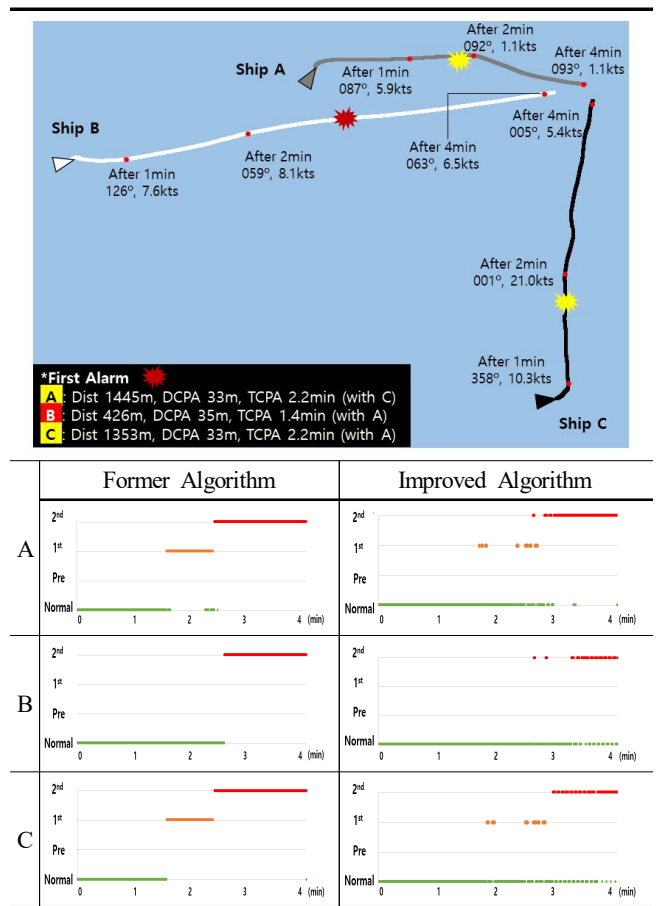
각 선박의 경보 발생 결과를 상세히 살펴보면, A선은 실험시작 103초 경과 후 C선에 대해 거리 1445 m, DCPA 33 m, TCPA 2.2분으로 계산되어 1st Main-alarm이 발생하였으며, B선에 대해 171초 경과 후부터 B선과 C선 두 선박 모두 2nd Main-alarm으로 계산되어 경보가 발생하였다.

B선의 경우, 159초부터 더 가까이 있는 A선에 대해 거리 426 m, DCPA 35 m, TCPA 1.4분으로 계산되어 2nd Main-alarm

이 먼저 발생하였으며, 209초부터는 C선에 대해서도 2nd Main-alarm이 발생하여 두 선박 모두에 대해 2nd Main-alarm이 발생하였다.

C선의 경우, 112초부터 A선에 대해 거리 1353 m, DCPA 33 m, TCPA 2.2분으로 계산되어 1st Main-alarm이 발생하였다. 그리고 180초부터 A선에 대해 2nd Main-alarm이 발생하였으며, 217초부터 B선에 대해서도 2nd Main-alarm이 발생해 3척의 선박이 가까워짐에 따라 2nd Main-alarm이 계속적으로 발생하였다.

Table 8. Scenario 3 experiment track and alarm result



4) 시나리오 4

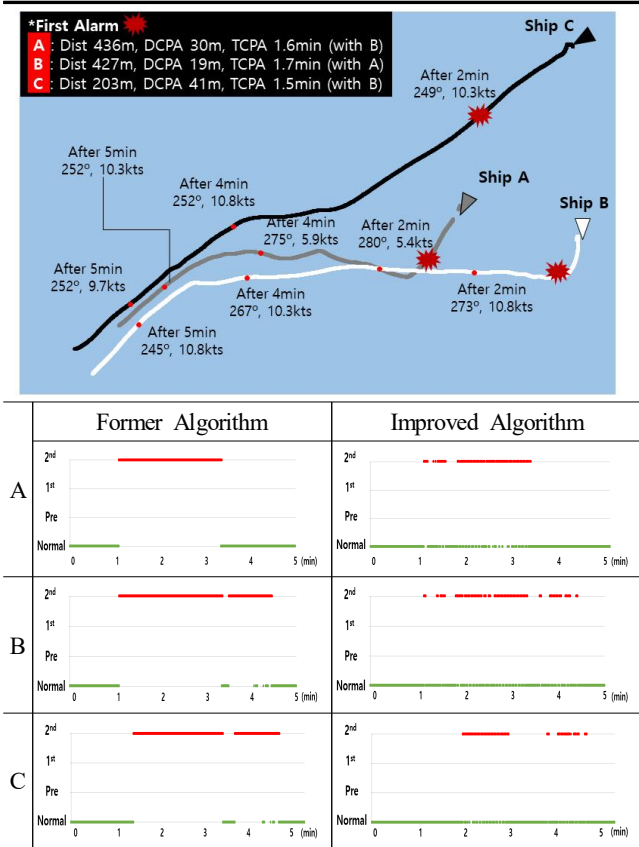
Table 9는 시나리오 4의 실험 항적과 경보 발생 결과를 나타낸다. A선박은 약 250°, B선박은 약 270°, C선박은 약 250°로 항해하여 비슷한 방향으로 항해하였으나, B선과 C선은 A선을 추월한 후에 변침하며 위험이 해소되는 상황이었다. 실험 결과, 추월 상황이 가까워지면서 위험이 커짐에 따라 경보가 2nd Main-alarm이 꾸준히 발생하였으며, 추월 상황이 끝난 후 세 선박이 점차 변침함에 따라 위험이 해소되어 경보가 바로 해지되는 것을 확인할 수 있었다.

각 선박의 경보 발생 결과를 상세히 살펴보면, A선은 실험시작 74초 경과 후 B선에 대해 거리 436m, DCPA 30m, TCPA 1.6분으로 계산되어 먼저 2nd Main-alarm이 발생하였으며, 129초부터 C선에 대해서도 2nd Main-alarm이 발생해 B와 C선박의 추월에 따라 2nd Main-alarm이 계속적으로 발생하였다. 추월 이후에는 경보가 감소하다가 선박들이 변침함에 따라 경보가 해제되었다.

B선의 경우, 64초부터 A선에 대해 거리 427m, DCPA 19m, TCPA 1.7분으로 계산되어 2nd Main-alarm이 발생하였으며, 124초부터 A선에 대해서도 2nd Main-alarm이 발생하였다. A선을 추월하고 C선과의 충돌위험이 커지면서 경보가 2nd Main-alarm이 꾸준히 발생하다가 추월상황이 해소되고 3척 선박 간의 충돌위험이 감소하면서 경보 또한 감소하다가 해제되었다.

C선의 경우, B선에 대해 124초부터 거리 203m, DCPA 41m, TCPA 1.5분으로 계산되어 2nd Main-alarm이 먼저 발생했다가, 131초부터 A선을 추월하는 과정에서 A선에 대해 2nd Main-alarm이 발생하였다. 추월 상황 및 B선박과의 Crossing 조우로 인해 2nd Main-alarm이 계속 발생하다가 추월 상황이 해소되고 선박들이 변침함에 따라 경보가 해제되었다.

Table 9. Scenario 4 experiment track and alarm result



3.3 실험결과 시사점

실제 해역에서 3척 선박을 이용한 실선실험을 통해 알고리즘 개선 전과 후의 경보 발생 결과를 비교·분석하고자 하였다. 알고리즘 개선에 따른 경보 발생 빈도의 감소 효과를 정량적으로 확인하기 위해 실험대상 선박 3척 중 A선의 시나리오별 알고리즘 개선 전과 후의 경보 발생 데이터 수를 Table 10과 같이 비교하였다. 그 결과, 시나리오 1의 경우 2nd Main-alarm 발생 거리가 감소함에 따라 1st Main-alarm이 개선 전에는 발생하지 않았으나 개선 후에는 발생하게 되었으며, 대신 2nd Main-alarm이 약 66% 감소하였다. 또한, 모든 실험 시나리오에서 경보 발생이 평균 45% 정도 감소한 것으로 나타났다. 단, 발생한 경보의 감소 비율은 선박 조우 상황과 위험 정도별로 상이하다.

Table 10. Comparison table of the number of alarms generated by each scenario of Ship A

Scenario Number	1st Main-alarm (number)		2nd Main-alarm (number)	
	Before	After	Before	After
1	-	65	1333	457
2	-	-	615	481
3	453	112	986	717
4	-	-	1507	799
Total	453	177	4441	2497

실선실험 결과, 2nd Main-alarm의 거리 범위가 감소함에 따라 2nd Main-alarm보다 1st Main-alarm이 발생하는 시간이 증가하였다. 또한 경보가 발생하는 위험한 상황에서도 양호 상태가 번갈아 이루어지며, 경보 발생 데이터 개수도 수치적으로 감소하여 경보 발생 빈도가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 특히, 경보 발생 빈도는 감소하였으나 3척 선박의 거리가 가까워지고 위험해질수록 경보가 꾸준히 발생하는 것으로 나타났다. 이는 소형선박의 보침성능이 불규칙적이지만 충돌위험이 가까운 상황일수록 알고리즘의 위험 판단 기준에 맞는 데이터 수가 증가하고, 다수척 선박이 조우하는 위험한 상황일수록 경보가 중첩되어 계속적으로 발생하기 때문으로 분석된다.

따라서 사용자 의견에 따라 위험 상황에서 경보가 발생하여 운항자의 경각심을 깨워 주는 것은 유지하되 경보 발생 빈도를 감소시켜 피로감을 줄이도록 하였으며, 위험한 상황일수록 경보가 꾸준히 발생할 수 있도록 알고리즘이 개선된 것으로 분석되었다.

4. 결론

안전의 관리를 위해 제공되는 서비스는 허용 가능한 정도의 안전을 관리할 수 있어야 할 뿐 아니라 사용자의 만족도를 어느 정도 충족시키고 실용성이 갖춰져야 한다. 하지만 안전과 사용자 만족도 또는 편리성은 일부 상반되는 경향이 존재하여, 안전을 위한 서비스를 제공하기 위해서는 안전과 실용성의 적절한 수준을 찾는 것이 필요하다. 본 연구에서는 개발된 충돌예방 알고리즘에 따른 경보 서비스를 실제 사용자들의 의견을 수집하고 개선 필요사항을 도출하였으며, 이를 바탕으로 개선된 알고리즘을 적용하여 실선 실험을 수행하고, 실험 결과를 분석하여 알고리즘 개선의 실효성을 검증하였다.

실제 충돌예방 알고리즘에 따른 충돌경보 서비스를 이용한 어선, 어장관리선 등의 소형선박 운항자들을 대상으로 설문조사를 수행한 결과, 충돌경보에 대해 만족하고 중요하다고 여기는 것으로 나타났으나, 충돌경보의 정확도 향상과 경보 횟수 또는 음량의 감소에 대한 요구사항이 확인되었다. 이러한 사용자 의견을 반영하여 알고리즘을 개선하기 위해 기존 충돌예방 알고리즘의 충돌 판단 기준은 유지되되 경보 발생과 해제 기준을 강화하였다. 개선한 알고리즘을 적용하여 실제 해역에서 3척 선박을 대상으로 실선실험을 수행한 결과, 경보의 발생과 해제 기준이 강화되어 경보 발생 빈도가 감소하였지만, 위험한 상황일 때는 경보가 비교적 꾸준히 발생하여 소형선박 운항자에게 충돌위험을 적절히 알릴 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구의 한계로는 사용자 의견을 바탕으로 알고리즘을 개선하였으나, 개선된 결과에 대한 사용자 만족도 향상 정도에 대한 분석이 이루어지지 않은 점이 있다. 따라서 추후 연구에서는 다양한 시나리오에 대한 알고리즘 적용결과 마련, 개선된 알고리즘에 대한 사용자 만족도 향상 정도 분석, 그리고 전문가 평가 등을 통해 알고리즘 적정성에 대한 근거자료 마련이 필요하다.

계속적인 연구를 통해 충돌예방 알고리즘의 실용성과 신뢰성을 충분히 확보한다면 실제 소형선박의 운항에 적합하고 충돌사고 예방에 기여할 수 있는 충돌예방 방안이 마련될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 과학기술기반 지역수요맞춤형 R&D 지원사업 “연안 중소형 선박 안전운행시스템 실증사업” 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Kang, W. S., Y. D. Kim, M. K. Lee, and Y. S. Park(2019), The Development of a Collision Warning System for Small-Sized Vessels Using WAVE Communication Technology, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 25, No. 2, pp. 151-158.
- [2] 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.
- [3] Kao, S. L. and M. A. Lee(2010), Method for Small-scale Fishing Boat Equipped With RADAR Receiver to Avoid Ship Collision and the RADAR Receiver Therefor, United States Patent, Patent No. US 7,710,309 B2.
- [4] KIMA(2020), Information Gathering on the Effectiveness Evaluation Criteria among the Development of Ship Safety Service Definition, Korea Information Management Assessment.
- [5] Kim, M. J.(2017), It was both to blame according to the video of collision of fishing boat at Yeongheungdo, Edaily, <https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=02440326616157864&mediaCodeNo=257&OutLnkChk=Y> (Accessed: February, 2021).
- [6] Kim, S. H., H. S. Kim, K. I. Kang, and W. S. Kim(2017), An Analysis on Marine Casualties of Fishing Vessel by FTA Method, Journal of Korean Society of Fisheries Technology, Vol. 53, No. 4, pp. 430-436.
- [7] KMST(2020), Korean Maritime Safety Tribunal, Statistics for the marine accidents (in Korean), <http://www.kmst.go.kr/> (Accessed: December, 2021).
- [8] Kuo, C.(2007), Safety Management and its Maritime Application, The Nautical Institute, p. 1.
- [9] 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.
- [10] Lee, M. K. and Y. S. Park(2020), Collision Prevention Algorithm for Fishing Vessels Using mmWAVE Communication, Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 8, No. 115.
- [11] Lee, M. K., Y. S. Park, and W. S. Kang(2019), A Study on Construction of Collision Prevention Algorithm for Small Vessel Using WAVE Communication System, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 25, No. 1, pp. 1-8.

- [12] MLTM(2011), Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Maritime Traffic Safety Assessment Model Technology Development.
- [13] MOF(2021), Ministry of Oceans and Fisheries, <https://blog.naver.com/koreamof/222224225019> (Accessed: February, 2021).
- [14] Nguyen, X. T.(2014), A Study on the Development of Real Time Supporting System (RTSS) for VTS Officers, PhD. Dissertation. Graduate School of Korea Maritime and Ocean University.
- [15] Smartnav(2021), SMART-Navigation Project Office, WP1: Navigation Monitoring & Assistance Service(NAMAS), https://www.smartnav.org/html/Research_New/wp01.php (Accessed: February, 2021).
- [16] Subash, T. D., A. S. Pradeep, A. R. Joseph, A. Jacob, and P. S. Jayaraj(2020), Intelligent Collision Avoidance system for fishing boat, Materials Today : Proceedings, Vol. 24, No. 4, pp. 2457-2463.

Received : 2021. 03. 08.

Revised : 2021. 04. 09.

Accepted : 2021. 04. 27.