



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

WAVE 통신기반의 소형선박용 충돌회피 시스템  
개발에 관한 연구

A Study on the Development of the Collision Avoidance System for  
Small Vessels Based on Wireless Access in Vehicular Environment



지도교수 박 영 수

2020 년 2 월

한국해양대학교 대학원

항해학과  
강 원 식

본 논문을 강원식의 공학박사 학위논문으로 인준함

위원장 박진수

위원 송재욱

위원 문성배

위원 정재용

위원 박영수



2019년 12월 18일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

<b>List of Tables</b> .....	iv
<b>List of Figures</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>1. 서 론</b> .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 .....	3
1.3 연구 방법 .....	5
<b>2. 선박 충돌회피 선행연구 및 기술 분석</b> .....	7
2.1 선박충돌사고 분석 .....	7
2.2 선박 충돌회피 선행연구 분석 .....	12
2.2.1 충돌회피의 이론적 분석 .....	12
2.2.2 선박 충돌회피 선행연구 분석 .....	14
2.2.3 충돌회피 시스템 상용화 사례 분석 .....	19
<b>3. 무선통신기술 분석</b> .....	21
3.1 무선통신기술 현황분석 .....	21
3.1.1 해상교통 통신기술 현황분석 .....	22
3.1.2 도로교통 통신기술 현황분석 .....	27
3.1.3 무선통신기술 현황분석 결과 .....	32

3.2 무선통신기술 선행연구 분석 .....	36
3.3 WAVE 통신의 이론적 분석 .....	43
3.3.1 WAVE 통신기술 개념 .....	44
3.3.2 WAVE 통신 특성 분석 .....	45
3.3.3 WAVE 통신 적용사례 분석 .....	48
3.3.4 해상교통 적용가능성 검토 .....	49
<b>4. WAVE 통신기반 소형선박의 충돌회피 시스템 개발 .....</b>	<b>54</b>
4.1 시스템 개요 .....	54
4.2 시스템 설계 기준 .....	56
4.2.1 WAVE 해상통신거리 측정 .....	56
4.2.2 충돌위험 판단기준 .....	66
4.3 시스템 구성 .....	80
4.3.1 수신부 .....	81
4.3.2 연산부 .....	84
4.3.3 표시부 .....	87
<b>5. 소형선박용 충돌회피 시스템 실선 검증 .....</b>	<b>90</b>
5.1 검증 개요 .....	90
5.1.1 실선실험 개요 .....	91
5.1.2 실험 대상선박 및 해역 .....	93
5.1.3 시나리오 .....	94
5.2 실선실험 결과 분석 .....	95
5.3 시스템 검증 및 활용방안 .....	101
5.3.1 AIS 및 WAVE 통신기반 시스템 비교 검증 .....	101
5.3.2 활용방안 검토 .....	105
<b>6. 결론 .....</b>	<b>108</b>
6.1 연구 결과 .....	108

6.2 향후 과제 ..... 113

참고문헌 ..... 114



## List of Tables

<b>Table 1</b>	Current Status of Marine Accidents in the last 5 years	7
<b>Table 2</b>	Status of Marine Accidents by Accident Type in the last 5 years	8
<b>Table 3</b>	Status of Vessel Collision Accidents by type of Vessel in the last 5 years	9
<b>Table 4</b>	A Summary of previous researches of Ship Collision Avoidance	14
<b>Table 5</b>	Ship Radio Communication and Frequencies	23
<b>Table 6</b>	Status of Maritime Satellite Communication System	25
<b>Table 7</b>	Level of Automatic Driving by SAE	29
<b>Table 8</b>	Comparison of AIS and LTE-Maritime	34
<b>Table 9</b>	Comparison of Wireless Communication on Road Traffic	35
<b>Table 10</b>	A Summary of previous researches on Wireless Communication	36
<b>Table 11</b>	WAVE Comm. Standard and Structure	47
<b>Table 12</b>	Classification Standard of RSSI	57
<b>Table 13</b>	Environmental Conditions of Real Ship Test	59
<b>Table 14</b>	Distance Measurement Result of 1st Ship Test	62
<b>Table 15</b>	Distance Measurement Result of 2nd Ship Test	63
<b>Table 16</b>	Test of Communication Interference Measurement by Obstacle	64
<b>Table 17</b>	Comparative Analysis of WAVE Communication and AIS	66
<b>Table 18</b>	Details of Small Ships Registered with the Simulator	72
<b>Table 19</b>	Small Ships Maneuvering Performance for TCPA standard	73
<b>Table 20</b>	Survey Method for Ship Operators	74
<b>Table 21</b>	Survey Contents for Ship Operators	75
<b>Table 22</b>	Message Packet Protocol(Sample)	82
<b>Table 23</b>	Environmental Conditions of Collision Avoidance Test	94

## List of Figures

<b>Fig. 1</b>	The Research Flow .....	6
<b>Fig. 2</b>	Status of Marine Accidents and Cause(Fishing Boat) in the last 5 years ..	10
<b>Fig. 3</b>	Schematic Diagram of V2X Communication .....	31
<b>Fig. 4</b>	WAVE Standard Development Process .....	45
<b>Fig. 5</b>	Track Diagram of Merchant Vessels .....	51
<b>Fig. 6</b>	Track Diagram of Fishing Vessels .....	52
<b>Fig. 7</b>	Conceptual Diagram of Collision Avoidance System for Small Vessels based on WAVE Communication Technology .....	55
<b>Fig. 8</b>	1st Test Area: near Young-heung Island .....	58
<b>Fig. 9</b>	2nd Test Area: near Mok-po Port .....	58
<b>Fig. 10</b>	Installation Location of the WAVE Antenna .....	60
<b>Fig. 11</b>	Scenario of Distance Measurement Test .....	61
<b>Fig. 12</b>	Scenario of 2nd Ship Test .....	61
<b>Fig. 13</b>	1st Test Result of Communication Distance Measurement .....	62
<b>Fig. 14</b>	2nd Test Result of Communication Distance Measurement .....	63
<b>Fig. 15</b>	Test Diagram of Communication Interference Measurement .....	65
<b>Fig. 16</b>	Conceptual Diagram of DCPA and TCPA .....	67
<b>Fig. 17</b>	Calculation of DCPA and TCPA .....	68
<b>Fig. 18</b>	Diagram of Ship's Blind Spot .....	70
<b>Fig. 19</b>	Standard of Turning Ability .....	71
<b>Fig. 20</b>	Characteristics of Respondent of Survey .....	76
<b>Fig. 21</b>	Survey Result for Ship Operators .....	77
<b>Fig. 22</b>	Collision Warning Judgement Criteria .....	78



## List of Figures

<b>Fig. 23</b> Block Diagram of Collision Avoidance System for Small Vessel based on WAVE Comm. Technology .....	80
<b>Fig. 24</b> RX Protocol .....	81
<b>Fig. 25</b> TX Protocol .....	83
<b>Fig. 26</b> Sample of Received Data on Data Receiver .....	83
<b>Fig. 27</b> Block Diagram of WAVE Terminal System .....	84
<b>Fig. 28</b> Block Diagram of WAVE RF Module .....	85
<b>Fig. 29</b> WAVE Communication Protocol .....	85
<b>Fig. 30</b> Input Data for Collision Warning Judgement .....	86
<b>Fig. 31</b> A Part of Source Code on HMI Application .....	88
<b>Fig. 32</b> Display of HMI Application .....	88
<b>Fig. 33</b> Real Appearance of Collision Avoidance System .....	92
<b>Fig. 34</b> Installation of Equipment for Real Ship Test .....	92
<b>Fig. 35</b> Test Area: near Young-heung Island .....	93
<b>Fig. 36</b> Scenario of Crossing Situation .....	94
<b>Fig. 37</b> Scenario of Overtaking Situation .....	95
<b>Fig. 38</b> Vessel Track on Crossing Situation by AIS .....	96
<b>Fig. 39</b> Vessel Track on Crossing Situation by WAVE Comm. ....	97
<b>Fig. 40</b> Vessel Track on Overtaking Situation by AIS .....	98
<b>Fig. 41</b> Vessel Track on Overtaking Situation by WAVE Comm. ....	99
<b>Fig. 42</b> Vessel Track on Crossing Situation by WAVE(every 5 sec.) and AIS Comm. Tech. ....	102
<b>Fig. 43</b> Vessel Track on Overtaking Situation by WAVE and AIS Comm. Tech. ...	103

# A Study on the Development of Collision Avoidance System for Small Vessels Based on Wireless Access in Vehicular Environment

Kang, Won Sik

*Department of Navigation Science  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University*

## Abstract

Despite the continual decrease in the shipping fleet over the past five years, the number of marine incidents has steadily increased. Among the marine incidents except for engine damage or incident from floating object twined around a propeller which are relatively minor, collision is the most frequent event at sea and its proportion has been increasing up to 40% from 180 in 2014 to 250 in 2018. In line with the total number of ships involved in casualties, fishing vessel is the most frequent ship type involved in 'casualty with a ship' by ship category. From a total of accidental events occurred on fishing vessels analyzed during investigations, a human erroneous action is represented by far the main contributing factor with 76.4% of the total. Especially, in a human erroneous action, it is analyzed that improper lookout accounts for the majority part of it with 54.2% of the total.

In order to prevent collision at sea, various studies confined to merchant ships have been already conducted but, studies related to small vessels such as fishing vessels have not been carried out enough. In the case of merchant ships, various navigational equipment with advanced technology such as RADAR and ECDIS have been developed and installed to assist an operator. However, for small vessels, only legally required navigational equipment is opted to be installed due to the narrow space on board and financial difficulties. Especially, it is common that only AIS (Automatic Identification System) is installed on small vessels in accordance with the Ship Safety Act and the Fishing Vessel Act which enforce to install AIS in passenger ships more than 2 tonnes, fishing vessels more than 10 tonnes, tugboats and oil tankers more than 50 tonnes. In this case of vessels, AIS-based collision warning device is being used to alert an operator when detecting an approaching object to own vessel within a certain range.

International Maritime Organization (IMO) allocated Channel 87 (161.975 MHz) and 88 (166.025 MHz) only for AIS frequencies to complement the shortcomings of existing RADAR or VHF. With establishing automatic identification system between ship to ship or ship to shore, AIS becomes a device to automatically transmit maritime safety information including ship static information (Ship name, MMSIs, Call Signs, etc) and dynamic information (location, course, speed, etc.) to prevent collision and support VTS operation and maritime search-and-rescue activities. However, as AIS-equipped vessels and, application services utilizing AIS have increased, the problem of the deterioration in quality of connection has been raised recently. These issues raised the need to improve AIS performance quality and many studies have been conducted to solve the problem.

Meanwhile, the government of the Republic of Korea promotes the SMART-Navigation project customized in the environment of the Republic of Korea and plans to introduce a high-speed maritime wireless network so called LTE-M within 100 kilometers off the coast. The most distinct

feature of LTE-Mis that it is necessary to go through land-based station without direct communication between Device to Device. In such communication system, communication service is highly likely to be interrupted or delayed due to radio interference or a poor transmission and reception of a land-based station. In addition, when using this communication service to obtain navigation information or to avoid collision on the basis of this information, a separate device for Device to Device communication is required to deal with the unexpected situation such as service delay or data loss.

In the road transport sector, several research and pilot projects have been steadily conducted to apply mobile communication technology to vehicles such as WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment) and DSRC (Dedicated Short Range Communication).

This study analyzed and presented wireless communication technology applied in marine traffic and in road traffic in order to develop systems that can avoid collision in small vessels. Analyzing the current status of existing communication, it was decided to develop collision avoidance system for small vessels based on sufficient demonstration and technologically advanced WAVE communication technology. WAVE Communication Technology is a technology optimized for fast-moving vehicles and allows packet frames between vehicles and vehicles or vehicles to infrastructures to be sent and received within a short period of 100 msec. Based on these technologies, it is expected that excellent and highly reliable application technology will be able to be developed when applied to marine traffic.

In this study, first of all, in order to apply WAVE wireless communication technology using in road traffic into the marine traffic, an sea trial test was conducted with the existing Shark fin antenna changed into 360-degree omni-antenna. As a result of the test, since LOS(Line of Sight) at sea is better than at land due to no structure at sea such as a building, it was found that the transmission distance increased. With the same output, comparing with

that the maximum receiving distance at land was around 1 km, it was analyzed that data was possible to be stably transmitted up to 8 ~ 9 km at sea.

Collision avoidance system for small vessels developed in this study consists of data receiver, collision risk calculator, collision risk determination unit and indicator. With the risk assessment for collision in the basis of DCPA and TCPA, which are widely used, the criteria for determining collision warning were made through interview surveys by operators of similar-typed vessels. While receiving dynamic and static information of other ships through WAVE communication from the receiver, the degree of risk is calculated and determined by the criteria of determining risk of collision by the calculator and determination unit. Finally, in order to avoid risk of collision, indicator unit warns an operator of risk of collision by an alarm or the similar method.

In order to assess the reliability of alarms in collision warning system using WAVE communication, the sea trial tests for crossing and overtaking situations were conducted and the results were derived. It was assessed that when collision risk situation occurred, calculations and determinations based on the criteria for determining collision warning were properly performed and, that the process of displaying the information to the operator was also suitably performed. In particular, since the transmission cycle of information is 100 msec as the characteristics of vehicular communication systems, it was possible to precisely detect risk of collision caused by quickly changing bearing and speed of the other vessel at close range and to send the proper information to an operator. As a result of the application of the AIS-based avoidance system under the same conditions as the WAVE communication technology-based avoidance system, when signal was broken due to an error during the transmission and reception of information under AIS, it took twice as long for the signal to be transmitted again. In addition, it was revealed that when

risk of collision occurred in a flash due to track lost and sudden-changed circumstance, the proper action to avoid collision or warning for collision were difficult to be suitably performed.

Compared to the existing communication technology 'AIS', WAVE-based collision avoidance system developed in this study for small vessels was analyzed to be able to perform transmission and reception of the reliable information and to quickly react to the suddenly occurred risk of collision. However, it is premature to immediately apply the existing V2X technology to marine traffic without sufficient verification and it is necessary to develop and enhance the technology into the communication technology optimized for marine environments through sufficient research and development with experimentation. In addition, with the advent of the era of MASS (Maritime Autonomous Surface Ship), not being limited to the development of collision avoidance systems, it is deemed necessary to develop various services for MASS by developing and supplementing technologies for transmission of highly reliable information and excellent communication security.

**KEY WORDS:** Marine Accident; Collision Avoidance; Marine Wireless Communication; WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment), MASS(Maritime Autonomous Surface Ship)

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

최근 5년간 우리나라 연안 해역에서의 해양사고는 꾸준히 증가하고 있다. 해양사고의 종류 중에 기관손상, 부유물 감김 등과 같이 비교적 피해가 경미한 사고를 제외하고는 충돌사고가 가장 많이 발생하고 있어 그에 대한 대책이 필요한 실정이다. 선종별 충돌사고에서는 여객선, 유조선 등 상선보다 어선에서 충돌사고가 빈번하게 발생하고 있으며 사고 원인으로 운항과실이, 세부원인으로는 경계소홀이 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 분석되었다[1].

한편, 2017년 12월 영흥도에서는 영흥수도를 통항하던 급유선과 진두항을 출항하던 낚시어선이 충돌하는 사고가 발생하여 낚시승객을 비롯한 15명이 사망하는 사고가 발생하였다[2]. 이러한 선박 충돌사고의 예방을 위해 관련 연구가 많이 수행되고 있다. 상선의 경우 레이더(Radio Detecting and Ranging, 이하 RADAR), 전자해도표시장치(Electronic Chart Display and Information System, 이하 ECDIS) 등의 첨단 항해장비를 활용한 충돌회피 시스템이 개발되고 있다. 하지만, 소형선박에는 경제적인 이유 등으로 선박자동식별장치(Automatic Identification System, 이하 AIS) 정도만 탑재되고 있고 이러한 선박에 운항자 보조시스템은 AIS 장비를 활용하여 자선을 기준으로 일정범위 내에 선박이 들어올 경우 경보를 올려주는 정도의 단순한 시스템이 대부분이다[3].

그러나 최근 AIS 탑재선박이 증가하고 있고 AIS를 활용한 응용서비스가 증가하고 있기 때문에 통신 트래픽 증가 등으로 인한 문제점이 발생해 AIS 성능 개선을 위한 필요성이 제기되고 있다[4]~[8].

통신문제에 대한 해결의 일환으로 정부는 한국형 e-Navigation 사업인 SMART-Navigation 사업을 추진하고 있으며 연안 100 km에 4세대 이동통신망(Long Term Evolution, 이하 LTE)을 근간으로 하는 초고속해상무선통신망(LTE-Maritime, 이하 LTE-M)을 도입하는 계획을 가지고 있다[9]. LTE를 이용한

통신에서 가장 큰 특징은 Device to Device 통신이 제공되지 않고 중간에 육상 기지국 등을 거쳐야 하며 통신망 이용에 따른 비용이 발생한다는 점이다. 이러한 통신 시스템에서는 육상으로부터 오는 통신서비스가 전파 간섭이나 기지국의 송수신 불량으로 전송이 끊기거나 지연되는 현상이 발생할 수 있으므로, 이러한 문제들을 해결할 수 있는 방안도 같이 마련되어야 한다. 또한, 기본적으로 e-Navigation에서 제공되는 필수서비스와 한국형 e-Navigation 서비스가 있지만 지속적인 해양사고예방 및 해양환경보호 등을 위해서는 이러한 통신기반 위에 이용할 수 있는 서비스를 지속적으로 개발 및 보급하여야 할 것이다.

도로교통에서는 최근에 4차 산업혁명을 바탕으로 활발하게 기술개발이 이루어지고 있는 자율주행 자동차의 본격적인 개발에 착수하기 이전부터 차량용 통신기술의 개발 및 적용 등에 관한 수많은 연구와 시범사업을 실시하였다 [10]~[13]. 차량에서는 이러한 차량용 통신기술을 V2X(Vehicle to Everything)라고 지칭하며 자율주행 자동차의 핵심기술로 개발하고 있다. WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment) 통신기술과 DSRC(Dedicated Short Range Communication) 등이 대표적으로 채택된 V2X 통신기술이며 이중 WAVE 통신은 V2I, V2V가 모두 가능하고 정보에 대한 보안이 우수하며 사용료가 별도로 발생하지 않는 등 교통환경에 적용하기 적합한 통신기술이라고 할 수 있다.

또한, 철도교통에서도 WAVE 통신의 철도 적용을 위한 성능검증 연구를 시행하는 등 WAVE 통신기술에 대한 검토가 이루어지고 있다[14].

해상교통에서도 해양사고 특히, 교통측면에서의 충돌사고 등의 예방을 위해서는 이와 같은 우수하면서도 이용 가능한 통신 기술의 연구·개발·적용 및 활용을 통해 해양사고로 인한 인적·물적 손해를 예방할 필요가 있을 것이다.



## 1.2 연구 목적

해양사고 저감을 위하여 사고발생 빈도가 가장 높은 충돌사고의 예방을 위한 기술개발은 반드시 필요하다. 특히 선종별 충돌사고 중 가장 사고 비율이 높은 어선 등 소형선의 충돌사고 예방과 기술개발이 시급한 실정이다. 하지만, 소형 선박에서 가장 많이 활용할 수 있는 AIS 통신은 통신 트래픽 등 문제점이 발생하고 있고 선명, 선종 등 정적정보는 매 6분, 시간, 위치, Course 및 Speed 등의 동적정보는 선속에 따라 Class A는 2초~10초, 어선이 사용하는 Class B는 5~30초 간격으로 정보가 전송된다. 이러한 특성 때문에 선박 운항자가 견시를 소홀히 하거나 주변에 선박이 존재하는 상황에서 장애물 또는 타 선박을 피하기 위해 긴급하게 회피 동작을 취해 제3의 선박과 충돌의 위험이 발생한다면 현재 AIS의 통신으로서는 운항자에게 즉각적인 정보를 전달할 수 없다. 이와 같이 AIS는 즉각적인 조치가 필요한 상황에서 시스템을 통한 운항자의 위험 인지에 한계가 있기 때문에 미래지향적인 통신이라고 보기는 어렵다.

한편, 우리나라는 SMART-Navigation 사업 추진을 통하여 연안 100 km 범위에 LTE-M망을 도입하는 계획을 가지고 있다. 또한 유럽 등을 비롯한 세계 각국에서 앞 다투어 개발에 착수하고 있는 자율운항선박에서는 위성통신을 원격 제어 및 주요 통신시스템으로 활용하고 있다. 또한, 도로교통에서는 육상 이동통신기술을 바탕으로 자율주행 자동차 및 차세대 지능형 교통정보체계 (Cooperative-Intelligent Transport Systems, 이하 C-ITS) 구축을 위한 연구와 시범사업 등이 수행 중이다.

본 연구에서는 소형선박에서의 충돌을 회피할 수 있는 시스템을 개발하기 앞서 해상교통에서 적용하고 있는 무선통신기술과 도로교통에서 적용하고 있는 무선통신기술을 분석하여 소형선박 충돌회피 시스템에 적합한 통신 기술을 활용 및 적용하고자 한다.

특히, WAVE 통신기술은 고속으로 이동하는 차량에 최적화된 기술로 차량과 차량, 차량과 인프라 간 패킷 프레임을 100 msec 이내의 짧은 시간에 송수신할 수 있는 기술로 자율주행 자동차 구현에 현재까지 가장 적합한 기술이라고

평가 받고 있다[15].

본 연구에서는 소형선박에서의 해양사고, 특히 선박 간 충돌사고를 예방하기 위해 도로교통에서 적용하고 있는 V2X 무선통신기술 중 WAVE 통신기술의 개념과 기술적 특성, WAVE 통신기술을 활용한 사례 등을 분석하고자 한다. 그리고 중소형 선박 특히, 어선 운항자를 대상으로 한 면접조사 등을 통해 충돌회피에 적합한 충돌경보판단기준을 마련하고자 한다. 최종적으로 이러한 통신기술과 소형선박용 충돌경보 판단기준을 바탕으로 WAVE 통신 기반 충돌회피 시스템을 개발하여 실선 실험을 수행하고 결과검증 및 활용방안을 제시해 보고자 한다.



### 1.3 연구 방법

본 연구의 범위 및 구성은 다음과 같다.

2장에서는 해양사고 현황을 분석하여 소형선박용 선박 충돌회피 시스템 개발의 필요성을 제시하였다. 그리고 소형선박용 충돌회피 시스템 관련 기술 분석을 위해 선박충돌회피 관련 이론적 분석 및 선행연구 및 선박충돌회피 시스템 적용 사례 등을 분석하였다.

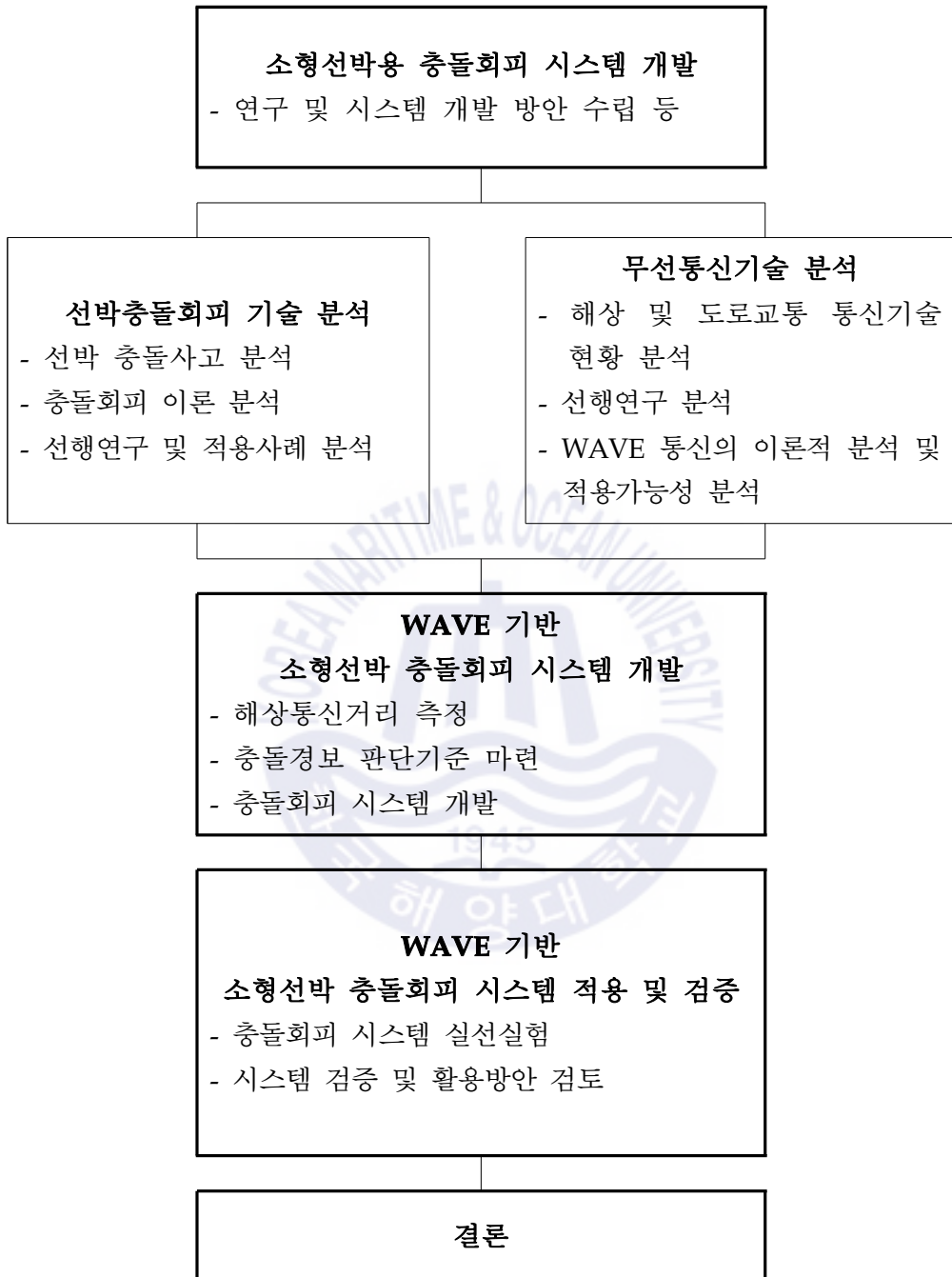
3장에서는 소형선박용 충돌회피 시스템에 적합한 통신기술을 분석하기 위해 해상교통 무선통신기술의 현황을 분석하였다. 또한, 최근 자율주행 자동차와 C-ITS에 적용하는 등 활발하게 연구·개발 중인 도로교통 무선통신기술 개발 현황을 분석하였다.

또한, 무선통신기술 개발현황을 바탕으로 본 연구에 기본 통신기술로 활용할 WAVE 통신기술의 개념, 통신 특성 분석 및 적용 사례 등을 검토·분석하였다.

4장에서는 충돌회피 시스템 적용에 앞서 WAVE 통신 기술의 해상 적용 적정성을 판단하기 위해 실제 선박 실험을 통해 선박 간 통신 가능거리 측정 등을 실시하였다. 그리고 어선 운항자의 면접조사를 바탕으로 소형선박용 충돌경보 판단기준을 비롯하여 WAVE 통신 단말기 및 안테나 등을 결합한 충돌회피 시스템을 개발하였다.

5장에서는 개발된 WAVE 통신 기반 소형선박용 충돌회피 시스템을 적용 및 검증하기 위해 영흥도 인근 수역에서 선박에 WAVE 단말기와 AIS 수신기 등을 설치하여 실선 실험을 실시하였다.

본 연구의 방법을 도식화하면 Fig. 1과 같다.



**Fig. 1** The Research Flow

## 제 2 장 선박 충돌회피 선행연구 및 기술 분석

### 2.1 선박충돌사고 분석

2017년 12월 영흥도에서 발생한 급유선과 낚시어선 충돌사고와 같이 해상에서의 충돌사고는 많은 인명피해와 경제적인 손실을 야기한다[2].

Table 1은 최근 5년간(2014년~2018년) 선박 등록 척수, 해양사고 발생 건수, 해양사고 발생 척수 등의 현황을 나타낸 것이다[1]. 최근 5년간 선박 등록 척수가 매년 줄어들고 있음에도 불구하고 해양사고 발생건수와 발생척수는 꾸준히 증가하고 있다. 그에 따라 해양사고 발생률도 2014년 2.01%에서 2017년 3.80%로 약 2배 가까이 증가한 것을 알 수 있다.

**Table 1** Current Status of Marine Accidents in the last 5 years

Unit : number

Year	2014	2015	2016	2017	2018
Number of Ship Registrations	77,730	76,500	76,152	75,815	-
Number of Ship Accident	1,565	2,362	2,549	2,882	2,968
Number of Marine Accident	1,333	2,101	2,307	2,582	2,671
Rate of Marine Accident	2.01%	3.09%	3.35%	3.80%	-

Source : Korean Maritime Safety Tribunal, 2019

Table 2는 최근 5년간 사고 종류별 해양사고 건수를 나타낸 것이다.

최근 5년간 사고종류별 해양사고는 기관손상, 부유물 감김, 충돌, 안전사고,

좌초, 화재/폭발, 전복 등의 순으로 나타났으며, 기관손상, 부유물 감김 등 비교적 피해가 경미하다고 생각되는 사고를 제외하고는 충돌사고가 가장 많이 발생하였다. 충돌사고는 2014년 180건 발생하였으나 2018년에는 250건이 발생하는 등 사고 건수가 증가하고 있는 것으로 분석된다. 여기에서 기타사고에는 접촉, 침몰, 운항저해, 해양오염, 침수, 추진축계 손상, 조타장치 손상, 속구 손상, 시설물 손상 및 행방불명 등의 사고가 포함되어 있다.

**Table 2** Status of Marine Accidents by Accident Type in the last 5 years

Unit : number

Type Year	Engine Damage	Being Wound Floating	Colli- sion	Safety Accident	Ground -ing	Fire/ Explo- sion	Capsiz -ing	Etc.
2014	339	205	180	113	96	97	35	265
2015	703	331	235	144	84	100	32	472
2016	755	390	209	131	137	113	49	523
2017	838	311	258	160	149	96	65	705
2018	856	278	250	162	142	119	46	818
Total	3,491	1,515	1,132	710	608	525	227	2,783

Source : Korean Maritime Safety Tribunal, 2019

Table 3은 선박 종류별 충돌사고 발생 척수를 나타낸 것이다.

최근 5년간 발생한 어선의 충돌사고는 1,476척(64%)으로 화물선 314척(13.6%), 기타선박 220척(11.9%) 등에 비해 단일 선종으로 절반 이상을 차지하고 있어 어선 충돌사고 문제의 해결이 시급히 필요함을 알 수 있다. 한편, 기타선박에는 부선, 준설선, 여객도선, 유선, 관용선, 해경정, 군함, 어업지도선 등이 포함되어 있다.

**Table 3** Status of Vessel Collision Accidents by type of Vessel in the last 5 years

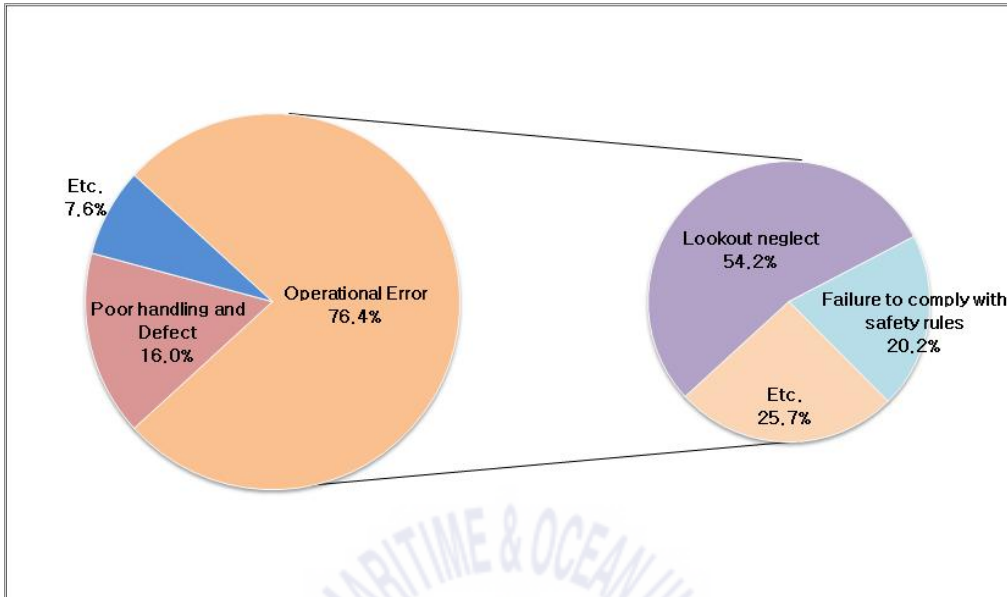
Unit : number

Type Year	Fishing Vessel	Cargo Ship	Towing Vessel	Tanker	Passenger Ship	Leisure	Etc.	Total
2014	218	63	29	14	3	-	50	377
2015	318	63	22	21	5	-	49	478
2016	274	64	19	18	5	-	40	420
2017	333	68	18	31	3	27	46	526
2018	333	56	28	24	1	27	35	504
Total	1,476	314	116	108	17	54	220	2,305
	64.0%	13.6%	5.0%	4.7%	0.7%	2.3%	11.9%	100%

Source : Korean Maritime Safety Tribunal, 2019

이와 같이 해양사고 종류 중 사고발생 시 큰 피해를 야기할 수 있는 충돌사고가 가장 많이 발생하였고, 그 중에서도 어선의 충돌사고가 눈에 띄게 많이 발생하고 있어 이 문제를 해결하기 위한 어선의 해양사고 원인 분석을 하고자 한다.

Fig. 2는 최근 5년간 발생한 어선의 해양사고 재결분 원인현황을 나타낸 것이다. 어선의 최근 5년간 해양사고 발생 원인을 분석한 결과, 운항과실이 전체의 76.4%, 취급불량 및 결함이 16.0%, 기타 7.6% 등의 순으로 나타났다. 운항과실이 나타난 세부 원인을 살펴보면 경계소홀이 54.2%, 선내작업 안전수칙 미준수가 20.2%, 기타 25.7% 등으로 나타나 경계소홀이 운항과실의 가장 큰 원인을 차지하는 것으로 나타났다. 한편, 해양사고 원인 중 기타에는 출항준비 불량, 선위확인 소홀, 조선 부적절, 황천대비 대응 불량, 묘박 계류의 부적절, 항행법규 위반, 복무감독 소홀, 당직근무 태만 및 운항과실 기타 등이 포함되어 있다.



Source : Korean Maritime Safety Tribunal, 2019

**Fig. 2** Status of Marine Accidents and Cause(Fishing Boat) in the last 5 years

종합적으로, 최근 5년간 선박 등록 척수가 줄어들고 있음에도 불구하고 해양 사고 발생건수 등은 꾸준히 증가하고 있다. 해양사고는 기관손상, 부유물 감김 등과 같이 비교적 피해가 경미한 사고를 제외하고는 충돌사고가 가장 많이 발생하고 있다. 2014년 180건이던 충돌사고는 2018년에 250건으로 약 40%가 증가하는 등 충돌사고 발생이 갈수록 증가하고 있는 것으로 분석되었다. 선종별로 충돌사고 발생 건수를 분석하여 볼 때, 어선에서 충돌사고가 가장 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 최근 5년간 충돌사고가 가장 많이 발생한 어선의 해양 사고 발생 원인을 분석한 결과, 운항과실이 전체의 76.4%로 가장 많은 부분을 차지하고 있었고 운항과실의 세부 원인 중에 경계소홀이 54.2%, 선내작업 안전수칙 미준수가 20.2% 등으로 경계소홀이 가장 많은 부분을 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

어선의 해양사고 발생 세부 원인 중에 경계소홀이 절반 이상을 차지하고 있



다는 것은 어선에서 주변선박에 대한 견시나 주의 조치가 제대로 행해지고 있지 않다는 것을 의미한다. 이러한 부분들을 개선하기 위해 어선 운항자에 대한 교육이나 안전의식 고취, 안전문화 확산 등과 같이 사회적인 조치도 필요하겠지만, 직접적으로 운항자를 보조해 줄 수 있는 항해 지원 시스템의 개발도 효과적일 것이다. 특히, 충돌사고가 가장 많이 발생한 어선 등의 소형선박을 위한 충돌회피 시스템을 가장 우선적으로 개발하여야 할 것으로 판단된다.



## 2.2 선박 충돌회피 선행연구 분석

어선에 대한 해양사고 분석 결과와 같이 운항과실이 해양사고 원인의 많은 부분을 차지하고 있고 운항과실의 세부 원인 중 경계소홀이 운항과실의 50% 이상을 차지하고 있다. 이와 같이 선박 충돌사고는 운항자들의 부주의, 판단오류 등의 이유로 발생하고 있고 운항자에 위험경보, 의사결정지원 등 선박 시스템의 개발과 개선 등을 통해 부주의나 판단 오류 등의 보완이 가능하다.

본 연구에서는 충돌사고 예방을 위한 충돌회피 시스템 개발을 위해 일반적으로 적용하고 있는 충돌회피에 대한 이론과 선박 충돌회피 선행연구 분석 및 현재 시스템으로 개발하여 적용한 사례들을 분석하여 제시하고자 한다.

### 2.2.1 충돌회피의 이론적 분석

충돌은 두 운동체 사이의 시간적인 위치와 공간적인 위치가 일치하는 현상이다. 충돌의 회피는 이러한 시간적인 위치와 공간적인 위치를 일치하지 않게 시간적 또는 공간적 요소의 조작으로 이루어지는 조치인데 해상교통에 있어서 공간적인 요소를 조정하여 충돌을 회피하는 기법은 자선의 침로를 조정하여 타선을 회피하는 것이고 시간적 요소를 조정하는 것은 자선의 속도를 조정하여 타선을 회피하는 방법이다. 이러한 충돌회피에 있어서는 자선과 타선의 현상태를 주목하지 않고 미래의 충돌시점에 존재하게 되는 자선과 타선의 시간 및 공간적인 위치에 주목한다.

충돌회피는 다양한 방법과 방식으로 연구되었고 다양한 충돌회피 기법이 제안되었다. 해상교통에서만뿐만 아니라 일반적 거리 탐색이나 장애물을 회피하는 것도 충돌회피의 기법으로 표현하는데 이러한 충돌회피 기법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 Artificial Potential Function을 이용한 방법이며, 두 번째는 Graph Search를 이용한 탐색 방법으로 구분할 수 있다[16].

이러한 방법들은 도로교통 등에서 사용하는 Path Planning에 기초가 되는데,

Artificial Potential Function을 이용한 방법은 Artificial Potential 함수를 이용하여 위치에너지 정도를 표현하고 에너지가 작아지는 방향으로 운동체를 유도하는 방법이다. 현재의 위치에서 목적지까지 Field를 구성하고 목적지에서 가까운 부분은 에너지가 낮고 목적지에서 멀어지는 부분이 에너지가 높은 지역으로 설정하여 물이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르듯이 유도하는 것이다. 이때에 운동체와 목적지 사이에 있는 장애물들의 에너지는 높은 것으로 형성을 시켜 운동체로 하여금 장애물을 회피하여 이동하도록 하는 것이 특징이다[17].

Graph Search는 배치된 공간을 이산화시켜 격자로 분할한 뒤 공간을 그래프로 표현하고 그래프 상에서 경로 탐색 기법을 적용하는 방법이다. Graph Search는 각각의 격자 셀을 하나의 node로 보고 장애물을 회피하여 각각의 셀끼리 연결을 하면 하나의 graph로 형성이 된다. 시작 node에서 경로의 마지막 node까지 탐색하는 과정을 거쳐 목적이 되는 정보를 획득한다[18].

해상교통에서의 충돌회피는 계속해서 움직이는 운동체와 운동체 사이의 충돌회피가 이루어지고 외력이 끊임없이 발생하기 때문에 보다 복잡한 충돌회피 알고리즘이 적용된다.

국제해상충돌예방규칙(the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 이하 COLREG)에는 해상에서 선박간의 충돌사고를 막기 위해 권고사항을 제시하고 있다. COLREG에는 시계에 따른 조치, 안전속도, 협수로에서의 의무, 선박 조우 시 충돌 회피 동작, 항해등과 음향신호 등 다양한 규칙들을 포함하고 있다. COLREG에서는 선박 조우 시 충돌 회피 규칙에 대해 세 가지 조우 유형별로 제시하고 있는데, 첫 번째는 정면으로 마주치는 Head-On 상황으로 두 선박 모두에게 피항 의무가 주어진다. 두 번째는 선박의 진로를 횡단하는 Crossing의 상황으로 상대 선박의 진로를 방해하지 않고 우회하기 용이한 선박이 피항 의무가 있다. 마지막으로 전방에 선박을 추월하는 Overtaking 상황에서는 추월하는 선박이 피항 의무를 지닌 피항선이 된다[19].

그리고 무엇보다도 해상에서 충돌회피에 가장 효과적인 방법은 선박 운항자가 선박을 조선헌 수 있는 시간적 및 공간적인 여유를 부여하는 것이다. 즉, 자

선과 타선 주위에 일정 거리의 영역을 장애물로 처리하고 이 영역을 회피하는 것이다. 하지만, 충돌을 회피하기 위한 적절한 거리의 영역, 안전거리영역 안으로 들어갈 경우 충돌을 의미하는 것은 아니지만, 타선을 자선과 독립적인 개체로 볼 수 없고 상호 interaction이 발생하는 구간이므로 자선의 독자적인 행위만으로는 충돌회피가 불가능하다. 또한 이 영역에 선박이 들어가는 것은 충돌의 위험성이 매우 높아지는 것이기 때문에 충돌의 회피를 위해서는 운항자에게 시간적 그리고 공간적인 여유를 주는 것은 매우 중요하다[16].

### 2.2.2 선박 충돌회피 선행연구 분석

해양사고 분석 결과와 같이 선박 충돌사고의 50% 이상이 어선에서 발생하고 있고 어선에서 발생하는 사고의 세부 원인 중 50% 이상이 경계소홀로 인해 발생한다. 이러한 어선의 충돌사고를 적극적으로 예방하기 위해서는 어선 운항자에게 직접적인 경보를 줄 수 있는 소형선박용 충돌회피 시스템의 개발이 필요하다.

선박의 충돌위험성이나 충돌회피 등에 관한 연구는 물리적인 계산의 영향도 있지만 운항자들의 관습화된 충돌회피 동작이나 조치를 고려할 필요가 있고, 최근에는 이러한 부분들을 시스템과 접목시킨 연구 결과들이 제시되고 있다. 이처럼 선박충돌회피를 위한 선행연구는 다양한 방식으로 수행되고 있지만, 어선 등 소형선박에 적용하기 위한 충돌회피 기술이나 시스템 관련 연구는 많지 않다. Table 4는 선박충돌회피 관련 선행연구 사례를 분석한 것이다[20]~[28].

**Table 4** A Summary of previous researches of Ship Collision Avoidance

No.	Previous Study	Purpose	Research Method
1	Kang, C. S. and T. D. Nguyen(2011)	to suggest ship collision avoidance and recognition system	- M2M(Machine-to-Machine) based ship collision avoidance and recognition system

No.	Previous Study	Purpose	Research Method
2	Le, D. K. and T. K. Nam(2014)	to prevent collision	- Distance Measurement System using Laser sensor - Velocity and Acceleration model
3	Kim, D. G.(2011)	to propose the algorithm to avoid ships collision	- Fuji's ship domain model
4	Kim, S. W.(2013)	to develop Ship Collision Avoidance Assignment Model	- SCAAM(Ship Collision Avoidance Assignment Model)
5	Lee, J. S., M. Jung and C. U. Song(2015)	to propose the algorithm for degree of collision risk with relative bearing at CPA	- relative bearings and courses between the encountered ships - comparing the degrees of collision risk by VTSO's survey
6	Xin Wang, Zhenjiang Liu and Yao Cai(2017)	to present collision avoidance dynamic support system	- DCPA and TCPA - collision avoidance dynamic support system
7	Yixiong He, Yi Jin, Liwen Huang, Yong Xiong, Peng -fei Chen and Jun -min Mou(2017)	to present novel quantitative analysis system for COLREG and seamanship	- quantitative analysis - autonomous collision avoidance
8	Youngjun You and Keypyo Rhee(2016)	to develop a collision ratio	- maneuverability of the own ship - COLREGs - virtual intrusion domains

No.	Previous Study	Purpose	Research Method
9	Adan Lopez-Santander and Jonathan Lawry(2017)	to propose a non-linear model for risk estimation	- mariner's judgement of risk for crafts - Ordered Probit Model

Kang and Nguyen(2011)은 연안해역에서 선박충돌로 인한 해양사고를 예방하고 사고 발생 시 관련 정보를 효과적으로 제공할 수 있는 사물지능통신 기반의 선박 충돌 방지 및 인지 시스템을 제안하였다. 해당 시스템에서는 센서 기술과 광대역 이동통신 기술 등을 이용하여 연안에 항해하는 선박의 충돌 회피 기능과 충돌사고 발생 시 이를 인지하여 유관기관에 정보를 자동으로 전달하는 기능 등을 제공한다. 시스템은 선박충돌 방지부, 충돌 인지부, 제어부, 사고 관련 영상을 저장하는 저장부 및 디스플레이부 등으로 구성된다. 해당 시스템의 성능을 검토하기 위해 기존의 고정형 경보임계거리를 갖는 시스템과 경보발생 비율, 충돌 회피율, 최적 탐지센서 등을 비교한 결과 동적 경보임계거리 방식의 충돌방지 시스템이 우수한 것으로 확인이 되었고 e-Navigation 등에 해당 알고리즘을 적용할 경우 충돌사고를 크게 줄일 수 있을 것으로 평가 하였다[20].

Le and Nam(2014)은 근거리 영역에서 대상물표의 정확한 위치를 파악하여 물표와의 충돌방지 시스템을 개발하는 연구이다. 위치, 속도 및 가속도 추정은 속도 모델과 가속도 모델로 표현하여 추정하고 추정기법으로는 칼만필터를 적용하였다. 레이저 센서를 적용하여 이동하는 물표와의 거리를 계측하는 시스템에 적용하였고 물표의 정보를 검출하였다. 이동 물표를 대상으로 속도 및 가속도 모델을 적용하여 실험을 수행하였고 각각의 실험을 통해 불연속적으로 들어오는 측정데이터를 필터링을 통해 연속적인 측정값으로 변환되는 것을 확인하였다. 해당 시스템은 고가의 장비를 탑재하기 어려운 소형선박을 대상으로 하는 시스템이며 저가의 장비로 물표 위치의 추정 성능이 뛰어난 시스템을 구축한 것으로 평가하였다[21].

Kim(2011)이 제안하는 알고리즘은 조우선박의 상대방위를 측정하여 자선이 피항선인지 유지선인지를 판단하고 피항 시점을 결정하기 위해 선박안전영역 모델을 이용하여 타선과 위험한 위치에 도달하는 지점 및 시간을 계산함으로써 피항 조치를 취하도록 한다. 시뮬레이션은 두 선박의 위치와 속도, 방위를 임의로 생성하여 타원 모델에 의한 충돌회피 과정을 수행하였다. 해당 알고리즘은 안개나 기상악화 등 시계제한의 상황이나 항해등의 식별이 어려워 유지선이나 피항선의 구분이 불확실한 경우에도 효과적으로 사용할 수 있다[22].

Kim(2013)은 선박의 충돌상황을 회피하기 위해 선박 충돌 회피 우선순위 지정 및 회피 모델에 개발 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 최근접점까지의 거리(Distance of the Closest Point of Approach, 이하 DCPA), 최근접점까지의 시간(Time to CPA, 이하, TCPA), VCD(Variation of Compass Degree) 등의 개념을 새롭게 접근하고, 타 선박에서 수집 가능한 Course, Speed, 목적지, 타선 길이 등을 바탕으로 운항자가 사전에 설정한 DCPA를 적용하는 SCAAM(Ship Collision Avoidance Assignment Model)을 제안하였다. 해당 모델은 선박의 충돌위험이 감지될 경우 운항자가 SCAAM을 통해 피항할 것인지 Course와 Speed를 유지할 것인지를 결정하게 된다. 해당 시스템은 운항자의 실수나 오판으로 인한 선박 충돌사고를 방지하는데 기여할 것으로 평가하였다[23].

Lee et al.(2015)은 DCPA에서 상대방위에 따른 충돌위험도 계산 알고리즘을 제안하고 해상교통 관제사를 대상으로 설문조사를 실시하여 높은 상관관계가 있음을 증명하였다. 일반적으로 해상교통관제사는 선박의 충돌위험의 정도를 판단할 때 선박의 침로와 속력, DCPA와 TCPA 등을 종합적으로 고려한다. 해당 연구에서는 충돌위험과 관계된 여러 요인 중 해상교통관제사의 관점에서 선박조우상황을 판단하기 위한 최근접점에서의 선박조우관계를 분석하고 상대방위에 따른 위험값과 이를 이용한 선박 조우상황에 따른 위험도를 산출하였다. 이러한 최근접점에서의 상대방위에 따른 위험값과 선박조우상황에 따른 각각의 위험도를 구하여 해상교통관제사와의 설문조사 결과와 비교하여 높은 상관관계가 있음을 증명하였다[24].

Xin Wang et al.(2017)은 선박이 운항 중에 'close-quarter situation' 상황에서

해당 연구에서 제안한 collision avoidance dynamic support system을 이용하여 선박의 회피동작 등을 수행하고 제안한 시스템을 검증하였다. 해당 연구에서 제안한 시스템은 선박 조종 동작의 수학적 모델, 선박 조종 동작의 제어 메커니즘 및 충돌 회피 매개변수의 동적 계산 모델을 결합하여 개발되었다. DCPA와 TCPA를 실시간으로 계산하고 해당 연구에서 제안된 collision avoidance dynamic support system에 따라 선박이 충돌을 피하는 과정에서 선박의 maneuverability를 효율적으로 수행하도록 한다. 해당 연구에서는 두 선박의 세 가지 발생 시나리오로 구성된 시뮬레이션을 사용하여 충돌 회피 과정에서 선박 maneuverability의 중요성과 필요성을 설명하였다. 특히, 'close-quarter situation' 상황에서 제안된 collision avoidance dynamic support system을 사용함으로써 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 시스템은 충돌 회피 특히, 'close-quarter situation'에서 합리적이고 효과적이며 실용적인 시스템인 것으로 증명하였다[25].

Yixiong He et al.(2017) COLREG와 Seamanship을 위한 새로운 정량적 분석 시스템을 제시하였다. 선박의 충돌 회피는 Seamanship과 규칙에 크게 좌우된다. 선박충돌 위험이 존재하는 경우 적절한 충돌회피 조치를 취해야 하며 향후 개발될 ACA(Autonomous Collision Avoidance)를 운용하는 측면에서도 주어진 규칙과 관행에 따른 적절한 피항 조치를 취해야 한다. 이러한 관행과 규정의 정량적인 분석은 ACA 운용에 전제조건이 되어야 한다. 해당 연구에서는 이를 위한 새로운 정량적 분석 시스템을 제시하였고 제안된 시스템은 세 부분으로 구성된다. 자선과 타선의 상호 관계에 기초한 조우 상황 판별모델, 단계별 식별 모델 그리고 선박 정보에 따른 충돌회피 동작을 결정하는 모델이다. 그리고 해당 연구에서는 시스템에 따른 시뮬레이션 수행을 통해 효율성과 타당성을 검증하였다[26].

You and Rhee(2016)는 선박 충돌 예방을 위해 선박의 충돌회피 동작을 수행하는 시간을 결정할 수 있는 지수로 collision ratio를 개발하였다. 선행연구에서는 자선의 maneuverability와 COLREG를 고려하여 속도가 느린 선박의 딜레마를 포함한 치명적인 충돌 조건의 본질적인 문제를 해결하려고 노력했다. 이전



연구에서 제안된 collision ratio는 본질적인 문제에 대한 해안은 제시하였지만 선박회피 동작을 시작하는 시간을 결정하는 지표로는 적합하지 않았다. 해당 연구에서는 충돌 회피 동작을 시작하는 시간을 결정하는 데 사용할 수 있는 지수로 collision ratio를 개발한다. collision ratio는 자선의 maneuverability, COLREG 및 3개의 가상 침범 도메인을 고려하여 계산된다. 충돌회피 알고리즘의 기본 지식에 따라 collision ratio의 타당성을 평가하였고 제안된 collision ratio는 충돌 회피 동작을 시작할 시간을 결정하는 새로운 지수로 사용하기에 적합하다는 결론을 도출하였다[27].

Lopez and Lawry(2017)는 운항자들의 판단에 따른 위험도 추정을 위한 비선형 모델을 제안한다. 해당 논문은 인근 선박에 의한 위험을 학습하고 추정하는 통계적인 방법을 제시하고 선교에서 얻어지는 항행자료를 사용하여 전문 운항자들이 위험을 인식하고 평가하는 방법을 시뮬레이션 하였다. 선박의 항행 장비로부터 얻어지는 자료를 바탕으로 인근 선박에 의한 위험에 대해 선원의 판단을 수집하고 정량화하는 설문을 실시하였다. 데이터 셋은 타선에 의해 발생한 위험 확률 벡터를 추정하기 위한 효율적인 데이터 구동 모델을 얻기 위해 Ordered Probit 모델을 분석, 학습, 교육 및 검증하는데 사용되었다. 해당 연구에서는 이러한 위험모델이 의사결정과 path finding 알고리즘에 통합할 수 있는 방법을 제안한다[28].

### 2.2.3 충돌회피 시스템 상용화 사례 분석

선박충돌회피 시스템에 대해서 연구가 다양하게 수행되는 반면에 실제 상용화 단계에 이르러 개발 및 적용이 되는 것은 상업적으로 효용성이 충분히 뒷받침 되어야하기 때문에 사례를 찾는 것이 쉽지 않다.

선박충돌회피 시스템의 대표적인 상용화 사례는 현대중공업에서 개발한 HiCASS 충돌회피지원시스템이다. 현대중공업은 2014년에 선박의 안전운항을 돕는 '충돌 회피 지원시스템(HiCASS)'을 개발하였다. 이 시스템은 RADAR

ARPA(Automatic Radar Plotting Aids), AIS, ECDIS 등과 연동하여 선박항행안전에 위험이 되는 장애물이나 선박을 최대 50 km 밖에서 자동으로 탐지해 충돌을 회피할 수 있도록 최적의 경로를 제안한다. 특히, LNG선과 컨테이너선 등 선종별 운항특성과 파랑, 조류 및 바람 등 환경적인 요인을 고려하여 위험 정보에 대한 정확도를 높여주고 주의, 위기, 위험 3단계로 구분하여 충돌 위험도를 운항자에게 전달한다.

해당 시스템은 COLREG에 따라 타 선박이나 위험물의 위치와 거리 등 모든 정보를 종합적으로 분석하여 위험도를 측정한다. 하지만, 기본적으로 대형선박에 탑재되어 있는 RADAR ARPA, ECDIS 등을 이용하기 때문에 소형선박용 충돌회피 시스템으로는 적절하지 않다.

일본에서 현재 판매중인 어선용 충돌방지경보시스템<sup>2)</sup>은 AIS 송수신이 가능하고 AIS 정보에 따라 자동으로 충돌방지 경보를 음향과 빛으로 알려주는 장비이다. AIS-SART에 대한 자동수신도 가능하며 충돌방지 경보 음향은 2.9kHz / 107dB 이고 연속 악천후에서도 50m 이상 거리까지 들리도록 설계되었다. 해당 장비에는 CPA를 통한 선박 충돌위험 경고를 주도록 설계되어 있다.

소형선박용으로 개발되어 기본 Class B AIS에 충돌방지경보 기능이 추가되어 있는 장비이지만 어선에 대한 알고리즘보다는 CPA를 통해 위험을 판단하여 경고를 주는 것으로 충돌경고나 회피에 대한 정확성이 떨어진다고 볼 수 있다.

---

1) 출처 : [https://www.hhi.co.kr/Public/pub01\\_2?ndate=2014-07-24&bidx=2365](https://www.hhi.co.kr/Public/pub01_2?ndate=2014-07-24&bidx=2365)

2) 출처 : <https://www.easyais.com/en/products/ais-receivers/>

## 제 3 장 무선통신기술 분석

### 3.1 무선통신기술 현황분석

해상에서의 선박무선통신은 국제해상인명안전협약(International Convention for the Safety at Sea, 이하 SOLAS)에 규정되어 있으며 SOLAS 대상선박은 안전항해를 위한 무선통신설비를 의무적으로 설치하여야 한다. 각 회원국은 SOLAS 선박무선설비기준을 국내법으로 채택하여 자국 내 각 무선설비 관련 법령에 따라 해당 선박 기준에 맞는 무선설비를 비치하도록 하고 있다[29]. 우리나라에서는 선박안전법과 어선법 등을 통해 선박의 안전과 인명 안전을 위해 선박에 무선국을 설치하거나 어선에 어선 통신설비를 설치하도록 하고 있다 [30].

한편, 최근 급속한 기술의 발달로 인해 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO)에서는 제98차 해사안전위원회 등에서 자율운항선박의 개념을 정립하고 협약 적용범위 분류작업(RSE) 등을 수행하는 등 미래기술에 대한 준비를 하고 있으며[31], 해상에서의 통신기술은 선박의 안전과 인명 안전 뿐만 아니라 미래 자율운항선박에 필수적인 기술로 자리 잡고 있다.

도로교통에서는 자율주행 자동차에 대한 본격적인 개발에 착수하기 이전부터 육상 이동통신기술을 차량에 적용하기 위한 V2X 통신기술 등 연결성에 대한 수많은 연구와 시범사업이 활발하게 이루어졌다. V2X 통신기술은 Vehicle과 Vehicle, Vehicle과 Infrastructure, Vehicle과 특정하지 않은 전체 대상(Everything)과의 통신체계를 의미한다. 미국과 유럽에서 채택 및 개발하고 있는 WAVE 무선통신기술과 DSRC 등이 대표적인 V2X 통신기술이라고 할 수 있다[32].

이와 같이 해상무선통신기술은 선박의 안전과 인명안전 확보를 위한 기술에서 미래형 선박에 대한 필수적인 기술로 자리 잡았고 이는 해상뿐만 아니라 도로교통 등에서도 마찬가지이다. 이 후에는 해상교통에서의 통신기술 현황을 분

석하고 육상 무선통신기술을 접목한 도로교통에서의 통신기술 현황을 분석하여 소형선박에 있어서 충돌회피 시스템에 적합한 통신기술을 비교·분석 하고자 한다.

### 3.1.1 해상교통 통신기술 현황분석

국제해상조난 및 안전시스템(Global Maritime Distress Safety System, 이하 GMDSS)에서는 선박의 안전과 인명의 안전을 확보하기 위한 선박 무선통신설비의 통신 절차, 장비 형태, 통신 프로토콜 등을 명시하고 있고 전 세계 해역을 A1 ~ A4의 4개의 해역으로 나뉘서 각 구역에 필요한 주파수 및 필수 기능 등을 명시하고 있다. A1 해역은 육상을 기준으로 50~100 km (20~30 해리), A2 해역은 200~400 km (100~200 해리), A3 해역은 A1, A2 해역을 제외한 북위 70도 ~ 남위 70도 사이의 해역, A1, A2, A3 해역을 제외한 극지방 A4 해역으로 구분된다. A1 해역에서는 VHF 무선설비를 주로 이용하고 있으며, A2 해역에서는 MF 무선설비, A3 해역에서는 Inmarsat 등 해사 위성이나 HF 대역의 무선설비를 이용한다. A4 해역은 주로 HF 대역의 주파수를 활용한 통신장비를 이용하고 있다[33].

한편, IMO에서는 보다 안전하고 깨끗한 바다를 만들기 위한 목적으로 2005년 12월부터 e-Navigation 사업을 진행 중에 있다. e-Navigation은 기본적으로 선박과 육상 및 해상의 모든 구조물들의 정보를 취합·통합하고 선박을 운항하는 운항자에게 유용한 정보를 제공하기 위한 표준을 지향한다. 이를 위해 IMO에서는 e-Navigation과 관련된 정책 및 성능 표준을 제정하고 있으며, 세부 기술 표준을 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission, 이하 IEC)와 국제표준화기구(International Organization for Standardization, 이하 ISO)를 통해 제정하고 있다[34]. 우리나라에서는 기본적으로 IMO의 e-Navigation과 같은 기술을 채택하여 개발하고 있으며 IMO e-Navigation의 필수서비스에 더하여 한국형 e-Navigation으로 전국 연안 100 km에 초고속 무선통신망을 구축하는 LTE-M 서비스 네트워크를 구축할 계획이다[35].

**(1) 선박무선통신의 특성조사 및 분석**

선박무선통신은 전 세계 해역을 A1 ~ A4의 4개 해역으로 구분하여 각 구역에 필요한 주파수 및 필수 기능이 나누어진다.

Table 5는 각 선박 무선통신의 사용 주파수를 나타낸 것이다[29].

MF는 300 KHz ~ 3 MHz까지의 주파수대를 말하며 선박통신에는 1,606.5 KHz ~ 3 MHz 까지를 이용한다. HF는 3 MHz ~ 30 MHz의 주파수대를 말하며 조난·긴급·안전 등을 위해 사용하는 디지털선택호출(Digital Selective Calling, 이하 DSC)로 8,415.5 KHz의 주파수를 이용한다. VHF는 단측파대(Single Side Band, 이하 SSB) 전송방식으로 50~100 km까지 전송이 가능한 무선통신이다. VHF를 사용하는 무선설비는 선박에서 가장 많이 사용하는 기본적인 통신설비로서 선박과 선박, 선박과 육상간의 근거리용 통신에 주로 사용한다[36].

**Table 5** Ship Radio Communication and Frequencies

Item	MF	HF	VHF
Area	A2 ~ A3	A2 ~ A4	A1 ~ A4
Transmission Type	Tele.	SSB, Data	SSB
Frequencies (DSC)	300 KHz~3 MHz (2,187.5KHz)	3~30 MHz (8,414.5KHz 등)	30~300 MHz (156.525 MHz)

- \* A1 : Shore out to 20 NM
- A2 : from 20 out to 100 NM from Shore
- A3 : over 100 NM from Shore, between 70° N and 70° S
- A4 : Polar regions above 70°

AIS는 VHF 주파수 대역을 사용하고 있으며 현재 해상에서 가장 널리 사용되고 있는 통신기술이다. IMO는 기존 RADAR나 VHF 선박전화를 보완하기 위해 AIS 라는 이름으로 4S Broadcasting Transponder 등의 사용을 검토하였고 이를 국제적인 기준의 Universal AIS로 채택하였다. 이후, 제97차 세계무선통신 회의(World Radio Conference, WRC)에서는 IMO의 요구를 받아들여 Channel 87(161.975 MHz)과 Channel 88(166.025 MHz)을 AIS 전용 주파수로 할당하였다. AIS는 선박과 선박, 선박과 육상관제소 간 자동식별 시스템을 구축하여 선박의 정적정보(선박명, MMSI, Call Sign 등)와 동적정보(위치, Course, Speed 등)를 포함하는 항행안전관련 정보를 자동으로 전송함으로써 선박의 충돌을 방지하고 VTS 운영 및 해난 수색-구조 활동을 지원하기 위한 장치이다[36][37]. AIS의 정보교환에 사용되는 정보는 MMSI, Call Sign, 선명, 선종 및 길이 등의 정적정보, 시간, 위치, Course 및 Speed 등의 동적정보와 목적지 및 도착예정시각 등의 항행 관련 정보로 구성된다. 정적정보와 항행 관련 정보는 매 6분 정도에 한번 Data가 전송이 되고 동적정보는 선속에 따라 Class A는 2초~10초, Class B는 5초~30초 간격으로 정보가 전송이 된다[36].

하지만 최근, AIS 탑재선박이 증가하고 있고 AIS를 활용한 응용서비스가 증가하고 있기 때문에 그에 따라 AIS 초기 설정 값 오류에 따른 잘못된 침로 포출[6], AIS 데이터 트래픽의 증가로 통신서비스 품질 저하[4] 및 구역 내 과도한 장비가 혼재할 경우 슬롯 할당이 지연되는 현상[5] 등이 나타날 수 있다. 이러한 문제점으로 인해 AIS 성능 개선을 위한 필요성이 제기되고 있다.

## (2) 위성통신의 조사 및 분석

선박무선통신은 전 세계 해역을 A1 ~ A4의 4개 해역으로 구분하고 원거리 해역인 A3 해역은 Inmarsat, VSAT 등 해사위성이나 HF 대역의 무선설비를 이용하여 정보를 교환한다. Table 6은 해상위성통신기술 현황을 나타낸 것이다. 위성통신은 우주 공간에 중계기를 설치하여 초단파대 이상의 전파를 수신하고 이를 처리하여 재전송함으로써 원거리 선박통신을 가능하게 하는 통신기술이

다. 이용하는 위성에 따라 Inmarsat, Iridium, Orbcomm 등으로 구분하고 주파수 대역은 L(1610~1626.5 MHz), S(2483.5~2495 MHz) 등을 사용한다. 향후 e-Navigation의 4S(ship to ship, ship to shore) 통신기술을 중심으로 육상의 통신 인프라와 해상의 무선통신기술이 통합되고 표준화 되면서 전 세계에 4S 통신지원을 하기 위한 다양한 기술이 개발될 예정이다[33].

**Table 6** Status of Maritime Satellite Communication System

System	Inmarsat C	Inmarsat Fleet	Iridium	VSAT Shared link	Others (Orbcomm, etc)
Band	L	L	L	C, Ku, Ka	L, S, C, Ku, Ka
Range	A3	A3	A4	A1-A3	A1-A4
Bandwidth	9.6 kbps, packet oriented	128-450 kbps	134 kbps (open port)	Any, typical 64-512 kbps. Shared by several users	Typically low, usually up to telephone

세계 각국과 산업계에서는 최근 자율운항선박 기술 개발에 열을 올리고 있다. 특히, IMO에서 정의하는 자율운항선박의 개념 중 3단계와 4단계에서는 선원이 승선하지 않고 육상에서 제어하거나 선박 시스템이 자체적으로 운항을 하게 된다. 이러한 경우 육상과 선박 간 통신에서 자율운항선박의 상태 모니터링과 제어기술을 활용하기 위해서는 근거리와 원거리에서 통신이 끊이지 않아야 한다. 최근 자율운항선박 기술개발 프로젝트에서는 위성통신을 육상과 선박 간 주 통신수단으로 활용하여 기술을 개발하고 있다. 최근 해양수산부에서는 자율운항선박 개발을 목표로 상황인식기반 운항제어시스템 개념도를 발표하였다.

여기서는 해상물체를 탐지하는 기술로 라이다(Light Detection and Ranging, LiDAR), RADAR, AIS 등을 활용하여 주변의 물체를 식별하고 의사결정 및 시스템 제어를 수행한다. 그리고 최종적으로 육상제어 센터에서 위성통신을 이용해 상태 모니터링 및 육상원격조종을 수행하는 것으로 구상하고 있다[38].

자율운항선박 개발 프로젝트에서도 자율운항선박의 통신모델로 위성통신기술을 적용하고 있지만, 전 세계를 커버하는 단일 위성시스템이 없고 위성통신을 사용할 경우 전파 간섭 등이 발생할 수 있어 육상에서 자율운항선박을 운영하는데 제어 공백이 발생할 수 있다는 문제점이 제기되고 있다[39].

### (3) 초고속 해상무선통신(LTE-M)의 특성분석

IMO에서는 보다 깨끗하고 안전한 바다를 실현하기 위해 2005년 12월부터 e-Navigation을 추진하고 있다. 정부는 IMO에서 채택한 e-Navigation에 어선 및 연안소형선박 대상 서비스 등을 추가하여 한국형 e-Navigation을 추진하고 있다. 한국형 e-Navigation에서는 정보 제공 서비스 및 원격 모니터링 등을 수행하기 위해서 LTE-M을 이용한 서비스 구현을 목표로 하고 있다[40][41]. 한국형 e-Navigation에서 적용하는 LTE-M은 공공안전통신망 주파수로 할당된 700 MHz 대역을 이용하여 서비스 네트워크를 구축할 예정이며[42], 연안 100km까지 통신이 가능하고 90% 이상 구간에서 1 Mbps 이상의 다운로드 성능 지원과 70% 이상 구간에서 10 Mbps 이상의 다운로드 속도를 지원하는 목표를 가지고 연구개발 추진 중이다[43][44].

LTE-M은 철도통합무선망(LTE based Railway Wireless Communication System, 이하 LTE-R) 및 LTE 광대역재난안전통신망(Public Safety LTE, 이하 PS-LTE)과 함께 공공안전통신망인 700 MHz 대역의 주파수를 사용한다. 하지만, PS-LTE는 재난 현장 또는 작업현장에 휴대용 단말기를 휴대하여야 서비스를 지원하지만 LTE-M은 선박에 설치되는 무선 Router를 중심으로 인터넷에 연결하고 인터넷을 이용한 서비스를 제공하는 것이 특징이다.



LTE-M은 기존 상용 LTE 서비스와 차이가 발생하는데 기지국이 담당하는 하나의 Cell Size가 기존 상용 LTE에 비해 상당히 크며 이러한 특성으로 인해 한 Cell에 많은 수의 사용자가 집중될 수 있고 기지국에서부터 거리가 멀어질수록 핸드오버(이동국이 현재 서비스 기지국을 벗어나 다른 기지국 영역으로 이동할 때 통신을 유지하기 위해 이동한 기지국으로 변경해 주는 것)가 적게 발생한다는 특징을 지닌다[40].

### 3.1.2 도로교통 통신기술 현황분석

도로교통에서는 육상 이동통신기술을 차량에 적용하기 위한 연구와 시범사업을 꾸준히 진행하고 있으며 대표적으로 WAVE 무선통신기술과 DSRC 등의 통신기술을 꼽을 수 있다. WAVE 통신기술은 고속으로 이동하는 차량에 최적화된 기술로 차량과 차량, 차량과 인프라간 패킷 프레임을 100 msec 이내의 짧은 시간 내에 송수신 할 수 있는 기술이다. 짧은 패킷 속도 등을 기본적인 성능목표로 잡고 있으며 이러한 성능을 기반으로 차량에서의 제어 공백을 최소화할 수 있다[15].

차량에서는 이러한 차량용 통신기술을 V2X라고 지칭하며 자율주행 자동차의 핵심기술로 개발하고 있다. 도로교통에서의 통신기술은 첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assistance Systems, 이하 ADAS)과 더불어 자율주행 자동차의 중요한 구성요소이기 때문에 자율주행 자동차를 빼고는 도로교통의 통신기술을 논하기가 어렵다. 이후에는 자율주행 자동차 기술개발 현황과 함께 차량용 통신기술인 V2X에 대해 분석하고자 한다.

#### (1) 자율주행 자동차 기술개발 현황

자율주행 자동차는 4차 산업혁명에 핵심기술인 초지능성과 초연결성을 기반으로 하고 있어 4차 산업혁명의 결정판이라고 이야기 할 수 있다. 자율주행 자

동차의 개발과 양산은 전 세계 모든 사람들의 생활패턴을 변화시키고 경제는 물론 사회나 문화적으로도 엄청난 구조적인 변화를 수반할 것으로 분석된다. 자율주행 자동차 시대의 도래에 따라 세계 주요 자동차 업계는 다양한 형태의 기술개발과 연구를 수행하고 있으며 GM, 포드, 벤츠, 아우디 뿐만 아니라 구글 등의 IT 업체까지 다양한 자율주행 차량을 선보이고 있다. 또한, 향후 자율주행 자동차의 도입에 따라 개발될 무인배달 서비스 및 무인 택시 등 다양한 모빌리티 서비스에 대한 콘텐츠 개발과 이로 인해 발생할 수 있는 문제들에 대비해 관련 법제 정비 등 사회 전반적으로 변화가 시작되고 있다[45].

국제자동차공학회(SAE International)에서는 차량의 가속과 감속, Steering, 주행환경 모니터링 및 운전자와 시스템의 개입에 따라 자율주행 레벨을 0에서 5까지의 단계로 구분하고 있다. Table 7은 SAE International에서 구분한 자율주행 단계를 나타낸 것이다[46].

SAE level 0은 운전자가 차량 제어를 전부 수행하고, SAE level 1은 특정 주행모드에서 Steering 또는 가속이나 감속 중 하나만 수행하는 형태이다. SAE level 2는 특정 주행모드에서 시스템이 Steering 및 가속과 감속을 모두 수행하는 형태이다. SAE level 0에서 SAE level 2까지는 운전자가 주행환경을 모니터링하는 단계이며 SAE level 3에서 SAE level 5까지는 시스템이 주행환경을 모니터링하는 단계이다. SAE level 3는 조건부 자동화로 시스템이 특정 주행모드에서 차량 제어를 일시적으로 수행할 수 있는 단계이며 SAE level 4에서는 운전자가 존재하는 상태에서 시스템이 차량을 모두 제어하는 단계이다. SAE level 5는 완전 자동화로 시스템이 차량 전체를 제어하고 운전자가 불필요한 단계이다. 지금 현재 자동차에 적용되어 판매되고 있는 것은 SAE level 3까지이며 SAE level 5까지는 아직 많은 연구개발과 기술적인 보강이 필요할 것으로 보인다.

**Table 7** Level of Automatic Driving by SAE

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
<b>Human driver monitors the driving environment</b>						
0	No Automation	<i>the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems</i>	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	<i>the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	<i>the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task</i> System Human driver Some driving modes	<b>System</b>	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>						
3	Conditional Automation	<i>the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene</i>	System	<b>System</b>	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	<i>the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene</i>	System	System	<b>System</b>	Some driving modes
5	Full Automation	<i>the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver</i>	System	System	System	<b>All driving modes</b>

이러한 자동차의 자율주행에서 차량 무선 네트워킹 기술은 매우 중요하다고 할 수 있다. 차량에 무선통신기술이 결합되면 차량이 차량 주위의 환경정보를

송수신 하고 기존 인간 중심의 차량기술에서 탈피하여 차량 중심의 네트워킹 형성 및 자동차가 스스로 주행환경을 판단하여 제어할 수 있는 환경을 조성하게 되는 것이다[47].

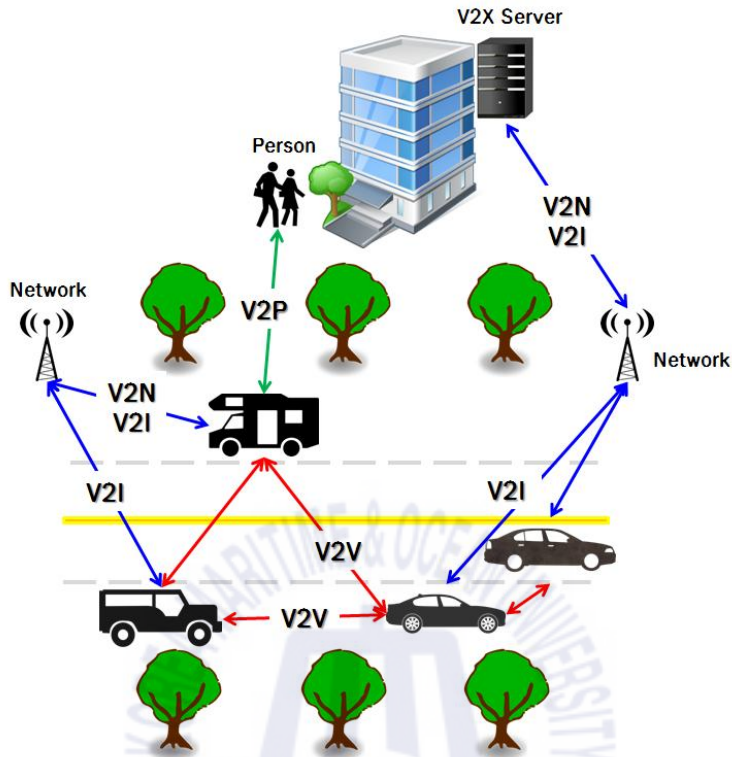
## (2) V2X 통신기술 분석

V2X 기술은 차량과 차량, 차량과 인프라 및 네트워크, 홈 및 기타장치 등과 같이 차량과 접촉하는 모든 물체 및 네트워크 사이에 정보교환을 수반하는 무선통신기술이다. V2X 통신기술은 자율주행에 있어 각종 센서들을 지칭하는 ADAS와 더불어 자율주행 자동차에 핵심적인 부분이라고 할 수 있다. 이러한 V2X 통신기술은 자율주행차 개발에 필수적이며 대체기술이 없는 기술이다[10].

V2X 통신 기술은 2000년 이전에 코드분할다중접속(Code Division Multiple Access, 이하 CDMA) 망을 이용하는 것부터 연구가 시작되어 현재 DSRC와 WAVE 통신기술을 이용하여 차량용 무선통신기술로서 상용화 단계에 있는 기술까지 개발이 진행되고 있다. 그리고 최근에는 LTE 네트워크나 도입 예정인 5G 시스템으로의 적용과 Hybrid 형태로 병행하여 사용하는 셀룰러 시스템 도입까지, 기술의 연구개발 및 시범사업 등이 활발히 진행되고 있다. 현재 활용되고 있는 차량용 무선통신기술 중에서 DSRC와 WAVE 통신은 대표적인 V2X 통신 기술이라고 할 수 있다[32].

Fig. 3은 V2X 통신 개념도를 나타낸 것이다.

V2V는 차량과 차량 통신, V2I는 차량과 인프라, V2N은 차량과 차량 인근에 형성되어 있는 네트워크, V2P는 차량과 사람 간의 통신을 의미하며 이와 같이 V2X는 차량에 인접한 모든 사물과 네트워크 간의 통신을 의미한다.



**Fig. 3** Schematic Diagram of V2X Communication

차량용 무선통신기술은 차량내부통신과 차량외부통신으로 구분이 가능하며 여기서 다루고 있는 차량 외부통신의 경우 CDMA 망을 활용한 정보교환 등이 시도되었으나 통신비용이 많이 들고 응용서비스가 부족한 등의 이유로 어려움이 있었다. 그 이후에 적용된 DSRC는 V2X 통신 서비스를 제공하기 위해 개발된 선행기술이라고 볼 수 있는데 북미는 902 MHz ~ 928 MHz, 유럽은 5,795 MHz ~ 5,815 MHz 등 각 국가 및 지역마다 다른 주파수 대역에서 동작한다. 그러한 이유에서 DSRC 통신표준이 다양하고 각기 다른 표준화 기관이 개발을 하게 되면서 주파수 대역, 지원표준 및 V2X 어플리케이션 등이 지역마다 다르게 존재한다. DSRC 기술은 구축의 용이성 및 저렴한 비용 등에서 이점이 있지만 차량이 밀집되는 구역에서 성능이 떨어지는 점 등에 따라 자율주행 차량에

적용할 V2X 미래 기술로는 충분하지 않은 것으로 평가되고 있다[11]. 우리나라에서는 2000년부터 DSRC 기술이 본격적으로 도입되어 현재 통행료 징수서비스 및 대중교통 정보서비스 등에 활용되고 있다.

WAVE 통신기술은 미국의 전기전자학회(Institute of Electrical and Electronics Engineers, 이하 IEEE) 통신표준으로 차량과 차량 통신인 V2V와 차량과 인프라 간 통신인 V2I 통신을 모두 지원한다. 기본적으로 WAVE 통신기술은 고속으로 이동하는 차량에서 차량 간 또는 차량과 인프라 간 패킷 프레임 을 100 msec 이내 짧은 시간 내에 송수신할 수 있는 기술이다. 표준 주파수는 5.9 GHz 전용 주파수 대역을 사용하며 미국 및 유럽 등지에서는 시속 200 km의 고속이동환경에서 최대 27 Mbps 데이터 전송속도를 가지고 전파통달거리가 최대 1 km가 되어야 하며 100 msec 이내의 짧은 패킷 속도 등을 가지는 기본적인 성능목표를 만족시키고 있다. 미국에서 WAVE 통신기술은 운수성(Department of Transportation, US DOT)을 중심으로 국가 차원의 교통정보와 차량 안전서비스를 제공하기 위한 목적으로 개발되었다. 우리나라에서는 C-ITS 사업을 추진하면서 차량에 WAVE 통신 단말기를 설치하고 도로변 기지국을 약 1 km 간격으로 설치하여 도로안전 확보 및 교통환경 개선을 위한 시범사업 수행을 완료한바 있다[15].

최근에는 WAVE 등으로 대표되는 V2X 통신을 지원하기 위해 육상에 널리 구축된 LTE 통신 네트워크 적용이 고려되고 있으며 이동통신 기술협력기구 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 LTE 기반 V2X 서비스의 사양을 제시하기도 하였다. LTE와 V2X를 통합으로 활용하는 방식에서는 V2V 통신을 WAVE, DSRC 등과 같은 기존 V2X 통신 시스템을 사용하고 V2N과 V2I를 LTE 네트워크로 활용하는 방식이다.

### 3.1.3 무선통신기술 현황분석 결과

해상에서의 선박무선통신은 SOLAS에 따라 국제협약 및 자국 내 법령으로

무선설비기준 및 규정을 준수하도록 하고 있다. GMDSS는 전 세계 해역을 A1 ~ A4 등 4개 해역으로 나뉘서 각 구역에 필요한 주파수 및 필수 기능 등을 명시하고 있다. 대부분의 선박 충돌사고가 발생하는 연안에서는 VHF 주파수 대역을 사용하는 통신기술이 활용된다. 해상에서 선박의 정보를 타 선박이나 육상에 제공하는데 가장 널리 사용되고 있는 통신 기술은 AIS이다. 하지만 AIS는 특성상 최대 전송속도가 9.6kbps로 고도화된 서비스를 제공하기에는 너무 낮은 성능을 제공하고 있으며[40], AIS 초기 설정 값 오류, 트래픽의 증가로 통신서비스 품질 저하 등의 문제점으로 인해 성능 개선을 위한 필요성이 제기되고 있다.

최근 자율운항선박 기술개발 프로젝트에서는 위성통신을 육상과 선박 간 주 통신수단으로 활용하여 기술을 개발하고 있는데, 전 세계를 커버하는 단일 위성시스템이 없다는 것과 전파 간섭 및 이용에 있어 높은 비용 등이 주요 문제점으로 지적되고 있다.

한편, 한국형 e-Navigation에서 적용하는 초고속 해상무선통신망은 공공안전 통신망 주파수로 할당된 700 MHz 대역을 이용하고 현재의 통신 수단보다 높은 목표를 가지고 연구개발 추진 중이다.

Table 8은 AIS와 연구개발 추진 중인 LTE-M을 비교한 것이다.

LTE-M은 선박에 설치되는 무선 Router를 중심으로 인터넷에 연결하고 인터넷을 이용한 서비스를 제공하는 것이 특징이다. 위성통신과 LTE-M의 가장 큰 특징은 Device to Device 통신이 제공되지 않고 중간에 육상 기지국 등을 거쳐야 한다는 점이다. 이러한 통신 시스템에서는 육상으로부터 오는 통신서비스가 전파 간섭이나 기지국의 송수신 불량으로 전송이 끊기거나 지연되는 현상이 발생할 수 있다. 또한 이러한 통신 시스템으로부터 자선 및 타선의 정보를 전달하거나 이를 활용한 충돌 회피 등의 서비스를 이용할 경우 서비스 지연이나 데이터 손실 등에 대비하여 반드시 이를 보완할 수 있는 Device to Device 통신 수단이 별도로 필요하다.

**Table 8** Comparison of AIS and LTE-Maritime

Category	AIS	LTE-M(예정)
Frequencies	161.975 MHz 166.025 MHz	700 MHz
Transmission Speed	9600 bps	1~10 Mbps
Latency	2 sec. ~ 3 min.	-
Comm. Range	20 NM (Typical)	100 km
Commercialization	2000	2021(예정)
Comm. Type	Ship to Infra., Ship to Ship (S2I, S2S)	Ship to Infra. (S2I)

한편, 도로교통에서 V2X 통신기술은 ADAS와 함께 자율주행 자동차에 핵심적인 부분으로 인지하고 있다. 대표적인 V2X 통신기술로는 상용화 단계까지 기술 개발이 진행되고 있는 WAVE 통신기술을 꼽을 수 있다.

Table 9는 도로교통에서 사용하고 있는 주요 무선통신기술을 비교한 것이다 [12]. WAVE 통신은 LTE 통신에 비해 차량과 차량 통신인 V2V와 차량과 인프라간 통신인 V2I를 모두 지원하며 현재 무료로 사용이 가능하다는 점에서 큰 이점이 있다. 이에 따라 도로교통에서는 WAVE 통신기술을 자율주행 자동차의 V2X 통신기술로 적용 및 개발하려는 움직임이 있다.



**Table 9** Comparison of Wireless Communication on Road Traffic

Category	WAVE	DSRC	LTE
Communication Network	Public Network		Commercial Network
Frequencies	5.85~5.925 GHz	5.795~5.715 GHz	700 GHz/2
Movement Speed	200 km/h	160 km/h	350 km/h
Transmission Speed	27 Mbps	1 Mbps	300 Mbps
Latency	100 ms	100 ms	0.1 ms
Comm. Range	1 km	200 m	1-5 km
Commercialization	2016	2004	2011
Comm. Type	Vehicle to Infra., Vehicle to Vehicle (V2I, V2V)	Vehicle to Infra. (V2I)	Vehicle to Infra. (V2I)
Service	Safety Service, Traffic Information, ETC	Traffic Information, ETC	Call, Video Telephony, Multi-Media
Benefit	- be able to communicate between devices - free of charge using network	- free of charge using network	- excellent performance

LTE와 WAVE 통신을 비교하면 LTE 통신은 통신료가 상대적으로 비싸고 기지국을 거치는 통신방식을 취하는 반면 WAVE 통신기술은 차량과 차량 간 통신인 V2V와 차량과 인프라 간 통신인 V2I를 모두 지원하며 현재 무료로 사용이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 육상의 충분히 검증된 기술을 활용한다면 해상에서 LTE 네트워크 기술은 선박과 육상 네트워크 및 선박과 육상 인프라 간 통신으로 지원하고 선박과 선박의 통신은 V2X 통신기술인 WAVE 통신기술로 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

### 3.2 무선통신기술 선행연구 분석

앞에서는 무선통신기술 관련 현황을 분석하였고 이후에는 무선통신기술 관련 선행연구를 분석하고자 한다. 무선통신기술에 대해서는 많은 선행연구가 수행되었지만 본 연구에서는 AIS의 문제점 개선을 위한 선행연구, e-Navigation 관련 선행연구 및 도로교통에서 적용하기에 가장 적합한 통신기술인 WAVE 통신 기술 관련 선행연구를 분석하여 제시하고자 한다. Table 10은 AIS와 WAVE 통신 관련된 선행연구를 분석한 표이다.

**Table 10** A Summary of previous researches on Wireless Communication

No.	Previous Study	Purpose	Research Method
1	Lee, S. J., J. S. Jeong, M. Y. Kim and G. K. Park(2013)	to suggest automatic control measures of AIS station	- managing AIS message - analyzing communication slot share
2	Jeong, J. K.(2012)	to propose AIS as Aids to Navigation(AtoN AIS)	- sending AtoN status information by AIS binary message
3	Lee, J. S., M. Jung and C. U. Song(2016)	to propose AIS wireless protocol for safe ship communication	- analyzing security fragility - MAC address - VPN Tunnelling encryption technique
4	Jeong, N. J. (2017)	to suggest direction of development for router system based LTE comm. tech.	- LTE Router for marine environment

No.	Previous Study	Purpose	Research Method
5	Kim, Y. A.(2015)	to develop algorithm for vehicle collision avoidance	- predict vehicle's route by CTRA model - vehicle collision avoidance
6	Zishan Liu, Zhenyu Liu, Zhen Meng, Xinyang Yang, Lin Pu and Lin Zhang(2016)	to develop DSRC/LTE/Wi-Fi based vehicular system	- DSRC, LTE, Wi-Fi - performance measurement
7	Mohammad T. Kawser, Md. S. Fahad, S. Ahmed, S. S. Sajjad and Hasib A. Rafi(2019)	to aim to clearly depict V2X communication	- analysis V2X, C-V2X, DSRC, C-ITS, ARIB
8	A. Sassi, Y. E. Hillali, Atika Revenq, Faiza Charfi, and L. Kamoun(2016)	to propose new comb pilot technique to enhance the quality of OFDM transmission	- performance of the PHY layer on the IEEE 802.11p using simulation - real case measurement using ALMT system

Lee et al.(2013)은 AIS 기지국에서 제공하는 메시지를 이용하여 AIS 기지국의 통신슬롯 점유율을 분석하는 방법과 분석정보를 바탕으로 AIS 시스템의 통신부하 방지를 위한 점유율 자동 제어방안을 제시하였다. AIS는 지난 10년간 선박 운항 및 항해 안전을 위해 광범위 하게 사용되어 왔고 AIS가 사용하고 있는 VHF 주파수 대역의 통신량도 꾸준히 증가하고 있다. AIS의 트래픽 증가는 통신품질의 저하로 이어질 수 있기 때문에 국제항로표지협회(International

Association of Lighthouse Authorities, 이하 IALA)에서는 AIS의 통신부하 관리 및 운영을 위해 기지국 내 AIS 단말기 숫자, 통신슬롯 점유 평균 개수 등을 실시간 모니터링 하도록 권고한다. 해당 연구에서는 AIS 단말기가 몰려있는 통항 밀집 수역을 대상으로 AIS 통신부하를 실시간으로 분석하기 위해 AIS 메시지 분석 SW 요구사항, 기능설계 및 구현방안 등을 제시하였다. 그 결과로 AIS 기지국에서 장치의 통신범위 및 전송주기 관리 등의 기능적 수행 정보를 실시간으로 획득할 수 있었고 이를 통해 국내에 운영 중인 AIS 기지국 통신부하에 대해 시스템적·정책적으로 접근할 수 있을 것으로 기대된다[4].

Jeong(2012)은 항로표지용 AIS를 이용하여 항로표지 상태에 대한 정보를 AIS Binary 메시지 형태로 해안기지국과 선박에 제공하였으며 항로표지에 문제가 발생된 경우 통합기지국에 정보를 전달하고 인근을 항행하는 선박에 직접 경고 메시지를 보내는 방법과 이를 표준화 하는 방법에 대해 연구를 수행하였다. 최근 IMO와 IALA 등에서는 e-Navigation을 추진 중이며 핵심기술 중에 하나는 해양교통시설인 항로표지에 AIS를 도입하는 것이라 할 수 있다. 해당 연구에서 항로표지 상태에 대한 정보를 AIS Binary message 형태로 전송하는 연구를 수행한 결과 항로표지의 제어 기능을 안정적으로 수행하였으며 상태 모니터링 등을 AIS 메시지를 이용하여 안정적으로 보고 및 제어할 수 있었다. 또한, 항로표지의 위치 정보 등을 매 3분 단위로 안정적으로 제공하기도 하여 항로표지를 AIS 시스템만으로 점점이 가능함을 확인하였다. 향후 항로표지에서 서비스하는 기상신호정보를 인근 통항 선박에 제공할 수 있는 시스템의 연구 필요성, 기상신호의 신뢰성 검증 방법 도입 및 GNSS 사용 시 발생하는 오차, MMSI 자원 부족 등의 문제에 대해 추가적으로 연구가 필요함을 제시하였다. 특히, 가까운 시일 내에 AIS 전용 주파수(161.975 MHz 및 162.025 MHz)에 통신 트래픽 과부하 현상이 일어날 것으로 예상되며, 통신 구역 내에 400개 이상의 AIS 장비가 혼재할 경우 슬롯 할당이 지연되도록 야기 할 수 있다고 지적하였다[5].

Lee et al.(2016)은 AIS 시스템의 표준 프로토콜이 보안상 취약함에 대해서 분석하고 안전한 선박 무선통신을 위해 송수신자의 MAC Address를 표기하도록 하여 신뢰성을 확보하고 VPN Tunnelling 암호화 기법을 이용하여 안전한

Data전송을 할 수 있는 AIS 무선 protocol에 대해서 제안하였다. 최근 대형 해양사고가 끊임없이 발생하고 있고 이러한 해양사고 예방을 위해 AIS 등을 이용한 정보의 송수신이나 안전시스템의 개발 등이 이루어지고 있다. IMO는 기존 시스템의 보완을 위해서 AIS 주파수를 VHF 주파수 내에 할당하여 시스템을 구축하도록 하고 있다. 해당 연구에서는 AIS 통신 protocol에 대한 분석결과, 표준 AIS protocol은 보안성을 전혀 고려하지 않고 있음을 도출해 내었다. 또한, 특정 위성 통신 수신기를 이용할 경우 쉽게 AIS 무선 protocol을 hijacking 할 수 있었다. 해당 연구에서는 이러한 문제에 따라서 안전한 선박통신을 위해 정보를 송수신하는 측에서 MAC Address를 모두 표기하여 신뢰성을 확보하고, VPN Tunnelling 암호화 기법을 이용하여 안전한 Data전송을 할 수 있는 AIS 무선 protocol에 대해서 제안하였다. 해당 연구에서 제안한 AIS 무선 protocol의 개발 및 적용을 통해 선박안전기술에 기여할 것으로 기대한다 [7].

Jeong(2017)은 정부의 LTE-M 구축 계획에 따라 LTE-M을 이용하는 LTE 통신 기반 선박용 라우터 시스템의 개발 방향을 제시하였다. IMO는 최신 정보통신기술을 통해 해양에 차세대 정보통신체계를 구축하기 위해 e-Navigation을 추진 중이다. 우리나라는 섬이 많고 소형선박이 많이 운항하고 있는 국내 연안의 특성을 고려하여 한국형 e-Navigation을 추진하고 있다. 한국형 e-Navigation에서는 연안 100 km에 통신거리를 확보하도록 하는 LTE-M이 구축될 계획이다. LTE 통신은 위성 통신에 비해 장비가 간단하고 비용이 상대적으로 저렴하기 때문에 소형선박에도 이를 이용하기에 적합하다고 볼 수 있다. 해당 논문에서는 LTE-M 서비스를 이용하는 선박용 라우터 시스템의 개발 방향을 제시하였다. 해당 연구에서는 상용 LTE 통신 모뎀을 사용하여 저비용으로 통신 기능을 구현하였으며, 해양사고 발생 시 사고 선박의 위치를 실시간으로 파악할 수 있도록 GPS 기능을 라우터에 포함하였다. 해당 연구에서 제안한 라우터 시스템을 통해 연안 100 km까지 LTE-M을 이용할 수 있는 것으로 실험을 통해 확인하였고 라우터에 포함된 GPS 기능을 이용하여 선박의 위치를 실시간으로 파악할 수 있음을 확인하였다[40].

Kim(2015)은 WAVE 통신을 기반으로 하는 차량 충돌 방지 알고리즘을 개발하고 이의 성능을 분석하였다. 해당 연구에서 제안한 알고리즘은 주위 차량의 Yaw rate(회전각(요각)이 변하는 속도), course, 속도 등의 정보를 BSM(Basic Safety Message)으로부터 추출하고 CTRA(Constant Turn Rate Acceleration) 모델을 기반으로 타 차량에 대한 경로 예측을 수행한다. 예측된 주위의 차량 객체 경로가 자차(Host)의 예측 경로와 겹칠 경우에 충돌 가능 알람을 운전자에게 전달하여 차량을 제어하게 함으로써 차량 간 충돌을 회피하는 알고리즘이다. 현재 자율주행 자동차 등에 적용하고 있는 V2X 통신기술이 주목받고 있고 차량끼리 교통정보, 차량 접근, 충돌 가능성 등의 정보를 운전자에게 알려줄 수 있는 환경이 형성되었기 때문에 해당 연구를 수행하는 배경이 되었고 이를 이용한 충돌예측 및 충돌방지 알고리즘을 개발할 수 있을 것으로 판단된다[13].

Zishan Liu et al.(2016)은 차량 및 보행자의 안전을 확보하기 위해 차량 대 차량 및 차량 대 보행자의 통신을 지원하기 위해 DSRC/LTE/Wi-Fi 기반의 차량 시스템을 개발하였다. 차량 환경에서 DSRC와 LTE 통신 기술은 교통안전 확보에 가장 유망한 접근방식으로 받아들여져 왔다. 보행자들은 여전히 기존의 경적에 따른 접근법에 의해 보호되고 있기 때문에 통신기반 안전정보는 활용적인 측면에서 의문이 된다. 해당연구에서는 DSRC/LTE/Wi-Fi 기반의 차량 시스템을 개발하였다. 차량-차량, 차량-보행자 통신 모듈의 구현은 IEEE 802.11a 통신 모듈을 기반으로 하며 LTE 모듈 및 Wi-Fi 무선 인터페이스와 통합한다. 보행자의 안전을 확보하기 위해 스마트폰의 충돌 추정 및 안전경고 모듈을 추가로 설계하고 구현하였다. 이러한 기술의 검증 등을 위해 대학 캠퍼스, 도시 거리 및 교외 지역을 포함하여 다양한 시나리오에서 성능 평가 실험을 수행하였다. 실험 결과, IEEE 802.11p 기반 차량 간 통신은 non-LOS 조건에서 불안정한 반면, 셀룰러 기반은 대기 시간이 길지만 전송 안정성이 IEEE 802.11p보다 우수한 것으로 결과 도출되었다. 또한, 전송 거리가 150m 미만인 경우 Wi-Fi 기반 차량 간 통신이 효율적인 것으로 분석되었다[48].

Mohammad T. Kawser et al.(2019)은 V2X 통신의 운용, 네트워크 아키텍처, 주파수, 사양, 어플리케이션, 시스템 요건 및 보안 등에 대해 제시한다. 또한,

셀룰러 V2X(Cellular-V2X, 이하 C-V2X), DSRC, C-ITS, ARIB(Advanced IT and Business) 개발의 비교 결과를 도출하였다. 현재 무선 통신은 삶의 모든 측면에 영향을 미치고 있으며 도로교통 및 차량 운영에도 영향을 미치고 있다. 셀룰러 서비스는 5G의 도입 등 전송 시스템의 급격한 변화가 예상된다. 무선통신은 운송의 주요 문제인 교통안전 확보와 차량혼잡 등을 위해 차량통신에 기여하기 시작했고 머지않아 이러한 문제들이 해결될 것으로 예상이 된다. V2X 통신으로 지칭되는 차량 통신은 V2V, V2P, V2I 등의 통신을 가능하게 한다. 이러한 잠재력에도 불구하고, V2X 통신 표준은 매우 빠르게 발전 및 변화하고 있기 때문에 전문가들 사이에서도 표준 자체가 불분명하다. V2X 통신의 다양한 측면에 대한 명확한 이해와 5G를 향한 기술의 빠른 진행 및 보급 등을 위해서 어떠한 무선통신이라도 즉시 이용이 가능하여야 한다. 해당 연구에서는 V2X 통신의 명확한 이해를 위해 V2X 통신의 운용, 네트워크 아키텍처, 스펙트럼, 사양, 응용 프로그램, 시스템 요구 사항, 보안 및 개인 정보 보호 등을 설명한다. 또한 C-V2X, DSRC, C-ITS, Advanced ITS 등의 세부 비교 결과를 도출하였다[49].

A. Sassi et al.(2016)은 V2X 통신에 있어 전송범위의 영향과 관련한 심층연구를 수행하였다. V2X 기술로 알려진 V2V와 V2I 통신 시스템이 도로 안전 및 교통 공학에 있어 많은 관심을 불러일으키고 있다. 이러한 통신 시스템의 성능 평가는 통신 시스템의 잠재적 통합과 실용화 단계에서 중요하다. V2X 통신은 WAVE 통신이라고도 하는 IEEE 802.11p 표준을 기반으로 한다. 이와 같이 V2X는 교통안전 등 다양한 영역에서 영향을 미치므로 시스템 신뢰성에 대한 V2X 성능 평가와 심층 연구를 수행해야 한다. 해당 연구에서는 V2X의 전송 범위가 V2X 통신에 미치는 영향과 관련된 심층 연구를 상세하게 설명하였다. 해당 연구에서는 시뮬레이션을 통해 IEEE 802.11p에서 물리층의 성능을 평가하였다. 그리고 Arada Loco Mate Transmission 시스템을 이용한 실제 사례 측정을 실시하였다. 그 결과, V2X 통신에서 전송 품질을 최적화할 필요성을 도출하였고 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 전송의 품질을 향상시키기 위한 새로운 comb pilot 기술을 제안한다. 새로운

comb pilot 기술은 높은 BER(Bit Error Rate)을 감소시키기 위해 파일럿 서브캐리어 추정 기법으로 구성되어 있다. 해당 연구의 성능 평가를 바탕으로 재배열과 파일럿 패턴 추가 모두 기존 모델에 비해 성능이 향상된 것으로 분석되었다 [50].





### 3.3 WAVE 통신의 이론적 분석

차량에서의 통신을 통칭하는 현재의 V2X 기술은 DSRC와 WAVE 통신기술로 압축할 수 있다. 향후 적용할 수 있는 통신 시스템으로는 WAVE 통신과 LTE 통신의 결합 방식인 WAVE-LTE Hybrid 시스템이나 이제 막 도입되고 있는 5G 통신이 미래 기술로 여겨지고 있다. 하지만 이를 차량 통신으로 적용하기 위해서는 많은 연구개발과 시범사업 등의 실사가 필요하다. DSRC 기술은 구축의 용이성 및 저렴한 비용 등에서 이점이 있지만 차량이 밀집되는 구역에서 성능이 떨어지는 점 등에 따라 자율주행 차량에 적용할 V2X 미래 기술로는 충분하지 않은 것으로 평가되고 있다[11].

WAVE 통신기술은 기본적으로 고속으로 이동하는 차량 간 또는 차량과 인프라 간 패킷 프레임을 0.1초의 짧은 시간 내에 송수신할 수 있는 기술이다. 우리나라에서는 이러한 WAVE 통신기술을 C-ITS 사업에 적용하여 차량에 WAVE 통신 단말기를 설치하고 도로 기지국을 약 1 km 간격으로 설치하여 미래형 교통정보시스템 시범사업을 수행한바가 있다. 다만, 도로교통에서는 고층빌딩과 각종 구조물 등 통신을 저해하는 요소들이 존재하기 때문에 도로교통 환경 상 전파통달거리 목표를 1 km 정도로 하여 추진하고 있다. 해상은 도로교통의 환경과 다르게 전파를 방해하는 요소가 적고 LOS(Line of Sight) 환경이 좋기 때문에 전파통달거리가 1 km 이상 될 것으로 예상된다. 또한 패킷 프레임을 0.1초의 짧은 시간 내에 송수신 할 수 있고 40 knot 이상의 고속으로 이동하는 선박에도 적합한 통신기술이므로 자율운항선박에서 Ship to Ship 통신으로 활용가치가 있을 것으로 예상된다.

이후에는 WAVE 통신기술의 개념, WAVE 통신 특성 및 WAVE 통신기술을 적용한 사례 등을 분석하여 제시하고자 한다.

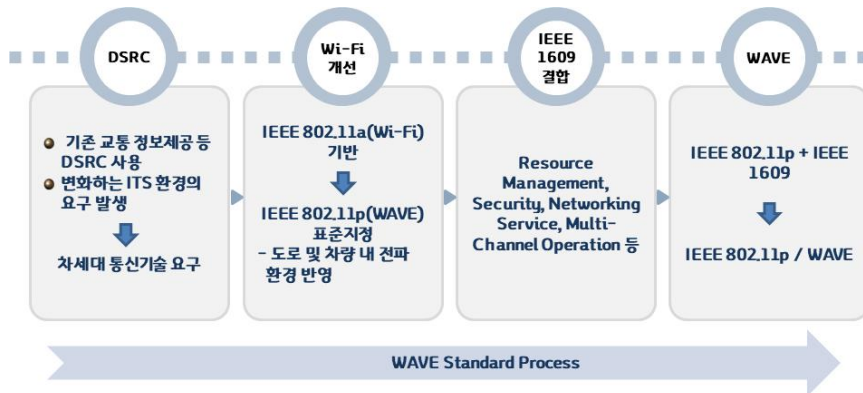
### 3.3.1 WAVE 통신기술 개념

WAVE 통신기술은 IT 기술을 도로교통에 적용한 통신기술로 차량의 안전과 도로 점검 등 도로환경 안전을 확보하기 위한 통신서비스이다. 미국, 유럽, 일본, 한국 등 주요 선진국에서는 V2V, V2I 통신을 지원하는 V2X 통신기술에 주목하였고 WAVE 통신기술을 바탕으로 한 프로젝트를 통해 기술의 실효성을 검증해 오고 있다[51].

Wi-Fi(Wireless Fidelity) 기술을 근간으로 하는 WAVE 통신기술은 기본적으로 IEEE 802.11 무선랜 기술을 차량환경과 차량 안전 서비스에 적합하도록 무선랜 규격을 변형한 기술로서 데이터 전송속도를 반으로 줄이는 대신 통신 신뢰성을 높였고 고속으로 이동하는 물표에 대해 통신 정보를 정확하게 전달하는 것을 목표로 하는 통신기술이다[52]. Wireless Access in Vehicular Environments 라는 명칭은 미국에서 1999년 지능형 교통체계를 국가산업으로 추진하는 중에 IEEE에서 Working Group을 형성하여 IEEE 802.11p WG과 IEEE 1609.x WG이 합쳐져서 생겨났다. 이에 따라 WAVE 통신은 고속 이동하는 차량에서 V2V, V2I를 통한 실시간 교통정보수집 및 교통체증 해소, 교통통제와 차량 사고에 따른 사고전파, 차량접근알림 및 충돌 가능성 알림 등 다양한 서비스를 운전자에게 제공하고 있다[53].

Fig. 4는 WAVE Standard의 개발 및 발전 과정을 나타낸 것이다[12][54].

통신기술의 발전에 따라 기존 ITS 환경에서의 변화가 요구되었다. 이후 Wi-Fi 기반의 IEEE 802.11a를 변형한 IEEE 802.11p가 차량통신의 표준으로 지정되었고 자원의 관리, 보안, 네트워킹 서비스 등의 특징을 가진 IEEE 1609가 IEEE 802.11p와 결합하면서 WAVE 통신이 탄생하게 되었다.



**Fig. 4** WAVE Standard Development Process

### 3.3.2 WAVE 통신 특성 분석

#### (1) WAVE 통신 기술 특성

WAVE 통신 기술은 무선랜(Wireless Local Area Network, 이하 WLAN) 기술을 기반으로 자동차 환경에 맞도록 개선한 통신이다. WAVE 통신은 DSRC 및 Wi-Fi 통신을 지원하여 실시간 교통정보의 제공이 가능하다. 특히, WAVE 통신은 Wi-Fi tethering을 지원하는 스마트 단말기나 WAVE 통신 기지국 및 스마트 안테나를 개발해 V2V, V2I 통신이 가능하도록 개선하였다[55].

전 세계 ITS 시장의 약 88%를 차지하는 유럽, 미국 및 일본에서는 2000년대에 들어서면서부터 WAVE 통신기술에 주목하여 IEEE 802.11p+IEEE 1609.x 규격의 WAVE 통신 기술을 개발하였다.

WAVE 규격은 물리계층 및 MAC(Medium Access Control) 계층의 규격을 정의한 IEEE 802.11p와 네트워크, 응용 및 보안 규격을 정의한 IEEE 1609규격을 포함한다. IEEE 802.11p 기술은 802.11a 규격의 일부 내용을 차량 통신 전용 표준으로 수정하여 작성된 규격으로, 10 MHz 대역폭으로 전송하고 최대 전송 속도를 27Mbps으로 하여 고속 이동 환경의 특성을 반영하였다.

V2X 통신은 무선으로 이용이 가능한데, 물리계층에서 변조 방식, 주파수, 데

이더 전송률 등과 채널 환경(Channel Quality)에 따른 데이터의 전송 동작을 결정하고 있다. 데이터 링크 계층은 매체 접근제어 계층인 MAC 계층과 논리 연결제어 계층인 LLC(Logical Link Control) 계층으로 구성된다. MAC 계층은 사용자들의 전송매체 접속을 규정하기 때문에 무선 특성 측정에 연관되는 접근 제어계층이고 LLC 계층은 논리 연결제어 계층으로 프로토콜 단계에서의 오류 검출(Error Detection)이나 오류 정정(Error Correction)의 역할을 수행한다[13].

## (2) WAVE 통신 표준 동향

WAVE 통신 표준은 차량통신표준의 IEEE 802.11p와 IEEE 1609.x 규격이 결합하여 형성이 되었다.

Table 11은 WAVE 통신 표준과 구조적 특성을 나타낸 것이다[12][56].

IEEE 1609는 WAVE 통신에서의 보안, 메시지 규격, 암호화, 자원의 관리 및 복수 채널에 대한 규정을 정의한다. 특히 IEEE 1609.11 규격은 IEEE 1609.2의 보안 규격을 활용하여 WAVE 기반 통신용 자원의 관리와 관련된 규격을 정의하고 있다. 유럽 또한 미국과 동일한 WAVE 통신기술 표준을 기반으로 WAVE 통신 기반 Resource Management의 IEEE 1609.1과 WAVE Security인 IEEE 1609.2 규격, IEEE 1609.3의 네트워킹 서비스 그리고 멀티채널 운영을 규정하는 IEEE 1609.4를 채택하여 규정하고 있다. 이러한 Standard를 바탕으로 미국과 유럽, 일본 등은 차세대 지능형 교통정보 체계와 그에 따른 서비스를 제공하기 위해 V2X 통신기술과 응용 서비스 등을 상호 협력체계 하에 구축하여 실용화를 추진 중이다[12].

**Table 11** WAVE Comm. Standard and Structure

No.	Vehicle Network	Standard	Service
1	IEEE 802.11p	Vehicle Comm. Standard	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 차량 통신 전용 표준</li> <li>- 1km 이상 거리 및 100 km/h 자동차 환경에서 V2V, V2I 통신이 가능한 기술</li> <li>- 탐색/인증/결합 절차 없이 데이터 통신 가능</li> <li>- 단말간 직접 통신 가능</li> </ul>
2	IEEE 1609.1	Resource Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 주어진 자원에 대해 효율적인 관리를 위한 Resource Management(RM) 정의</li> <li>- 어플리케이션은 RM을 통하여 RCP와 통신하여 어플리케이션이 필요로 하는 메모리, UL, RCP가 관리하는 다른 인터페이스 등의 자원에 액세스하기 위함</li> <li>- 어플리케이션을 실행하는데 있어 솔루션 관리 규정</li> </ul>
3	IEEE 1609.2	WAVE Security	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 차량이 다른 차량이나 외부 시스템과의 무선통신에서 준수해야 할 보안 규격</li> <li>- WAVE 네트워크와 어플리케이션을 위해 MAC 상위 계층에서 보안서비스를 제공</li> <li>- 통신상의 보안 규정</li> </ul>
4	IEEE 1609.3	Networking Services	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 서비스 제공자와 유저간의 안전한 데이터 교환을 위하여 데이터 전송을 위한 통신 프로토콜 Data plane과 시스템 구성과 유지 기능을 수행하기 위한 Management plane 으로 구성</li> <li>- 네트워크 계층 및 전송계층에 관한 규정</li> </ul>
5	IEEE 1609.4	Multi-Channel Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 채널 전환</li> <li>- MAC층에서의 복수 채널 전환에 관한 규정</li> </ul>

### 3.3.3 WAVE 통신 적용사례 분석

#### (1) 차세대 지능형 교통시스템(C-ITS) 시범사업

우리나라는 교통사고 방지, 도로안전 확보 및 교통 환경 개선 등을 목적으로 C-ITS 구축 사업을 추진하였다. 이를 위해 차량에 WAVE 단말기를 설치하고 도로변 1 km 간격으로 기지국을 설치하여 시범사업을 실시하였다. C-ITS는 기본적으로 차량과 도로 그리고 무선통신으로 구성되는 시스템으로 차량에 설치되는 OBU(On Board Unit), 도로에 설치되는 RSE(Road Side Equipment) 및 차량과 도로가 통신할 수 있게 해 주는 WAVE 통신 등 3가지 기술이 합쳐져 교통안전 확보와 교통 환경 체계 개선을 위한 다양한 서비스를 제공한다[57].

C-ITS 사업에서는 세종-대전 간 국도 등에 1 km 간격으로 WAVE 통신을 사용하는 노면 기지국을 설치하고 차량 단말기를 보급하였으며 돌발 상황 검지기, 보행자 검지기, 교통신호제어기 및 통행료 징수시스템 등을 통해 스마트 통행료 징수, 노면상태 및 기상정보 제공, 차량 추돌방지 지원 등의 WAVE 통신 기반 서비스를 제공하였다.

#### (2) 철도용 무선통신기술

철도교통에서는 최근 4세대 이동통신 기술인 LTE를 기반 지능형 철도시스템(IRIS, Intelligent Railway Integrated(LTE-Rail Operation) System)을 개발하는 한편, WAVE 통신 기술의 철도분야 적용 가능성을 검토하기 위해 철도시험선 및 전동차에 WAVE 통신시스템을 구축하고 시험열차를 운영하는 등의 연구를 실시하였다[58]. 열차 무선은 Point to Point 방식인 150 MHz 대역의 VHF 방식이 오래전부터 사용되어 왔으나 최근에는 800 MHz 대역의 TRS(Trunked Radio System) 방식으로 데이터 통신이 제공되고 있다. 또한, 열차제어시스템에서는 ISM(Industrial Scientific Medical) Band 대역의 2.4 GHz 주파수를 사용하는 지능형 열차제어시스템이 도입되고 있으며, 철도용으로 할당된 18 GHz

대역을 이용하여 기관사에게 승강장 영상을 전송하는 화상전송시스템이 구축되고 있다. 최근에는 열차상태를 원격으로 감시 및 제어하기 위한 무선데이터 전송시스템도 도입되고 있다[59].

철도용 무선통신기술에서는 철도 환경 상 통신망의 안전성이 매우 중요하고 정보를 송수신하는 데 있어서 패킷 손실을 최소화하여야 하기 때문에 무선통신 기술의 성능은 매우 중요하다. WAVE 통신시스템에 대한 시험운영에서는 LTE 기반 지능형 철도시스템에서 적용하였던 통신성능 요구사항을 적용하여 현차 시험을 통한 성능평가를 수행하였다. 현차 시험은 기지국의 최적 안테나 조합을 도출하기 위해 안테나 조합별 최대 전송거리를 측정하는 시험을 수행하였다. 그 외에 IP 통신시험, HD급 영상 데이터 전송 시험, VoIP(Voice over Internet Protocol) 시험, Throughput(지정된 시간 내에 전송된 전체의 유효한 정보량) 시험 및 채널 스위칭 시험 등을 수행하였다.

그 결과 WAVE 통신 시범운영에서도 설정 기준치를 대부분 만족하는 것으로 나타났고 이는 차량에서 적용하고 있는 WAVE 통신기술을 철도교통에서도 충분히 적용 가능한 것으로 결론을 도출하였다[30].

### 3.3.4 해상교통 적용가능성 검토

#### (1) 소형선박 특성 분석

「해사안전법」에서는 제2조에서 ‘거대선’을 길이 200미터 이상의 선박으로 정의하고 있다. 하지만, 소형선박의 범위에 대해서는 관련 법령에서 별도로 정의하고 있지는 않다. 우선 본 연구는 충돌사고가 많이 발생하고 있고, 경제적인 이유 때문에 RADAR 및 ECDIS 등 첨단 장비의 도움을 받지 못하는 어선을 대상으로 하고 있다. 이러한 어선은 수심의 제약을 받지 않고 자유롭게 통항하며 급격한 변침과 선속 조절로 순간적인 충돌의 위험이 발생할 개연성이 있다.

Lee and Kim(2019)은 VTS의 관점에서 소형선박에 대한 선박교통관제사의 위

험도 분석에 대한 연구를 수행하였다. 해당연구에서 소형선박은 선박의 규모나 선체 특성 때문에 레이더 탐지가 어렵고 VHF를 잘 활용하지 않아 VTS와의 정보 교환이 곤란하며 승선원이 적어 조업 등에 따른 견시 및 선교 당직을 잘 이행하지 않는 것으로 현황을 검토하였다.

특히, VTS가 선박을 원활히 관제하기 위해서는 VHF를 통한 호출과 응답이 원활하여야 하는데 어선 등 소형선박은 VHF 호출에 즉각 응답하지 않아 관제에 필요한 시간이 늘어나는 등 어려움이 있는 것으로 나타났다[21]. 어선 등은 생계를 위해 자신이 가지고 있는 어장 정보를 다른 선박에 노출시키는 것을 꺼리기 때문에 AIS 등을 꺼놓는 경우가 있다. 그리고 좁은 선교에 다양하고 많은 장비가 뺄뺄하게 들어차 있기 때문에 필요하다고 느껴지지 않는 장비는 전원을 꺼놓고 운항하는 경우가 많이 있다.

또한, 어선 등 소형선박은 열악한 근무환경에 비해 적절한 의사지원시스템을 갖추고 있는 경우가 거의 없어 해양사고 발생위험에 직접적으로 노출되어 있다고 볼 수 있다[3].

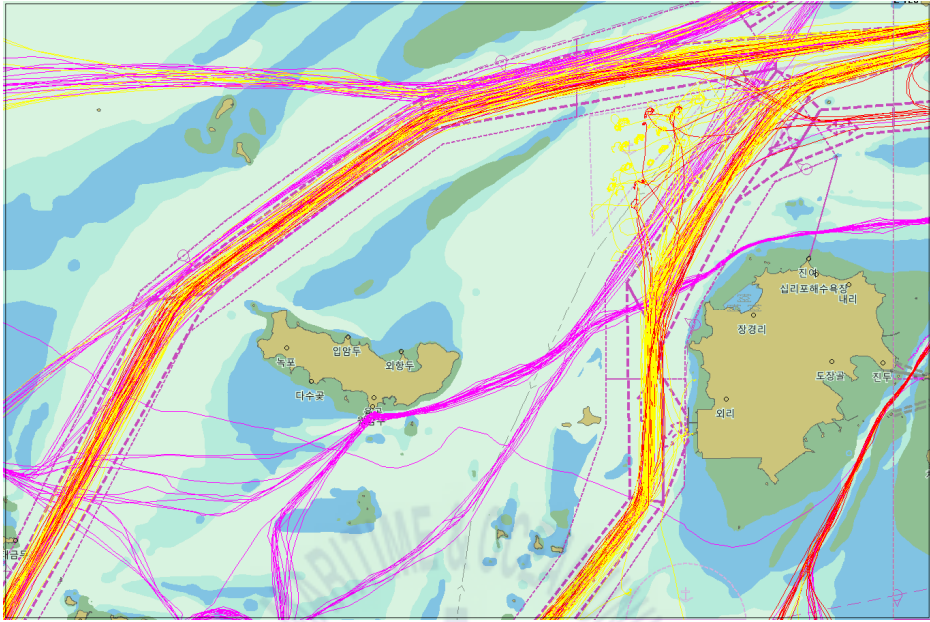
## (2) 소형선박 교통특성 분석

어선 등의 소형선박의 경우 대체로 침로가 불안정하다. 목적지까지 항해하는데 수심의 제약을 거의 받지 않고 항해계획을 수립할 때 변침점과 변침각도 등을 세부적으로 설정하지 않기 때문에 같은 목적지를 가더라도 동일한 항해 경로를 따라 운항하지 않고 상황과 환경에 따라 조금씩 변화된다[60].

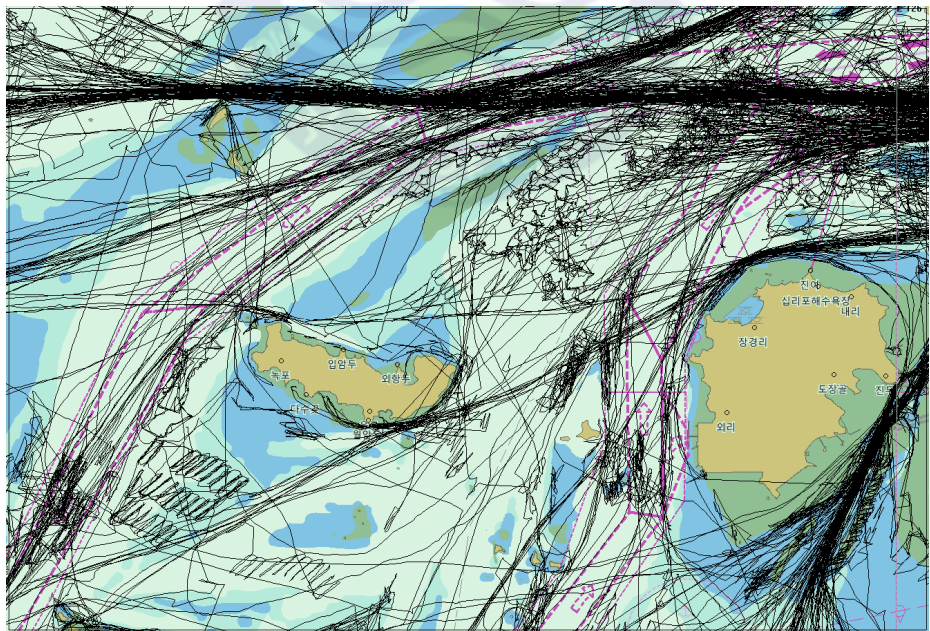
Fig. 5와 Fig. 6은 상선과 어선의 통항 항적에 대해 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 상선은 대체로 정해진 항로에 대해 일정한 패턴을 가지고 대상해역을 통항하는 반면, 어선은 Fig. 6과 같이 항로를 따라서 이동하기도 하지만 전 해역을 대상으로 자유롭게 통항하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 목적에 따라서 특정 구역을 지그재그로 항해하는 경우도 나타난다.





**Fig. 5** Track Diagram of Merchant Vessels



**Fig. 6** Track Diagram of Fishing Vessels

### (3) WAVE 통신의 해상적용 적정성 검토

영흥도 낚시어선 및 급유선 충돌사고처럼 해양사고는 많은 인적·물적 피해를 야기 시키고 어선에서의 충돌사고가 타 선종에 비해 많이 발생하고 있어 어선 등 소형선박에 대한 충돌회피 시스템 개발이 필요하다. 하지만, 어선 등 소형선박은 충돌사고가 가장 많이 일어나고 근무환경도 해양사고에 취약하지만 적절한 의사지원시스템을 갖추고 있는 경우가 거의 없어 해양사고 발생위험에 직접적으로 노출되어 있다.

어선 등 소형선박은 수심의 제약을 받지 않고 자유롭게 통항하며 급격한 변침과 선속 조절로 순간적인 충돌 위험의 발생 개연성이 높다. 그리고 승선원이 적어 조업 중이거나 휴식기간에 견시 및 선교 당직을 잘 이행하지 않아 충돌의 위험이 발생했을 때 긴급하게 운항자에게 인지시켜줄 수 있는 시스템적인 보완이 필요하다.

소형선박에는 경제적인 이유 등으로 AIS 정도만 탑재되기 때문에 자선을 기준으로 일정범위 내의 선박에 대해서 정보를 올려주는 정도의 단순한 시스템이 대부분이다. AIS는 정보의 전송 주기가 선속에 따라 5초에서 최대 3분까지 시간이 소요가 되는데 어선의 특성에 따라 AIS 정보가 업데이트되기 전에 급박하게 충돌의 위험이 발생할 경우 운항자에 적절한 지원이 어려울 수 있다. 또한, AIS 탑재선박이 증가하고 있고 AIS를 활용한 응용서비스가 증가하고 있기 때문에 통신 트래픽 증가 등으로 인한 문제점이 발생해 AIS의 신호가 누락되는 현상도 발생할 수 있다.

WAVE 통신은 정보의 전송주기가 100 msec이므로 순간의 정보를 계속해서 업데이트 할 수 있고 신호가 한두 개 누락되더라도 0.1초마다 정보가 계속 갱신되므로 어선 등 소형선의 순간적인 위험상황에 충분한 대처가 가능할 것으로 분석된다.

또한, 어선 등은 생계를 위해 자신이 가지고 있는 어장 정보를 다른 선박에 노출시키는 것을 꺼리기 때문에 AIS 등을 꺼놓는 경우가 있고 좁은 선교에 많

은 장비가 뺄뺄하게 들어차 있기 때문에 필요하다고 느껴지지 않는 장비는 전원을 꺼놓고 운항하는 경우가 있다. 충돌위험 경보가 부정확하거나 신호가 누락되어 충돌 위험상황에 경보가 울리지 않는 등 시스템에 대한 불신이 쌓이면 기존 시스템과 마찬가지로 충돌회피 시스템을 꺼놓고 운항할 우려가 있다. 따라서 어선 등 소형선박에 특화된 신뢰성 있는 경보 시스템의 보급이 필요하다.

WAVE 통신은 전송주기, 데이터 속도, 보안 등에 우수하고 선박과 인프라 간, 선박과 선박 간 통신을 모두 지원한다는 장점이 있다. 반면, 위성통신과 LTE-M 등은 Device to Device 통신이 제공되지 않고 중간에 육상 기지국 등을 거쳐야 한다. 이러한 통신 시스템에서는 육상으로부터 오는 통신서비스가 전파간섭이나 기지국의 송수신 불량으로 전송이 끊기거나 지연되는 현상이 발생할 수 있다. 또한, 과도한 통신비용이 발생한다면 어선 등 영세한 소형선박 운항자가 이용하기에 매우 부담스러울 수 있다.

WAVE 통신은 통신기술이 우수하면서도 무료로 이용이 가능하며, 선박과 인프라, 선박과 선박 간 통신을 모두 지원한다. WAVE 통신기술을 이용할 경우 0.1초마다 정보가 업데이트 되므로 선박과 선박의 직접 통신을 빠르게 주고받으면서 급박하게 발생하는 충돌 위험 상황에 대해서도 충분히 대비할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 해상교통 및 도로교통 무선통신기술 중에 WAVE 통신기술을 선정하여 이를 바탕으로 어선 등 소형선박에 신뢰성 높은 충돌회피 시스템을 개발하는 목적으로 연구를 수행하였다.

## 제 4 장 WAVE 통신기반 소형선박의 충돌회피 시스템 개발

### 4.1 시스템 개요

본 연구에서 충돌회피 시스템의 개발은 앞서서 수행된 해양사고 분석 결과에 따라 선종별 충돌사고가 가장 많이 발생한 어선 등의 소형선을 대상으로 한다. 주요 사고원인이 운항과실이며 세부 원인 중 가장 많은 비중을 차지하는 것이 경계소홀이므로 운항자의 주의를 환기시켜줄 수 있는 목적의 충돌회피 시스템의 개발이 이루어져야한다.

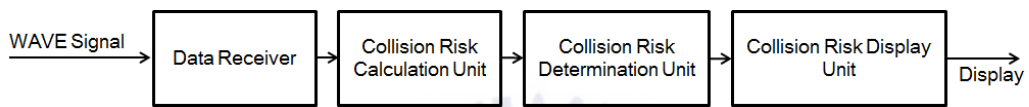
어선 등 소형선박에는 경제적인 이유 등으로 AIS 정도의 장비만 탑재되어 있고 기존 충돌회피 시스템은 자선 주위에 타 선박이 진입하면 충돌의 위험과 상관없이 경보를 주는 정도의 경보 장치가 활용되고 있다[3]. 어선의 특성상 자신의 위치를 노출하기 꺼리기도하고 충돌의 위험과 상관없이 울리는 시스템을 신뢰하지 못할 경우 시스템을 꺼놓고 운항하는 상황이 발생하게 된다. 또한 AIS 트래픽 증가 등으로 인한 통신서비스 품질 저하 등의 문제점으로 인해 신뢰성이 더 떨어질 수 있으므로 정확하고 신뢰성 높은 시스템 개발에 초점을 맞출 필요가 있다.

정확하고 신뢰성 높은 시스템의 개발을 위해 해상교통에서의 무선통신 기술과 도로교통에서의 무선통신 기술을 분석한 결과 해상교통에서의 LTE-M, 도로교통에서의 DSRC와 WAVE 통신 등이 고려되었다. 하지만 LTE-M은 Device to Device 통신이 제공되지 않고 중간에 육상 기지국 등을 거쳐야 한다는 특징이 있다. 그리고 DSRC 보다는 WAVE 통신이 통신 성능 측면에서 우수하며 LTE에 비교하여 비용이 들지 않아 경제적인 이점이 있다. 이러한 관점에서 도로교통의 V2X 통신기술인 WAVE 통신기술이 충돌회피 시스템에 적용 타당한 것으로 분석되었다.

이를 종합하여, 본 연구에서는 어선 등의 소형선을 대상으로 정확하고 신뢰

성 높은 시스템의 개발을 목표로 한다. 이를 위한 수단으로 도로교통에서 자율주행 자동차의 핵심기술 중에 하나인 V2X 통신 중에 WAVE 통신을 기반으로 하며 어선 등 운항자의 면접조사 등을 통해 소형선박에 적합한 충돌경보 판단 기준을 설계하여 충돌회피 시스템에 적용하고자 한다.

Fig. 7은 WAVE 통신 기반 소형선박의 충돌회피 시스템의 개념도를 나타낸 것이다.



**Fig. 7** Conceptual Diagram of Collision Avoidance System for Small Vessels based on WAVE Communication Technology

본 연구에서 개발한 충돌회피 시스템은 기본적으로 수신부, 연산부 및 판단부, 표시부 등으로 구성된다. 수신부에서는 WAVE의 통신거리 내에 있는 복수의 타 선박으로부터 선박의 선명, 선종, 선박길이 등 정적정보와 GPS 위치, 선속 등과 같은 동적정보를 수신한다. 수신된 정보를 바탕으로 연산부에서는 DCPA와 TCPA를 따르는 계산 방식으로 위험을 계산한다. 산정된 DCPA와 TCPA를 바탕으로 판단부에서는 미리 입력된 충돌경보판단 기준에 따른 충돌 위험 여부를 판단하여 표시부에 전달한다. 충돌경보 표시부에서는 HMI 및 Alarm 등의 장치를 통해 경고 신호를 표출하여 운항자가 인지할 수 있도록 한다.

## 4.2 시스템 설계 기준

### 4.2.1 WAVE 해상통신거리 측정

WAVE 통신은 도로 교통 환경에 따라 목표 최대 통신거리를 약 1 km로 적용하고 있으나 실제로 안정성을 갖는 최대 전송거리는 약 700 m로 평가하고 있다. 도로 교통에서는 빌딩 등 통신에 있어서의 장애물들이 많으나 해상에서는 도로에 비해 LOS(Line of Sight) 환경이 매우 좋기 때문에 전파의 최대 전송거리는 도로교통보다 나을 것으로 판단된다. 하지만, 해상에서는 선박의 횡요, 수면반사, 습도 및 선박 안테나 간 고도차 등 해상환경 고유의 통신 방해 요인들이 존재한다. 또한, 해상에서 선박은 자동차처럼 급정거와 급선회가 가능하지 않기 때문에 충돌을 회피하는데 있어 일정시간이 필요하다.

WAVE 통신기술은 이미 IEEE에서 표준화된 기술을 사용하고, 통신 이용요금이 없어 저렴하며 IEEE 1609.2에서 정의하고 있는 보안서비스를 제공하여 통신 보안에 뛰어나 성능 자체만으로는 충돌회피 시스템에 적합한 기술이라고 할 수 있다. 다만, 앞서 언급한 바와 같이 통신 가능 거리에 한계가 존재하기 때문에 실제 해상 환경에서 어느 정도 유효거리를 확보할 수 있는지 검토가 필요하다.

#### (1) 통신거리 측정 개요






WAVE 통신기술이 해상에서 어느 정도의 유효거리를 갖는지에 대한 실선실험은 실험선박에 설치된 각 단말기에서 수신되는 전파 수신레벨 및 통신영역을 확인하는 것으로 진행한다. 통신거리 측정은 각 선박에서 송수신된 GPS 위치를 기준으로 맵에 표시를 하여 각 단말기에 정상적으로 수신된 데이터 지점간의 거리를 측정 및 통신가능 거리를 추정한다.

통신가능거리 측정을 위한 실선 실험에서 유효 수신 레벨은 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 기준으로 한다. RSSI는 수신신호강도 지표라는 뜻으로 이해할 수 있고, IEEE 802.11-20112 standard에 정의되어 있는 기준이다.

RSSI를 이용한 위치 측정기술은 위치를 측정하고자 하는 센서에서 신호를 송신 하며 신호를 수신하는 주변의 센서에서 신호의 감쇄 정도를 측정하여 이를 토 대로 거리를 계산하는 형태이다. 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 확 률분포와 대조하여 거리를 추정하는 방법인데, 이러한 방법의 경우 거리측정 및 위치 관리를 위해 별도의 장치가 필요하지 않다는 장점이 있다. 블루투스 비콘 및 Wi-Fi와 같은 무선통신 기반의 위치측정 기술로 많이 활용하고 있다 [61][62].

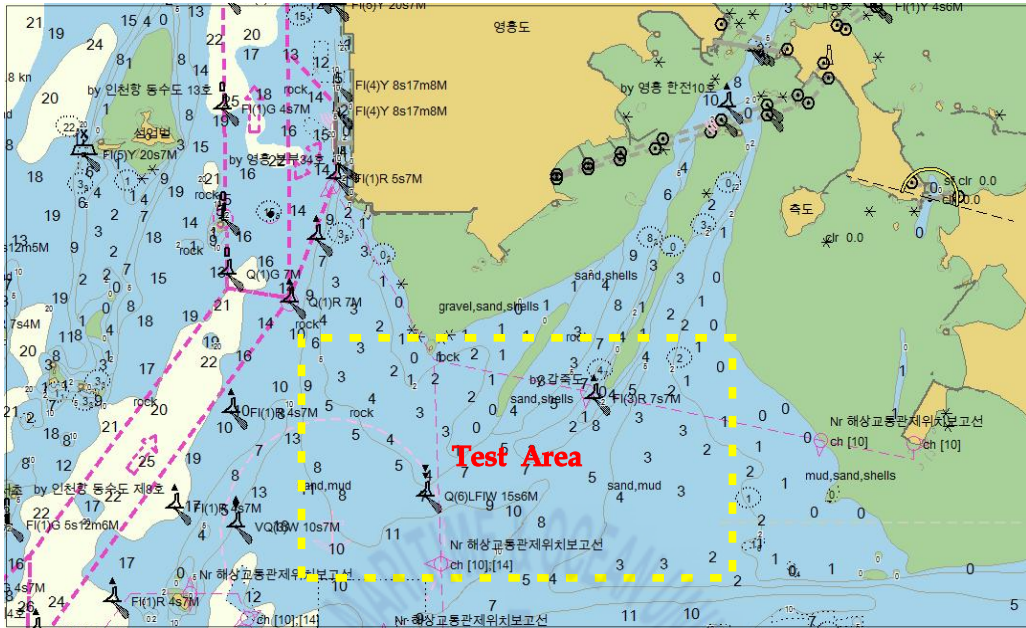
Table 12는 본 실선 실험에 적용한 RSSI Standard의 분류기준을 나타낸 것이 다. RSSI는 - dBm으로 표시되며 수신율이 좋지 않으면 앞의 숫자가 커지게 된 다. 통상적으로 수신율이 좋고 나쁨을 판단하는 기준이 약 -87 dBm정도가 되 며 -91 dBm이상이 되면 통신을 정상적으로 이용하기 어려운 세기가 된다[15].

**Table 12** Classification Standard of RSSI

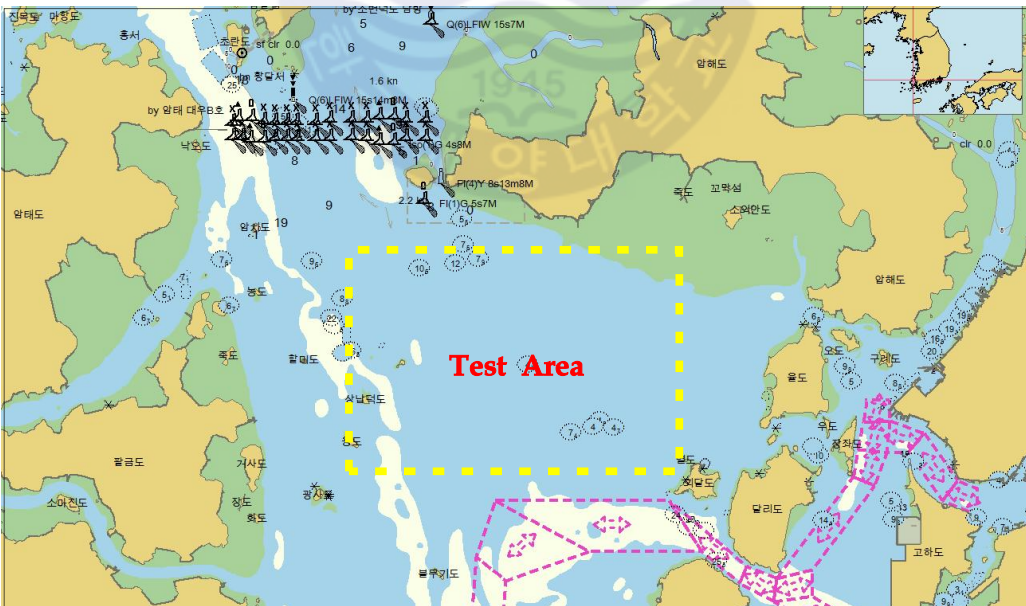
No.	Classify	RSSI Standard	Signal Strength
1		0 ~ -87 dBm	Excellent
2		-87 ~ -91 dBm	Weak
3		-91 ~ -93 dBm	Fair
4		-93 ~ -97 dBm	Poor
5		-97 dBm ~	No Signal

통신가능거리 측정을 위한 실선실험은 실제 운항을 하고 있는 어선 2척을 임 차하여 실시하였다. 첫 번째 실선실험은 인천 영흥도 아래쪽 해역에서 실시하 였고, 두 번째 실선실험은 통신거리측정과 함께 섬 사이에서 통신간섭 등을 보 기 위해 목포항 인근 해역에서 수행하였다.

Fig. 8과 Fig. 9는 실선 실험을 수행한 해역을 나타낸 것이다.



**Fig. 8** 1st Test Area: near Young-heung Island



**Fig. 9** 2nd Test Area: near Mok-po Port



도로교통에서 WAVE 무선통신에 이용되는 안테나는 통상 샤크안테나 라고 부르는 Shark Fin Universal Antenna이다. 일반적으로 도로교통에서 차량은 디자인과 공기저항을 고려하여 Shark Fin 안테나를 사용하고 있다. 하지만, 해상에서는 전 방위에서 위험을 감지하고 정보에 대한 송수신이 필요하므로 전 방위를 커버할 수 있는 옴니(Omnidirectional Antenna) 안테나로 변경하여 적용하였다.

Table 13은 통신거리 측정 실선 실험의 환경조건을 나타낸 것이다. 첫 번째 실선 실험의 대상선박은 각각 6.63 ton, 6.3 ton의 어선이며 길이는 각각 11.85 m, 12 m이다. 두 번째 실선 실험의 대상선박은 9.77 ton 어선이며 선박의 길이는 각각 14 m와 15.1 m이다. 최대 선속은 16 knots으로 실험을 수행하였다. 실험을 수행할 당시 해상의 환경조건은 풍속 약 15 kts, 파고는 약 1.0~1.5 m이다.

**Table 13** Environmental Conditions of Real Ship Test

Environmental Condition		1st Test		2nd Test	
		Vessel A	Vessel B	Vessel A	Vessel B
Vessel Condition	Ton	6.63	6.3	9.77	9.77
	Length(m)	11.85	12	14	15.1
	Vessel Type	Fishing Boat			
	Antenna Height(m)	5	5	6	5.5
	Vessel Speed(knots)	Max. 16			
Sea Condition	Weather	Sunny		Cloudy	
	Wind Speed(knots)	10		15	
	Wave Height(m)	0.5 ~ 1.0		1.0 ~ 1.5	
Etc.	Antenna Type	9 dBi Omnidirectional			
	Power Level(TX)	20 dBm			

Fig. 10은 실선실험 대상이 되는 선박에 설치되는 OBU(On Board Unit) 단말기 안테나 장착위치를 나타낸 것이다. 설치되는 선박의 안테나는 선박 구조물 최상단으로 이번 실험에서는 5 ~ 6 m 위치에서 설치가 되었다.

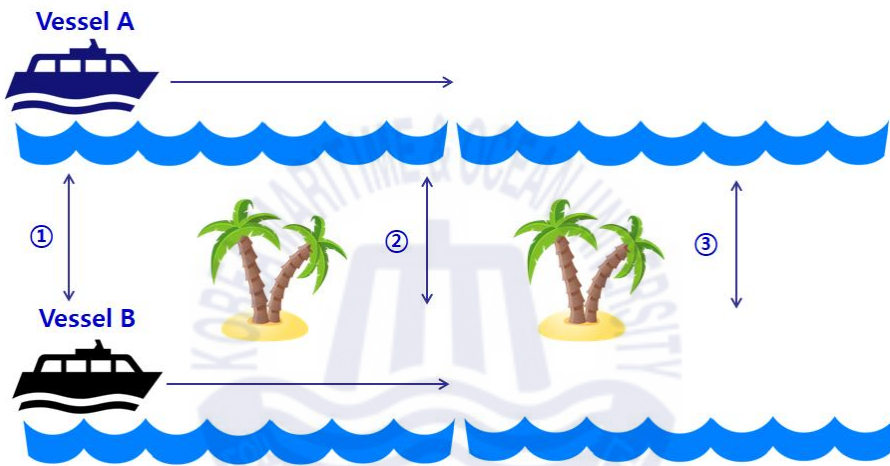


**Fig. 10** Installation Location of the WAVE Antenna

실선실험에서는 선박 간 최대 통신거리를 측정하는 방법과 장애물을 사이에 두고 통신간섭을 확인하는 두 개의 표준 시나리오를 바탕으로 실선 실험을 수행하였다. Fig. 11은 통신거리측정 실선실험에서 적용한 시나리오를 나타낸 것이다. 정지하고 있는 선박 A에 선박 B가 접근하고 멀어지는 과정에서 선박과 선박 간 최대 통신거리를 측정하는 시나리오이다. Fig. 12는 장애물의 통신간섭을 검토하기 위한 시나리오이다. 선박 A와 선박 B가 동시에 출발하여 점점 멀어지는 과정에서 섬 등과 같은 장애물을 사이에 두고 전파 간섭 영향을 검토하고 최대 통신거리를 측정하는 시나리오이다.



**Fig. 11** Scenario of Distance Measurement Test



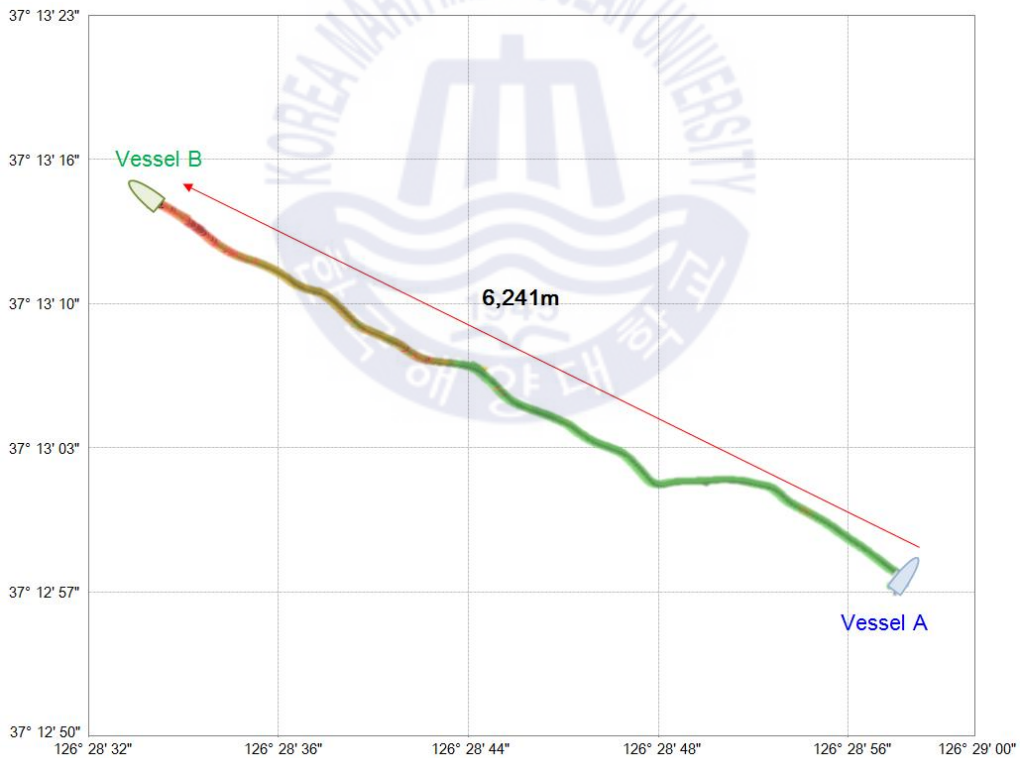
**Fig. 12** Scenario of 2nd Ship Test

## (2) 통신거리 측정 결과

Table 14는 영흥도에서 수행한 첫 번째 실선 실험의 거리측정 결과를 나타낸 것이고 Fig. 13은 해당 실선실험 결과 중 가장 긴 거리가 도출된 case의 실험결과를 나타낸 것이다. 영흥도 인근에서 수행된 첫 번째 실선 실험에서 선박 A는 정지하고 선박 B가 이동하면서 데이터를 전송 및 수신할 때 유효 통신영역에서 최대 통신거리를 측정하였다. 첫 번째 실선실험에서 선박 A의 데이터 수신 최대 가능 거리는 약 6,000 m로 나타났다.

**Table 14** Distance Measurement Result of 1st Ship Test

Condition			Distance(m)			
1	RX	TX	Case ①	Case ②	Case ③	Case ④
	Vessel A	Vessel B	6,241	5,156	- (Data Loss)	
2	RX	TX	Case ⑤	Case ⑥	Case ⑦	Case ⑧
	Vessel B	Vessel A	5,540	5,546	6,115	6,238

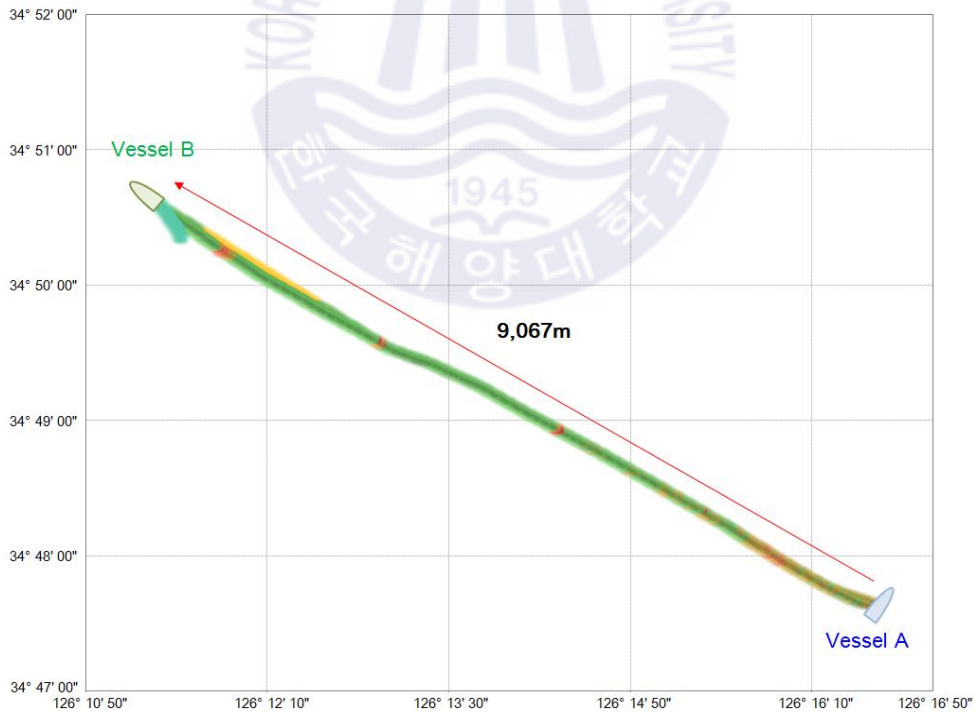


**Fig. 13** 1st Test Result of Communication Distance Measurement

Table 15는 목포항 인근 해역에서 수행된 통신거리측정 결과를 나타낸 것이고 Fig. 14는 해당 실선실험 결과 중 가장 긴 거리가 도출된 case의 실험결과를 나타낸 것이다.

**Table 15** Distance Measurement Result of 2nd Ship Test

Condition			Distance(m)			
1	RX	TX	Case ①	Case ②	Case ③	Case ④
	Vessel A	Vessel B	8,325	8,483	9,067	8,830
2	RX	TX	Case ⑤	Case ⑥	Case ⑦	Case ⑧
	Vessel B	Vessel A	3,675	3,619	- (Data Loss)	



**Fig. 14** 2nd Test Result of Communication Distance Measurement

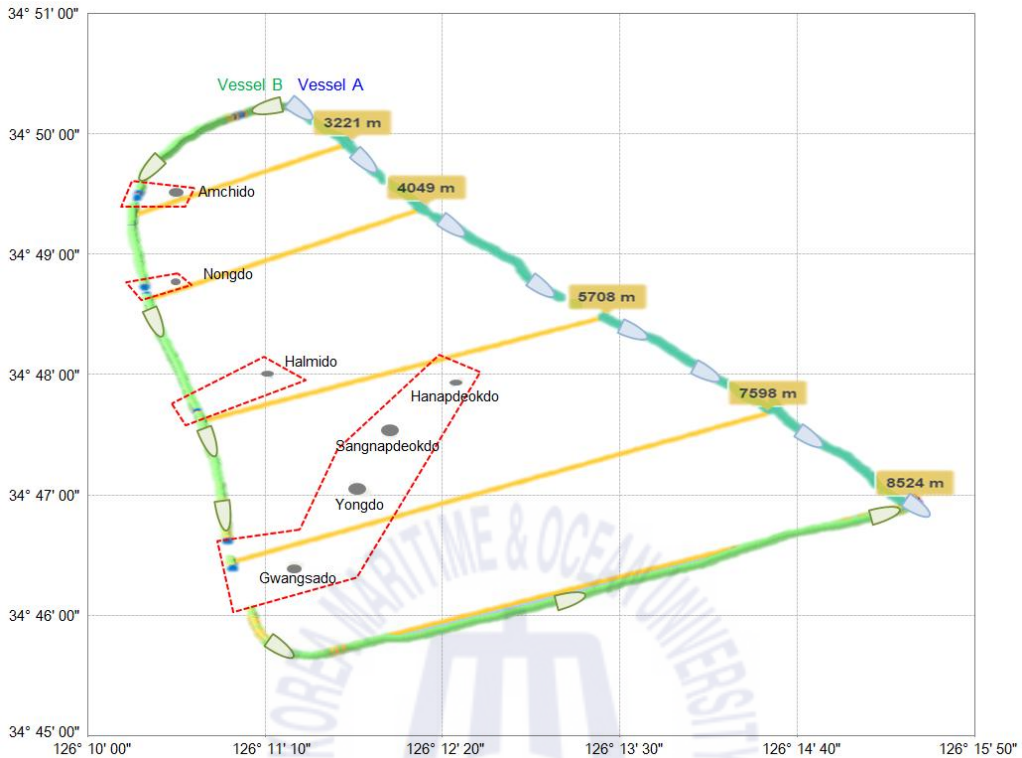
목포항 인근에서 수행된 통신거리 측정을 위한 두 번째 실선실험에서는 영흥도에서 수행한 첫 번째 통신거리 측정 실험과 마찬가지로 선박 A는 정지하고 선박 B가 이동하면서 데이터를 전송 및 수신할 때 유효 통신영역에서 최대 통신거리를 측정하였다. 두 선박 사이의 데이터 수신 최대 가능 거리는 약 9,000 m로 나타났다.

목포항 인근에서 수행된 장애물로 인한 통신 전파간섭 실선실험에서는 선박 A와 선박 B가 같은 지점에서 출발하여 선박과 선박사이에 섬을 장애물로 두고 점점 멀어지면서 데이터 수신 최대 가능거리를 측정하였다. Table 16과 Fig. 15는 통신 전파 간섭 실선실험 결과를 나타낸 것이다.

**Table 16** Test of Communication Interference Measurement by Obstacle

Condition		Distance(m)				
TX/RX	TX/RX	①	②	③	④	⑤
Vessel A	Vessel B	3,221	4,049	5,708	7,598	8,524

두 선박 사이의 수신 데이터에 대해 RSSI Standard 분류에 따라 색깔로 표기하였다. 두 선박은 같은 지점에서 출발하여 암치도, 농도, 할미도, 광사도, 영도, 상납덕도 등을 가운데에 두고 크게 돌아서 외달도 부이 인근에서 합류하였다. 해당 실험을 통해 도출된 두 선박의 최대 수신가능 거리는 약 8,500 m로 나타났다. 두 선박이 항행하는 동안 암치도 등 섬을 사이에 두고 통신 거리 측정을 할 때 섬에 의한 비가시선(Non-LOS, 이하 NLOS) 환경 발생 시 도로교통과 동일하게 통신거리의 제한이 발생하는 것을 확인하였다. 이를 해결하기 위해서는 섬이나 해상구조물 등에 WAVE 기지국을 설치하여 선박에서 보내는 신호를 섬이나 구조물에 설치한 기지국이 받아 다시 선박에 신호를 보내어 최대한 NLOS 환경을 해소해 주는 방법 등이 고려될 수 있다.



**Fig. 15** Test Diagram of Communication Interference Measurement

WAVE 통신 시스템은 LTE 통신과 다르게 단말기 간 직접 통신이 가능하며 AIS는 전송 속도가 2초 ~ 30분 등 다양한데 반해 WAVE 통신 시스템은 데이터의 전송주기가 100 msec으로 신뢰성 있는 통신수단이다. 또한 통신 보안이 우수하고 사용료가 없으며 고속으로 이동하는 물체에 통신이 적합한 통신 기술이다. 하지만 통신거리가 지나치게 짧다는 단점이 있어서 해상교통에 적용하기에는 기술적인 보완이 필요할 것으로 검토되었다. 본 연구에서는 실선실험을 통하여 데이터의 최대 수신 가능 거리를 측정하였고 최대 8~9 km까지 데이터의 안정적인 전송이 가능한 것으로 분석하였다.

Table 17은 WAVE 통신거리 측정 실선 실험에 따라 해상에서의 WAVE 통신가능 거리를 포함하여 AIS와 WAVE를 비교·분석하여 나타낸 것이다. 본 연

구에서는 WAVE 통신거리측정 실선실험을 통해 해상에서의 통신가능범위를 측정하였으며 선박충돌회피 시스템을 적용할 경우 약 5마일까지 적용이 가능할 것으로 결과를 도출하였다.

**Table 17** Comparative Analysis of WAVE Communication and AIS

No.	Comparative Item	WAVE Communication	AIS
1	Frequency	5.8 GHz	161.975 MHz
2	Transmission Period	100 msec.	2 sec. ~ 3 min. (depending on Vessel Speed)
3	Transmission Distance	<u>Max. 5 miles</u>	Approx. 50 miles
4	Security	IEEE 1609.2	-

## 4.2.2 충돌위험 판단기준

### (1) DCPA 및 TCPA

운항자는 선박과의 충돌을 예방하고 충돌의 위험을 회피하기 위해 통상적으로 RADAR나 AIS 및 VHF 등 선박에 설치되어 있는 항해설비의 지원을 받게 된다. 이러한 항해설비는 선박운항자가 보지 못하는 원거리의 물체를 탐지하거나 탐지된 물체와의 충돌 위험을 판단하여 안전항해를 위한 운항 상 지원을 하게 된다. 여기서 통상적으로 사용되는 기법은 자선과 상대선의 공간적 및 시간적 위치의 일치 여부를 알려주는 DCPA와 TCPA이다.

지금까지 진행된 대다수의 연구와 시스템 등에서는 충돌 예방 알고리즘에 DCPA/TCPA 기법과 개념을 적용하여 위험의 정도를 측정하고, 알고리즘 개발 연구를 수행하였다.



Fig. 16은 DCPA와 TCPA의 개념도를 나타낸 것이다.

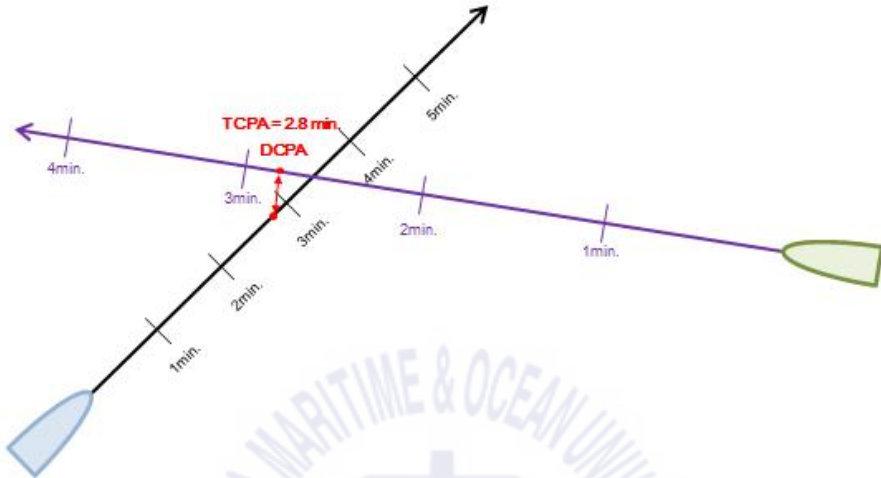
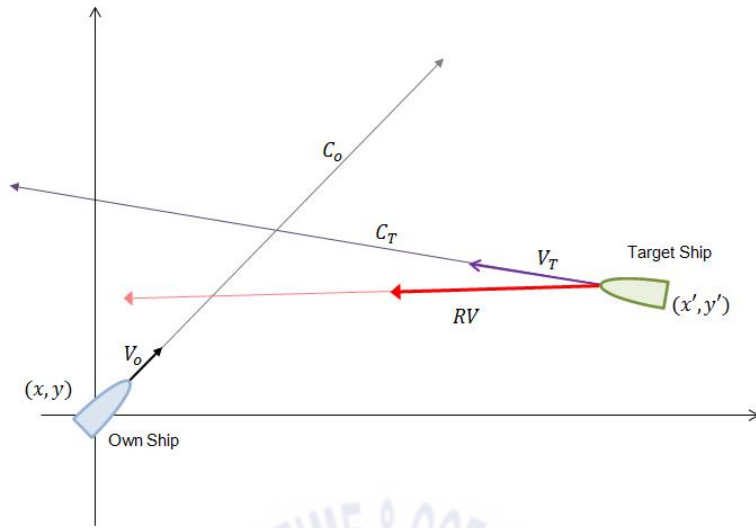


Fig. 16 Conceptual Diagram of DCPA and TCPA

DCPA는 운동체와 운동체가 이동하여 도달하는 상호간의 최근접거리를 나타내는 것으로 본선과 상대선박이 가장 가깝게 되는 지점에서 본선까지의 거리를 의미한다. TCPA는 본선과 상대선박이 가장 가깝게 되는 지점을 통과하는데 까지 걸리는 시간을 의미한다. 일반적으로 DCPA와 TCPA를 활용하여 DCPA 즉, 가장 가깝게 되는 지점까지의 거리를 운항자에게 알려주면 운항자가 TCPA 등을 판단하여 적절한 시간 내에 피항 조치를 하도록 한다.

Fig. 17은 DCPA와 TCPA 계산에 영향을 미치는 주요 요소들을 나타낸 것이다.  $(x,y)$ 는 본선의 좌표를,  $(x',y')$ 는 타선의 좌표를 나타낸다.  $V_o$ 는 본선의 속도(knots),  $V_T$ 는 타선의 속도(knots),  $C_o$ 는 본선의 침로( $^\circ$ ),  $C_T$ 는 타선의 침로( $^\circ$ )를 나타낸다.



**Fig. 17** Calculation of DCPA and TCPA

일반적으로 선박에서는 RADAR Plotting에 의해 자동으로 계산된 DCPA와 TCPA를 많이 사용하며 DCPA와 TCPA의 계산식은 식 (1) ~ (5)와 같다[63].

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

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

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

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

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

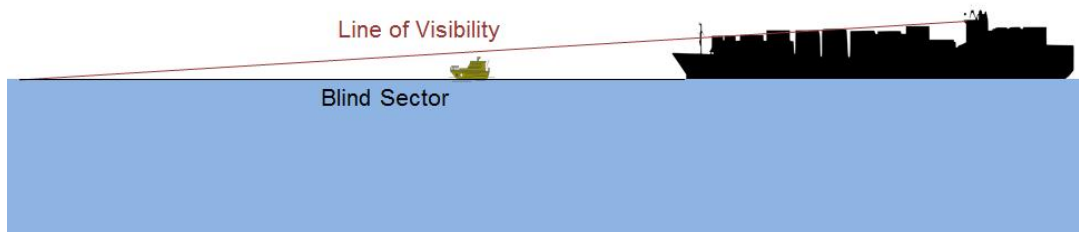
$(x, y)$  : 본선 좌표       $(x', y')$  : 타선 좌표  
 $V_o$  : 본선 속도 (kts)     $V_T$  : 타선 속도 (kts)  
 $C_o$  : 본선 침로 ( $^\circ$ )     $C_T$  : 타선 침로 ( $^\circ$ )  
 $\overline{RV}$  : 상대벡터       $D$  : 두 선박의 거리 (miles)  
 $(RV_x, RV_y)$  : 상대벡터 좌표

선박의 크기, 속력 등 선박의 특성과 외해, 연근해, 항만 인근 등 수역의 특성에 따라서 피항 조치를 취하는 DCPA의 거리가 달라진다. 대형선박의 경우 조종성능이 좋지 않기 때문에 DCPA와 TCPA가 넉넉할 때 피항 조치를 취하고 소형선박의 경우 조종성능이 좋기 때문에 대형선에서 고려하는 DCPA와 TCPA 보다는 적은 지점과 시점에 피항 조치를 취하게 된다.

또한, DCPA와 TCPA의 판단 기준이 되는 것은 본선과 상대선의 GPS 위치이며 GPS의 위치는 안테나가 달려있는 장소가 기준이 된다. 이러한 위치 오차의 경우 선박의 크기에 따라 상대적으로 차이가 발생하는데 예를 들어, 길이 300m 선박의 대형선은 선수 끝단과 안테나가 달려있는 거주구역까지 200m 이상 거리차이가 발생하게 된다. 반면에 약 20m 정도 규모의 소형선은 안테나와 선수 끝단의 거리가 10m 정도밖에 되지 않기 때문에 안테나 위치에 따른 GPS의 위치 오차는 거의 없다고 봐도 무방하다. 이러한 점을 볼 때 통상적으로 소형선박이 피항하는 조건이 DCPA 200m라고 가정하고 300m 이상의 대형선박과 시정이 제한된 상태에 DCPA 200m에 충돌경보 알람 또는 회피 동작을 취하게 된다면 이미 충돌이 발생한 직후가 되는 것이다.

Fig. 18은 선박특성에 따른 Blind Spot을 나타낸 것이다.

대형선박의 경우 선교에서 선수 부분이나, 컨테이너선의 경우 화물 등에 가려 선수 전방으로 Blind Sector가 발생한다. 따라서 선박의 GPS 안테나 위치와 함께 이러한 Blind Spot을 고려하여 충분한 시간을 가지고 충돌경보를 주거나 회피동작을 취해야 한다.



**Fig. 18** Diagram of Ship's Blind Spot

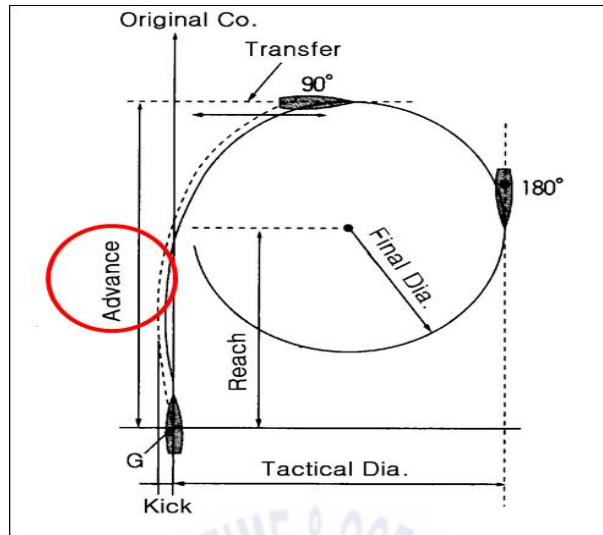
본 연구에서 개발하고자 하는 충돌회피 시스템은 어선 등의 소형선을 대상으로 정확하고 신뢰성 높은 시스템의 개발을 목표로 한다. DCPA는 충돌위험과 관련 없는 알람의 발생을 최소화하기 위해 허용 가능한 가장 최소한의 거리를 잡아서 본선과 타선 길이의 합을 적용하고자 한다.

TCPA의 경우 상호간에 접근하는 어선의 선속을 감안하여 최소 1 km 전에는 경고를 줄 수 있도록 TCPA를 최소 2분으로 하고 선박 끝에서 안테나까지의 거리를 시간으로 환산( $\frac{L_a}{V_a} + \frac{L_b}{V_b}$ )하여 추가하도록 한다.

TCPA 기준에 대한 신뢰성 및 정확성을 확보하기 위해 중소형 선박의 선회성능을 바탕으로 TCPA 기준을 검토해보고자 한다.

Fig. 19는 IMO에서 제시한 선박의 선회성능 Standard를 나타낸 것이다[64].

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. 또한 선박의 선회 특성을 평가하기 위해서는 선회권의 종거(advance), 횡거(reach), 선회반경(tactical diameter)이 중요한 요소가 되며, 직진 상태의 선박이 일정한 타각에 의해 선회할 때 선박의 무게중심에 의해 그려진 항적을 선회권이라고 한다.



**Fig. 19** Standard of Turning Ability

타가 작동된 후 선수방위가 변하면서 선회를 시작할 때 전타를 시작한 지점에서 선수가 90° 회두했을 때까지의 선체의 종방향 거리를 종거(advance)라고 하는데, 이 거리는 타 선박과 조우하였을 때 피항 동작을 취하여야하는 최소한의 거리이기 때문에 이 거리를 이용하여 TCPA의 기준을 검토한다.

Table 18은 한국해양대학교 마린시뮬레이션 센터에서 보유 중인 중소형선박의 제원을 나타낸 것이며, Table 19는 해당 선박들에 대한 조종성능을 나타낸 것이다. TCPA 기준 설정을 위해 선박조종 시뮬레이션에서 5m ~ 30m 사이 소형선박의 선박조종 data(pilot card 및 wheel house post)의 선회능력(Advance, Tactical diameter, Transfer, Stopping distance, Emergency manoeuver 등)을 추출하였다.

**Table 18** Details of Small Ships Registered with the Simulator

No.	Description	DISP. (ton)	LOA(m)	Beam(m)	Speed (kts)	Draft (m)
1	Life Boat	41.3	17	5	25	FOR: 1.08 AFT: 1.74
2	Life Boat	36	16	4.9	18	FOR: 1.1 AFT: 1.52
3	Life Boat	14.5	11.57	3.55	16	FOR: 0.88 AFT: 0.88
4	Life Boat	26	14.6	4.29	25	FOR: 0.93 AFT: 1.49
5	Life Boat	26	14.3	4.2	18	FOR: 1.2 AFT: 1.2
6	Life Boat	26	14.85	4.2	23.7	FOR: 0.71 AFT: 0.71
7	Pilot Boat	13.5	13.85	3.8	26.9	FOR: 1.04 AFT: 1.04
8	Rescue Vessel	12	12.15	3.48	38	FOR: 0.1 AFT: 0.68
9	Safe Boat	5.67	10.06	3	43.3	FOR: 0.35 AFT: 0.7
10	Small Craft	1.36	5.63	2	28.9	FOR: 0.26 AFT: 0.06
11	Small Craft	2.65	9.93	2.6	46.5	FOR: 0.58 AFT: 0.58

**Table 19** Small Ships Maneuvering Performance for TCPA standard

Unit : cable

No.	Advance	Transfer	Tactical Diameter	hard to hard time (order)	FAH to FAS time (order)	FAH to FAS (time)	FAH to FAS (reach)	Emergency Manoeuver (time)
1	0.6	0.32	0.71	19.6	5.15	7	0.33	22.5
2	0.46	0.22	0.49	19.6	4.1	7	0.22	25.25
3	0.34	0.15	0.36	19.6	5.15	7	0.2	21.25
4	0.55	0.26	0.61	19.6	5.15	8	0.3	18.25
5	0.42	0.2	0.44	19.6	5.15	7	0.24	24.25
6	0.44	0.27	0.61	10	4.1	13	0.43	20.2
7	0.5	0.11	0.47	13.64	2	16	0.64	17.13
8	0.53	0.33	0.79	11.76	1	39	0.75	14.12
9	0.43	0.15	0.41	11.76	3	12	0.5	8.06
10	0.33	0.16	0.29	14.8	3.01	7	0.23	8.06
11	0.48	0.22	0.51	11.76	4.02	5	0.29	9.07

총 11척의 Advance는 63m에서 111m로 측정되었으며, 시뮬레이터에 탑재된 소형 선박의 항해 평균 속력인 15kts를 적용하면, TCPA는 약 2분 정도가 된다. 선속을 바탕으로 최소 1 km 전에 경보를 주고자 설정한 TCPA 2분의 기준은 적절한 것으로 검토되었다.

이후에는 어선 등 소형 선박의 운항자를 대상으로 면접조사를 실시하여 이를 충돌경보 판단기준의 기초자료로 사용하고자 한다.

## (2) 운항자 의견

소형선박의 충돌회피 시스템 관련하여 소형선박에 적합한 충돌 알고리즘을 구성하기 위해 소형선 운항자에 대해 면접조사를 실시하였다.

Table 20은 면접조사 방법을 나타낸 것이다.

면접 대상은 최근 급유선과 낚시어선 충돌사고가 발생하였던 영흥도 인근에서 어선을 운항하는 어선 운항자 57명이며, 구조화된 설문지를 바탕으로 1:1 개별 면접 방식으로 조사를 실시하였다.

**Table 20** Survey Method for Ship Operators

Category	Method
Population	small ship operators
Sample Size	57 samples
Sampling Method	complete enumeration survey
Data Collection Tool	structured questionnaire
Survey Method	individual interviewing
Survey Period	Dec. 2018. ~ Jan. 2019.



Table 21은 면접조사 질문의 내용을 나타낸 것이다.

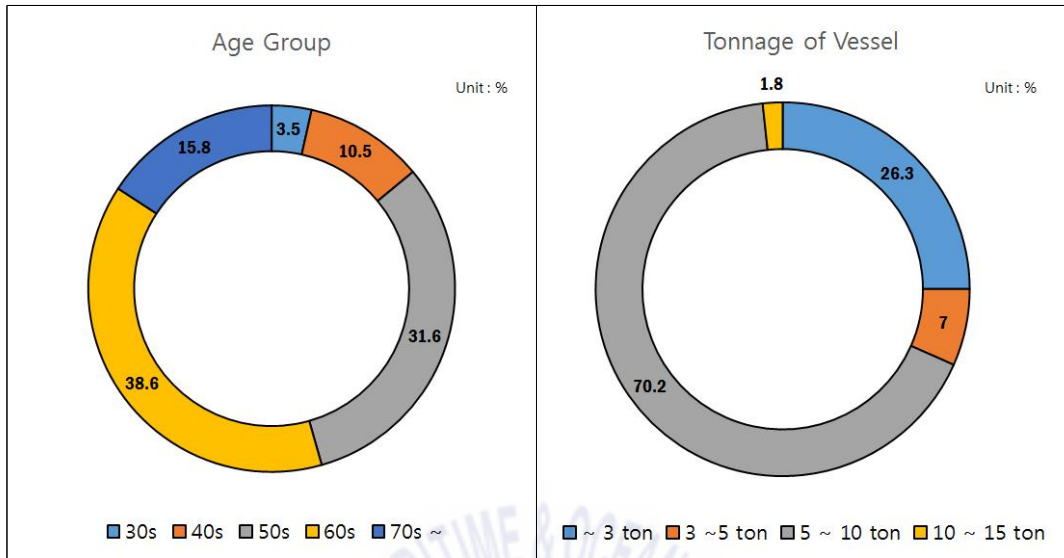
설문은 총 4개의 질문으로 구성되어 있는데 통상적으로 충돌을 회피하는 거리, 항해 중 대형선박과 마주하였을 때 대형선박과 통항하는 최소 거리, 엔진이 정지한 상태에서 운항 가능한 상태로 복귀하는데 걸리는 시간 및 조업작업을 정리하는데 걸리는 시간 등이다.

**Table 21** Survey Contents for Ship Operators

Category	Contents of Survey
Safety Operation	- the distance that usually avoids a ship's collision
	- minimum distance passing with large ships during sailing
	- time to return from engine off to operable state
	- the time it takes to clear up the fishing operation
Characteristics of Respondent	age, type of vessel, tonnage of vessel, length of vessel, etc.

Fig. 20은 응답자의 특성을 나타낸 것이다.

면접조사에 응답한 운항자의 연령대는 30대 2명(3.5%), 40대 6명(10.5%), 50대 18명(31.6%), 60대 22명(38.6%) 및 70대 이상 9명(15.8%)으로 비교적 고른 연령대를 보인다. 응답자의 선박 종류는 모두 어선이고, 선박 톤수별로 3톤 미만 12명(26.3%), 3 ~ 5톤 4명(7%), 5 ~ 10톤 40명(70.2%) 및 10톤 ~ 15톤이 1명(1.8%)으로 모두 15톤 미만의 어선이며, 그 중 5 ~ 10톤이 가장 많은 것으로 분석되었다.



**Fig. 20** Characteristics of Respondent of Survey

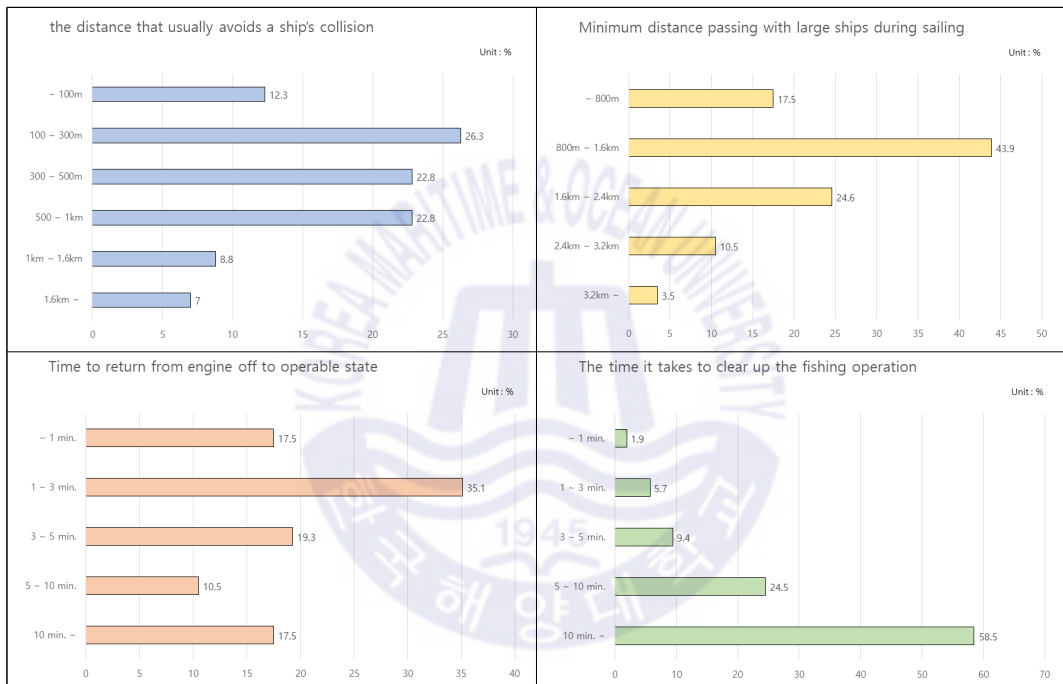
Fig. 21은 4가지 질의 항목에 대한 선박운항자들의 응답결과를 나타낸 것이다.

통상적으로 충돌을 회피하는 거리는 100 ~ 300 m에 대한 응답이 26.3%로 가장 많았으며, 300 ~ 500 m와 500 ~ 1 km도 22.8%로 응답이 되었다. 따라서 어선들이 통상적으로 충돌을 회피하는 거리는 100m ~ 1 km 인 것으로 분석되었다.

대형선과의 통항 시 최소 통항거리에 대해서는 800m ~ 1.6 km가 43.9%로 가장 많이 응답하였으며, 1.6 ~ 2.4 km가 24.6%로 응답이 되었다.

엔진이 정지한 상태에서 이용 가능한 상태로 복귀하는 데 걸리는 시간은 1 ~ 3분이 35.1%로 가장 많이 응답되었고, 1분 미만과 10분 이상이 17.5%의 같은 비율로 응답이 되었다. 세부적으로 분석한 결과 1분 미만으로 응답한 응답자의 어선 종류는 채낚기와 유자망이 많이 있었고, 10분 이상으로 응답한 응답자의 어선 종류는 선망과 주낙이 많은 것으로 분석되었다.

조업작업을 정리하는데 걸리는 시간에 대해서는 10분 이상이 58.5%로 가장 많이 응답하였고, 5 ~ 10분이 24.5%로 응답이 되었다. 세부 응답자의 어선 종류를 분석한 결과 채낚기과 유자망은 조업작업 정리에 걸리는 시간이 응답자마다 다른 반면 선망이나 주낙, 연안자망복합의 경우에 적게는 5분, 많게는 10분 이상이 걸리는 것으로 응답을 하였다.



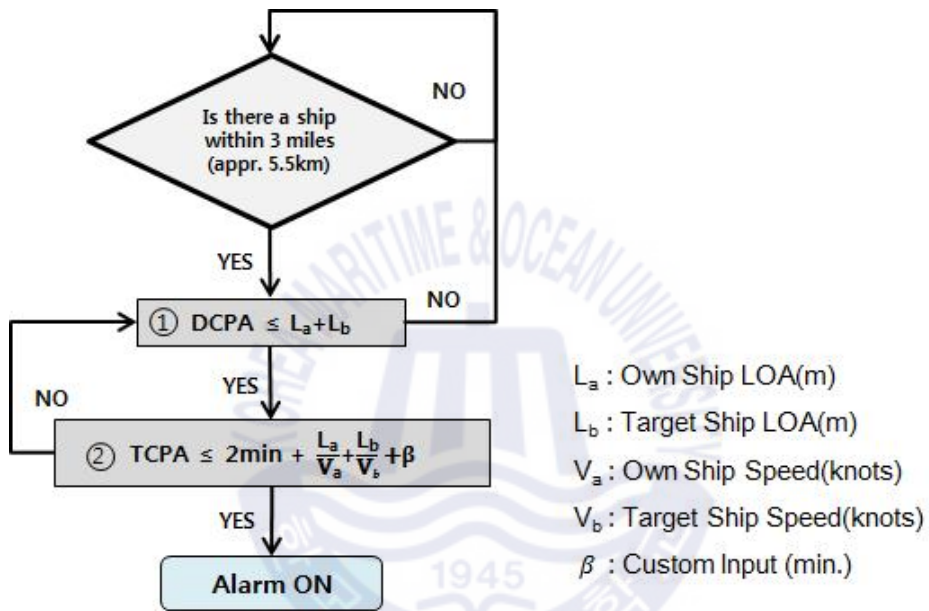
**Fig. 21** Survey Result for Ship Operators

### (3) 충돌위험 판단기준 설계

소형선박을 위한 선박 충돌경보 판단기준 개발 방향과 소형선박 운항자에 대한 면접조사의 실시 결과를 바탕으로 본 연구에 적합한 소형선박용 충돌경보 판단기준을 설계하였다.

최종적으로 설계한 충돌경보 판단기준은 Fig. 22와 같다.

본 연구에서의 충돌경보 시스템은 DCPA와 TCPA를 기본적으로 활용하되, DCPA에 자선과 상대선박의 길이를 적용하고 Blind Spot 등을 고려하여 설계하였다.

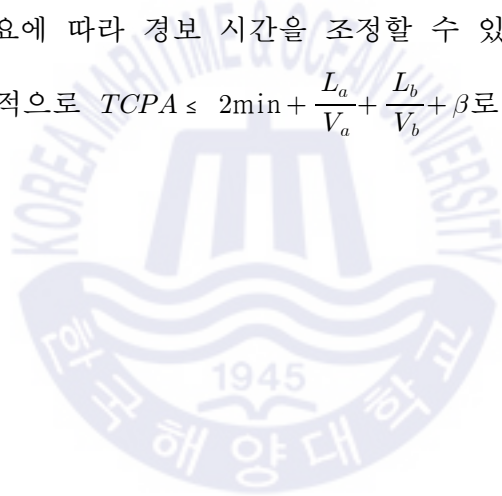


**Fig. 22** Collision Warning Judgement Criteria

도로교통에서 WAVE 통신은 도로의 LOS 환경에 따라 전송거리가 1 km로 제한이 되지만 본 연구에서 실선실험을 통한 WAVE 통신거리 측정 결과 약 5 마일까지 통신이 가능한 것으로 결과가 도출되었다. 또한, 앞서 수행된 운항자 면접조사 결과, 대형선과의 피항이나 통상적인 회피 거리가 약 3 km 미만이므로, 3 km에다 여유를 두어 최초 판단 거리 기준은 3마일(약 5.5 km)로 설정하였다.

DCPA는 충돌위험과 관련 없는 알람의 발생을 최소화하기 위해 허용 가능한 가장 최소한의 거리를 잡아서 본선과 타선 길이의 합을 적용하였다.

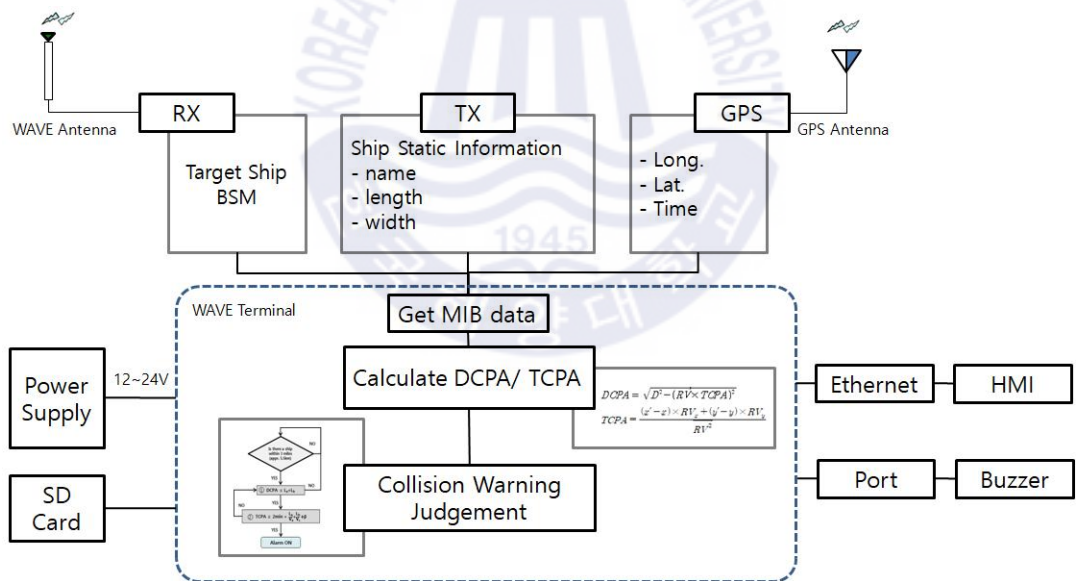
TCPA는 상호간에 접근하는 어선의 선속을 감안하여 최소 1 km 전에는 경고를 줄 수 있도록 TCPA를 최소 2분으로 하고 선박조종시물레이선에 탑재된 선박의 조종성능 등을 분석하여 TCPA 기준의 적정성을 검증하였다. 또한, 운항자 면접조사 결과, 충돌의 위험이 발생하였을 때 통상적으로 충돌을 회피하는 거리는 100 ~ 300 m가 26.3%, 300 ~ 500 m와 500m ~ 1 km가 각각 22.8%로 70% 이상이 1 km 이내에서 충돌회피 동작을 취하는 것으로 나타나 TCPA 2분에 대한 기준 설정에 신뢰성을 더할 수 있었다. 여기에 선박 끝에서 안테나까지의 거리를 시간으로 환산( $\frac{L_a}{V_a} + \frac{L_b}{V_b}$ )하여 추가하도록 하였다. 그리고 엔진이 정지된 상태나 조업 중에 충돌의 위험이 발생할 수도 있으므로 선박의 상황을 고려하여 사용자 필요에 따라 경보 시간을 조정할 수 있도록 사용자 입력 값 ( $\beta$ )을 추가하여 최종적으로  $TCPA \leq 2\text{min} + \frac{L_a}{V_a} + \frac{L_b}{V_b} + \beta$ 로 적용하였다.



### 4.3 시스템 구성

본 연구에서 개발한 WAVE 통신기반 소형선박 충돌회피 시스템은 도로교통에서 적용하는 WAVE 통신 단말기를 기본적으로 장착하였다. WAVE 단말기에는 전용 안테나를 설치하고 운항자가 자선 및 타선 등의 정보를 확인할 수 있도록 HMI(Human Machine Interface) 단말기를 설치한다. 최종적으로 충돌의 위험이 발생하였을 때 경보를 줄 수 있도록 경보기를 설치하였다.

Fig. 23은 본 연구에서 개발된 WAVE 통신기반 소형선박 충돌회피 시스템의 구성도이다.



**Fig. 23** Block Diagram of Collision Avoidance System for Small Vessel based on WAVE Comm. Technology

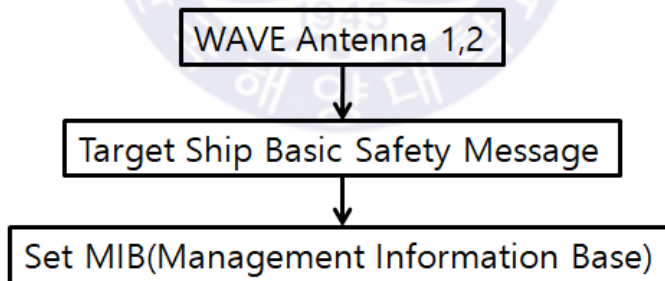
본 연구에서 개발한 충돌회피 시스템은 기본적으로 수신부, 연산부, 표시부

등으로 구성된다. 수신부에서는 WAVE의 통신거리 내에 있는 복수의 타 선박 으로부터 선박의 선명, 선종, 선박길이, 위치, 선속 등과 같은 BSM(Basic Safety Message)을 수신한다. 그리고 메모리(NAND)에 입력된 자선 정보와 GPS 위치 등 수신된 정보를 바탕으로 MIB(Management Information Base)를 구성한다. 연산부에서는 DCPA와 TCPA를 따르는 계산 방식으로 위험을 계산한다. 산정된 DCPA와 TCPA를 바탕으로 미리 입력된 충돌경보판단 기준에 따른 충돌위험 여부를 판단하여 충돌경보 표시부에 전달한다. 충돌경보 표시부에서는 HMI, Buzzer 등을 통해 경고 신호를 표출하여 운항자가 인지할 수 있도록 한다.

### 4.3.1 수신부

데이터 수신부에서는 WAVE의 통신거리 내에 있는 복수의 타 선박 데이터 (RX)와 자선 정보(TX), 자선 GPS 위치 등을 수신한다.

Fig. 24는 RX에 대한 프로토콜을 나타낸 것이다.



**Fig. 24** RX Protocol

Table 22는 선박 간 통신에서의 BSM 구성을 나타낸 것이다.

통신의 전송주기는 100 msec, packet의 구분자는 “,”이다. 데이터 타입은 String이며 패킷 샘플은, 1,2017:09:25:13:20:55:380,3,3527934,마리아호,목포북항,인

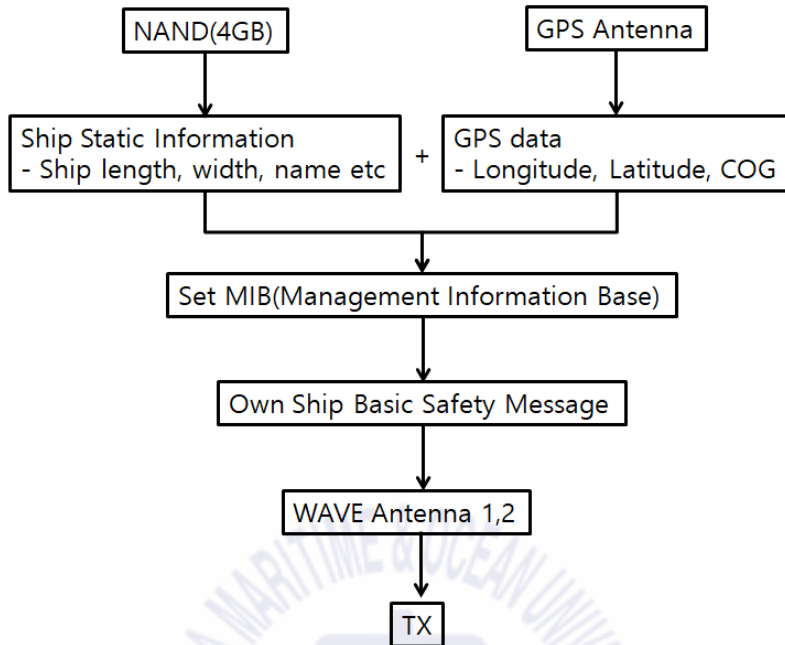
천향,37.4544645,127.3456342,273.5,65.03,25.0,10.0,20.0,3.3,4.5,2 와 같다.

**Table 22** Message Packet Protocol(Sample)

category	contents	sample
msgcnt	순서번호	ex) "1"
time	시간(년월일시분초밀리초)	2017:09:25:13:20:55:380
dev_type	장치 유형	ex) "3" 선박
dev_id	장치 ID	ex) "32572934"
dev_name	장치 명	ex) "마리아호" (EUC-KR)
start_pt	출발지	ex) "목포북항" (EUC-KR)
end_pt	도착지	ex) "인천항" (EUC-KR)
lat	위도 (degree)	ex) "37.4544645"
lon	경도 (degree)	ex) "127.3456342"
heading	방향 (degree)	ex) "273.5"
spd	속도 (knot)	ex) "65.03" (knot)
length	배 길이 (meter)	ex) "25.0"
width	배 폭 (meter)	ex) "10.0"
height	배 높이 (meter)	ex) "20.0"
dcpa	dcpa (mile)	ex) "3.3"
tcpa	tcpa (min)	ex) "4.5"
alert	경고 단계	ex) "2"

Fig. 25는 TX에 대한 프로토콜을 나타낸 것이다.





**Fig. 25** TX Protocol

Fig. 26은 데이터 수신부에 수신되는 데이터가 HMI에 표출되는 예시를 나타낸 것이다. WAVE를 통해 수신되는 RX와 TX의 정보 데이터는 Message 번호, 표준 시간, 선박의 종류를 나타내는 Device type, MMSI, 선명, 선박의 x 좌표(위도), y 좌표(경도), Heading, 선속, 선박의 흘수, 길이, 폭, 높이 등의 순서대로 정리된다.

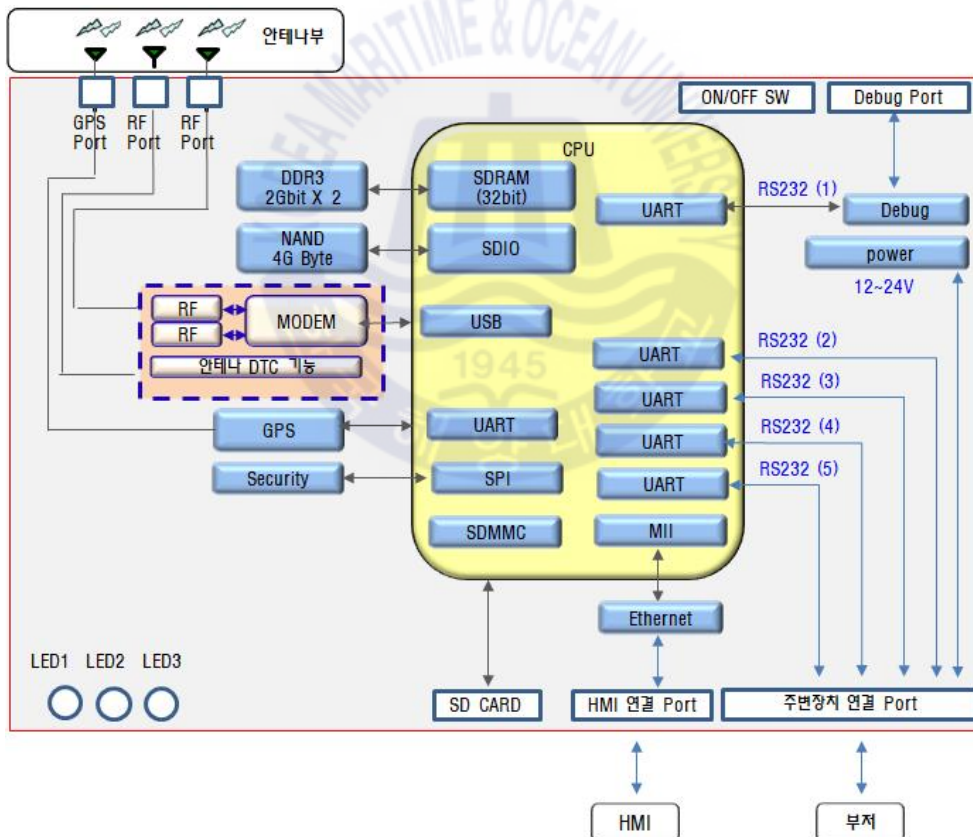
Msgcnt	Time	Dev_type	Dev_id	Dev_name	Start_pt	End_pt	Lat	Lon	Heading	Spd	Pdop	Length	Width	Height	Dcoa	Tcpa	Alert
391	2018:10:10:11:05:25:707	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364748	126.4905941	1.33	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.651	-33.717	0		
392	2018:10:10:11:05:25:807	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364748	126.4905941	1.33	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.651	-33.717	0		
393	2018:10:10:11:05:25:907	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364748	126.4905941	1.33	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.480	-31.950	0		
394	2018:10:10:11:05:26:007	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364795	126.4905945	1.53	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.471	-32.017	0		
395	2018:10:10:11:05:26:107	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364795	126.4905945	1.53	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.641	-33.817	0		
396	2018:10:10:11:05:26:207	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364845	126.4905945	0.86	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.673	-33.500	0		
397	2018:10:10:11:05:26:307	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364845	126.4905945	0.86	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.501	-31.817	0		
398	2018:10:10:11:05:26:407	3	440022780	진두항 테스트지	37.2364891	126.4905948	1.21	4.86	1.78	14.80	4.12	4.00	1.485	-31.933	0		

**Fig. 26** Sample of Received Data on Data Receiver

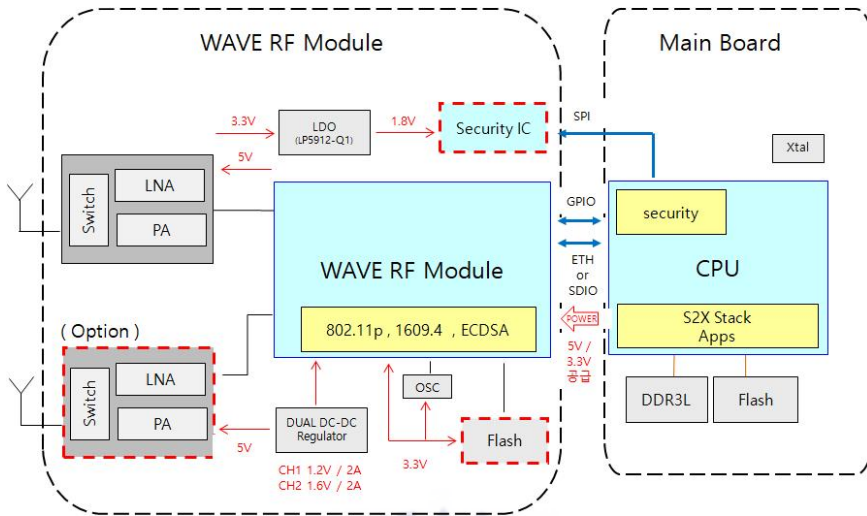
### 4.3.2 연산부

연산부에서는 수신부에서 수신된 각각의 선박 데이터를 바탕으로 DCPA/TCPA 값을 연산하고 앞 절에서 제안한 충돌경보 판단기준에 따른 자선과의 충돌위험 여부와 경보 여부를 판단한다.

Fig. 27은 이러한 연산부의 기능을 담당하는 WAVE 단말기 시스템의 구성도를 나타낸 것이고, Fig. 28은 WAVE RF(Radio Frequency) Module의 구성도를 나타낸 것이다.



**Fig. 27** Block Diagram of WAVE Terminal System



**Fig. 28** Block Diagram of WAVE RF Module

Fig. 29는 WAVE 통신 프로토콜을 나타낸 것이다.

1609.2 Security Services  
 1609.3 Networking Services  
 1609.4 Multi-channel operations  
 802.11p Mac, Physical Layer standard

BSM Standard	Application	WAVE Application	
		TCP/UDP	WSMP
IEEE1609.2 IEEE1609.3	Transport	TCP/UDP	WSMP
	Network	IPv6	
IEEE1609.4 IEEE802.11p	Datalink	LLC	
		WAVE/MAC	
	Physical	PHY	

**Fig. 29** WAVE Communication Protocol

WAVE 통신을 구현하기 위해서는 기본적으로 IEEE 802.11p 물리계층, IEEE 1609.2/3/4의 WAVE 통신스택 등의 SW 스택이 필요하다. 이를 모두 구현하고 WAVE Application에 충돌위험 연산과 판단기준 값을 입력한다.

Fig. 30은 충돌위험 연산부 WAVE Application에 coding된 값을 나타낸 것이다.

```

//os = own ship
//ts = target ship
int ship_algorithm(const CPA_t* cpa, const SHIPINFO_t* os, const SHIPINFO_t* ts)
{
    int result = 0;
    double os_len = 0.0;
    double ts_len = 0.0;
    double value = 0.0;
    double distance_limit = 0.0;
    double dcpa_standard = 0.0;
    double tcpa_standard = 0.0;
    double os_spdlen = 0.0;
    double ts_spdlen = 0.0;

    //convert ship length meter to nmile
    os_len = os->length * MtoNM;
    ts_len = ts->length * MtoNM;

    //ship length / ship speed
    os_spdlen = os_len / os->spd;
    ts_spdlen = ts_len / ts->spd;

    //spdlen + custom input
    value = os_spdlen + ts_spdlen + os->adjustment_value;

    //convert distance limit 3 nmile to meter
    distance_limit = 3.0 * NMtoM;

    //dcpa standard
    dcpa_standard = os_len + ts_len;

    //tcpa standard 2 min
    tcpa_standard = 2.0;

    if(cpa->dist <= distance_limit)
    {
        if(0 <= cpa->dcpa) && (cpa->dcpa <= dcpa_standard)
        {
            if(0 <= cpa->tcpa) && (cpa->tcpa <= (tcpa_standard + value))
            {
                result = ALARM_DANGER;
            }
            else
            {
                result = ALARM_NULL; //이 지나면 경우는 100% 값이 올수가 아니다
            }
        }
        else
        {
            result = ALARM_NULL;
        }
    }
    return result;
}
}end ship_algorithm?

```

Fig. 30 Input Data for Collision Warning Judgement

충돌위험 연산부에서는 데이터 수신부로부터 전달받은 각각의 선박 데이터와 자선과의 충돌 위험 값을 산출한다. 충돌 위험 값의 산출은 DCPA/TCPA 계산 방식인 식 (4)와 (5)로 산정한다.

DCPA와 TCPA 판단 기준을 맞추기 위해 자선과 타선의 길이 단위를 meter 에서 mile로, 최초 판단거리기준 단위 mile을 meter로 단위를 변환한다. DCPA 의 standard는 자선과 타선의 길이를 합친 것으로 설정하고 TCPA의 standard 는 2분으로 하되, 사용자 입력 값을 추가할 수 있도록 하였다.

충돌경고 판단기준에 따라, 타 선박이 자선 주위 3마일 이내(convert 5.5km) 에 진입하였을 때 DCPA가 자선과 타 선박의 길이의 합( $L_a + L_b$ )보다 작거나 같 고, TCPA가 ( $\frac{L_a}{V_a} + \frac{L_b}{V_b}$ )와 사용자 입력 최소 시간 값( $\beta$ )에 2분을 더한 시간보다 작을 경우( $TCPA \leq 2\text{min} + \frac{L_a}{V_a} + \frac{L_b}{V_b} + \beta$ ) 2차 위험으로 판단한다.

### 4.3.3 표시부

데이터 수신부에서 수신한 자선 및 타선의 정보를 바탕으로 위험 여부를 연 산 및 판단하여 ( $TCPA \leq 2\text{min} + \frac{L_a}{V_a} + \frac{L_b}{V_b} + \beta$ )에 해당할 경우 충돌경보 표시부 에서 운항자에게 주의를 표시할 수 있도록 정보를 전달한다.

충돌경보 표시부는 충돌위험도 판단부의 충돌경보 판단기준에 따른 알람기준 에 맞춰 충돌 위험을 화면에 표시하거나 경보기를 통해 출력한다. 충돌 경보기 는 운항자에게 충돌의 위험 여부를 알려주는 것으로 환경 및 상황에 따라 변경 하여 사용이 가능하므로 본 연구에서는 일반적인 상용 제품을 구입하여 사용하 였다.

본 연구에서 사용한 충돌경보기는 전압 DC 12V~24V, 전류 Max. 0.980A이고 LED 표시등의 점멸수는 분당 60~80회, 최대 음량은 약 115dB이다.

Fig. 31은 Application 검증 툴 source code 일부를 나타낸 것이고, Fig. 32는 HMI를 통해 호출된 화면을 나타낸 것이다.

```
final Handler handler = new Handler(){
    @Override
    @JavascriptInterface
    public void handleMessage(Message msg){
        switch (msg.what) {
            case 1:
                // Log.d("MainActivity : ", msg.obj.toString());
                String ship_data=msg.obj.toString();
                String[] array = ship_data.split(",");
                if(array[0].equals("H")){
                    Log.d("H,lat,lon, alert:", array[0]+" "+array[8]+" "+array[9]+" "+array[19]);
                    host_lat.setText(array[8]);
                    host_lon.setText(array[9]);
                    host_lat.setVisibility(View.VISIBLE);
                    host_lon.setVisibility(View.VISIBLE);
                    webView.loadUrl("javascript:setHostPoint("+ array[8]+ "," + array[9] + ")"); //lat lon
                    if(circle_chk==false) { // circle type 별 아래 표지 알 수 없게 함 -> false 가 1000 으로 설정
                        webView.loadUrl("javascript:circleType(" + array[8] + "," + array[9] + "," + "1000 + ")");
                    } else if(circle_chk&&circle_num==100){
                        webView.loadUrl("javascript:circleType(" + array[8] + "," + array[9] + "," + "100 + ")");
                    } else if(circle_chk&&circle_num==300){
                        webView.loadUrl("javascript:circleType(" + array[8] + "," + array[9] + "," + "300 + ")");
                    } else if(circle_chk&&circle_num==500){
                        webView.loadUrl("javascript:circleType(" + array[8] + "," + array[9] + "," + "500 + ")");
                    } else if(circle_chk&&circle_num==1000){
                        webView.loadUrl("javascript:circleType(" + array[8] + "," + array[9] + "," + "1000 + ")");
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

Fig. 31 A Part of Source Code on HMI Application

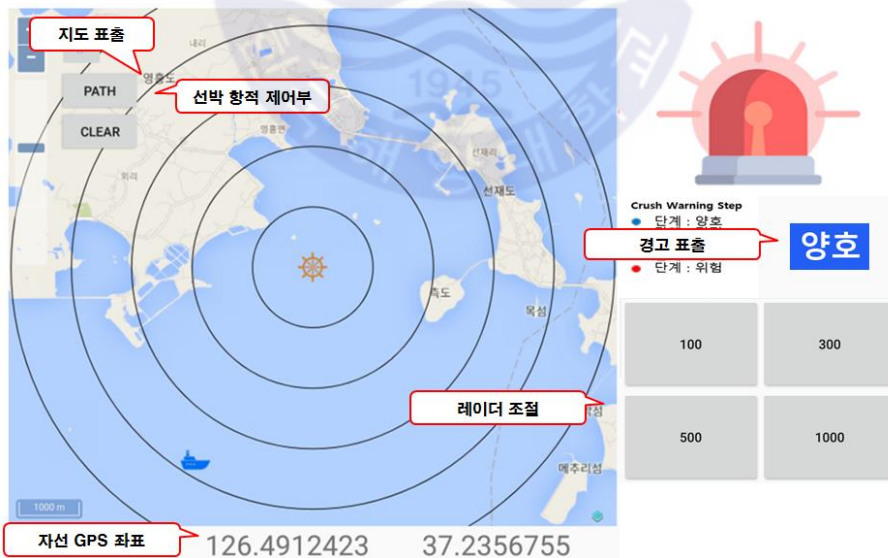


Fig. 32 Display of HMI Application

HMI는 운영체제를 안드로이드로 사용하는 상용 태블릿 PC를 이용하고 페이지의 동작은 Javascript를 활용하였다. 페이지의 배경은 구글 지도를 기본으로 활용하고 본선의 GPS 좌표가 화면 아래쪽에 위치하도록 설정하였다. 충돌경보 모니터링 앱 화면은 구글 지도, 본선을 중심으로 거리를 표시하는 circle, 자선의 GPS 좌표, 충돌경고의 표출 등으로 구성된다.



## 제 5 장 소형선박용 충돌회피 시스템 실선 검증

### 5.1 검증 개요

3장에서 분석한 바와 같이 WAVE 통신 시스템은 기존 LTE 통신과 달리 Device to Device 통신이 가능하고 WAVE 통신을 이용하는 비용이 무료이다. WAVE 통신시스템은 데이터의 전송주기가 100 msec으로, 속도에 따라 전송 속도가 2초 ~ 30분인 AIS와 비교하여 상당한 신뢰성을 가질 것으로 예상된다. 또한, 통신 보안이 우수하고 고속으로 이동하는 물체에 통신이 적합한 통신 기술이다. 다만, 도로교통에서 통신거리는 약 1 km로 통신거리에 한계가 있는 것으로 평가되었지만 도로교통과 LOS(Line of Sight) 환경이 다른 해상에서는 최대 5마일 정도까지 데이터의 송수신이 가능한 것으로 본 연구의 실선 실험을 통해 검증하였다.

WAVE 통신은 이러한 장점들을 바탕으로 충돌, 좌초, 접촉 등 해양사고의 예방뿐만 아니라 IMO에서 추진 중인 e-Navigation을 지원하는 통신수단이나 자율운항선박에서 주 통신수단 등으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 4장에서 개발된 WAVE 통신 기반 소형선박용 충돌회피 시스템을 실제 선박에 적용하여 실선실험 및 검증을 수행하고자 한다.

현재 개발되고 사용되고 있는 충돌방지 또는 회피 시스템은 전자해도, 항해용 RADAR, AIS 등 장비를 사용하여 적용되고 있으나, 이러한 시스템에 가장 많이 사용되고 있는 장비는 AIS이다. 특히 중소형 선박에서는 비용 등의 문제로 고가의 전자해도 및 RADAR ARPA(Automatic Radar Plotting Aids) System 등의 장비 대신 AIS 정도만 탑재하고 있다. 또한, 소형선의 경우 AIS 시스템을 이용한 충돌방지 및 회피 시스템은 자선기준으로 일정 범위 내에 들어올 경우 알람을 주는 정도 수준의 장치가 사용되고 있다.



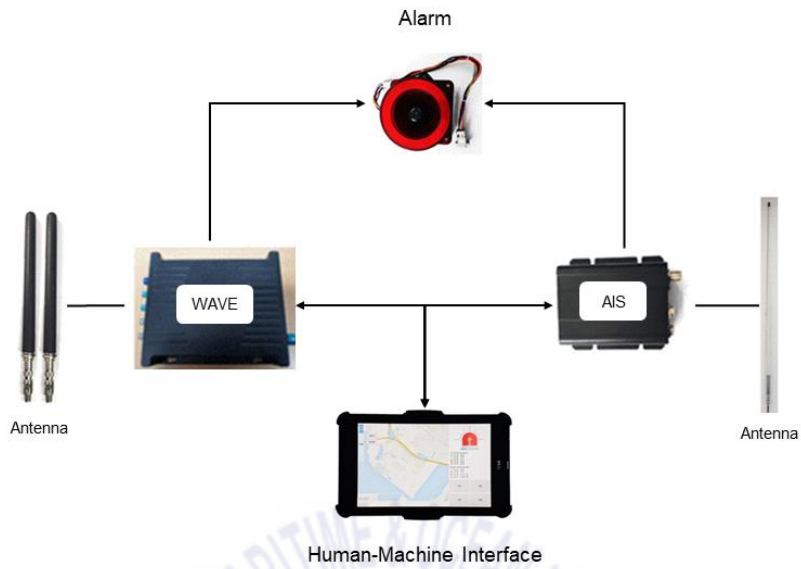
AIS는 선박 간 정보교환, 선박-육상 간 정보교환 및 최근에는 부이 등 해상 물표에도 사용을 하는 등 활용도가 높아지고 있으나 반대로 AIS 과부하, 데이터의 오류 등이 문제점으로 드러나고 있고 다양한 연구에서 AIS의 시급한 문제해결이 필요하다고 언급하고 있다. 특히, AIS 정보에 오류가 있는 경우에 대해서는 예러 보정을 위한 알고리즘을 제안하거나, 오류의 분석 및 개선방안 등을 제안한 연구가 수행되었고[6][8], Noise로 인해 발생할 수 있는 오류를 보정하기 위해 선박의 항적을 재구성할 수 있는 모델을 제안하는 등의 연구가 수행되기도 하였다[65]. AIS 데이터 트래픽이 증가하는 문제에 대해서는 실시간 메시지 분석에 따라 AIS 통신부하 관리에 관한 연구 등이 수행 되었다[4].

이러한 AIS의 통신문제 해결 및 차세대 해상정보시스템 구현을 위해 정부는 한국형 e-Navigation 사업인 SMART-Navigation 사업을 추진하고 있으며 연안 100 km에 무선 LTE망을 도입하는 계획을 가지고 있다[9]. 하지만, LTE는 통신 특성상 기지국을 통한 통신에서 효과적이고 본 논문에서 주로 다루고 있는 WAVE 통신 시스템과 함께 활용할 경우 상당한 시너지를 가질 수 있을 것으로 예상된다.

### 5.1.1 실선실험 개요

본 실선실험에 사용된 충돌경보 시스템은 WAVE 통신을 주 통신수단으로 사용하고, AIS와 WAVE 통신의 차이를 비교하기 위해 AIS를 이용한 충돌경보 시스템을 이용한 실험도 수행하였다.

Fig. 33은 4장에서 개발된 WAVE 통신 기반 소형선박 충돌회피 시스템의 실물을 나타낸 것이고 Fig. 34는 시스템을 실제 선박에 설치하고 실험한 장면을 나타낸 것이다.



**Fig. 33** Real Appearance of Collision Avoidance System



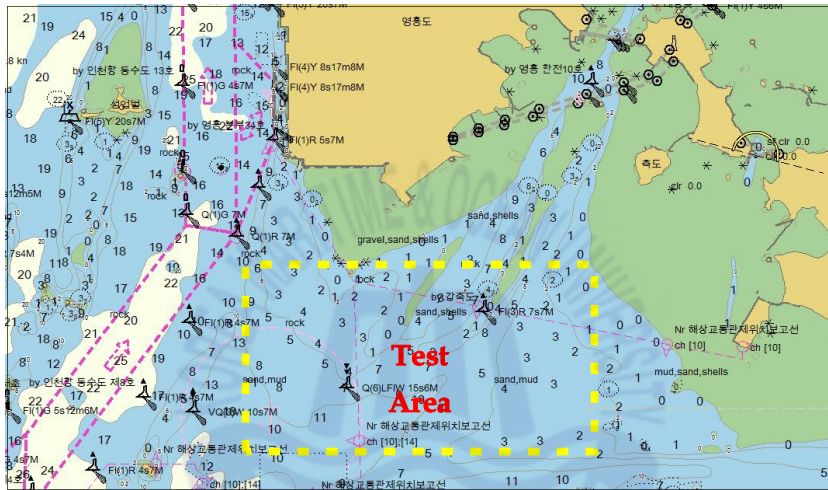
**Fig. 34** Installation of Equipment for Real Ship Test

WAVE 통신 단말기와 안테나는 외부에 설치하고 내부에는 충돌경보기와 HMI를 설치하여 선박의 항적과 충돌 경보 여부를 모니터링 하는 형태로 실험을 진행하였다.

### 5.1.2 실험 대상선박 및 해역

Fig. 35는 실선 실험을 수행한 해역을 나타낸 것이다.

대상해역은 최근 낚시어선과 급유선 충돌사고가 발생한 영흥수도 인근 지역으로 선정하고 해당 지역에서 실제 운항 중인 어선 2척을 대상으로 하여 실시하였다.



**Fig. 35** Test Area: near Young-heung Island

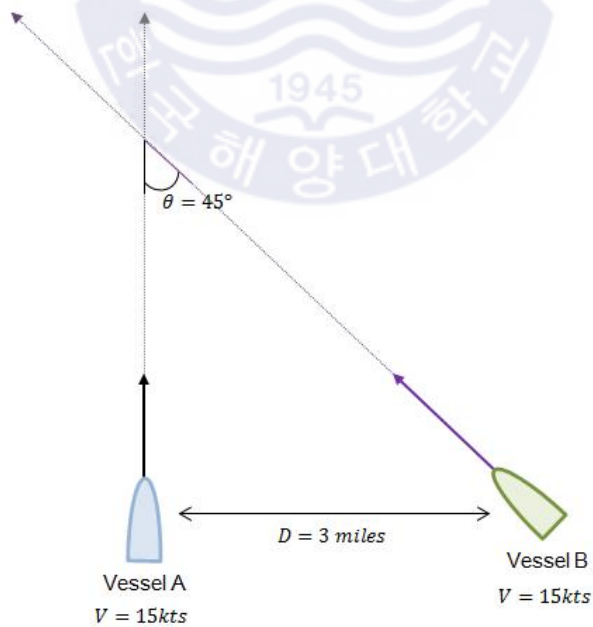
Table 23은 실선 실험의 환경조건을 나타낸 것이다. 대상선박은 각각 9.77 ton의 어선이며 길이는 각각 14.80 m, 16.50 m이다. 최대 선속은 16 knots으로 실험을 수행하였다. 실험 수행할 당시 해상의 환경조건은 풍속 약 10~15 kts, 파고는 약 0.5~1.0 m이다.

**Table 23** Environmental Conditions of Collision Avoidance Test

Environmental Condition		Vessel	
		Vessel A	Vessel B
Vessel Condition	Ton	9.77	9.77
	Length(m)	14.80	16.50
	Vessel Type	Fishing Boat	
	Antenna Height(m)	6	6
	Vessel Speed(knots)	Max. 16	
Sea Condition	Weather	Sunny and Cloudy	
	Wind Speed(knots)	10~15	
	Wave Height(m)	0.5 ~ 1.0	

### 5.1.3 시나리오

Fig. 36은 횡단 상황에서의 충돌회피 실선실험 시나리오를 나타낸 것이다.

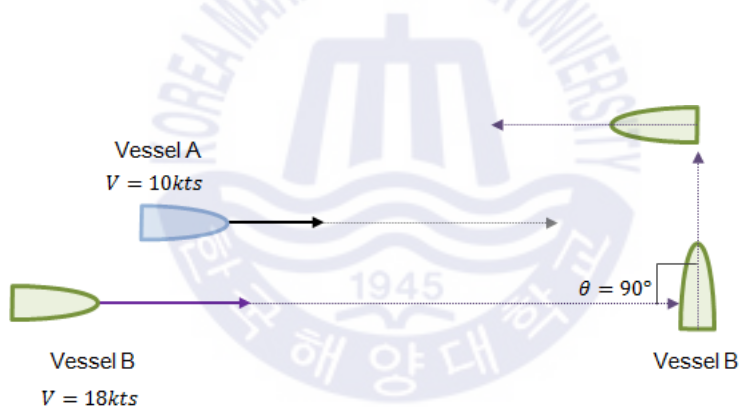


**Fig. 36** Scenario of Crossing Situation

선박이 충돌 위험 상황에서 충돌경보 판단기준에 따른 충돌 경보가 적절하게 작동되는지 입증하기 위해 횡단 상황에 대한 시나리오를 통해 실선실험을 수행하였다. 선박 A와 선박 B는 45도 각도를 유지하고 약 3마일 떨어진 지점에서 목표지점을 향해 전진한다.

Fig. 37은 추월 상황에서의 충돌회피 실선실험 시나리오를 나타낸 것이다.

속도가 빠른 선박 B가 속도가 느린 선박 A를 추월한 후, 갑작스러운 변침으로 상대적으로 선박 A의 전면을 통항할 때 알람의 발생 여부를 판단하는 시나리오이다. 선박 A와 선박 B가 일정 거리를 두고 선박 A가 앞선 상태에서 나란히 전진하다 선박 A는 10 kts, 선박 B는 18 kts의 속도를 유지하면서 추월한다. 그리고 선박 B가 선박 A를 충분히 추월하였을 때 갑작스러운 대각도 변침(약 90도)으로 선박 A의 선수를 횡단하는 시나리오로 진행하였다.



**Fig. 37** Scenario of Overtaking and Crossing Situation

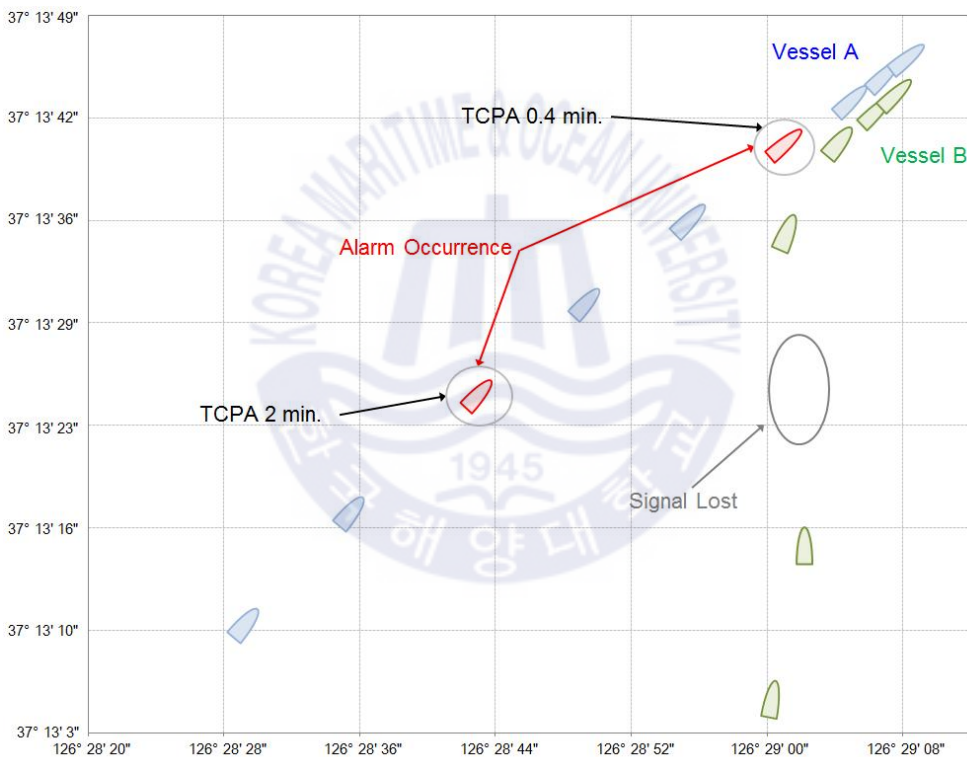
## 5.2 실선실험 결과 분석

선박이 상호 접근하는 상황에서 WAVE 통신과 AIS를 이용한 선박 충돌경보 실선실험을 수행하였고 충돌경보의 적정성을 검토하였다. WAVE 통신과 AIS 통신의 성능을 비교하기 위해 각각의 항적을 제시하였다.

Fig. 38은 Crossing Situation에 대해 AIS를 적용한 충돌경보 시스템의 선박

항적을 나타낸 것이다.

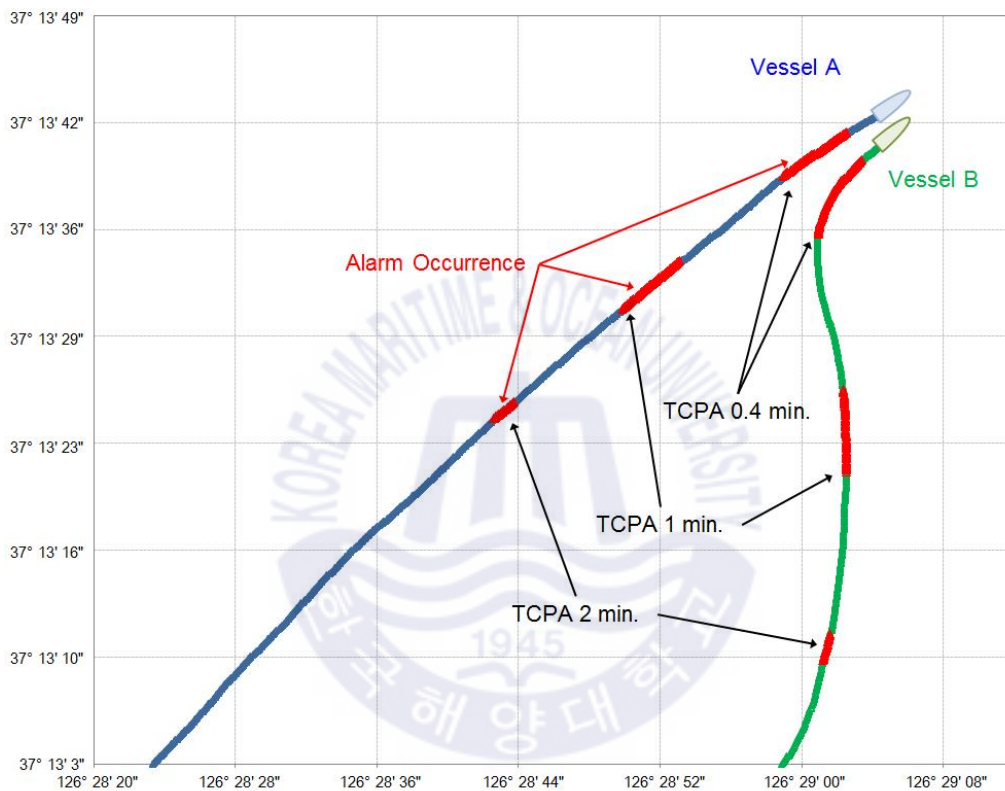
선박 B의 경우 AIS 신호의 송수신 상태가 불안정하여 통신이 끊기는 현상이 발생한 것을 볼 수 있다. 선박 A에서는 TCPA가 2분일 때 알람이 한번 발생하였고 TCPA가 0.4분일 때 알람이 발생하였으나 선박 B에서는 AIS 신호 누락에 따라 알람이 발생하지 않았다. 또한, 항적이 중간에 끊기는 경우 선박의 운항 의도가 정확하게 전달되지 않기 때문에 사후 항적 분석에도 어려움이 있다.



**Fig. 38** Vessel Track on Crossing Situation by AIS

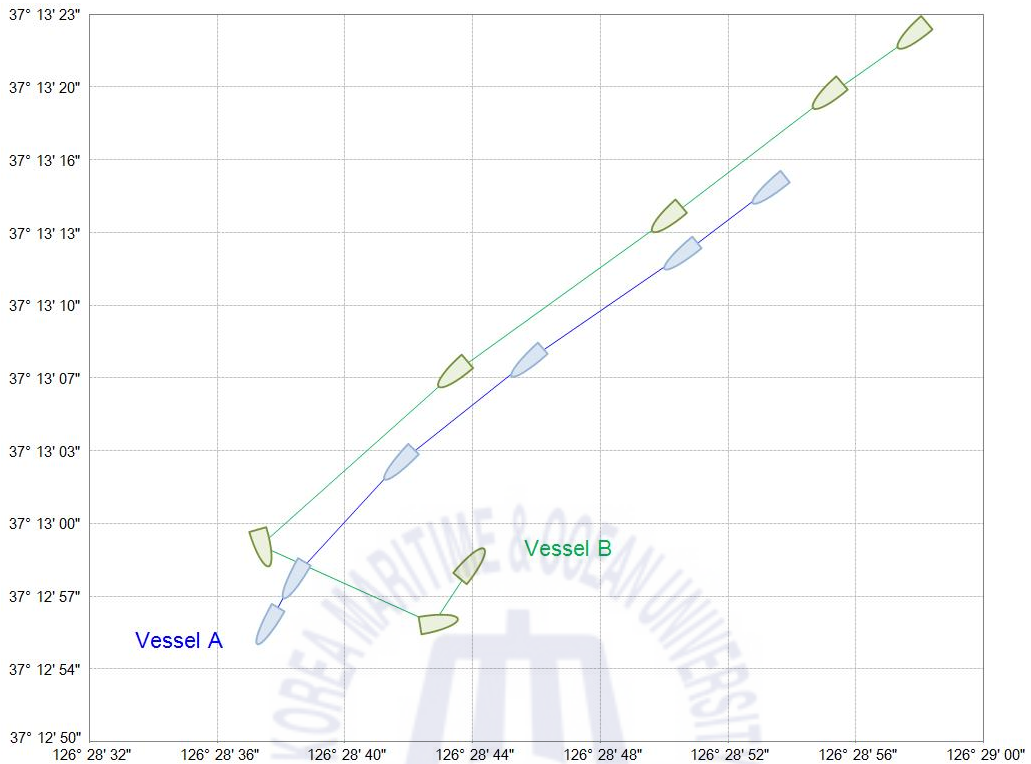
Fig. 39는 Crossing Situation에 대해 WAVE 통신을 이용한 충돌경보 시스템의 선박 항적을 나타낸 것이다.

전체적으로 AIS를 이용한 충돌경보 시스템과 달리 항적이 끊이지 않고 기록이 되어 있다. 선박 A와 선박 B에서는 동일하게 TCPA가 각각 2분, 1분, 0.4분 일 때 알람이 발생하였다.



**Fig. 39** Vessel Track on Crossing Situation by WAVE Comm.

Fig. 40은 선박 B가 선박 A를 추월한 후 선박 A의 항로를 가로지르는 실선 실험을 나타낸 것이다. AIS를 적용한 선박 충돌경보 시스템의 항적을 나타내었으나 충돌경보는 발생하지 않았다.



**Fig. 40** Vessel Track on Overtaking Situation by AIS

선박 A와 선박 B는 짧은 구간 및 시간 동안에 통신을 주고 받았고 선박 B가 선박 A의 항로를 가로질렀지만 AIS를 통해 전달된 신호만으로는 선박 B의 정확한 의도를 알 수 없다. 특히, AIS를 통한 선박 충돌경보 시스템은 통신 송수신 간격이 커서 상대선박이 변침하는 동안 선박의 항적을 추정하기가 어렵고 충돌 알고리즘을 적용하였음에도 불구하고 신호 수신 간격에 따라 충돌상황에서 알람이 발생하지 않았다.

Fig. 41은 Overtaking Situation에 대한 WAVE의 항적 및 경보 발생 상황을 나타낸 것이다. Fig. 24의 AIS 항적과 비교하였을 때 짧은 거리 및 시간에서도 통신의 송수신이 끊이지 않고 항적이 계속적으로 연결되며 선박의 이동형태 등을 명확히 확인할 수 있었다. 또한, 선박 B가 선박 A를 추월하면서 가까이 접



근하고 선박 A의 항로를 가로지를 때 TCPA 0.2분에 충돌경보 판단기준에 의한 충돌경보가 작동되었다. 선박 상호간에 근접하여 나란히 항해를 하고 변침이 급격하게 이루어지는 상황에서 적절한 알람이 발생하여 충돌위험을 운항자에 알려주었다. 이러한 실험결과를 분석한 결과, WAVE 통신기반 소형선박용 충돌경보 시스템의 적정성이 확보된 것으로 판단할 수 있다.

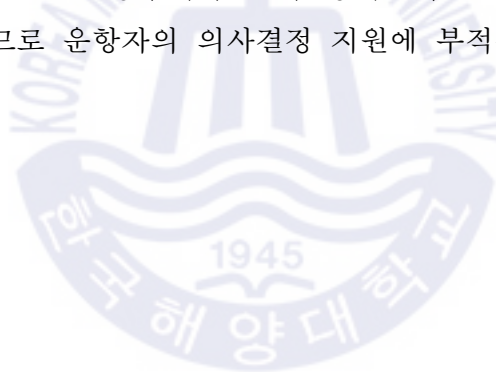


**Fig. 41** Vessel Track on Overtaking and Crossing Situation by WAVE Communication

WAVE 통신을 이용한 충돌경보시스템의 경보 적정성을 평가하기 위해 Crossing 및 Overtaking에 대한 실선실험을 수행하고 그 결과를 도출하였다. 충돌 위험 상황이 발생하였을 때 충돌경보 판단기준에 의한 충돌 연산 및 판단

은 적정하게 이루어지고 운항자에게 표출되기까지의 과정 또한 적정하게 이루어지고 있는 것으로 평가되었다. 특히, WAVE 통신 특성상 정보의 전송주기가 100 msec이므로 근거리에서 순간적으로 변하는 상대선의 방위 및 선속에 따른 충돌 위험을 정확하게 감지하여 운항자에게 적절한 경보를 전달할 수 있는 것으로 평가되었다.

그러나, 실선실험에 따른 AIS 항적분석 결과, AIS 특성상 정보를 송수신하는데 선속에 따라 2초에서 최대 3분까지 시간이 소요되고 중간에 오류가 생겨 신호가 끊길 경우 다시 신호가 전송될 때까지 2배의 시간이 소요되므로, Fig. 40의 Overtaking에 대한 실선실험 항적을 보면 알 수 있듯이 AIS를 통한 통신만으로는 충돌경보시스템을 적용하기에는 한계가 있는 것으로 분석되었다. 특히, 근거리에서 급격하게 Heading이나 Course가 변하는 경우 AIS만 이용한 충돌경보 시스템은 AIS 신호 전송주기가 길어 상대선의 신호를 갱신하는 데까지 많은 시간이 소요되므로 운항자의 의사결정 지원에 부적절한 것으로 검토되었다.



## 5.3 시스템 검증 및 활용방안

### 5.3.1 AIS 및 WAVE 통신기반 시스템 비교 검증

4장에서는 WAVE 통신기반 소형선박의 충돌경보 판단기준 및 충돌회피 시스템을 개발하였고 5장에서는 충돌경보 시스템 적정성을 평가하기 위해 실선 실험을 수행하였다. 선박이 충돌의 상황에서 판단기준에 따른 충돌 경보가 적정하게 전달되는지 입증하기 위해 횡단상황 및 추월상황에 대한 실선실험을 수행하고 그 결과를 도출하였다.

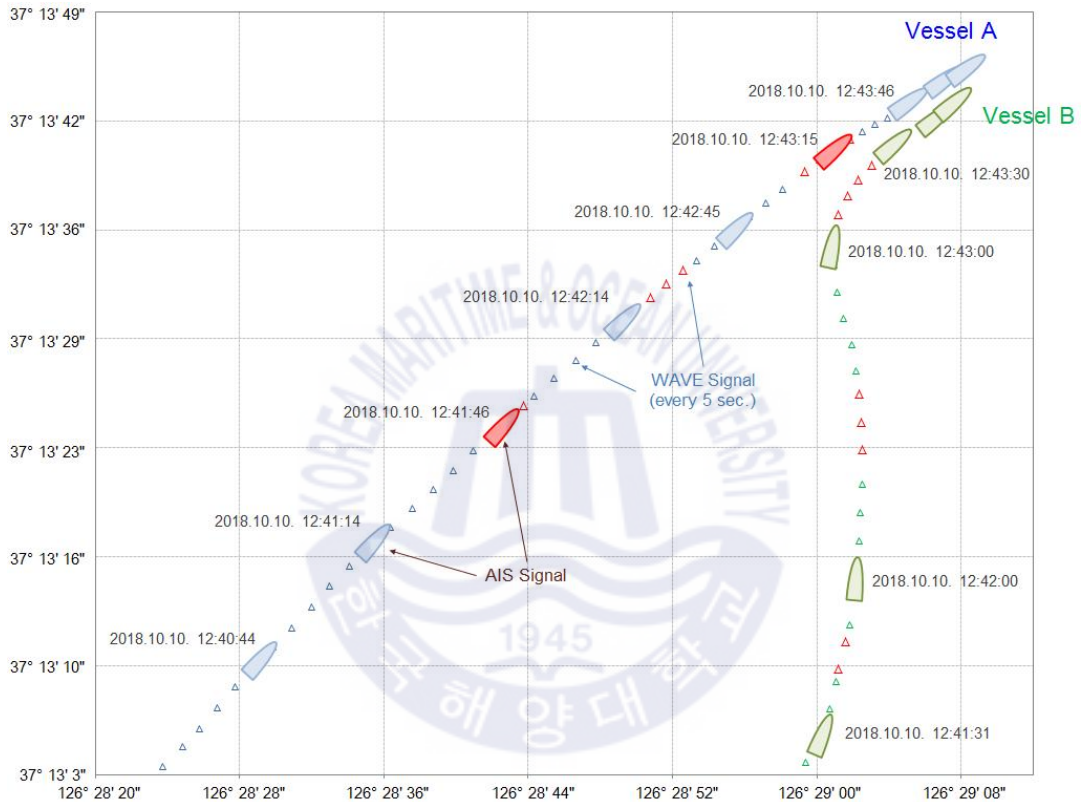
실선실험 결과, 충돌 위험 상황이 발생하였을 때 시스템에 의한 충돌 연산 및 판단은 적정하게 이루어지고 운항자에게 정보가 전달되기까지의 과정 또한 적정하게 이루어지고 있는 것으로 평가되었다.

Fig. 42는 횡단상황에서 WAVE 통신과 AIS 통신에 따른 선박의 항적과 충돌 위험 판단기준에 따른 충돌 위험 정보 상태를 나타낸 것이다.

WAVE 통신기술 특성상 정보의 전송주기가 100 msec이므로 근거리에서 순간적으로 변하는 상대선의 방위 및 선속에 따른 충돌 위험을 정확하게 감지하여 운항자에게 적절한 경보를 전달할 수 있는 것으로 평가되었다. WAVE 통신의 경우 0.1초에 한 번씩 위치 정보가 갱신되기 때문에 그래프 위에 위치를 올려놓으면 선으로 연결되어 데이터를 하나씩 구분하는 것이 어렵다. 따라서, Fig. 42에서는 횡단 상황에 대한 실선실험 결과에서 WAVE 통신의 전송주기를 5초 간격으로 변경 및 위치 정보를 추출하여 그래프에 항적을 입력하였다. 그리고 그 위에 AIS 통신을 통해 갱신된 위치정보 데이터를 중첩시켜 WAVE 통신과 AIS 통신을 비교분석 하였다.

AIS의 경우, 통신 특성상 정보를 송수신하는데 선속에 따라 5초에서 최대 3분까지 시간이 소요된다. A 선박의 경우, 12시 40분 44초에 해당 그래프의 첫 번째 위치 정보가 수신되었고 이후 30초, 32초, 28초, 31초, 30초, 31초 등 약 30초 간격으로 정보가 수신되었다. B 선박의 경우, 12시 41분 31초에 첫 번째

위치 정보가 수신되었고 A 선박과 유사하게 약 30초 간격으로 위치 정보가 수신되었으나 중간에 원인 불명으로 신호가 누락되어 다음 정보가 전달되기까지 1분의 시간이 소요되었다.

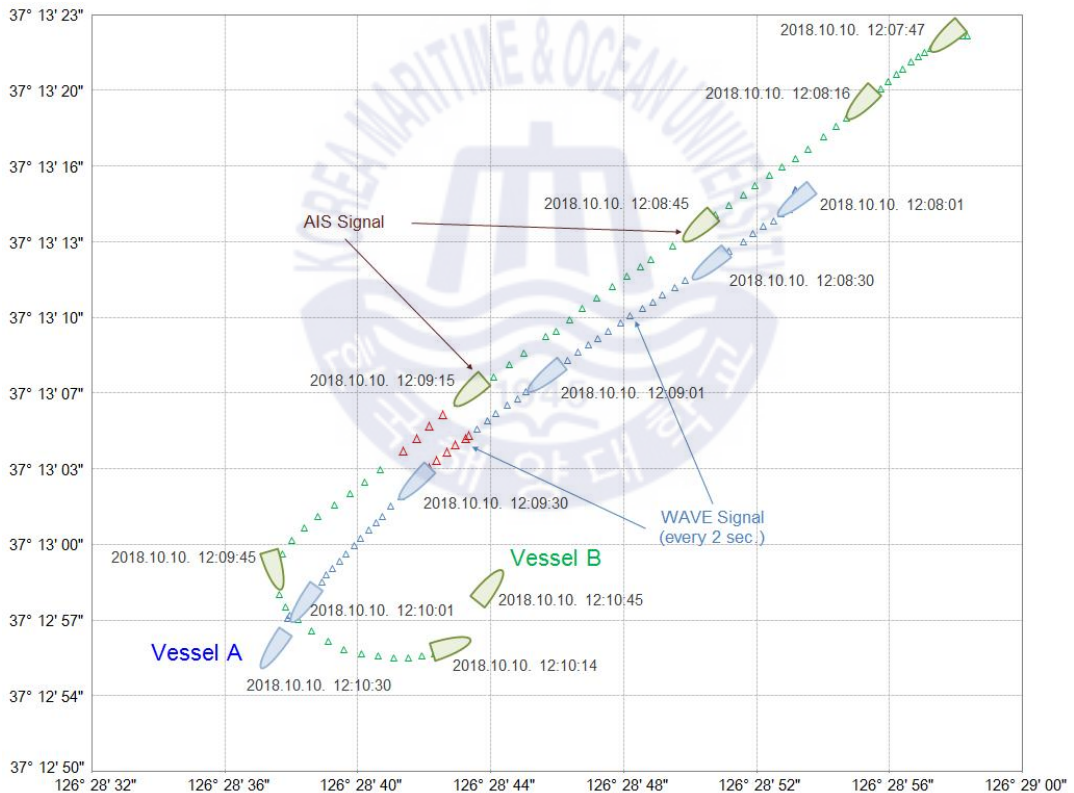


**Fig. 42** Vessel Track on Crossing Situation by WAVE(every 5 sec.) and AIS Communication

WAVE 통신을 이용한 충돌회피 시스템에서는 3번의 충돌위험 경보가 발생하였으나 AIS 통신을 이용한 충돌회피 시스템에서는 선박 A에서 2번, 선박 B에서는 경보가 한 번도 발생하지 않았다. 특히, 선박 B의 경우 신호가 누락된 1분 동안 선박 항적 상 약 600m 정도 항진한 것으로 분석되었다. 통상적으로 선박

이 15 kts로 항해할 경우 1분 동안 약 500m 정도 전진하게 된다. 따라서 AIS를 이용한 충돌경보 시스템으로는 선박 B의 상황에서 선박이 500~600m 이동하는 동안 충돌의 위험이 발생할 경우 운항자에게 충돌의 위험을 경보할 수 없고 적절한 충돌회피의 동작을 취할 수 없을 것으로 판단된다.

Fig. 43은 추월상황에서 WAVE 통신과 AIS 통신에 따른 선박의 항적과 충돌 위험 판단기준에 따른 충돌 위험 경보 상태를 나타낸 것이다.



**Fig. 43** Vessel Track on Overtaking Situation by WAVE and AIS Communication

Fig. 43에서는 횡단상황보다 실험시간이 짧았기 때문에 WAVE 통신의 전송 주기를 2초 간격으로 변경 및 위치 정보를 추출하여 그래프에 항적을 입력하였다. 그리고 그 위에 AIS 통신을 통해 갱신된 위치정보 데이터를 중첩시켜 WAVE 통신과 AIS 통신을 비교분석 하였다.

A 선박의 경우, 12시 8분 1초에 해당 그래프의 첫 번째 위치 정보가 수신되었고 이후 29초, 31초, 29초, 31초 등 약 30초 간격으로 정보가 수신되었다. B 선박의 경우, 12시 7분 47초에 첫 번째 위치 정보가 수신되었고 이후 29초, 29초, 30초, 30초, 29초 등 약 30초 간격으로 정보가 수신되었다. 해당 실험에서는 두 선박이 나란히 항해하다 선박 B가 선박 A를 추월하고 어느 정도 추월이 되었을 때 선박 A의 선수를 90도로 급선회 하여 횡단하는 실험을 진행하였으나 실험이 진행되는 동안 AIS를 통한 충돌정보는 한 차례도 울리지 않았다.

Fig. 43의 실험과 같이 두 선박이 나란히 항해하다 한 선박이 다른 선박의 선수를 급격하게 회전하여 통과하는 경우는 소형선박에서 얼마든지 발생할 수 있는 상황이라고 할 수 있다. 이러한 상황처럼 급박한 충돌의 상황이 발생할 경우 AIS 통신을 이용한 소형선박의 충돌회피 시스템은 AIS 통신주기 등 통신 특성의 한계에 따라 적절하게 충돌회피를 위한 조치를 취하기 어려운 것으로 분석되었다.

종합적으로, 본 연구에서는 선박의 횡단과 추월상황에서 충돌의 위험이 발생하였을 때 WAVE 통신을 이용한 충돌회피 시스템과 AIS 통신을 이용한 충돌회피 시스템의 충돌정보 여부, 항적, 위치정보 전송 주기 등을 비교분석하였다. 선박이 횡단하는 실험에서 WAVE 통신을 이용한 충돌회피 시스템이 3번의 충돌 위험을 감지하여 운항자에게 경보를 주는 동안 AIS 통신을 이용한 충돌회피 시스템에서는 선박 A에서 2번 경보를 주었고, 선박 B에서는 한 차례도 경보를 주지 않았다. 추월상황에 대한 실험의 경우 WAVE 기반 충돌회피 시스템은 각각의 선박에 추월상황에서 충돌위험 경보를 주었으나 AIS 기반 충돌회피 시스템에서는 선박 A와 B 운항자 모두에게 경보를 주지 않았다.

횡단상황에 대한 실험에서 AIS 기반 충돌회피 시스템은 30초에 한 번씩 선박의 동적정보를 갱신하였으며, 특히 선박 B의 경우 원인불명으로 신호가 한 차례 누락되는 상황이 발생하여 1분 동안 동적정보가 갱신되지 않았다. 횡단상황에 대한 실선실험을 수행하는 동안에는 충돌 경보가 한 차례도 발생하지 않았다. 이러한 실험결과로 볼 때 AIS 기반 충돌회피 시스템은 AIS 통신 특성에 따라 정보 전송주기가 길고 데이터 전송이 누락되는 등의 상황이 발생할 수 있으므로 소형선박용 충돌회피 시스템으로는 한계가 있는 것으로 결과 도출되었다.

반면에 WAVE 통신을 이용한 소형선박 충돌회피 시스템의 경우 0.1초마다 선박 위치 등의 정보가 갱신되기 때문에 횡단상황에 대한 실선실험과 추월상황에 대한 실선실험에서 적절하게 충돌경보를 운항자에게 전달할 수 있었다. 또한, 근거리에서 급격하게 Heading이나 Course가 변하여 충돌의 위험이 발생하는 상황에서도 운항자에게 충돌의 위험을 경보로 올려주어 적절한 충돌회피의 동작을 취할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 WAVE 통신 기반 충돌회피 시스템은 정보전송주기가 짧고 데이터의 신뢰성이 높기 때문에 급격하게 변하는 어선 등과 같은 소형선박에도 적절한 충돌경보를 운항자에게 제공할 수 있어 소형선박용 충돌회피 시스템으로는 아주 적합한 것으로 결과가 도출되었다.

## 5.4.2 활용방안 검토

IMO에서는 깨끗하고 안전한 바다의 실현을 위해 e-Navigation을 추진하고 있고 해양수산부는 IMO에서 채택한 e-Navigation에 어선, 연안소형선박 대상 서비스 및 초고속 해상무선통신망을 이용한 서비스 구현을 목표로 한국형 e-Navigation을 추진하고 있다.

LTE-M은 무선 Router를 중심으로 인터넷에 연결하고 인터넷을 이용한 서비스를 제공하는 것이 특징이다. 특히, LTE-M의 가장 큰 특징은 Device to Device 통신이 제공되지 않고 중간에 육상 기지국 등을 거쳐야 한다는 점이다. 이러한 통신 시스템에서는 육상으로부터 오는 통신서비스가 전파 간섭이나 기

지국의 송수신 불량으로 전송이 끊기거나 지연되는 현상이 발생할 수 있다. 또한 이러한 통신 시스템으로부터 자선 및 타선의 정보를 전달하거나 이를 활용한 충돌 회피 등의 서비스를 이용할 경우 서비스 지연이나 데이터 손실 등에 대비하여 반드시 이를 보완할 수 있는 Device to Device 통신 수단이 필요하다.

도로교통에서도 WAVE 등으로 대표되는 V2X 통신을 지원하기 위해 육상에 널리 구축된 LTE 통신 네트워크 적용이 고려되고 있다. LTE와 V2X를 통합으로 활용하는 방식 즉, V2V는 기존 V2X 통신 시스템을 사용하되 V2N과 V2I를 LTE 네트워크로 활용하는 방식이다.

한국형 e-Navigation을 통해 제공되는 LTE-M과 본 연구를 통해서 도출된 WAVE 통신 등을 바탕으로 해상에서의 Ship to Infrastructure 통신은 LTE-M, Ship to Ship 통신은 WAVE 통신을 적용할 경우 매우 높은 시너지를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

또한, IMO에서는 제98차 해사안전위원회(MSC) 등에서 자율운항선박에 대한 개념 등을 정립하고 자율운항선박에 대한 본격적인 논의를 시작하고 있다[31]. 도로교통에서는 자율주행 자동차 개발에 있어서 각종 센서들을 지칭하는 ADAS와 더불어 V2X 통신기술이 핵심적인 부분이라고 할 수 있다. 이러한 V2X 통신에 대표되는 기술이 바로 WAVE 통신기술이다.

자율운항선박은 4단계로 구분하고 있는데 선원이 승선하지 않고 원격으로 제어되는 선박인 3단계와 완전 자율운항선박인 4단계에서는 시스템이 선박의 모든 부분을 제어하는 단계라고 볼 수 있다. 이러한 단계에서 시스템이 먹통이 되거나 통신이 두절되는, 이른바 제어공백이 발생할 경우 선박 충돌사고 등 대형 해양사고로 이어질 가능성이 있다. 자율주행 자동차에서도 마찬가지로 제어공백을 최소화하는 기술의 개발이 필수적인데 이와 같은 이유로 V2X 통신기술이 핵심기술로 연구개발 되고 있다. 현재 대표적으로 사용하고 있는 선박 무선 통신기술은 AIS이며, 위성통신 기술 및 한국형 e-Navigation의 LTE 통신 등이



대표적으로 연구 개발되고 있는 기술이다. AIS의 경우 선박 통항량 증가 및 활용도 증가 등으로 이미 통신 과부하 현상이 일어나 데이터 누락 등 신뢰성에 문제가 있다. 또한, 데이터 통신 주기가 선속 및 Class에 따라 2초 ~ 3분 등이 되기 때문에 자율운항선박에서 가장 중요한 제어공백을 최소화하기에는 적합하지 않은 통신이라 판단된다.

본 연구에서 개발된 WAVE 통신기반 충돌회피 시스템의 실선실험 결과와 같이 WAVE 통신을 이용한 시스템 또는 서비스를 개발할 경우 위치의 공백 즉, 제어 공백 없이 선박을 계속해서 추적할 수 있고 이를 활용하여 자율운항선박을 위한 Ship to Ship 통신 방식에서 다양한 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.



## 제 6 장 결론

### 6.1 연구 결과

최근 5년간 해양사고는 꾸준히 증가하고 있다. 해양사고의 종류 중에 기관손상, 부유물 감김 등과 같이 비교적 피해가 경미한 사고를 제외하고는 충돌사고가 가장 많이 발생하고 있어 그에 대한 대책이 필요할 실정이다. 선종별 충돌사고에서는 여객선, 유조선 등 상선보다 어선에서 충돌사고가 더 많이 발생하고 있으며 사고 원인으로 운항과실이, 세부원인으로는 경계소홀이 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 분석되었다. 2017년 12월 영흥도에서 15명이 사망한 낚시어선-급유선 충돌사고와 같이 인명과 재산 피해를 예방하기 위해서 소형선박의 충돌회피를 위한 시스템의 개발은 반드시 필요하다.

하지만 소형선박에는 공간 자체도 협소하고 경제적인 이유 등으로 인해 법정 장비 외의 장비는 설치하지 않고 있고 AIS 정도만 탑재하고 있는 경우가 많다. 이러한 선박의 경우 자선을 기준으로 하여 일정 범위 내에 들어올 경우 알람을 주는 정도 수준의 충돌경보장치가 활용되고 있으며, 최근 AIS 데이터 트래픽의 증가로 통신서비스 품질 저하 및 슬롯 할당 지연 등의 문제로 AIS 성능 개선과 대체 기술의 개발이 필요한 실정이다.

또한, 어선 등 소형선박은 수심의 제약을 받지 않고 자유롭게 통항하며 급격한 변침과 선속 조절로 순간적인 충돌 위험의 발생 개연성이 높다. 그리고 승선원이 적어 조업 등에 따른 견시 및 선교 당직을 잘 이행하지 않아 충돌의 위험이 발생했을 때 긴급하게 운항자에게 인지시켜줄 수 있는 시스템적인 보완이 필요하다. 특히, AIS는 정보의 전송 주기가 선속에 따라 5초에서 최대 3분까지 시간이 소요가 되는데 어선의 특성에 따라 AIS 정보가 업데이트되기 전에 급박하게 충돌의 위험이 발생할 경우 운항자에 적절한 지원이 어려울 수 있으므로 보다 향상된 통신수단을 바탕으로 소형선박의 충돌회피를 위한 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 기존 통신기술의 현황과 도로교통 등의 통신기술을 분석하여 소형선박의 충돌회피 시스템에 가장 적합한 WAVE 통신기술을 기반으로 충돌회피 시스템을 개발하였다. WAVE 통신은 정보의 전송주기가 100 msec이므로 순간의 정보를 계속해서 업데이트할 수 있고 신호가 한두 개 누락되더라도 0.1 초마다 정보가 계속 갱신되므로 어선 등 소형선의 순간적인 위험상황에 충분한 대처가 가능하다.

본 연구에서의 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 선박 충돌사고를 분석하고 선박 충돌회피에 대해 이론적인 분석 및 충돌회피 시스템 개발을 위한 선행연구와 적용사례를 분석하여 제시하였다.

최근 5년간 해양사고 발생건수 등은 꾸준히 증가하고 있고 기관손상 등 비교적 피해가 경미한 사고를 제외하고는 충돌사고가 가장 많이 발생하고 있다. 선종별로는 어선에서 충돌사고가 가장 많이 발생하는 것으로 분석되었고, 어선의 해양사고 발생 세부 원인 중에 경계소홀이 절반 이상을 차지하고 있으므로, 어선 등의 소형선박을 위한 충돌회피 시스템 개발 필요성을 제시하였다.

둘째, 본 연구에서는 소형선박에서의 충돌을 회피할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 해상교통에서 적용하고 있는 무선통신기술과 도로교통에서 적용하고 있는 무선통신기술을 분석하여 제시하였다.

WAVE 통신기술은 고속으로 이동하는 차량에 최적화된 기술로 도로교통에서는 C-ITS와 자율주행 자동차에 적용하고 있는 우수한 통신기술이다. 육상통신 기술로 대표되는 LTE 통신과 비교할 경우, LTE 통신은 통신료가 WAVE와 비교해 상대적으로 비싸고 기지국을 거치는 통신방식을 취하는 반면, WAVE 통신기술은 차량과 차량 통신인 V2V와 차량과 인프라 간 통신인 V2I를 모두

지원하며 현재 무료로 사용이 가능하다는 점에서 큰 이점이 있다.

소형선박에는 경제적인 이유 등으로 주요 항해장비 중 AIS 정도만 탑재되고 있는데 이러한 AIS를 활용하여 자선을 기준으로 일정범위 내에 선박이 들어올 경우 경보를 울려주는 단순한 시스템 등이 적용되고 있다. 특히, AIS는 정보의 전송 주기가 선속에 따라 5초에서 최대 3분까지 시간이 소요가 되는데 수심의 제약 없이 자유롭게 통항하며 급격한 변침과 선속 조절을 하는 어선의 특성에 따라 AIS 정보가 업데이트되기 전에 급박하게 충돌의 위험이 발생할 수 있다. WAVE 통신은 정보의 전송주기가 100 msec이므로 순간의 정보를 계속해서 업데이트 할 수 있고 신호가 한두 개 누락되더라도 0.1초마다 정보가 계속 갱신되므로 어선 등 소형선의 순간적인 위험상황에 충분한 대처가 가능할 것으로 분석된다.

또한, 어선 등은 생계를 위해 자신이 가지고 있는 어장 정보를 다른 선박에 노출시키는 것을 꺼리기 때문에 AIS 등을 꺼놓는 경우가 있고 좁은 선교에 많은 장비가 뺄뺄하게 들어차 있기 때문에 필요하다고 느껴지지 않는 장비는 전원을 꺼놓고 운항하는 경우가 많이 있다. 이에 따라, 충돌위험 경보가 부정확하거나 시스템에 대한 불신이 쌓이면 다른 장비와 마찬가지로 충돌회피 시스템을 꺼놓고 운항할 우려가 있다. 따라서 어선 등 소형선박에 특화된 신뢰성 있는 시스템의 보급이 필요한 것으로 제시하였다.

셋째, 본 연구에서는 이러한 소형선박에 특화된 신뢰성 있는 시스템의 개발을 위해 도로교통에서 C-ITS와 자율주행 자동차 등에 사용하고 있는 WAVE 통신을 기반으로 소형선박 충돌회피 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 충돌회피 시스템은 수신부, 연산부, 표시부 등으로 구성된다. 수신부에서는 WAVE 통신거리 내에 있는 복수의 타 선박으로부터 선박의 선명, 선종, 선박길이 등 정적정보와 GPS 위치, 선속 등과 같은 동적정보를 수신한다. 수신된 정보를 바탕으로 연산부에서는 DCPA와 TCPA를 따르는 계산 방식으로 위험을 계산한다. 산정된 DCPA와 TCPA를 바탕으로 판단부에서는 미리 입력된 충돌

경보판단 기준에 따른 충돌위험 여부를 판단하여 표시부에 전달한다.

이러한 WAVE 통신 기반 충돌회피 시스템의 개발을 위해 우선 WAVE 해상 통신거리 측정을 수행하였다. WAVE 통신은 도로 교통 환경에 따라 목표 최대 통신거리를 약 1 km로 적용하고 있다. 도로교통에서는 빌딩 등 통신에 있어서의 장애물들이 많으나 해상에서는 도로에 비해 LOS(Line of Sight) 환경이 매우 좋기 때문에 실선 실험을 통하여 실제 해상 환경에서 어느 정도 유효거리를 확보할 수 있는지 검토하였다. 실선 실험을 통한 데이터의 최대 수신 가능 거리를 측정한 결과 최대 8~9 km까지 데이터의 안정적인 전송이 가능한 것으로 분석되었다.

또한, 본 연구에서는 소형선박에 적합한 충돌위험 판단기준을 설계하고 시스템에 적용하기 위해 어선의 특성을 고려한 DCPA 및 TCPA 기준과 운항자 면접조사를 통한 TCPA 기준을 확립하여 충돌위험 판단기준을 설계하였다. 본 시스템에서는 DCPA에 대해서 충돌위험과 관련 없는 알람을 최소화하기 위해 본 선과 타선의 길이의 합을 적용하였다. TCPA는 최소 2분에 선박 끝에서 안테나까지의 거리를 시간으로 환산하여 추가하고 마지막으로 엔진이 정지된 상태나 조업 중 등 선박의 상황을 고려하여 사용자 입력 값을 추가할 수 있도록 하였다.

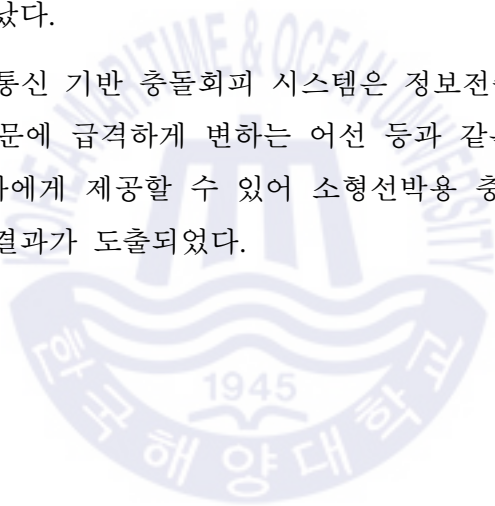
넷째, 마지막 5장에서는 충돌경보 시스템 적정성을 평가하기 위해 실선실험을 수행하였다. 선박이 충돌의 상황에서 충돌경보 판단기준에 따른 충돌 경보가 적절하게 전달되는지 입증하기 위해, Crossing 및 Overtaking Situation에 대한 실선실험을 수행하고 그 결과를 도출하였다.

선박이 횡단하는 상황에서 WAVE 통신을 이용한 충돌회피 시스템이 3번의 충돌 위험을 감지하여 운항자에게 경보를 주는 동안 AIS 통신을 이용한 충돌회피 시스템에서는 선박 A에서 2번 경보를 주었고, 선박 B에서는 한 차례도 경보를 주지 않았다. 추월상황에 대한 실험의 경우 WAVE 기반 충돌회피 시스템은 각각의 선박에 추월상황에서 충돌위험 경보를 주었으나 AIS 기반 충돌회

피 시스템에서는 선박 A와 B 운항자 모두에게 경보를 주지 않았다.

실험에서 AIS 기반 충돌회피 시스템은 30초에 한 번씩 선박의 동적정보를 갱신하였으며, 특히 Crossing 상황에서 선박 B의 경우 원인불명으로 신호가 한 차례 누락되는 상황이 발생하여 1분 동안 동적정보가 갱신되지 않았다. 반면에 WAVE 통신을 이용한 소형선박 충돌회피 시스템의 경우 0.1초마다 선박 위치 등의 정보가 갱신되기 때문에 횡단상황에 대한 실선실험과 추월상황에 대한 실선실험에서 적정하게 충돌경보를 운항자에게 전달할 수 있었다. 또한, 근거리에서 급격하게 Heading이나 Course가 변하여 충돌의 위험이 발생하는 상황에서도 운항자에게 충돌의 위험을 경보로 올려주어 적절한 충돌회피의 동작을 취할 수 있는 것으로 나타났다.

이와 같이 WAVE 통신 기반 충돌회피 시스템은 정보전송주기가 짧고 데이터의 신뢰성이 높기 때문에 급격하게 변하는 어선 등과 같은 소형선박에도 적절한 충돌경보를 운항자에게 제공할 수 있어 소형선박용 충돌회피 시스템으로는 아주 적합한 것으로 결과가 도출되었다.



## 6.2 향후 과제

WAVE 통신은 별도의 기지국 없이 Ship to Ship 통신이 가능하고 본 연구 수행 결과 약 5마일 정도의 통신범위에서 신뢰성이 높은 Data 전송이 가능하기 때문에 충돌, 좌초, 접촉 등 해양사고의 정보와 충돌 회피 등 다방면으로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 e-Navigation의 도입에 따라 해상에 LTE-M 구축이 완료될 경우 LTE-M과 WAVE 통신의 결합 등을 고려할 수 있고 이를 활용한 다양한 서비스의 제공이 가능할 것으로 판단된다.

다만, 기존 V2X 기술을 충분한 검증 없이 바로 해상교통에 적용하는 것은 무리가 있고 충분한 연구개발과 실험을 통해 해상환경에 최적화된 통신 기술로 개량·발전시키는 것이 필요할 것이다. 또한, 자율운항선박 시대가 도래함에 따라 기존 선원 및 선박 운항자 중심에서 선박 및 시스템 중심의 네트워킹을 기반으로 기술개발 및 표준화 등이 이루어질 것이므로, 선박 충돌회피 시스템 외에도 WAVE 통신기술을 활용한 신뢰성 높은 정보의 전송, 통신의 보안, 각종 서비스의 개발 및 활용 등의 표준화 방안이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] 중앙해양안전심판원(2019), 해양사고 통계(2014-2018), [www.kmst.go.kr](http://www.kmst.go.kr)
- [2] 이명기·박영수·강원식(2019), “WAVE 통신을 활용한 소형선박의 충돌예방 알고리즘 구축에 관한 연구”, 해양환경안전학회지, 25(1), pp. 1-8.
- [3] 강원식·김영두·이명기·박영수, (2019), “WAVE 통신을 이용한 소형선박 충돌경보시스템 개발 연구”, 해양환경안전학회지 25(2), pp. 151-158.
- [4] 이상재·정중식·김민엽·박계각(2013), “AIS 통신부하 관리를 위한 실시간 메시지 분석에 관한 연구”, 한국지능시스템학회지, 23(3), pp. 256-261.
- [5] 정중권(2012), “해양교통시설 통합관리시스템을 위한 항로표지용 AIS 표준화에 관한 연구” 고려대학교 대학원, pp. 1-49.
- [6] 김도연·홍태호·정중식·이상재(2014), “AIS 에러 데이터 관리기법에 대한 연구”, 한국지능시스템학회지, 24(3), pp. 310-315.
- [7] 이정수·허욱·김재환·정성욱(2016) “표준 AIS 프로토콜 분석을 통한 보안 AIS 프로토콜 제안”, 한국정보전자통신기술학회논문지, 9(1), pp. 49-57.
- [8] Jeon, J. H. and T. G. Jeong(2016), “Studies on the Improvement and Analysis of Data Entry Error to the AIS System for the Traffic Ships in the Korean Coastal Area”, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 28(6), pp. 1812-1821.
- [9] SMART Navigation Project(2016), Introduction of SMARTNavigation Project and Project activities etc, [www.smartnav.org](http://www.smartnav.org).
- [10] 연구개발특구진흥재단, (2018), “자동차 V2X 시장”, 시장동향보고서.
- [11] M. Muhammad, G. A. Safdar, (2018), “Survey on existing authentication issues for cellular-assisted V2X communication”, Vehicular Communications 12, pp. 50-65.
- [12] 박지수(2018), “자율주행차에 적용 가능한 교차로 V2X 통신 시스템 구축 및 실효성 검증”, 경북대학교 대학원, pp. 23-35.



- [13] 김연아(2015), "WAVE 통신을 이용한 차량 충돌 방지 시스템에 관한 연구", 한국교통대학교 대학원, pp. 1-22.
- [14] Kim, K. B., S. H. Ryu and K. H. Choi(2016), Performance Verification of WAVE Communication Technology for Railway Application, Journal of the Korean Society for Railway, 19(4), pp. 456-467.
- [15] 강원식·전순배·김영두, (2018), "차량용 무선통신기술(WAVE)의 해상적용에 관한 연구", 해양환경안전학회지 24(4), pp. 445-450.
- [16] 김창민·김용기·최중락(2002), "충돌예측 기반 선박 충돌회피모델에 관한 연구", 한국 퍼지 및 지능시스템학회 춘계학술대회, pp. 47-50.
- [17] Koren, Y., and Borenstein, J.(1992), "Potential Field Method and their Inherent Limitation for Mobile Robot Navigation", In Proc. IEEE Robotics Automat., Vol. 3, pp. 1398-1404.
- [18] 현웅근·여일홍(1993), "로봇의 충돌 회피 경로 계획을 위한 새로운 계층적 알고리즘", Trans. KIEE, 42(6).
- [19] 이미라(2017), "뉴로-퍼지 기반의 선박 충돌 회피 조치 분석 시스템 설계", 한국지능시스템학회 논문지, 27(2), pp. 113-118.
- [20] 강창순·누엔띠엔딩(2011), "동적 정보임계거리와 보호시간을 갖는 M2M 기반의 선박 충돌 방지 및 인지 시스템", 텔레커뮤니케이션즈 리뷰, 21(6), pp. 969-985.
- [21] 레당카잉·남택근(2014), "충돌 회피를 위한 소형 선박의 위치 검출 시스템 개발에 관한 연구", 해양환경안전학회지, 20(2), pp. 202-209.
- [22] 김동균(2011), "국제해상충돌예방규칙에 따른 충돌회피 알고리즘에 관한 연구", 목포해양대학교 대학원, pp. 1-51.
- [23] 김성우(2013), "선박 충돌회피 우선순위지정 및 회피모델 연구", 한국산학기술학회, 14(11), pp. 5442-5447.
- [24] 이진석·정민·송재욱(2015), "최근접점 상대방위에 따른 선박충돌위험알고리즘 개발에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 39(6), pp. 493-498.
- [25] Xin Wang, Zhengjiang Liu and Yao Cai(2017), "The Ship Maneuverability based

Collision Avoidance Dynamic Support System in Close-Quarters Situation”, Ocean Engineering, Vol, 146, pp. 486-497.

- [26] Yixiong He, Yi Jin, Liwen Huang, Yong Xiong, Pengfei Chen and Junmin Mou(2017), “Quantitative Analysis of COLREG rules and Seamanship for Autonomous Collision Avoidance at Open Sea”, Ocean Engineering, Vol, 140, pp. 281-291.
- [27] Youngjun You and Keypyoo Rhee(2016), “Development of the collision ratio to infer the time at which to begin a collision avoidance of a ship”, Applied Ocean Research, Vol, 60, pp. 164-175.
- [28] Adan Lopez-Santander and Jonathan Lawry(2017), "An Ordinal Model of Risk Based on Mariner’s Judgement", Journal of the Institute of Navigation, 70(2), pp. 309-324.
- [29] 신현식(2014), “우리나라의 선박통신 운용에 관한 연구(여객선 세월호 침몰사고를 중심으로)”, 한국전자통신학회논문지, 9(6), pp. 633-640.
- [30] 윤현득·신현식(2009), “우리나라의 새로운 전파법 체계개편에 관한 연구”, 한국전자통신학회 논문지, 4(1), pp. 1-6.
- [31] IMO(2017), Report of the Maritime Safety Committee on Its 98th Session
- [32] 광수진·이상선, (2011), "V2X 통신 기술 및 프로젝트 동향", 오토저널 33(5), pp. 24-31.
- [33] 강남선·김지구·이선호(2015), “해상 데이터 통합 관리 및 상호교환을 위한 선박 통신 시스템 개발”, 한국항행학회논문지, 19(5), pp. 354-362.
- [34] 이광일·박준희(2013), “e-Navigation과 선박 통신 융합기술”, 한국통신학회논문지, 30(10), pp. 46-52.
- [35] Song, B. S. and H. Lee(2017), Status and plan of Korean e-Navigation LTE-Maritime test network, SafeNet Forum Technical Report, pp. 145-154.
- [36] 김대해(2016), 항해사를 위한 GMDSS 기초, 다솜출판사, pp. 175-212.
- [37] 노정수, (2009), “AIS 기반 DGPS 서비스에 의한 선박위치정보 정밀도 향상에 관한 연구”, 2009년도 공동학술대회 “해양산업의 녹색성장을 위한 선도전략” 논문집 pp.375-378.

- [38] 한국해양수산개발원, (2018), “자율운항선박, 침체된 해운산업 및 조선 산업의 새로운 성장 동력”, KMI 동향분석 WEEKLY REPORT , 72.
- [39] 정성훈·심준환·최관선·송영창, (2018), “자율운항선박의 공통플랫폼 요소기술 분석 및 설계”, 한국항행학회논문지, 22(6), pp. 507-513
- [40] 정낙주(2017), “e-Navigation을 위한 LTE 기반 초고속 해상무선통신 시스템”, 배재대학교 대학원, pp. 5-27.
- [41] Lim H. T. and Y. G. Cho, (2018), A Study on Policy Making for e-Navigation from the Viewpoint of a Maritime Digital Communication Network
- [42] Song, B. S. and H. Lee(2017), Status and plan of Korean e-Navigation LTE-Maritime test network, SafeNet Forum Technical Report, pp. 145-154.
- [43] Cho, D. J. and H. Lee(2017), Development of Korean e-Navigation business and development of core technology, SafeNet Forum Technical Report, pp. 155-168.
- [44] Choi, W. J. and H. P. Kim(2015), Understanding LTE Mobile Communications, KICS Information & Communication Magazine, 32(9), pp. 27-35.
- [45] 한국산업기술평가관리원, (2019), 이달의 신기술 , 65, pp. 2-23.
- [46] SAE International(2019), [www.sae.org/news/2019/01/sae\\_updates\\_j3016\\_automated\\_driving\\_graphic](http://www.sae.org/news/2019/01/sae_updates_j3016_automated_driving_graphic)
- [47] 오현서·송유승·조한벽, (2013), “V2X 통신 기술 및 서비스 동향”, 정보과학회지 31(1), pp. 445-450.
- [48] Zishan Liu, Zhenyu Liu, Zhen Meng, Xinyang Yang, Lin Pu and Lin Zhang(2016), "Implementation and Performance Measurement of a V2X Communication System for Vehicle and Pedestrian Safety", International Journal of Distributed Sensor Networks, 12(9), pp. 1-14.
- [49] Mohammad T. Kawser, Md. Saymon Fahad, Sakib Ahmed, S. Safwan Sajjad and Hasib A. Rafi(2019), "The Perspective of Vehicle-to-Everything (V2X) Communication towards 5G", International Journal of Computer Science and Network Security, 19(4), pp. 146-155.

- [50] Aymen Sassi, Yassin El Hillali, Atika Revenq, Faiza Charfi, and Lotfi Kamoun(2016), "Enhancing V2X Communication Based on a New Comb-Pilot Estimation Approach", International Journal of Vehicular Technology, 2016, pp. 1-14.
- [51] Korea Communications Agency(2014), V2X Communications, Emerged as a Key Technology in Intelligent Transport System, Trends and Prospects (Trend Focus), Vol. 73, pp. 42-44.
- [52] Lee, S. Y., H. G. Jeong, D. K. Shin, K. T. Lim and M. H. Lee(2011), Performance Evaluation of WAVE Communication System for the Next-Generation ITS, Journal of Korea Navigation Institute, 15(6), pp. 1059-1067.
- [53] Jang, S. H.(2016), Network Simulator Engine Design And Implementation of a Communication Environment Suitable for WAVE, The Graduate School of Hanyang University, pp. 4-6.
- [54] 한동석(2014), "V2X 통신 응용 기술과 발전 방향", 경북대학교 IT·자동차 융합연구센터
- [55] Jiang, D., Taliwal, V., Meier, A., Holfelder, W., and Herrtwich, R(2006), "Design of 5.9 GHz DSRC-based vehicular safety communication", IEEE Wireless Communications, 13(5).
- [56] 황태욱(2012), "IT 융합 기반 V2X 차량 통신 기술개발 동향", 방송통신전파저널, 통권 54.
- [57] Hong, I. K., H. S. Lee and Y. D. Sim(2015), C-ITS and Smart Car Technology Trends and Prospects, The Global Network of Korean Scientists & Engineers, Weekly Technical Trend (2015.6.10.), pp. 2-3.
- [58] Kim, Y. K., Y. S. Song, K. H. Kim and S. H. Chang et al.(2014), Wireless Network For Railway (LTE-R) Final Research Report, Korea Railroad Research Institute.
- [59] Kim, S. H.(2013) Railroad Wireless Communication Network Construction : Status of Domestic and Foreign and Implication, Korea Information Society Development Institute, 25(9), pp.1-39.
- [60] 이진석·김주성(2019), "충돌위험도 평가 모델을 활용한 소형선박에 대한 선박교통관제사의 위험도 분석", 한국항해항만학회지, 43(4), pp. 250-255.

- [61] Kim, H. J. and H. H. Yang(2009), "Implementation of Mobile Node Monitoring System for Campus Vehicle Management", The Journal of the Korean institute of maritime information & communication sciences, 14(4), pp. 999-1004.
- [62] Kim, J. S. and Y. K. Kim(2017), "A Study on Distance Calculation Revision Algorithm using the Filtering of RSSI Measurement Results", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, 17(1), pp. 25-31.
- [63] Kim, S. W.(2013), "A Study on Ship Collision Avoidance and Order of Priority Designation Model", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 14(11), pp. 5442-5447.
- [64] IMO(2002), Report of the Maritime Safety Committee on Its 76<sup>th</sup> Session
- [65] Zhang, L., Q. Meng, Z. Xiao and X. Fu(2018), "A Novel Ship Trajectory Reconstruction Approach using AIS Data", Ocean Engineering, Vol. 159, pp. 165-174.

