

통영 인근 해역 어선위치발신장치의 위치 정확도에 관한 연구[†]

-e-Navigation 단말기의 수신율 및 위치오차 분석-

A Study on the Accuracy of Fishing Boat Location Transmitter
in the Tongyeong Coastal Area

- Analysis of e-Navigation Reception Rates and Location Errors -

정봉규*·박철홍**·최원삼***

Jung, Bongkyu · Park, Cheorhong · Choi, Wonsam

목 차

- I. 서 론
- II. 항적 비교분석
- III. 데이터 분석 및 결과
- IV. 요약 및 결론

Abstract: In the waters near Tongyeong, there are many fishing boats and small ships, and large and small islands and mountains are scattered, so there is a high possibility of GNSS (Global Navigation Satellite System) errors in location transmitters used by fishing boats. These geographical features may also contribute to communication challenges between vessels and land-based stations.

The location data transmitted from the fishing boat's location-sending devices becomes very important data for emergency rescue in the event of a maritime accident. Therefore, it is necessary to assess the accuracy of each ship's location data received from the land base station through indicators such as distance error, transmission period, and reception rate for each terminal.

† 이 연구는 한국해양수산개발원(KMI)의 「2023년 우리바다 현장연구 지원사업」으로 진행되었음.

* 제1저자, 경상국립대학교 부교수.

** 교신저자, 경상국립대학교 해양경찰학 석박사과정. jikocom@hanmail.net.

*** 공동저자, 경상국립대학교 해양경찰학 박사과정.

This study compares the location data from the extensively researched AIS terminal with that of the recently installed e-Navigation terminal. By analyzing the error distance between these two types of terminals on vessels navigating the Tongyeong coastal area, the study seeks to quantify the accuracy of the e-Navigation terminal through statistical analysis of the location data by section. The findings are necessary to identify and rectify location error issues, which should then be incorporated into the policy framework of ongoing supply projects and to unify management across various departments responsible for location-sending devices.

Key words: Fishing Boat Location Sending Device, Ship Position Error, Marine Accident, Emergency Rescue, e-Navigation.

I. 서 론

1. 연구의 목적

해양안전심판원의 2018~2022년까지 5년의 해양사고통계 (국가통계포탈, 2023) 중 선박용도별 해양사고 발생 현황을 보면, 전체 15,997건 중 10,353건이 어선에서 발생하여 65%를 차지하였다. 선박용도별 전체 인명사고는 5년간 사망, 실종 사고가 435척 총 545명, 부상 사고는 1,129척 총 1,933명이 발생하였고, 그중 어선에서 발생한 척수가 1,564척 중 1,218척으로 총 78%를 차지한다.

해양경찰청 해상조난사고 상세데이터 통계 현황(2021)을 보면, 경찰서별 전체 사고 3,882건 중에서 목포서(384건), 통영서(308건), 인천서(292건), 여수서(284건) 순으로 통영서에서 발생한 조난사고가 전체 경찰서 중 2위를 차지하였다.

이렇게 전체 해양사고 중 어선에서 발생하는 건수가 압도적으로 많으며, 목포나 통영, 인천, 여수 등 섬이 많은 지역에서 사고가 자주 발생하였다. 이런 어선 사고 발생 시 신속한 구조를 위해 「어선법」 제5조의2(어선위치발신장치)와 어선설비기준 제191조에 일부

어선을 제외하고 어선위치발신장치 설치에 관한 내용과 기준을 규정하여 실시간 위치정보를 확인 및 저장하도록 규정하고 있다.

어선위치발신장치 종류는 선박자동식별장치(AIS), 초단파대 무선설비(VHF-DSC), 중단파대 무선설비(MF/HF-DSC), 중단파대 무선전화 및 디지털 송수신장치(D-MF/HF), 위성통신장치, 지능형 해상교통정보 서비스 단말기(e-Nav), 선박패스장치(V-pass) 등이 있다.

2021년 2월 이후 건조되는 선박은 추진기가 없는 선박이나 내수면에서만 항해하는 선박 등 일부를 제외하고는 e-Nav 단말기를 장착해야 하며, e-Nav 단말기의 보급률은 저조¹⁾하나, 해수부에서는 현재 진행하고 있는 보급사업으로 2023년 15,500척까지 보급률을 늘리겠다는 계획이다.

「어선법」과 다른 법률에서 규정하고 있는 어선위치발신장치는 단말기마다 GNSS(Global Navigation Satellite System) 기반으로 수신된 위치를 육상기지국으로 송신하면서 설치된 단말기 종류에 따라 각각 다른 파장의 전파와 송신 방법을 사용하다 보니, 단말기마다 고유의 위치 오차가 발생할 수밖에 없으며, 사용하는 전파의 특성상 음영구역이 발생할 수밖에 없다.

AIS 데이터의 기준 연구²⁾와 V-pass 단말기에 관한 연구³⁾는 지속해서 진행되어왔고, e-Nav에 관한 연구⁴⁾도 있었지만, 섬과 산이 많은 통영과 같은 연안 해역에서 e-Nav 단말기와 AIS 단말기의 정확도 비교 연구는 거의 없다.

선박에서 발신하는 위치 데이터는 해상에서 사고가 발생했을 때 긴급출동 및 신속한 구조를 위해서 중요하다. 선박사고가 낮에 발생하였거나 해상기상이 양호한 경우에는 100m 내 거리에서 육안이나 레이더 등 항해계기를 활용하면 조난선박을 찾는 것은 어려운 일이 아니다. 하지만 야간에 선박이 침수 또는 침몰로 인해 선체 일부만 수면 위에 보이는 상태이거나, 안개가 짙고 파고가 높다면 100m 이내 접근하더라도 사고 선박을 찾는 것은 쉽지 않다. 따라서 선박에서 최종 발신한 위치는 구조를 위한 유일한 단서가

1) 해양경찰청 주요통계분석자료(2023년 6월)에 의하면, 전체 어선 약 6만2천 척 중 V-pass 장착 어선은 55,806척(90.5%), VHF-DSC는 21,440척(34.8%), AIS는 8,200척(13.3%), D-MF/HF는 1,461척(2.4%)이며, e-Nav 단말기 장착 어선은 4,800척으로 7.8%에 불과함(일부 어선 중복 설치).

2) 김도연·홍태호·정중식·이상재(2014), pp. 310-315, 김병욱(2010), pp. 164-166, 김재원·정민(2021), pp. 49-68, 서기열·홍태호·박계각·최조천(2005), pp. 1439-1444, 이정수·허욱·김재환·정성욱(2016), pp. 49-57.

3) 김동욱·하민재(2021), pp. 181-203, 박주한·전호균·양찬수(2021), pp. 221-227, 오지현·김광일·정중식·박성용(2014), pp. 323-325, 한재람·김태훈·최은영·최현우(2021), pp. 112-125, B.K.Jung·C.H.Park·W.S.Choi(2023).

4) 민지홍·이승주·조득재·백종화·박현우(2022), pp. 576-584, 정낙주(2017), pp. 1-103, 정중식·김선영(2008), pp. 37-45.

되기 때문에 위치발신장치별 위치 오차를 확인하는 연구는 매우 큰 의미가 있다. 특히 화재나 침수 등의 사고가 발생하면 선내 전원이 꺼지기 때문에 위치발신장치 등 항해계기는 작동하지 않고 사고 이후 바람이나 조류에 의해 선박이 떠밀려 이동하기 때문에 마지막 송신된 위치가 사고 현장 도착 시간과 얼마나 근접하는지에 따라서 구조의 신속성을 결정한다.

통영 인근 해역은 다른 지역과 다르게 크고 작은 섬이 많고, 육지에 높은 산도 있어 VTS나 육상기지국과의 통신상 음영구역 등 문제점이 발생할 수 있는 지역이며, 사용하는 위치발신장치 종류에 따라서 자체 GNSS 오차가 생길 수도 있다.

따라서 현재 어선에서 사용 중인 어선위치발신장치 단말기별 육상기지국에서 수신한 데이터의 거리오차가 얼마나 발생하는지, 어느 주기로 송신 또는 수신되는지, 수신율을 등을 측정하여 위치 오차 정확도를 확인할 필요가 있다.

본 연구에서는 이미 많은 연구가 진행된 AIS의 위치 데이터와 최근 보급하여 설치하고 있는 e-Nav 단말기의 수신 데이터를 비교하여, 통영 연안 지역에서 두 단말기의 위치 오차가 얼마나 발생하는지 확인하고, 수신된 위치 데이터 통계적 분석을 통해 위치 오차를 구하여 단말기의 정확도를 수치화하고자 한다.

이 연구를 통하여 조난선박 발생 시 기존 연구를 통해 수치화된 지역별, 단말기별 위치 오차 정확도를 감안하여 구조 세력이 출동할 위치를 특정하고, 선박 침몰 시에는 인명구조를 위한 수색 범위의 기준 해점을 결정하기 위한 참고 자료가 되고, 다양한 지역에서 여러 종류의 어선위치발신장치에 대한 정확도 연구를 통해 섬과 산이 많은 연안 지역에서 어선 사고 예방 및 긴급구조를 위한 정책 마련의 기초 연구가 되었으면 한다.

2. 연구의 내용과 방법

통영연안 해상교통관제센터(이후 통영연안 VTS)로부터 받은 AIS 항적 자료와 해양수산부에서 받은 e-Nav 항적 자료를 바탕으로, 해양경찰청에서 사고 선박 항적 분석에 사용하고 있는 선박충돌재현시스템⁵⁾의 전자해도상 항적을 분석하는 방법으로 진행하였다.

5) 선박충돌재현시스템 : 해양경찰청에서 국가 R&D사업으로 개발하여 사용 중인 항적분석시스템, 박철홍·정봉규·이남우 (2022), pp. 85-104, 선박해양플랜트연구소 (2014), pp. 1-89.

먼저 II 장에서 통영 인근 해역인 중화항과 욕지도항 사이 22km 거리를 평균 10~11 노트로 왕복하는 여객선 중 AIS와 e-Nav 단말기가 동시 장착된 대성골드호를 실험 선박으로 특정하였고, 2023년 8월 24일 하루 동안 운항한 왕복 2회의 항적을 해양수산부로부터 수신하였다. 당시 해상기상은 남서풍 3~6m/s, 최대파고 0.8m, 평균 파고 0.4m, 파주기 4.2초로 양호한 편이다.

AIS 단말기와 e-Nav 단말기는 사용하는 주파수 및 육상기지국의 위치, 송신 주기 등 많은 조건이 다르므로, 실제 선박에서 송신한 GPS 위치가 육상기지국에 수신되는 과정에서 많은 간섭과 영향을 받게 된다. 특히 통영지역은 섬과 높은 산이 많고 안테나 높이가 낮은 어선이나 소형선박의 통항이 많은 곳으로, 여러 가지 요인에 의한 통신 장애가 발생할 것으로 예상되므로 두 단말기의 송수신 자료를 비교·분석하였다.

어선위치발신장치를 통해 수집된 선박 위치정보는 개인정보 등 민감한 부분이 포함되어 있어 「어선법 시행규칙」에 규정에 따라 사용범위에 제약이 있고, 다양한 선박의 정보나 많은 위치정보 데이터를 받을 수 없는 어려움으로 정량적인 통계를 분석하지 못했다는 점에서 한계가 있다.

항차별 항적 데이터를 시간별, 통계적으로 구분하여, 발신 주기 시간과 데이터 수신율, 위치 오차 간격 등 분석내용을 바탕으로 e-Nav의 GNSS 위치 및 송수신 정확도를 확인하였다.

II. 항적 비교분석

1. 선행연구의 검토

민지홍 외(2022)의 ‘AIS 및 LTE-M 데이터를 활용한 항적 예측 오차 비교 연구’에서 AIS와 LTE-M 항적 데이터의 수신 간격과 이전 항적과의 거리를 계산하여 전처리리를 통해 다음 측정 시각에 대한 항적 예측에 활용한 연구가 있었다.

6) 김동욱·하민재(2021), pp. 181~203.

B.K.Jung 외(2023)의 ‘Accuracy of GNSS Position Stored in Fishing Boat Location Transmitters in Comparison with That of DGPS Position’에서는 AIS, V-pass, ECDIS(Electronic Chart Display and information System, 전자해도정보시스템) 등 위치 수신 간격이 다른 각 단말기의 특성을 고려하여, 평균값과 표준편차를 이용하여 수신율과 위치 오차를 계산하여 정확도를 수치화하였다.

AIS 단말기의 위치 송신은 <표 1>의 class A와 <표 2>의 class B에 따라서 송신 주기가 다르며, 실험 선박의 속력은 0~12kts로 10초(class A)와 30초(class B) 간격으로 송신하게 되어 있다.

표-1. AIS class A의 선박 정보 갱신간격(ITU-R M.1371-4)

| Dynamic Condition of the Ship | Nominal Reporting Interval |
|---|----------------------------|
| Ship at anchor or moored and not moving faster than 3 knots | 3 min |
| Ship at anchor or moored and moving faster than 3 knots | 10 s |
| Ship moving at 0 - 14 knots | 10 s |
| Ship moving at 0 - 14 knots and changing course | 3.3 s |
| Ship moving at 14 - 23 knots | 6 s |
| Ship moving at 14 - 23 knots and changing course | 2 s |
| Ship moving at > 23 knots | 2 s |
| Ship moving at > 23 knots and changing course | 2 s |

자료: 국제전기통신연합 ITU-R M. 1371-4)

표-2. AIS class B의 선박 정보 갱신간격(ITU-R M.1371-4)

| Dynamic Condition of the Ship | Nominal Reporting Interval |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Ship not moving faster than 2 knots | 3 min |
| Ship moving at 2 - 14 knots | 30 s |
| Ship moving at 14 - 23 knots | 15 s |
| Ship moving at > 23 knots | 5 s |

자료: 국제전기통신연합 ITU-R M. 1371-4)

AIS와 e-Nav 단말기의 데이터 송·수신 간격은 시스템별로 다르다. AIS는 선박별 장비 유형 및 이동 속도에 따라 2초에서 3분 간격으로 위치정보를 수집하고, LTE-M은 초

고속 무선 통신망과 GPS 모듈을 기반으로 1초 간격으로 송·수신된 실시간 선박 위치정보를 수신한다(민지홍 외, 2022).

2. AIS와 e-Nav 단말기의 항적 비교

1) 실험 선박 제원 및 항적 자료

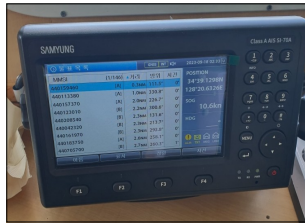
실험 선박은 통영 인근 해역인 중화항과 욕지도항을 왕복하는 (주)대성해운 소속 여객선인 <그림 1>의 대성골드호다. 선박 제원은 총톤수 381ton, 길이 65.6m, 너비 10.4m, 깊이 3m, 흘수 2.1m이며, 장착하고 있는 위치발신 장비 중 AIS(제조사 삼성이엔씨 class A SI-70A, <그림 2>)와 e-Nav(제조사 카네비컴 VM-007, <그림 3>) 단말기를 대상으로 하였다. AIS 단말기에는 GNSS 안테나와 DGPS(Differential global positioning system) 안테나가 연결되어 있으며, e-Nav 단말기에는 GNSS와 LTE-M 안테나가 장착되어 있다. e-Nav GNSS 안테나는 AIS의 GNSS 안테나와는 1.5m, DGPS 안테나와는 6m 거리를 두고 설치되어 있다.

그림-1. 대성골드호



자료: (주)욕지해운

그림-2. AIS단말기



자료: (주)욕지해운

그림-3. e-Nav단말기



자료: (주)욕지해운

항적자료는 <그림 4>와 같이 e-Nav는 해양수산부, <그림 5>와 같이 AIS는 통영연안 VTS로부터 받았으며, 통영연안을 항해하는 여객선 중 2023. 8. 24. 09:00~15:00 사이 통영 중화항과 욕지도항을 왕복하는 대성골드호의 항적을 분석하였다.

그림-4. e-Nav항적자료(해양수산부) | 그림-5. AIS항적자료(통영연안VTS)

| RECEIVED_DT | LA | LO | SOG | COS | GTS | STATUS |
|----------------------------|--------------------|--------------------|-------------|-----|-----|--------|
| 2023/08/24 09:16:19.181306 | 34.63303223486328 | 128.2659149169922 | 5.51990160 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:23.181325 | 34.63301494963244 | 128.26596049235939 | 5.10429761 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:26.181794 | 34.63302230834961 | 128.26597595214844 | 5.12408163 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:29.190738 | 34.63304138183564 | 128.2660369873047 | 2.38389 63 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:32.193396 | 34.633056464625 | 128.26608276387188 | 2.8952 61 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:35.194480 | 34.63308334555964 | 128.26611320125 | 3.05919 62 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:38.195941 | 34.63309602229492 | 128.2661590576172 | 3.41616 60 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:41.202710 | 34.63312911987305 | 128.266235151625 | 3.45264159 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:44.205563 | 34.63315963745117 | 128.2662811279297 | 3.51969 59 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:48.209687 | 34.633201599121094 | 128.266357421875 | 4.2021 55 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:51.212285 | 34.63323974609375 | 128.26641845703125 | 5.19222653 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:54.215643 | 34.63327789306406 | 128.2664442339844 | 4.58565 50 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:16:57.213133 | 34.6333198473633 | 128.26648502736375 | 4.76922149 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:00.220119 | 34.63336444580070 | 128.2666015625 | 5.81606746 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:03.224152 | 34.63341522216797 | 128.26666259765625 | 4.81258 45 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:06.227063 | 34.633460989825156 | 128.26673889160156 | 4.56114 44 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:09.230989 | 34.63351058959961 | 128.2667694891797 | 4.42020142 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:12.233638 | 34.633548726572266 | 128.26680344433594 | 4.15714141 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:15.236295 | 34.6335906824219 | 128.26687622073012 | 3.54531 41 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:18.239294 | 34.63361740112305 | 128.2669219970703 | 2.46623 42 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:21.242443 | 34.633636474609375 | 128.26695251468444 | 2.01422143 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:24.245499 | 34.633655480957 | 128.266977734375 | 1.42591141 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:27.248492 | 34.633669321875 | 128.266987734375 | 0.68078441 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:30.251000 | 34.633683177400234 | 128.266987734375 | 0 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:33.254818 | 34.63365173339044 | 128.2669833222656 | 1.04596130 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:36.257684 | 34.6336324598121 | 128.2669833222656 | 0.57252182 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:39.260320 | 34.6335932763672 | 128.2669833222656 | 2.59697 100 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:42.263771 | 34.63356018064006 | 128.2669833222656 | 2.12597 176 | 0 | 0 | 0 |
| 2023/08/24 09:17:45.266060 | 34.63351058959961 | 128.26698828103562 | 5.621791171 | 0 | 0 | 0 |

자료: 해양수산부

| Time | Name | ID | MMSI | Position Lat,Long | Speed kts | Course deg |
|---------------------|------------------|--------|-----------|----------------------------|-----------|------------|
| 24/08/2023 09:16:09 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.6"N 128°15'57.1"E | 0.2 | 161.6 |
| 24/08/2023 09:16:20 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.8"N 128°15'57.3"E | 1.1 | 55.2 |
| 24/08/2023 09:16:30 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.9"N 128°15'57.7"E | 2.2 | 63.2 |
| 24/08/2023 09:16:40 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'59.1"N 128°15'58.1"E | 2.2 | 63.2 |
| 24/08/2023 09:16:47 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'59.3"N 128°15'58.6"E | 3 | 61.3 |
| 24/08/2023 09:17:00 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°38'00.0"N 128°15'59.6"E | 3.9 | 57.3 |
| 24/08/2023 09:17:10 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°38'00.6"N 128°16'00.4"E | 4.6 | 44.5 |
| 24/08/2023 09:17:20 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°38'01.1"N 128°16'00.8"E | 3.2 | 42.5 |
| 24/08/2023 09:17:30 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°38'01.2"N 128°16'01.0"E | 0.9 | 50.4 |
| 24/08/2023 09:17:40 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°38'01.3"N 128°16'01.1"E | 0.9 | 50.4 |
| 24/08/2023 09:17:48 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°38'00.6"N 128°16'01.0"E | 1.7 | 179.3 |
| 24/08/2023 09:18:01 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'59.5"N 128°16'01.4"E | 3.8 | 164.3 |
| 24/08/2023 09:18:11 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.6"N 128°16'01.0"E | 6.1 | 125.5 |
| 24/08/2023 09:18:19 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.6"N 128°16'04.2"E | 7.3 | 103.9 |
| 24/08/2023 09:18:27 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.4"N 128°16'05.4"E | 7.3 | 103.9 |
| 24/08/2023 09:18:40 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.4"N 128°16'07.7"E | 10.1 | 96.5 |
| 24/08/2023 09:18:48 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.3"N 128°16'09.3"E | 10.1 | 96.5 |
| 24/08/2023 09:19:01 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.2"N 128°16'12.4"E | 10.8 | 91.9 |
| 24/08/2023 09:19:11 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.1"N 128°16'14.6"E | 10.9 | 90.5 |
| 24/08/2023 09:19:19 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.1"N 128°16'16.4"E | 10.9 | 90.5 |
| 24/08/2023 09:19:30 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.1"N 128°16'18.9"E | 11 | 90.6 |
| 24/08/2023 09:19:40 | DAE SUNG GOLD HO | 532143 | 440075380 | 34°37'58.1"N 128°16'20.9"E | 11 | 91.3 |

자료: 통영연안VTS

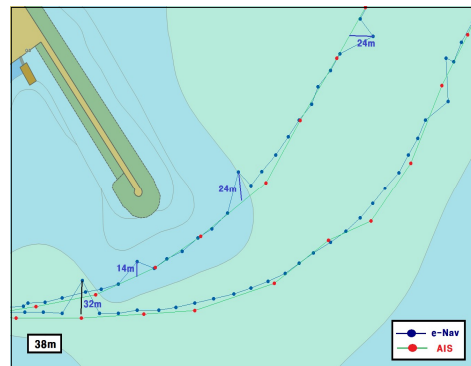
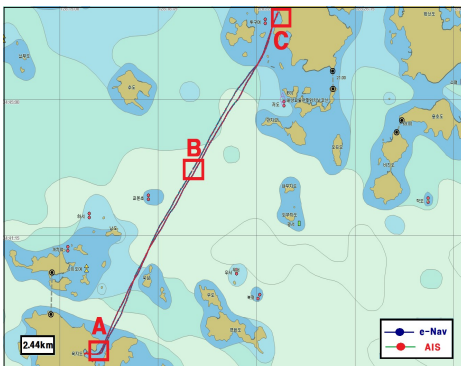
2) 1항차의 항적

1항차는 <그림 6>과 같이 09:16경 실험 선박이 욱지도항을 출항하여 1시간 4분 항해 후 10:20경 통영 중화항 도착, 10:36경 중화항을 출항하여 1시간 9분 항해 후 11:44경 욱지도항에 도착하는 왕복 경로이다.

항해 중 위치 오차가 크게 나타나는 구역(A구역), 일정 시간 항적이 저장되지 않은 구역(B구역), 정박 중 위치 오차가 나타나는 구역(C구역)이 확인되었다.

<그림 7>은 e-Nav와 AIS 단말기 항적을 비교하여 항해 중 e-Nav의 위치 오차가 크게 나타나는 <그림 6>의 A구역이다.

그림-6. 1항차의 전체 항로 | 그림-7. e-Nav 위치 오차(A구역)

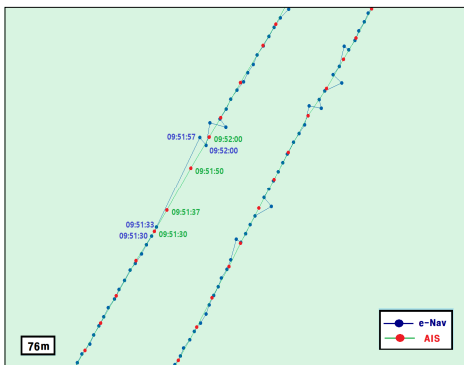


A구역은 실험 선박이 육지도항 방파제 부근을 항해하는 항적으로, e-Nav 단말기에 서 수신된 위치가 항적 추세선⁷⁾에서 갑자기 벗어난 지점을 위치 오차로 정의하고, 항해 추세선에서 벗어난 해점까지의 거리를 측정하여 위치 오차 정도를 비교하였다. A구역에서 가장 위치 오차가 크게 나타난 곳은 약 32m로 나타났다. 시간별 위치를 보면, 3초마다 수신되다가 갑자기 점프하듯이 튀는 현상이 나타나며, 이는 GNSS 오차⁸⁾와 유사한 형태로 나타났다.

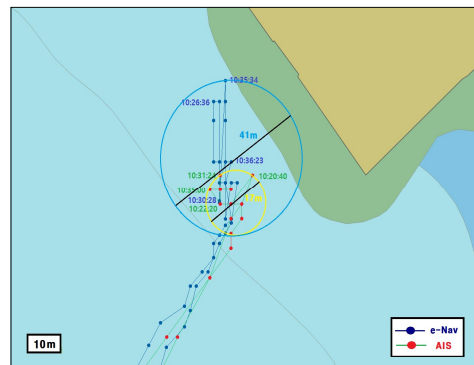
<그림 8>은 <그림 6>의 B구역으로 e-Nav 단말기의 위치가 한동안 수신되지 않은 구역으로 통영 중화항을 출항하여 육지도항으로 항해하는 중간 지점이다. e-Nav 단말기가 09:51:33~09:51:57까지 약 24초간 7회의 항적이 수신되지 않는 전파 미수신 구역이 확인되었다.

<그림 9>는 <그림 6>의 C구역으로 통영 중화항 부두에 입항하여 계류 후 출항하기 전까지 선박의 움직임이 거의 없는 구간으로, 입항한 10:20:30~10:36:22 동안 대지침로(COG)와 대지속력(SOG)의 변화가 없는 약 16분간 항적을 관찰한 것이다.

■ 그림-8. e-Nav 미수신 구역(B구역) ■



■ 그림-9. e-Nav 장애구역(C구역) ■



부두 정박 중 AIS 항적은 7~13초 간격으로 불규칙적이거나 e-Nav는 항해나 표류, 변침 등 선박 움직임과 관계없이 매 3초 간격으로 같았다. 하지만 선박의 움직임은 직경 17m인

7) 항적 추세선 : 시간별 저장된 이전 2개 이상의 항적을 연장하여 나타난 선.

8) GNSS 오차 : 흔히 GPS 오차라고 알려져 있으며, 위성궤도력의 정확도, 위성시계오차, 관측자 환경 존속 오차 등에 따라 발생하는 오차(이용창, 2013),

AIS 항적에 비해, e-Nav 항적은 직경 41m로 북쪽으로 위치가 크게 벗어났다.

3) 2항차의 항적

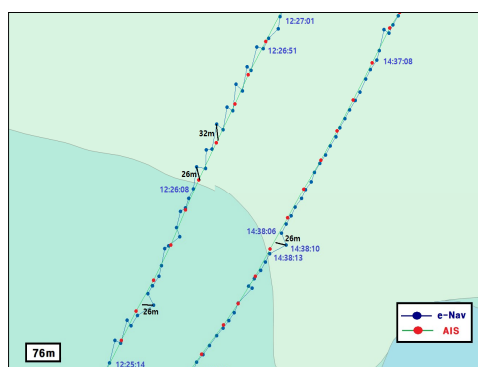
2항차는 <그림 10>과 같이 12:18경 옥지도항을 출항하여 1시간 4분 항해 후 13:22경 통영 중화항 도착, 13:38경 중화항을 출항하여 1시간 7분 항해 후 14:45경 옥지도항 도착하는 왕복 항로이다.

<그림 11>는 e-Nav와 AIS 단말기 항적을 비교하여 e-Nav의 위치 오차가 기존 <그림 7>처럼 갑자기 툭 튀는 형태나 직선 형태로 나타나는 AIS 항적과는 다르게 약 1분 45초간 지속적인 지그재그(Zigzag) 형태로 나타나는 곳으로 <그림 10>의 D구역이다.

■ 그림-10. 2항차의 전체 항적 ■

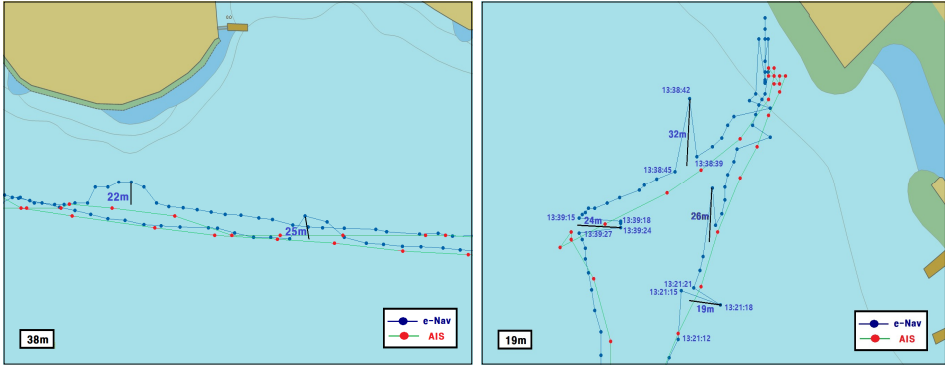


■ 그림-11. e-Nav 지그재그 오차(D구역) ■



<그림 12>는 실험 선박이 옥지도항 부근을 지나는 <그림 10>의 E구역으로, e-Nav 단말기에서 수신된 위치가 직선 형태나 지그재그 형태가 아닌 약 15초간 항로를 벗어나서 항해하다가 다시 돌아오는 타원 형태로 나타나는 곳으로 최대 위치 오차의 거리는 약 25m로 측정된다.

■ 그림-12. e-Nav의 위치 오차(E구역) ■ ■ 그림-13. e-Nav의 위치 오차(F구역) ■



<그림 13>는 <그림 10>의 F구역으로 통영 중화항의 입항 직전과 출항 직후의 항적으로 1항차와 마찬가지로 갑자기 튀듯이 나타나는 GNSS 오차 형태가 나타나며, 최대 위치 오차는 32m다.

Ⅲ. 데이터 분석 및 결과

1. 데이터 수신율

통영 중화항과 욕지도항을 왕복하는 실험 선박의 1일 e-Nav와 AIS 단말기의 위치 오차가 가장 큰 구간과 오차 값을 통계적으로 분석하기 위해서는, 동일 실험 시간 동안 데이터가 일정한 주기로 수신되어야 하는데 두 단말기는 수신 주기가 달라서 직접 데이터 수로 정확도를 비교하기는 어렵다.

따라서 본 절에서는 두 단말기의 수신율을 구하여 전자해도상 항적의 위치 오차가 거의 없는 AIS 항적을 기준으로 평균과 표준편차를 이용하여 위치 오차 값을 계산하였다.

<표 3>과 같이 1항차에서 약 1시간 4분, 1시간 7분 동안 수신된 AIS 데이터 수는 각각 389개와 406개이며, 2항차도 비슷한 시간 동안 386개, 406개이다. class A AIS는 ITU-R M.1371-4 기준에 따라 0~14kts로 항해 시 10초 간격으로 송신되며, 정상적으로

100% 수신된 데이터 수를 목표 값으로 하면, 수신된 시간 간격은 7~13초로 정확히 10초 간격은 아니었으나 전체 수신 데이터 수신율은 100.18%로 나타났다.

표-3. AIS 단말기 수신 데이터

| 구분(AIS) | 시간 | 총시간 | 데이터 수 | 목표치 | 수신율 |
|------------------|-------------------|------------|-------|-------|---------|
| 1항차 (육지도-중화항) | 09:16:09~10:20:50 | 1h 4m 41s | 389 | 388 | 100.25% |
| 1항차 (중화항-육지도) | 10:36:41~11:44:11 | 1h 7m 30s | 406 | 405 | 100.24% |
| 2항차 (육지도-중화항) | 12:18:19~13:22:29 | 1h 4m 10s | 386 | 386 | 100% |
| 2항차 (중화항-육지도) | 13:38:17~14:45:47 | 1h 7m 30s | 406 | 405 | 100.24% |
| 계 | | 4h 23m 50s | 1,587 | 1,584 | 100.18% |

<표 4>와 같이 1항차에서 약 1시간 4분, 1시간 7분 동안 수신된 e-Nav 데이터 수는 각각 1,262개와 1,331개이며, 2항차의 경우도 비슷한 시간 동안 1,272개, 1,340개로 목표치 대비 수신율은 약 98.88%이다.

표-4. e-Nav 단말기 수신 데이터

| 구분(e-Nav) | 시간 | 총시간 | 데이터 수 | 목표치 | 수신율 |
|------------------|-------------------|------------|-------|-------|--------|
| 항차1 (육지도-중화항) | 09:16:19~10:20:27 | 1h 4m 9s | 1,262 | 1,283 | 98.36% |
| 항차1 (중화항-육지도) | 10:36:26~11:44:02 | 1h 7m 36s | 1,331 | 1,352 | 98.45% |
| 항차2 (육지도-중화항) | 12:18:16~13:22:15 | 1h 3m 59s | 1,272 | 1,279 | 99.45% |
| 항차2 (중화항-육지도) | 13:38:11~14:45:42 | 1h 7m 31s | 1,340 | 1,350 | 99.26% |
| 계 | | 4h 23m 15s | 5,205 | 5,264 | 98.88% |

2. 평균값 및 표준편차

실험 선박의 1일 2항차의 e-Nav 단말기의 GNSS 위치 오차가 가장 큰 구간과 오차 값, 수신율을 구하였는데, 실험 시간 동안 AIS와 e-Nav 단말기 위치 송신 주기가 달라서 수신된 데이터 수가 다르므로 위치 오차 값을 구하기 위해서는 B.K.Jung 외(2023)에서와 같이 편차와 표준편차를 계산하여 구하였다.

위도와 경도 값을 구분하였고, 숫자 변화가 없는 도(°) 단위를 빼고 분(') 단위만을 비교하였다. 예를 들어, 식(1)과 같이 위도(e-Nav)가 35.1234°이고, 34의 '도' 부분을 빼면 0.1234가 되고 다시 60을 곱한 값이 7.404로 '분' 값이 된다. '분' 값을 구하는 이유는 '1분' 값이 1해리(NM, Nautical Mile)이기 때문에 거리 오차를 구하기 쉽기 때문이다. 경도도 위도와 같게 계산하였으며, e-Nav의 위도와 경도는 Lat(e), Long(e), AIS는 식(2)과 같이 계산하여 Lat(A), Long(A)으로 표기하였다.

$$\text{Lat(e)} = (34.1234^\circ - 34^\circ) \times 60 = 7.404' \quad (1)$$

$$\text{Lat(A)} = (34.1235^\circ - 34^\circ) \times 60 = 7.41' \quad (2)$$

각 단말기의 오차를 확인하기 위해 위도와 경도 값의 전체 평균 식(3)을 구하였고, 각 터미널의 평균과 전체 평균값을 비교하여 편차 식(4)과 표준편차 식(5), 식(6)을 구하였으며, AIS 위치 평균값을 기준으로 e-Nav의 위치 오차 값(PE)을 비교하기 위해 e-Nav의 평균값에서 AIS 평균값을 빼서 PE의 범위를 결정하는 표준편차 <표 5>를 구하였다.

$$\text{Mean value } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$\text{Deviation} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (4)$$

$$\text{Standard deviation (Lat(A))} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$\text{Standard deviation (Lat(e))} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

표-5. 전체 평균기준 각 단말기별 편차와 표준편차

| 구분 (Data 수) | 위도평균 (분) | 편차 (위도) | 표준편차 (위도) | 경도평균 (분) | 편차 (경도) | 표준편차 (경도) |
|--------------------|-------------|---------|--------------|-------------|---------|--------------|
| AIS 1 (795) | 42.5239 | 4.2138 | 2.0527 | 19.7552 | 4.9276 | 2.2198 |
| e-Nav 1 (2,593) | 42.5526 | 8.3689 | 2.8929 | 19.7808 | 4.8439 | 2.2009 |
| 항차1 평균 | 42.5382 | | | 19.768 | | |
| AIS 2 (792) | 42.4581 | 8.3567 | 2.8908 | 19.8154 | 4.8931 | 2.2120 |
| e-Nav 2 (2,612) | 42.4667 | 8.3058 | 2.8819 | 19.8236 | 4.8568 | 2.2038 |
| 항차2 평균 | 42.5079 | | | 19.7886 | | |

3. e-Nav 위치 오차

전체 데이터 평균을 기준으로 구한 각 단말기의 편차와 표준편차를 구한 <표 5>를 보면, 1항차에서는 e-Nav 위도의 편차 값이 AIS값보다 2배가량 크게 나타났지만, 2항차에서는 차이가 거의 없었다. 이는 e-Nav 위치 1항차 수신율이 98.45%로 2항차 99.26%보다 낮고, 일부 구간에서는 연속 7회의 위치가 수신되지 않는 등 수신 공백이 발생하여 편차와 표준편차 값에 영향을 준 것으로 보인다.

전자해도에서 확인한 두 단말기 항적에서 AIS는 위치 오차가 크게 나타나지 않았고 e-Nav 단말기 항적에서만 갑자기 튀거나 지그재그 형태의 오차가 나타났으므로, <표 5>의 항차별 평균값은 일부 오차가 포함된 값으로 추정된다. 따라서 비교적 수신율이 100%로 양호하고 DGPS 보정으로 위치 오차가 적었던 AIS 위치 평균값을 바탕으로 e-Nav 단말기의 위치 오차 PE(m) 값을 계산하기 위해서 식(7) 및 식(8)과 같이 e-Nav 평균값에서 AIS 위치 평균값을 뺀 후 1마일(NM)의 환산 값 1,852m를 곱하여 미터 단위의 위치 오차 PE(m)를 계산하였다.

PE of Lat(e) = Deviation Lat(e - A) × 1852 (m) (7)

PE of Long(e) = Deviation Long(e - A) × 1852 (m) (8)

식(7)과 식(8)에 의해 구한 e-Nav의 위치 오차 값은 <표 6>과 같이 1항차 위도는 약 53.15m, 경도는 약 47.41m이며, 2항차 위도는 약 15.93m, 경도는 약 15.19m로 계산되었다. 부두에 정박 중인 항적을 제외한 출항에서 입항 시까지 전자해도상 나타난 항적 중 최대 위치 오차 값은 32m로 측정된다.

■ 표-6. AIS 데이터로 계산한 e-Nav의 위치 오차값 ■

| 구분(항차 수) | 위도 위치 오차 값 | 경도 위치 오차 값 |
|------------|------------|------------|
| e-Nav(1항차) | 53.1524 m | 47.4112 m |
| e-Nav(2항차) | 15.9272 m | 15.1864 m |

본 연구에서는 DGPS 안테나로 보정된 AIS 항적과 GNSS 안테나를 사용하는 e-Nav 단말기의 항적을 전자해도상 비교하면서 위치 오차 정도를 확인하였고, 통계상 평균값과 편차, 표준편차 값을 이용하여 두 단말기 위치 오차의 정확도를 수치화하여 나타내었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 해양사고 발생 시, 사고 어선의 위치를 확인하여 신속히 구조할 수 있는 장비인 어선위치발신장치의 정확도에 관한 연구를 위해서, 통영 연안 해역을 통항하는 어선에 설치되어 있는 어선위치발신장치 중 현재 보급·설치 사업을 활발히 진행하고 있는 e-Nav 발신기에 대한 항적 자료를 DGPS 보정된 AIS 단말기의 위치와 통계적으로 분석하여 위치 오차를 검증하였고 연구 결과 내용을 요약하면 아래와 같다.

첫째, 통영 연안 해역에서 어선위치발신장치 e-Nav 단말기가 송신한 위치 데이터는 1초 또는 3초⁹⁾ 간격으로 해양수산부에서 관리하는 저장시스템에 저장되며, 속력이나 변침 등에 따라서 송신 간격이 다른 AIS 단말기와는 사용하는 전파나 기지국이 구분되어 있다. 3초 간격보다는 1초 간격으로 항적이 저장되면 선박 움직임과 실시간 위치를 더욱 자세히 알 수 있지만, 차후 보급률이 높아지면 단말기 통신상 부하 문제와 관리부서 저장

9) 해수부 관계자에 의하면, 단말기의 기종이나 기지국의 위치에 따라서 1초 또는 3초마다 수신되어 서버에 저장된다고 함.

서버의 한계 등의 문제가 발생할 수 있다.

둘째, e-Nav와 AIS 단말기의 위치 데이터를 비교해 보면, 1항차 2시간 13분, 2항차 2시간 11분으로 총 4시간 23분 동안 수신된 데이터 수는 AIS 단말기가 1,587개(평균 수신 약 10초 간격)로 수신율은 100.2%이며, e-Nav 단말기는 5,205개(평균 수신 약 3초 간격)로 수신율은 98.4%로 나타났다.

셋째, 전자해도에 AIS와 e-Nav 단말기의 항적을 표시하면, 비교적 수신율이 양호하고 보정된 DGPS 안테나를 사용하는 AIS 항적을 기준으로 GNSS 안테나를 사용하는 e-Nav의 위치를 비교하여 위치 오차를 측정하였으며, 중화항과 육지도항을 입·출항하는 구간에서 약 32m(안테나 위치 차이 6m를 감안하면 26m)로 최대 위치 오차가 나타났다. 또한 중화항과 육지도항 중간 항로에서 약 24초간 7회의 항적이 수신되지 않는 전파 미수신 구역이 확인되었다.

해상에서 26~32m의 위치 오차는 큰 오차라고 볼 수 없지만, 24초(12knots로 운항 시 약 150m 이동) 동안 전파 미수신 구역은 짙은 안개로 인한 기상 불량 시나, 침몰로 사고 선박이 수면상 보이지 않을 때는 수색 구역 설정 및 수중수색 지점 결정에 어려움이 생길 수 있다. 여러 종류의 어선위치발신장치 정확도에 관한 추가 연구를 통해 수치화된 단말기별 위치 오차를 고려한 구조 세력의 출동 위치 및 선박 침몰 시에는 수중수색 범위를 결정하기 위한 참고 자료로 활용할 수 있을 것이다.

해양수산부는 제1차 지능형 해상교통 정보서비스 기본계획(2021~2025)에 따라 2023년 7월부터 5차 바다 내비게이션 단말기 보급사업을 추진하고 있으며, 원양 및 내수면 어선을 제외하고는 톤수 제한 없이 구입 및 설치비용의 50%를 지원하는 정책을 진행하고 있다. 이용자의 의견과 권역별 간담회 요구사항을 수렴하여 영상통화 기능을 활용한 해상응급처치 지원 서비스와 선종별 서비스¹⁰⁾를 개발하여 선박 종사자의 해상복지를 강화하는 데 중점을 두고 있다.

하지만, 이런 차별화된 선종별 기능보다 더 기본적이고 중요한 것은 선박 위치정보의 정확도이다. 선박 위치가 정확하지 않다면 긴급구조를 위해 출동하여도 사고 선박을 찾을 수 없어 수색 및 구조에 시간이 지체될 수밖에 없으며, 충돌 및 좌초를 예방하기 위한

10) 선종별 서비스 : (어선)어장정보 최신화, (예도선)도선이력카드 작성, 공유기능, (유조선) 통항금지해역 알람, (여객선) 항로이탈 원격모니터링, (레저선)레저활동 금지 구역 안내 등

알람기능도 무의미하게 된다. 따라서 본 연구와 같이 선박에서 송신하는 위치의 지역별, 단말기별 정확도를 확인하는 연구는 꼭 필요하다.

부수적인 다른 기능을 추가하는 것보다 현재는 별도 DGPS 안테나를 장착하여 위치 오차를 보정할 수 없는 문제점을 개선하기 위해 육상의 여러 기지국 위치를 활용하여 GNSS 오차를 보정하는 프로그램을 개발하는 등 선박위치정보 정확도를 높이기 위한 연구가 보급사업 정책에 우선되어야 할 것이다.

현재 어선에 장착된 어선위치발신장치는 톤수 및 선박 크기, 조업 장소 등에 따라 단말기 종류가 다양하고 사용하는 주파수대도 제각각이고, 단말기 신호를 수신하는 육상 기지국 및 관리하는 주체도 달라서 관리부처마다 별도의 연구개발을 추진¹¹⁾하고 있다.

위치 오차가 가장 적고 정확한 단말기를 찾기 위해서는 본 연구와 같이 지역별 항적 데이터 위치 정확도를 수치화하여 나타내는 연구가 필요하며, 지역별 특성에 맞는 정밀한 단말기를 찾아서 통합적으로 관리할 수 있는 부처로 일원화하는 방안이 필요하다.

| | |
|--------|--------------|
| 투고일 | 2023. 11. 27 |
| 1차 심사일 | 2023. 12. 11 |
| 게재확정일 | 2024. 01. 02 |

11) 해양수산부 첨단해양교통관리팀에서 e-Nav 개선 및 보급사업, 해양경찰청에서 V-pass 음영구역 관련 용역, 수협은 D-MFHF 개발용역을 추진하는 등 각각 다른 부처에서 다른 위치발신장치 연구개발을 추진하고 있음.

■ ■ 참고문헌

1. 김도연·홍태호·정중식·이상재. 2014. 「AIS 에러 데이터 관리기법에 대한 연구」. 『한국지능시스템학회』, 제24권 제3호, pp. 310-315.
2. 김동욱·하민재. 2021. 「어선위치발신장치의 정보 수집 및 이용에 대한 고찰」. 『한국해양경찰학회보』, 제9권 제3호, pp. 181-203.
3. 김병욱. 2010. 「AIS 슬롯 간섭에 의한 메시지 오류확률 분석」. 『한국항해항만학회 추계학술대회』, pp. 164-166.
4. 김재원·정민. 2021. 「AIS 데이터 신뢰성 개선에 관한 기초 연구」. 『한국해양경찰학회보』, 제11권 제4호, pp. 49-68.
5. 민지홍·이승주·조득재·백종화·박현우. 2022. 「AIS 및 LTE-Maritime 데이터를 활용한 항적 예측 오차 비교 연구」. 『한국항해항만학회지』, 제46권 제6호, pp. 576-584.
6. 박주한·전호균·양찬수. 2021. 「HMM을 이용한 어선 활동 예측 기법의 선박패스(V-Pass) 적용」. 『한국연안방재학회지』, 제8권 제4호, pp. 221-227.
7. 박철홍·정봉규·이남우. 2022. 「선박범죄 입증을 위한 항적분석시스템 활용에 관한 연구」. 『한국해양경찰학회』, 제12권 제2호, pp. 85-104.
8. 서기열·홍태호·박계각·최조천. 2005. 「AIS의 운용현황과 전파환경에 대한 분석 연구」. 『한국정보통신학회』, 제9권 제7호, pp. 1439-1444.
9. 선박해양플랜트연구소. 2014. 「해양특화 선박충돌재현시스템 개발」. 『연구용역 보고서』, pp. 1-89.
10. 오지현·김광일·정중식·박성용. 2014. 「어선항적에 기초한 위험성 분석에 관한 연구」. 『학술대회 논문집』, pp. 323-325.
11. 이용창. 2013. 「GNSS에 의한 절대측위의 정확도 해석」. 『대한토목학회』, 제33권 제6호, pp. 2601-2610.
12. 이정수·허욱·김재환·정성욱. 2016. 「표준 AIS 프로토콜 분석을 통한 보안 AIS 프로토콜 제안」. 『한국정보전자통신기술학회』, 제9권 제1호, pp. 49-57.
13. 정낙주. 2017. 「e-Navigation을 위한 LTE 기반 초고속 해상무선통신 시스템」. 박사논문, pp. 1-103.

14. 정중식·김선영. 2008. 「E-Navigation 서비스 제공을 위한 통신망 아키텍처의 설계」, 『한국항해항만학회지』, 제32권 제1호, pp. 37-45.
15. 한재림·김태훈·최은영·최현우. 2021. 「선박패스(V-Pass) 자료를 활용한 어업활동 지도 제작 연구」, 『한국지리정보학회지』, 제24권 제1호, pp. 112-125.
16. B.K.Jung·C.H.Park·W.S.Choi. 2023. Accuracy of GNSS Position Stored in Fishing Boat Location Transmitters in Comparison with That of DGPS Position. J. Mar. Sci. Eng, 11(7), 1277.
17. 국가통계포털, 2023, 「해양사고통계」, <https://kosis.kr/> (2023년 11월 17일)
18. 해양경찰청. 2021. 「해상조난사고 상세데이터 통계 현황」.
<https://www.data.go.kr/data/15098854/fileData.do/> (2023년 11월 27일)

