

NDGNSS 인프라를 활용한 국내 해상 백업 PNT 서비스 연구

한영훈* · 이상헌** · 박슬기*** · 황태현**** · † 박상현

*,**,***,****,† 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

A Study on Backup PNT Service for Korean Maritime Using NDGNSS

Young-Hoon Han* · Sang-Heon Lee** · Sul-Gee Park*** · Tae-Hyun Fang**** · † Sang-Hyun Park

*,**,***,****,† Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Korea

요 약 : 4차 산업혁명 사회에서의 PNT(Position, Navigation, and Timing) 정보의 중요성은 과거와는 또 다른 의미를 가진다. 자율 주행차, 자율 운항선박, 스마트그리드 그리고 국가 주요 기간시설에서는 PNT 정보의 고정확성 이외에도 지속가능하고, 신뢰할만한 서비스를 요구하고 있다. PNT 정보를 제공하는 가장 대표적인 시스템인 위성항법시스템은 지구 대기 밖 위성으로부터 신호를 수신하므로 수신 신호전력이 낮고, 민간신호의 경우 신호구조가 공개되어 있다. 따라서 비의도적 또는 의도적인 간섭이나 해킹에 취약하다. 사용자 관점에서 적은 비용으로 높은 성능의 PNT 정보를 쉽게 획득할 수 있는 위성항법시스템은 해킹의 취약성 때문에 이에 대한 보완이 요구된다. 이에 따라 응용분야별로 다양한 연구가 진행되고 있으며, 본 논문에서는 기회신호 측면에서 현재 구축, 운영 중인 해상항법 및 통신 인프라를 활용한 R-Mode(Ranging Mode) 기술에 대해 다룬다. 이를 위하여 현재 전국망의 중파 비컨 기반 보강정보를서비스하고 있는 NDGNSS(Nationwide Differential Global Navigation Satellite System) 인프라에 대해 알아보고, 시뮬레이션을 통하여 국내 해상분야에서의 백업 PNT 기술로서의 가능성을 확인한다.

핵심용어 : GNSS 백업, R-Mode, NDGNSS, 해상 PNT 서비스, Resilient PNT, 중파 비컨, eLoran

Abstract : The significance of PNT information in the fourth industrial revolution is viewed differently in relation to the past. Autonomous vehicles, autonomous vessels, smart grids, and national infrastructure require sustainable and reliable services in addition to their high precision service. Satellite navigation system, which is the most representative system for providing PNT information, receive signals from satellites outside the earth so signal reception power is low and signal structures for civilian use are open to the public. Therefore, it is vulnerable to intentional and unintentional interference or hacking. Satellite navigation systems, which can easily acquire high performance of PNT information at low cost, require alternatives due to its vulnerability to the hacking. This paper proposed R-Mode (Ranging Mode) technology that utilizes currently operated navigation and communication infrastructure in terms of Signals of Opportunity (SoOP). For this, the Nationwide Differential Global Navigation Satellite System (NDGNSS), which currently gives a service of Medium Frequency (MF) navigation signal broadcasting, was used to validate the feasibility of a backup infrastructure in domestic maritime areas through simulation analysis.

Key words : GNSS Backup, R-Mode, NDGNSS, Maritime PNT Service, Resilient PNT, MF Beacon, eLoran

1. 서 론

2017년 6월 영국에서는 GNSS(Global Navigation Satellite System) 서비스 중단이 런던 경제에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 5일간의 GNSS 고장 시 약 53억 파운드의 손실을 예상하였다(London Economics, 2017). 2018년 3월 유럽연합에서 발표한 유럽전파항법계획(European Radio Navigation Plan) 보고서는 GNSS의 취약성을 지적하고, 특히 국가 주요 인프라에 대한 백업 PNT(Position, Navigation, and Timing) 소스의 필요성을 언급하였다. 또한, 각 응용분야별로 적합한 백업 PNT 기술에 대한 고민과 선택을 강조하였다(European Commission, 2018). 이외 미국에서도 백업 PNT 또는

resilient PNT에 대한 필요성을 연방전파항법계획(Federal Radio navigation Plan) 등을 통하여 지속적으로 제기하고 있다(U.S., 2017). 우리나라는 GPS에 대한 간섭이나 교란에 의한 사이버공격이 발생했던 국가로서, 조업을 나간 어선이 위치를 잃거나 조업을 나가지 못하는 등의 피해가 있었다(Hong, 2016).

4차 산업혁명 시대에 접어들면서 PNT 정보에 대한 중요성은 더욱 증가하였으며, 과거 높은 정확도를 얻기 위한 요구뿐만 아니라 신뢰할 수 있고 지속가능한 정보를 필요로 한다. 특히, 해양분야에서는 e-Navigation, 자율운항 선박 등의 연구가 활발해짐에 따라 해사안전의 중요성이 커지고, 좀 더 강인하고 유연한 해상 PNT 서비스에 대한 요구가 더욱 증가할 것으

† Corresponding author : 정회원, shpark@kriso.re.kr 042)866-3681

로 기대한다. 하지만 이와 같은 요구에도 불구하고 PNT 정보에 대한 GNSS의 의존도는 점차 증가하고 있다. 전 세계 주요 국가에서는 PNT 정보에 대한 GNSS 의존성에 대한 고민과 함께 백업 PNT 기술에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있으며, 각 분야별로 적합한 대안을 찾기 위해 노력하고 있다.

미국에서는 GPS 공격에 따른 피해를 우려하여 백업 PNT 시스템을 구축하는 것을 목표로 CERDEC(Communications - Electronics Research Development and Engineering Center)에서 A-PNT(Assured Positioning Navigation and Timing)를 개발 중에 있다(Charles, 2016). 또한, 미국은 고출력의 저주파 지상파항법시스템 중 하나인 Loran-C(Long range navigation)를 eLoran(enhanced Loran)으로 고도화하고 테스트베드를 구축하여 eLoran을 국가 주요 인프라의 백업 시각동기 소스로 활용하기 위한 시험을 진행 중에 있다(RNTF, 2018).

영국은 브렉시트 이후 독자적인 백업 PNT 체계를 갖추고자 노력하고 있다. 영국은 eLoran 테스트베드를 구축하고 해상환경에서의 GNSS 백업시스템으로서 eLoran의 가능성을 확인하였다(William et al, 2013). 긍정적인 결과였음에도 불구하고 eLoran 사업은 지속되지 못하였다. 영국의 GLA(General Lighthouse Authority)는 해상사용자 측면에서의 선박용 백업 PNT 시스템인 BinoNav 기술을 개발 중에 있다(Martin, 2018).

유럽연합에서는 Galileo와 EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service)를 포함하는 EGNSS(European GNSS)를 통해 GPS 보다 상대적으로 강한 서비스 제공이 가능함을 언급하였다(E.C., 2018). 해양분야에서는 기존의 해상교통안전인프라를 활용한 기회신호측면에서의 R-Mode(Ranging Mode) 연구개발이 진행되었다. R-Mode는 DGNSS 중파비컨 인프라 및 AIS와 같은 기존 해상통신인프라를 활용하여 거리측정이 가능하도록 개선함으로써 측위가 가능하다(Interreg, 2017).

우리나라에서는 2016년 해양수산부의 지원으로 첨단지상파항법시스템(eLoran) 기술개발 연구사업을 진행 중에 있다. 본 사업에서는 신규 eLoran 송신국을 구축하고, 기존의 포항, 광주 송신국을 활용하여 두 곳의 테스트항만에서 보정기준국 반경 30 km 이내에서 측위정확도 20 m 이내 만족을 목표로 한다(Seo et al., 2018).

해양분야에서의 백업 PNT 기술로서 eLoran은 국내외적으로 주목받고 있다. 하지만 Loran-C를 eLoran으로 고도화하고, 특히 Loran 인프라가 없는 국가의 경우 송신국을 새로 구축해야하므로 비용 및 유지보수 측면에서 어려움이 있다. 또한 eLoran은 100 KHz 저주파 펄스신호를 고출력으로 방송하는 시스템으로 송신 안테나가 높고, 이에 따라 넓은 부지를 필요로 한다. 연구결과에 따르면 우리나라 전 해역을 20 m 이내의 정확도로 서비스하기 위해서는 최소 6개소의 송신국이 필요하며, 다수의 보정기준국이 설치되어야 한다(Lee et al., 2013).

우리나라의 경우 넓고 고른 부지를 확보하는데 지리적으로 어려움이 많으며, 따라서 신규 송신국을 추가적으로 구축하는데 한계가 있다.

eLoran은 의도적인 간섭이 매우 어렵고 안정적으로 PNT 정보를 제공할 수 있지만 국내에서는 앞서 언급한 어려움이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 국제해사기구에서 권고하는 해상 백업 PNT 시스템 및 서비스 요구사항을 국내에서 만족하기 위한 방안으로 R-Mode 기술을 제안한다. R-Mode는 기존의 해상교통안전 통신 인프라를 거리측정 가능하도록 보완하여 측위·항법 서비스를 제공하는 기술이므로 주파수와 안테나 등을 공동 활용할 수 있는 장점이 있다. R-Mode 기술은 과거에도 언급된 바 있으나 최근 백업 PNT 기술에 대한 요구가 증대함에 따라 유럽연합에서 2012년부터 본격적인 연구를 수행하였으며 수평위치정확도 10 m 제공 가능성을 확인하였다. 우리나라와 같이 국토면적에 제한이 있거나, 해상교통안전 인프라가 잘 구축되어 있는 환경에서 R-Mode는 GNSS 위협에 대한 현실적인 대안이 될 수 있으며 국제해사기구의 요구사항도 만족할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 국내 해상환경에서의 백업 PNT 서비스 기술로 R-Mode의 활용가능성 확인을 위하여 국립해양측위정보원에서 운영하고 있는 NDGNSS 인프라를 고려하였다. NDGNSS 인프라의 경우 우리나라 전 해역을 서비스하고 있으므로 R-Mode 신호원으로서 적합하다. NDGNSS 기반의 R-Mode 적용 타당성 평가를 위하여 본 논문에서는 기준국의 기하학적 분포를 분석하고 선행연구결과 내용을 활용하여 국내 R-Mode 사용자의 거리측정치 오차를 예측하며, 이로부터 예상 측위정확도 및 서비스영역을 분석한다.

2. R-Mode 연구동향

2.1 유럽의 ACCESEAS 사업

ACCSEAS(Accessibility for Shipping, Efficiency Advantages and Substantiality) 프로젝트는 유럽연합 EU의 지역 간 협력프로그램인 Interreg의 일환으로 2012년부터 2014년까지 3년간 수행된 프로젝트로서 기회신호의 접근방법을 통해 중파 비컨 DGNSS, AIS(Automatic Identification System), eLoran을 활용한 R-Mode의 예측 정확도로 낮의 경우 대상 지역에서 10 m 이내의 성능을 보인다.

2.2 유럽의 발틱 R-Mode 사업

유럽연합은 ACCESEAS 사업을 통해 R-Mode의 기술적 타당성을 확인하였으며, 후속 사업으로 실험해역에서의 성능검증을 위한 R-Mode 발틱 사업을 진행 중에 있다. R-Mode 발틱 사업은 2017년 하반기에 착수하여 2020년까지 발틱해에 테스트베드를 구축하고 국제해사기구에서 요구하는 해양 사용자

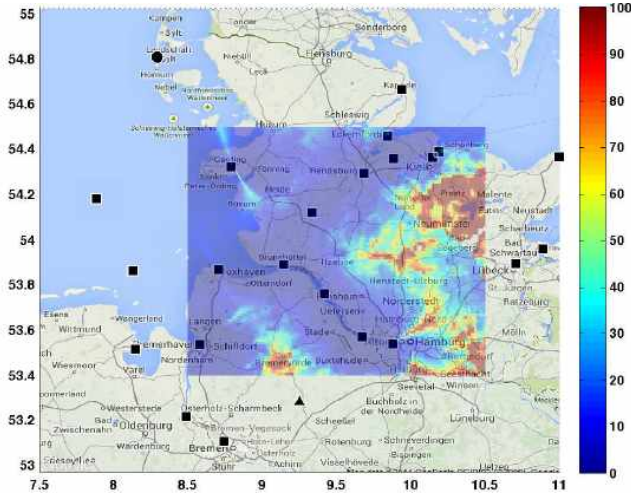


Fig. 1 Predicted coverage accuracy using AIS, MF DGNSS, and eLoran R-Mode from ACCSEAS
Source : Feasibility Study of R-Mode, Johnson et al., 2014

요구사항 검증은 목표로 하고 있다. 사업예산은 343억 유로이며, 독일의 항공우주연구센터인 DLR(German Aerospace Center)이 주관기관으로 12개의 기관 4개의 국가(독일, 폴란드, 스웨덴, 노르웨이)가 참여하고 있다(Interreg 2017).

2.3 중국의 AIS R-Mode 연구

중국은 2012년부터 2015년까지 AAPS(AIS Autonomous Positioning System) 사업을 통하여 AIS R-Mode 연구를 수행하였다. 중국에 위치한 AIS 해양기준국을 이용하여 R-Mode 측위 오차를 분석하고 반송파 위상 루프(carrier phase locking loop)를 기반으로 한 GMSK 감쇄 측정오차를 이론적으로 분석하였다. 그리고 Xinghai 해역에서 앵커링을 통한 정적실험, 그리고 동적실험을 수행하였으며, Fig. 2와 같이 오차 보정정보 적용 시 GDOP 1.5 이하에서 10 m(2drms) 이내의 측위정확도 성능을 확인하였다(Hu et al., 2015). 또한, 중국은 후속사업으로 VDES R-Mode에 대한 연구를 2019년과 2020년에 수행할 계획을 갖고 있다(Dalian, 2018).

2.4 캐나다의 R-Mode 연구

캐나다 해안경비대인 Canadian Coast Guard에서도 R-Mode를 해양분야의 Resilient PNT 시스템을 위한 주요기술로 인식하고 테스트베드 사업을 수행 중에 있다. 캐나다 해안경비대에서는 유럽연합에서 수행한 ACCSEAS 사업의 결과를 활용하여 2021년까지 R-Mode 시스템 개발을 완료할 계획이다(André, 2018). 우선적으로 R-Mode 송신기와 수신기 장비를 도입하고 캐나다 퀘백시 근처 Lauzon 지역에 위치한 DGPS(Differential Global Navigation Systems) 사이트에서 송신기와 수신기에 대한 성능 검증시험을 진행하였다(Canadian Coast Guard, 2018).

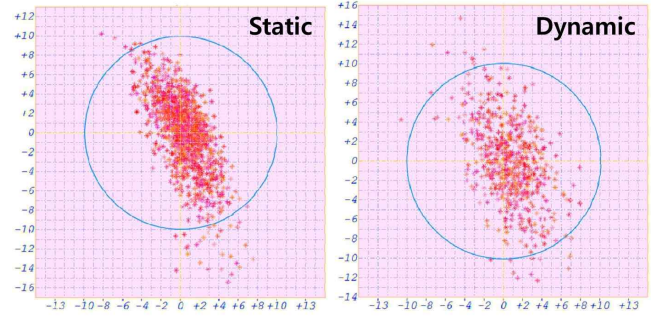


Fig. 2 AIS R-Mode positioning errors in China
Source : Development of an AAPS, Hu et al., 2015

3. 대한민국 R-Mode를 위한 기획신호 분석

현재까지 해양분야에서 R-Mode를 위한 기획신호로 고려 중인 것은 중파 비컨과 AIS, 그리고 (e)Loran 이다. eLoran은 고의적인 간섭이 매우 어렵고, 신호도달거리가 매우 길며 R-Mode 신호로 바로 활용이 가능하지만 국내에서 연구개발 수행을 통해 신규 eLoran 송신국이 구축되지 전까지 활용할 수 없고, 추가 송신국을 구축하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 기존의 Loran-C 신호는 송신국 간 시각이 UTC(Coordinated Universal Time)로 동기 된다면 R-Mode 신호로 바로 활용이 가능하다. 우리나라는 기존의 포항과 광주 Loran-C의 시각동기시스템을 UTC와 동기하는 고도화 사업을 진행 중에 있다. 2020년부터 시각동기된 포항과 광주 Loran-C 신호를 수신할 수 있을 것으로 기대하며 eLoran과 같은 장점을 가진 Loran-C 신호는 국내 R-Mode를 위한 중요한 기획신호로 활용이 가능하다.

중파 비컨 신호는 송신국간 시각동기가 필요하며, 신호의 한 파장 길이가 약 3 km로 거리측정 신호로서 분해능이 낮고 전리층 반사에 영향을 받는다. 그럼에도 불구하고 중파 비컨 신호는 의도적인 간섭이 어렵고 국내 해양 중파 송신국 기준으로 신호도달거리가 200 km 이상이므로 해양분야에서의 백업 PNT 기술 측면에서 활용하기에 적합하다. Fig. 3은 국내에서 운영 중인 NDGNSS 기준국 17개소 중 해양 기준국 11개소에 대한 위치 및 서비스 영역으로 전국망의 인프라를 확인할 수 있다.

AIS는 별도의 송신국간 동기가 필요 없고, 신호의 한 파장 길이가 상대적으로 짧아 신호 추적 및 거리 측정이 용이하며 기존의 메시지를 활용한 보정정보 전송이 가능하다. 하지만 신호 도달거리가 짧고 상대적으로 의도적인 간섭에 취약하다. 실제로 VHF 대역의 제머를 온라인에서 판매하고 있으며 휴대가 가능한 크기이다. 따라서 본 논문에서는 백업 PNT 기술 관점에서 최우선 요구사항인 간섭신호에 대한 강인성 측면에서 국내 R-Mode 신호원으로 중파 비컨 신호와 Loran 신호를 고려하였다.

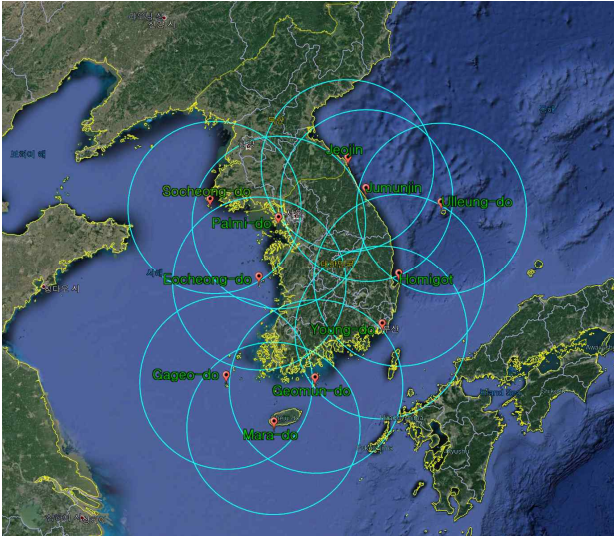


Fig. 3 Maritime NDGPS site and coverage in South Korea

4. 국내 R-Mode 적용 타당성 평가

4.1 시뮬레이션 환경

국내 해양분야의 R-Mode 기술 적용에 관한 타당성 평가는 크게 송신국 간의 기하학적 배치인 HDOP(Horizontal Dilution of Precision)과 이를 기반으로 한 수평위치정확도 측면에서 분석하였다. 식 (1)은 수평위치정확도 예측 식으로 HDOP과 UERE(User Equivalent Range Error)에 의해 결정된다 (Kaplan et al., 2006). HDOP이 작은 값일수록 그리고, UERE가 작을수록 높은 성능의 수평위치정확도를 얻을 수 있다.

$$drms_{Horizontal} = HDOP \cdot \sigma_{UERE} \quad (1)$$

시뮬레이션에 사용한 국내 중파 비컨 기준국과 Loran-C 송신국 위치는 Table 1, 2와 같으며, 실제 우리나라에서 운영 중인 기준국 및 송신국의 위치이다. 시뮬레이션을 위한 최소 요구 기준국 및 송신국 수는 수평위치와 수신기 시계오차를 추정하기 위한 3개로 가정하였으며, 중파 비컨의 신호도달거리는 200 km, Loran-C의 신호도달거리는 국내에서 제한이 없는 것으로 가정하였다.

Table 1 The coordinates of Loran-C transmitter stations in Korea

Loran-C Stations	Latitude[deg]	Longitude[deg]
Pohang	36.185	129.341
Gwangju	35.34	126.541

Source : NMPNT website, NMPNT, 2018

Table 2 Maritime NDGNSS stations' coordinates in Korea

Stations	Latitude [deg]	Longitude [deg]	Height (m)
Socheong-do	37.761	124.729	69.528
Palmi-do	37.358	126.511	83.590
Eocheong-do	36.125	125.969	85.637
Gageo-do	34.095	125.099	90.807
Mara-do	33.117	126.269	62.330
Geomun-do	34.008	127.322	101.071
Young-do	35.063	129.071	185.750
Homi	36.078	129.567	34.301
Ulleung-do	37.518	130.799	182.138
Jumunjin	37.898	128.834	55.051
Jeojin	38.553	128.399	116.202

Source : NMPNT website, NMPNT, 2018

4.2 타당성 평가 기준

국제항로표지협회 IALA(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)는 국제해사기구 IMO의 결의 A.915(22)를 바탕으로 선박의 안전한 항해를 위한 백업시스템의 요구사항을 R-129를 통해 Table 3과 같이 제시하였다. IALA 권고는 해상 구역에 따라 요구사항을 구별하였으며 R-Mode를 활용하여 달성 가능한 부분은 Table 3에서 음영으로 표시한 연안과 항만접근, 그리고 내륙수로 영역이다. 따라서 본 논문에서는 국내 해양분야의 R-Mode 적용 타당성 평가 기준을 수평위치정확도 측면에서 IALA 권고를 참고하여 항만에서는 10 m 이내, 그리고 연안에서는 100 m 이내로 설정하였다.

4.3 HDOP 분석

HDOP 분석은 중파 비컨 기준국만을 활용한 경우와 Loran-C 송신국을 함께 활용한 경우에 대하여 분석하였다. Fig. 4는 국내 해양 중파 비컨 송신국만을 활용한 HDOP 분석 결과이다. NDGNSS 기준국의 경우 보강정보를 사용자에게 단방향으로 방송하기 위한 시스템이므로 동시에 2개 이상의 기준국으로부터 신호를 수신하는 것이 불필요하다. 따라서 3개 이상의 기준국으로부터 신호를 받을 수 있는 사용자 영역이 상당히 제한적이며 HDOP의 성능도 낮다. 따라서 중파 비컨 기준국만을 활용한 R-Mode 서비스는 국내 해상 사용자에게 매우 제한적이다.

Table 3 IALA requirement for a backup system for a general navigation

Maritime region	Absolute Accuracy	Integrity		
	Horizontal (meters)	Alert limit (meters)	Time to Alarm (seconds)	Integrity Risk (/3hours)
Ocean	1000	2500	60	10^{-4}
Coastal	100	250	30	10^{-4}
Port approach	10	25	10	10^{-4}
Port	1	2.5	10	10^{-4}
Inland Waterways	10	25	10	10^{-4}

Source : R-129, IALA, 2012

4.4 HDOP 분석

HDOP 분석은 중파 비컨 기준국만을 활용한 경우와 Loran-C 송신국을 함께 활용한 경우에 대하여 분석하였다. Fig. 4는 국내 해양 중파 비컨 송신국만을 활용한 HDOP 분석 결과이다. NDGNSS 기준국의 경우 보장정보를 사용자에게 단방향으로 방송하기 위한 시스템이므로 동시에 2개 이상의 기준국으로부터 신호를 수신하는 것이 불필요하다. 따라서 3개 이상의 기준국으로부터 신호를 받을 수 있는 사용자 영역이 상당히 제한적이며 HDOP의 성능도 낮다. 따라서 중파 비컨 기준국만을 활용한 R-Mode 서비스는 국내 해상 사용자에게 매우 제한적이다.

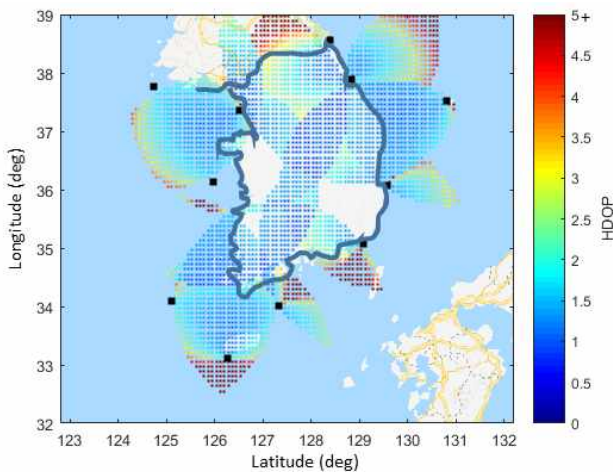


Fig. 4 HDOP for the maritime NDGNSS sites in Korea

중파 비컨 기준국과 함께 현재 국내에서 운영 중인 두 곳의 Loran-C 송신국을 결합한 HDOP 분석 결과는 Fig. 5와 같다. 남동해역의 일부를 제외한 국내 인근 해역 전역을 포함하며, 2 이하의 우수한 HDOP 성능을 보인다. 따라서 국내 해상환경에서의 R-Mode 기술을 활용한 백업 PNT 서비스를 위해서는 중파 비컨 인프라 뿐만 아니라 Loran-C 인프라도 반드시 함께 활용해야 한다.

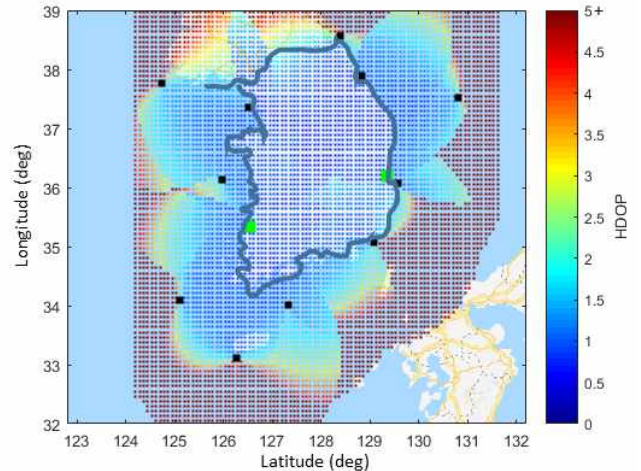


Fig. 5 HDOP for the maritime NDGNSS combined Loran-C sites in Korea

4.5 수평위치정확도 예측

식 (1)에서와 같이 수평위치정확도 예측을 위해서는 HDOP 과 함께 UERE 값이 요구된다. 본 논문에서의 중파 비컨과 Loran-C 신호의 UERE 값은 선행연구 결과인 ACCESEAS 사업의 연구결과를 참고하여 설정하였으며, 송신국 간 시각동기 오차 및 수신기 시계 오차는 정확히 알고 있다고 가정하였다.

중파 비컨 신호의 UERE 값은 (2)로부터 구할 수 있다. 여기서 T 는 관측 주기, w_c 는 중파 비컨 신호의 주파수, SNR 은 수신한 신호의 신호대잡음비다. 일반적인 신호수신 환경과 약신호 환경에서 중파 비컨 신호의 UERE를 가정하였으며, (2)로부터 구한 UERE는 각각 2.83 m와 22.5 m 이다(Johnson et al., 2014).

$$\sigma_{MF} \geq \frac{1.2 \times 10^4}{w_c \sqrt{T \cdot SNR}} \quad (2)$$

Loran-C 신호의 UERE 값은 (3)과 같이 수신 신호전력의 함수로부터 구할 수 있다. SS 는 수신 신호전력($dB\mu V$)이며, 국내 Loran-C 송신국의 σ_{jitter} 는 60 nsec 이다(Johnson et al., 2014). 국내 Loran-C 신호의 일반적인 신호 수신전력과 약신호 환경에서의 신호 수신전력을 인천 보정기준국에서 수집한 측정치 분석 결과를 토대로 각각 70 $dB\mu V$, 60 $dB\mu V$ 로 가정하였으며, 이때 UERE 값은 각각 7.10 m, 22.27 m 이다.

$$\sigma_{Loran} \approx 0.3 \sqrt{\frac{10^{\frac{123-SS}{10}} + \sigma_{jitter}^2}{\text{number of pulses averaged}}} \quad (3)$$

상기 결과로부터 예측한 약신호 환경에서의 R-Mode 수평 위치정확도는 Fig. 6과 같다. 남동쪽 해역을 제외한 대부분의 국내 해역에서 50 m 이내의 위치정확도를 보이며, 이는 IALA 에서 권고한 백업시스템 요구사항 중 연안에서의 요구성능을

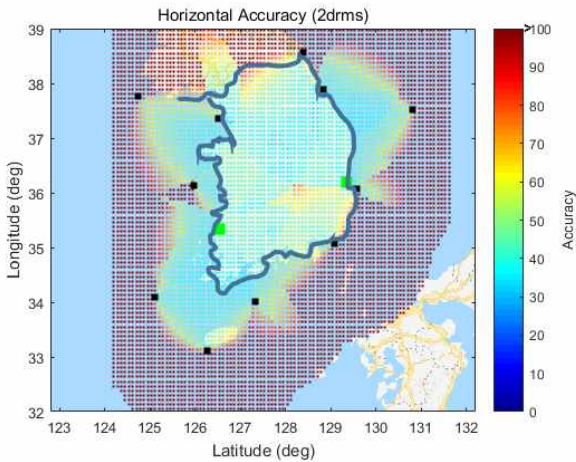


Fig. 6 Accuracy from MF R-Mode with eLoran (weak signal environment)

만족하였다. 반면 항만에서 요구하는 위치정확도 성능은 만족하지 못하였다.

Fig. 7은 일반적인 신호수신 환경에서의 R-Mode 성능예측 결과로 역시 남동쪽 해역을 제외한 대부분의 국내 해역에서 10 m 수준의 수평위치정확도 성능을 보인다. 따라서 정상적인 R-Mode 신호수신 환경에서는 IALA에서 권고하는 수평위치정확도 요구사항 중 연안뿐만 아니라 항만에서의 요구사항 또한 만족할 수 있을 것으로 판단한다.

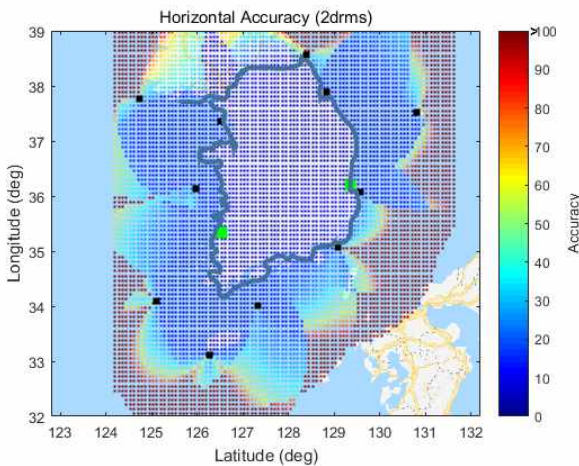


Fig. 7 Accuracy from MF R-Mode with eLoran (typical signal environment)

5. 결 론

4차 산업혁명 사회에서 PNT 정보의 중요성과 함께 GNSS 시스템의 의존도가 높아짐에 따라 GNSS 취약성에 대한 우려가 깊어지고 있다. 우리나라에서는 일찍이 백업 PNT 체계에 대한 필요성을 인식하고 그 방안 중 하나로 eLoran 사업을 수행 중에 있다. 하지만 국제해사기구 및 국제항로표지협회에서

요구하는 해상 백업항법 체계를 갖추기 위해서는 최소 4개소 이상의 추가 eLoran 송신국 구축이 필요하며 국내 실정에서 현실적으로 어려움이 많다.

따라서 본 논문에서는 현재 개발 중인 eLoran 시스템을 보완하고 국제기구에서 요구하는 해양분야에서의 백업항법 체계를 갖추기 위한 방안으로 최근 이슈화 되고 있는 R-Mode 기술을 제안하고 국내 적용 타당성을 검토하였다. 이를 위하여 먼저 국내외 R-Mode 기술동향을 분석하였으며, 이로부터 국내 환경에 적합한 R-Mode의 기호신호를 검토하였다. 검토 결과, 백업 시스템의 최우선 요구사항인 의도적 간섭에 대한 강인성과 서비스 영역을 고려하였을 때, 국내 해양환경에서는 중파 비컨 NDGNSS 인프라 기반의 R-Mode가 적합한 것으로 판단하였다. 하지만 HDOP 분석 결과로부터 NDGNSS 인프라 기반의 R-Mode만으로는 해상 백업항법 요구사항을 만족할 수 없음을 확인하였으며, 현재 운영 중인 Loran-C와 함께 활용할 것을 제안하였다. 중파 비컨 NDGNSS 기반의 R-Mode와 Loran-C를 결합한 수평위치정확도 시뮬레이션 결과에 의하면 약신호 환경에서도 최소 국제기구에서 요구하는 연안에서의 항법성능을 만족하였으며, 일반적인 신호수신 환경에서의 경우 항만접근을 위한 요구성능을 만족할 수 있을 것으로 보인다. 따라서 본 논문에서 제안한 중파 비컨 NDGNSS 기반의 R-Mode와 Loran-C를 결합한 지상과 통합 항법체계 구축을 통하여 국내 해상 사용자들에게 안전하고 신뢰할 수 있는 항법서비스가 가능할 것으로 기대한다.

후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “해양 정밀 임무수행용 GNSS/INS/eLoran 복합항법 기반기술 개발”에 의해 수행되었습니다(PES3110).

References

- [1] André, C.(2018), “The Implementation of a Resilient Position, Navigation and Timing Solution in Canada”, IALA, pp. 4-5.
- [2] Canadian Coast Guard(2018), “Review to Implement a Resilient Position, Navigation and Timing Solutions for Canada“, Mariner’s Workshop, January 2018, p. 13.
- [3] Charles, C.(2016) “Assured PNT,” Proceedings of the 29th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2016), Portland, Oregon, September 2016, pp. 931-945.
- [4] Dalian Maritime University VDES Team[Dalian](2018) “Research of VDES R-Mode”, ENAV Intersessional Meeting, Presentation.
- [5] European Commission(2018), “European Radio Navigation

- Plan”, Report, November 2018, p. 57.
- [6] Hong, J. Y.(2016) “No GPS Signal, GPS Interference from N. Korea,” SBS news, April 2016, http://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1003501467&plink=ORI&cooper=NAVER.
- [7] Hu, Q., Jiang, Y., Zhang, J., Sun, X. and Zhang, S.(2015) “Development of an Automatic Identification System Autonomous Positioning System”, Sensors, November 2014. pp. 28587-28588.
- [8] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse [IALA](2012), “GNSS Vulnerability and Mitigation Measures“, IALA Recommendation, Edition 3.0, p. 16.
- [9] Interreg Baltic Sea Region [Interreg](2017), Ranging Mode for the Baltic Sea, [Internet], cited January 22 2019, <https://projects.interreg-baltic.eu/projects/r-mode-baltic-90.html>.
- [10] Johnson, G. and Swaszek, P.(2014) “Feasibility Study of R-Mode combining MF DGNSS, AIS, and eLoran Transmissions”, German Federal Waterways and Shipping Administration, Final Report, September 2014.
- [11] Kaplan, E. and Hegarty, C.(2006), Understanding GPS Principles and Applications, Artech House, Second Ed., pp. 328-332.
- [12] Lee, C., Shin, M., Hwang, S., Lee, S. and Yang, S.(2013), “A study on the optimal geometrical placement of eLoran stations in Korea,” Journal of Navigation and Port Research, Vol. 37, No. 1, pp. 35-40.
- [13] London Economics(2017), “Economic impact to the UK of a disruption to GNSS,” Showcase Final Report, UK Space Agency, April 2017, pp. 3-5.
- [14] Martin, M.(2018) “BinoNav® - A New Positioning System for Maritime,” Proceedings of the 31st International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018), Miami, Florida, September 2018, pp. 1728-1735.
- [15] National Maritime PNT Office [NMPNT](2018), “Introduction,” cited March 2018, http://www.ndgps.go.kr/html/kr/intro/present_conditions_coordinates.html.
- [16] Radio Navigation and Timing Foundation [RNTF] (2018) “\$5M more for GPS Backup Demo-Draft 2019 NDAA,” Article, May 2018, <https://rntfnd.org/2018/05/09/5m-more-for-gps-backup-demo-draft-2019-ndaa/>.
- [17] Seo, K., Park, S. and Fang, T.(2018) “Analysis of Positioning Performance to Meet HEA Requirement in eLoran Testbed”, The 16th IAIN World Congress 2018, November 2018, pp. 5-3.
- [18] U.S. Department of Defense, Department of Security and Department of Transportation[U.S.](2017), “2017 Federal Radionavigation Plan (DOT-VNTSC-OST-R-15-01)”, September 2017, p. 54.
- [19] Williams, P. and Hargreaves, C.(2018) “UK eLoran-Initial Operational Capability at the Port of Dover”, International Technical Meeting(ITM) of The Institute of Navigation, January 2013, pp. 392-402.

Received 23 January 2019

Revised 22 February 2019

Accepted 22 February 2019