

# 해양분야 Resilient PNT를 위한 대한민국 중파 R-Mode 테스트베드 시스템 개발

한영훈<sup>1,2</sup>, 손표웅<sup>1,3</sup>, 안재민<sup>2</sup>, 서기열<sup>1</sup>, 황태현<sup>1†</sup>

## Development of Korean MF R-Mode Test-bed System for Resilient PNT in Maritime Domain

Younghoon Han<sup>1,2</sup>, Pyo-Woong Son<sup>1,3</sup>, Jae Min Ahn<sup>2</sup>, Kiyeol Seo<sup>1</sup>, Tae Hyun Fang<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Ocean and Maritime Digital Technology Research Division, Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering (KRISO), Daejeon 34103, Korea

<sup>2</sup>Department of Radio Science and Information Communication Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>3</sup>Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

### ABSTRACT

As autonomous navigation technology advances and the importance of positional information in maritime environments increases, it is necessary to develop alternatives to the Global Navigation Satellite System (GNSS) in consideration of its vulnerabilities. Ranging Mode (R-Mode) technology is emerging as a GNSS backup system, utilizing existing maritime communication infrastructure to provide position, navigation, and timing (PNT) information through a terrestrial navigation system. This paper introduces a test-bed system developed to validate the feasibility and performance of medium frequency (MF) R-Mode technology in the context of South Korea. The MF R-Mode test-bed's transmitters are upgraded from four existing DGNSS systems, and positioning performance was evaluated based on data received in a static environment from actual signal broadcasts.

**Keywords:** MF R-Mode, resilient PNT, terrestrial navigation, GNSS jamming, spoofing

**주요어:** 중파 R-Mode, resilient PNT, 지상파 항법, GNSS 재밍, 스푸핑

### 1. 서론

Global Navigation Satellite System (GNSS)은 해양에서 선박이 자신의 위치를 알고 안전하게 항해하는데 매우 중요한 시스템이다. 특히 자율운항 관련 산업이 주목받는 현 상황에서 위치 정보의 중요성은 더욱 높아지고 있다. 반면 GNSS에 대한 의존도 또한 높아짐에 따라 GNSS 유사시 Position, Navigation and Timing (PNT) 정보를 안정적으로 획득할 수 있는 대안 마련의 필요성도 함께 논의되고 있다. 특히 우리나라는 서해북부 지역 인근에서 의도적인 GNSS 전파교란이 발생함에 따라 해양, 항공, 통신 분야 등에서 영향을 받았다 (Son et al. 2020). 최근에도 고

의적인 GNSS 전파교란이 발생하여 어민들이 조업을 나가지 못하는 등의 피해사례가 보고되었다 (SBS 2024). 국제해사기구인 International Maritime Organization (IMO)에서도 선박의 안전한 항해를 위해 GNSS 뿐만 아니라 PNT 정보를 획득할 수 있는 다중 소스 기반의 항법데이터 처리에 관한 지침을 개정하였으며 (IMO 2017), 국제항로표지협회인 International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA)에서도 GNSS 취약성과 Resilient PNT에 대한 필요성을 인식하고 관련 지침과 권고를 제정하는 등 노력을 기울이고 있다 (IALA 2012, 2023).

해양분야에서는 GNSS 취약성에 대비하여 Resilient PNT를

Received Aug 19, 2024 Revised Sep 09, 2024 Accepted Oct 08, 2024

<sup>†</sup>Corresponding Author E-mail: thfang@kriso.re.kr



Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

위한 기술로 지상과 기반의 항법시스템이 주목받고 있다. 지상과 항법시스템은 지상에 송신국을 배치하여 낮은 주파수 신호를 고출력으로 방송함으로써 의도적인 간섭에 강인하다. 대표적인 지상과 항법시스템으로는 저주파 대역의 펄스 신호를 활용하는 Enhanced Long-Range Navigation (eLoran)이 있으며 (Son et al. 2020), 최근에는 Ranging Mode (R-Mode) 기술이 연구되고 있다. R-Mode는 기존의 해상통신인프라 자원을 활용하여 거리 측정이 가능하도록 고도화함으로써 PNT 정보를 제공하는 기회신호 관점의 기술이다 (Grundhöfer et al. 2021, Han et al. 2022). 주로 논의되고 있는 R-Mode 신호원으로는 초단파 대역의 Automatic Identification System (AIS) 또는 Very High Frequency Data Exchange System (VDES), 그리고 중파 대역의 Differential GNSS (DGNSS)가 있다 (Bronk et al. 2021). R-Mode는 기존의 인프라 또는 신규 개발 예정인 통신인프라와 주파수를 활용한다는 측면에서 장점이 있다. 따라서 eLoran과 같은 지상과 항법 인프라가 없거나 운영이 중지된 국가, 그리고 GNSS 유사시 이를 대체할 수 있는 백업 체계가 아직 마련되지 않은 국가에서는 기존 인프라를 활용한 R-Mode에 주목하고 있다. 우리나라 관점에서도 국내 eLoran 및 Loran 송신국이 3곳에서 운영 중이며, 전해상을 대상으로 높은 정확도를 제공하기 위해서는 추가 eLoran 송신국 구축이 요구된다. 따라서 전해상 서비스 중인 중파 대역의 DGNSS 인프라를 중파 R-Mode로 고도화하여 eLoran과 함께 활용한다면 안전한 해상 PNT 체계를 마련할 수 있을 것으로 기대한다 (Han et al. 2019).

본 논문에서는 DGNSS 인프라를 활용한 중파 R-Mode 기술의 국내 적용 타당성을 평가하고 실신호 방송을 통한 성능실증을 위해 개발한 테스트베드 시스템에 대해 설명한다. 먼저 우리나라 환경에 맞게 설계한 중파 R-Mode 신호 규격에 대해 제시하고, 개발한 중파 R-Mode 테스트베드 시스템과 각 구성 시스템의 역할과 기능에 대해 설명한다. 마지막으로 테스트베드 내에서 수행한 정적환경에서의 성능실증 결과를 제시하고 결론을 맺는다.

## 2. 중파 R-MODE 신호 규격

중파 R-Mode 신호는 기존 DGNSS 신호 규격을 준수하면서 항법신호로 활용이 가능해야 한다. 따라서 International Telecommunication Union (ITU) 표준 (ITU 2006)과 RTCM 표준 (RTCM 2010)에 대한 참조가 요구된다. 중파 R-Mode 신호 구조에 관한 연구는 과거 ACCSEAS 사업을 통하여 수행되었으며, 이를 통해 Minimum Shift keying (MSK) 중심 주파수 기준 양쪽에 Continuous Wave (CW) 신호를 추가하는 방안이 제안되었다 (Johnson & Swaszek 2014). 이로부터 중파 R-Mode 신호 모델은 Eq. (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$MSK \pm b_0 \sin(w_c t + \theta) \quad (1)$$

여기서 MSK는 기존 DGNSS 신호이며,  $b_0$ 는 CW 신호의 크기,  $w_c$ 는 CW 주파수,  $\theta$ 는 위상이다. CW 신호는 수신신호 품질을 높이기 위해 주파수 스펙트럼상 null 구간에 위치해야 하며 이는 데이터 전송률에 따라 달라진다. 우리나라는 200 bps 전송률을 가지

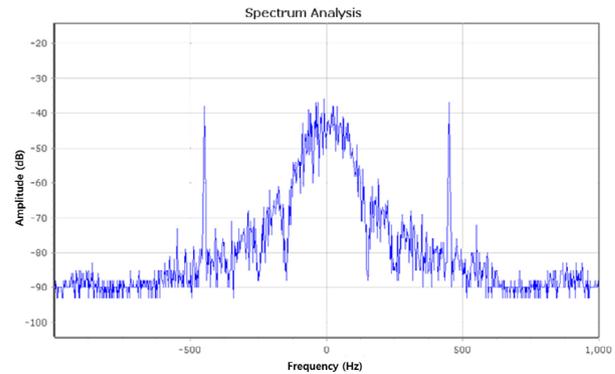


Fig. 1. Korean MF R-Mode signal spectrum.

므로 사용 가능한 CW 주파수는 Eq. (2)와 같다.

$$CW \text{ frequency} = MSK \text{ frequency} \pm (150 + 100 \times N), N = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (2)$$

따라서 후보 CW 주파수는 MSK 주파수 기준  $\pm 150, 250, 350, 450, 550$  Hz 등이다. MSK 주파수와 간격이 멀수록 수신기에서 CW 신호를 획득하는데 유리하므로 ITU 주파수 대역폭 범위 내에서 간격이 먼  $\pm 450$  Hz를 CW 주파수로 정하였다. 또한 MSK 신호와 양 사이트의 CW 신호의 크기 선정이 요구되며 MSK 신호의 크기를 0.6으로 하였을 때 양 사이트에 위치한 각 CW 신호의 크기를 각각 0.2의 비율로 설정하였다. CW 신호의 크기가 클수록 수신기에서 R-Mode 신호를 획득하기에는 유리하지만 송출 신호의 전력도 함께 증가하므로 송신기의 용량 (1 kW 출력)과 획득 성능을 고려하여 선택하였다. 이로부터 도출된 중파 R-Mode 신호 스펙트럼은 Fig. 1과 같다.

## 3. 대한민국 중파 R-MODE 테스트베드 시스템

### 3.1 중파 R-Mode 시스템 구성

중파 R-Mode 테스트베드 시스템은 Fig. 2와 같이 서비스 인프라 측면에서 중파 R-Mode 송신국(MF Transmitting system)과 보정국(Differential R-Mode system), 감시국(Monitoring system) 그리고 운영국(Operating system)으로 구성되며, 사용자 측면에서 수신기로 구성된다. 중파 송신국은 거리측정을 위한 R-Mode 항법신호와 항법메시지를 송출한다. 이때 항법메시지는 뒤에서 설명할 오차 보정정보와 User Differential Range Error (UDRE) 정보 등을 포함한다. R-Mode 기술은 기존 서비스에 영향을 미치지 않아야 하므로 기존 DGNSS 정보도 함께 전송한다. 보정국은 중파 R-Mode 사용자의 측위정확도 성능 향상을 위한 오차 보정정보를 생성한다. 감시국은 R-Mode 신호와 보정정보를 수신하여 무결성을 감시하고 UDRE 정보를 생성한다. 운영국은 R-Mode 구성 시스템과 연동하여 각 시스템의 운영정보를 모니터링하고, 제어한다. 마지막으로 사용자 수신기는 중파 R-Mode 신호와 항법메시지를 수신하여 위치를 결정한다. 중파 R-Mode 테스트베드 시스템은 기존 DGNSS 기준국 신호를 측

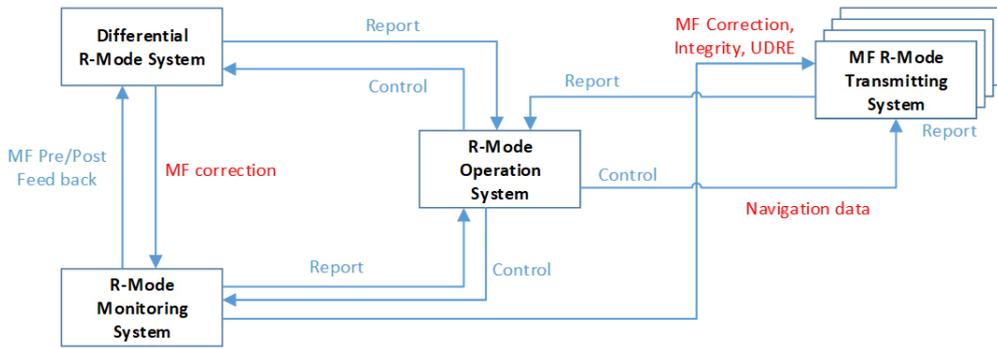


Fig. 2. Korean R-Mode test-bed system architecture.

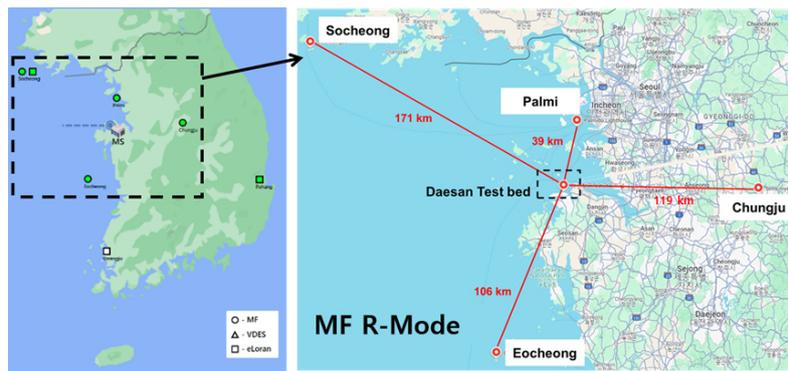


Fig. 3. Korean R-Mode test-bed configuration.

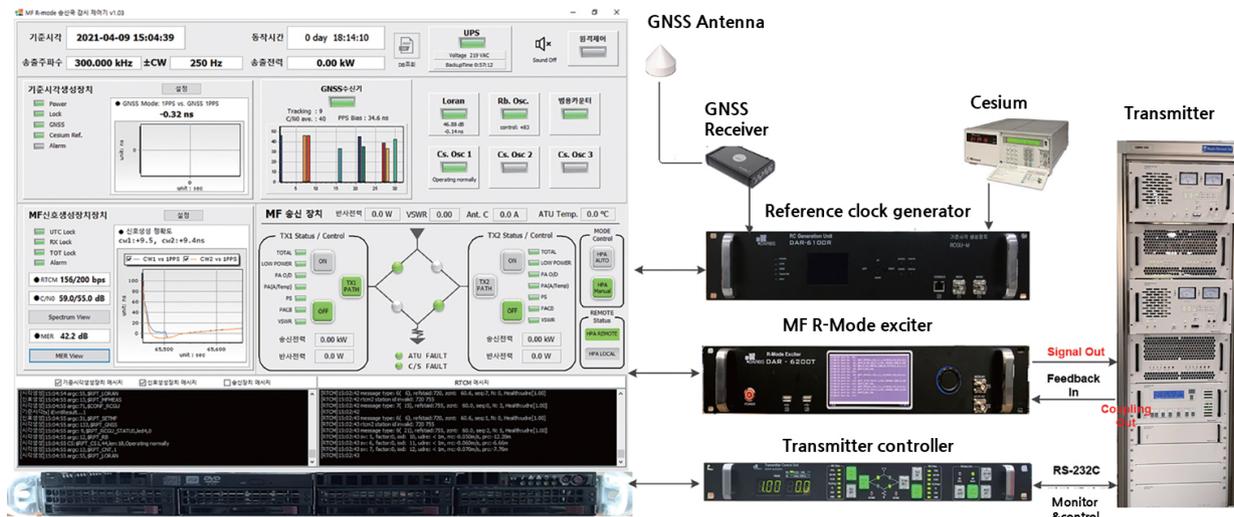


Fig. 4. MF R-Mode transmitting system configuration.

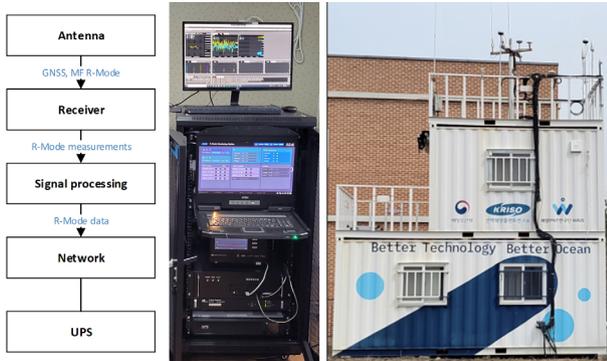
위 및 항법에 활용하기 위하여 3개 이상의 신호 수신이 가능한 대산항 인근에 설치하였다. 따라서 Fig. 3과 같이 중파 R- Mode 송신국은 대산항 주변 충주 내륙 기준국, 소청도, 팔미도, 어청도 해양 기준국 총 4곳에 설치하여 운영 중이며, 보정국과 감시국은 대산항에 위치해 있다.

### 3.2 중파 R-Mode 송신국

중파 R-Mode 송신국 시스템은 국립해양측위정보원에서 운영 중인 DGNSS 기준국 시스템을 고도화하여 구성하였다. 이때 고려해야할 사항과 설계 사항은 Han et al. (2022)에서 연구되었다. 이를 기반으로 구현된 중파 송신국 시스템의 주요 구성은

**Table 1.** MF R-Mode transmitting station signal power.

Signal power	Inland		Maritime	
	Chungju	Socheong	Palmi	Chocheong
DGNSS (MSK)	500 W	300 W	300 W	300 W
MF R-Mode (MSK+CW)	800 W	650 W	450 W	650 W



**Fig. 5.** Differential MF R-Mode system and monitoring system configuration.

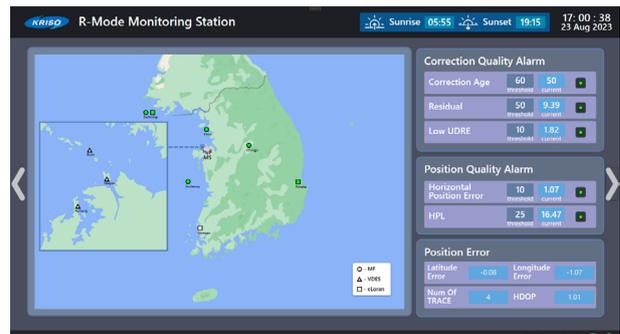
Fig. 4와 같다. 모든 중파 R-Mode 송신국은 R-Mode Reference Time (RMST)에 동기되어 운영되므로 이를 위한 기준시각 생성 장치가 필요하다. RMST는 GPS Time (GPST)에 동기되며 GPS 유사시 최근 정상적으로 운영된 22일 이상의 시각 데이터 추이 분석을 통해 15일간 동기 성능을 유지한다. R-Mode 신호생성장치(Exciter)는 기존 MSK 신호에 CW를 추가한 R-Mode 신호를 RMST에 맞춰 생성하고 송신기로 전송한다. R-Mode 신호는 송신기를 거쳐 출력에 맞게 증폭되어 Antenna Tuning Unit (ATU)를 통해 전송된다. 이때 출력된 R-Mode 신호는 ATU에 커플링되어 연결된 피드백 케이블을 통하여 R-Mode 신호생성장치로 다시 전송되는 폐쇄회로 구조를 가짐으로써 정확한 타이밍에 신호가 전송되도록 구성하였다. Fig. 4의 좌측은 중파 R-Mode 송신국 감시제어기 화면으로 이를 통해 송신국 구성 시스템의 상태감시 및 제어가 가능하다. 각 송신국의 출력은 Table 1과 같으며 해당 출력은 DGNSS MSK 신호의 기본 출력에 CW 신호가 추가되면서 증가된 크기이다. 내륙 기준국은 기본 출력 500 W에서 800 W로 증가되었으며, 해양 기준국은 300 W에서 650 W로 증가되었다. 이중 팔미도는 다른 송신국과 비교하여 테스트베드와 가까이 위치하므로 출력을 450 W로 조정하였다.

**3.3 중파 R-Mode 보정국 및 감시국**

중파 R-Mode 보정국 및 감시국은 Fig. 5와 같이 대신항 인근에 설치하고 운영하였다. 보정국과 감시국 시스템은 크게 안테나부와 신호수신부, 신호처리부, 전원부, 네트워크부로 구분되며 동일한 장비 구성을 가지지만 신호처리부에서 각자 역할에 맞는 기능을 담당한다. 안테나부는 중파 안테나와 GNSS 안테나로 구성되며 GNSS 유사시 R-Mode 항법으로 전환됨을 고려하여 GNSS 안테나는 초기 위치 결정에 활용된다. 신호수신부는 GNSS 신호와 중파 R-Mode 신호를 수신하고 측정치를 생성한다. 각 신호처



**Fig. 6.** Example of differential MF R-Mode system GUI.



**Fig. 7.** Example of R-Mode monitoring system GUI.



**Fig. 8.** Example of R-Mode operation system GUI.

리부는 서버로 구성되며 보정국과 감시국의 핵심 알고리즘 및 운영 SW가 동작한다. Fig. 6은 보정국 운영화면으로 각 송신국으로부터 수신한 신호세기, 신호대잡음비, 잔차(residual) 값 등에 대한 확인이 가능하며, 보정국에서 생성한 각 송신국의 보정정보와 위치오차 확인이 가능하다. Fig. 7은 감시국 운영화면으로 보정국에서 생성한 보정정보를 감시국 측정치에 적용하였을 때에 대한 품질검사 결과와 무결성 검사 결과, 위치오차, UDRE 등이 확인 가능하다.

**3.4 중파 R-Mode 운영국**

중파 R-Mode 운영국은 대전 선박해양플랜트연구소에 설치하여 운영하였다. 운영국 시스템은 크게 운영 서버와 Data Base

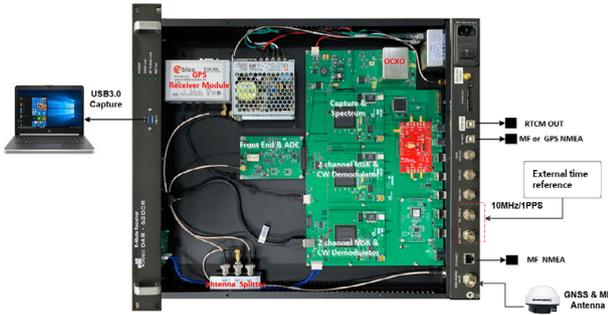


Fig. 9. MF R-Mode receiver configuration.

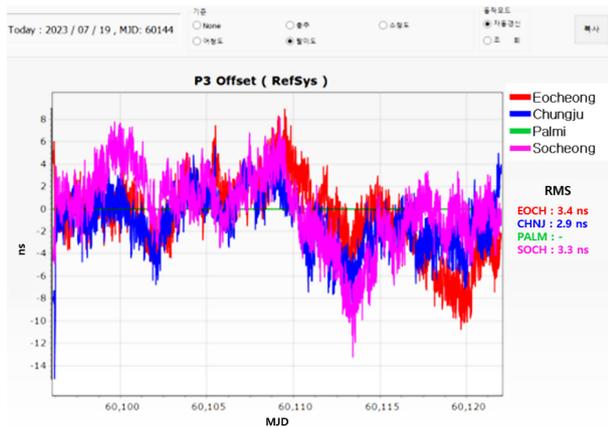


Fig. 10. Time synchronization error of MF R-Mode transmitting station (Reference: Palmi).

(DB) 서버로 구성된다. DB 서버에서는 각 구성 시스템 간의 운영 데이터 처리 및 데이터 저장을 담당하고 운영 서버에서는 화면 표출을 통한 운영 인터페이스를 담당한다. Fig. 8은 운영화면으로 중파 송신국의 운영현황, 시스템 간 연결상태, 감시국 측위성능, 송신국 간 시간동기 성능, 알람 정보 등에 대한 확인이 가능하다.

### 3.5 중파 R-Mode 수신기

사용자 측위성능 확인을 위한 수신기는 감시국에 설치된 (원)답스에서 개발한 중파 R-Mode 수신기를 이용하였다. 수신기의 형상과 구성은 Fig. 9와 같다. 초기 동작을 위한 GPS 수신 모듈이 있으며, 중파 대역 필터 및 Analog to Digital Converter (ADC), 총 4개의 신호를 수신하고 처리하기 위한 모듈, 데이터를 저장하고 스펙트럼을 분석하는 모듈, 오실레이터 등으로 구성되어 있다. 해당 수신기는 ITU-R M.823-3 (ITU 2006) 및 RTCM SC-10402.3 (RTCM 2010) 표준을 만족하며, 중파 R-Mode 신호 실시간 처리, 4채널 MSK 복조, 4채널 CW 의사거리 추정, 신호품질 측정 등이 가능하다.

## 4. 테스트베드 성능시험

중파 R-Mode 시스템의 성능은 대산항에 위치한 감시국 수

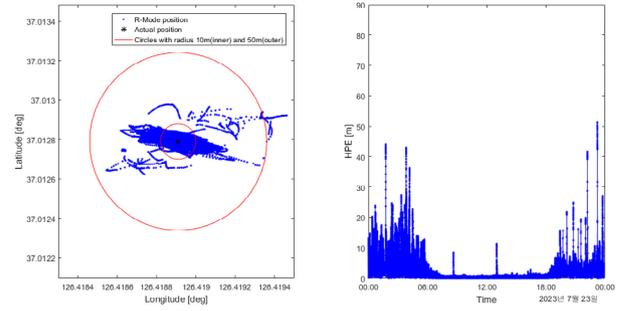


Fig. 11. MF R-Mode horizontal positioning (left) and positioning error over time (right).

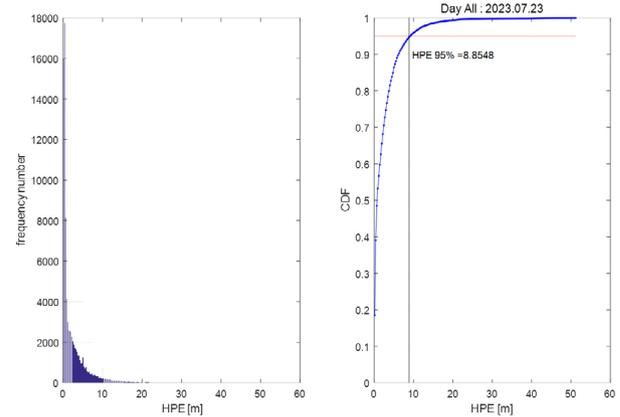


Fig. 12. MF R-Mode horizontal error distribution.

신기 데이터를 이용하여 확인하였다. 이때, 보정국과 감시국 안테나 간 기저 거리는 매우 가까운 환경이다. 먼저 송신국 간 시간 동기성능은 팔미도 송신국을 기준으로 GPST 대비 각 송신국 RMST의 차이를 Fig. 10과 같이 확인하였다. 2023년 7월 중 약 26 일 간의 데이터를 분석하였을 때 어청도는 팔미도 대비 3.4 ns (RMS), 충주는 2.9 ns (RMS), 소청도는 3.3 ns (RMS) 동기 오차를 보였다.

다음은 수평위치 정확도 성능을 확인하였다. 2023년 7월 23일 24시간 동안의 감시국 수신기 데이터를 이용하였으며, 위치 좌표의 참값은 GNSS 정밀수신기를 이용하여 미리 측정된 값을 사용하였다. Fig. 11의 왼쪽은 수신기가 하루 동안 추정된 위경도 좌표로 안쪽 빨간 원은 참값 대비 10 m, 바깥 원은 50 m 오차 반경을 의미한다. 오른쪽 그림은 시간에 따른 수평위치 오차로 주로 19시에서 06시 사이 밤 시간대에 오차가 증가한다. 이는 전리층 반사에 의한 Sky-wave 영향으로 태양 활동이 없는 밤 시간에 지상파 신호가 전리층에 반사되어 다중경로 신호가 발생하면서 커지는 오차이다 (Son et al. 2023). Sky-wave에 의한 영향은 백미터 이상의 오차를 유발할 수 있으며 본 시험에서는 짧은 기저거리에서의 보정정보 적용을 통해 영향을 저감 하였다. Fig. 12는 하루 동안의 수평위치 오차 크기에 대한 분포와 누적 분포를 보여준다. 누적 분포를 통해 정적 환경에서 하루간 수평위치 오차가 8.85 m (95%) 정도 발생함을 확인하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 GNSS 유사시 해양에서 활용 가능한 지상파 항법시스템 중 기존의 해상통신인프라를 활용한 측위기술 중 DGNSS를 활용한 중파 R-Mode 기술 개발 결과에 대해 설명하였다. 테스트베드 개발을 통한 성능 시험은 전 세계 두번째로 시도되었다. 송신국간 시각동기 정확도를 높은 수준으로 유지하였으며, 보정정보 전송을 통해 밤 시간 대에도 약 8 ~ 30 m 수준의 위치 정확도를 보였다. 낮 시간을 포함한 하루 동안의 수평위치 오차 통계 값은 10 m 이내를 확인하였다. 이는 IMO에서 요구하는 선박의 항만접근 요구성능 수준으로 동적 측위에서도 성능이 유지된다면 GNSS 유사시뿐만 아니라 주요 항법시스템으로서 선박 및 해상무인인동체 등에 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 이를 위해서는 Sky-wave 저감 기법에 대한 추가 연구와 다양한 동적 환경에서의 시험 데이터, 진보된 수신기 기술에 대한 연구가 필요하다.

## ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 2024년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음 (RS-2024-00407003, 지상파항법시스템 고도화 기술개발).

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, Y. Han and T. H. Fang; methodology, Y. Han, P.-W. Son, T. H. Fang; writing-original draft preparation, Y. Han; visualization, Y. Han and K. Seo; writing-review and editing, T. H. Fang, J. M. Ahn; project administration, K. Seo.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

- Bronk, K., Koncicki, P., Lipka, A., Niski, R., & Wereszko, B. 2021, Concept, signal design, and measurement studies of the R-Mode Baltic system, *NAVIGATION*, 68, 465-483. <https://doi.org/10.1002/navi.443>
- Grundhöfer, L., Rizzi, F. G., Gewies, S., Hoppe, M., Bäckstedt, J., et al. 2021, Positioning with medium frequency R-Mode, *NAVIGATION*, 68, 829-841. <https://doi.org/10.1002/navi.450>
- Han, Y.-H., Lee, S.-H., Park, S.-G., Fang, T.-H., & Park, S.-H. 2019, A Study on Backup PNT Service for Korean

Maritime Using NDGNSS, *J. Navig. Port Res*, 43, 42-48. <https://doi.org/10.5394/KINPR.2019.43.1.42>

Han, Y., Son, P.-W., Seo, K., & Fang, T. H. 2022, Development of MF R-Mode Transmitting System for Maritime Resilient PNT in the Republic of Korea, *JPNT*, 11, 239-244. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.4.239>

IALA 2012, Recommendation R-129 on GNSS Vulnerability Measures.

IALA 2023, Guideline G1180 Resilient Position, Navigation and Timing (PNT).

IMO 2017, Guidelines for Shipborne Position, Navigation and Timing (PNT) Data Processing, (MSC.1/circ.1575).

ITU 2006, Technical characteristics of differential transmissions for global navigation satellite systems from maritime radio beacons in the frequency band 283.5-315 kHz in Region 1 and 285-325 kHz in Regions 2 and 3, Recommendation M.823-3

Johnson, G. & Swaszek, P. 2014, Feasibility Study of R-Mode using MF DGPS Transmissions, German Federal Waterways and Shipping Administration, Final Report

RTCM SC-10402.3. 2010, RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service, Version 2.3.

SBS NEWS, [Internet], cited 2024 June 6, available from: [https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news\\_id=N1007668738&plink=ORI&cooper=NAVER](https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1007668738&plink=ORI&cooper=NAVER)

Son, P.-W., Park, J., Yu, J., Jeong, S., Han, Y., et al. 2023, Skywave Detection and Mitigation for the MF R-Mode Continuously Operating Reference Station, *Sensors*, 23, 5046. <https://doi.org/10.3390/s23115046>

Son, P.-W., Park, S. G., Han, Y., & Seo, K. 2020, eLoran: Resilient Positioning, Navigation, and Timing Infrastructure in Maritime Areas, *IEEE Access*, 8, 193708-193716. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3033215>



**Younghoon Han** received his B.S. and M.S. degrees in Electronics Engineering from Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea, in 2010 and 2012, respectively. He is currently a senior research engineer with the Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO), Daejeon, South Korea. His research interests include back-up PNT navigation technologies for maritime application especially as an eLoran and an R-Mode.



**Pyo-Woong Son** received his B.S. degree in electrical and electronic engineering from Yonsei University, Seoul, South Korea, in 2012, and his Ph.D. in integrated technology at Yonsei University, Incheon, South Korea. He is currently a assistant professor with Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, South Korea. His research interests include complementary positioning, navigation, and timing systems, including eLoran.



**Jae Min Ahn** received Ph.D. degree in Electrical and Electronic from KAIST in 1994. He is currently a Professor in the Department of Radio Science and Information Communication Engineering at Chungnam National University in Korea. His research interests include Physical session of next generation mobile communication and Radio resource management.



**Kiyeol Seo** is currently a principal researcher with the Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO). He received his Ph.D. degree in maritime information measurement engineering from the Mokpo National Maritime University, Republic of Korea, in 2003. He has been involved in the development of integrated R-Mode navigation system. His research interests include resilient PNT system and integrity monitoring, GNSS reflectometry (GNSS-R), and precise positioning technology for maritime applications.



**Tae Hyun Fang** received his B.S., M.S., and Ph.D. degrees in Mechanical Engineering from Pusan National University, Busan, Korea, in 1994, 1998, and 2003, respectively. From 2004 to 2005, he was a visiting scholar at the Intelligent Transportation Research Center, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, United States. Since 2005, he has been with Maritime Safety and Environmental Research Division, Korea Research Institute of Ship and Ocean Engineering, Daejeon, Korea. His research interests include sensor fusion systems, PNT technology, and target tracking filter.

