

전국망 해양 정밀 PNT 서비스 실시간 시험 및 측위 성능 분석

박슬기¹, 이철민¹, 송재영², 전태형¹, 윤성현¹, 박상현^{1†}

Real-Time Testing and Positioning Performance Analysis of a Nationwide Maritime Precise PNT Service

Sul Gee Park¹, Cheolmin Lee¹, Jaeyoung Song², Tae Hyeong Jeon¹, Seonghyeon Yun¹, Sang Hyun Park^{1†}

¹Maritime PNT Research Office, Daejeon 34103, Korea

²Maritime Safety and Environmental Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), Daejeon 34103, Korea

ABSTRACT

A service that guarantees centimeter-level positioning accuracy in domestic coastal waters is essential for advanced maritime mobility, such as autonomous ships, port logistics automation, and maritime drones. Since April 2020, the Ministry of Oceans and Fisheries has been developing the Precise POSitioning and INTEgrity monitoring (POINT) service, a ground-based centimeter-level service that ensures centimeter-level positioning performance in advanced maritime mobility. The POINT system generates centimeter-level correction information by processing Global Positioning System (GPS) data collected from reference stations at a central processing center. Additionally, augmentation information is generated and broadcast using GPS data from monitoring stations. In 2023, a real-time operational system was established at the Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering's (KRISO) Maritime Positioning, Navigation and Timing (PNT) Operations Center. This paper presents a performance analysis conducted on the operation of the POINT service. First, performance requirement indicators and verification procedures were established, and these procedures were tested and verified by a third-party organization. During the verification process, positioning accuracy, integrity risk, availability, and continuity were evaluated across 19 monitoring stations nationwide. The positioning accuracy of the user environment was also verified on receiving platforms. The results showed that, all performance indicators were successfully met.

Keywords: maritime precise positioning service, POINT service, PPP-RTK

주요어: 해양 정밀 PNT 서비스, 센티미터급 해양 정밀 측위, POINT 서비스

1. 서론

지상기반 센티미터급 해양 정밀 Positioning, Navigation and Timing (PNT) 기술 개발 사업은 해양수산부에서 2020년 4월부터 해양 분야에 최첨단 기술을 적용한 이동 수단 및 시스템인 첨단 해양모빌리티에 활용할 수 있도록 추진되었다. 이 사업은 국제해사기구(international maritime organization, IMO) 결의안

A.915(22)의 미래 Global Navigation Satellite Systems (GNSS) 센티미터급 측위 요구성능과 무결성 요구성능을 반영하였으며, 해안에서 100 km 이내에서 수평 측위 정확도 5 cm (1 σ), 수직 측위 정확도 10 cm (1 σ), 경보한계(Alert Limit, AL) 0.5 m를 목표로 Precise POSitioning and INTEgrity monitoring (POINT) 서비스 개발을 수행하였다 (IMO 2001, Park et al. 2021, 2022, 2024, Kim et al. 2022, Song et al. 2023). POINT 서비스는 스마트 항만의 원

Received Dec 16, 2024 Revised Dec 19, 2024 Accepted Feb 05, 2025

[†]Corresponding Author E-mail: shaprk@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.

격크레인, 자율주행 화물 이송 장비, 컨테이너 등 하역 및 이송 전 과정에서 고정밀 위치 정보를 제공하여 작업 효율성 향상을 기대할 수 있다. 또한, 정밀 항법 정보를 자율운항 선박의 상황 인식 시스템에 적용함으로써 신뢰성 높은 무인 시스템 개발이 가능하다. 아울러, 수로 측량 분야에서는 기존 Differential Global Positioning System (DGPS) 기반의 미터급 해양 조사에서 센티미터급 위치 정보를 활용함으로써 더욱 정밀한 해양조사를 수행할 수 있다.

국내 해안 서비스 커버리지를 확보하기 위해, POINT 시스템은 전국 내륙 및 도서 지역에 위치한 약 40여개의 기준국에서 Global Positioning System (GPS) 데이터를 수집한다. 중앙처리국은 기준국에서 수집된 데이터를 기반으로 보정 정보와 무결성 정보를 생성하며, 이를 LTE, DMB, UHD 등의 방송통신망을 통해 실시간으로 전송한다.

개발된 POINT 시스템은 2023년에 선박해양플랜트연구소 해양 PNT 운영실에 구축되어 실시간으로 성능을 마쳤다. 이후 2024년 10월, 서비스 성능 시험을 수행하여 인증을 획득하였으며, 이를 국립해양측위정보원에 이관하였다. 이에 따라, 2024년 12월 11일 해양수산부에서 시범 서비스를 선포하였다.

본 논문에서는 8개월간 수행한 실시간 성능 검증 결과와 서비스 성능 시험을 위한 절차와 결과를 제시한다. 2장에서는 POINT 성능 시험 검증 절차를 설명하고, 3장에서는 POINT 서비스 성능 검증 결과를 기술하였다. 4장에서는 사용자 환경에서의 POINT 수신플랫폼 성능 검증 절차와 그 결과를 제시하고, 5장에서는 POINT 서비스의 대류권 및 전리층 보정 정보와 측위 성능을 분석하였다. 마지막으로 성능 검증 결과를 기반으로 POINT 서비스 활용을 위한 고려사항 및 추후 연구 내용을 제시하였다.

2. POINT 성능 검증 절차

POINT 시스템은 Fig. 1과 같이 국립해양측위정보원의 NDGNSS 기준국과 새로 구축한 14개의 POINT 기준국에서 GPS L1/L2 원시 데이터를 실시간으로 수집하여 중앙처리국으로 전송한다. 중앙처리국에서는 전국망에서 수집된 GPS 원시 데이터를 기반으로 가시 위성의 위성 궤도, 위성 시계, 위성 바이어스와 대류권 지연오차, 전리층 지연오차에 대한 32계 격자 보정정보를 생성한다. 또한, 감시국으로부터 생성한 무결성 파라미터를 Radio Technical Commission for Maritime Service (RTCM) 포맷으로 실시간으로 메시지를 생성한다 (RTCM 2022).

현재 Precise Point Positioning (PPP) 보정정보에 대한 RTCM 메시지 표준은 발표되었으나, Precise Point Positioning-Real time Kinematic (PPP-RTK)를 위한 대기오차 메시지 표준은 개발 중이다. 따라서 POINT 서비스는 메시지 타입번호 4055로 보정정보를 생성하여, 방송통신망을 통해 사용자에게 제공한다.

2.1 POINT 성능 지표

해양 고정밀 위치정보 서비스를 위하여 POINT 시스템의 목표 성능을 Table 1과 같이 정의하였다. 여기서, 수평 및 수직 정확도

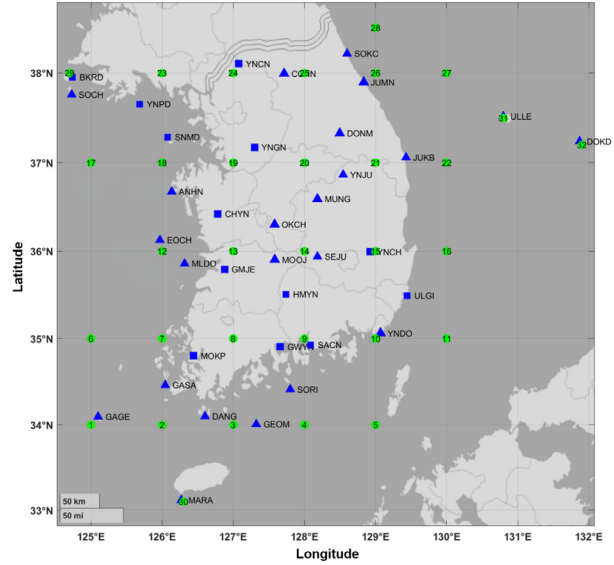


Fig. 1. POINT reference station.

Table 1. POINT performance requirements.

Performance	Requirements
Horizontal accuracy (63%)	5 cm
Vertical accuracy (68%)	10 cm
Alert limit	50 cm
Integrity risk	$10^{-5}/3$ hr
Availability	99.8%
Continuity	99.97%

Table 2. POINT monitoring station for performance validation.

Station	Distance from land	Station	Distance from land
BKR2	159.0 km	PAL3	12.5 km
CHJ3	Inland	SEO4	Inland
DOKD	228.0 km	SOK3	Inland
DON3	Inland	SNM2	50.6 km
EOC2	47.3 km	ULL3	147.0 km
GAG3	123.0 km	YNJ3	Inland
GEO3	49.0 km	YNC2	Inland
HOM3	Inland	YNP2	75.2 km
JUK4	Inland	GAS4	27.5 km
JUM3	Inland		

는 가시 위성의 Position Dilution of Precision (PDOP) 값이 3 미만일 때, POINT 보정 정보를 활용하여 계산한 위치와 실제 위치 간 누적 분포 함수의 63%와 68%가 각각 5 cm 및 10 cm 이내여야 한다. 무결성 위험은 3시간 동안 보호수준(protection level)이 경고한계를 넘거나, 위치 오차가 보호수준을 초과하는 확률은 $10^{-5}/3$ hr 이하여야 한다. 가용성은 보정 정보와 감시국에서 수집한 유효한 데이터 중에서 유효한 위치를 계산하는 비율을 의미한다. 여기서 유효한 데이터는 네트워크에 문제가 없고, 기준국 및 운영실의 정전과 같은 알고리즘 외적 요인으로 데이터 수집이 중단되지 않은 상태를 말한다. 또, 유효한 위치는 무결성 경고가 발생하지 않고 계산된 위치가 사용 가능한 상태를 의미한다. 마지막으로, 연속성은 15분동안 무결성 경고가 4회 이하로 발생하며, 경고 없이 계산된 위치가 지속적으로 사용 가능한 상태를 의미한다.

Table 3. POINT monitoring station for performance validation.

Test procedure	Pass/Fail criteria	Pass/Fail
TF1-1. Verification of system specifications and software		
Verification of system specifications and software	It must be consistent with the documented test equipment and software specifications	Pass
Source code review	The source code must exist.	Pass
- Horizontal position accuracy		
- Vertical position accuracy		
- Integrity risk		
- Availability		
- Continuity		
Validation of testing data	The testing data must exist.	Pass
TF1-2. Confirmation of test data report file creation		
Execution of positioning accuracy monitoring	A report file for the test data must be generated.	Pass
- Verification of monitoring service main execution of report file		
- Generation program screen output		
- Verification of daily generated report files		
TF1-3. Verification of performance metric measurement results		
Verification of performance metric measurement results	- The horizontal positioning accuracy must be less than 5 cm, and the vertical positioning accuracy must be less than 10 cm.	Pass
- Execution of performance metric calculation program	- The integrity risk must be no greater than 0.001% (i.e., 99.9990% or higher).	
- Confirmation of result output	- Service availability must be 99.80% or higher. - Service continuity must be 99.97% or higher.	
TF1-4. Confirmation of performance results		
Perform procedures TF1-2 to TF1-3 to verify the following	Execution results	Pass
- Verification of the horizontal positioning accuracy and vertical positioning accuracy of the static monitoring station.	- The horizontal positioning accuracy of the static monitoring station must be less than 5 cm, and the vertical positioning accuracy must be less than 10 cm.	
- Verification of the probability of no integrity risk occurrence at the integrity alert level for the static monitoring station.	- The probability of no integrity risk occurrence at the integrity alert level for the static monitoring station must be 99.9990% or higher.	
- Verification of the service availability of the static monitoring station.	- The service availability of the static monitoring station must be 99.80% or higher.	
- Verification of the service continuity of the static monitoring station.	- The service continuity of the static monitoring station must be 99.97% or higher.	

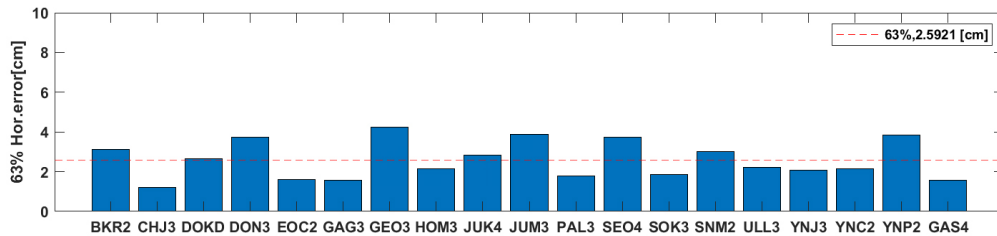


Fig. 2. Real-time horizontal positioning error in monitoring station.

2.2 POINT 성능 검증 절차 및 내용

POINT 측위 성능을 검증하기 위해, Table 2에 제시한 감시국을 대상으로 2024년 4월부터 12월까지 실시간 데이터를 활용하였다. 감시국은 해안에서 100 km 서비스 커버리지를 고려하여, 해안과의 거리가 10 km에서 최대 228 km 떨어진 지점에 설정하였다. 이 과정에서 기준국 및 감시국의 전원 및 네트워크 문제로 인해 정상적으로 수집되지 않은 기간은 성능 검증 결과에서 제외하였다. 또한, POINT 서비스의 실시간 성능 시험은 9월 1일부터 10월 15일 중 37일간 수평 및 수직 측위 정확도, 무결성 위험, 연속성, 가용성 항목에 대해 제 3기관을 통해 진행하였다. 시험 검증을 위해 해양 PNT 운영실에 구축한 POINT 시스템에서 실시간으로 보정정보를 생성하고, 감시국 환경에서 측위 정확도, 무결성 위험, 가용성, 연속성을 계산하여 매일 리포트를 생성하였다. 그리고, 시험 성능 검증 절차는 Table 3과 같이 시험환경, 데이터에

Table 4. POINT performance validation results.

Performance	Requirements	Results
Horizontal accuracy (63%)	5 cm	2.592 cm
Vertical accuracy (68%)	10 cm	4.156 cm
Alert limit	50 cm	-
Integrity risk	10 ⁻⁵ /3 hr	3×10 ⁻⁶ /3 hr
Availability	99.8%	100%
Continuity	99.97%	99.977%

대한 일일 보고서 파일 생성, 성능 지표 측정 수행 결과 확인, 수행 결과 확인 순으로 진행하였다.

3. POINT 서비스 성능 검증 결과

POINT 서비스 성능 시험은 제 3기관에서 성능 시험 절차에 따라 수행하였으며, Table 3에 지시된 절차와 기준을 모두 통과하

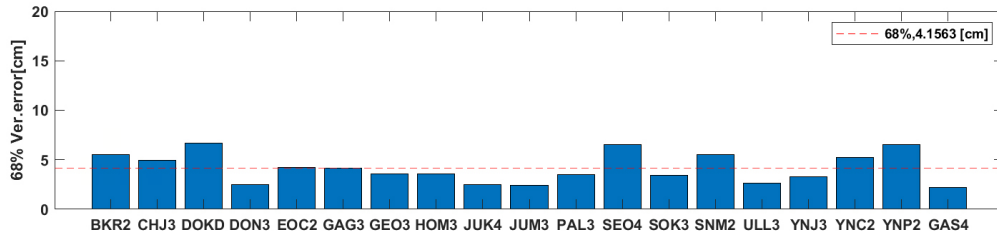


Fig. 3. Real-time horizontal positioning error in monitoring station.

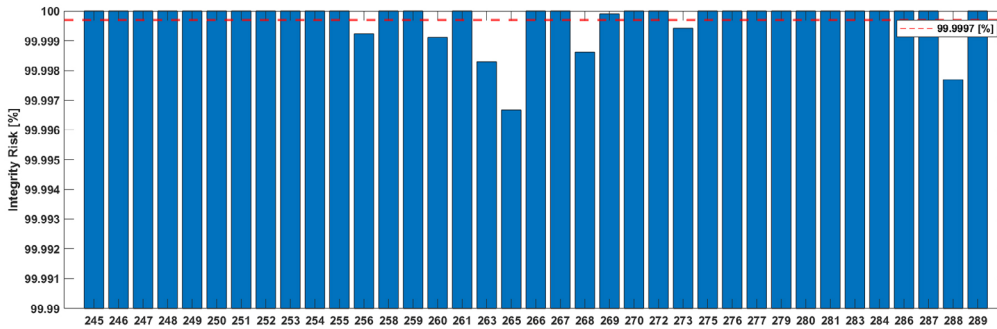


Fig. 4. Continuity results in monitoring station.

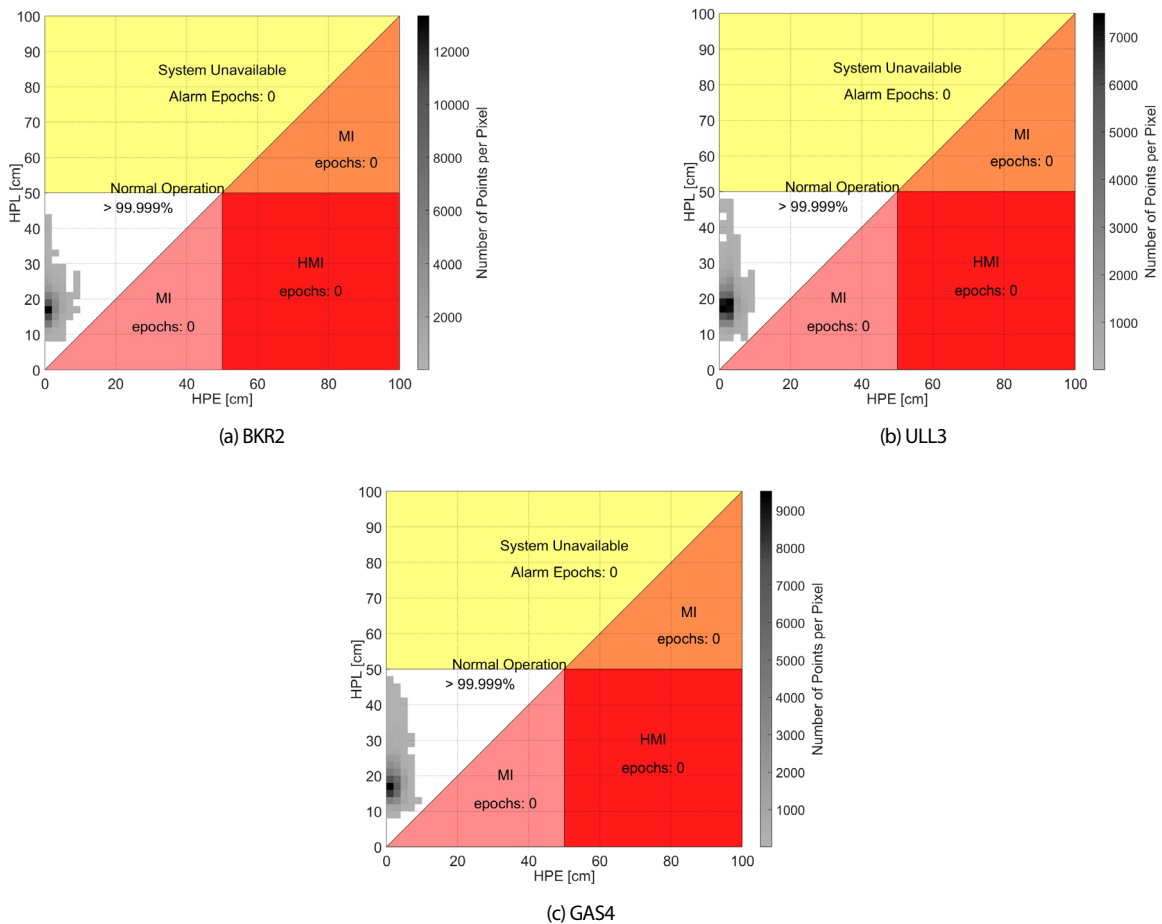


Fig. 5. Stanford chart in (a) BKR2, (b) ULL3, (c) GAS4.

Table 5. POINT receiver platform for performance validation.

Test procedure	Pass/Fail criteria	Pass/Fail
TF1-1. Verification of system specifications and software		
Verification of system specifications and software	It must be consistent with the documented test equipment and software specifications	Pass
Source code review	The source code must exist.	Pass
- Horizontal position accuracy		
- Vertical position accuracy		
Validation of testing data	The testing data must exist.	Pass
TF1-2. Verification of performance metric measurement results		
Verification of performance metric measurement results	The horizontal positioning accuracy must be less than 5 cm, and the vertical positioning accuracy must be less than 10 cm.	Pass
- Execution of performance metric calculation program		
- Confirmation of result output		
TF1-3. Confirmation of performance results		
Perform procedures TF1-2 to verify the following	Execution results	Pass
- Verification of the horizontal positioning accuracy and vertical positioning accuracy of the static monitoring station.	- The horizontal positioning accuracy of the static monitoring station must be less than 5 cm, and the vertical positioning accuracy must be less than 10 cm.	

였다. 성능 시험 결과는 Table 4와 같이 수평 및 수직 측위 오차가 각각 2.59 cm, 4.15 cm로, 목표 성능 5 cm, 10 cm를 만족하였다. 또한, 무결성 위험은 $3 \times 10^{-6}/3$ hr, 가용성은 100%, 연속성은 99.977%로 모든 목표 성능을 만족하는 것으로 확인하였다. Figs. 2-5는 각각 수평 오차, 수직 오차, 연속성, 무결성 위험의 결과를 나타낸다. 특히, Fig. 4에서 연속성이 저하된 265일은 기준국 및 중앙처리국의 문제로 인해 보강정보 생성에 필요한 유효 데이터가 부족했고, 호미 감시국에서 위치 오차가 보호 수준을 초과하는 구간이 발생하였다. 이는 감시국 환경에서 낮은 양각 위성의 측정치 변화와 미지정수 결정의 부정확성으로 인해 위치오차가 크게 발생하였다. 추후에는 이를 해결하기 위해 사용자 알고리즘에서 낮은 양각 위성의 측정치 처리 개선과 다중 위성군을 활용하여 안정화할 계획 중이다.

4. POINT 수신플랫폼 성능검증 결과

POINT 사용자 수신 플랫폼은 GPS 데이터를 수집하는 GPS chip이 내장되어 있으며, POINT 보강 정보를 수신하기 위한 방송통신 단말기와 연동이 가능하다. 수신 플랫폼은 수신한 GPS 데이터와 POINT 보정 정보를 활용하여 가시 위성의 보정 정보 및 사용자 위치 인근의 격자 대기 정보를 보간하고, 이를 바탕으로 정밀한 위치를 계산한다. 또한, 무결성 정보를 통해 사용자의 보호수준을 계산하며, 보호수준이 경보한계를 초과할 경우 알람을 발생시킨다.

4.1 POINT 수신플랫폼 성능검증 절차 및 내용

3장에서는 GPS 수신 환경이 양호한 감시국에서 POINT 서비스 성능을 시험하였고, 이번 장에서는 선박해양플랜트연구소에서 2024년 8월 21일부터 10월 17일까지의 52일간 수집한 데이터를 이용하여 수신플랫폼의 수평 및 수직 측위 정확도 성능 시험을 수행하였다. 여기서, 시험에 포함되지 않은 기간은 기준국 및 중앙처리국의 정전과 네트워크 문제, 수신플랫폼의 전원 및 네트워크 문제로 인해 정상적으로 데이터가 수집되지 않은 날이다.

4.2 POINT 수신플랫폼 성능검증 결과

POINT 수신플랫폼 성능 시험은 Table 5의 절차에 따라 제 3 기관에서 수행하였다. 시험 절차는 시험 환경 확인, 수평 및 수직 측위 정확도 측정 및 결과 확인, 수행 결과 확인으로 구성되었다. Fig. 6에서 수평 측위 정확도 3.36 cm, 수직 측위 정확도 6.99 cm로 목표 성능을 달성하였음을 확인하였다. Fig. 7은 DOY 244일과 287일의 하루 측위 결과를 나타내며, DOY 259일과 265일은 기준국 및 중앙처리국의 문제로 보강 정보 생성에 필요한 유효 데이터가 부족했던 구간이다. 따라서, POINT 서비스는 기준국 및 중앙처리국 유효 데이터 이상이 발생하지 않는 한 안정적으로 측위 성능을 제공함을 확인하였다.

5. POINT 보정정보 및 측위 성능 분석

POINT 보정 정보는 연근해에서 정밀 위치 정보를 계산하기 위해 오차 요소 별 보정 정보를 제공하는 State Space Representation 방식으로 제공된다. 위성 오차는 서비스 커버리지 내에서 공통으로 제공되지만, 대기 오차는 서비스 커버리지를 32개의 격자로 나누어 제공된다. 대기 오차 보정정보는 각 격자에 대해 천정 방향의 습윤 지연 오차와 Slant Total Electron Content (TEC) 형태로 제공된다. 사용자는 인근의 격자 데이터를 보간하여 활용하므로, 대기 오차 보정 정보의 특성에 따라 격자 크기와 보간 방식을 고려해야 한다. 이번 장에서는 POINT 대기 오차 보정정보 성능을 2024년 5월부터 10월까지 시간별, 계절별로 분석하였으며, 이러한 대기 오차 특성이 측위에 미치는 영향을 분석하였다.

5.1 대기 오차 보정정보 성능 분석

POINT 서비스는 대류층과 전리층 보정정보를 격자 형태로 사용자에게 제공한다. 격자는 Fig. 1과 같이 약 1도 간격으로 남서 내륙부터 29번까지 정의하고, 제주도, 울릉도, 독도를 30-32번으로 나타내었다. 그리고 격자별 천정방향의 습윤 지연 오차와 가시위

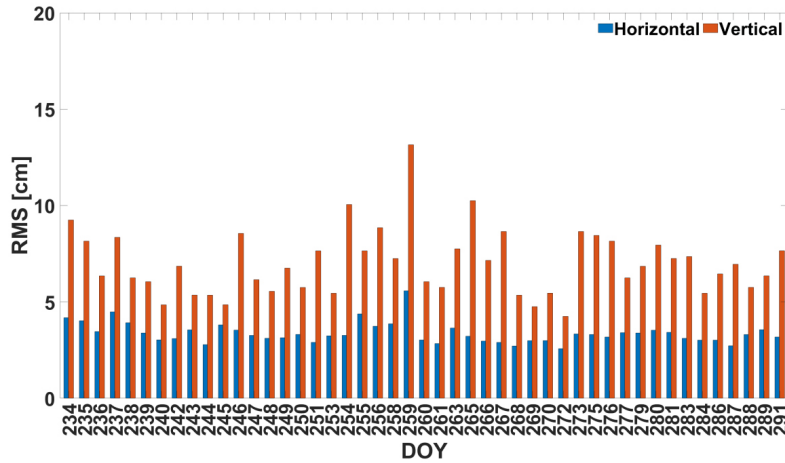


Fig. 6. POINT receiver platform positioning results.

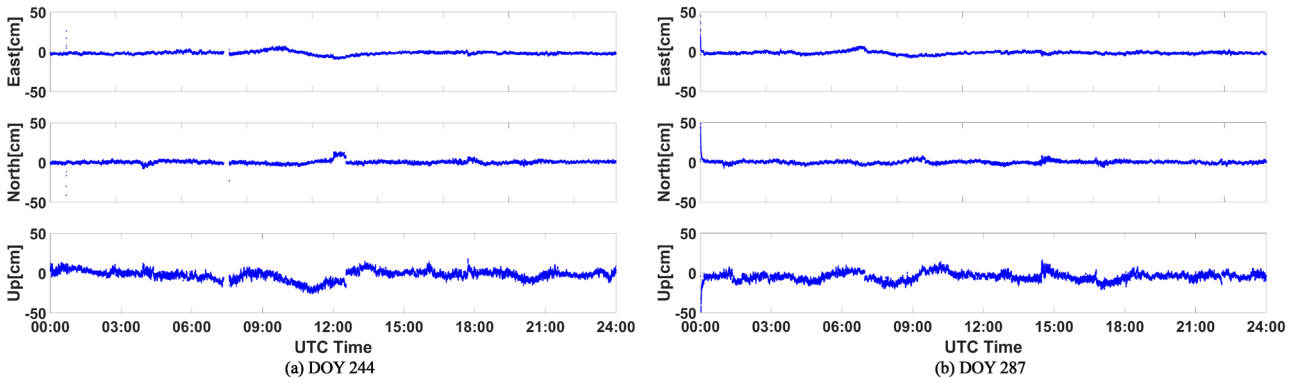


Fig. 7. POINT receiver platform positioning results on DOY 244 and 287.

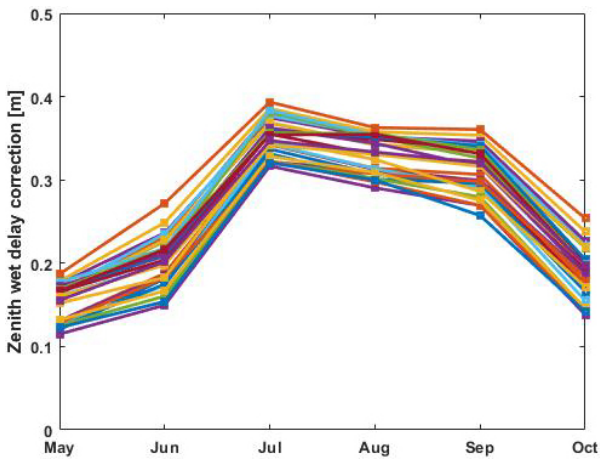


Fig. 8. Monthly POINT tropospheric wet delay grid corrections.

성의 slant TEC를 제공하고 있다. Fig. 8은 천정방향 습윤 지연 오차를 5월부터 10월까지 각 격자에서 월별 평균값을 나타낸 것이다. 격자별 오차는 크지 않지만, 7~8월 여름철에 습윤 지연 오차가 크게 발생함을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 격자별 3시간 동안의 가장 크고 작은 slant TEC

의 평균을 나타낸 것이다. 해당 그래프의 시간은 Coordinated Universal Time (UTC)로 낮시간인 UTC 3:00 ~ 9:00에 전리층 지연 오차와 변화율이 크며, 밤시간에는 오차와 변화율이 작은 것을 확인할 수 있었다. 또한, 월별 분석 결과, 가을철인 9월과 10월에 오차의 크기와 변화율이 특히 큰 것을 확인하였다.

현재 POINT 서비스는 매초 보정정보를 제공하고 있지만, 향후 위성을 통한 보정 정보 서비스에는 보정 정보의 주기와 크기를 시간대와 계절에 따라 유동적으로 선택할 필요가 있음을 확인하였다.

5.2 측위 성능 분석

Figs. 2-3에서 확인한 측위 성능을 5월부터 10월까지 장기간 테스트를 통해 분석 하였으며, 그 결과 Figs. 10-11과 같이 수평 2.33 cm, 수직 7.28 cm로 목표 성능을 모두 만족하였다. Fig. 12는 장기간 측위 성능을 월별로 분석한 결과이다. 전리층 지연오차는 월별로 큰 변화를 보이지만, 안정적인 측위 결과를 확인하였다. POINT 서비스는 현재 매초 보정정보를 방송하기 때문에 전리층 지연 오차의 큰 변화에도 효과적으로 대응할 수 있음을 확인할 수 있다.

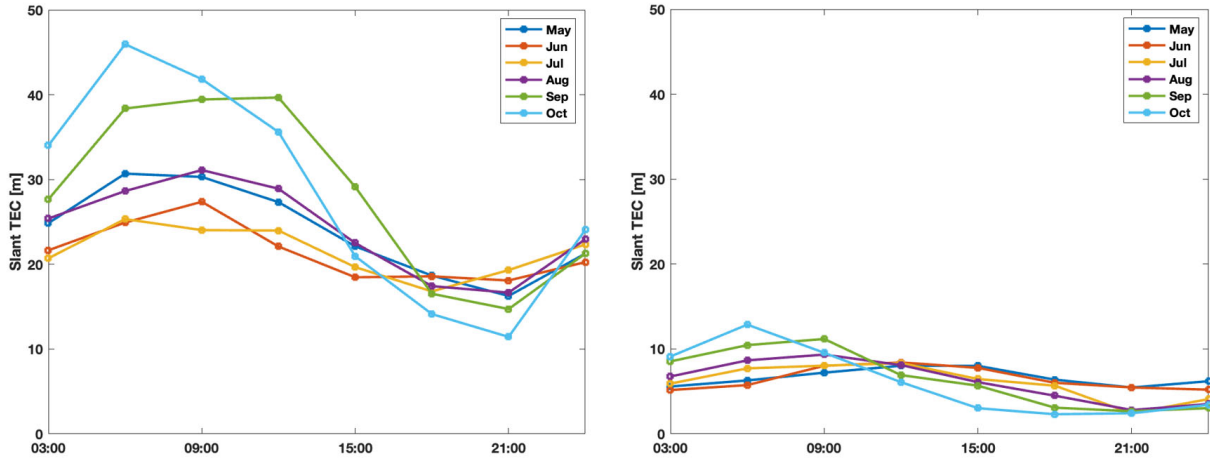


Fig. 9. Hourly POINT Ionospheric corrections. (left) Max slant TEC (right) Min slant TEC.

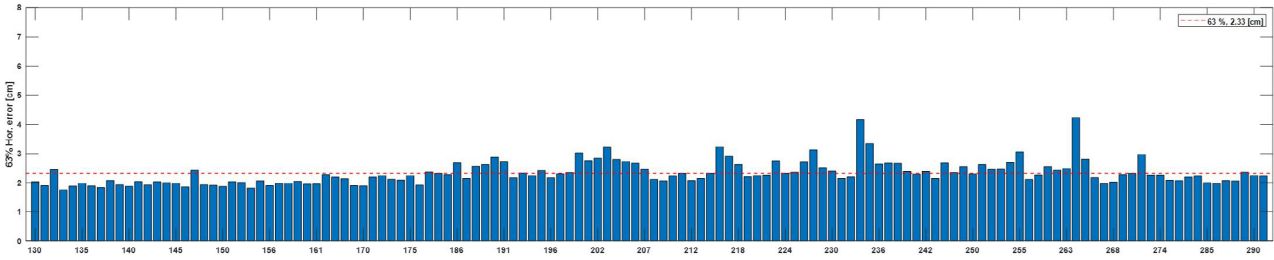


Fig. 10. Long-term horizontal positioning error in monitoring station.

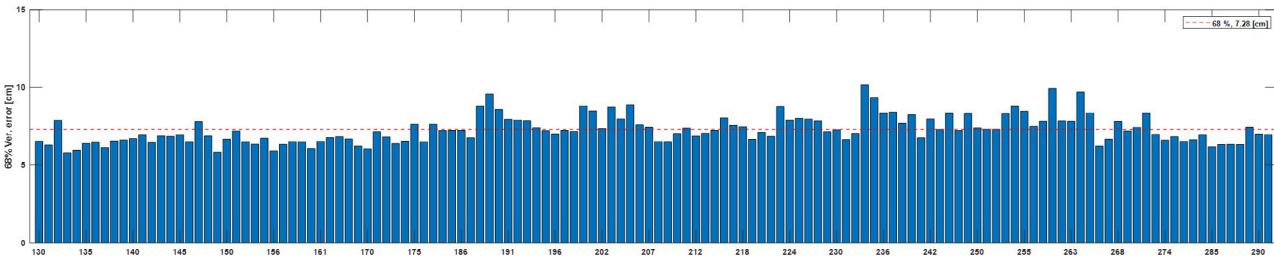


Fig. 11. Long-term vertical positioning error in monitoring station.

6. 결론

2020년도부터 수행한 지상기반 센티미터급 해양 정밀 PNT 시스템을 첨단 해양 모빌리티에 활용할 수 있도록, 본 논문에서는 성능 시험 검증을 위한 절차와 결과에 대하여 기술하였고, POINT 보정정보와 측위 성능 결과를 분석하였다. 기술개발한 POINT 시스템을 실시간으로 시험 검증하기 위하여, 감시국과 수신플랫폼 환경에서 각각 시험 절차 및 기준에 따라 제 3기관에서 수행하였다. 감시국 환경에서는 실시간으로 37일간 수평 및 수직 측위 정확도, 무결성 위험, 가용성, 연속성을 시험하였고, 수신플랫폼 환경에서는 52일 데이터로 수평 및 수직 측위 정확도를 시험하였다. 해당 시험에 기준국, 중앙처리국, 수신플랫폼의 정전, 네트워크 등의 사건 및 이상현상 일자는 제외하였다. 그 결

과 감시국과 수신플랫폼 모두 성능 시험을 모두 통과하여 제 3기관의 성적서를 발급받았다. 일부 구간에서 연속성 또는 측위 성능을 달성하지 못하는 원인은, 전국의 기준국과 감시국에서 수집하 GPS 원시 정보를 중앙처리국으로 전송하여 보정 정보를 생성하는 중앙집중형 시스템의 특성으로 분석하였다. 이러한 시스템 특성상 데이터 수집이 원활하지 않으면 보정 정보 생성이 불안정해지거나, 감시국의 측정치 문제로 인해 미지정수 결정이 어려워질 수 있다. 그러나 감시국 측정치의 전처리 및 필터 개선을 통하여 성능 안정화를 확인하였다. 따라서, POINT 서비스의 안정적인 운영을 위해서는 기준국, 감시국, 중앙처리국의 연속적인 데이터 수집 환경을 조성하고, DOP 향상을 위해 다중 위성군 활용이 필수적이다.

본 논문에서는 POINT의 대기 보정 정보를 격자별, 시간별, 계

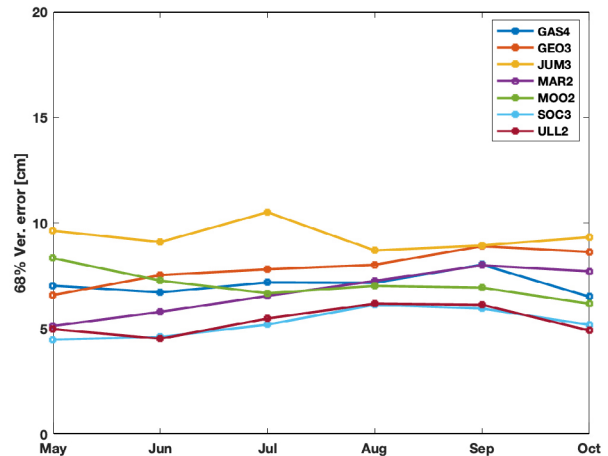
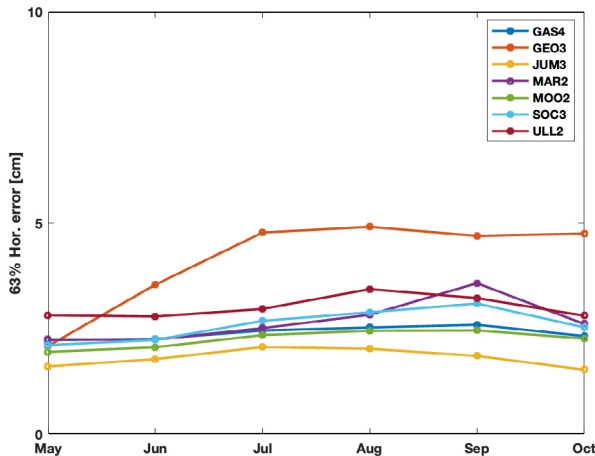


Fig. 12. Monthly POINT positioning accuracy. (left) horizontal (right) vertical.

절별로 분석하였다. 천정 방향의 습윤 지연 오차는 여름철에 증가하지만, 격자별 차이는 크지 않았다. 반면, 전리층 지연 오차의 경우 낮 시간대에 오차와 변화율이 크게 나타났으며, 가을에 가장 두드러졌다. 시간과 계절에 따라 보정 정보의 변화율이 컸지만, 측위 결과는 계절별로 유사함을 확인하였다. 이는 POINT 서비스가 매초 보정 정보를 방송하여 변화율을 신속하게 반영한 것으로 분석하였다.

향후 연구에서는 1년 이상의 보정정보 특성을 분석하며, 보정 정보 생성과 사용자 알고리즘에서 빠르고 정확한 미지정수 결정을 위하여 다중 위성군을 활용할 계획이다. 또한, 보정 정보 서비스의 방송 통신망 대역폭 환경에 따라 보정 정보의 크기와 주기를 대기 오차 특성에 맞게 유동적으로 조정할 수 있도록 연구 개발이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 해양수산부 재원으로 국가연구개발사업인 “지상기반 센티미터급 해양 정밀 PNT 기술개발”에 의해 수행되었습니다 (2520000093).

본 논문은 2024년 항법시스템학회 정기학술대회에서 우수논문상을 받았으며, 발표한 논문을 확장한 내용임.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, S. G. Park; methodology, S. G. Park; software, C. Lee, J. Song and T. H. Jeon; real-time test, T. H. Jeon, J. Song, C. Lee and S. H. Yun; validation, S. G. Park, T. H. Jeon, J. Song, C. Lee and S. Yun; formal analysis, S. G. Park; writing—original draft preparation, S. G. Park; writing—review and editing, S. G. Park, S. H. Park; project administration, S. H. Park.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

International Maritime Organization 2001, Revised Maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System Resolution A.915(22), 2001.

Kim, G., Jeon, TH., Song, J., Park, S. G., & Park, S. H. 2022, Architecture Design for Maritime Centimeter-Level GNSS Augmentation Service and Initial Experimental Results on Testbed Network, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, 11, 269-277. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.4.269>

Park, S. G., Kim, G., Jeon, T. H., Song, J. Y., & Park, S. H. 2022, Implementation for Ground-based Maritime Precise PNT System on the Test-bed, 2022 IPNT Conference, Gangneung, Korea, Nov 2-4 2022, pp.377-380. <https://ipnt.or.kr/2022proc/103>

Park, S. G., Lee, C., Song, J. Y., Jeon, T. H., Yun, S., et al. 2024, Performance Analysis for POINT Service Based on National Network, 2024 IPNT Conference, Jeju, Korea, Nov 6-8 2024, pp.9-12. <https://ipnt.or.kr/2024proc/182>

Park, S. G., Park, D. S., Kim, M. G., & Park, S. H. 2021, Architecture Design of Ground-based Maritime Precise PNT System, 2021 IPNT Conference, Gangneung, Korea, Nov 3-5 2021, pp.35-38. <https://ipnt.or.kr/2021proc/43>

RTCM Special Committee No.104 2022, Differential GNSS (global navigation satellite systems) services – version 3 + amendment 3 (RTCM Standard No. 10403.3).

Song, J., Jeon, TH., Kim, G., Park, S. H., & Park, S. G. 2023, Trend and Analysis of Protection Level Calculation

Methods for Centimeter-Level Augmentation System in Maritime, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, 12, 281-288. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2023.12.3.281>



Sul Gee Park is the general management team leader, maritime PNT research office and senior engineer of the maritime PNT research centre at Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering. She received B.S. and M.S. degrees from Chung-nam National University, Republic of Korea. Her current research focus on PPP-RTK, eLoran system and integrity monitoring.



Cheolmin Lee received the master's degree from the Department of Mechanical Engineering at Hongik University, Republic of Korea. He is currently a Researcher at the Maritime PNT Research Center in Korea, and his research interests include satellite-based navigation and multi-sensor fusion. Currently, he is focusing on the GNSS PPP-RTK and related algorithms.



Jaeyoung Song is a researcher in maritime PNT research office. He received B.S. and M.S. degrees from Hongik University Republic of Korea. His current research focus on RTK, integrity monitoring.



Tae Hyeong Jeon is researcher of maritime PNT research office. He received B.S. and M.S. degrees from Hankyong National University, Republic of Korea. His current research focus on PPP-RTK.



Seonghyeon Yun is a post-doctoral associate of Maritime PNT Research Office, KRISO, Republic of Korea. He received Ph.D. degrees from Changwon National University in 2023. His experience and research interests include GNSS signals, satellite-based positioning and navigation, tectonic and structural deformation monitoring, GPS/GNSS applications for geodetic science and engineering.



Sang Hyun Park is the head, maritime PNT research office and principal researcher the maritime PNT research centre at the Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO). He received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees from Chungnam National University, Republic of Korea. He had worked as a senior research engineer at Automotive Electronic R&D Center for Hyundai-Kia Motors. He has been involved in lots of radio navigation-related research projects such as a vessel berthing system using GPS, DGNSS reference stations and integrity monitors, eLoran system, etc. His current research interests focus on resilient PNT systems for e-Navigation.

