

연구논문

선박 GNSS(Global Navigation Satellite System) 자료를 사용한 전리권 정보 산출 실험: 이사부호 초기 결과

손동호^{1†}, 최병규¹, 홍준석¹, 이경목², 이우경^{1,3}, 정종균¹, 박요섭²

¹한국천문연구원

²한국해양과학기술원

³과학기술연합대학원대학교 천문우주학과



Received: July 3, 2024
Revised: August 20, 2024
Accepted: August 21, 2024

†Corresponding author :

Dong-Hyo Sohn
Tel : +82-42-869-5921
E-mail : dhsohn@kasi.re.kr

Copyright © 2024 The Korean Space Science Society. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

ORCID

Dong-Hyo Sohn
<https://orcid.org/0000-0001-9719-702X>
Byung-Kyu Choi
<https://orcid.org/0000-0003-2560-6714>
Junseok Hong
<https://orcid.org/0000-0002-2347-7907>
Gyeong Mok Lee
<https://orcid.org/0009-0001-8303-506X>
Woo Kyoung Lee
<https://orcid.org/0000-0001-5020-8684>
Jong-Kyun Chung
<https://orcid.org/0000-0003-4493-8378>
Yosup Park
<https://orcid.org/0009-0004-1867-8984>

Ship-Borne Global Navigation Satellite System (GNSS) for Ionospheric Total Electron Content Monitoring: Preliminary Results from ISABU Experiments

Dong-Hyo Sohn^{1†}, Byung-Kyu Choi¹, Junseok Hong¹, Gyeong Mok Lee², Woo Kyoung Lee^{1,3}, Jong-Kyun Chung¹, Yosup Park²

¹Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 34055, Korea

²Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Korea

³Department of Astronomy and Space Science, University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea

요약

이 연구에서는 선박에 설치한 GNSS(Global Navigation Satellite System) 관측시스템 자료를 사용해 전리권 전자밀도(total electron content, TEC)를 산출하고 지상 GNSS 자료에서 산출한 TEC와 비교하여 결과를 검증하였다. GNSS는 24시간 관측할 수 있고 비용이 상대적으로 저렴하며 설치가 쉬워 전리권의 변화를 감시하는데 좋은 관측시스템이다. 그러나 대부분의 GNSS 관측소가 육지에 있어 바다에서 관측한 정보가 부족한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 한국해양과학기술원에서 운영하는 연구실험선 '이사부호'에 GNSS 관측시스템을 설치해 전리권 전자밀도를 산출하는 실험을 진행하였다. 2021년 7월 30일부터 8월 24일까지 수집한 GNSS 자료를 사용해 TEC를 산출하였고, 예상된 전리권 일변화와 위도에 따른 특성을 확인하였다. 또한, 인근 지상 GNSS 자료를 사용하여 산출한 TEC과 비교해 비슷한 변화경향이 나타남을 확인하였다. 이 초기 결과를 바탕으로 장기간 수집한 자료를 사용해 전리권 특성을 연구하고 전리권 감시에 활용할 수 있는지 분석할 예정이다.

Abstract

In this study, we calculated total electron content (TEC) using ship-borne global navigation satellite system (GNSS) observations and validated the results by comparing the ground-based TEC. GNSS is an effective tool for monitoring the ionosphere as it allows 24-hour observations, is low cost, and is easy to install. However, most GNSS stations are located on land, which leads to a lack of data from the ocean. Therefore, we conducted an experiment collecting GNSS data in the ocean by installing GNSS observation systems aboard the research vessel 'ISABU', operated by the Korea Institute of Ocean Science and Technology. We estimated TEC using GNSS data from July 30 to August 24, 2021. From the results, we confirmed daily and latitudinal variations of TEC as expected. Additionally, we compared the results with TEC derived

from nearby ground-based GNSS stations and then verified similar variations. Based on these results, we plan to research ionospheric climatology using long-term data and assess its potential for ongoing ionospheric monitoring.

핵심어 : 선박 GNSS(Global Navigation Satellite System), 전리권 감시, 전리권 총전자량, 이사부호

Keywords : ship-borne Global Navigation Satellite System (GNSS), ionospheric monitoring, ionospheric total electron content, ISABU

1. 서론

지구 전리권은 태양복사선에 의해 지구 대기가 이온화한 지역으로 전자가 밀집해 있어 전파를 사용한 통신과 위성항법시스템 등 성능에 영향을 주기 때문에 전리권의 변화를 감시하는 것이 필요하다. 전리권은 이온존데, 레이더와 같은 지상 관측기와 위성에 설치한 전자밀도 측정기 등을 통해 변화 정보를 얻을 수 있다[1,2]. 그러나, 이들 관측시스템은 관측지점과 관측 시간이 제한적이라 전 지구 상시 관측을 위해서는 다른 관측 방법이 필요하다.

전 지구 위성항법시스템(global navigation satellite system, GNSS)은 지구를 중심으로 공전하는 GNSS 위성에서 보내는 신호를 수신해 사용자의 위치와 시각정보를 결정하는 시스템이다. GNSS 신호는 사용자가 수신하기 전 다양한 이유로 지연을 겪는데 전리권에 의한 지연이 가장 큰 비중을 차지하고, 이를 거꾸로 계산해 전리권의 전자밀도(total electron content, TEC)를 추정할 수 있다[3]. GNSS는 상대적으로 구축 비용이 저렴하고, 24시간 관측할 수 있으며, 지상에 광범위하게 설치되어 있어 전 지구 또는 지역 전리권 감시에 가장 효율적인 관측시스템이다. 한국천문연구원에서도 GNSS 자료를 실시간으로 수집해 전리권 전자밀도 정보를 산출하고 예측하는 시스템을 개발 중이다.

그러나 GNSS 관측소 또한 대부분 육지에 위치해 지구 표면의 약 71%를 차지하는 바다에서는 관측 정보가 부족하다. 지구 전리권은 하나로 연결된 시스템이므로 변화 양상을 이해하기 위해서는 바다 관측이 필수이다. 전 지구 전리권 변화를 보기 위해 GIM(Global Ionospheric Maps)을 자주 사용하는데 이것은 GNSS 국제기구인 IGS(International GNSS Service) 분석센터에서 200여 개 이상의 GNSS 관측소 자료를 사용해 위도 2.5°, 경도 5° 격자별로 생성한 TEC 정보이다[4-6]. GIM 역시 대부분 육지에 있는 관측소 자료를 사용하므로 바다에서 정밀도가 떨어진다[7].

Fig. 1은 해상을 운항하는 선박들의 개별 위치(left)와 1년 동안 운항 빈도(right)를 나타낸 그림이다. 운항 빈도가 높을수록 짙은 붉은색이다. 국제해사기구에 의하면, 세계 무역의 80% 이상이 해상운송으로 이루어진다고 할 만큼 다양하고 많은 선박이 운항 중이다[8]. 이들 선박의 다수는 대기와 해양의 물리적, 생물학적, 지구화학적 특성을 측정할 수 있는 플랫폼이 있다[9]. 예를 들어 화물선, 여객선, 어선, 연구선, 군함은 위치정보뿐만 아니라 대기의 온도, 압력, 풍향, 풍속, 수온, 염도, 무기탄소 등의 정보를 측정하여 제공한다. 특히, 연구 목적의 선박인 연구선은 여러 계측기를 장착하여 대기, 해양 및 해저에 대한 광범위한 요소들을 관측하고 분석할 수 있는 시스템이 구축되어 있다. 이들 선박은 위치 추적을 위해 선박 자동식별 장치(automatic identification system, AIS)와 GNSS를 부착하고 있다. AIS는 선박의 이름, 유

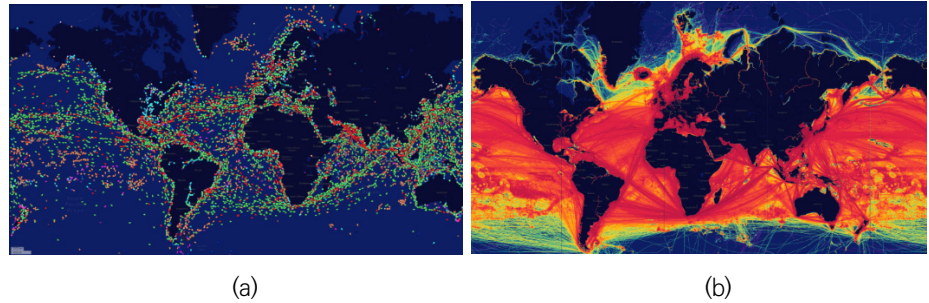


Fig. 1. Ship tracking. Map of global ship traffic (a) and shipping's busiest routes (b) [10]. Greater red intensity indicates a higher number of ship operations.

형, 치수, 식별번호를 나타내는 정적정보, 선박의 좌표, 속도, 항로를 나타내는 동적정보, 그리고 선박의 목적지, 화물정보 등을 나타내는 항해정보를 제공한다. GNSS 수신기는 GNSS 신호로부터 선박의 위치를 계산할 수 있을 뿐만 아니라 전리권, 대류권 등 지구 대기 정보 역시 산출할 수 있다. 따라서 운항 중인 선박에 설치한 GNSS 수신기 자료를 사용해 TEC 정보를 산출한다면 바다에서 전리권 정보를 얻는 데 도움이 될 것으로 기대한다.

따라서 이 연구에서는 연구실험선인 이사부호에 이중주파수 GNSS 관측시스템을 설치해 자료를 수집하고, 전리권 전자밀도를 산출한 결과를 기술한다. 2장에서는 연구에 사용한 선박과 연간 해상 활동을 소개하고, GNSS 관측시스템 설치 과정에 관해 서술한다. 3장에서는 이 연구에서 사용한 선박 GNSS 자료의 수집기간과 대상 지역에 관해 기술하고, TEC 산출방법에 대해 설명한다. 4장에서는 선박 GNSS TEC 변화패턴을 분석하고 육지 GNSS 자료를 이용하여 산출한 TEC과 비교한다. 5장에서는 결론을 제시하였다.

2. 선박 GNSS(Global Navigation Satellite System) 관측 시스템 구축

2.1 연구실험선 이사부호

이 연구에서는 한국해양과학기술원에서 운영 중인 연구실험선 이사부호(ISABU)를 사용하였다(Fig. 2). 2016년 11월에 취항한 이사부호는 전장이 99.8 m이고, 선폭이 18.0 m이며, 국제총톤수가 5,894톤인 우리나라 최초의 해양과학 연구선으로 해양, 대기 및 해저 연구를 수행하고 있다. 이 선박은 순항 시 12노트(약 22.2 km/h)로 움직이고, 최대 15노트(약 27.8 km/h)의 속도로 이동한다[11].

이사부호는 전 지구 해양을 대상으로 연구를 수행한다. 2023년의 경우, 이사부호는 1년 중 284일을 바다에서 활동하였다. 주로 상반기에는 인도양에서, 하반기에는 태평양 지역에서 운항하였고, 북위 40도-남위 25도 사이, 동경 55-150도 사이의 활동무대를 가졌다. 구체적인 활동사례를 보면, 북서태평양 슈퍼태풍 발생 메커니즘 연구, 지역해 및 대양에서의 에어로졸 해양-대기 상호작용 연구, 인도양 중앙해령대 심해열수공 생명시스템 연구, 인도양 국제협력 공동관측 및 연구사업 등이 있다[11].



Fig. 2. Research vessel 'ISABU' [11].

2.2 GNSS(Global Navigation Satellite System) 관측시스템

이사부호에는 중앙 마스트에 항법용 위성항법장치가 기본적으로 장착되어 있다. 이 장치는 선박의 항행을 위한 용도로 약 1 m 수준의 위치 정확도를 가진다. 그러나 보다 정확한 위치 정보와 대기에 의한 지연오차를 추정하기 위해 별도의 GNSS 관측시스템을 설치하였다. 설치한 GNSS 관측시스템은 GNSS 수신기, 안테나, 그리고 케이블로 구성한다. GNSS 안테나는 Septentrio사(Leuven, Belgium)의 PolaNt-x MF 모델로, 측지, 측량 및 기계제어 응용을 위한 경량형 모델로써, 저잡음 증폭기를 통합하여 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽연합의 Galileo, 중국의 BeiDou 등 여러 위성항법시스템의 신호 수집이 가능하다. 케이블은 TNC to TNC 타입의 15 m 길이로 안테나와 수신기를 연결한다. 그리고 GNSS 수신기는 Septentrio사의 PolaRx5를 사용하였다. 이 수신기는 GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, 일본의 QZSS 등의 다중 위성항법 신호를 수신하며, 전파신호의 간섭, 다중경로 및 기타 여러 환경의 영향을 지속해서 감시하여 수신 신호를 보호한다. 그리고 전력 소비량이 낮아 선박과 같이 자율적으로 전력을 생산하고 소비하는 플랫폼에 적합하다.

GNSS 관측시스템은 이사부호의 뱃머리 부분에 설치하였다(Fig. 3a). 그림에서 보는 바와 같이, 뱃머리에는 중앙 돛대와 달리 선박 운항에 필요한 장비들이 거의 설치되어 있지 않다. 그래서 다른 전파신호에 의한 GNSS 위성신호의 간섭과 타 장비에 의한 신호의 다중경로 영향 등이 적을 것으로 판단하였다. 또한, 뱃머리에는 선내로 통하는 작은 실내공간이 있어서 이곳에 수신기를 설치하여 외부환경으로부터 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

GNSS 관측시스템의 안테나는 뱃머리 전망대 난간 펜스에 지지대를 스틸타이로 고정하고, 그 위에 설치하였다(Fig. 3b). 이는 배의 요동침에 따라 안테나가 불안정하게 흔들리는 것을 최소화하기 위함이다. 케이블은 전망대 난간에서 시작하여 계단 및 환풍구를 통해 실내하부로 연결되는 통로에 설치하였다(Fig. 3c). 수신기는 전망대 하부 실내 벽에 고정틀과 케이블 타이로 체결하였다(Fig. 3d). 이곳은 전기 콘센트가 있어 수신기에 안정적으로 전기를 공급할 수 있고, 강수, 햇빛, 염분 바람 등으로부터 장비를 보호할 수도 있다.

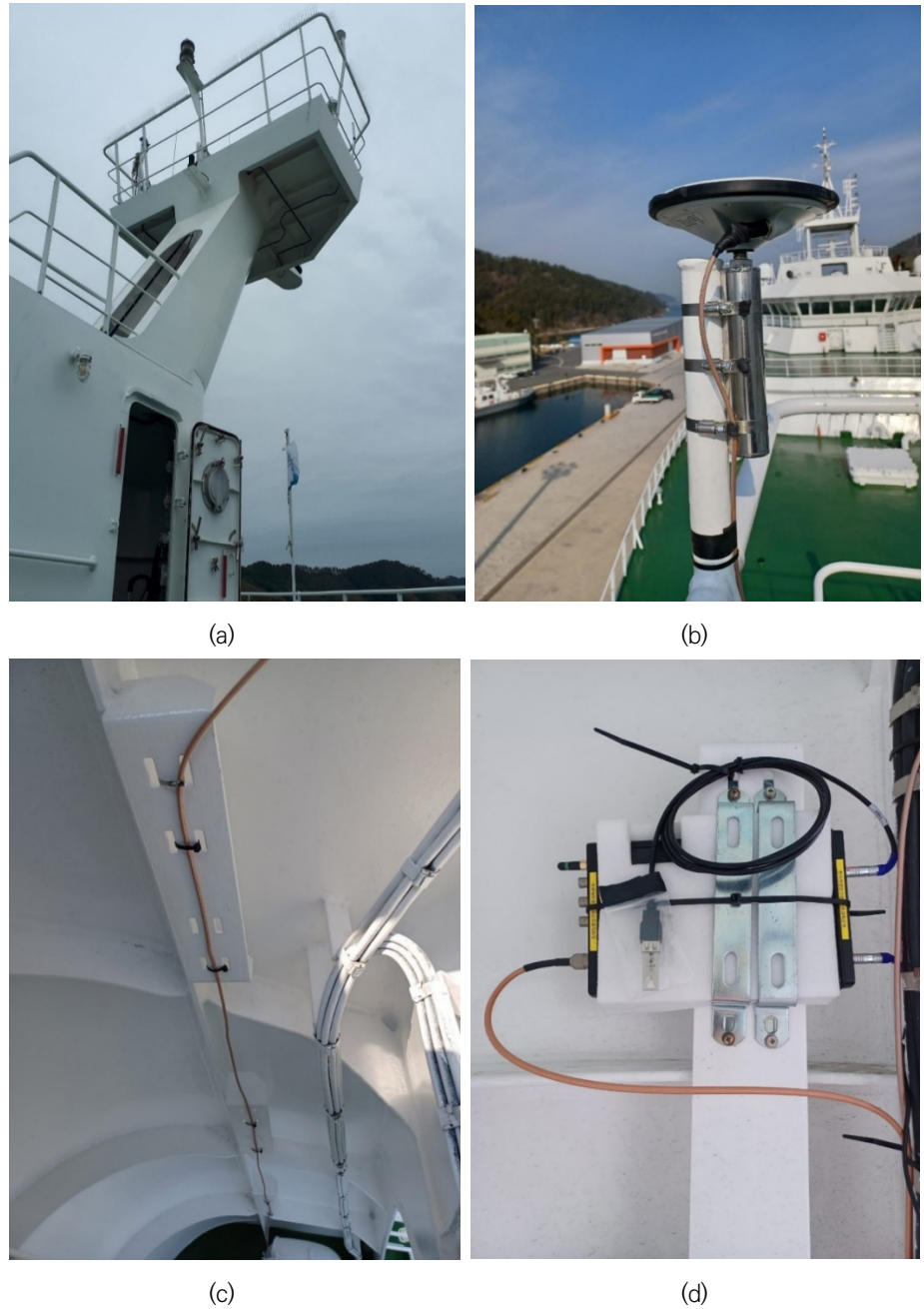


Fig. 3. Installation GNSS observation system on the ISABU. (a) Vessel's bow deck, (b) GNSS antenna, (c) cable, (d) dual-frequency GNSS receiver. GNSS, Global Navigation Satellite System.

3. 자료처리

3.1 관측 자료

이 연구에서는 2021년 7월 30일부터 8월 24일까지 총 26일간의 자료를 사용해 TEC를 산출하였다. 이 기간에 이사부호는 북서 태평양 지역을 항해하였다(Fig. 4). 모항인 거제에서 출

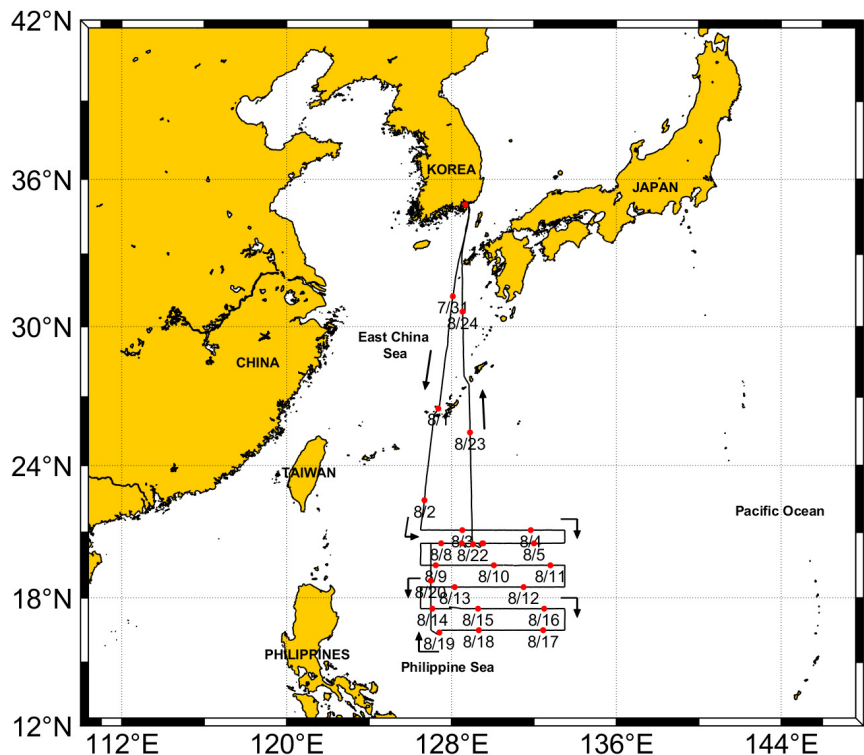


Fig. 4. Trajectory of the ISABU. The numbers on the trajectory mean the vessel's start dates.

발한 이사부호는 3일간 동중국해를 지나 남하하였고 북위 21° 부근의 필리핀 해에 도착한 후에는 지그재그로 왕복하며 적도 쪽으로 항해한다. 북위 16° 부근까지 이동한 연구선은 필리핀 해 지역에서의 20일간 여정을 마치고 3일에 걸쳐 거제로 귀항하였다. 이때 선박에 설치한 GNSS 관측시스템은 30초 간격으로 GNSS 자료를 수집하였다.

3.2 자료처리 방법

전리권 전자밀도를 산출하기 전 선박의 정밀한 위치를 결정해야 한다. 따라서 이 연구에서는 PPP(precise point positioning) 기법을 적용해 수집한 GNSS 자료로부터 선박의 위치를 산출하였다. PPP는 GNSS의 주요 오차를 제거하거나 그 크기를 감소시켜 단일 수신기로 수십 cm에서 수 cm 수준의 고정밀 단독처리를 수행할 수 있는 측위 기법이다[12]. 주요 오차인 위성 오차는 IGS의 정밀궤도력과 시계 오차 산출물을 이용하여 최소화하고, 전리권 지연 오차는 이중주파수 측정치를 ionosphere-free 조합으로 제거한다. 이와 더불어 대류권 지연 오차는 정밀 모델을 이용하여 오차를 최소화한다.

PPP를 이용하여 산출한 선박 위치를 바탕으로 선박 상공의 전리권 TEC을 추정하였다. 식 (1)은 수신기의 이중주파수 관측값을 사용해 시선방향 TEC(slant TEC, STEC)을 구하는 식이다.

$$STEC = \frac{1}{40.3} \left(\frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (P_2 - P_1 + DCB_r + DCB^s) \tag{1}$$

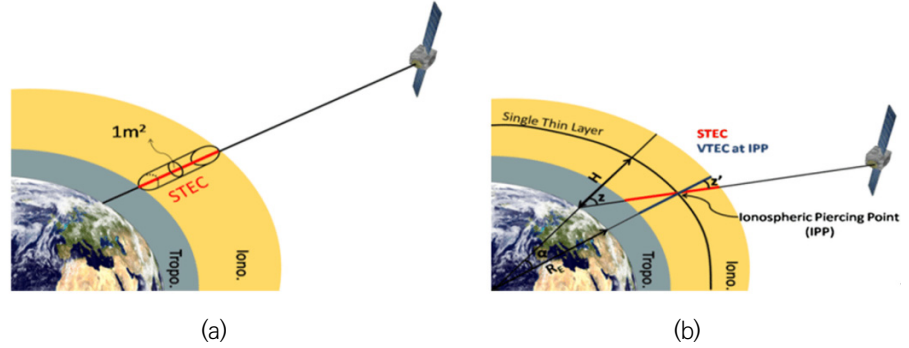


Fig. 5. TEC estimation using ionospheric delay. (a) Schematic description of slant TEC, and (b) conversion to VTEC [13]. STEC, slant TEC; TEC, total electron content; VTEC, vertical total electron content.

여기서 f_1 과 f_2 는 위성항법시스템의 L_1 과 L_2 신호별 주파수, P_1 과 P_2 는 신호별 관측치, 그리고 DCBr과 DCBs는 수신기와 위성의 DCB(differential code biases)를 각각 나타낸다. 추정한 STEC은 선박의 위치에서 관측위성의 시선방향으로 마주치는 전리권 투과지점(ionospheric pierce point, IPP)에서의 전자밀도, 즉 총전자량이다(Fig. 5a). 이 연구에서는 전자밀도가 밀집한 상공의 높이를 350 km로 가정하였다.

이후 STEC을 IPP에서의 연직방향 TEC(vertical TEC, VTEC)으로 변환해 선박 상공의 TEC를 산출한다(Fig. 5b). 식 (2)는 STEC와 사상함수(mapping function, MF)를 이용하여 VTEC을 구하는 식이다. 여기서 Z 는 천정각이다.

$$VTEC = \frac{STEC}{MF}, \text{ where } MF = \frac{1}{\cos(Z)} \tag{2}$$

TEC은 GNSS 위성과 수신기 사이 경로에 존재하는 제곱미터당 전자의 총량이고, 이를 식 (3)과 같은 단위로 표기한다.

$$TECU = 10^{16} \frac{el}{m^2} \approx 1.66 \times 10^{-8} \frac{mol}{m^2} \tag{3}$$

4. 결과

4.1 TEC(Total Electron Content) 일변화

산출한 TEC를 검증하기 위해 TEC 평균 변화를 확인하였다. Fig. 6은 26일간 수집한 GNSS 자료에서 계산한 TEC의 일 변화 패턴을 보여준다. 북위 20도 기준으로 저위도와 중위도로 나뉘었으며, 저위도 자료는 자주색, 중위도는 하늘색으로 표시하였다. 붉은 색과 파란색 실선은 관측시간별 TEC의 평균 값이다. 이 결과는 낮에 증가하고 밤에 감소하는 전리권 전자밀도의 일변화 패턴을 잘 보여준다. 또한, 중위도보다 전자밀도가 높은 저위도 전리권의 특성도 확인할 수 있다.

4.2 지상기준국 TEC(Total Electron Content)과 비교

바다에서 산출한 TEC 결과를 검증하기 위해 인접한 지상 GNSS 관측소에서 수집한 GNSS 자료를 사용해 산출한 TEC와 비교하였다. 이사부호가 출항한 당일 날(7월 30일, Day of Year

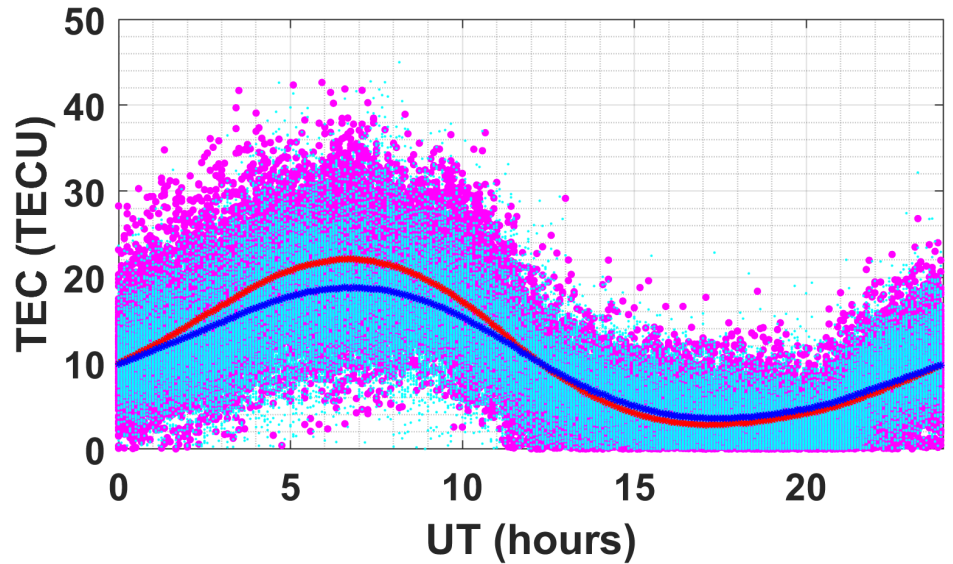


Fig. 6. Daily and latitudinal variations in TEC derived from ISABU GNSS data. Magenta and cyan dots denote TEC values below and above 20 degrees latitude, respectively. Red and blue lines show the averaged TEC values for low and mid-latitude regions, respectively. TEC, total electron content; GNSS, Global Navigation Satellite System.

211) 선박과 가까이 위치한 지상기준국인 거제도(GOJE, 국토지리정보원 운영)와 서이말(SEOI, 국립해양측위정보원 운영)에서 수집한 GNSS 자료를 사용하였다. Fig. 7(a)는 각 관측 지점의 공간적 위치로, A는 GOJE 기준국, B는 SEOI 기준국을 각각 나타낸다. 선박이 이동함에 따라 A 지점과는 대략 25-35 km, B 지점과는 약 15-30 km 정도 거리 변화가 있다.

7(b)-7(d)는 선박, GOJE 기준국, 그리고 SEOI 기준국에서 각각 추정된 일일 TEC 변화를 보여준다. 여기서 각각의 색상은 관측된 위성별로 추정된 TEC을 표현한 것이다. 세 지점 모두 0-20 TECU 범위에서 유사한 일변화 패턴이 나타난다. 이를 통해 선박에서도 합리적인 TEC 추정이 가능함을 확인하였다. 그러나 선박에서 추정된 TEC의 경우에는 지상 기준국에서 산출한 TEC과 달리 위성별로 불연속 변화패턴이 발생한다. 이는 선박과 같은 동적 환경에서 안테나의 움직임에 의한 영향으로 추정된다. Sohn et al.[14]에 의하면, 선박에서 관측한 GNSS 자료가 지상에 비해 다중경로 오차가 크고, 배의 속도가 빠를수록 추정된 GNSS 대기 수증기량의 오차가 증가한다.

5. 결론

이 연구에서는 선박을 활용해 바다에서 GNSS 자료를 수집하고, 전리권 전자밀도 정보를 산출하는 시험 결과를 제시하였다. 한국해양과학기술원에서 운영하는 연구실험선 이사부호에 GNSS 관측시스템을 설치하고 약 한 달간 필리핀해 지역을 운항하며 수집한 GNSS 자료를 사용해 TEC를 산출하였다. 선박 TEC 결과는 지상 자료와 비교하여 평균적으로 3 TECU 이내의 차이를 보였다. 그러나 위성에 따른 TEC 값이 지상 관측에 비해 불연속적으로 나타나므로 움직이는 선박과 같은 동적환경 자료에 대한 추가분석과 처리 방법을 개선할 것이다.

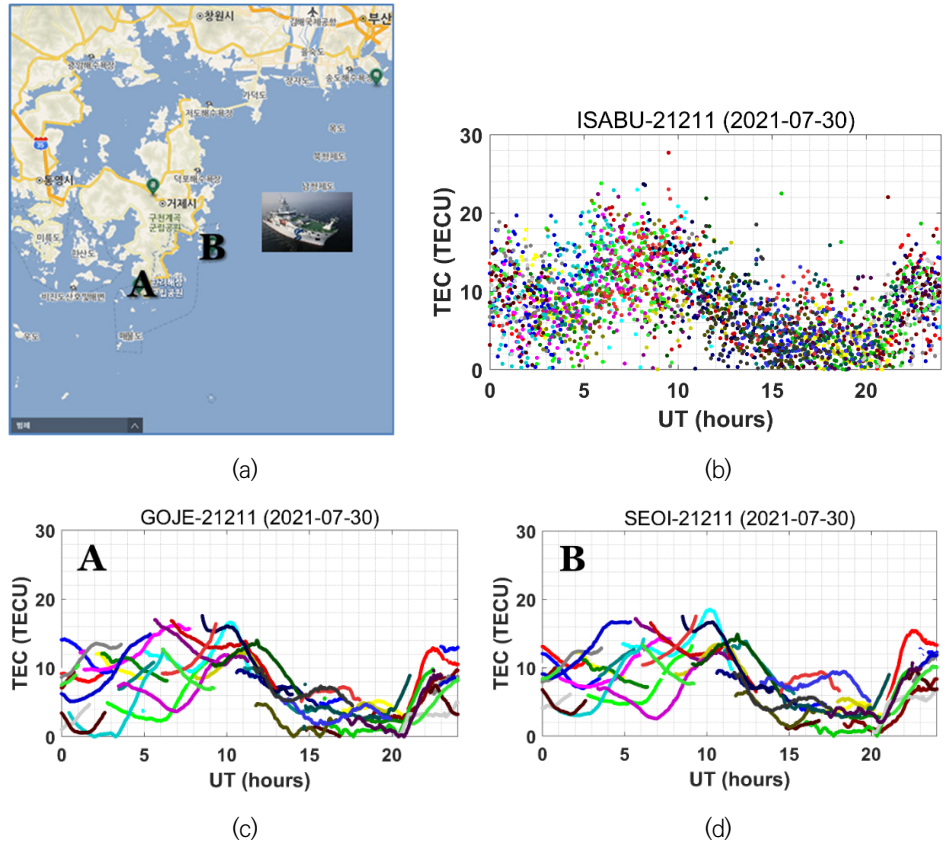


Fig. 7. Comparison of ship-borne GNSS TEC with ground-based GNSS TEC. (a) Locations of ground GNSS stations (A: GOJE, B: SEOI). Map sourced from <https://gnssdata.or.kr>. (b)–(d) Daily variation in TEC from ISABU, GOJE, and SEOI GNSS data. Different colors represent distinct satellite PRNs. GNSS, Global Navigation Satellite System; TEC, total electron content; PRN, pseudo-random noise number.

이와 함께 앞으로 장기간 선박에서 수집한 장기 자료를 사용해 전리권 변화를 분석할 계획이다. 또한, 이 결과는 한국천문연구원 이 개발 중인 준 실시간 전리권 감시시스템에서 산출하는 전리권 정보의 정밀도 개선에도 사용할 예정이다.

감사의 글

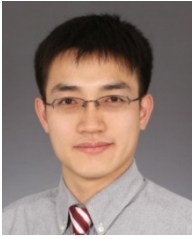
This research was partly supported by the Korea Astronomy and Space Science Institute under the R&D program (Project No. 2024-1-9-0201) supervised by the Ministry of Science and ICT. This work was also partly supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Science and ICT) (No. 2021R1C1C2008774). We thank all participants of the cruises and the crews of R/V ISABU of the KIOST for their assistance during the in-situ observations.

References

1. Lee C, Lee WK, Ionospheric and upper atmospheric observations in Korea, *J. Space Technol. Appl.* 1, 199-216 (2021). <https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.2.199>
2. Giannattasio F, Ionosphere monitoring with remote sensing, *Remote Sens.* 14, 5325 (2022). <https://doi.org/10.3390/rs14215325>
3. Gebre-Egziabher D, Gleason S, *GNSS Applications and Methods* (Artech House, Boston, MA, 2009).
4. Schaer S, Beutler G, Mervart L, Rothacher M, Wild U, Global and regional ionosphere models using the GPS double difference phase observable, in *IGS Workshop, Potsdam, Germany, 15-17 May 1995*.
5. Mannucci AJ, Wilson BD, Yuan DN, Ho CH, Lindqwister UJ, et al., A global mapping technique for GPS-derived ionospheric total electron content measurements, *Radio Sci.* 33, 565-582 (1998). <https://doi.org/10.1029/97RS02707>
6. International GNSS Service [IGS], Ionosphere (2024) [Internet], viewed 2024 Jun 24, available from: <https://igs.org/wg/ionosphere/>
7. Jee G, Lee HB, Kim YH, Chung JK, Cho J, Assessment of GPS global ionosphere maps (GIM) by comparison between CODE GIM and TOPEX/Jason TEC data: ionospheric perspective, *J. Geophys. Res.* 115, A10319 (2010). <https://doi.org/10.1029/2010JA015432>
8. International Maritime Organization [IMO], Introduction to IMO (2024) [Internet], viewed 2024 Jun 20, available from: <https://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>
9. Smith SR, Alory G, Andersson A, Asher W, Baker A, et al., Ship-based contributions to global ocean, weather, and climate observing systems, *Front. Mar. Sci.* 6, 434 (2019). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00434>
10. MarineTraffic, The MarineTraffic definition of ship tracking (2024) [Internet], viewed 2024 Jun 21, available from: <https://www.marinetraffic.com/blog/the-marinetraffic-definition-of-ship-tracking/>
11. Korea Institute of Ocean Science and Technology [KIOST], Annual report 2023 (2024), [Internet] viewed 2024 Jun 24, available from: https://www.kiost.ac.kr/eng/sub03_03_01.do
12. Misra P, Enge P, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance* (Ganga-Jamuna Press, Lincoln, MA, 2012).
13. Mukesh R, Soma P, Karthikeyan V, Sindhu P, Prediction of ionospheric vertical total electron content from GPS data using ordinary kriging-based surrogate model, *Astrophys. Space Sci.* 364, 15 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3502-7>
14. Sohn DH, Choi BK, Park Y, Kim YC, Ku B, Precipitable water vapor retrieval from shipborne GNSS observations on the Korean Research Vessel ISABU, *Sensors.* 20, 4261 (2020). <https://doi.org/10.3390/s20154261>

Author Information

손 동 호 dhsohn@kasi.re.kr



인하대학교 공간정보공학과에서 박사학위를 취득한 후, 2019년부터 한국천문연구원에 재직하고 있다. GNSS 관측자료를 처리하여 전리권 총전자량, 대류권 대기 수증기량, 지각 변동 등을 연구한다. 또한 선박기반 GNSS 자료를 이용하여 해양상공의 전리권 및 대류권 감시연구를 수행하고 있다.

최 병 규 bkchoi@kasi.re.kr



충남대학교 전자공학과에서 2009년 박사학위를 받았다. 2004년부터 한국천문연구원에 재직하고 있으며, 다중 위성항법시스템 PPP, PPP-RTK, GNSS TEC 모델링 등을 연구하고 있다. 2022년부터는 한국형 위성항법시스템 (KPS) 핵심기술 개발을 수행하고 있다.

홍 준 석 junseok@kasi.re.kr



2020년 충남대학교에서 우주·지질학과에서 우주과학 전공으로 박사학위를 취득한 후, 2017년부터 한국천문연구원에서 일하고 있다. GNSS TEC & DCB 분석 및 자료처리 기술 개발을 하고 있으며, 전리권 전자밀도 불균질 현상을 연구하고 있다.

이 경 목 lkm@kiost.ac.kr



수행하고 있다.

2016년까지 선박해양플랜트연구소에서 수중 로봇 개발(소프트웨어 분야) 업무를 담당했으며, 2017년부터 한국해양과학기술원 남해연구소에 재직하며 연구선에 장착된 관측장비의 운영/관리 및 기술지원업무와 함께 해양 현장관측을 위한 다양한 시스템 개발업무를

이 우 경 wklee@kasi.re.kr



재제 개발을 맡고 있다.

과학기술연합대학원대학교(UST)에서 박사학위를 받은 후 2014년부터 한국천문연구원서 일하고 있다. GNSS(위성항법)와 위성 관측 자료를 사용해 전리권과 고층대기를 연구하고 있으며, GNSS 자료를 사용한 준 실시간 전리권 감시 시스템과 차세대중형위성3호 탐

정 종 균 jkchung@kasi.re.kr



상시스템 개발과 우주측지기술을 이용한 기후변화 연구 등을 수행하고 있다.

충남대학교 천문우주과학과에서 2005년 이학박사 학위 취득 후, 2006년부터 한국천문연구원서 위성항법시스템 신호의 전리층 시간지연과 페이딩 현상을 연구하고, 남극내륙고원 무인우주탐사 플랫폼 모듈을 개발하여 운영 중에 있다. 현재 위성항법시스템 지

박 요 섭 yosup@kiost.ac.kr



과학 분야에 첨단 공학 분야에서 제안된 기술을 연결해주는 역할을 수행하고자 한다.

인하대학교에서 2004년 박사학위를 취득한 후, 한국해양과학기술원에 재직하며 해양방위 분야에서 연구 과업을 지원하였고, 현재는 포항로봇실증기지에 재직 중이다. 기장비운영기획, 자율이동탐사체 운영업무를 진행하고 있으며, 물리해양학, 지질해양학 등 기초