

[첨부 2]

최종보고서 서식

I . 인쇄규격

1. 크기 : A4 신판(가로 210mm\*세로 297mm)
2. 제본 : 좌철
3. 용지   ○표지 200g/m . 양면 아트지  
          ○내용 80g/m . 모조지
4. 인쇄방법:
  - 1) 표지 : 바탕 백색, 활자 흑색
  - 2) 내용 : 흑색 지정활자로 인쇄한다.

II . 편집순서

1. 표 지
2. 제출문
3. 요약문
4. 영문요약서 (Summary)
5. 영문목차 (Contents)
6. 목 차
7. 본 문
8. 뒷면지



III . 참고사항

- 전자조판 인쇄 시에는 이 요령에 준한다.

(뒷면)

(측면)

(앞면)

아  
라  
온  
 쇠  
빙  
선  
을  
 이  
용  
한  
 극  
지  
역  
 및  
 해  
양  
지  
역  
 G  
N  
S  
S  
 신  
틸  
레  
이  
션  
 관  
측

# 아라온 쇠빙선을 이용한 극지역 및 해양지역 GNSS 신틸레이션 관측

GNSS Scintillation Measurements from  
RV Araon in Polar and Ocean  
Regions



주 의  
(편집순서8)

(16 포인트 고딕체)



7cm



한  
국  
천  
문  
연  
구  
원

한국천문연구원

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “연구선 산·학·연 공동활용 연구사업”에 관한 연구 “아라온 쇄빙선을 이용한 극지역 및 해양지역 GNSS 신틸레이션 관측” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



2022. 07. 29

연구기관명 : 한국천문연구원

연구책임자 : 정 종 균

참여연구원 : 홍준석

# 요 약 문

## I. 아라온 쇄빙선을 이용한 극지역 및 해양지역 GNSS 신틸레이션 관측

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 목적

- 극지방 오로라에 의한 아라온 쇄빙선 GNSS 전파환경 연구를 위한 GNSS 전리권 신틸레이션 관측기 설치
- 아라온 쇄빙선 위치오차와 전리권 불균질 상관성 분석

### 2. 필요성

- 북극항로 경제적 관심에 따른 쇄빙연구선의 연구 활동 증가
- 극지방 전리권 불균질과 오로라에 의한 GNSS 위치오차 증가
- 극지방 전리권 상시관측소 구축의 어려움으로 쇄빙선 기반 관측장비 운영

## III. 연구개발의 내용 및 범위

### 1. 최종목표

- 아라온 쇄빙선을 이용한 GNSS 전리권 신틸레이션 관측체계 구축

### 2. 상세목표

- 아라온 쇄빙선 GNSS 전리권 신틸레이션 관측 시스템 구축
- 아라온 쇄빙선 극지방 GNSS 전리권 예비분석
- 아라온 쇄빙선 항적 위치 정밀도 예비분석

## IV. 연구개발결과

- GPS 신틸레이션 관측기 아라온 쇄빙선 구축 및 관측자료 획득
- 2021년 아라온 쇄빙선 북극해 GNSS 전리권 신틸레이션 관측과 위치정밀도 측정
- 2021-2022년도 아라온 쇄빙선 남극항차 GPS/GLONASS 전리권 전자밀도 측정 및 단일 주파수 위치정밀 오차 측정

## V. 연구개발결과의 활용계획

- 관측자료 품질검사 이후 규정에 의한 배포
- 극지방 오로라에 의해 GNSS 신틸레이션 발생과 위치오차 상관성 정밀 분석을 통한 극지방 쇄빙연구선 위치정밀도 저하 완화 방안 도출

# 목 차

## 제 1 장 서론

1. 연구개발의 목적
2. 연구개발의 필요성
3. 연구개발의 범위

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. GPS 전리권 전자밀도 관측 현황
2. 남극 장보고과학기지 GPS 전리권 관측 현황

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

1. GPS 신틸레이션 관측기 아라온 쇠빙선 구축
2. 아라온 쇠빙선 GPS 전리권 신틸레이션 관측자료 획득
3. 아라온 쇠빙선 북극해 GPS 신틸레이션 관측
4. 아라온 쇠빙선 GPS 및 GLONASS 포착위성 개수
5. 아라온 쇠빙선 GPS TEC 전리권 관측 예비 분석
6. 아라온 쇠빙선 GPS+GLONASS 위치오차 예비 분석

## 제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

## 제 6 장 참고문헌

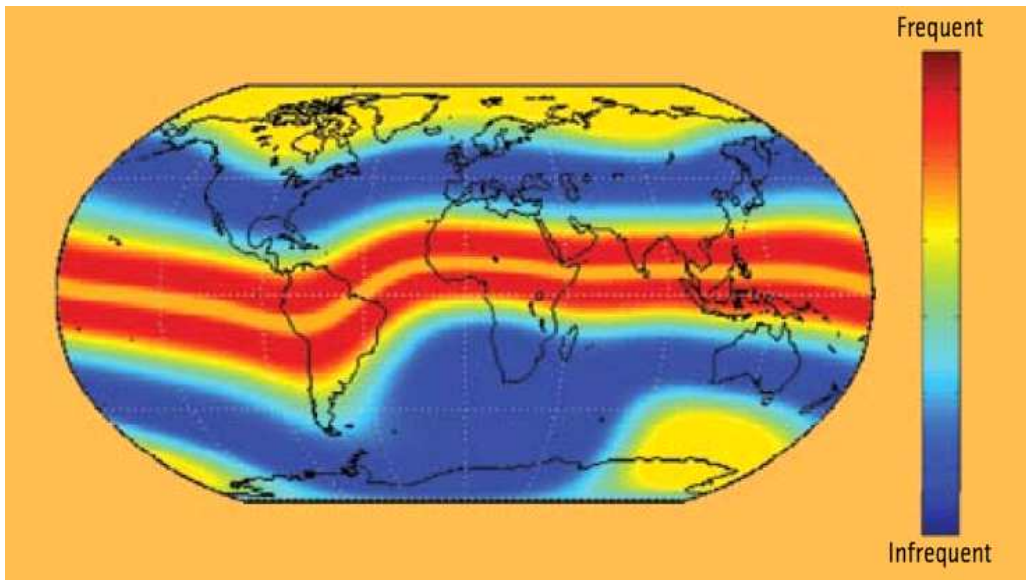
# 제 1 장 서 론

## 1. 연구개발의 목적

- 본 연구의 목적은 2021-2022년 기간 동안 쇄빙연구선 아라온호에 GPS 신틸레이션 무인 관측 시스템을 설치하여 극지방과 해양지역 전리권 전자밀도 불균질과 오로라 등의 우주환경에 의한 GPS 신호 두절 및 감쇠 현상을 관측하는 것이다.
- 추후 분석 관측정보를 이용하여 전리권 전자밀도 불균질에 의한 쇄빙연구선 아라온호의 항해 위치 오차와 상관성 분석을 통해 과학적 연구뿐만 아니라 활용연구 범위를 넓히고자 한다.

## 2. 연구개발의 필요성

- 급속한 지구 온난화로 북극해의 기온 상승으로 극심한 기상이변 발생이 우려되지만, 북극해 해빙 감소에 따른 북극항로의 경제적 전망이 높아짐에 따라 북극 연구의 중요성이 높아지고 있다. 이에 현재 우리나라의 유일한 쇄빙연구선 아라온호의 북극해 개척과 연구활동이 매우 활발히 진행되고 있다.
- GPS는 위성항법 분야를 포함하여 우주기상, 지구물리, 해양학 등 위치결정이 필요한 여러 연구 분야에서 활용도가 높아지고 있다. 그러나 남극과 북극은 중저위도 전리권과 비교할 때 낮은 전자밀도임에도 불구하고 지표면과 수직인 자기력선 방향으로 인한 전자기동역학 운동과 우주 고에너지 입자 유입 매우 빠른 전리권 전자밀도 불균질(Ionospheric Irregularities) 변화를 보인다. 극지방 전리권 전자밀도 불균질의 빠른 변화는 전자밀도가 가장 높은 적도 지역 다음으로 많은 GPS 신틸레이션을 발생시키며 이는 GPS 신호의 두절과 감쇠의 원인이다.(Kintner et al., 2009) 극지방 GPS 신틸레이션의 발생은 GPS 포착위성 개수의 감소로 이어져 GPS 위치결정 오차가 증가하므로 이를 완화하기 위한 알고리즘이 필요하다.
- 다양한 발생원과 기작으로 인한 복잡한 극지방 전리권 전자밀도 불균질 발생을 이론모델로 정립하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 극지방 GPS 전리권 신틸레이션 완화 알고리즘 개발을 위해서는 남극과 북극에 대한 전리권 불균질 발생에 대한 장기간의 관측자료 수집이 필요하다. 그러나 남극은 매우 고립되어 있고 북극은 대부분이 바다이므로 GPS 전리권 상시 관측소의 구축과 지속적인 관리가 쉽지 않다. 쇄빙연구선 아라온호는 정기적인 남극과 북극 항해를 통해서 해양, 생물, 대기 등의 다양한 분야에서 연구를 수행 중에 있으며 안정적인 연구 지원 시설을 운영하고 있다. 쇄빙연구선 아라온호에 무인 GPS 전리권 신틸레이션 관측 시스템을 설치하여 연구항차 동안 전리권 신틸레이션 관측을 통한 통계적 분석과 과학적 연구를 수행한다면 극지방 GPS 위치정밀도 향상을 위한 연구기술개발의 중요한 토대가 될 것이다. 이는 높은 GPS 위치결정 정밀도가 필요한 다른 연구 분야와 극지 해양기술 분야로 파급효과가 매우 클 것으로 기대한다.



[전 지구 GPS 전리권 신틸레이션 발생 분포 맵, Kintner et al., 2009]

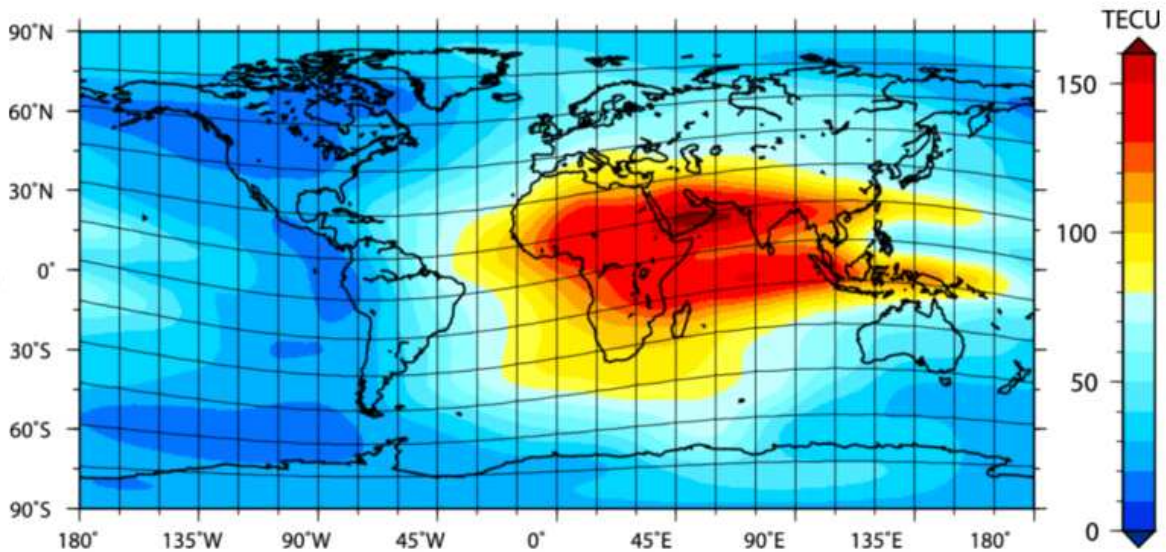
### 3. 연구개발의 범위

구분	내 용
최종목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 아라온 쇠빙선을 이용한 GNSS 전리권 신틸레이션 관측체계 구축               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 아라온 쇠빙선 GNSS 전리권 신틸레이션 관측 시스템 구축</li> <li>- 남북극 GNSS 전리권 신틸레이션 사전연구를 위한 예비분석</li> <li>- 아라온 쇠빙선 항적에 따른 전리권 신틸레이션 발생 경향 예비분석</li> </ul> </li> </ul>
상세목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 아라온 쇠빙선 GNSS 전리권 신틸레이션 관측 시스템 구축               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 100Hz 이주파수(L1, L2) GNSS 수신기 및 초코링 안테나 설치</li> </ul> </li> <li>○ 남·북극 GNSS 전리권 신틸레이션 예비분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 극지방 GNSS 신틸레이션 및 신호두절 시간, 일 변화 경향 분석</li> <li>- 우주환경 변화에 따른 극지방 GNSS 신틸레이션 발생 경향 분석</li> </ul> </li> <li>○ 아라온 쇠빙선 항적 위치 정밀도에 대한 전리권 신틸레이션 영향 예비분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 이주파수 GNSS 수신기 자료처리를 통한 아라온 쇠빙선 동적 정밀위치 결정</li> <li>- GNSS 전리권 신틸레이션의 동적 정밀위치 오차 영향 분석</li> </ul> </li> </ul>

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1. GPS 전리권 전자밀도 관측 현황

- International GNSS Service (IGS) 분석센터들은 전 세계 100개 이상의 IGS 기준국 자료를 수집하여 총전자수량(Total Electron Content(TEC),  $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el/m}^2$ )을 산출한 후 전지구 전리권 모델(Global Ionospheric Map, GIM)을 제공하고 있다. GIM의 공간 해상도는 위·경도( $2.5^\circ \times 5^\circ$ )이므로 GPS L 대역 전파 신틸레이션을 발생시키는 400-500 m 규모 이내의 전리권 불균질 분석에 적합하지 않다. 더군다나 GNSS 상시 관측소가 드문 해양 지역의 경우 내삽 오차가 높기 때문에 전리권 전자밀도 불균질 연구는 사실상 불가능하다. 또한, 남극과 북극 지역은 육상 지역 GNSS 관측소의 부족과 포착 항법위성 개수의 부족과 낮은 양각에 의한 낮은 관측 신뢰도로 인해 GIM의 해상도와 정확도가 더욱 낮은 것으로 알려져 있다. 따라서 전 지구 전리권 전자밀도 맵은 극지방 전리권 연구에 적합하지 않다.

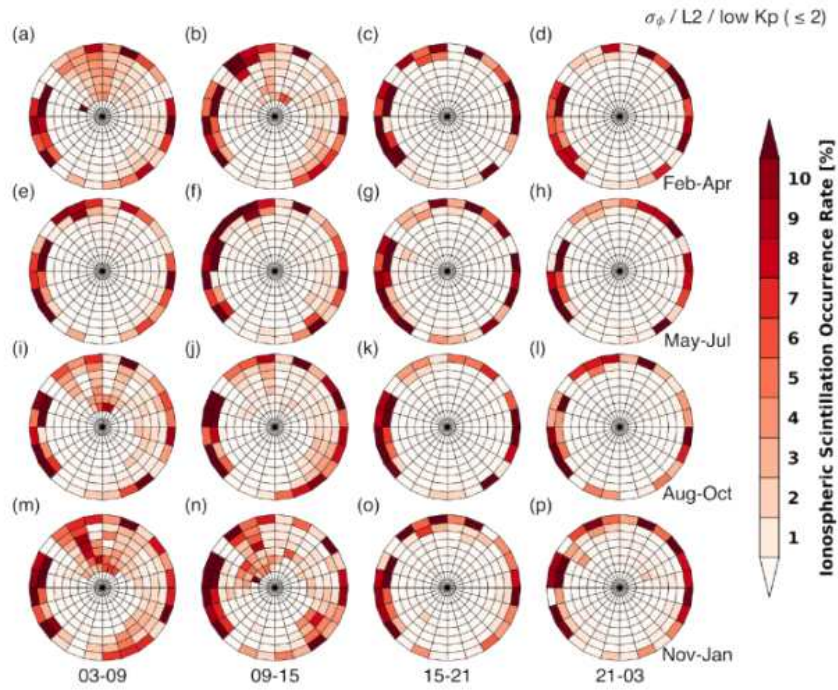


[GPS 총전자량 관측값을 이용한 미국 JPL 전 지구 전리권 모델 맵 예시, Scharroo & Smith, 2010]

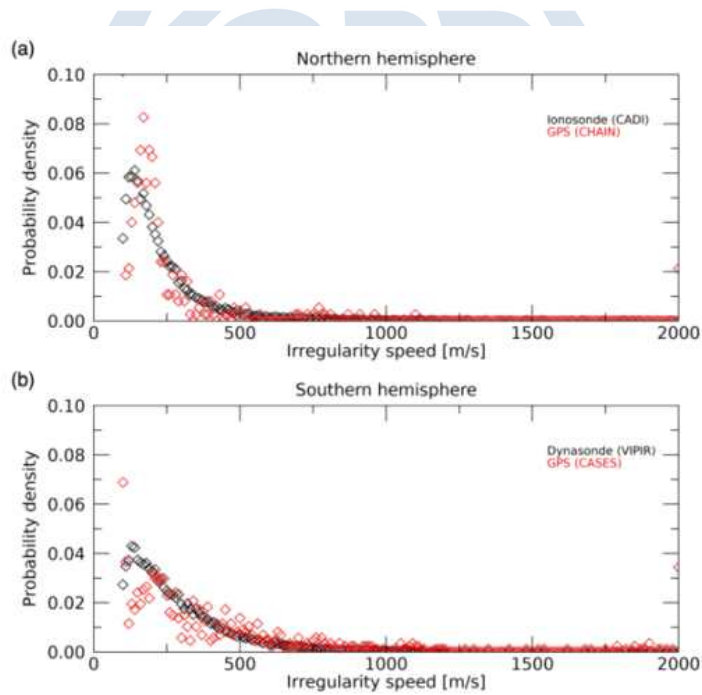
### 2. 남극 장보고과학기지 GPS 전리권 관측 현황

- 한국천문연구원 2016년 12월부터 남극 장보고과학기지에서 GPS 신틸레이션 관측 시스템을 설치하여 운영 중에 있다. 2017-2018년 기간 동안 지자기 활동 지수, 지역시, 방위각에 대한 GPS 진폭 및 위상 신틸레이션 발생 빈도에 관한 통계연구를 수행하였다.(Hong et al., 2020)
- 한국천문연구원은 남극 장보고과학기지와 북극 Sachs Harbor에서 운영 중인 GPS 신틸레이션 관측자료를 이용하여 세계 최초로 단일 GPS 관측을 통한 극지방 플라즈마 이동 속력 산출 알고리즘을 개발하였다.





[남극 장보과학기지 GPS 신틸레이션 발생 분포, Hong et al., 2020]



[GPS 신틸레이션 관측을 통한 남북극 플라즈마 속도 분포, Hong et al., 2021]

시사점

현재 서비스 중인 전 지구 전리권 모델은 낮은 시공간 해상도로 극지방 전리권 연구에 적합하지 않으므로 자체 전리권 관측 장비의 구축과 운영을 통한 연구가 필요한 상황이다.

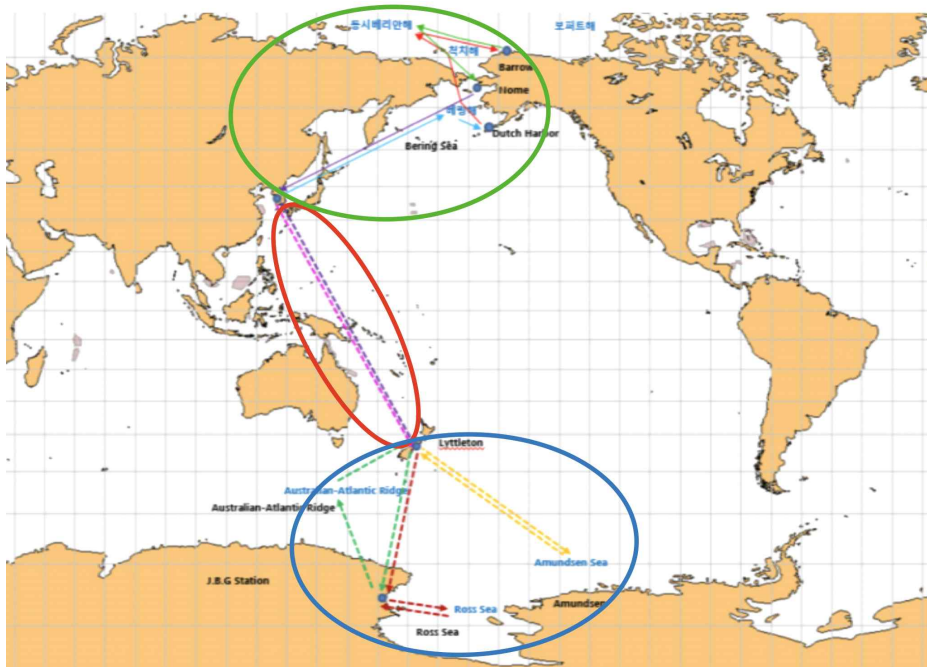
# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 1. GPS 신틸레이션 관측기 아라온 쇄빙선 구축

- 극지방 GNSS 전리권 신틸레이션 및 신호두절의 경향을 분석하고 위치 정밀도에 대한 영향 예비분석이 목적이다. 특히, 남·북극의 해양 지역을 이동하는 아라온 쇄빙선의 경로를 이용하여 극지방 해양 환경에서의 관측에 중점을 두었고, 아라온 쇄빙선 동적 정밀위치 오차에 주는 영향을 분석하고자 하였다.
- 아라온 쇄빙선에 GNSS 전리권 신틸레이션 무인 관측체계를 구축하였다. 안정적인 관측을 위해 선박의 흔들림이 가장 작은 함교 상단 데크에 안테나를 설치하였으며, 다중 경로 오차 영향을 최소화하기 위해 초크링 안테나를 선택하였다. 대용량의 50 Hz 이상의 이주파수 관측을 위해 수신기 외부에 자동 자료저장 시스템을 설치하여, 하루 약 3~5 GB의 고분해능 원시 데이터를 확보하였다. 일반 사용자가 사용하는 NMEA 데이터 생성을 설정하여, 이주파수를 이용한 배의 동적 정밀위치 뿐 아니라 실제 항해에 사용되는 데이터를 획득하였다.

※ NMEA(The National Marine Electronics Association): 시간, 위치 등의 정보를 전송하기 위한 규격

- 아라온 쇄빙선 장비 운영 기간과 운영 지역
  - 관측기간: 2021년 6월 10일 - 2022년 5월 8일 (325일)
  - 관측지역
    - 북극해 전리권 지역: 광양항에서 북극 지역의 아라온 쇄빙선 항로 (초록색 원)
    - 적도 전리권 지역: 광양항에서 뉴질랜드까지의 아라온 쇄빙선 항로 (빨간색 원)
    - 남극해 전리권 지역 장보고기지 주변 극지방 해양의 아라온 쇄빙선 항로 (파란색 원)



[아라온 쇄빙선 GPS 전리권 신틸레이션 관측구역]

○ 관측항목 및 세부지역

- 광양항으로부터 북극 해양의 아라온 쇄빙선 항적에서 GNSS 전리권 신틸레이션 관측
- 광양항으로부터 뉴질랜드까지 아라온 쇄빙선 항적에서 중·저위도 GNSS 전리권 신틸레이션 관측 및 NMEA 데이터 저장
- 뉴질랜드 리틀톤을 중심으로 남극 해양지역의 아라온 쇄빙선 항적에서 극지방 GNSS 전리권 신틸레이션 관측 및 NMEA 데이터 저장
  - 1) 리틀톤 - 남극 대양 (중앙 해령)
  - 2) 리틀톤 - 장보고과학기지
  - 3) 리틀톤 - 아문젠해
  - 4) 리틀톤 - 장보고과학기지
  - 5) 장보고기지 - 로스해
  - 6) 장보고기지 - 리틀톤
- 뉴질랜드에서 태평양 지역을 거쳐 광양항으로 이동하는 아라온 쇄빙선 항적에서 중·저위도 GNSS 전리권 신틸레이션 관측 및 NMEA 데이터 저장

○ 관측방법 및 장비

- 조사방법
  - GNSS 전리권 신틸레이션 수신기를 설치하기 사전 작업으로 수신기 설정을 완료
  - 50Hz 이상의 고분해능 원시 데이터 수신 설정과 NMEA 데이터 저장 설정
  - 고분해능 원시 데이터는 하루에 약 3~5GB의 대용량이기 때문에, 별도의 저장 시스템을 설치하였다. 2TB의 외장하드와 간이용 NAS가 가능한 인터넷 공유기를 이용하여 무인 자동 저장 시스템을 구축하였다.
  - 이미 설정이 완료된 GNSS 전리권 신틸레이션 수신기는 전력이 공급되면 자동으로 GNSS 신호를 수신하고 데이터를 저장한다.
- 관측장비
  - GNSS 전리권 신틸레이션 수신기: Septentrio PolaRx5S
  - GNSS 전리권 신틸레이션 안테나: Antenna Chokering E6/B3
  - 2TB Samsung portable SSD & ipTIME A1004NS
- 관측장비 설치
  - 함교 상단 데크의 대기 관측동 상부
  - 대기 관측동 상부의 난간에 지지대를 고정하여 안테나 설치
  - 대기 관측동 상부의 관로를 통해 내부의 수신기와 외부의 안테나 사이에 케이블 연결
  - 극지방 해양 환경에 따른 신호 손실을 위해 케이블 연결부 보호를 위해 방수 테이프 보호 작업



[아래온 쇄빙선 GPS 전리권 신틸레이션 관측기 설치 모습]

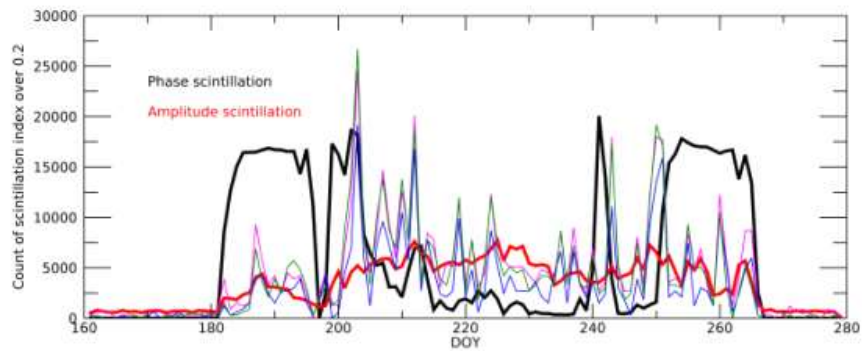
## 2. 아래온 쇄빙선 GPS 전리권 신틸레이션 관측자료 획득

### ○ 관측 데이터 획득

- 2021년 6월 10일부터 2022년 5월 8일까지 325일간의 데이터 총 821GB를 획득하였다.
  - 북극 향해 기간인 2021년 6월 10일부터 2021년 10월 6일까지 119일간 34GB 획득
  - 남극 향해 기간인 2021년 10월 6일부터 2022년 5월 8일까지 216일간 787GB 획득
- 과학적 목적의 50 Hz 이상의 고분해능 원시 데이터를 확보함으로써, 극지역 GNSS 전리권 신틸레이션 연구에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.
- 특히, 일반적인 GNSS 수신기가 지표에 위치하기 때문에 해양 지역의 관측이 거의 이루어지지 않는 반면, 아래온 쇄빙선에 관측 체계를 구축함으로써 관측 데이터의 공백이 발생한 해양 지역의 연구도 가능하게 되었다.
- 남·북극 뿐 아니라 태평양을 통과하며 태평양 도서국가 지상 전리권 관측 데이터와의 검증 연구도 가능하다.

### 3. 아라온 쇄빙선 북극해 GPS 신틸레이션 관측

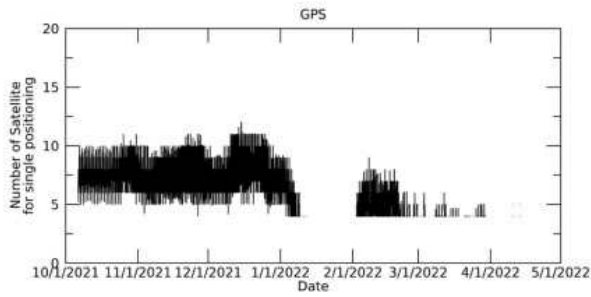
- 약 119일간의 북극 항해기간동안 아라온 쇄빙선에서 관측한 GNSS 전리권 신틸레이션과 관측 데이터로부터 계산한 아라온 쇄빙선의 정밀 위치 오차 사이의 상관관계를 살펴보았다.
- 아라온 쇄빙선이 이동하는 시기에는 GNSS 신호 수신에 문제가 생기며 위상 신틸레이션 (phase scintillation)이 주로 발생하였으며, 정밀위치 오차가 증가하였다.
- 다음 그림은 북극항차 동안 GNSS 신틸레이션과 아라온 쇄빙선의 위치 오차를 나타낸 것이다. 적색 실선은 진폭 신틸레이션, 흑색 실선은 위상 신틸레이션 발생 횟수 변화이다. 파란색(North-South 방향), 분홍색(Up-Down 방향), 초록색(East-West 방향) 얇은 실선은 오차 발생 횟수를 나타낸다.
- 전체적으로 북극해에 있는 기간 동안 GNSS 진폭 신틸레이션 발생 빈도와 오차 발생 횟수의 변화가 유사함을 보이고 있다. 위상 신틸레이션(흑색 실선)의 큰 변화는 아라온 쇄빙선의 기동에 의한 것으로 판단된다.



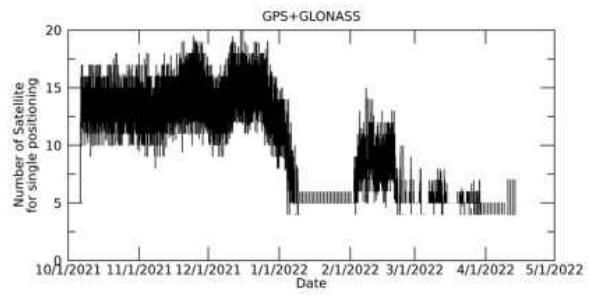
[2021년 북극해 아라온 쇄빙선 항해 날짜에 따른 GPS 전리권 신틸레이션 발생 횟수와 위치오차]

### 4. 아라온 쇄빙선 GPS 및 GLONASS 포착위성 개수

- 쇄빙연구선 아라온호의 남극항행 일정(2021.10.06.-2022.05.08.) 동안 포착 항법위성 개수 변화를 살펴보았다.
- GPS 위성은 하루 평균 5-10대가 포착되었으며, GPS와 GLONASS 위성을 합친 경우 하루 평균 10-15대 위성이 포착되었다. 그러나 전체적으로 2022년 1월부터 포착위성 개수가 감소함을 보였다.
- 특히 2021년 12월말에 포착 항법위성 개수가 급격히 감소하여 2022년 1월에는 GPS와 GLONASS 위성을 전혀 포착하지 못했다.
- 이후 2022년 2월에 항법위성이 포착되었지만 3월 이후 항법위성을 포착하지 못했다.
- 아라온호의 전파송신으로 인한 GNSS 신틸레이션 안테나 간섭으로 발생하는 경우와 다른 전파환경에 관한 조사가 필요한 상황이다.



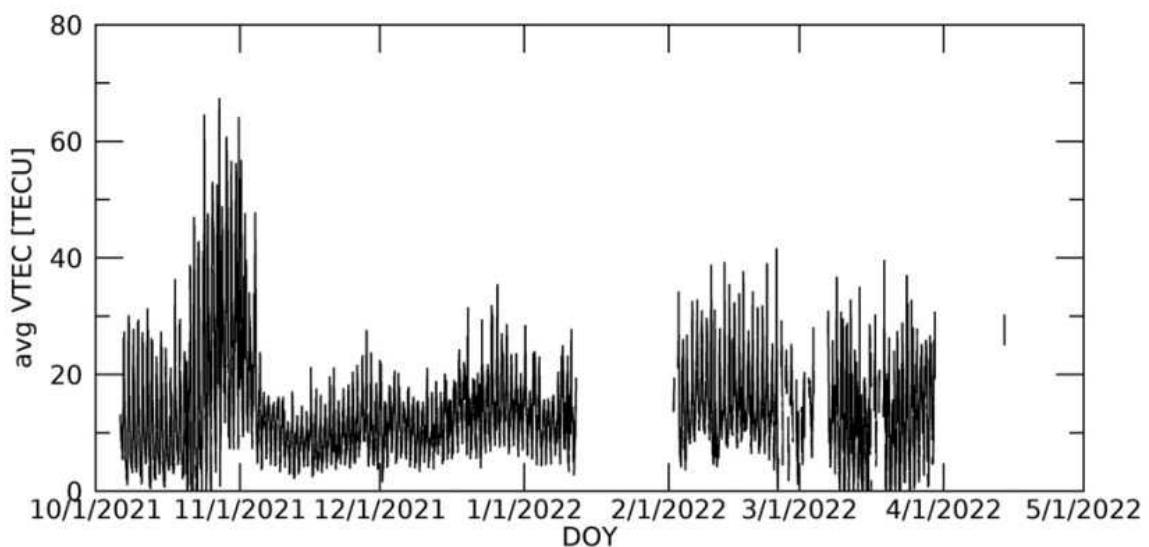
[GPS 항법위성 포착 개수 변화]



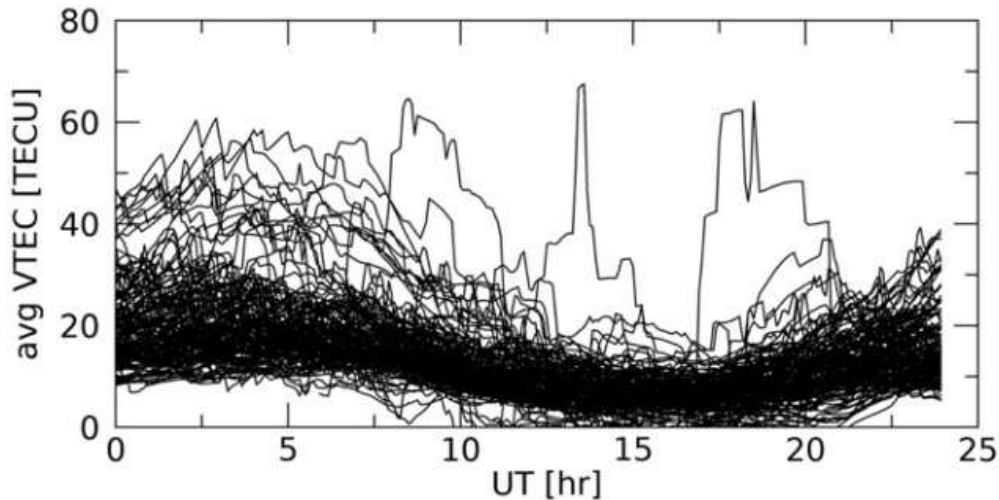
[GPS+GLONASS 항법위성 포착 개수 변화]

## 5. 아라온 쇄빙선 GPS TEC 전리권 관측 예비 분석

- 쇄빙연구선 아라온호의 남극항행 일정(2021.10.06.-2022.05.08.) 동안 전리권 전자밀도 변화를 분석하기 위한 GPS TEC 산출을 수행하였다. GPS TEC는 전리권 전자밀도 크기 변화에 의한 GPS 신호 굴절로 발생한 시간지연 오차를 나타낸 것이다. GPS TEC 값이 크면 시간 지연오차가 증가하는 것을 의미한다. 1 TECU는 0.163m의 지연오차를 발생시킨다.
- 바다에 의한 다중경로 오차를 제거하기 위해 양각 45도 이하 위성은 배제하였다. 관측 간격은 30초이며, 5분 평균의 수직 TEC(Vertical TEC, VTEC) 값으로 변환하여 분석하였다.
- 2021년 10월말부터 11월 초까지 최대 60 TECU 까지 증가하였으며 10-20 TECU가 관측되었다. 60 TECU는 아라온호가 적도를 통과할 때 발생한 것으로 보인다. 아라온호에서 관측된 TEC 값은 날짜보다는 위도에 따른 전리권 전자밀도 변화를 반영한 것으로 생각된다.
- 시간에 따른 아라온 GPS TEC 변화는 전형적인 일주변화(Diurnal Variation)을 보여준다. 20-60 TECU 사이의 값을 보인다.



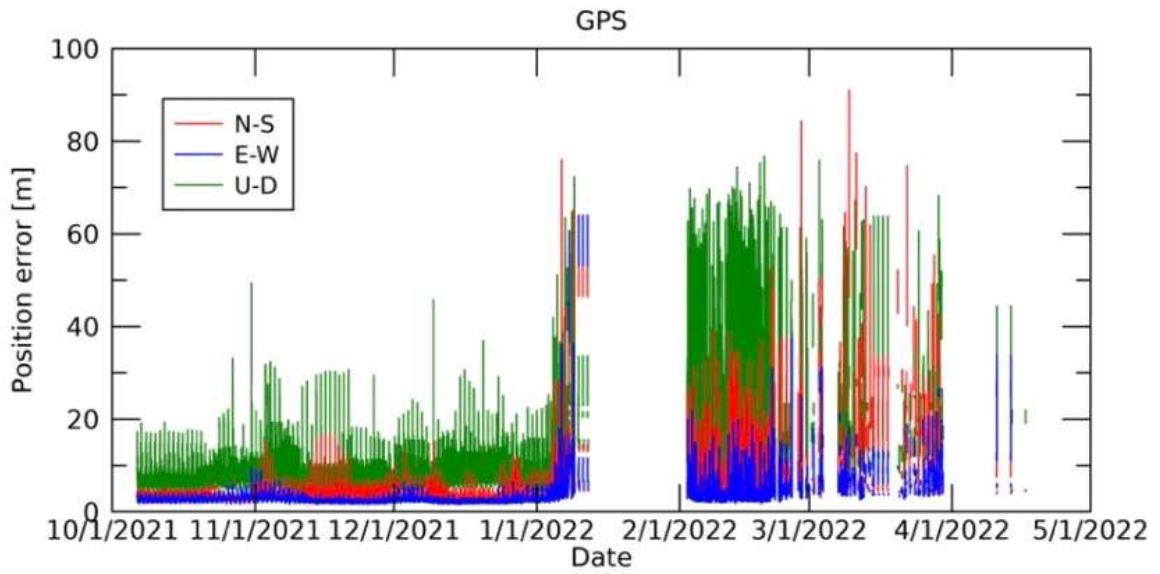
[2021.10.06.-2022.05.08. 동안 쇄빙연구선 아라온호에서 관측한 GPS TEC 일 변화]



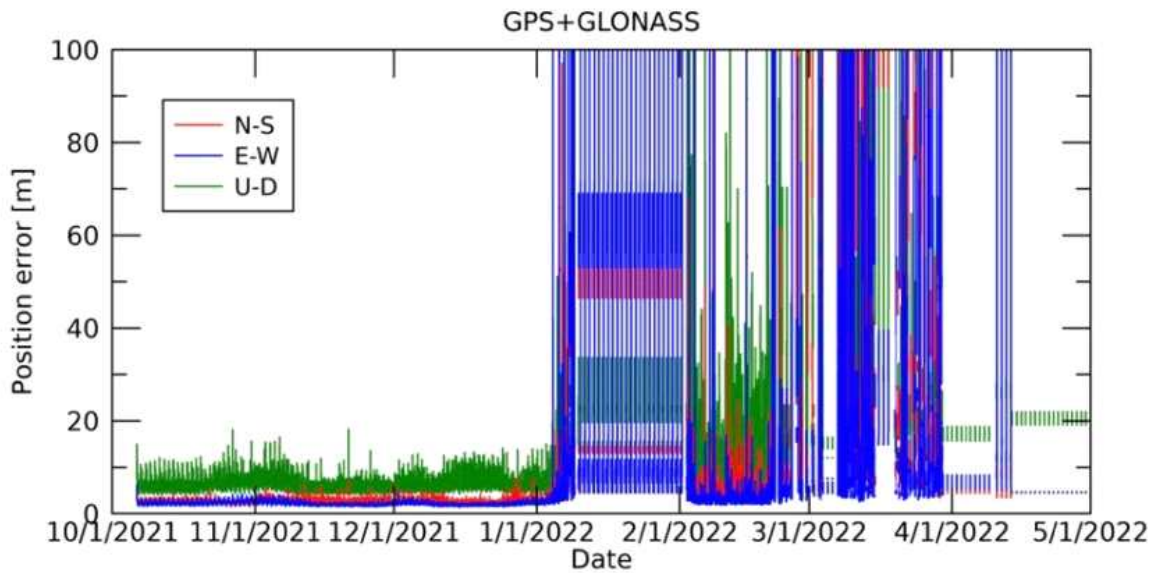
[2021.10.06.-2022.05.08. 동안 쇄빙연구선 아라온호에서 관측한 GPS TEC 시간 변화]

## 6. 아라온 쇄빙선 GPS+GLONASS 위치오차 예비분석

- 쇄빙연구선 아라온호의 남극항행 일정(2021.10.06.-2022.05.08.) 동안 GPS와 GLONASS 단일 주파수를 이용한 동서(E-W), 남북(N-S), 수직(U-D) 위치오차를 산출하였다.
- 앞서 언급한 항법위성을 포착하지 못하거나 개수가 부족한 기간 동안 위치오차가 크게 증가하였다. 특히, 2022년 아라온호가 남극해 지역에 있는 경우 매우 큰 위치오차가 발생하여 사실상 자료로서 의미를 갖지 못했다. 이에 대한 원인 분석이 필요하다.
- 그 이외 기간 동안 GPS 수평오차(E-W, N-S)는 약 2m 내외였으며 특히 E-W 위치오차는 1m 내외로 가장 작았다. 수직오차(U-D)의 경우 10 m 이내이었으나 20m 이상까지 증가하였다. 전리권 전자밀도가 가장 높은 적도 지역을 통과한 2021년 11월 초에 수평-수직 오차 모두 증가함을 보였다.
- 같은 기간 동안 GPS와 GLONASS를 함께 자료처리 한 결과 수평-수직 오차가 모두 감소하였으며 그 변화량도 매우 작게 나타났다. 특히 수직 오차가 매우 안정적으로 산출되었다. 따라서 아라온호의 경우 GPS+GLONASS와 같이 다중위성항법 자료처리가 위치정밀도에 매우 중요하다.



[2021.10.06.-2022.05.08. 동안 아라온호에서 관측한 GPS 단일 주파수 위치오차 변화]



[2021.10.06.-2022.05.08. 동안 아라온호에서 관측한 GPS+GLONASS 단일 주파수 위치오차 변화]



## 제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

연구목표	세부내용	평가의 착안점 및 기준	달성도
아래온 쇄빙선을 이용한 GNSS 전리권 신틸레이션 관측체계 구축	아래온 쇄빙선 GNSS 전리권 신틸레이션 관측 시스템 구축	아래온 쇄빙선 GNSS 신틸레이션 관측시스템 구축하였는가?	100%
		2021년 5월 아래온 쇄빙선 광양항 정박 동안 무인 GNSS 신틸레이션 관측시스템을 구축하여 전 항해 동안 관측을 수행함	
	남·북극 GNSS 전리권 신틸레이션 사전연구를 위한 예비분석	남·북극 GNSS 전리권 신틸레이션 사전연구를 수행하였는가?	100%
		장보고과학기지 GNSS 신틸레이션 관측자료를 이용하여 전리권 신틸레이션 발생분포와 남북극 GNSS 신틸레이션 관측정보를 이용하여 극지방 플라즈마 속도 산출함	
	아래온 쇄빙선 항적에 따른 전리권 신틸레이션 발생 경향 예비분석	아래온 쇄빙선 GNSS 전리권 신틸레이션 발생경향과 항적오차를 분석하였는가?	100%
		아래온 쇄빙선 GNSS 진폭과 위상 신틸레이션 발생과 위치오차 경향을 분석함	

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 2021-2022년 아라온 쇄빙선 항해 동안 획득된 GPS 신틸레이션 관측 데이터는 약 800GB의 대용량이다. 2022년 5월 9일에 광양항에서 GNSS 신틸레이션 관측 장비를 철수하여 관측자료 품질검사와 자료 정리 중에 있다.
  - 2021-2022년 아라온 쇄빙선 GNSS 신틸레이션 관측자료는 품질검사와 자료정리가 완료된 후 극지연구소와 공유하여 연구 활용도를 높일 계획이다.
  - 예비 분석을 수행한 후 자료의 품질이 보장된 후 학회 등을 통해 홍보하고 관심 있는 연구자들에게 배포할 계획이다.
  
- 북극해 관측자료에 대한 예비분석을 실시한 결과 GNSS 진폭 신틸레이션 발생 경향과 아라온 쇄빙선 항적 위치오차가 상관성이 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 극지방에서는 위상 신틸레이션이 진폭 신틸레이션이 더 빈번히 나타난 것으로 보고되고 있다.
  - 북극해서 예비 분석된 아라온 쇄빙선 위치오차와 신틸레이션 상관성의 자세한 연구를 위해 남극에서 GNSS 진폭 신틸레이션과 위상 신틸레이션 발생 빈도를 각각 분석한 후 아라온 쇄빙선 항적 위치 오차와 분석할 예정이다.
  - 또한 아라온 쇄빙선의 GPS 항적 자료와 한국천문연구원이 설치한 GNSS 신틸레이션 관측 분석자료와 비교하여 아라온 쇄빙선 항적 위치 정밀도를 향상하기 위한 연구를 수행할 예정이다.
  - 지금까지 여러 연구결과들이 극지방에서는 위상 신틸레이션이 진폭 신틸레이션 보다 자주 발생한다고 보고되었지만 최종적으로 GNSS 위치오차에 영향을 미치는 신틸레이션 특성이 어떤 것인지에 대한 연구는 많지 않다. GNSS 신틸레이션에 관한 우주환경적 특성 뿐만 아니라 위성항법시스템 성능에 관한 연구도 진행할 계획이다.

## 제 6 장 참고문헌

- Hong, J., Chung, J.-K., Ham, Y.-B., Kwak, Y.-S., & Kim, Y. H. (2021). Inferring the horizontal speed of an ionospheric irregularity from a single GPS scintillation receiver at high latitudes. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029277. <https://doi.org/10.1029/2021JA029277>
- Hong, J., Chung, J.-K., Kim, Y. H., Park, J., Kwon, H.-J., Kim, J.-H., Choi, J.-M., Kwak, Y.-S. (2020). Characteristics of ionospheric irregularities using GNSS scintillation indices measured at Jang Bogo Station, Antarctica (74.62° S, 164.22° E). *Space Weather*, 18, e2020SW002536. <https://doi.org/10.1029/2020SW002536>
- Kintner P. M., T. Humphreys, J. Hinks, GNSS and Ionospheric Scintillation, July/August 2009, InsideGNSS
- Scharroo, R., and W. H. F. Smith (2010), A global positioning system-based climatology for the total electron content in the ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 115, A10318, <https://doi.org/10.1029/2009JA014719>



## 주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 연구선 산·학·연 공동 활용 연구사업(PAP사업) 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 연구선 산·학·연 공동활용 연구사업으로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.