

우주기술과 응용

Journal of Space Technology and Applications

Vol. 2 No. 3 August 2022



pISSN 2765-7469
eISSN 2799-3213
<https://www.jstna.org>

우주기술과 응용

Journal of Space Technology and Applications

Volume 2 Number 3 August 2022

Published by The Korean Space Science Society

Published on August 31, 2022

Office Address

The Korean Space Science Society

776, Daedeok-daero, Yuseong-gu, Daejeon 34055, Korea

Tel: +82-42-865-3391

Fax: +82-42-865-3392

E-mail: ksss@ksss.or.kr

Homepage: <http://ksss.or.kr>

Design & Printing

Guhmok Publishing Co. / Guhmok Info Inc.

Copyright © The Korean Space Science Society

This is an Open Access journal 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.



우주기술과 응용

우주기술과 응용(*Journal of Space Technology and Applications; J. Space Technol. Appl.* 이하 *JSTA*)은 한국의 우주과학 및 우주 응용 분야에서 가장 권위 있는 학술단체인 한국우주과학회에서 *Journal of Astronomy and Space Sciences*와 더불어 발행되고 있는 공식적인 정기 간행물이다. *JSTA*는 2021년 5월 창간호를 시작으로 연 4회 분기별로 발간되고 있으며, *JSTA*의 논문과 기고문은 한국어 또는 영어로 게재 가능하며, 각 논문과 기고문에는 고유의 DOI가 부여된다. *JSTA*에 게재되는 모든 논문과 기고문은 Open Access 정책에 따라 *JSTA* 홈페이지(<https://www.jstna.org>)를 통해 누구나 전문을 무료로 열람할 수 있다.

*JSTA*의 분야

*JSTA*는 우주 이용의 확대에 기여하는 창의적인 연구 논문과 첨단 우주 기술 및 정책에 대한 기고문을 게재하여 발간하며, 다음과 같은 주제를 비롯하여 우주 응용 및 활용과 관련된 모든 분야의 논문과 기고문을 출판한다.

- 우주 임무 해석/설계(space mission analysis/design)
- 우주시스템 엔지니어링(space system engineering)
- 우주 관측기기(space instrumentation)
- 궤도역학(orbital mechanics)/우주동역학(astrodynamics)
- 우주환경(space environment)
- 우주상황인식(space situational awareness)
- 우주데이터(space data)
- 우주정책(space policy)

학술지 *JSTA* 관련 문의

JSTA 편집국

Tel: +82-42-865-3351

E-mail: jsta@ksss.or.kr

JSTA 구독 관련 문의

학회 사무국

Tel: +82-42-865-3391

E-mail: ksss@ksss.or.kr



우주기술과 응용

편집위원회 (2022.01.01 - 2022.12.31)

편집위원장 김해동 경상국립대학교

편집고문 민경욱 KAIST
심은섭 (주)솔탑
이 유 충남대학교

편집위원 김방엽 한국항공우주연구원
김홍래 (주)솔탑
박설현 조선대학교
서인호 국방과학연구소
선종호 경희대학교
송진환 AP우주항공
이균호 세종대학교
이동현 항공대학교
이성희 (주)컨텍
이재진 한국천문연구원
이주희 한국항공우주연구원
이창한 한국항공우주산업
임조령 한국항공우주연구원
장태성 KAIST 인공위성연구소
조동현 부산대학교
황정아 한국천문연구원

편집국장 김숙경 한국우주과학회



우주기술과 응용 Vol. 2 No. 3 August 2022

연구논문

- 187 지향성을 가지고 동작하는 위성 안테나 진동저감 장치 최석원, 용상순
- 195 과학기술외교 관점에서 바라본 유럽의 우주탐사와 우리나라 우주탐사전략 최남미
- 206 해저거주시설 모사 지상실험모듈 개발 요구사항 분석 이주희, 김연규, 이종원

기술논문

- 221 이천 지자기 관측소 플렉스게이트 자력계 온도 조절 장치 개발 및 설치 후 안정성 자체 평가
최두영, 이승욱, 김준성, 이대영, 최규철, 조정희

연구논문

지향성을 가지고 동작하는 위성 안테나 진동저감 장치

최석원[†], 용상순

한국항공우주연구원

Vibration Reduction Device for Directional Moving Satellite Antenna

SeokWeon Choi[†], Sang-Soon Yong

Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea



Received: June 28, 2022

Revised: July 26, 2022

Accepted: July 31, 2022

[†]Corresponding author :

SeokWeon Choi

Tel : +82-42-860-2453

E-mail : schoi@kari.re.kr

Copyright © 2022 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

SeokWeon Choi

<https://orcid.org/0000-0002-3352-3102>

SangSoon Yong

<https://orcid.org/0000-0003-1246-3590>

요약

안테나의 고속 정밀 지향성 확보를 위해 동작되는 모터의 구동에 의한 외란의 크기는 극히 미소함에도 불구하고, 정밀 지향 성능이 요구되는 관측 위성의 영상 품질을 저해하는 주요 원인으로 작용하게 된다. 고해상도 관측위성의 지향 성능 향상을 통한 고해상도 영상정보 획득을 위해서는 지향성 안테나의 모터 구동시 발생하는 미소진동(Jitter)이 주요 임무 장비에 전달되지 않도록 적절한 진동절연 및 저감 설계가 요구된다. 본 논문에서는 실제 위성에 적용된 지향성 안테나 진동저감 장치에 대해 개발과정과 적용 전후의 미소 진동 저감 효과에 대해 살펴보고자 한다. 이 장치는 별다른 인터페이스 추가 장비 없이, 지향성 안테나 구동부 내에 있는 기어 하나만을 스프링 댐퍼 기어 형태로 교체함으로써, 발생하는 지터문제를 획기적으로 개선할 수 있는 방법으로 고안되었으며, 이 방식은 2015년에 발사된 서브미터급 고해상도 지구관측 위성에서 처음으로 적용되어 발사되었으며, 현재까지 성공적으로 운용 중에 있다.

Abstract

Although the magnitude of the disturbance caused by the driving of the motor operated to secure the high-speed and precise directivity of the antenna is small, it acts as a major cause of impairing the image quality of the observation satellite, which requires precision directing performance. In order to acquire high-resolution image information through the improvement of the high-resolution observation satellite, proper vibration isolation and reduction design are required so that jitter generated when the directional antenna motor is driven is not transmitted to the main mission equipment. In this paper, the development process of the directional antenna vibration reduction device applied to real satellites and the effect of micro vibration reduction before and after application will be examined. This device was designed as a way to significantly improve the jitter problem by replacing only one gear in the directional antenna driving unit with a spring damper gear without any additional interface equipment. It was first applied and launched to a high-resolution earth observation satellite, and has been successfully operated so far.

핵심어 : 지향성 안테나, 미소진동 저감, 미소 진동 저감 장치, 지터

Keywords : directional antenna, micro vibration reduction, micro vibration reduction device, jitter

1. 서론

지표면에 대해서 빠르게 움직이는 고해상도 저궤도 관측위성의 촬영된 영상을 고정된 지상의 지상국에 전송하기 위해선, 위성의 자료전송 안테나도 같이 움직이면서 지상을 지향해야 한다.

이때 안테나의 고속 정밀 지향성 확보를 위해 동작되는 모터의 구동에 의한 외란의 크기는 극히 미소함에도 불구하고, 정밀 지향 성능이 요구되는 관측 위성의 영상 품질을 저해하는 주요 원인으로 작용하게 된다[1].

국내 개발되어 2013년에 발사되었던 고해상도 저궤도 관측위성의 경우에도, 안테나의 기동각속도가 클 경우 발생하는 지터문제로 인해 영상의 품질이 현격히 저하되는 현상을 경험하였고, 이에 안테나의 모터 구동시 발생하는 미소진동(jitter)이 주요 임무 장비에 전달되지 않도록 적절한 진동절연 및 저감 설계가 요구되었었다[2,3].

2015년에 발사된 후속 위성의 경우, 진동저감 장치를 추가함으로 안테나 구동 모터로부터 야기되는 진동을 현격하게 줄일 수 있었으며, 본 논문에서는 실제 적용된 지향성 안테나 진동저감 장치에 대해 살펴보고자 한다.

2. 본론

기존에 개발되어 사용되던 고해상도 저궤도 위성의 지향성 안테나(X밴드 안테나(XAA))는 Fig. 1과 같은 모습을 가지고 있었으며, Fig. 2와 같이 인공위성의 상단 카메라 경통 좌우 부근에 설치되어 있다. 인공위성이 획득한 위성 영상을 지상에 무선으로 전송하기 위한 안테나와 이의 지향각 조절을 위한 2축(방위각 및 고각) 김벌 형태의 회전구동부로 구성되어 있으며, Fig. 3과 같은 동작 구조로 이루어져 있다.

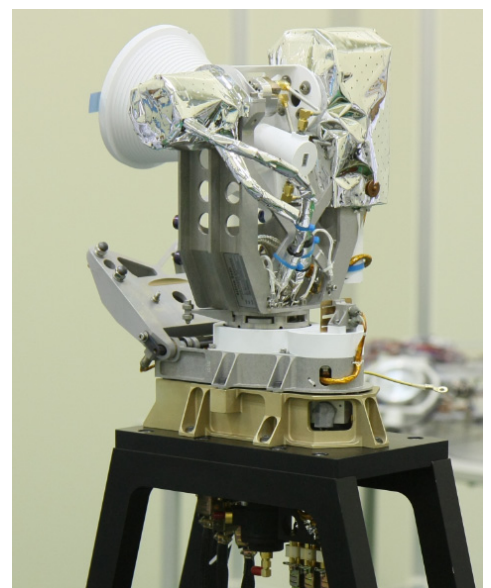
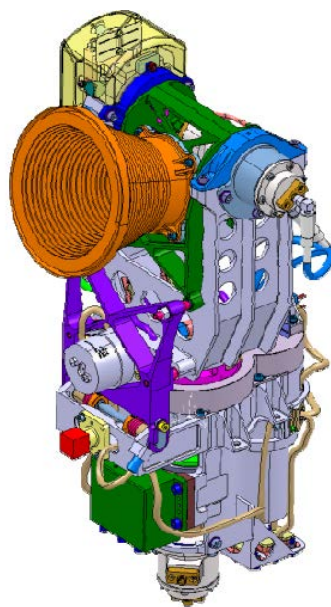


Fig. 1. Directional moving antenna.

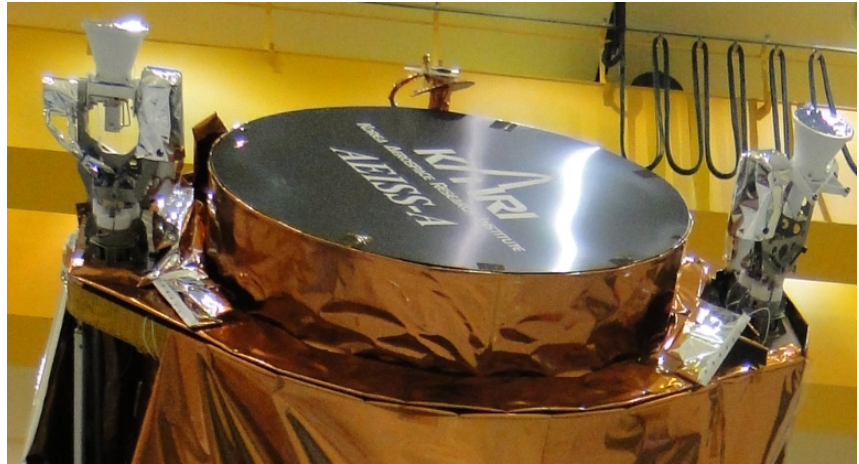


Fig. 2. Camera barrel & directional moving antenna.

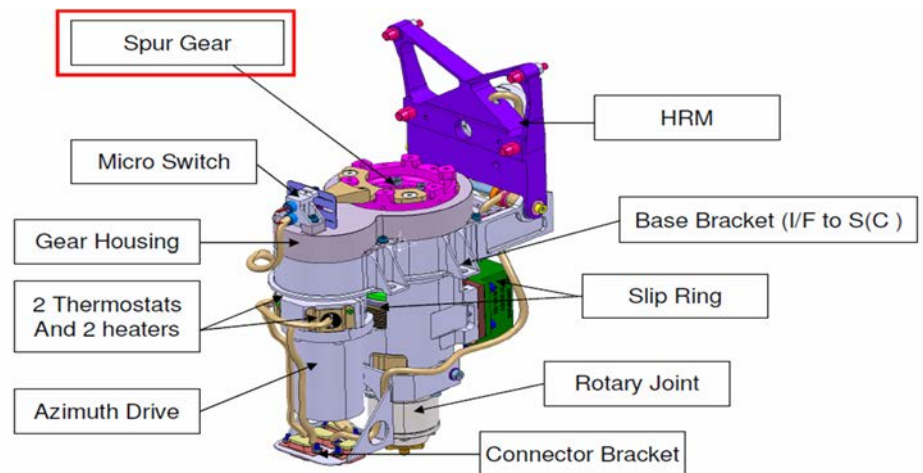


Fig. 3. Overview of the main parts of the drive gearwheel.

모터가 구동되면 톱니기어에 의해 동력이 전달되어 안테나가 움직이게 되는데, 안테나 동작시, Fig. 4와 같은 미소진동이 발생하게 되며, 이 진동으로 인해 지터 문제가 심각하게 발생하였으며, 이 문제는 앞서 개발된 위성 프로젝트 지상시험 중에도 발견되어 지지대의 스트럿을 추가하는 등의 보강을 하였으나 별로 개선되지 못하고 있는 부분이었고, 결국 앞선 위성 프로젝트 등에서는 이 문제를 기술적으로 극복하지 못하고, 위성 영상 촬영 중에는 안테나의 구동을 정지하는 방법을 채택하여 약간의 성능 저하를 감수하고 운용을 하는 방식으로 정리가 되었었다.

후속 위성프로젝트 개발과정 중에 있어서도, 탑재체 개발 측의 입장에서는 지향성 안테나는 이미 개발이 완료되어 있는 상태이므로 기존에 개발된 안테나를 그대로 사용하고, 앞서 개발된 위성 프로젝트와 같이 사진촬영 전후에는 안테나의 구동을 정지하는 방안을 계속 유지하거나, 아니면 안테나와 위성체 사이에 2인치 정도 두께의 댐퍼를 새로이 설치하는 방안 등을 채택하기를 선호하였으나, 두꺼운 댐퍼를 새롭게 넣게 되면, 이로 인해 위성이 무게 증가 및 기동성에도 영향을 미칠 수 있다는 우려가 대두되어 채택이 곤란하였다.

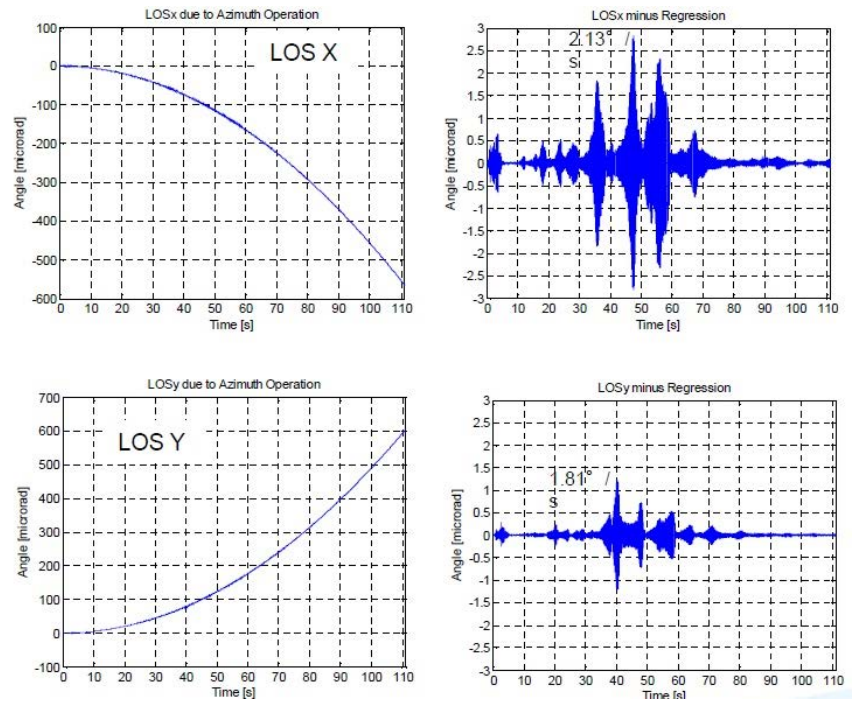


Fig. 4. Micro-vibration generated during motor operation.

여러 논의 및 검토 후에, 후속 위성 프로젝트에서는 진동을 저감시키기 위한 한 방법으로 안테나 구동기 내부의 톱니바퀴 모양의 기어 안쪽에 Fig. 5와 같이 얇은 막대기 모양의 일종의 스프링 댐퍼를 장착하는 방법을 모색하였다.

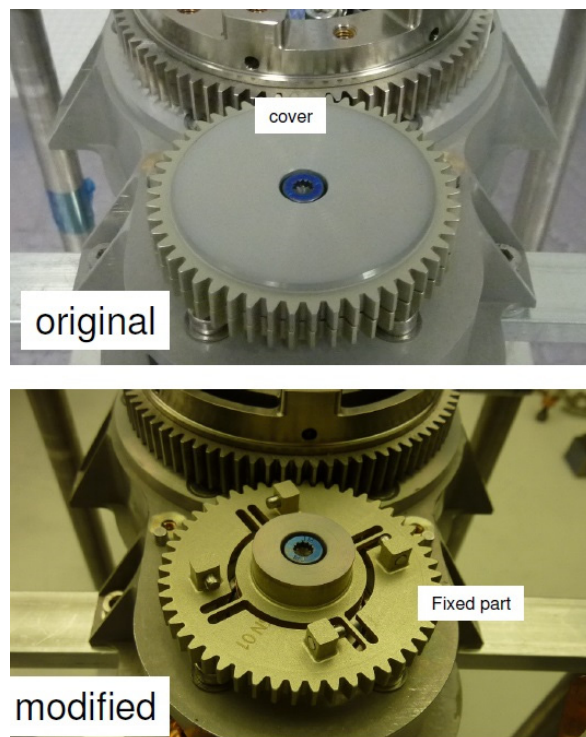


Fig. 5. Original gearwheel (top) and modified gearwheel (bottom).

안테나 구동 토크의 주 전달 구조물인 구동기어휠(Spur Gear, Fig. 3) 상에 얇은 슬롯 형태의 스프링 댐퍼를 90° 간격으로 적용하여 안테나 구동시 야기되는 회전 미소진동을 감쇄시키는 방법이며, 수정된 기어휠은 0.7 mm 정도의 폭을 가지는 1자형 스프링 4개로 기어의 톱니 안쪽과 바깥쪽이 연결되어 있다.

모터의 구동부에 연결되어 있는 부분과 바깥쪽 톱니 기어 부분이 0.7 mm 정도의 얇은 막대 (스프링)으로 연결되는 구조인데, 발사환경등을 고려하여도 예측되는 최대 토크의 2배 이상은 충분히 감당할 수 있는 해석상의 두께이며, 이 방식은 2015년에 발사된 국내개발 위성 에 처음으로 적용이 되었다.

기존의 통자형 기어휠을 사용할 때와 스프링 댐퍼를 가지는 기어휠을 사용할 경우에 대한 미소진동 값이 Fig. 6에 표시되었다. 그림에서 쉽게 볼 수 있듯이 개선된 지터 값은 기존값 대비 약 80%의 지터가 줄어 들었음을 확인할 수 있으며, 개선된 모양의 휠이 이상 없이 잘 작동함을 확인할 수 있었다.

지향성 안테나와 위성 사이에 별다른 인터페이스 추가 장비 없이, 지향성 안테나 구동부 내에 있는 기어 하나만을 스프링 댐퍼를 가지는 기어 형태로 교체함으로써, 발생하는 지터문제를 획기적으로 개선할 수 있는 이 방법은 2015년에 발사된 국내 개발 위성 에 최초로 적용되었고, 이후 개발된 해외 위성에도 그대로 적용되었다.

하지만 이 방식은 모터의 구동이나 발사시의 진동 환경 등 모터 작동시 예상되는 모든 환경은 고려하였으나, 조립시험중 지향성 안테나(XAA 안테나)를 손으로 조작할 때, 역으로 스

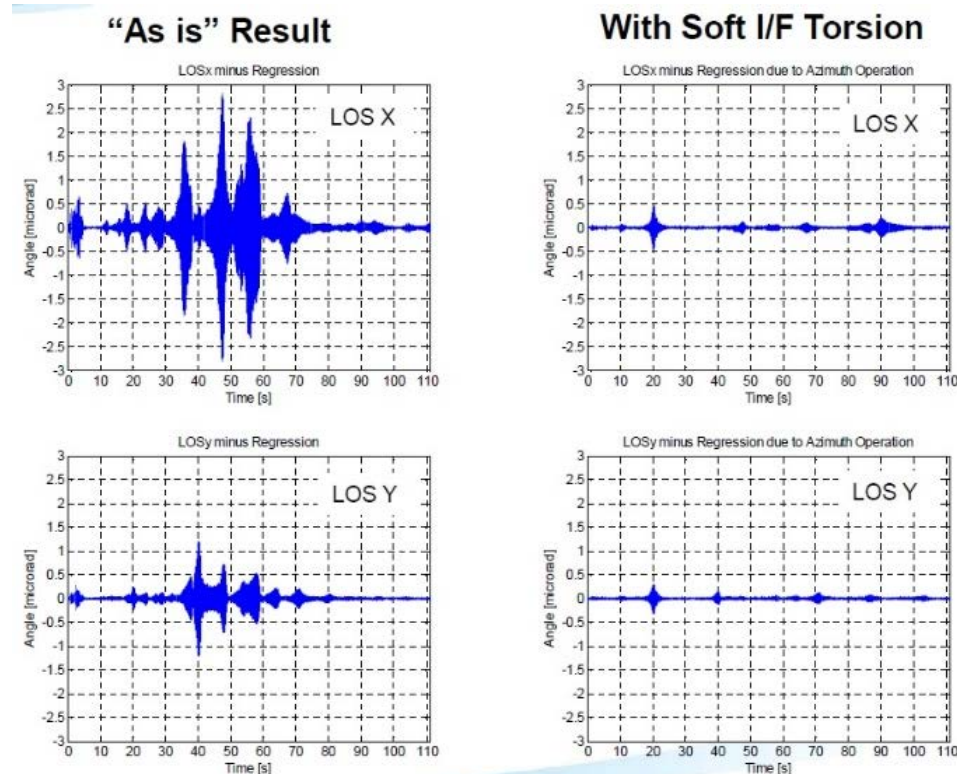


Fig. 6. Comparison of micro vibration between the original gear wheel (left) and the modified gear wheel (right).

프링의 탄성한계를 초과하는 과도한 힘을 받아, 한쪽으로 소성변형이 발생하거나 심한 경우 파손도 발생할 가능성을 고려하지 못하고 설계가 진행되었었다.

나중에 이 설계를 그대로 적용했던 해외 위성의 위성 지상 조립시험시 이러한 문제가 발생하여 문제점이 공유되었으며, 총조립 시험이 끝나고, 발사 대기중이던 국내 개발 위성도 혹시 이러한 변형이 있을 수 있어 검사를 수행하였다.

검사 결과, 2개의 안테나중 1개에서 Fig. 7과 같이 한쪽으로 소성 변형이 확인되었으며, 나머지 1개는 Fig. 8과 같이 변형이 없는 정상적인 스프링 댐퍼의 모습을 유지하고 있었다.

Fig. 7은 한쪽으로 소성 변형이 발생한 모습이며, Fig. 8은 소성변형 발생이 없는 정상적인 모습의 스프링 댐퍼의 모습이다.

2015년에 발사된 국내 개발위성에서는 1개에서 발생한 소성 변형 문제의 가능성을 제거하고, 설계를 보완하여 문제를 해결하기 위해, 스프링 댐퍼의 변형 해석을 수행하고, 스프링 댐퍼의 변형을 탄성변형 한도 내로 제한하여 소성 변형을 방지하기 위한 키를 Fig. 9와 같이 45° 부터 90° 간격으로 4개 위치에 추가 고려하였다.

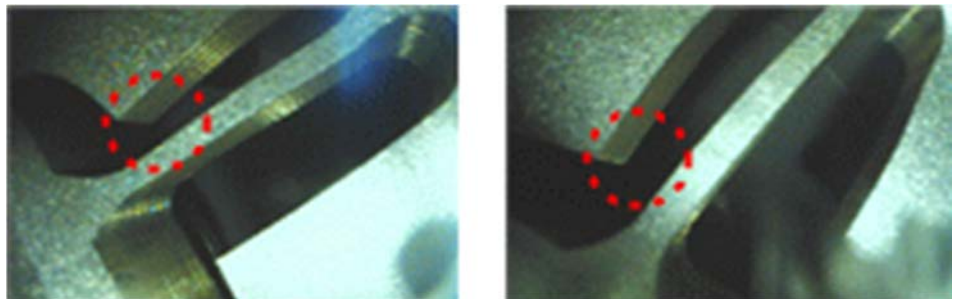


Fig. 7. A spring damper plastically deformed by a force exceeding the elastic limit.



Fig. 8. The original appearance of the spring damper before deformation.

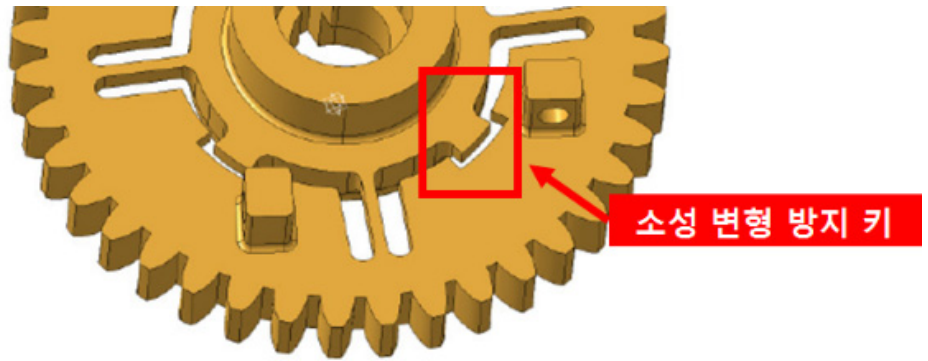


Fig. 9. Gearwheel with spring damper plastic protection device.

이 경우, 안테나의 지상 운용 작업 중 과도 토크가 인가될 경우에도, 소성 변형 방지 키의 구속으로 인하여 스프링 댐퍼의 과도 변형이 발생하지 않아 기어휠의 건정성을 유지할 수 있게 된다. 이러한 성능 개선 방안은 변형이 발생한 1개의 지향성 안테나에 적용되었으며, 변형이 발견되지 않은 지향성 안테나는 Fig. 5와 같은 소성변형 방지키가 적용되지 않은 원래의 스프링 댐퍼 기어를 사용하였으며, 위성은 발사후 현재까지 2개의 지향성 안테나 모두 문제없이 성공적으로 운용되고 있다.

참고로 소성변형 방지키가 추가된 스프링 댐퍼 방식은 위성 발사후 특허로도 출원되어 등록되었다[4].

3. 결론

지향성을 가지고 동작되는 안테나에 미소진동을 저감시키기 위한 장치를 고안하여 실제 위성체에 적용하였다.

별다른 인터페이스 추가 장비 없이, XAA 안테나 구동부 내에 있는 기어 하나만을 얇은 막대기모양으로 연결되는 일종의 스프링 댐퍼 기어 형태로 교체함으로써, 발생하는 지터 문제를 획기적으로 개선할 수 있는 방법이 고안되었다.

처음에 고안된 방식은 발사시의 진동 환경 등 모든 환경은 고려하였으나, 조립시험중 지향성 안테나를 손으로 조작할 때, 과도한 힘을 받아 변형이 발생할 수 있을 가능성이 대두되어, 변형 방지키가 추가된 새로운 개선 사항도 모색되었고 적용되었다.

두 가지 방식 모두가 2015년에 발사된 서브미터급 고해상도 지구관측 위성에 탑재되어 있는 2개의 지향성 안테나에 각각 처음으로 적용되어 발사되었으며, 임무수명이 연장된 현재까지 2개의 지향성 안테나들은 문제없이 정상 운용 중에 있다.

감사의 글

이 논문에 대하여 중요한 지적과 코멘트를 해주시고, 세심한 심사를 해주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

References

1. Yong S, Lee SG, Extremely compact two-axis x-band antenna assembly, in the 13th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, Vienna, Austria, 23-25 Sep 2009.
2. Kim DK, Oh SH, Kim HB, Lee WB, Yong KL, Micro-vibration test of x-band antenna with two-axis gimbal system, Proceedings of the KSAS Annual Autumn Conference, Pyeongchang, Korea, 15-16 Apr 2010.
3. Choi SW, Woo SH, Eun HK, Vibration reduction device for directional moving antenna (I), in the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 2016 Fall Conference, Jeju, Korea, 16-18 Nov 2016.
4. Cho SW, Woo SH, Eun HK, Antenna vibration reduction device, Korea Patent 10-1850863 (2018).

Author Information

최 석 원 schoi@kari.re.kr



연구를 수행하고 있다.

서울대학교 항공우주공학과에서 1992년 박사 학위를 취득한 후, 1992년부터 한국항공우주 연구원에서 위성개발관련 업무를 수행하였으며, 현재는 영상체계 개발부에서 해상도 향상기법, 위성영상 분석 준비 데이터(ARD, Analysis Ready Data) 등 위성영상 검보정 및 품질에 관련된

용 상 순 ssyong@kari.re.kr



아와 위성체 분야의 우주중점기술을 개발하고 있다. 이를 통해 국가 우주전략기술을 자립화하고 원천기술을 확보하여 국가 우주기술 역량 향상뿐만 아니라, 우주산업 생태계 선순환 기반 마련을 위하여 노력하고 있다.

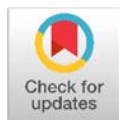
1991년부터 한국항공우주연구원에서 인공위성 개발업무를 수행하여, 저궤도 다목적실용위성, 차세대중형위성과 정지궤도복합위성을 위한 다양한 탑재체를 개발하였다. 현재는 스페이스 파이오니어사업의 책임자로 2030년까지 계획된 국가우주체계에 연계를 목표로 발사체 분

연구논문

과학기술외교 관점에서 바라본 유럽의 우주탐사와 우리나라 우주탐사전략

최남미[†]

한국항공우주연구원



Received: July 4, 2022

Revised: July 18, 2022

Accepted: July 30, 2022

[†]Corresponding author :

Nammi Choe

Tel : +82-42-860-2128

E-mail : nammi@kari.re.kr

Copyright © 2022 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

Nammi Choe

<https://orcid.org/0000-0002-6976-088X>

Europe's Space Exploration and Korea's Space Exploration Strategy from the Perspective of Science and Technology Diplomacy

Nammi Choe[†]

Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea

요약

우주탐사는 지구관측, 통신, 항법 등 어떠한 우주활동보다 국제공조가 활발히 일어나는 분야이다. 이는 지구 근처에서의 우주활동보다 심우주 탐사를 위해 갖추어야 하는 발사체, 관제, 통신, 유인 우주거주시설 등의 인프라를 한 나라가 온전히 갖추기 위해서는 막대한 예산을 필요로 하며, 지속가능하지 않기 때문이다. 우리나라는 2021년 아르테미스 약정에 서명하고, 2022년 다누리 달 궤도선을 발사함으로써 인류의 심우주 탐사 대장정에 본격적으로 동참하려는 의지를 표명하였다. 심우주 탐사의 시작은 우리나라의 우주활동이 이제 기술개발에만 매진하는 단계를 지나 다른 나라와 동행하기 위해 필요한 규범을 정하고 노출되는 문제해결을 위해 외교적으로 공조해야 하는 단계로 확장되었음을 의미한다. 본 논문은 가장 활발히 아르테미스 프로그램에 참여하고 있으며, 우주 분야에서 외교력을 심분 발휘하고 있는 유럽의 우주정책과 우주탐사를 과학기술외교 관점에서 분석하였다. 유럽의 우주정책, 우주탐사전략, 우주탐사 프로그램으로 연계되는 상위 정책과 하위 프로젝트 단위에 이르는 우주활동에서 국제협력 전략의 전개를 살펴봄으로써 과학기술외교 관점에서 우리나라 우주탐사전략에 대한 시사점을 제시하였다.

Abstract

Space exploration is an area where international cooperation takes place more actively than any other space activities such as Earth observation, communication and navigation. This is because a country cannot afford a huge budget to have full infrastructure for deep space exploration, such as a heavy launch vehicle, communication and energy infrastructure, and human habitats, and has learned that it is not sustainable. Korea expressed its willingness to join humanity's epic exploration journey by signing the Artemis Accords in 2021 and launching Danuri lunar orbiter in 2022. The beginning of space exploration means that Korea's space activities have expanded beyond the stage of focusing only on technology development to set norms necessary to accompany other countries and cooperate diplomatically to solve exposed problems. This paper analyzed European space policy and space exploration, which are most actively participating in the Artemis Program and exerting diplomatic power in the space field, from the perspective of science and

technology diplomacy. The suggestions for Korea's space exploration strategy from the perspective of science and technology diplomacy were drawn by examining the international cooperation strategies in Europe's space activities ranging from space policy, space strategy, and space exploration program to project units.

핵심어 : 과학기술외교, 유럽의 우주정책, 한국의 우주탐사

Keywords : science and technology diplomacy, Europe's space policy, Korea's space exploration

1. 서론

2022년 8월 다누리호가 발사되며 우리나라의 우주탐사는 본격화되었다. 2008년 한국항공우주연구원이 자체연구사업으로 달 탐사 계획수립을 위한 기획연구를 수행하며, 550 kg급의 소형 무인 달 궤도선의 개발을 처음으로 제안한 이후 14년 만에 우리나라 최초의 달 궤도선이 발사된 것이다. 다누리호는 국내 탑재체 외에 달 극지역을 촬영해 물의 분포를 관찰하는 NASA의 영구음영지역 카메라(Shadowcam)를 탑재하고 있다. NASA 탑재체를 싣는 대신 한국항공우주연구원은 NASA로부터 심우주 비행, 관제, 제어 기술에 대한 지원을 받는다. 다누리호의 예에서 보았듯이 우주탐사는 지구관측, 통신 등 어떠한 우주개발 활동보다 국제공조가 활발하게 일어나는 분야이다. 지구 근처의 탐사보다 심우주 탐사를 위해 갖추어야 하는 발사체, 관제, 통신, 유인 거주시설 등의 인프라를 한 나라가 온전히 갖추기에는 막대한 예산을 필요로 하며, 지속가능하지 않기 때문이다. 세계 1위의 우주개발 예산을 갖고 있는 미국조차도 우리나라의 다누리호에 탑재체를 싣는 기회를 타진했으며, 유인 달 탐사 프로그램인 아르테미스에 국제 공조를 제안한 이유이기도 하다. 우리나라는 2021년 아르테미스 약정에 서명하고, 달 궤도선 다누리호를 2022년 발사하며 인류의 심 우주 대 항해에 동참하려 하고 있다. 우주탐사의 본격 동참은 우리나라의 우주 활동이 이제 기술개발에만 매진하면 되는 단계를 지나, 국제공조를 위해 규범을 만들고, 또한 규범으로 해결되지 않는 문제 해결을 위해 외교적으로 접근해야 하는 단계로 확장되었음을 의미한다.

영국왕립협회(Royal Society)는 과학기술외교를 과학을 위한 외교(diplomacy for science), 외교 안의 과학(science in diplomacy), 외교를 위한 과학(science for diplomacy)의 세 영역으로 구분하였다. 과학을 위한 외교는 선진기술습득, 정보교환, 과학기술인 훈련 등 과학기술의 역량 강화를 위한 과학기술 국제협력을 말하며, 외교안에서의 과학은 환경, 에너지, 우주 등 다양한 영역에서 발생하는 문제를 해결하기 위한 글로벌 수준, 특히 다자간 국제기구 틀 안에서 이루어지는 활동을 의미하며, 외교를 위한 과학은 외교적 긴장관계 및 교착상태 등 주로 외교 문제 해결의 돌파구로 과학기술을 활용하는 것을 말한다[1]. 과학기술외교 관점에서 봤을 때 유럽의 우주정책과 활동은 영국왕립협회가 구분한 세가지 영역의 외교 전략을 모두 다 구사하고 있으며, 이러한 우주 분야의 과학기술외교력에 힘입어 유럽은 우주 분야에서 실익을 극대화하고, 리더십을 높이고 있다.

이 논문에서는 유럽의 우주탐사 프로그램을 이끈 상위의 유럽 우주정책, 전략과 우주탐사 전략을 개괄적으로 살펴보고, 과학기술외교 관점에서 이들을 분석하였다. 그리고 과학기술외교

교 관점에서 우리나라 우주탐사 전략에 대한 시사점을 제시하였다. 우리나라의 우주탐사가 본격화되고 있는 시점, 가장 활발하게 아르테미스 프로그램에 참여하고 우주 분야에서 외교력을 심분 발휘하고 있는 유럽의 우주 정책 및 활동에 대한 과학기술외교 관점의 분석은 우리나라의 우주탐사 전략 마련에 도움을 줄 것으로 기대한다.

2. 유럽의 우주정책 및 우주탐사 프로그램

2.1 유럽 우주정책 및 우주전략

유럽헌법조약은 유럽연합이 정책을 수립해야 하는 분야로 우주 분야를 지정하고 있다[2]. 2004년 10월 25개국 이 사인한 유럽헌법조약에 따르면 과학기술의 진보, 산업경쟁력 제고와 유럽의 정책집행을 위해 유럽연합은 유럽우주정책을 수립해야 한다고 규정하고 있다. 이에 따라 유럽집행위원회(European Commission, EC)와 유럽우주국(European Space Agency, ESA)이 초안한 유럽우주정책(European space policy)을 유럽연합 장관들과 유럽우주국의 우주평의회(Space Council)가 채택함에 따라 2007년 5월 유럽우주정책이 처음 수립되었다[3]. 그간 유럽우주국이 유럽 각국의 지원을 받아 유럽우주프로그램을 수행하고 있었으나, 유럽 헌법 조약에 따라 유럽연합이 유럽우주정책을 수립하며, 유럽 우주활동을 위한 공통의 틀을 제시함으로써 유럽우주국도 이를 따르고 있다. 유럽우주정책에서는 유럽의 이익과 가치에 일치하는 몇몇의 분야에서 유럽은 글로벌 리더십을 발휘해야 할 것과 국제협력에 개방적 자세를 취하되 언제 파트너 국가에 의존하고, 언제 독립적으로 남아야 하는지 판단해야 할 필요성을 언급하고 있다[3].

2016년 유럽집행위원회는 우주 분야에서 증가하는 글로벌 경쟁에 대응, 유럽의 리더십 증진, 우주시장에서 점유율 확대, 그리고 우주가 주는 혜택과 기회를 잡기 위해 유럽 최초로 포괄적인 유럽우주전략을 발표하였다. 유럽우주전략에서 5가지 전략목표—① 유럽 사회와 경제를 위한 우주 활용의 극대화, ② 유럽 우주 분야를 글로벌 경쟁력 있고 혁신적으로 육성, ③ 안보와 안전이 보장된 환경에서 유럽의 우주의 자주적 접근과 사용 강화, ④ 글로벌 활동가로서 유럽의 역할 강화 및 국제협력 증진, ⑤ 효과적 수행 보장—를 제시하였다. 4번째 전략 목표인 국제협력 증진 전략목표 달성을 위해 해외 전략적 파트너와의 우주 대화 증진, 유럽기업의 해외활동을 위한 경제외교지원, 국제 공동문제 해결을 위한 국제적 노력에 기여 증대, 우주에서 책임있는 행동 규범과 평화적 이용을 위한 우주환경 보호에 참여 등을 주요 실행항목으로 제시하였다[4].

2.2 유럽 우주 거버넌스

단일 유럽우주정책 하에 유럽의 우주프로그램을 관장하는 기관은 유럽연합의 유럽집행위원회와 유럽우주국으로 양분된다. 유럽연합의 집행위원회는 유럽 사회에 광범위한 영향을 미치는 우주활동과 안보에 관련이 큰 프로그램인 갈릴레오 전지구위성항법, 위성기반 신호보강 시스템, 코페르니쿠스 지구관측, 기술(Horizon 유럽), 우주안보, 정부통신위성 프로그램을 관장한다.

유럽우주국은 발사체, 과학과 우주탐사, 위성통신, 유인우주 등 프로그램을 관장하고 유럽 연합의 프로그램인 갈릴레오, 위성기반 신호보강시스템, 코페르니쿠스 등의 프로그램을 위한 시스템 디자인, 위성 개발 및 발사를 수행한다. 유럽 항법위성시스템인 갈릴레오의 서비스 센터(GNSS Agency)가 변경된 EUSPA(EU Agency for the Space Programme)는 유럽우주국이 개발한 위성의 반복 생산, 시장개척과 안보 프로그램을 담당한다. 유럽의 우주 분야 지배구조는 Fig. 1과 같다[5].

2.3 유럽우주국(ESA)의 우주비전 및 우주탐사 프로그램

2021년 유럽우주국은 Agenda 2025 비전을 발표하며 우주에서 유럽이 글로벌 리더로 남기 위해 우선적으로 수행할 5가지를 제시하였다. 이는 ① ESA-EU 관계 강화, ② 친환경 디지털 우주 상업화의 증진, ③ 안전과 안보를 위한 우주개발, ④ 핵심프로그램 추진(2022년까지 발사체 Vega-C, Ariane-6 개발, 우주활용, 우주탐사), ⑤ ESA의 변화 완성(플랫폼기반 정보 접근, 모델기반 시스템 엔지니어링, 기후와 지속성 조연자 임명, 다양한 인력구축 등)이다[6]. 비전에서 제시된 ESA-EU의 관계강화를 위해 2021년 6월 ESA-EU 간 재정 프레임워크 파트너십 협정(Financial Framework Partnership Agreement)이 체결되어 두 기관이 유럽 우주 분야에서 독립적이지만 협력하여 투자의 효율을 높이는 계기를 만들었다. 이 협정에 따라 노르웨이, 스위스, 영국과 같은 EU회원이 아닌 유럽우주국 회원국도 EU 우주 프로그램에 참여할 수 있게 되었다[7].

유럽우주국의 우주탐사는 우주탐사전략을 따르고 있다[8]. 2015년 발간된 유럽우주국의 우주탐사전략에서 우주탐사의 전략목적으로 과학, 경제, 영감, 국제협력을 제시하고 있다. 유럽우주국은 2020년 유럽우주국의 우주탐사전략을 Terrae Novae로 새로 명명하였다[9]. Terrae

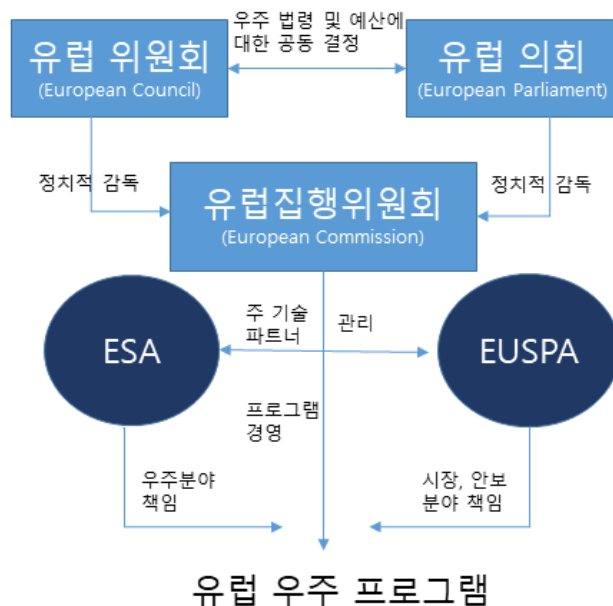


Fig. 1. Space Governance of EU [5].

Novae는 2030년까지의 유럽의 우주탐사 목적지를 지구저궤도(국제우주정거장), 달, 화성의 3단계로 제시하고 있다. 지구저궤도 국제우주정거장을 심우주 유인탐사를 위한 연구를 수행하는 공간으로 활용하고, 달과 화성에서 샘플을 가져오며, 단계별로 달과 화성에 유럽인 거주를 확장한다는 전략이다. 우주탐사전략에서 유럽우주국은 국제협력으로 유럽의 전략적 이익과 혜택을 구현할 수 있으며, 미래 문제해결을 위한 새로운 관점을 제시한다는 점에서 국제협력을 유럽우주국의 우주탐사를 위한 핵심전략으로 언급하였다.

유럽의 화성탐사 프로그램은 러시아와 공동으로 추진 중인 엑소마스 프로그램이 있다. 2016년 ESA는 화성탐사 궤도선 Trace Gas Orbiter를 화성에 보냈고 2022년 로버(rover)를 러시아의 화성착륙선에 실어 보낼 예정이었으나, 러시아의 우크라이나 침공과 러시아에 대한 제재의 일환으로 이 계획이 취소되었다[10]. ESA는 2033년 지구로 귀환할 NASA의 화성 샘플리턴 임무에서 헬리콥터를 개발할 예정이다[11].

달 탐사를 위해서 ESA는 미국 NASA의 유인우주선 오리온의 서비스 모듈(European Service Module, ESM, 2022년 발사)을 개발하고, 미국 주도의 달 궤도 우주정거장 게이트웨이(gateway)에 우주인 거주 모듈(I-HAB)과 게이트웨이와 달 간 통신과 주유를 담당하는 모듈(ESPIRIT)을 제공할 예정이다. 이에 따라 유럽은 2020년대 중반 최초의 유럽 우주인을 게이트웨이로 보내고 후반에는 3명의 우주인이 게이트웨이에 거주하는 것을 목표로 하고 있다. 1.5톤의 화물을 달 표면에 실어 나를 유럽대형착륙선(European Large Logistics lander, EL3)을 2028년 발사할 예정이다. 또한 달 주위에 위성 군을 형성해 정부 및 민간 기업을 대상으로 지구 및 달 표면과의 통신과 달에서의 항법을 상용서비스하는 Moonlight 계획을 제시하였다. 이를 위해 첫 달 궤도선(Lunar Pathfinder)이 2024년 발사될 예정으로 달 극지 탐사 활동을 위해 지구와의 통신, 달 탐사 데이터의 지구 전송 등 상업 서비스를 제공할 예정이다 [12].

3. 과학기술외교 관점에서 바라본 유럽의 우주 분야 정책 및 활동

유럽의 우주정책 및 프로그램을 과학기술외교 관점으로 바라보았을 때 다음과 같은 관찰사항을 얻을 수 있다. 첫째, 우주 분야 상위 정책에서 하위 프로젝트에 이르기까지 국제협력이 일관적인 전략으로 제시되었다. 유럽우주정책, 우주전략, 우주탐사 전략에서 국제협력을 일관되게 명시하며 우주개발을 효율적, 효과적으로 추진하기 위한 방안으로써 국제협력의 중요성을 부각하고 있다. 즉, 국제협력은 유럽우주정책에서 유럽우주전략임무를 효율적이고 효과적으로 달성기 위한 조치로, 우주전략에서는 글로벌 활동가로서 유럽의 역할 강화를 위해, 또한 ESA의 우주탐사전략에서는 유럽의 전략적 이익 구현과 새로운 관점 획득을 위한 전략으로 제시되었다.

둘째, 유럽의 이익이 되는 방향으로 전략적으로 국제협력의 범위를 설정하였다. 전지구항법 시스템의 경우, 전략적 성격이 강한 우주 자산이므로 미국의 GPS에 의존하지 않기 위해 유럽 독자시스템인 갈릴레오를 개발하고 운영 중이다. 그러나 항법 신호의 호환성을 위해 미국의 GPS와 협력하고 있으며, 이의 활용을 확산하기 위해서 국제교육 프로그램을 운용 중이다. 국제 공동 프로그램에서는 강점 분야를 바탕으로 기여하고, 약점 분야를 보완하는 국제협력 전

락을 펴고 있다. 국제 공동 프로그램에서 각 국은 예산과 기술의 이전 없이 각 국이 맡은 부분을 수행하여 전체 시스템 또는 프로그램을 완성한다. 아르테미스 프로그램에 참여 예를 보면, 국제우주정거장의 콜롬버스 모듈과 무인화물선 ATV(automated transfer vehicle) 개발 경험을 바탕으로 유럽은 NASA의 유인우주선 오리온에 부착되어 산소, 공기, 추력 등을 공급하는 유럽서비스모듈과 게이트웨이 우주정거장의 거주 모듈 I-HAB, 통신 모듈 ESPRIT 개발을 담당하고, 유럽은 최소 3인의 유럽 우주인이 오리온으로 게이트웨이 국제우주정거장으로 수송되어 머무르며, 달에 유럽 우주인이 착륙할 수 있는 좌석을 NASA로부터 확보하였다. 반면, 비교적 협력이 자유로운 과학기술분야는 Horizon Europe을 통해 비 유럽 국가와의 협력을 확대하고 있다. Horizon Europe의 프레임워크 프로그램을 통해 양자협정 체결이 되지 않은 제3국과의 협력이 가능하다. 그러나 Horizon Europe의 글로벌 과학기술협력 정책은 EU에 이익이 되는 방향으로 이루어져야 함을 명확히 하고 있다[13].

셋째, 기술축적 및 진보를 위해 다양한 국제협력 기회를 활용한다. 특히 우주탐사 분야는 전 세계 달과 화성으로 가는 우주선 발사 기회가 손꼽힐 정도로 적음에 따라 타국과의 협력 기회 활용은 더욱 눈에 띈다. 예를 들어 달 표면의 샘플을 채취하는 드릴모듈, 질량분석모듈, 고체 흡입 모듈로 이루어진 PROSPECT(Package for Resource Observation and in-Situ Prospecting for Exploration, Commercial exploitation and Transportation) 탑재체는 궁극적으로 2028년 유럽의 착륙선 EL3에 탑재될 예정이나, 질량분석모듈은 ISRO-JAXA의 LUPEX(Lunar Polar Exploration Mission) 로버에 탑재, 전체 시스템은 2025년 NASA CLPS(Commercial Lunar Payload Services)에 탑재해 성능을 검증할 예정이다[14].

넷째, 외교정책 구현을 위한 방안으로 우주를 활용한다. 유럽의 외교정책에 따라 우주협력을 긴밀히 하거나 중단하는 등 외교정책 구현의 중요한 수단으로 우주협력을 활용한다. 1991년 소련 붕괴, 1997년 NATO-RUSSIA 간 상호 관계, 협력, 안보에 관한 법령 채택, 2002년 NATO와 러시아 간 안보문제와 공동프로젝트 논의를 위한 Russia-NATO 위원회(council) 설립 등 서방과 러시아 간 일련의 협력관계 구축에 따라 유럽은 러시아와 발사체 발사 서비스 협력을 추진하였다. 2011년 유럽의 우주센터인 프랑스령 기아나에서 2011년 10월 러시아의 소유즈 발사체 발사된 것은 그간 러시아가 통제하는 러시아 플레체츠크, 카자흐스탄 바이코노루 우주센터 외의 지역에서 러시아 발사체가 발사된 것으로 기존 발사지에서 소유즈 발사체로 지구정지궤도 천이궤도에 1.7톤을 올릴 수 있었으나, 적도 부근의 기아나에서 발사됨으로써 3톤을 올릴 수 있게 되었고, 유럽은 대형 발사체 아리안, 소형 발사체 베가와 함께 중형 발사체 소유즈를 확보함에 따라 상용발사서비스의 다양성과 유연성을 확보할 수 있었다. 러시아의 우크라이나 침공으로 서방이 러시아에 대한 강력한 제재를 발표하자, 러시아는 2022년 2월 자국 발사체인 소유즈로 유럽의 인공위성을 발사하지 않겠다고 발표하였다. 또한 2022년 9월 발사 예정인 러시아의 엑소마스에 탑재하려던 ESA의 로잘린 프랭클리 탐사로보 탑재 계획 취소, 2025년 달 남극에 착륙 예정인 러시아 달자원 착륙선 Luna-27에 탑재 예정이었던 달 탐사 드릴 PROSPECT 탑재체의 탑재 협력 중단 등의 발표가 이어졌다[15]. 중국과는 주로 우주과학분야에 협력 중이다. 2004-2007년 간 ESA와 중국 과학기술부 간 드래곤 프로그램을 착수하여 ESA와 중국 위성의 지구관측위성 자료를 중국에서 좀 더 활발하게 사용하기 위해 활용 프로그램을 개발하였고, 태양풍을 예측 및 지구자기층과의 상호작용 이해를 위한 SMILE 위성(중국 과학아카데미는 위성 본체 및 2개 탑재체 담당, 2개 탑재체는

유럽과 캐나다 담당, 2023년 유럽의 Vega 또는 아리안 발사체로 발사 예정)에 협력 중이다 [16]. 2021년 유럽의 마스 익스프레스 궤도선은 화성에 착륙한 로버 주룡의 자료를 받아 지구로 전송하였다.

다섯째, 글로벌 과제 해결 정책 및 과제 추진에서 리더십을 발휘한다. 2007년 중국의 자국 기상위성 요격과 2008년 미국의 자국 궤도이탈 정찰위성 요격을 계기로 우주에서 군사 활동 규제의 필요성과 우주폐기물 경감 필요성이 증대됨에 따라 2008년 EU 이사회는 '우주활동 행동규범(Code of Conduct for Outer Space Activities)' 초안을 작성 후, 각국의 서명을 주도하였으며[17], 우주 분야를 2015년 유엔(UN) 회원국 간 합의한 '지속가능한 개발 목표(SDGs)' 이행을 위해 활용하며, 우주 분야에서 리더십 확보를 위해 노력 중이다. 기후변화, 재해 위험 감소를 위한 우주 프로그램에 투자하고, 국제 가버넌스 형성에 노력하고 있다. 유럽우주국 ESA와 프랑스 우주국 CNES는 전세계 재난재해에 우주를 활용하는 인터내셔널 차터 스페이스를 주창하여 2000년부터 운용 중이다[18]. 유럽우주국은 2018년 지구 바람 특성 연구를 위한 Aeolus 위성을 발사하였고, 구름 에어로졸 복사 관측을 위성 EarthCARE 위성을 2023년 발사할 예정이며, 산림 바이오매스의 전 지구 변화 파악을 위한 BIOMASS 위성[19], 전세계 정상상태 엽록소 현광상태 분석을 위한 FLEX 위성, 북극 감시 위성 Artic Weather를 개발 중이다[20].

4. 과학기술외교 관점과 연계한 우리나라 우주탐사

우리나라는 제3차 우주개발진흥기본계획의 우주탐사 전략에서 1단계로 시험용 달 궤도선을 발사 후 2단계 달 착륙선 자력발사를 거쳐 3단계 소행성 샘플귀환선 자력발사를 제시하고 있다. 2021년에는 미국 주도 유인 달탐사 국제협력 프로젝트인 아르테미스 프로그램에 참여하는 아르테미스 약정을 체결하였다. 우주개발 분야 중에서 특히 우주탐사 분야는 막대한 예산이 소요되는 분야로 효율적이고 효과적인, 그리고 지속가능한 우주탐사를 위해서는 국제협력은 필수사항이다. 그러나 유럽의 우주개발을 과학기술외교 관점으로 조명했을 때 기술발전 뿐만 아니라, 국가 외교정책의 일환으로 우주를 활용했으며, 국제사회에서 리더십 발휘의 장으로 우주를 선택하였다. 이러한 맥락에서 과학기술외교 관점과 연계해 우리나라 우주 탐사 전략 수립을 위해 다음을 제시하고자 한다.

첫째, 장기적 우주탐사 비전 및 로드맵에 기반한 탐사 및 국제협력 전략이 필요하다. 우리나라가 우주탐사를 왜 하는지, 현재 능력은 어떻고 무엇을 어떻게 어느 시점에 수행할지에 대한 솔직한 현황 진단과 장기적인 비전, 로드맵 수립이 있어야 하며, 이에 따른 국제협력전략 수립이 요구된다. 장기적인 우주탐사 비전과 로드맵에 근거하지 않은 국제협력은 일회성 이벤트에 그치기 쉬우며 국제협력 자체가 목적이 될 수 있으므로, 시간이 소요되더라도 지속 가능한 장기 계획과 전략을 우선적으로 수립한 후, 이를 효율적이고 효과적으로 추진하기 위한 전략으로써 국제협력을 접근할 필요가 있다. 유인 우주탐사 장기 비전과 계획이 미미한 상태에서 이루어진 2008년 4월 한국우주인의 국제우주정거장에서의 우주 실험은 후속 사업으로 연결되지 않았고, 유인 우주기술개발이라는 우주인 배출사업의 목적 달성으로 이어지지 않았다. 현재 우리나라의 우주탐사는 미국이 주도하는 유인 달탐사인 아르테미스 프로그램에 참여한다는 약정 체결과 시험용 달 궤도선-달 착륙선-소행성 샘플귀환선 자력 발사로 이어지는

선언적 우주탐사 이벤트만 존재하며, 왜 우리나라가 우주탐사를 해야 하는지의 철학과 장기적 비전 및 로드맵이 없다. 따라서 해외 국가의 국제협력 수요 제기 및 공동 프로젝트 참여 요청 시마다 협력이 우리나라의 우주개발 지향점과 같은 방향에 있는지, 어떠한 이익이 있는지, 어떤 협력을 우선적으로 수행해야 하는지의 판단이 어렵다.

둘째, 전략적 국제협력 범위 설정이 필요하다. 유럽의 예에서 보았듯이 국제협력 관점에서 보았을 때 우주 분야 활동은 크게 자력으로 구축해야 할 우주인프라, 국제 공동 프로젝트 참여 분야, 국제 교류가 활발한 우주과학 분야로 구분할 수 있다. 또한 자력으로 구축해야 할 우주인프라로 구분된 프로젝트도 설계, 개발, 운용 또는 활용 단계에서 국제협력을 필요로 할 수 있다. 프로젝트 진행 단계별 국제협력 범위를 고민해 가장 효율적이고 효과적으로 임무를 성공적으로 수행할 수 있도록 국제협력을 접근해야 할 것이다.

셋째, 다양한 파트너십 활용이 필요하다. 달 및 화성 탐사는 세계 몇 개 나라만이 수행한 경험이 있으며, 달 및 화성에서의 시설 및 기구의 작동을 검증할 수 있는 기회도 극히 제한적이며, 많은 비용이 요구된다. 따라서 활발한 국제협력을 통해 타국의 궤도선 또는 착륙선 발사 시 자국의 실험을 검증할 수 있는 기회를 활용하고, 우리나라의 우주선 발사 시 국제협력 기회를 타국에 제공해야 할 것이다. 우리나라는 아르테미스 프로그램에 참여하기로 했고, 한국항공우주연구원은 국제우주탐사협의체(International Space Exploration Coordinate Group, ISECG)의 회원인 바 국제우주탐사 파트너십을 적극 활용하여 우주탐사의 국제협력 기회를 적극적으로 모색할 필요가 있다.

넷째, 기초 우주과학 및 기술 연구에 국제협력을 적극 확대해야 하며, 이를 위한 예산 지원이 필요하다. 우주탐사는 막대한 예산이 필요하나, 지구관측이나 위성항법 분야보다는 경제성이 낮고 장기적 투자를 요하는 분야로 미국조차 국제 공동 유인 달 탐사 프로그램인 아르테미스 프로그램을 주창하고 각 국의 참여를 유인하고 있다. 그러나 구체적인 협력 아이템은 양국의 연구자 간 또는 기관 간 오랜 시간의 공동연구와 탐색을 통해 발굴되는 것으로 조약 서명과 함께 또는 공동선언으로 바로 국제협력 기술을 지정할 수 있는 것은 아니다. 특히 거대 시스템의 한 부분을 담당하는 공동 프로젝트 수행을 위한 협력은 우리나라의 축적된 기술 역량 및 관계 신뢰도에 바탕해 역할이 조율되는 것으로, 이를 위해서는 소규모 연구 및 기술 개발 단위의 협력에서 쌓은 기술 및 관계 신뢰가 바탕이 된다. 유럽이 Horizon Europe을 통해 비 유럽 국가와의 협력을 확대하여 우주과학 및 기술분야에서 공동연구 교류를 할 수 있는 기회를 제공하는 것은 소규모 그룹차원의 협력에서 국가 간 공동프로젝트 협력으로 이어질 수 있는 징검다리가 될 것이다. 우리나라는 개개인 또는 기관 단위에서 국제협력을 할 수 있는 우주 분야 기초 과학 또는 기술 분야 과제가 없다. 연구자 간 기술 협력을 증진할 뿐 더러 신뢰를 구축함으로써 시스템 단위의 국제 공동프로젝트 협력으로 발전할 수 있도록 하는 씨앗 연구 투자가 필요하다.

다섯째, 우리나라의 외교정책 구현을 위해 우주를 활용할 필요가 있다. 현재 우리나라는 공분야 위성 8기를 운영 중이며, 2022년 6월 누리호 2차 발사에 성공함으로써 우주발사체 능력을 보유하게 되었다. 또한 2035년을 목표로 한국형 위성항법시스템을 보유할 예정으로 우리나라의 우주 자산이 점점 많아지고 있다. 유럽이 Russia-NATO 위원회 설립 후 프랑스령 기아나에서 소유즈 발사체를 발사하는 유럽-러시아의 발사체 발사서비스 협력이 시작되었으며, 러시아의 우크라이나 침략 후, 발사체 협력 중단, 러시아 우주탐사선과 ESA와의 협력 취

소 등의 우주 분야 국제협력 사례에서 보듯이 우주 자산은 국가 외교 전략의 도구로 사용되는 특성이 강하다. 우주기술의 민-군 이중용도 특성으로 국가 간 전략적 동반자 관계로의 관계강화 시 가장 먼저 가시화 되는 분야가 우주 분야 협력인 점을 감안해 우주 분야를 국가 외교정책 수단으로 활용하고, UN 지속가능 발전목표, 기후변화, 비핵화 대응 등 세계적인 공동 이슈 대응에 활용해 국제사회에서 우리나라의 기여를 우주 분야를 이용해 확대해야 할 것이다.

여섯째, 우주문제 해결을 위한 외교적 접근이 필요하다. 우주개발 분야는 국가 간 조약에 의해 활동이 규제되는 유일한 과학 분야로, 우리나라도 우주조약, 구조협정, 책임협약, 등록협약에 가입되어 있다. 또한 양국 간 우주협력협정은 러시아, 우크라이나, 미국과 국가 간 협정을 체결하였다. 즉, 우주 분야 문제는 기관 간 해결해야 하는 범위를 넘어, 좀 더 큰 차원의 국방, 산업 그리고 더 나아가 정치적으로 풀어야 하는 경우가 많음을 의미한다. 또한 우주 분야는 양국 간 해결해야 하는 문제 외에도, 우주쓰레기 경감, 우주상황감시, 우주교통 등 국제적 논의를 통해 새로운 규정을 만들어야 하는 부분도 있어, 과학기술적 검토와 더불어 적극적인 외교적 접근이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 한국항공우주연구원의 자체과제인 아르테미스 참여전략 연구와 한국과학기술기획원의 과학기술외교국제협력 스코어보드 및 성과평가체계 기반 구축 연구의 일환으로 이루어졌습니다.

References

1. Yoo JK, The rise of science and technology diplomacy and our response (2018) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://www.ifans.go.kr/knda/com/fileupload/FileDownloadView.do;jsessionid=jrue2z9fgXYSzOdKdQLBvbke.public11?storeId=c61b04e5-0182-4c75-ad21-828ecacfb855&uploadId=18819363687521483&fileSn=1>
2. Schwarze J, European convention, draft treaty establishing a constitution for Europe, Common Mark. Law Rev. 40, 1037-1045 (2003).
3. European Space Agency [ESA], Resolution on the European space policy: ESA director general's proposal for the European space policy (2007) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <http://www.esa.int/esapub/br/br269/br269.pdf>
4. EU Agency for the Space Programme [EUSPA], New space strategy for Europe launched at the European Space Expo (2022) [Internet], viewed 2022 Jul 20, available from: <https://www.gsc-europa.eu/news/new-space-strategy-for-europe-launched-at-the-european-space-expo-3>
5. Euroconsult, Government Space Programs (2021) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://digital-platform.euroconsult-ec.com/product/government-space-programs/>

6. European Space Agency [ESA], ESA agenda 2025 (2021) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: https://esamultimedia.esa.int/docs/ESA_Agenda_2025_final.pdf
7. European Space Agency [ESA], N° 20-2021: ESA and EU celebrate a fresh start for space in Europe (2021) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/ESA_and_EU_celebrate_a_fresh_start_for_space_in_Europe
8. European Space Agency [ESA], Exploring together: ESA exploration strategy (nd) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Exploring_together_The_Global_Exploration_Strategy
9. Europlanet Science Congress [EPSC], ESA Terrae Novae exploration strategy 2040 (2021) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2021/EPSC2021-798.html?pdf>
10. The Guardian, European Space Agency suspends €1bn Mars mission with Russia (2022) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://www.theguardian.com/science/2022/mar/17/european-space-agency-suspends-1bn-mars-mission-with-russia>
11. Foust J, NASA and ESA remove rover from Mars sample return plans (2022) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://spacenews.com/nasa-and-esa-remove-rover-from-mars-sample-return-plans/>
12. Schoen A, Human and robotic exploration (2021) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: https://www.essc.esf.org/wp-content/uploads/2021/09/61st_ESSC_Plenary_ESA_HRE_presentation_28.05.21.pdf
13. Korea Institute for Advancement of Technology [KIAT], Horizon Europe (2021-2027) (2019) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: https://www.gtonline.or.kr/data/download.do?data_sid=234099&attach_seq=41448
14. Choi NM, Analyzing Europe's lunar exploration plan and exploring the implications of establishing Korea's space exploration strategy, Proceedings of KSAS Conference, Hongcheon, Korea, 20-22 Apr 2022.
15. Smith M, ESA ends lunar cooperation with Russia, turns to NASA, commercial partners (2022) [Internet], 2022 Feb 20, available from: <https://spacepolicyonline.com/news/esa-ends-lunar-cooperation-with-russia-turns-to-nasa-commercial-partners/>
16. Xinhua, Interview: space cooperation creates bridges between Europe, China, says ESA expert (2022) [Internet], viewed 2022 Jul 20, available from: http://www.xinhuanet.com/english/2021-05/19/c_139956439.htm
17. Kim DH, Global issues surrounding outer space law and policy (2021) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://igiprodst.blob.core.windows.net/ancillary-files/64a83286-9455-4ade-98d7-3646150982ff.pdf>
18. Centre National D'Etudes Spatiales [CNES], International charter "space and major disasters" (2020) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://charte.cnes.fr/en/charte-espace-et-catastrophes-majeures-0>

19. European Space Agency [ESA], Joining forces for Aeolus (2022) [Internet], viewed 2022 Aug 22, available from: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Aeolus/Joining_forces_for_Aeolus
20. Werner D, Proposed constellations would enhance Arctic weather observations (2022) [Internet], viewed 2022 Feb 20, available from: <https://spacenews.com/proposed-constellations-would-enhance-arctic-weather-observations/>

Author Information

최 남 미 nammi@kari.re.kr



어번대학 항공우주공학과에서 2003년 박사학위를 취득한 후 2004–2006년까지 과학기술부 우주기술과에서 사무관으로 재직하였으며, 2007년부터 한국항공우주연구원에서 우주정책 연구를 수행하고 있다.

연구논문

해저거주시설 모사 지상실험모듈 개발 요구사항 분석

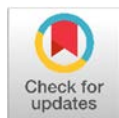
이주희[†], 김연규, 이종원

한국항공우주연구원

Analysis of Development Requirements on Simulated Ground Test Module for Underwater Residential Facilities

Joohee Lee[†], Younkyu Kim, Jongwon Lee

Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 34133, Korea



Received: July 14, 2022

Revised: July 29, 2022

Accepted: August 2, 2022

[†]Corresponding author :

Joohee Lee

Tel : +82-42-860-2378

E-mail : jhl@kari.re.kr

Copyright © 2022 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

Joohee Lee

<https://orcid.org/0000-0001-8968-0900>

Younkyu Kim

<https://orcid.org/0000-0001-5959-6396>

Jongwon Lee

<https://orcid.org/0000-0002-3778-0720>

요약

지구 저궤도 상에서 운영되는 국제우주정거장, 지구에서 가장 가까운 천체인 달, 2030년대 태양계에서 유 일하게 유인 탐사 대상 행성인 화성 등 지구와 전혀 다른 환경에서 인간이 안전하게 탐사임무와 생활을 유지할 수 있도록 해주는 시스템은 다양하게 있다. 그 중에서도 인간의 가장 기본적인 호흡 유지와 관련해서는 인간의 생명유지용 공기관리시스템이 핵심적인 장치이다. 이러한 공기관리시스템은 우주탐사뿐만 아니라, 인간이 거주하는 지구상의 해저기지나 잠수함 등에서도 활용 가능하다. 공기관리시스템은 기본적으로 산소발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 유해물질 제거시스템 등이 서브시스템으로 구성된다. 본 논문에서는 해저거주공간 플랫폼에서 사용 가능한 공기관리시스템을 개발하기 위하여 지상에서 실험용 공간으로 활용할 지상실험모듈의 개발 요구사항에 대해서 분석하였다.

Abstract

There are various systems that allow humans to safely maintain their space exploration missions and lives in completely different environments, such as the International Space Station, the Moon (the closest celestial body to Earth), and Mars (the only planet in the solar system for manned mission in the 2030s). Among them, when it comes to maintaining the basic breathing of humans, the human life support air management system is a key device system. Such an air management system can be used not only for space exploration but also for undersea bases and submarines on Earth where humans reside. The air management system basically consists of an oxygen generation system, a carbon dioxide removal system, and a harmful substance removal system. In this paper, in order to develop an air management system that can be used in an underwater residential platform, the development requirements of a ground test module to be used as an experimental facility were analyzed.

핵심어 : 생명유지시스템, 공기관리시스템, 해저거주시설, 지상실험모듈

Keywords : life support system, air management system, underwater residential facilities, ground test module

1. 서론

최근 국내에서는 한국해양과학기술원 주관으로 해저공간 창출·활용을 위한 설계, 시공, 운영·관리 기술 개발과 실증을 위한 ‘해저공간 창출 및 활용 기술개발(22-26)’ 연구를 수행 중에 있다. 이를 위해 수심 30 m, 3인, 약 27일 거주를 위하여 Fig. 1의 개념 설계안과 같이 해저공간 플랫폼(platform) 테스트베드(test-bed) 개발을 시작하였다[1]. 이러한 해저공간 플랫폼 개발을 위해서는 수중 구조물 개발, 구조물 기초설계 및 시공 등 신뢰성 높은 구조체 제작 기술이 필요하다. 그리고 이와 더불어 체류자 3명이 27일 동안 거주하기 위한 해저 플랫폼 내부 환경제어, 공기 관리, 물 공급 관리 등과 관련한 환경제어 및 생명유지시스템(environment control and life support system, ECLSS: 생명유지시스템) 또한 필수적인 시스템이고 기술이다. 그리고 이러한 생명유지시스템은 실제 구조물이 제작되기 전에 개발, 시험, 검증을 통해 설치되어야 하므로 생명유지시스템을 검증할 수 있는 해저공간 플랫폼 환경을 모사할 수 있는 지상실험모듈 개발이 필요하다. 이에 본 논문은 이러한 지상실험모듈 개발에 필요한 요구사항 분석하였고, 향후 이 결과를 통해 본 생명유지시스템 및 해저거주 플랫폼의 실제 구현을 위한 설계과정에 활용하고자 한다. 해저거주공간 플랫폼 개발은 2022년 4월부터 한국해양과학기술원에서 총괄기관으로 수행을 하며, 플랫폼 내부의 생명유지시스템 개발은 공동연구 기관인 한국항공우주연구원에서도 개발을 수행하고 있다.

한국항공우주연구원의 생명유지시스템 연구는 우주탐사 및 해저 활용을 목적으로 공기정화장치, 이산화탄소 제거장치, 산소발생장치 등의 공기관리시스템을 중심으로 연구를 수행 중이며[2], 지상실험모듈은 생명유지 공기관리시스템(산소발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템 등)을 실제 해저거주공간 플랫폼에 적용하기 전에 이 모듈을 활용하여 시험 및 검증 등 개발을 수행하는데 활용하게 된다. 따라서 우선 지상실험모듈은 공기관리시스템의 시험을 위해 압력 및 기밀 환경, 사용자에게 의한 온습도 제어환경, 실험 모듈 내 공기

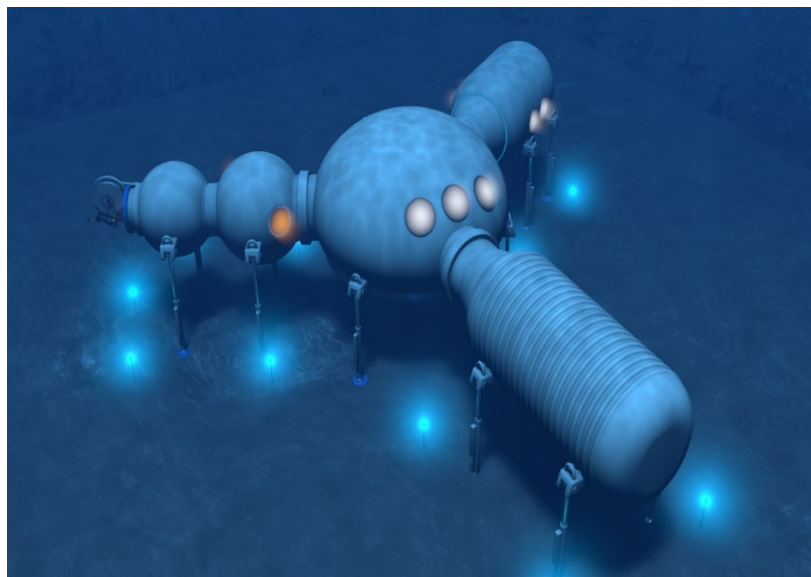


Fig. 1. Conceptual design of test-bed for underwater residential platform [1].

조성, 공조장치 등의 시험 환경을 조성해 주어야 한다. 또한 공기관리시스템의 산소발생 시스템과의 기계적, 전기적 접속을 통해 해저와 유사하게 조성된 환경에서 산소발생시스템에 대한 성능과 신뢰성, 운영 시나리오 도출 등을 위한 시험 공간이 요구된다. 공기관리시스템에서 이산화탄소 제거시스템의 최적 설계를 위하여 해저공간 플랫폼과 유사한 이산화탄소 환경 조성을 위한 이산화탄소 공급장치, 이산화탄소 제거장치용 실험장치의 제작도 필요하다. 지상실험모듈은 내부의 해저공간 플랫폼의 온습도 제어장치의 시제품 등 개발 모델을 적용 가능하도록 하여, 온습도 제어장치의 설계, 운영시나리오 도출 등을 위한 시험 공간도 요구된다. 그리고 해저거주공간 플랫폼에 생명유지시스템을 적용함에 있어 안전 및 긴급상황 등을 고려하여 통합 제어와 운영할 통합운영장치에 대한 시험 및 검증이 가능한 시험 플랫폼도 필요하다.

2. 지상실험모듈 개발 요구사항 개요

지상실험모듈은 향후 해저거주공간 플랫폼이 해저 30 m에 설치되기 이전에 해저 플랫폼에 적용될 생명유지 공기관리시스템을 시험 및 검증하기 위한 모사 환경을 제공하는 시설이다. 따라서 지상실험모듈은 Fig. 2와 같이 공기관리시스템 실험실, 장비실, 제어실 등으로 나뉘지고 각 실은 서로 독립된 환경(공조, 온습도 등)을 제공한다. 전체 실험 모듈은 해저 공간 플랫폼의 거주 모듈을 크기와 동일하게 만드는 것은 불가능하여 3인이 거주가능한 표준화된 크기를 적용하여 실험실이 약 6 m(L) × 2.4 m(W) × 2.4 m(H) 이상 구성되도록 한다. 그리고 장비실과 제어실은 약 6 m 길이로 구성되도록 한다. 지상실험모듈은 내부에서 장비 운영이 가능한 전력과 통신 시스템이 구축되고, 이와 더불어 내부로 물 공급, 공기(가스)가 공급 및 제거가 가능하도록 한다. 외부 재질은 철합금 구조로 제작되고, 실험실은 약 1.2 기압의 가압 환경에서 일정 시간의 기밀유지가 가능하도록 한다. 그 외 각 실 간의 통신장치 구축과 경보기, 카메라, 화재장치, 산소공급기 등의 안전장치가 구축된다.

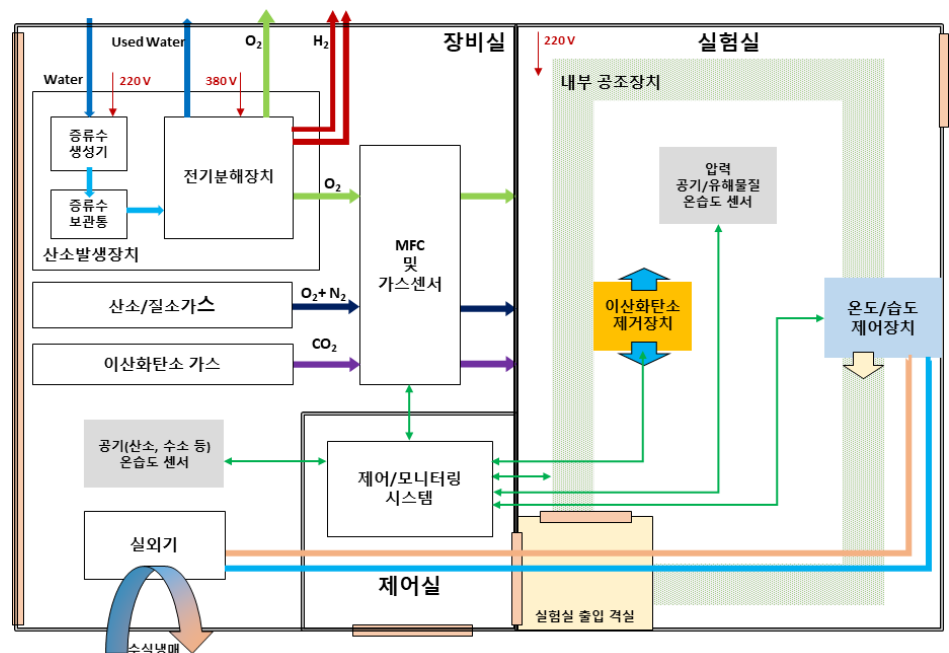


Fig. 2. Conceptual design of ground test module for underwater residential platform.

실험실은 실험자가 머무르며 생명유지시스템의 시험을 수행하는 곳으로 다른 실과 1.2 기압 내외의 환경에서 기밀유지가 되도록 한다. 이를 위해 제어실로 연결되는 문을 이중으로 구성되도록 한다. 그리고 장비실로부터 공급받는 공기(산소, 질소, 이산화탄소 등)에 의해 산소 발생시스템, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템 등의 생명유지시스템에 대한 데모와 시험을 수행한다. 이를 위해 화재감지와 진압, 실내 안전용 실내마스크 등 안전장치가 필수적으로 구축된다. 장비실은 생명유지시스템 시험을 위해 실험실 내부로 사용자가 원하는 공기를 조성하고 공급하는 공간이다. 이를 위해서 장비실에는 산소발생시스템의 설치와 산소 생산을 위한 물 공급과 배수, 전력 시스템 구축하고, 발생하는 산소는 유량제어기로 공급하고, 수소는 실험 모듈 외부로 배기시켜야 한다. 그리고 별도의 고압 가스(이산화탄소, 산소, 질소) 공급시스템이 구축된다. 이렇게 생성되는 모든 공기는 사용자에게 의해 공기 조성량과 공급량, 속도 제어가 가능한 유량제어기 구축이 요구된다. 제어실은 실험실 및 장비실 내부에 설치되는 생명유지시스템에 대한 시스템 상태를 모니터링(monitoring) 및 제어와 실험실 및 장비실 내부 공기 및 온습도 관련 센서 데이터 취득을 위한 통합제어 및 모니터링 시스템이 구축되어 사용자가 외부에서 전체 시스템을 제어 가능하도록 한다.

3. 지상실험모듈 주요 기능 및 구성

지상실험모듈은 해저 30 m에 설치되는 해저거주공간 플랫폼의 모사환경을 제공하고, 산소 발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템 등 생명유지 공기관리시스템 각각의 성능시험 및 데모, 각 장비의 복합적 운영/제어, 긴급상황 대처 등 여러 상황에 대한 운영 시험을 위한 테스트베드이다. 따라서, 모듈은 실험환경 조성을 위하여 공기 공급 제어 및 압력 제어, 실험의 안전을 위한 안전장치 등으로 구성된다. 개발하고자 하는 지상실험모듈의 세부적인 기능과 구성은 다음과 같다.

○ 지상실험모듈 제작

〈구조체〉

- 외부는 철합금 구조로 제작되고 전체하중을 견딜 수 있도록 제작
- 지상실험모듈은 공기관리시스템 실험실, 장비실, 제어실로 구성되고, 각 실은 서로 독립된 환경(공조, 온습도 등) 제공
- 전체 크기는 약 12 m(L) × 2.4 m(W) × 2.4 m(H) 내외로 제작하고, 실험실과 장비실은 각각 최소 6 m(L), 4 m(L) 이상이 되도록 구성
- 각 실에 출입구 및 창 등이 구성되도록 함

〈내외부 장치〉

- 지상실험모듈에 최대 20 kW 전력 수용 가능한 전기설비를 구축
- 각 실에 필요한 전원구성, 조명 등을 구성함
- 실내로 산소발생시스템을 위한 물 공급 및 배수 시스템, 온습도 제어장치를 위한 물 순환장치 구축
- 장비실에서 생성된 공기/가스를 실험실로 공급하기 위한 유량제어장치와 지상실험모듈 외부로 배기되는 수소/산소 등의 가스를 위한 장치 구축

〈안전 장치〉

- 각 실 간의 마이크/스피커 등 통신장치, 실내 모니터링 카메라, 화재 감지/진압(스프링 쿨러) 장치, 산소마스크 등 안전장치

○ 실험실 내부 가스 유량 제어 및 압력(기밀) 유지

〈산소발생장치 유량 제어〉

- 산소발생 시스템을 장비실에 설치하여 기계적, 전기적인 접속을 구축
- 증류수 생산장비에 필요한 수돗물 공급/배수 시스템 구축
- 산소발생 시스템에서 발생하는 산소(2.5 g/min 발생)를 유량 제어기로 연결하고, 발생하는 수소는 실험 모듈 외부의 안전한 공간으로 배기
- 장비실 및 실험실 내부의 산소 및 수소 농도 측정 및 모니터링

〈산소, 질소, 이산화탄소 공급장치〉

- 실험실 내부로 공기(산소 및 질소) 및 이산화탄소 고압가스 구축
- 각 고압가스는 유량제어기로 연결되어 실험실 내부로 공급

〈공기 유량 제어기〉

- 산소발생기 및 고압가스(산소, 질소, 이산화탄소) 공급장치에서 나오는 가스를 유량 제어기로 공급되고 유량제어기를 통해 실험실 내부로 공급
- 실험실 내부에 기본적으로 산소 21%, 질소 79%를 조성된 환경에서 각 가스는 약 수 g/min-수십 g/min 공급 가능하도록 함
- 실험실 내부는 기본적으로 1 atm 수준에서 산소농도 18%~24% 유지

〈실험실 모듈 압력(기밀) 유지〉

- 실험실 모듈 내부 기밀 유지: 최대 1.2 atm까지 가압이 가능하고 가압(1.1 atm) 환경에서 자연 감압속도 0.05 atm/일 이하로 유지
- 압력 센서 설치 및 내부 압력 모니터링

○ 실험실 이산화탄소 제거 제어

〈이산화탄소 제거장치 구축 및 제어〉

- 실험실 내부 이산화탄소 농도는 최대 6,000 ppm 이하로 유지하고, 일반적으로 약 1,000 ppm 정도로 유지
- 이산화탄소 스크러버(scrubber)를 포함하는 카트리지(cartridge)를 개발함
- 각 카트리지에는 3.6 kg/day을 제거 가능한 스크러버가 설치되고, 약 30일 연속 제거가 가능한 카트리지를 제작
- 이산화탄소 카트리지로 입력되는 공기 유량은 3단계로 조절 가능
- 이산화탄소 카트리지는 실험실 내부 공조 장치와 연결 설치

○ 온도 및 습도 제어

〈장비실 및 제어실 온습도 제어〉

- 장비실과 제어실은 일반 에어컨(air conditioner)/히터(heater) 등을 이용한 온습도 제어

〈실험실 온습도 제어〉

- 실험실의 온습도 제어는 물을 이용한 쿨링/히팅 장치 구성
- 실험실 내부는 약 19℃-28℃, 40%-75% 내 유지가 가능한 시스템 구성
- 실험실 내부의 온습도 증가 및 감소 속도는 개발기관과 협의를 통해 개발
- 실험실 온습도 제어장치는 실험실 내부 공조장치와 연결이 되도록 함
- 실험실 온습도 장치의 실외기는 장비실에 설치되고 외부 물의 순환을 통해 냉온조절

○ 실험실 내부 공조장치

〈실험실 공조 제어〉

- 실험실 내부 공조장치는 온습도 제어장치 및 이산화제어장치와 연결
- 실험실 내부 공기 순환을 위한 유량 제어는 최소 3단계 이상 가능하고, 최소 단계의 유량은 실험실 전체의 0.1% 이상되어야 함

○ 통합 제어 시스템 및 환경 모니터링

〈공기질 측정 및 환경 모니터링〉

- 실험실 내부 산소, 질소, 이산화탄소, 휘발성 물질, 미세먼지, 수소 농도 측정 및 이상시 경고로 알림
- 실험실 내부의 압력 측정 및 기밀환경 측정
- 장비실 및 제어실 내부 산소, 수소, 이산화탄소, 질소 농도 측정 및 이상시 경고로 알림
- 지상실험모듈 내부의 온습도 측정 및 이상시 경고로 알림

〈통합 제어 시스템〉

- 유량제어기, 이산화탄소 제거시스템, 온습도 제어시스템, 내부 공조장치 등 주요 장치에 대한 통합 제어
- 지상실험모듈의 기타장비(조명, 전력, 산소마스크, 마이크/스피커, 카메라 등)에 대한 제어

〈안전 모니터링〉

- 지상실험모듈 내부 카메라 설치 및 영상 표시
- 화재감지 및 이상동작 발생 시 경고 기능(LED 및 소리 등)

〈통합 제어 시스템 프로그램〉

- 윈도우 기반 제어프로그램 및 PC와 연동 가능
- GUI 형태로 사용자에게 제공
- 30일 이상의 전체 데이터 저장 가능한 메모리 용량 및 데이터 외부전송 용이

○ 기타

- 지상실험모듈 시험 및 데모를 위한 시험공간(전력 등 포함) 제공 필요
- 사용하는 이산화탄소 스크러버에 대한 공인 안전 증명서 필요
- 사용하는 모든 센서에 대한 공인 성적서 제시 필요

4. 지상실험모듈 개발을 위한 요구사항 상세분석

Table 1은 이전 지상실험모듈[3] 개발 경험과 해저 시스템의 요구사항 문서[4,5]를 참조하여, 해저거주공간 플랫폼 환경 모사 지상실험모듈의 개발을 위한 세부 요구사항 분석결과를 표로 정리한 것이다. 본 요구사항을 만족시키는 하드웨어(설비 및 장치)와 소프트웨어(제어 및 모니터링 프로그램)를 개발하고자 한다. 지상실험모듈은 산소발생시스템 2대(교대로 작동)를 설치하고, 실험이 가능하도록 설계에 반영하여야 한다. 이산화탄소 제거시스템의 카트리지는 시험이 가능한 형태로 별도 개발하며, 지상실험모듈에서 시험 후에 최종 제작에 착수할 예정이다. 그리고 통합제어시스템 개발에서도 안전을 위해 내부 및 외부에서 동시에 제어가 가능하도록 할 필요가 있다.

Table 1. Requirement analysis of simulated ground test module for underwater residential platform

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
1	지상실험 모듈	무게			무게는 최대 TBD kg	일반 트레일러로 수송/설치 가능
2		외형	형태		기본적으로 직육면체 형태	
3			크기		외형은 약 12 m(L) × 2.4 m(W) × 2.4 m(H)	3 인이 함께 실험가능한 공간
4		전력	전력공급		요구되는 전력은 최대 약 20 kW	
5		외부구조/장치	외벽재질		외부재질은 철합금 재질로 제작	
6			외벽강도		전체하중을 견딜 수 있도록 제작	
7			인터페이스	전력/통신	실내로 전력/통신 등 전기 인터페이스 장치 설치	
8				물	실내로 물 공급 포트 1개, 배수 포트 1개	
9				가스	실내에서 발생한 수소 가스 배출 4개, 산소가스 2개 포트 설치	배출되는 수소 가스는 밖으로 배출
10		실내구조/장치	구조	구성	실험실, 제어실, 장비실로 구성	
11				크기	실험실은 6 m(L) 이상, 장비실 4 m(L) 이상 제작	
12					각 공간은 서로 독립된 환경(공기 조성, 온습도 등)으로 차단됨	
13				실내 벽	실내 벽은 단열 처리	
14					실내 벽은 1 등급 난연재 재료	
15			전력장치	전력공급	메인 전원에서 각 실에 요구되는 전력 공급 가능	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
16	지상실험	실내구조/	전력장치	콘센트	적절한 콘센트 배치	
17	모듈	장치		조명	각 실 천장에 적절한 LED 배치	산업표준기준 준용
18			통신/데이터	통신장치	각 실 간 명령/데이터 전달을 위한 통신장치 구성	
19				무전력전화	제어실과 실험실 간 무전력 통신 시스템 구성	
20			가스공급		장비실에서 실험실 간 가스공급/배출 및 외부배기용 포트 구성	
21			안전설비/기타	화재감지기	각 실에는 화재 감지기 설치	
22				화재진압	지상실험모듈에는 스프링클러 및 각 실에 소화기 설치	
23				산소마스크	실험실 내 안전을 위하여 산소마스크 3개 이상 설치	
24				카메라	실험실 및 장비실 내부 모니터링용 카메라 설치	
25		실험실	기밀	기밀	실험실 내부는 외부 및 다른 실과 기밀 유지	
26				압력	공급되는 가스에 의한 약 10% 압력 증가에 의한 기밀(압력) 유지	
27				압력유지	가압(1.1 atm)에서 자연 감압속도 0.05 atm/일 이하	외부 1 기압
28				센서	압력 센서(2개 이상) 실험실 내 설치 및 샘플링 1 Hz	
29					압력 센서 오차 1% 이내	
30			공조/온습도		실험실 자체 공조 및 온습도 제어 가능	
31			가스공급		장비실로부터 필요한 가스를 공급받음	
32			환경제어		제어실의 통합제어장치를 통해 내부 환경을 기본적으로 제어	
33					긴급상황을 위한 실험실 내부 제어장치(on/off) 제공	
34			출구	제어실	제어실 연결되는 이중문 설치	최소한의 airlock 기능 구현
35				외부	실험실에서 지상실험모듈 외부로 출구문 설치	긴급사태 발생시
36		장비실	기밀		실험실과 제어실과는 서로 공기적으로 분리됨	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
37	지상실험 모듈	장비실	온도 제어		장비실 전용 온도 제어장치 설치 및 온습도 센서	
38			제어		제어실의 통합제어장치 또는 수동으로 장비를 제어함	
39		제어실	기밀		실험실과 제어실과는 서로 공기적으로 분리됨	
40			온도 제어		장비실 전용 온도 제어장치 설치 및 온습도 센서	
41			제어		제어실의 통합제어 장치 또는 수동으로 장비를 제어함	
42	장비실 실험장치 (가스공급)	산소발생 장치	접속		산소발생장치가 장비실 내부에 전기적, 기계적 연결	
43			전기	산소생성 장비	3상 380 VAC 10 kW 급의 전원 공급	
44			산소		산소발생장치에서 발생하는 산소를 유량제어기로 전달	산소농도 18%~ 24% 유지
45			안전장치	수소가스 배기	산소발생장치에서 발생하는 수소를 장비실 외부로 배기	
46			증류수생산 장치	전력	증류수 생산장치에 단상 220 VAC 전원	
47		이산화탄소	이산화탄소 압축가스		이산화탄소 압축가스 및 거치대 장비실 설치	압축공기가스 20,000 L(@1 atm)
48			공급	기계접속 인터페이스	이산화탄소 압축 가스에서 유량 제어기로 포트 설치	
49			산소	산소 압축가스	산소 압축가스 및 거치대 장비실 설치	
50		질소	공급	기계접속 인터페이스	산소 압축가스에서 유량제어기로 공급포트 설치	
51			질소 압축가스		질소 압축가스 및 거치대 실험실 설치	
52			공급	기계접속 인터페이스	질소 압축가스에서 유량제어기로 공급포트 설치	
53		산소 + 질소	공기 압축가스		공기 압축가스 및 거치대 실험실 설치	
54			공급	기계접속 인터페이스	공기 압축가스에서 유량제어기로 공급포트 설치	
55			유량제어기	유량제어	공급되는 가스 측정용 MFM 혹은 MFC 장착	
56		유량공급		공급되는 산소, 질소, 산소 + 질소, 이산화탄소의 유량 제어 실험실 내부로 공급		

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
57	장비실 실험장치	유량제어기	가스공급	기계접속	장비실에서 실험실 내부로 공급하는 가스 포트 제공	
58	(가스공급)			연결장치	쿼커넥터로 연결	1/4 인치 쿼 커넥터
59		안전	유량공급		설정된 값 20% 이상 공급될 경우, 알람 및 유량제어기 전원 차단	
60			실험실		실험실 내부의 설정값 10% 이상 벗어날 경우, 유량공급 전원 차단	
61			센서	수소	실험실/장비실 내부 수소 농도 측정 및 이상시 알람	
62				산소	실험실/장비실내부 산소 농도 측정 및 이상시 알람	
63				공기	실험실/장비실 내부 공기조성 측정 및 이상시 알람	
64				이산화탄소	실험실/장비실 내부 이산화탄소 농도 측정 및 이상시 알람	
65	이산화탄소 제거 장치 (실험실)	기능			실험실은 이산화탄소 농도 최대 0.006 bar(6,000 ppm) 이하 유지	
66		성능	제거량		3.6 kg/일 & 30 일 연속 제거 가능	10 g/h
67		운영	자동		이산화탄소 센서 평균 분압 0.005 bar 5 분 이상 유지시 자동 동작	
68			수동		사용자에 의해 수동으로 동작 가능	
69		센서	위치/개수		실험실 내부 2 곳과 스크러버 출력부에 이산화탄소 센서 설치	
70		안전	스크러버	밀폐	스크러버 물질 밀폐가 되어 실험실 오염이 되지 않도록 제작	
71				화학반응	스크러버 물질과 이산화탄소 화학반응 인체 안전성 보장	
72			알람	스크러버 출력부	스크러버 출력부 내 이산화탄소 센서 이상신호	이산화탄소 허용범위(0.6%) 초과
73				실험실	실험실 내 이산화탄소 센서 이상신호	이산화탄소 허용범위(0.6%) 초과

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
74	이산화탄소 인터페이스 제거 장치 (실험실)	공조장치			이산화탄소 스크러버 카트리지를 내부 공조장치 내 설치	
75			데이터		이산화탄소 센서 데이터와 원격제어부 연결	
76			전기		이산화탄소 센서 및 스크러버 카트리지 전원	
77	온습도 제어 (실험실)	기능			지상실험모듈 항온항습	
78		성능	온도범위		지상실험모듈 19℃~28℃ 내에서 $\pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지, 1℃ 단위 제어	
79			온도 제어 속도		온도 증가 속도 TBD℃/h, 온도 감소 속도 TBD℃/h	
80			습도범위		습도 범위 40%~75% 내 유지, 1% 단위 제어	
81			습도 제어 속도		습도 증가 속도 TBD %/h, 습도 감소 속도 TBD %/h	
82		동작	쿨링	방법	냉매 냉각을 통해 열 교환식	냉매: 물
83				장치	압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 등의 장치가 요구에 맞도록 사양설계	
84			제습		기본적으로 쿨링 기능에 포함 또는 별도의 장치를 구성	사람의 호흡, 기타 활동에 습도 증가
85			히터		화재 등 안전사항을 고려한 시스템	
86		센서	개수/위치		온도/습도 센서 2 개 이상 구성하고, 사용자 접근이 용이	
87			정확도/샘플링시간		온도 1℃ 단위, 습도 1% 단위 표시 및 샘플링 시간 약 1 Hz	
88		인터페이스	전력		온습도 제어장치를 운영가능한 전력 공급	
89			제어명령		사용자가 지상실험 모듈 내부에서 제어 가능	
90			데이터		온습도 데이터 외부로 1 Hz 이상 전달	
91			냉매공급		냉매(물) 공급장치 연결	
92			제습		발생한 실내 수증기 배출장치 연결	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
93	공기질 모니터링 (실험실)	센서	수소		실험실 내부 수소 농도 측정 및 이상시 알람	
94			산소		실험실 내부 산소 농도 측정 및 이상시 알람	
95			공기		실험실 내부 공기조성 측정 및 이상시 알람	
96			휘발성 물질		휘발성 물질 농도 측정 및 이상시 알람	
97			미세먼지		먼지 농도 측정 및 이상시 알람	
98	공조 (실험실)	내부 공조기능			내부의 공기 순환을 위한 공조장치 제어가 가능	
99		내부 공조 순환 주기 성능	순환 주기		온습도 제어장치 및 이산화탄소 제거장치와 동기화, 사용자에게 의한 운영	
100			순환 속도		미정(3단계 이상 제어 가능)	
101			펌프		순환 용량에 적절한 펌프 설치	
102		내부공조 장치	팬		순환 용량에 적합한 크기 설정	
103			센서		유량 센서 구성	
104			전력		전력공급	
105		인터페이스	제어명령		실험모듈 내부 및 외부에서 제어	
106			데이터		공조 유량 데이터 모니터링	
107					별도의 제어실에서 장비제어, 데이터 취득, 모니터링 가능	
108	(제어실)	측정	압력		실험실 내부의 압력 모니터링 및 이상(1.2 atm 이상)시 가스공급 차단	
109			밀폐		실험실 가압 조건에서 밀폐환경(가압 자연감소) 모니터링	
110			공기(질소/ 산소)		실험실 내부 질소 및 산소 농도 등 공기조성 모니터링 및 공기공급 차단	
111			수소		실험실 내부 수소 농도 모니터링 및 산소발생기 전원 차단	
112			이산화탄소		실험실 내부 이산화탄소 농도 모니터링 및 이산화 탄소 공급 전원 차단	

Table 1. Continued

#	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	내용	비고
113	원격	측정	온도		실험실 내부 온도 모니터링	
114	제어장치 (제어실)		습도		실험실 내부 습도 모니터링	
115			유해물질		실험실 내부 5대 휘발성 유기화합물 가스 모니터링	
116			먼지		실험실 내부 미세먼지 모니터링	
117			이산화탄소 제거장치	이산화탄소 모니터링	이산화탄소 제거장치 가스 출력부 이산화탄소 농도 모니터링	
118				카트리지	스크러버 카트리지 사용량 모니터링	
119				유량	입력 유량 팬 제어	
120			유량제어기	모니터링	유량제어기로 입력 및 실험실로 나가는 가스의 유량 및 속도 모니터링	
121				제어	유량제어기로 입력 및 실험실로 나가는 가스의 유량 및 속도 제어	
122			온도제어부		실험실 온도 모니터링 및 온도 설정	
123					온도 자동 제어 및 매뉴얼 제어 가능	
124					장비실/제어실 내부 및 특정 고온장치/장비 온도 모니터링	
125			습도제어부		실험실 습도 모니터링 및 습도 설정	
126					장비실/제어실 습도 모니터링	
127					습도 자동 제어 및 매뉴얼 제어 가능	
128			내부공조 장치		내부공조 유량 3 단계 이상 제어	
129			기타		내부 조명, 전력, 마이크/스피커, 카메라 등 제어	
130			안전	카메라	실험실 및 장비실 내부 모니터링 카메라 영상 표시	
131				알람기능	이상동작 발생시, 알람 기능(LED & 소리)	

MFM/MFC, mass flow meter/controller.

5. 요약

본 논문에서는 2022년 4월부터 ‘해저공간 창출 및 활용 기술개발(22-26, 해수부)’ 사업의 일환으로 인간이 체류할 해저거주공간 플랫폼 모사 지상실험모듈 개발을 위한 주요 요구사항 분석을 수행한 결과를 기술하였다. 본 요구사항 분석에 따라 생명유지 공기관리시스템을 설치하고 사전 실험을 수행할 지상실험모듈 제작을 수행할 것이다. 지상실험모듈은 향후 해저거주공간 플랫폼이 해저에 설치되기 이전에 해저 플랫폼에 적용될 생명유지 공기관리시스템을 시험 및 검증하기 위한 모사환경 제공 시설로써 공기관리시스템 실험실, 장비실, 제어실 등으로 구성된다. 향후 제작될 지상실험모듈의 하드웨어와 소프트웨어의 기능 및 성능시험도 이루어질 예정이며 시험 통과 후, 지상실험모듈을 활용한 공기관리시스템의 사전 실험이 진행될 계획이다. 실험 결과를 바탕으로 해저거주공간 플랫폼에 실제 설치할 산소발생 시스템, 이산화탄소 제거시스템, 공기중 유해물질 제거시스템, 온습도 제어시스템 등의 설계 및 제작이 향후 이루어질 예정이다. 본 연구의 해저공간 플랫폼 공기관리시스템은 국제우주정거장(ISS)과 같이 밀폐된 환경에서 인간의 거주에 필요한 환경제어와 생명유지를 위한 시스템(ECLSS, Environment Control and Life Support System)[6]과 거의 유사한 기능과 성능을 요구한다. 이에 본 연구는 향후 우주정거장, 유인 로버, 달 및 화성 기지 등 인간의 거주에 필요한 생명유지시스템 개발에 활용 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 “해저공간 창출 및 활용 기술개발(과제번호 20220364)” 사업의 연구비 지원으로 한국항공우주연구원에서 수행(해저공간 플랫폼용 생명유지 공기관리시스템 개발, 과제번호 GR22240) 되었습니다.

References

1. Han TH, Park JK, Choi JH, Lee, BJ, Lee JH, et al., Development of underwater space resource creation technologies: plan of research and development, Korea Institute of Ocean Science & Technology (2022).
2. Lee JW, Kim YK, Lee JH, Development trends of life support system for the manned space exploration, J. Space Technol. Appl. 1, 85-103 (2021). <https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.1.85>
3. Choi GH, Han SH, Kim HD, Lee JH, Kim JW, et al., Research on aerospace core technology based on artificial intelligence and metal 3D printing technology, Korea Aerospace Research Institute, Report V60-V61 (2022).
4. 한국선급, 잠수선 규칙 잠수선 규칙 적용지침 (2021).
5. American Bureau of Shipping, Rules for building and classing underwater vehicles, system and hyperbaric facilities, American Bureau of Shipping (2021).
6. NASA, Environmental control and life support system (ECLSS), Face Sheet (2017) [Internet], viewed 2022 Aug 20, available from: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/g-281237_eclss_0.pdf

Author Information

이 주 희 jhl@kari.re.kr



2013년 우주과학 박사학위를 취득하였으며, 1998년부터 현재까지 한국항공우주연구원 위성우주탐사체계설계부에서 책임연구원으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 유인 우주 실험, 임무 설계 및 시스템 개발 연구, 달 및 행성 과학 분야의 임무 개발 및 탑재체 분야에 대한

연구 등이다.

이 종 원 ljw21c@kari.re.kr



2014년 기계공학 석사학위를 취득하였으며, 2014년부터 현재까지 한국항공우주연구원 위성우주탐사체계설계부 선임연구원으로 재직 중이다. 유인우주 시스템의 설계/해석/실험 등의 분야에 대한 연구를 수행 중에 있다.

김 연 규 ykkim@kari.re.kr



2022년 항공우주 박사학위를 취득하였으며, 2004년부터 현재까지 한국항공우주연구원 위성우주탐사체계설계부에서 선임연구원으로 재직 중이다. 유인우주 시스템 및 행성탐사 로버 시스템 최적 설계 등의 분야에 대한 연구를 수행 중에 있다.

기술논문

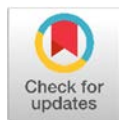
이천 지자기 관측소 플럭스게이트 자력계 온도 조절 장치 개발 및 설치 후 안정성 자체 평가

최두영^{1†}, 이승욱¹, 김준성¹, 이대영¹, 최규철², 조정희³

¹충북대학교

²(주)에스이랩

³우주전파센터



Received: June 30, 2022

Revised: July 22, 2022

Accepted: August 1, 2022

†Corresponding author :

Dooyoung Choi

Tel : +82-43-261-2312

E-mail : dooyoung@chungbuk.ac.kr

Copyright © 2022 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

Dooyoung Choi

<https://orcid.org/0000-0002-3393-9060>

Seunguk Lee

<https://orcid.org/0000-0001-8045-6398>

Joonsung Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5348-3646>

Dae-Young Lee

<https://orcid.org/0000-0001-9994-7277>

Kyu-Cheol Choi

<https://orcid.org/0000-0002-0056-5293>

Junghee Cho

<https://orcid.org/0000-0002-9802-7775>

Development of Thermostat for the Fluxgate Magnetometer in Icheon Geomagnetic Observatory and Stability Evaluation after Installation

Dooyoung Choi^{1†}, Seunguk Lee¹, Joonsung Kim¹, Dae-Young Lee¹,
Kyu-Cheol Choi², Junghee Cho³

¹Chung-buk National University, Cheongju 28644, Korea

²SELab, Seoul 06049, Korea

³Korean Space Weather Center, Jeju 63025, Korea

요약

본 논문에서는 온도에 민감한 플럭스게이트 자력계 센서 온도를 일정하게 유지하기 위한 온도 조절 장치의 설계 및 설치, 그리고 설치 이후 데이터 안정성 평가에 대하여 기술하였다. 온도 조절 장치는 국립전파연구원 우주전파센터에서 운영 중인 이천 지자기 관측소에 설치되었다. 온도 조절 장치는 사고 안정성, 자기장 측정에 미치는 영향, 온도 조절 효율을 고려하여 설계하였다. 온도 조절 장치 설치 이후, 온도가 20°C 수준에서 일정하게 유지되는 것을 확인하였다. 지자기 데이터 안정성 평가를 위하여 델타 F(ΔF)와 베이스라인(baseline) 값을 이용하였으며, 장치 설치 이후 델타 F와 베이스라인의 변동이 줄어든 것을 확인하였다.

Abstract

This paper reports on the design and installation of a thermostat to keep the temperature of the fluxgate magnetometer constant and the data stability evaluation after installation. The thermostat was installed at the Icheon Geomagnetic Observatory operated by the Korean Space Weather Center of National Radio Research Agency. It was designed in consideration of stability of temperature control against safety incident, potential effects on magnetic field measurement, and the temperature control efficiency. After the temperature control device was installed, it was confirmed that the temperature was constantly maintained at the level of 20°C. Delta F and baseline values were used to evaluate geomagnetic data stability, and it was confirmed that delta F and baseline fluctuations were reduced after installation of the thermostat.

핵심어 : 온도 조절 장치, 플럭스게이트 자력계, 온도, 델타 F, 베이스라인

Keywords : thermostat, fluxgate magnetometer, temperature, delta F, baseline

1. 서론

우주 환경의 급변은 사회 전반에 걸친 피해를 초래할 수 있다. 이러한 피해에 대비하기 위하여 예측 모델을 구축하는 것이 중요하며, 여기에 지자기 관측은 중요한 요소이다. 국내에서는 국립전파연구원, 한국지질자원연구원, 기상청, 그리고 한국천문연구원에서 국내에 지자기 관측소를 설치하여 지자기를 측정하고 있다. 지자기 측정에 사용되는 플럭스게이트(fluxgate) 자력계의 측정 성능은 온도의 영향을 받고, 정확한 데이터를 얻기 위한 보정을 거치더라도 잔여값이 존재하기 때문에 자력계 온도를 일정하게 유지하는 것이 필요하지만, 국내에는 자력계 온도 조절을 위한 장치가 설비된 지자기 관측소가 없었다. 국제 지자기 관측소 네트워크 인터마그넷(INTERMAGNET)은 가입을 위하여 연간 변화량이 5℃ 이내의 일정한 수준의 자력계 온도 변화량을 요구하고 있으며, 인터마그넷에 가입된 관측소들은 별도 방법으로 자력계 온도를 일정하게 유지하고 있다[1-3]. 위성에 탑재되는 자력계 또한 온도 조절 시스템을 구축하여 자력계 온도를 일정하게 유지하고 있다[4,5].

이천 지자기 관측소는 스칼라(scalar) 자력계, 벡터(vector) 자력계, 지자기 절대값 측정기기를 이용하여 한반도 지자기 변화량을 실시간으로 측정하고 있다. Fig. 1은 이천 지자기 관측소의 기기 배치와 플럭스게이트 자력계의 구성을 나타낸 그림이다. 벡터 자력계인 플럭스게이트 자력계는 전자기기의 영향을 줄이기 위하여 자력계의 콘솔(console)이 위치한 관리실과 11 m 떨어진 곳에 배치되어 있다. 외부 온도의 영향을 줄이기 위하여 지하 3 m 공간에 설치되었으며, 1 m 높이의 대리석 기둥 위 단열재로 이루어진 단열 공간 내부에 배치되어 있었다. 온도 조절 장치 설치 이전 이천 자력계 온도는 여름철에 21℃, 겨울철에 7℃로 자력계 온도 연간 변화량이 14℃였기 때문에 인터마그넷 가입 조건을 만족하지 못하는 상태였다.

플럭스게이트 자력계는 온도에 민감한 것으로 알려져 왔으며, 이와 관련하여 많은 연구가 이루어져 왔다[6,7]. 온도의 변화는 자력계의 센서와 신호 처리를 위한 회로에 영향을 미친다. 센서 온도가 증가하면 자력계 센서 구조의 열팽창에 의해 의도하지 않은 노이즈(noise)가 발생한다. 또한, 코일 내부 유효 단면적 변화, 강자성체 내부 입자의 열운동 정도 변화, 코일의 저항값 변화를 일으켜 정확한 자기장 측정을 어렵게 한다. 온도 증가는 회로 소자의 특성을 변화시켜 작동 오류를 일으킬 수 있으며, 노이즈를 발생시킨다. Fig. 2는 2018년부터 2020년

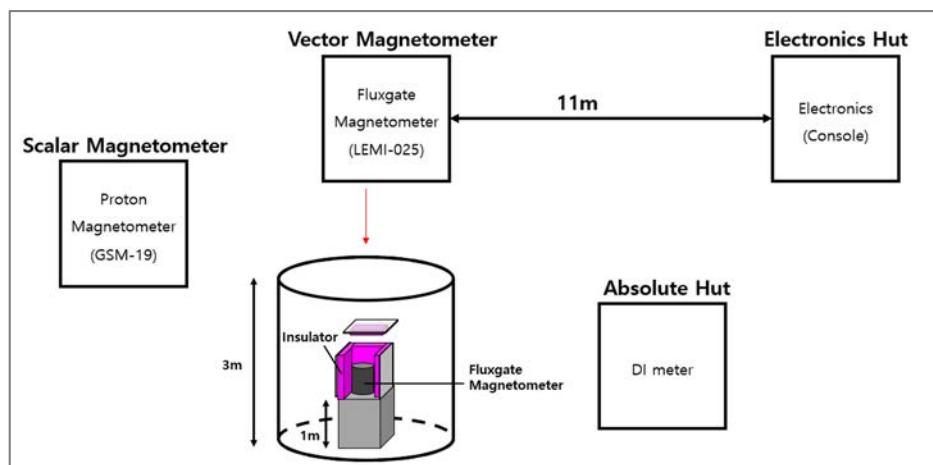


Fig. 1. Icheon Geomagnetic Observatory configuration.

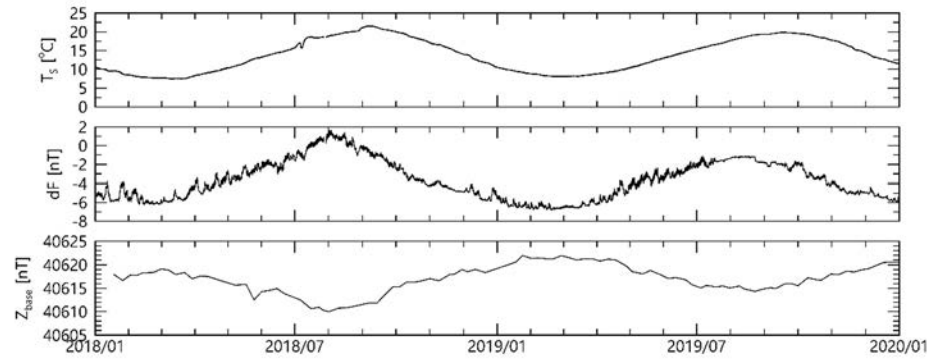


Fig. 2. Sensor temperature (T_s), delta F (dF), and baseline z component (Z_{base}) of the Icheon Geomagnetic Observatory before thermostat installation.

까지 이천 지자기 관측소의 자력계 온도, 델타 F(delta F), 그리고 베이스라인(baseline) 값을 나타낸 그래프이다. 델타 F는 온도에 민감한 벡터 자력계가 측정한 자기장 총 세기에서 온도 변화에 의한 영향을 적게 받는 스칼라 자력계로 측정한 자기장 세기를 뺀 값으로 인터마그네틱에서 데이터 품질 관리에 사용한다. 델타 F를 통해 온도에 따른 벡터 자력계의 측정값 변화를 확인할 수 있다. 델타 F는 인터마그네틱에서 데이터 품질 관리에 사용한다. 베이스라인은 지자기 절대값 측정 기기와 벡터 자력계의 측정값 차이로 긴 기간의 데이터를 보정할 때 사용하며, 인터마그네틱에서는 연간 5 nT 이하의 베이스라인 값을 사용하는 것을 권장하고 있다[8]. 자력계 온도 변화에 따라 플럭스게이트 자력계의 측정값이 최대 8 nT 수준의 변화량을 가지는 것을 볼 수 있다. 온도는 자력계의 자기장 측정값과 오프셋에 영향을 미치며, 보정을 거치더라도 잔여값이 남기 때문에 정확한 자기장의 측정을 위해서는 자력계 온도를 일정하게 유지하는 것이 가장 좋은 방법이다[9].

본 논문에서는 온도가 플럭스게이트 자력계 센서에 미치는 영향을 줄이기 위한 자력계 온도 조절 장치의 개발 과정과 이천 지자기 관측소에 설치한 이후 데이터 안정성에 관해 기술하고자 한다. 본 연구를 통해 온도 조절을 통한 자력계 측정의 개선을 보일 수 있을 것으로 기대한다.

2. 온도 조절 장치

2.1 설계 과정

Fig. 3은 온도 조절 장치의 구성을 나타낸 그림으로 인터마그네틱 가입 관측소인 영국 Lerwick 관측소의 온도 조절 장치를 참고하여 비자성 히터(heater)를 이용한 온도 조절 장치를 설계하였다[1]. 온도 조절 장치 작동에는 60 Hz 교류 전류를 이용하여 직류 자기장을 측정하는 플럭스게이트 자력계의 자기장 측정에 영향을 미치지 않도록 하였다. 온도 조절 장치는 컨트롤 파트(control part)와 히터 파트(heater part)로 나누어 설계하였다. Fig. 4는 실제 컨트롤 파트의 모습으로 PID 컨트롤러(Proportional-Integral-Derivative controller), solid state relay(SSR), 변압기, 쿨러(cooler)를 가로 31.5 cm, 세로 21.5 cm, 높이 15 cm 크기의 알루미늄 박스 내부에 배치하였으며, 도선 정리를 위하여 단자대를 추가로 배치하였다. 히터 파트는 온도 센서

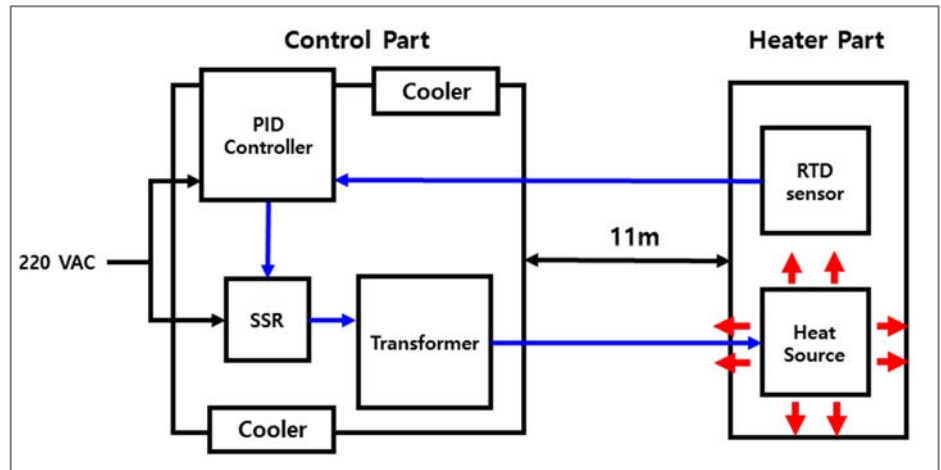


Fig. 3. Thermostat system configuration.



Fig. 4. Assembly of control part.

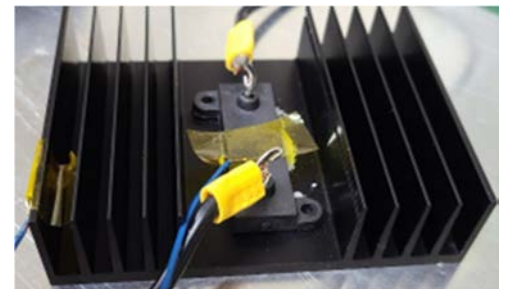


Fig. 5. Assembly of heat source.

와 열원으로 구성하였으며, 단열재를 이용한 단열 공간 내부에 열원을 배치하였다. PID 컨트롤러는 히터 파트의 온도 센서에서 측정된 온도를 입력받아 저항에 어느 정도의 전압을 인가할지 결정한다. SSR은 PID 컨트롤러에서 출력된 신호에 따라 외부 220 VAC를 조절해 변압기에 인가한다. 안전과 설치 시의 효율성을 고려하여 외부 220 VAC를 48 VAC로 변환하는 변압기를 사용하였다. 변환된 전압은 히터 파트의 열원에 인가되어 열원에서 열이 발생하게 된다. 컨트롤 파트의 각 기기들의 정상 구동 온도를 유지하기 위하여 쿨러를 배치하였다. 히터 파트는 단열 공간 내부 온도 상승을 위한 열원과 공간 내부 온도 측정을 위한 온도계, 그리고 단열 공간을 위한 단열재로 구성하였다. 열원은 인가된 전압에 따라 열을 발생시키는 저항과 저항의 열을 고르게 퍼뜨려 자력계 주변 공기를 가열하는 히트 싱크(heatsink)를 결합하여 구성하였다. Fig. 5는 열원의 모습으로 가로 97 mm, 세로 75 mm, 높이 25 mm의 히트 싱크를 사용하였다. 저항과 히트 싱크 사이에 서멀 그리스(thermal grease)를 도포하여 열 전도성을 증가시켰다. 서멀 그리스를 사용하지 않는 경우, 저항 온도가 히트 싱크로 전달되지 못하여 저항의 과열 및 고장이 발생하는 것을 확인하였다. 열원은 4개의 저항을 병렬 연결하여 각 저항이 최대 48 VAC를 인가받도록 하였다. 온도 센서로는 resistance temperature detector (RTD) 센서를 사용하였다. 단열재는 아이소핑크(isopink)와 유리섬유를 사용하였으며, 단열재 외부 벽면을 플라스틱으로 감싸 습기를 방지하고 단열성을 높였다. 히터 파트는 자력계와 가깝게 배치되었기 때문에 비자성 재료로 이루어진 부품만을 사용하였다.

2.2 설치 과정

컨트롤 파트는 자력계의 측정에 영향을 미치지 않도록 플렉스게이트 자력계로부터 11 m 떨어진 관리실에 배치하였다. 전원 공급을 위한 도선은 커넥터(connector)를 이용하여 컨트롤 파트 외부로 빼낸 후, 관리실 바닥을 통해 열원까지 연결하였다. Fig. 6은 작동중인 컨트롤 파트의 모습으로 PID 컨트롤러 전면에 현재 온도와 설정 온도가 실시간으로 출력된다.

Fig. 7은 히터 파트의 설계 모식도이다. 열원에서 방출되는 열을 효율적으로 공간 내부에 전달하기 위하여 단열 공간 하단에 열원을 배치하였으며, 바닥면에 두 개, 벽면에 두 개를 배치하였다. 열원의 온도가 60℃까지 상승하기 때문에 열원과 맞닿는 부분에는 5 mm 두께의 알루미늄 판을 덧대었으며, 아이소핑크보다 내열성이 좋은 유리섬유를 배치한 후, 아이소핑크를 배치하여 화재 위험성을 줄였다. 시공 중 발생한 틈새는 우레탄폼(urethane foam)을 이용하여 메꾸어 단열성을 높였다.



Fig. 6. Front side of operating control part.

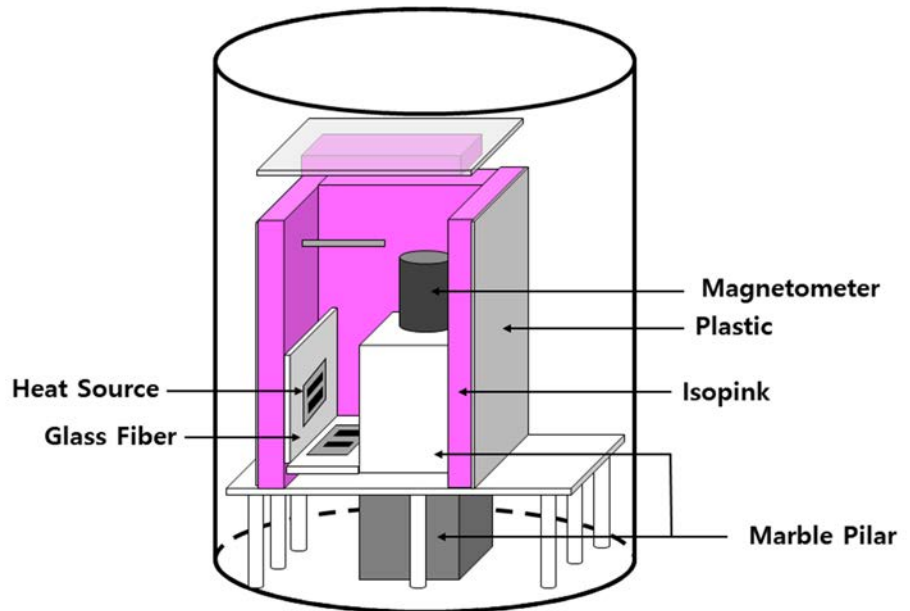


Fig. 7. Heater part configuration.

3. 데이터 안정성 평가

본 장에서는 Fig. 7에서와 같이 설계하여 개발된 온도 조절 장치 설치 이전과 이후의 데이터를 비교하여 온도 안정성과 지자기 데이터 안정성을 평가한 내용에 관해 기술한다. 자력계 센서 온도, 자기장 측정값, 그리고 베이스라인 값은 국립전파연구소에서 제공하는 데이터를 사용하였다.

자력계 온도 조절 장치는 2020년 12월 8일 이전 지자기 관측소에 설치되었다. 온도 조절 장치의 목표 온도는 2018년부터 2019년까지 자력계의 최고 온도인 21°C (Fig. 2)보다 1°C 높은 22°C 로 설정하여 자력계가 경험하는 모든 온도를 히터를 통하여 제어할 수 있도록 하였으며, 온도의 연간 변화량이 5°C 이내가 되는 것을 목표로 하였다. Fig. 8은 2018년부터 낙뢰 피해에 의해 자력계 작동이 중지되기 이전인 2021년 5월까지의 이전 자력계 온도와 델타 F, 그리고 베이스라인을 나타낸 것으로, 온도 조절 장치 설치 시점을 빨간 수직 파선으로 표시하였다. 자력계 전원 공급장치 고장이 발생한 2020년 1월과 데이터 전송용 PC의 장애가 발생한 2020년 7월의 데이터는 제외하였으며, 자력계 온도의 변화 경향을 확인하기 위하여 데이터를 스무딩(smoothing)하였다. 온도 조절 장치 설치 이전에는 자력계 온도가 외부 온도의 변화에 따라 큰 폭으로 변하고 있었지만, 장치 설치 이후 자력계 온도가 20°C 근처로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

장치 설치 이후 지자기 데이터 안정성을 평가하기 위하여 델타 F와 베이스라인 값을 사용하였다. 델타 F는 벡터 자력계의 총 자기장 세기에서 스칼라 자력계의 총 자기장 세기를 뺀 값으로 0에 가까울수록 벡터 자력계에 대한 온도의 영향이 적음을 의미한다. 본 연구에서는 분석을 위하여 해상도가 1분인 자기장 데이터를 이용하였으며, 이전 지자기 관측소의 스칼라 자력계와 벡터 자력계의 데이터를 사용하였다. 낙뢰 피해에 의해 자력계 작동이 중지된 기간은 피하고, 동일 계절 기간 사이의 비교를 위하여 2018년부터 세 구간(Fig. 8에 표시한 A, B, C)과 2021년 1월부터 5월까지의 구간(Fig. 8의 D)을 선택하여 산출 결과를 비교하였다. 네 구간 동안의 온도 변화 범위, 그리고 델타 F와 베이스라인 산출 결과를 Table 1에 정리하였다. 델타 F의 경우, 장치 설치 이전 A, B, C 기간에는 자력계 온도에 따라 최대 8 nT, 평균 5 nT 이상 수준의 변동을 보였지만, 장치 설치 이후 D 기간에는 델타 F가 일정한 수준을 유

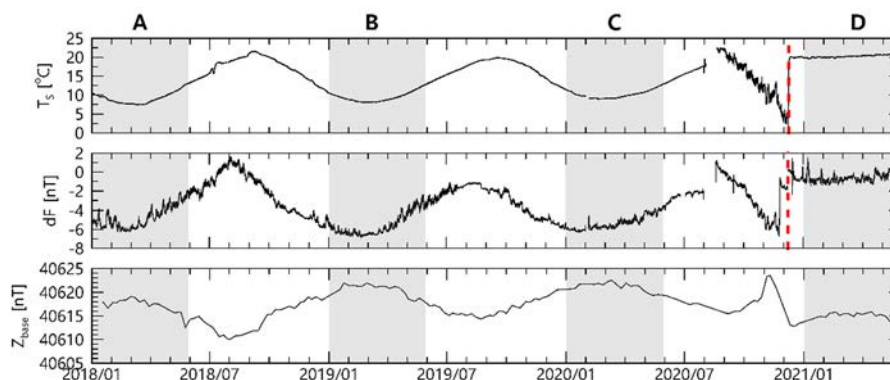


Fig. 8. Sensor temperature (T_s), delta F (dF), and baseline z component (Z_{base}) of Icheon Geomagnetic Observatory.

Table 1. Result of stability evaluation

	A	B	C	D
Temperature range (°C)	5.760	4.780	4.090	1.410
Temperature standard deviation (°C)	1.523	1.263	1.039	0.335
dF average (nT)	-4.715	-5.538	-5.290	-0.569
dF standard deviation (nT)	1.168	1.183	0.743	0.586
Baseline range (nT)	6.582	4.168	3.223	2.632
Baseline standard deviation (nT)	1.539	1.313	0.920	0.665

지하는 것을 확인할 수 있다. 베이스라인의 경우, 장치 설치 이후가 이전에 비하여 표준편차가 작아진 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 이천 지자기 관측소 플럭스게이트 자력계 센서 온도를 일정하게 유지하기 위한 온도 조절 장치의 설계, 제작 및 설치 과정, 그리고 설치 이후 데이터 안정성 평가에 관해 기술하였다. 온도 조절 장치는 자기장 측정에 영향을 주지 않고 자력계 온도 연간 변화량이 5°C 이내가 되도록 설계되었다. 장치 설치 이후, 온도와 지자기 데이터의 안정성을 평가하였으며, 그 결과 온도가 20°C 근처에서 일정하게 유지되어 인터마그넷 가입을 위한 온도 조건을 달성한 것을 확인하였다. 온도 조건은 달성하였지만 이천 지자기 관측소 위치의 지자기 교란이 심하여 인터마그넷에 가입이 어려울 것으로 판단되고 있다. 또한, 온도가 유지됨에 따라 지자기 데이터 안정성이 높아진 것을 확인하였다. 최근 발생한 이천 지자기 관측소의 낙뢰 피해 때문에 연속적인 데이터를 이용한 분석이 불가능하였는데, 향후 1년 이상 장기간의 데이터 안정성 평가가 가능할 것으로 기대된다.

자력계 신호 처리를 위한 회로 소자 또한 온도의 영향을 받기 때문에, 회로가 포함된 자력계 콘솔 온도 또한 자기장 측정값에 영향을 미친다[10]. 더 긴 기간의 데이터 분석을 통하여, 콘솔 온도의 영향을 정량적으로 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 우주전파센터와 에스이랩의 지원을 받아 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

References

1. Shanahan T, Turbitt C, Flower S, Experiences in designing a low-cost temperature controlled variometer enclosure, in XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments and Data Processing, Cadiz, Spain, 4–14 Jun 2012.

2. Pulz E, Linth HJ, Elimination of magnetic perturbations generated from a warm-water heating system in magnetic measurement buildings, in Xth IAGA Workshop on Geomagnetic Instruments Data Acquisition and Processing, Hermanus, South Africa, 5-24 Apr 2002.
3. Poedjono B, Beck N, Buchanan A, Brink J, Longo J, et al., Geomagnetic referencing in the Arctic environment, in OTC Arctic Technology Conference, Moscow, Russia, 18-20 Oct 2011.
4. Hughes J, Schaub H, Space weather influence on electromagnetic geosynchronous debris perturbations using statistical fluxes, *Space Weather*. 16, 391-405 (2018). <https://doi.org/10.1002/2017sw001768>
5. Horbury TS, O'Brien H, Carrasco Blazquez I, Bendyk M, Brown P, et al., The solar orbiter magnetometer, *Astron. Astrophys.* 642, A9 (2020). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201937257>
6. Auster HU, Glassmeier KH, Magnes W, Aydogar O, Baumjohann W, et al., The THEMIS fluxgate magnetometer, *Space Sci. Rev.* 141, 235-264 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11214-008-9365-9>
7. Amran SM, Kim WS, Cho HR, Park PG, Stability analysis of geomagnetic baseline data obtained at Cheongyang observatory in Korea, *Geosci. Instrum. Methods Data Syst.* 6, 231-238 (2017). <https://doi.org/10.5194/gi-6-231-2017>
8. St-Louis B, INTERMAGNET technical reference manual, version 4.6 (2014).
9. Csontos A, Hegymegi L, Heilig B, Temperature tests on modern magnetometers, *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* C-99, 2007.
10. Hong S, Kim JH, Marusenkova A, Hegymegi L, Csontos A, The temperature stability of LEMI-025 1-second variometer: case study in the Icheon observatory, *J. Ind. Geophys. Union JIGU.* 2, 42-46 (2016).

Author Information

최 두 영 dooyoung@chungbuk.ac.kr



충북대학교 천문우주학과에서 2022년 석사학위를 취득하였으며, 2022년부터 충북대학교 박사과정에 있다. 현재 위성 탑재용 자기장 측정 장비 개발에 참여하고 있으며, 태양풍과 성간물질의 상호작용에 대해 연구하고 있다.

이 승 욱 lsu1080@gmail.com



충북대학교에서 2015년 천문우주학 학사학위를 받고, 같은해 동대학원에 석박통합과정에 입학해 2019년 수료하였다. 현재 차세대 중형 위성 3호 우주과학 탑재체의 플라즈마 검출기와 자기장 측정기 개발을 담당하고 있다.

Author Information

김 준 성 carod00@naver.com



충북대학교에서 2022년 천문우주학 석사학위를 받았다. 2022년 2월부터 충북대학교에서 석사후 연구원으로 근무하였다. 현재 외부 방사선대의 상대론적 전자들에 대하여 지구 자기장 파동을 연구하고 있다.

최 규 철 kcchoi.selab@gmail.com



충북대학교 천문우주학과에서 석사학위를 받았고, 박사과정을 수료하였다. (주)에스이랩의 책임연구원으로 재직하고 있으며, 우주과학 및 우주기상, 자력계, 기상레이더 영상 분석 등의 분야에서 연구 및 사업을 수행하고 있다.

이 대 영 dylee@chungbuk.ac.kr



미국 Rice Univ. 에서 우주과학 분야에서 박사학위 취득 후 30년간 동 분야에서 활동해 오고 있으며, 현재 충북대 천문우주학과 교수로 재직 중이다. 지구 자기권 공간에서의 우주환경 현상, 태양풍과 자기권 사이의 상호작용, 태양풍 특성, 태양풍과 성간물질 사이의 상호작용 등의 분야에서 주로 연구를 이어오고 있다.

조 정 희 jhcho94@korea.kr



충북대학교 천문우주학과에서 2018년 박사학위를 취득하였으며, 2017년 12월 과학기술정보통신부 국립전파연구원 우주전파센터에서 연구사로 재직 중이다. 우주환경 관측데이터 분석을 통해 우주환경의 실시간 변화 감시 및 향후 변화를 예측함으로써 우주전파재난에 대응하고 있다.



JSTA 투고규정

1. **JSTA** 는 연간 4회 (2월, 5월, 8월, 11월 말일) 발간된다.
2. **JSTA** 에 투고되는 원고는 교신 저자가 온라인 투고시스템(<https://submission.jstna.org>)을 통해 온라인으로 제출하여야 한다.
3. **JSTA** 투고를 위한 원고는 **JSTA** 홈페이지(<https://www.jstna.org>)나 **JSTA** 투고시스템(<https://submission.jstna.org>)에 게시되어 있는 투고지침에 따라 템플릿을 참조하여 MS-Word로 작성되어야 한다.
4. 제출된 논문 원고는 60일 이내에 **JSTA** 편집위원회에서 위임한 2인 이상의 전문가에 의해 심사되며, **JSTA** 편집위원장의 게재승인에 의거해 출판된다. 기고문은 전문가의 심사절차 없이 **JSTA** 편집위원회에서 출판을 결정할 수 있다.
5. 논문 원고는 독창적이어야 하고, 다른 학술지에 중복 제출되어서는 안되며, 심사를 통해 **JSTA** 에 출판이 승인된 원고는 일부라도 **JSTA** 의 허가 없이 다른 저널에 중복 출판되어서는 안된다.
6. 게재된 논문과 기고문의 기술적 내용에 대한 책임은 저자에게 있으며, 저자들은 출판에 앞서 저작권을 한국우주과학회에 양도하여야 한다.
*저작권 이양동의서는 **JSTA** 홈페이지(<https://www.jstna.org>)나 **JSTA** 온라인 투고시스템(<https://submission.jstna.org>)의 '투고지침'에 탑재된 양식을 사용한다.
7. 논문과 기고문의 저자들은 출판에 앞서 윤리강령을 반드시 확인, 숙지하도록 한다. 윤리강령은 **JSTA** 홈페이지(<https://www.jstna.org>)와 **JSTA** 온라인 투고시스템(<https://submission.jstna.org>)의 '투고지침'에 명시되어 있다.
8. 논문 및 기고문의 게재료는 1편당 200,000원으로, **JSTA** 발행완료 후 학회 사무국으로 납부한다.

학술지 **JSTA** 관련 문의

JSTA 편집국

Tel: +82-42-865-3351

E-mail: jsta@ksss.or.kr

JSTA 구독 관련 문의

학회 사무국

Tel: +82-42-865-3391

E-mail: ksss@ksss.or.kr



AUTHOR'S CHECKLIST

- ☐ Manuscript in a format of MS-Word 2013 or later.
- ☐ Sequence of title page, abstract & keywords, introduction, methods, results, conclusions, acknowledgments, and references.
- ☐ Title page with article title, author's FULL NAME(s) and affiliation(s).
- ☐ Contact information of the corresponding author's E-mail address, Office Phone number, ORCID, and heading title, with all authors' ORCID.
- ☐ Abstract up to 300 words and keywords up to 6 words or phrases.
- ☐ All table and figure numbers are found in the text.
- ☐ All tables and figures are numbered in Arabic numeral in the order of its appearance in the text.
- ☐ Computer generated figures must be produced with high tones and resolution.
- ☐ All references listed in the reference section should follow the reference citing rule and the valid reference format specified in INSTRUCTIONS FOR AUTHORS in JSTA.



COPYRIGHT TRANSFER AGREEMENT, DISCLOSURE OF CONFLICT OF INTEREST AND DECLARATION OF ETHICAL CONDUCTS

Manuscript Title: _____

COPYRIGHT TRANSFER AGREEMENT

The author(s) of the above-listed article hereby agree that the Korean Space Science Society holds the copyright to all submitted materials and the right to publish, transmit, and distribute them in the journal or all other media; the Society also holds the right to reproduce the article, including in reprints, photographic reproductions, or any other reproductions of similar nature, and the right to adapt the article for use in conjunction with computer systems and programs, including publication in machine-readable form and incorporation in retrieval systems.

DISCLOSURE OF CONFLICT INTEREST

I / We declare that potential conflicts of interest for all authors, or acknowledgment that no conflicts exist, are included in the manuscript. Disclosures include the source of funding, consultation fees and stocks and relationships with a company whose products or services are related to the subject matter of the manuscript. All authors agreed to the terms outlined in this document and approved the submission of this manuscript for publication.

DECLARATION OF ETHICAL CONDUCTS

- ✓ I / We abide by the RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS of the *JSTA* Guidelines in submitting this manuscript.
- ✓ The author(s) has a specific and important contribution, and is officially responsible for the content of the article
- ✓ This manuscript has not been published before and will not be submitted for publication elsewhere until a decision has been made on its acceptability for publication.
- ✓ The author(s) conducted all research activities (e.g., data collection, writing reports, and presenting results) in an honest and sincere way, described the research content and its importance in an objective and specific way, and did not change, omit, or add to the results.

Corresponding Author

E-mail: _____

Print name _____ Signature _____ Date _____

Print name(s) of Co-author(s)

Print name _____ Signature _____ Date _____

Print name _____ Signature _____ Date _____

Print name _____ Signature _____ Date _____

Print name _____ Signature _____ Date _____

Print name _____ Signature _____ Date _____

* All author(s) should sign this form in the order listed in the manuscript.

* The above copyright transfer agreement must be signed and returned to the **JSTA Editorial Office** (Tel: +82-42-865-3351, Fax: +82-42-865-3392, E-mail: jass@kssss.or.kr) before the manuscript can be published.

우주기술과 응용 배포기관

1	가스로드	41	서울대학교	81	큐니온
2	경희대학교	42	세종대학교	82	텔레픽스주식회사
3	공군 우주발전처원	43	솔탑	83	페리지항공우주
4	공군사관학교	44	스마트코리아피씨비	84	하이리움산업
5	공군우주처	45	스페이스솔루션	85	하이퍼센싱
6	과학기술정보통신부	46	실텍	86	한국방연연구원
7	과학기술정책연구원	47	썬트렉아이	87	한국과학기술기획평가원
8	국립외교원	48	아이엠티	88	한국과학기술연구원
9	국립전파연구원	49	아이파이브	89	한국과학우주청소년단
10	국립환경과학원	50	알에스피	90	한국기초과학지원연구원
11	국민대학교	51	에스티아이	91	한국마이크로칩테크놀로지
12	국방과학연구소	52	엘테크	92	한국연구재단
13	국방기술진흥연구소	53	엠아이디	93	한국전기연구원
14	국방기술품질원	54	연세대학교	94	한국전자통신연구원
15	국방우주학회	55	우성테크	95	한국천문연구원
16	국토지리정보원	56	우주기술진흥협회	96	한국항공우주산업
17	나라스페이스테크놀로지	57	우주전파센터	97	한국항공우주연구원
18	네오스펙	58	웨이브온	98	한국항공정책연구소
19	넥스트폼	59	위성전파감시센터	99	한국해양과학기술원
20	노스롭그루만	60	이노스페이스	100	한밭대학교
21	단암시스템즈	61	이엘엠	101	한양이엔지
22	담스테크	62	이오에스	102	한컴인스페이스
23	동진커뮤니케이션시스템	63	인스페이스	103	한화
24	두시텍	64	인터콥전자	104	한화시스템
25	두원중공업	65	인하대학교	105	한화에어로스페이스
26	드림스페이스월드	66	저스텍	106	항공대학교
27	디에스테크놀러지	67	전략물자관리원	107	해군본부
28	레볼루띠	68	전북대학교	108	해양경찰청
29	레이다앤스페이스	69	제노코	109	현대로템
30	롤스로이스	70	제이엔티	110	현대중공업
31	루미르	71	조선대학교	111	AP 위성
32	마스텍	72	지솔루션	112	Aurora Propulsion Tech.
33	바로텍시너지	73	지아이이앤에스	113	KAIST 인공위성연구소
34	방위사업청	74	지오스토리	114	KT sat
35	부경대학교	75	카이로스페이스	115	KTL
36	부산대학교	76	컨텍	116	LIG 넥스원
37	부산테크노파크	77	캠텍종합기술원	117	S&K 항공
38	뷰웍스	78	컨텍	118	SM 인스트루먼트
39	비츠로넥스텍	79	코리아테스팅	119	Space K
40	샘트라인터내셔널	80	코마텍코리아	120	Thales Korea

우주기술과 응용

제2권 3호

등 록 일 | 2021년 5월 31일

발 행 일 | 2022년 8월 31일

발 행 인 | 이 유

편 집 인 | 김해동 · 김숙경

발 행 처 | 사단법인 한국우주과학회

대전광역시 유성구 대덕대로 776

TEL : 042-865-3391

E-mail : ksss@ksss.or.kr

Homepage : <http://ksss.or.kr>

편집 · 인쇄 | 거목문화사 · 거목인포

TEL : 02-2277-3324

E-mail : guhmok@guhmok.com

한국형 위성항법시스템 KPS LIG넥스원이 시작합니다

국방분야 위성항법시스템 개발의 개척자
민/군분야의 위성탑재체 국내개발 선두주자



ICEYE

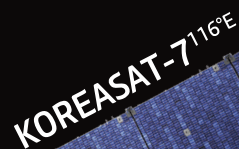
A NEW WAY TO UNDERSTAND EARTH

PERSISTENT MONITORING FROM ICEYE



EXPLORE ICEYE CAPABILITY
WWW.ICEYE.COM





KOREASAT-7^{116°E}

A satellite with a central body and two large rectangular solar panel arrays extending outwards. It is positioned in the upper half of the frame against a black background.

Beyond The Satellite

kt sat



KOREASAT-5A^{113°E}

A satellite with a central body and two large rectangular solar panel arrays extending outwards. It is positioned in the lower half of the frame, with the Earth's horizon visible in the background.

Best Partner for Satellite Operations

(주)아이옵스는 여러분과 비전을 공유합니다

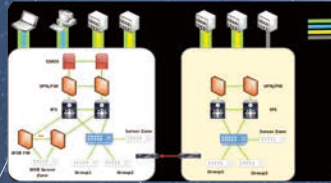
위성운영 지상시스템 분야의 Total Solution 제공



위성 지상시스템 운용



시스템 네트워크 구축 및 유지보수



인공위성 지상소프트웨어 개발



아이옵스는 위성관제 및 위성지상시스템에 대한 독보적인 전문성을 기반으로 안정적인 운영이라는 목표를 가장 성공적으로 수행할 수 있는 파트너로써 준비가 되어 있습니다.

또한, 지상 인프라 구축과 소프트웨어 개발까지 전영역에 대한 서비스를 제공하면서 **위성운영의 토탈 솔루션**을 제공합니다.

3대비전 열린경영 | 도전혁신 | 인재경영

핵심가치 고객만족 전문성 시장선도 윤리경영

대한민국 우주사업의 미래, 우주부품시험센터



우주부품시험센터란?

우주 발사체 자력 개발 및 독자 위성기술 확보로
대한민국 우주 강국의 꿈을 실현시켜줄 우주산업의 핵심 기지

국산 우주개발 부품의 국제 경쟁력 강화
선진국 수준의 기술 확보와 경제효과 달성
지역균형발전 기여와 미래 우주과학 산학연의 중심
대한민국 우주 강국의 꿈을 이루어갑니다.



우주부품시험센터 : 경남 진주시 상대로72번길 16 | 055-791-3660



우주를 향한 KAI의 도전과 열정은 진행형입니다



한국항공우주산업|주|
KOREA AEROSPACE INDUSTRIES, LTD.

New Space를 위한 인공위성 플랫폼 서비스 솔탑이 만들어 가겠습니다.

1995년 설립 이래 다목적 실용위성 관제시스템 개발을 시작으로
위성 지상시스템, 위성 원격탐사 분야에서 지속적으로 성장하며
항공우주 전문기업으로 발돋움하였고 최근 초소형 위성 시장에도 진출하였습니다.
다수의 위성 지상시스템 구축 경험을 바탕으로 안정적이고 신뢰도 높은 시스템 설계 및 구현 기술을
보유하고 있으며 해외 유수의 업체들과 협력하여 검증된 초소형 위성의 솔루션을 제공하고 있습니다.



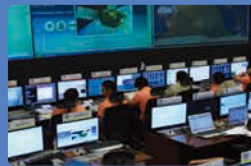
초소형 위성
설계·제작시험



위성영상수신



실시간 데이터
분석·처리



위성관제

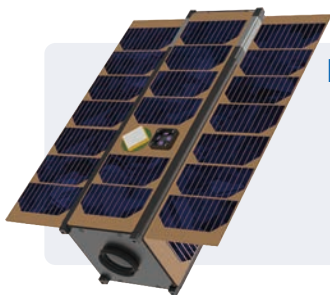


탐재체·위성체
시험 및 분석

SOLESat-01

솔탑에서 개발하는 첫 번째 초소형 위성!

솔탑에서 자체 위성개발을 통해 솔탑의 위성설계, 제작 및
운용기술을 검증하고자 합니다.



Mission

- 초소형위성 플랫폼 검증
- 태양전지판 핵심 기술검증
- 지구관측
- 우주 기상 관측

Specifications

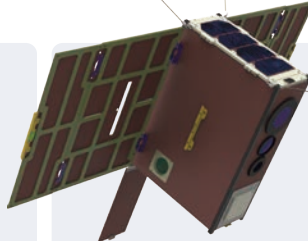
- 탑재체 : 지구 관측 카메라
Space Weather Sensor
- 궤 도 : 태양동기궤도
- 질 량 : <6kg
- 크 기 : 3U
- 통 신 : UHF, S-band
- 수 명 : 1년



STEPCubeLab-2

시스템 통합 및 플랫폼 개발

STEP CubeLab-II 조선대학교 STSLab에서 큐브위성 경연대회
사업으로 개발중인 6U 초소형위성입니다.



Mission

- 지구관측(백두산 폭발징후 관측)
- 태양전지판 기술검증
- 우주용 TDI 센서 검증
- 관심대상에 대한 동영상 촬영

Specifications

- 탑재체 : TDI 가시광선 카메라
LWIR 카메라
광대역 카메라
태양전지판 조절 장치(SADA)
점탄성 태양전지판
- 궤 도 : 태양동기궤도
- 질 량 : <6kg
- 크 기 : 6U
- 통 신 : UHF, S-band
- 수 명 : 1년



보다 가까이

최첨단 기술력으로 선보이는
국내 최초의 초소형 군 정찰위성

가장 높은 곳에서
가장 가까이

디지털 방위산업의 선두주자 한화시스템,
미래를 위한 책임감으로
육·해·공·우주를 더 가까이 연결합니다

Smart & Dependable Partner
한화시스템

초소형 SAR 위성
군집운용을 통한
재방문주기 최소화

RESEARCH PAPERS

187 Vibration Reduction Device for Directional Moving Satellite Antenna

SeokWeon Choi, Sang-Soon Yong

195 Europe's Space Exploration and Korea's Space Exploration Strategy from the Perspective of Science and Technology Diplomacy

Nammi Choe

206 Analysis of Development Requirements on Simulated Ground Test Module for Underwater Residential Facilities

Joohee Lee, Younkyu Kim, Jongwon Lee

TECHNICAL PAPER

221 Development of Thermostat for the Fluxgate Magnetometer in Icheon Geomagnetic Observatory and Stability Evaluation after Installation

Dooyoung Choi, Seunguk Lee, Joonsung Kim, Dae-Young Lee, Kyu-Cheol Choi, Junghee Cho