

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 추가함으로써 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.

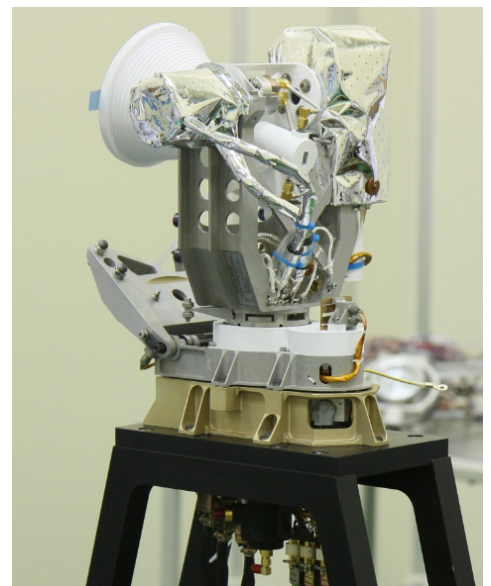
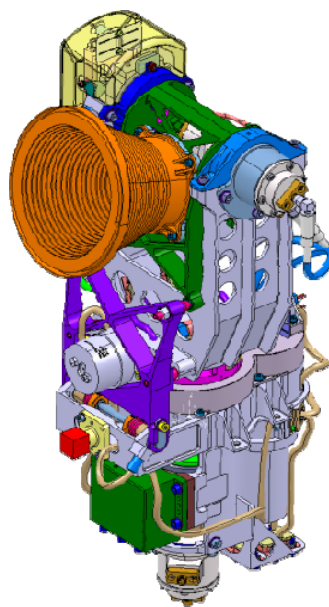


Fig. 1. Directional moving antenna.

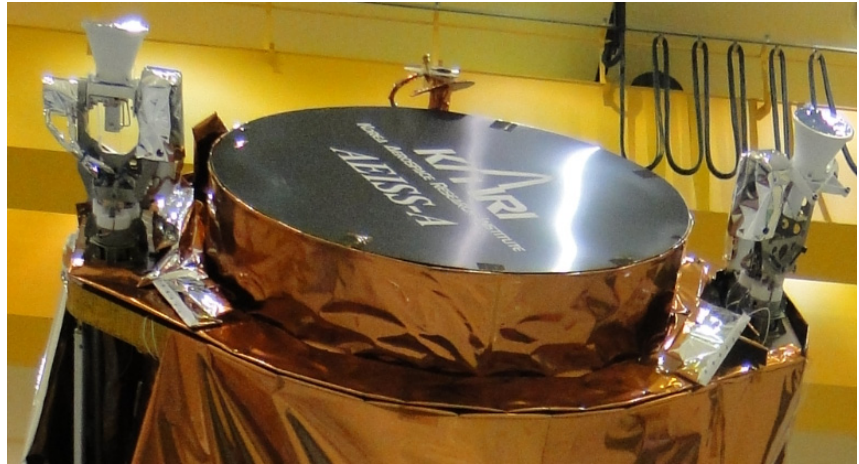


Fig. 2. Camera barrel & directional moving antenna.

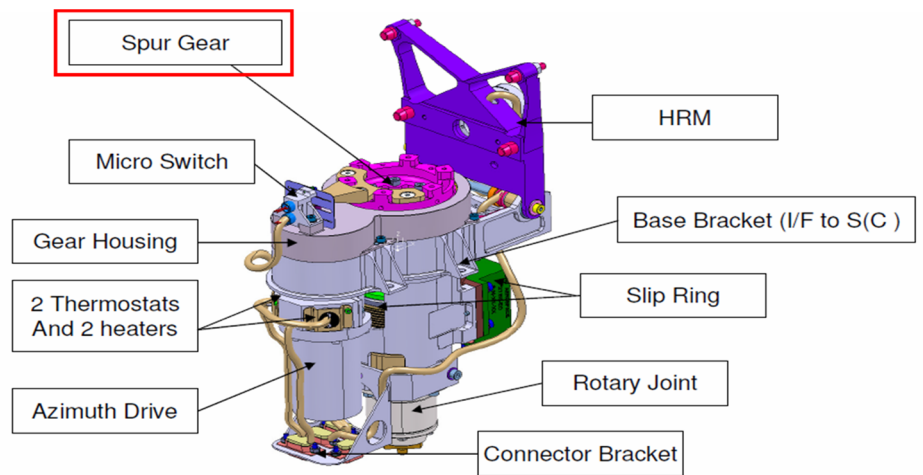


Fig. 3. Overview of the main parts of the drive gearwheel.

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.

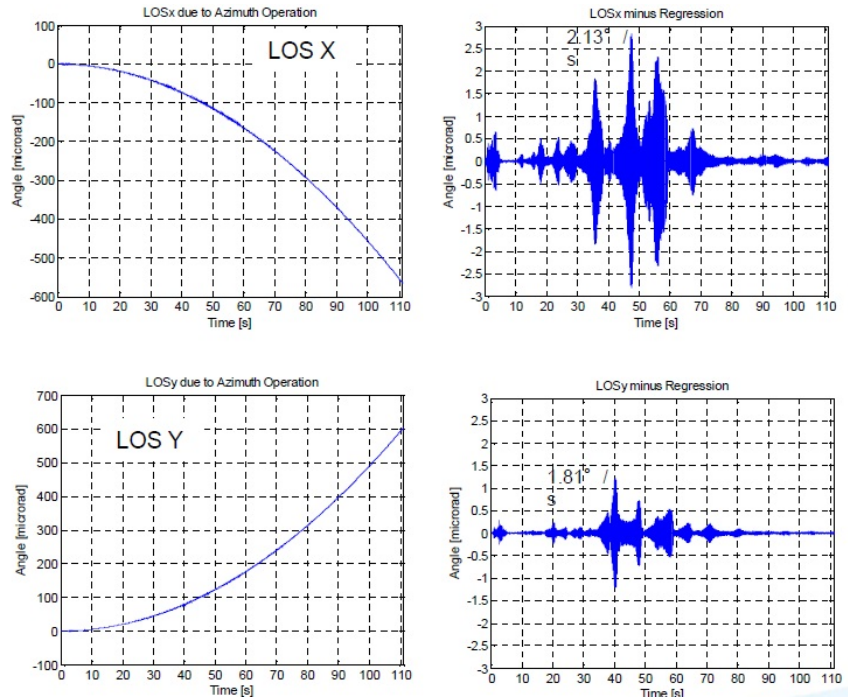


Fig. 4. Micro-vibration generated during motor operation.

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.

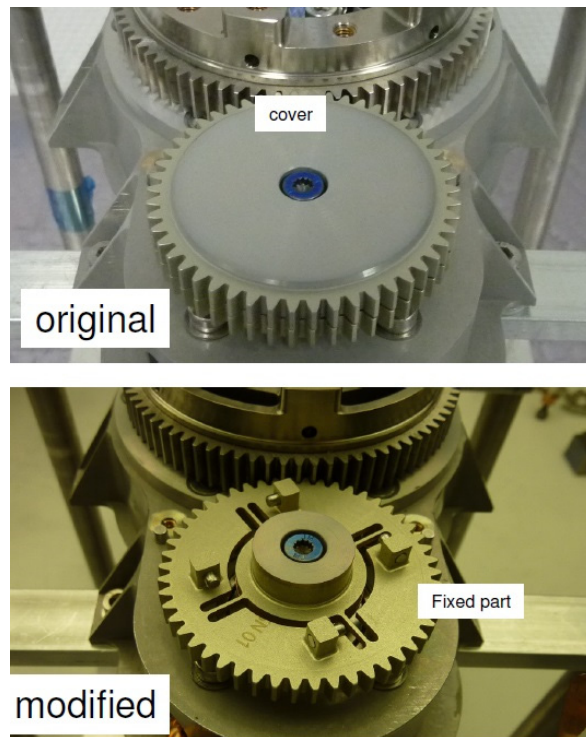


Fig. 5. Original gearwheel (top) and modified gearwheel (bottom).

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 1차형 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 통상형 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 위성에 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

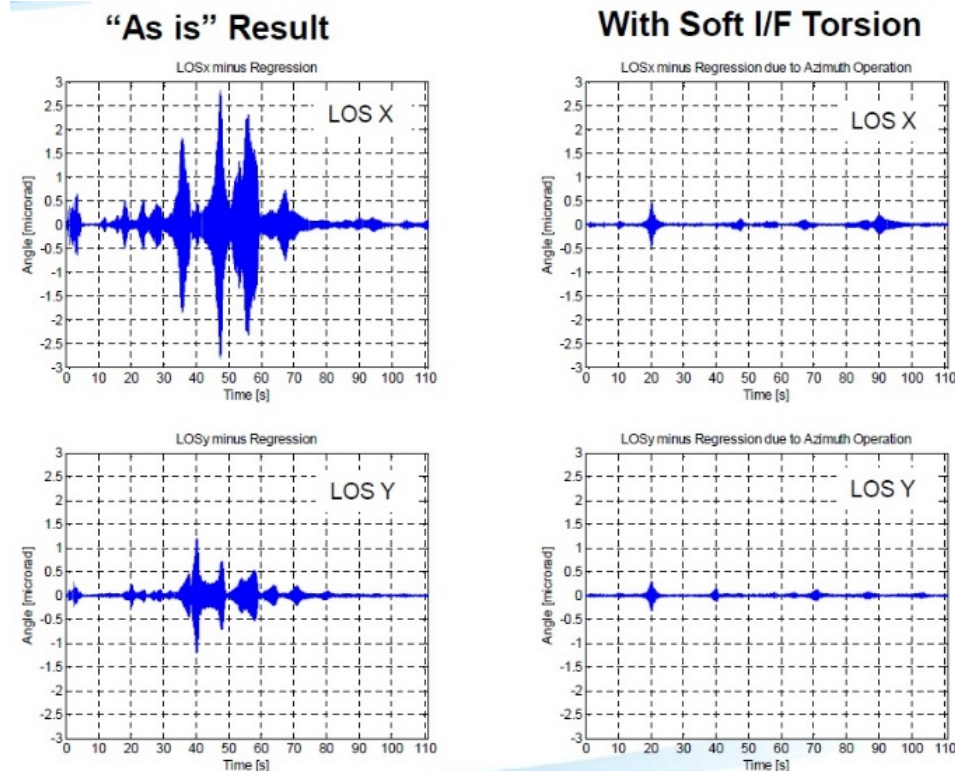


Fig. 6. Comparison of micro vibration between the original gear wheel (left) and the modified gear wheel (right).

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.

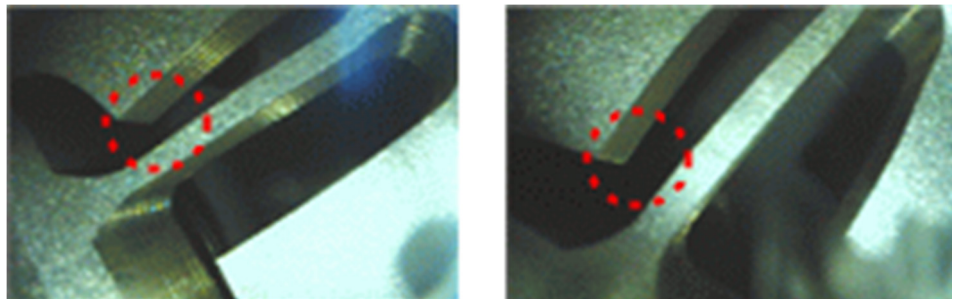


Fig. 7. A spring damper plastically deformed by a force exceeding the elastic limit.



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

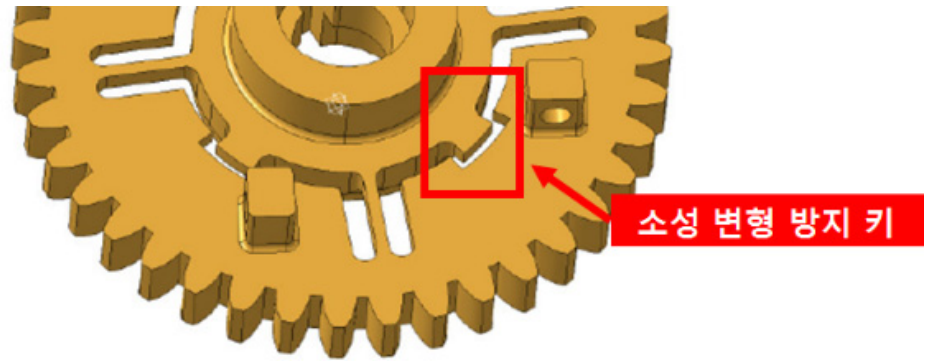


Fig. 9. Gearwheel with spring damper plastic protection device.

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 위성에 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

최석원 schoi@kari.re.kr



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

연구를 수행하고 있다.

용상순 ssyong@kari.re.kr



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

야와 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.