

# 저 회전강성 진동 절연기에 의한 X-밴드 안테나의 고각방향 미소진동 절연 효과 검증

## Verification of Micro-vibration Isolation Performance

### by using Low Rotational Stiffness Isolator under Elevation Direction Operation of the X-band Antenna

전 수 현\*·이 재 경\*\*·정 새 한 솔\*\*·이 명 재\*·오 현 응†

Su-Hyeon Jeon, Jae-Gyeong Lee, Sae-Han-Sol Jeong, Myeong-Jae Lee and Hyun-Ung Oh

(Received November 13, 2014 ; Revised March 6, 2015 ; Accepted March 30, 2015)

**Key Words** : X-band Antenna(X-밴드 안테나), 2-axis Gimbal System(2축 짐발 시스템), Micro-vibration(미소진동), Jitter(지터), Low Rotational Stiffness Isolator(저 회전강성 절연기)

#### ABSTRACT

A stepping motor is widely used to operate the elevation and azimuth stage of the X-band antenna with 2-axis gimbal system for effective image data transmission from a satellite to a ground station. However, such stepping motor also generates an undesirable micro-vibration which is one of the main disturbance sources affecting image quality of the high-resolution observation satellite. In order to improve the image quality, the micro-vibration isolation of the X-band antenna system is essential. In this study, the low rotational stiffness isolator has been proposed to reduce the micro-vibration disturbance induced by elevation direction operation of the X-band antenna. In addition, its structural safety was confirmed by the structure analysis based on the derived torque budget. The effectiveness of the design was also verified through the micro-vibration measurement test.

#### 1. 서 론

위성의 자세제어용 반작용 휠, 자세정보 제공을 위한 기계식 자이로, 임무장비의 극저온 구현을 위한 냉각기, 지향 조정 장치로 사용되는 2축 짐발 시스템, 태양전지판의 태양추적 구동기 등과 같이 기계적 구동부를 갖는 탑재장비는 궤도 운용 시 목적하는 기능을 구현함과 동시에 미소진동을 유발한다.

상기의 탑재장비로부터 발생하는 진동외란의 크기는 극히 미소함에도 불구하고 정밀 지향성능이 요구되는 관측위성의 영상품질을 저하시키는 주요 원인 중 하나이며, 이를 해결하기 위해 탑재장비로부터 발생하는 미소진동을 주요 임무장비로 전달되지 않도록 추가적인 절연설계가 요구된다<sup>(1-4)</sup>.

특히, 미소진동발생원 중 하나인 X-밴드 안테나는 저궤도 관측위성으로부터 획득된 실시간 영상정보를 지상국으로 효율적인 전송을 위해 사용되며, 궤도운

† Corresponding Author ; Member, Department of Aerospace Engineering, Chosun University  
E-mail : ohu129@chosun.ac.kr  
Tel : +82-62-230-7183, Fax : +82-62-230-7729

\* Department of Aerospace Engineering, Chosun University

\*\* School of Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology

‡ Recommended by Editor SungSoo Na

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

동과 무관하게 지상안테나를 지향하도록 2축 짐발 (gimbal)에 X-밴드 안테나를 장착하여 위성의 위치 및 자세와 연동토록 하였다<sup>(5-7)</sup>. 2축 짐발형 X-밴드 안테나는 크게 방위각 단(azimuth stage)과 고각 단 (elevation stage)으로 구성되어 있으며, 일정 기어비의 기어모듈과의 조합으로 구동되는 스텝핑 모터 (stepping motor)에 의해 각 축의 회전구동이 이루어진다. 그러나 부정확한 기어의 맞물림 및 스텝핑 모터 구동에 따른 외란 그리고 X-밴드 안테나의 동적 불균형 등은 고해상도 관측위성의 영상품질을 저하시키는 미소진동을 유발하며, 고해상도 관측위성의 임무요구조건을 만족시키기 위해 많은 선행연구들이 이루어지고 있다.

대표적인 예로서, Jeon et al.<sup>(8)</sup>은 X-밴드 안테나의 방위각 방향 구동 시 발생하는 미소진동 절연을 위해 안테나의 방위각 구동모터의 출력축에 장착되는 피니언 기어(pinion gear) 자체에 저 회전강성을 부여한 블레이드 기어를 제안하였다. 상기 블레이드 기어는 기 설계된 안테나의 인터페이스 및 다수의 설계변경 없이 간단한 기어의 설계 변경을 통해 목적하는 안테나의 방위각 방향 구동에 따른 미소진동 절연에 효과적임을 입증하였으나, 고각 방향 구동에 따른 미소진동 절연에 이를 적용하기에는 장착공간의 제한이 수반된다. 이는 곧 X-밴드 안테나의 고각 축 변환을 위해 적용되는 베벨 기어(bevel gear) 또한 블레이드 형태의 설계변경을 통해 상기의 문제점을 해결할 수 있으나 베벨 기어의 경우 저 회전강성을 구현할 수 있는 가용면적이 좁아 다른 방식의 절연 설계가 요구된다.

이 연구에서는 안테나의 방위각 방향 구동 외에 고각 방향 구동 시 발생하는 미소진동 절연을 목적으로 회전강성이 낮은 특징을 갖는 새로운 형태의 진동 절연기를 설계하였으며, 안테나 고각 축 구동에 요구되는 토크 버짓을 기반으로 구조해석을 수행하여 이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기에 대한 구조건전성을 확인하였다. 이를 기반으로 제작된 진동 절연기를 기 설계된 X-밴드 안테나의 고각 구동모터의 출력축에 적용하여 소성변형 없이 동력전달이 가능함을 확인하였다. 또한, 상기의 저 회전강성 구조물에 대한 설계의 타당성을 확인하기 위해 3축에 대한 구속 자유 조건에서의 미소진동 측정이 가능한 계측시스템을 제안하였으며, 이를 이

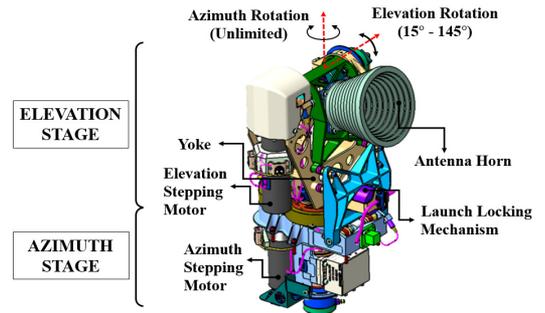


Fig. 1 Configuration of the X-band antenna(ref. GIST)

용하여 안테나의 방위각과 고각 방향이 동시에 구동이 가능한 TPF(tracking parameter file) 구동 프로파일에 대한 저 회전강성 구조물 적용에 따른 미소진동 시험을 수행하였다. 이로부터 설계가 의도한대로 회전강성이 낮은 진동 절연기 적용 시 안테나 구동에 따른 미소진동에 절연성능 효과가 있음을 확인하였다.

## 2. 저 회전강성 진동 절연기를 적용한 X-밴드 안테나

### 2.1 X-밴드 안테나

Fig. 1은 관측위성으로부터 획득된 고해상도 영상 정보를 지상 안테나에 효율적인 송신을 위해 사용되는 2축 짐발형 X-밴드 안테나의 형상을 나타낸다. X-밴드 안테나는 총 11 kg으로 안테나를 2축 짐발 시스템을 갖는 지향 조정 장치에 장착하여 궤도 운동과 무관하게 지상 안테나 지향이 가능하도록 방위각 단과 고각 단으로 구성되어 있다. 방위각의 회전축은 회전영역에 제한이 없고 고각의 회전축은 15°~145°의 제한된 회전영역 안에서 구동되며, 각 축의 회전구동을 위해 2상 스텝핑 모터(Phytron, ZSS 43.200.06.-HD)가 사용된다. 또한 1:1.6 기어 비를 갖는 스피어 기어와 베벨 기어를 통해 안테나의 방위각 축과 고각 축의 회전변환이 이루어지며, 안테나의 두 회전 구동부를 동시 구속이 가능한 발사 구속 장치를 적용함으로써 발사환경에서의 구조건전성 확보가 가능하도록 하였다.

그러나 X-밴드 안테나의 방위각 및 고각 구동에 따른 동적 불균형, 기어 간의 부정확한 맞물림 그리고 불연속적인 진동 특성을 갖는 구동 모터<sup>(9,10)</sup>의

사용 등은 관측 위성의 영상품질을 저하시키는 미소진동을 발생하는 주요인이며, 상기로부터 발생하는 미소진동 성분을 저감하기 위해 추가적인 절연설계가 요구된다.

**2.2 저 회전강성 구현을 위한 진동 절연기**

안테나의 고각방향 구동 시 발생하는 미소진동 절연을 위해 고각 구동모터 출력축에 장착되는 베벨 기어에 선행연구에서 제안한 기어의 회전방향으로 강성이 낮은 블레이드 형태의 기어설계를 통해 목적하는 임무를 구현할 수 있으나, 기 설계된 베벨기어의 경우 가용면적이 좁아 기어자체에 블레이드 형태를 모사하기에 어려움이 존재한다. 따라서 이 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 X-밴드 안테나의 고각방향 구동 시 발생하는 미소진동 절연을 목적으로 회전강성이 낮은 진동 절연기를 제안하였으며, Figs. 2, 3에 저 회전강성 진동 절연기의 형상과 상기의 진동 절연기가 X-밴드 안테나에 장착된 형상을 나타내었다. 이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기는 가로, 세로, 높이가 각각 1.2 mm, 2.25 mm, 11 mm인 로드를 원주 방향으로 6개를 배치하여 회전 방향에 대해 낮은 회전 강성을 구현하도록 설계하였으며, 구동 모터의 출력축이 삽입되는 삽입부와 베벨기어가 장착되는 고정축을 마련하여 X-밴드 안테나의 고각 구동모터의 출력축과 베벨기어의 사이에 배치되도록 구성하였다. 그러나 고각 구동모터와 베벨기어 사이에 저 회전강성 진동 절연기가 추가적으로 배치됨과 동시에 기존의 구동모터의 장착인터페이스가 변경되어 Fig. 3과 같이 별도의 지지 구조재를 통해 이를 해결하였다. 따라서, 고각 스텝핑 모터의 출력축에 장착된 진동 절연기는 모터의 출력 토크로부터 동력을 전달받아 진동 절연기의 고정 축에 장착된 베벨 기어를 통해 안테나의 고각 축 회전변환이 이루어진다.

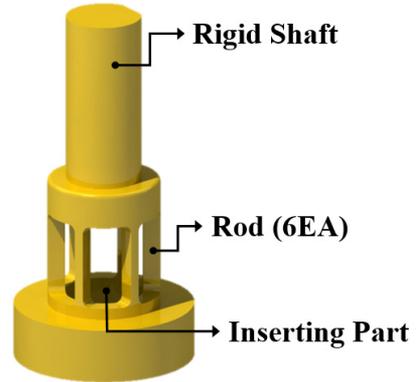
**2.3 토크 버짓**

ECSS 설계기준<sup>(11)</sup>에 근거하여 2축 짐발형 X-밴드 안테나의 고각 방향 회전구동을 위해 요구되는 토크 버짓(torque budget)을 다음과 같이 산출하였다.

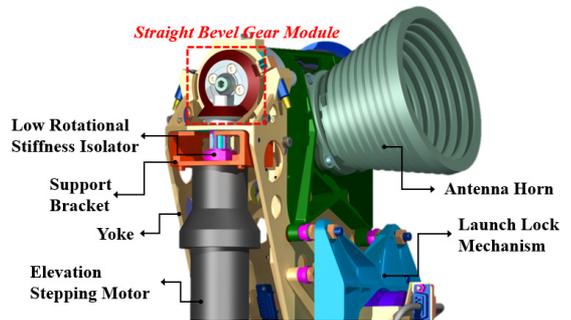
$$T_R \geq 2(1.1T_G + 1.2T_{L/S} + 3T_{Bea}) + 1.25T_{Acc} \quad (1)$$

여기에서,  $T_G$ 는 1 g 환경에서 지상 시험을 고려한

중력 토크,  $T_{L/S}$ 는 안테나 혼의 구동위치 확인을 위한 리밋 스위치(limit switch)의 작동 토크,  $T_{Bea}$ 는 베어링(bearing)의 마찰 토크 그리고  $T_{Acc}$ 는 가속 토크를 의미하며, 안테나의 고각 구동을 위해 요구되는 토크  $T_R$ 은 상기의 안전여유가 고려된 각 파라미터 전체를 합한 결과의 두 배 이상을 만족해야한다. Table 1은 상기의 토크 버짓 산출을 위해 고려된 파라미터 값을 나타내며, X-밴드 안테나의 고각 회전



**Fig. 2** The low rotational stiffness isolator



**Fig. 3** Configuration of the X-band antenna combined with isolation system

**Table 1** Required torque budget for elevation driving of the X-band antenna

Torque quantities	Torque value [Nm]	Remarks
$T_G$	0.49	
$T_{L/S}$	0.108	
$T_{Bea}$	0.042	3 ea
$T_{Acc}$	0.0021	
$T_R$	1.59	Required torque for elevation driving

구동을 위해 1.59 Nm의 토크 규격이 요구된다.

### 2.4 구조 해석

이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동절연기의 구조건전성 검증을 위해 상기에서 산출된 안테나의 고각방향 구동 시 요구되는 토크 버짓을 기반으로 구조 해석을 수행하였다. 구조해석을 위한 해석 Solver 및 Pre/Post 프로세서로는 Patran/Nastran을 사용하였으며,

Table 2 Titanium material property

	Young's modulus [Gpa]	Poisson's ratio	Density [Mpa]	Yie. stress [Mpa]	Ult. stress [Mpa]
Titanium	105	0.3	4500	1000	1070

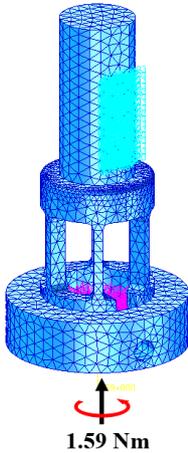


Fig. 4 Finite element model

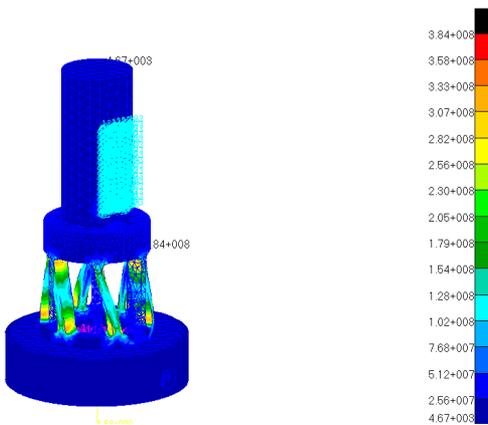


Fig. 5 Stress contour

진동 절연기는 Fig. 4와 같이 CTETRA를 이용하여 유한요소 모델링을 수행하였다. 또한, 고각방향 구동을 위해 사용되는 구동모터의 출력토크가 인가되는 부분은 강체요소(RBE3)로 모델링이 되었으며, 강체 요소의 중심 절점에 안테나의 고각 방향 구동을 위해 요구되는 토크 1.59 Nm를 적용하였다. 경계조건의 경우, 평 키(flat key)를 통해 진동 절연기의 고정 축과 베벨 기어가 고정되는 것을 고려하여 고정 축의 윗면에 3자유도에 대한 변위구속조건을 부여하였으며, 유한요소 모델에 사용된 총 절점 수와 요소 수는 각각 27760개, 17035개이다. 또한, 저 회전강성 진동 절연기의 재질은 티타늄으로 Table 2에 해석에 사용한 재료의 물성치를 정리하였다.

상기의 유한요소 모델로부터 해석한 결과, 이 연구에서 제안한 진동 절연기의 회전강성은 134.75 Nm/rad이며, 로드의 끝단에 최대응력( $\sigma_{max}$ ) 384 Mpa 이 작용하는 것을 확인하였다. 또한, 구조의 안전 여유(margin of safety)를 다음과 같이 산출하였다.

$$MoS = \frac{\sigma_{allowable}}{SF \times \sigma_{max}} - 1 \quad (2)$$

안전계수(SF: safety factor)는 항복강도 1.25, 극한강도 1.5를 적용하였다. 이로부터 진동 절연기의 안전여유는 각각 1.08, 0.86으로 구조건전성이 확보됨을 확인하였다.

### 2.5 저 회전강성 진동 절연기 기본특성 시험

이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기의 회전강성 측정을 위해 Fig. 6과 같이 시험을 구성하였다. 시험구성에 맞게 새로 설계된 저 회전강성 진동 절연기는 회전하는 물체의 방향 및 위치검출이 가능한 엔코더(I65L1000ZCU100L2, Lika Electronic)의 출력축과 토크 측정이 가능한 토크센서(4503A100LA1B1000, KISTLER)의 출력축을 진동 절연기의 양단에 각각 결합이 가능하도록 인터페이스가 마련되어 있으며, 토크센서에 전동기(motor)가 결합되어 진동 절연기의 회전축에 동력을 전달하게 된다.

진동 절연기의 회전강성 측정 시험은 1 rpm 속도로 토크를 0.1 Nm씩 증가하면서 진동절연기의 고정 축에 토크를 부여하였으며, 이로부터 회전된 회전각도를 엔코더를 통해 측정하는 방식으로 수행되었다.

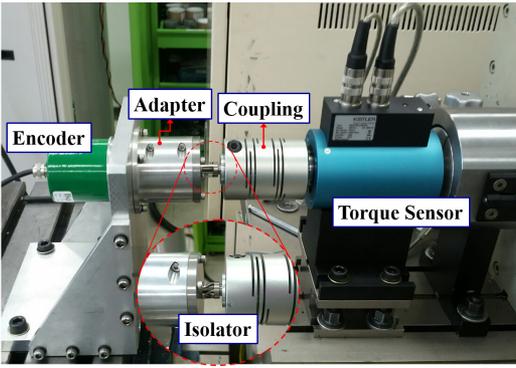


Fig. 6 Rotational stiffness test set-up

시험 결과, 이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동절연기의 회전강성은 141.81 Nm/rad으로 구조해석으로부터 산출된 회전강성 값과 근사함을 알 수 있었으며, 안테나의 고각방향 구동을 위해 요구되는 토크에 대해 소성변형 없이 진동 절연기의 형태가 유지됨을 확인하였다.

2.6 저 회전강성 진동 절연기 적용에 따른 X-밴드 안테나의 수학적 이론 모델

이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기의 적용에 따른 안테나의 진동 특성 변화를 예측하기 위해 상기의 기본특성시험으로부터 얻어진 진동절연기의 회전강성 측정치와 안테나 시스템의 구조형상을 바탕으로 전체 시스템의 이론 모델 및 운동방정식을 도출하여 이에 대한 전달함수 선도를 제시하였다. 스텝핑 모터의 출력축에 장착된 베벨기어에 의해 혼 안테나의 고각 구동이 이루어지는 시스템은 Fig. 7과 같이 간단한 1자유도계 시스템으로 모델링될 수 있으며, 여기서  $J$ 는 회전축에 대한 혼 안테나의 질량관성모멘트,  $k_\theta$ 와  $c_\theta$ 는 모터 단에 장착된 기어모듈의 등가 회전 강성 및 점성 감쇠요소,  $f(t)$ 는 혼 안테나 구동에 의해 발생하는 외란이다. 이 1자유도계 시스템의 회전운동방정식은 다음과 같으며,

$$\ddot{\theta}(t) + c_\theta \dot{\theta}(t) + k_\theta \theta(t) = f(t) \tag{3}$$

상기의 진동 절연기와 혼 안테나의 고각 구동에 대한 회전운동방정식으로부터의 바닥면 전달력은

$$c_\theta \dot{\theta}(t) + k_\theta \theta(t) = f_T(t) \tag{4}$$

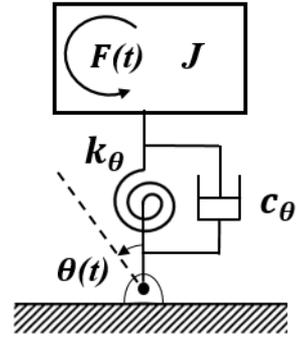


Fig. 7 Theory model of vibration isolation system

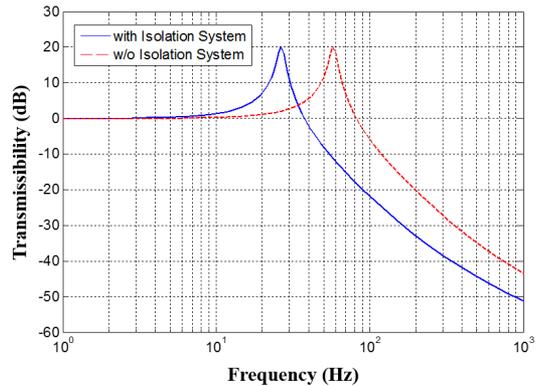


Fig. 8 Comparison of the transmissibility of the with and without isolation system

이다.  $\omega_n = \sqrt{k_\theta/J}$ ,  $c_\theta = 2J\omega_n\xi$ 로 가정하면, 식 (3), (4)의 운동방정식으로부터 외란에 대한 바닥 전달력의 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

$$T.R = \sqrt{\frac{1 + (2\xi r)^2}{(1 - r^2)^2 + 2\xi r}} \tag{5}$$

여기서 주파수 비  $r = \omega/\omega_n$ 로 정의되며  $\omega$ 는 구동주파수이다. Fig. 8은 상기의 식 (5)로부터 도출된 구동주파수에 대한 전달함수 선도를 나타내며, 저 회전강성 진동절연기의 적용에 따른 전체 시스템의 진동 특성을 확인하기 위해 진동 절연기가 미 적용된 시스템과 비교하였다. 이 연구에서 제안된 진동절연기의 적용 유무에 따른 시스템의 주파수 특성은 상기의 운동방정식에서 이 연구의 주요 설계인자인  $k_\theta$ 의 값에 따라 변경되는데, 진동절연기의 적용 없이 베벨 기어에 의해서만 혼 안테나의 구동이 이루어지는

시스템의 경우  $k_{\theta}$ 의 값이 530.45 Nm/rad이나, 이 시스템에 낮은 회전 강성을 갖는 진동 절연기가 추가적으로 직렬 배치될 때의  $k_{\theta}$ 값은 111.50 Nm/rad으로 등가 회전강성 값이 낮아진다. 이로 인하여 진동 절연기가 적용됐을 때 전체 시스템의 1차 고유진동수가 25 Hz로 진동 절연기가 미 적용된 시스템의 1차 고유진동수보다 30 Hz가 감소된 것을 확인할 수 있다. 즉, 베벨기어와 모터 사이에 이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기 적용으로 인해 25 Hz를 기점으로 주파수 분리가 가능하여 상기의 베벨 기어만 적용된 경우보다 향상된 진동 외란력 저감 성능이 기대가능하다.

### 3. 저 회전강성 진동 절연기를 적용한 X-밴드 안테나의 미소진동 절연성능 검증

#### 3.1 시험 구성

Fig. 9는 저 회전강성 진동 절연기의 적용에 따른 X-밴드 안테나의 미소진동 절연성능 측정시험을 위한 형상을 나타낸다. X-밴드 안테나의 조립체가 장착된 지지판을 러버(rubber)계열의 탄성 와이어로 지지하여 3축에 대한 구속 자유 조건에서의 미소진동 측정이 가능한 시스템으로 구성되어 있으며, 상기를 통해 구현된 X-밴드 안테나의 미소진동은 지지판에 부착된 가속도계를 통해 획득된다. 또한, 안테나 구동을 위해 ATmega128 마이크로 컨트롤러 및 모터드라이버(NT-BST2403)를 이용하여 안테나를 구동하였으며, 3.3V, 0.20~0.25A의 전압, 전류가 공급된다.

#### 3.2 미소진동 절연성능 측정시험

Fig. 9의 미소진동 측정시스템을 이용하여 저 회전강성 진동 절연기 유무에 따른 안테나의 미소진동 측정시험을 수행하였으며, 진동 절연기의 성능비교를 위해 선행연구에서 제안한 블레이드 기어 적용시험도 고려되었다. 미소진동 시험은 X-밴드안테나의 실제 궤도 운용을 모사한 TPF 구동프로파일 적용을 통해 안테나의 방위각과 고각방향이 동시에 운용되며 안테나의 구동속도가 가변되는 구동조건에서의 미소진동시험을 수행하였으며, Fig. 10에 해당하는 구동프로파일의 회전각도, 각속도, 각가속도를 나타내었다.

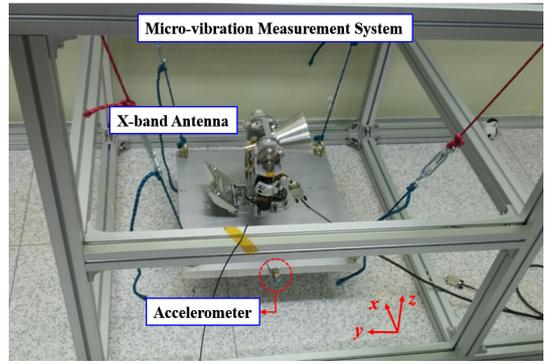


Fig. 9 Test set-up for micro-vibration test of the X-band antenna

이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기의 미소진동 절연성능 확인을 위해 Fig. 10의 TPF 구동 프로파일에 대해 진동 절연기의 적용에 따른 안테나의 외란력을 비교하였으며, 대표적으로 안테나의 방위각과 고각방향이 동시구동이 이루어지는 구간(10~190 sec)에 대한 각 축별 외란력을 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11은 1) 안테나의 방위각 및 고각 단에 절연 시스템이 고려되지 않은 경우, 2) 안테나의 방위각 단에 선행 연구에서 제안한 블레이드 기어가 적용된 경우, 3) 안테나의 방위각 및 고각 단에 블레이드 기어 및 진동 절연기가 적용된 경우의 3가지 조건에 대해 안테나의 외란력 비교를 나타내며, Fig. 11로부터 피크 감소율(peak reduction) 및 표준편차 감소율(standard deviation reduction) 산출을 통해 저 회전강성 진동 절연기 적용에 따른 절연성능을 세부적으로 분석하였다. 이에 대한 분석결과는 Tables 3, 4에 요약하였다. 이로부터 안테나의 방위각에 블레이드 기어 적용 시 저 회전강성 설계가 고려되지 않은 안테나에 비해 x축 외란력에 대한 피크 감소율이 최대 48.48%, 평균 54.91%이며, 표준편차는 53.86%로 큰 감소율을 보임을 확인할 수 있다. 그러나 블레이드 기어의 경우 안테나의 방위각 방향 구동에 대해 미소진동 절연성능이 존재하지만 고각 방향 구동 시 발생하는 미소진동 절연에는 효과가 나타나지 않는다. 따라서 이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기 적용으로부터 상기의 문제점 해결이 가능하였으며, 상기 진동 절연기의 추가 적용 시 블레이드 기어만 적용될 경우에 비해 x축 외란력에 대한 피크 감소율이 최대 58.44%, 평균 40.16%이며, 표준편차는 46.53%로 큰 감소율

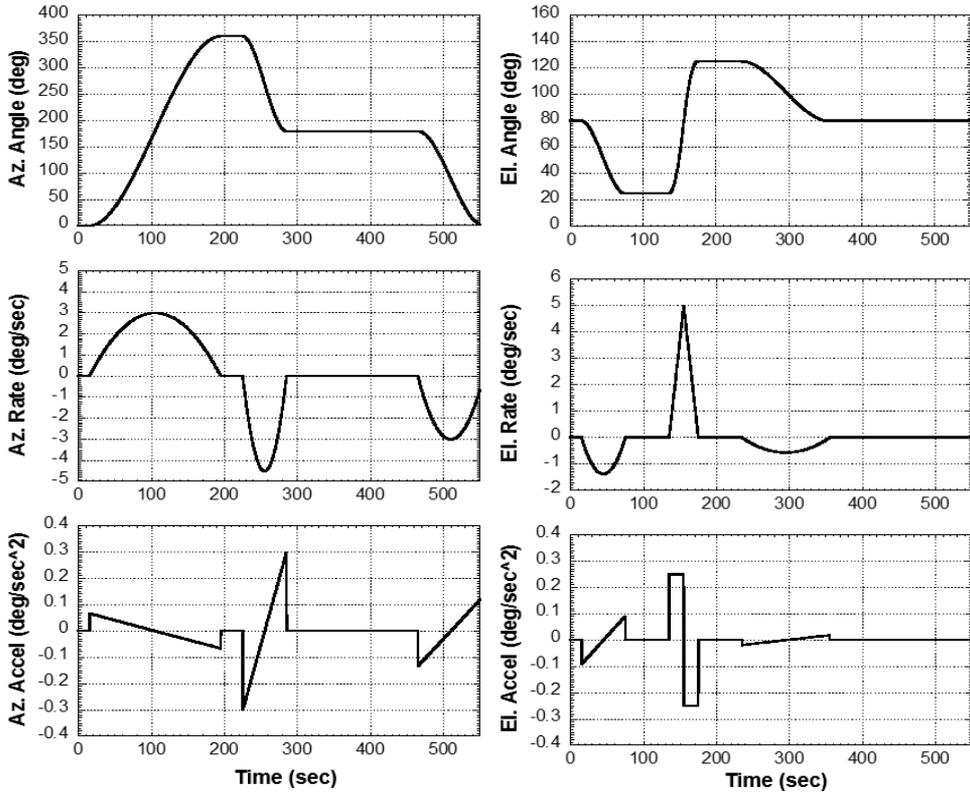


Fig. 10 The X-band antenna driving profile in tracking parameter file(TPF)

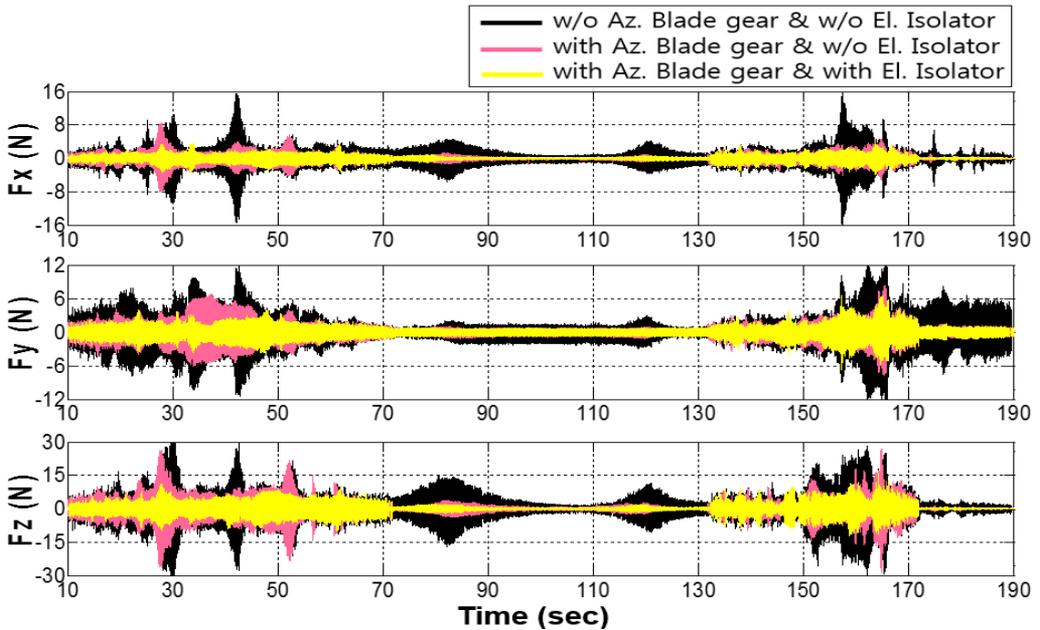


Fig. 11 Comparison of force-time profile in TPF activation for with and w/o the azimuth and elevation isolation system

**Table 3** Disturbance reduction ratio of azimuth isolation system with respect to without isolation system

	Peak reduction (%)		STD deviation reduction(%)
	Max	Mean	
Fx	48.48	54.91	53.86
Fy	35.62	42.62	41.82
Fz	22.90	40.88	32.90

**Table 4** Disturbance reduction ratio of elevation and azimuth isolation system with respect to azimuth isolation system

	Peak reduction(%)		STD deviation reduction(%)
	Max	Mean	
Fx	58.44	40.16	46.53
Fy	40.81	42.42	50.13
Fz	38.24	26.02	27.87

을 보인다. x축 외에 다른 방향의 외란력도 마찬가지로 최소 26.02% 이상의 감소율을 보이고 있으며, 이로부터 이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기 적용 시 안테나의 고각방향 구동에 대한 미소진동 절연에 효과가 있음을 검증하였다.

#### 4. 결 론

2축 짐발 시스템을 갖는 X-밴드 안테나는 일정한 기어비를 갖는 기어모듈과 조합되는 스텝핑 모터에 의해 구동되지만 스텝핑 모터의 구동에 따른 외란과 부정확한 기어의 맞물림 그리고 안테나의 동적 불균형은 미소진동을 유발한다. 미소진동은 진동의 크기가 극히 미소함에도 불구하고 고해상도 영상품질을 저하시키는 주요인이며, 이 연구에서는 안테나의 고각방향 구동 시 발생하는 미소진동을 저감하기 위해 저 회전강성을 부여한 진동 절연기를 제안하였다. 또한, 진동 절연기의 구조건전성을 확인하기 위해 토크 버짓에 기반하여 구조해석을 수행하였으며, 이를 기반으로 제작된 진동 절연기의 기본특성시험을 통해 회전강성을 산출하였다. 아울러, 저 회전강성 진동절연기의 절연성능 검증을 위해 3자유도 구속

자유 조건에 대해서 미소진동 측정이 가능한 미소진동 측정시스템을 고안하였으며, 이를 통해 미소진동 측정시험을 수행하였다. 이로부터 실험분석을 통해 이 연구에서 제안한 저 회전강성 진동 절연기에 의해 안테나의 고각 방향 구동에 대한 미소진동 절연 효과가 있음을 검증하였다.

#### 후 기

이 연구는 2013년 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행했습니다.

(NRF-2012M1A3A3A03033597)

#### References

- (1) Park, J. S. and Yang, K. H., 2010, Trends of the Vibration Isolation System for Spacecrafts, Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 8, No. 2, pp. 54-64.
- (2) Kim, D. K. and Choi, H. T., 2014, Velocity Optimization Method of X-band Antenna for Jitter Attenuation, The 21st International Congress on Sound and Vibration.
- (3) Schmid, M., Yong, S. S. and Lee, S. G., 2009, Extremely Compact Two-axis X-band Antenna Assembly, The 13th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, Session 2: Pointing & Development Mechanism.
- (4) Cheong, S. H. S., Kim, T. H., Jung, J. M., Lee, S. G. and Kim, Y. H., 2013, Design of 2-axis Gimbal Spaceborne X-band Antenna for High Data Rate Payload Transmission, Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, pp. 479-481.
- (5) Lim, J. H., Kim, K. W., Kim, S. W., Kim, J. H. and Hwang, D. S., 2010, Recent Trend of the Configuration Design of High Resolution Earth Observation Satellites, Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 8, No. 1, pp. 45-54.
- (6) Lee, S. G., Lee, J. T., Kang, E. S. and Yong, S. S., 2013, Technical Trends of X-band Antenna for Space Program, Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 11, No. 2, pp. 81-89.

(7) Kim, D. K., Oh, S. H., Kim, H. B., Lee, W. B. and Yong, K. R., 2010, Micro-vibration Test of X-band Antenna with Two-axis Gimbal System, Proceedings of the KSAS Annual Autumn Conference, Vol. 11, No. 2, pp. 927~930.

(8) Jeon, S. H., Kwon, S. C., Kim, T. H., Kim, Y. H. and Oh, H. U., 2014, Micro-vibration Isolation Performance of X-band Antenna using Blade Gear, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 893~899.

(9) Lee, J. H., Ahn, H. S., Wang, S. M. and Choi, S. J., 2011, A Study on Efficient TPF Approximation for Low-orbit Satellites, Proceedings of the KSAS Annual Spring Conference, pp. 1221~1224.

(10) Kim, D. K., Yong, K. L., Choi, H. T. and Park, G. Y., 2012, Micro-vibration Test on a Two-axis Gimbal Antenna System with Stepping Motors, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 11, pp. 1042~1048.

(11) European Cooperation for Space Standardization (ECSS-E-ST-33-01C): Mechanism.



**Su-Hyeon Jeon** is pursuing the master degree in Department of Aerospace Engineering at Chosun University. Her research interests are space structure design and structure analysis and vibration isolation for the space application.



**Jae-Gyeong Lee** received the bachelor's degree in control engineering from Korea Maritime University in 2013. He is currently the pursuing master degree in information and mechatronics at Gwangju Institute of Science

and Technology(GIST). His research interests include electronics engineering and control of space device for improving performance.



**Sae-Han-Sol Jeong** received master degree in Dept. of Electronics and Computer Engineering at Chonnam National University in 2011. He is the entrusted researcher currently in information and mechatronics at Gwangju Institute of Science and Technology(GIST). His research interests are antenna design and analysis, microwave circuit design.



**Myeong-Jae Lee** is the 4th undergraduate student in Department of Aerospace Engineering at Chosun University. His research interests are non-explosive actuator and vibration isolation system for space application.



**Hyun-Ung Oh** received Ph.D. in Dept. of Aerospace Engineering at Tokyo University in 1999. He is currently an assistant professor in Dept. of Aerospace Engineering at Chosun University, republic of Korea. His research interests are space system engineering, space mechanism using smart materials for space application, semi-active vibration control and space thermal control.