

SMA 메쉬 와셔를 적용한 수동형 진동절연기의 미소진동 절연성능 검증

Micro-vibration Isolation Performance Verification for the Passive Vibration Isolator using SMA Mesh Washer

권성철✚ · 전수현* · 오현웅✚

Sung-Cheol Kwon✚, Su-Hyeon Jeon* and Hyun-Ung Oh✚

Key Words : Micro-vibration(미소진동), Isolator(절연기), Pseudoelasticity(의탄성), SMA(형상기억합금)

ABSTRACT

Fly-wheel, Gimbal antenna, CMG, Spaceborne cyrocooler generate micro-vibration during their on-orbit operation as well as implementing their own function. To comply with the mission requirement of high resolution observation satellite, additional technical efforts have been required to isolate the micro-vibration derived from such payloads by applying the vibration isolator. In this study, we proposed a passive isolator using SMA mesh washer, which guarantees the structural safety of both micro-vibration disturbance source and itself under harsh launch vibration loads without an additional holding mechanism and the micro-vibration isolation performance on orbit environment. To verify the micro-vibration isolation performance of the proposed vibration isolator, we performed the micro-vibration isolation measurement test using the dedicated micro-vibration measurement device proposed in this study.

1. 서 론

위성의 자세제어용 액추에이터인 플라이 휠, 안테나의 기계적 구동이 가능한 집벌식 안테나, 자세정보 제어를 위한 기계식 자이로, 임무장비의 극저온 유지를 위한 냉각기, 태양전지판의 태양추적 구동기 등과 같이 기계적 회전 또는 병진 가동부를 갖는 탑재장비는 목적하는 기능을 구현함과 동시에 미소진동을 수반한다. 이러한 진동발생원으로부터의 진동 외란은 그 크기가 극히 미소함에도 불구하고 정밀 지향성능이 요구되는 고 해상도 관측위성의 영상품

질을 저하시키는 주요 원인으로 작용한다. 고해상도 관측위성의 임무요구조건 충족을 위해서는 진동 발생원으로부터의 미소진동이 주요 임무 탑재장비에 전달되지 않도록 진동절연기를 적용하는 방법 또는 저진동 탑재장비를 개발하는 방법 등 추가적인 기술적 노력들이 요구된다.

궤도 미소진동 절연을 구현하기 위해서는 진동절연기 지지구조를 비교적 저강성 탄성 지지구조로 형성함으로써 목적하고자하는 미소진동 절연성능 확보에는 적합한 반면, 극한 진동환경인 발사하중에서 저강성 탄성 지지된 미소진동발생원 및 진동절연기의 구조건전성 확보에는 어려움이 존재하여 추가적인 발사구속장치의 적용이 요구된다. 반면, 발사구속장치 적용 시 구조건전성 확보에는 용이하나, 시스템 전체의 무게증가, 발사구속장치 작동 시 수반되는 충격에 의한 임무장비 손상의 위험성, 분리

✚ 교신저자; 정회원, 조선대학교 항공우주공학과
E-mail : ohu129@chosun.ac.kr

Tel : 062-230-7183, Fax : 062-230-7729

✚ 발표자; 조선대학교 항공우주공학과

* 조선대학교 항공우주공학과

장치의 구속해제 실패 시 궤도상 미소진동절연이 불
가한 단점 또한 존재한다.

본 연구에서는 상기의 단점을 극복하기 위하여 발
사구속장치의 적용 없이도 진동환경이 상이한 발사
환경과 궤도환경에 동시 적용 가능한 수동형 진동절
연기를 제안하였고, 발사하중 및 궤도 미소진동 저
감을 목적으로 의탄성 형상기억합금(Shape Memory Alloy, SMA) 메쉬 와셔를⁽¹⁾ 적용하였다. 수동형 진
동절연기의 궤도 미소진동 절연성능을 측정하기 위
해 별도의 미소진동 측정 장치를 고안하였으며, 이
를 통해 수동형 진동절연기는 설계가 의도한대로 궤
도 미소진동절연에 효과적임을 입증하였다.

2. 의탄성 형상기억합금을 적용한 진동절연기의 미소진동 절연성능 검증시험

2.1 진동절연기의 구성 및 작동원리

Figure 1의 SMA 메쉬 와셔가 적용된 수동형 진
동절연기는 냉각기를 연결하는 고정축과 이를 감싸
는 델린 소재의 고정축 커버, 트랜스퍼라인을 허용
변위인 $\pm 3\text{mm}$ 이내로의 유지를 위한 델린 소재의
변위구속블록, 발사하중에서의 댐핑 특성 부가를 위
한 SMA 메쉬 와셔, 발사 환경에서의 냉각기 고정축
운동 시 메쉬 와셔의 압축을 유발하여 진동에너지를
소산을 부여하는 스틸 와이어로 구성된다.

Figure 2는 4개의 수동형 진동절연기와 결합된
냉각기 조립체의 형상을 나타내며, 극저온 냉각을
위해 헬륨가스가 통과하는 트랜스퍼라인, 극저온 냉
각시 발생하는 냉각기의 열수송을 위한 히트파이프
로 구성된다. 냉각기에 적용된 진동절연기는 발사환
경에서 냉각기의 모멘트 발생에 따른 트랜스퍼라인
의 손상을 방지하기 위하여 냉각기의 동일 중심면상
에 45° 각도로 배치되어 변위구속블록과의 조합으로
추가적인 발사구속장치 없이도 발사환경에서의 구조
건전성 확보가 가능한 장점이 있다. 궤도 0g 환경에
서는 발사하중에 의해 큰 변형이 유발된 SMA 메쉬
와셔가 의탄성 거동으로 소성변형 없이 초기형상으
로 복원함에 따라 냉각기가 공칭 위치(Nominal
Position)로 이동함으로써 스틸 와이어의 장력이 이
완되고, 이와 동시에 냉각기에 구비된 트랜스퍼라인
과 히트파이프로부터 냉각기가 저장성 탄성 지지되
도록 하여 냉각기 운용 시 발생하는 주 가진 주파수

와의 충분한 주파수 분리로 미소진동 절연성능을 구
현 하고자 한다.

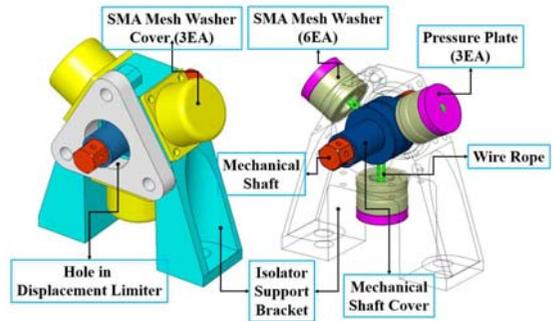


Fig. 1 Passive Launch and On-orbit Vibration Isolator using SMA Mesh Washer

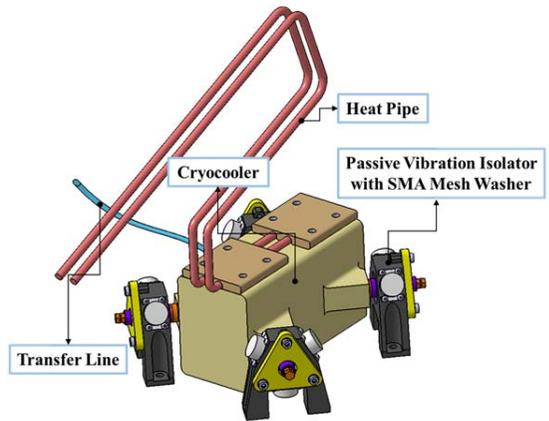


Fig. 2 Cryocooler Assembly supported by SMA Mesh Washer Isolators

Table 1 Natural Frequency and Damping Ratio of Cooler Assembly

Vibration Env.	Natural Frequency (Hz)			Damping Ratio (ζ)		
	x	y	z	x	y	z
Launch	11	24.4	20.8	0.25	0.31	0.22
On-orbit	8.5	8.8	9.8	0.20	0.18	0.14

2.2 더미 냉각기 조립체의 기본 특성

더미냉각기 조립체 수준에서 자유감쇠진동시험을
수행하였으며, Table. 1은 1g환경에서 각 축 방향에
대해 3mm의 최대 가용변위를 인가 후 자유 감쇠진
동 하에서 측정된 주파수응답 및 댐핑비를 나타낸
다. 극한 진동레벨의 발사환경 영역에서는 인가 변

위에 따른 강성 및 댐핑이 증가하는 SMA 메쉬 와셔에 의한 거동특성으로 상대적으로 고유진동수 및 감쇠비가 높은 수치를 나타내며, 이로부터 발사환경에서의 큰 진동레벨을 효과적으로 감쇠 가능성을 유추할 수 있다. 진동이 감쇠되어 냉각기의 궤도 운용 시 발생하는 미소진동레벨에 해당하는 가속도영역에서는, 1g 조건에 의한 37.24N의 냉각기 자중이 작용하였음에도 불구하고, 약 8Hz의 저주파 응답특성이 지배적으로 나타나 냉각기의 궤도 운용 시 발생하는 주 가진 주파수 36Hz와의 충분한 주파수 분리가 가능하여 미소진동 절연에 유효할 것으로 추정된다.

2.3 시험 구성

Figure 3은 진동절연기의 궤도 미소진동 절연성능 측정시험을 위한 전체 개략도를 나타내며, 지지판위에 장착된 수동형 진동절연기 및 이와 결합된 더미 냉각기 조립체, 지지판을 러버(Rubber) 계열의 탄성와이어로 지지하여 Free-Free 조건에서 미소진동이 측정 가능한 시스템, 실제 냉각기의 트랜스퍼라인과(9.8N/mm) 히트파이프의(0.98N/mm) 강성을 모사하기 위한 코일 스프링, 궤도환경 모사를 위해 저장성 탄성와이어로 제작된 0g 장치로 구성되어 있다. 더미 냉각기의 경우, 실제 우주용 냉각기의 궤도 운용 시 발생하는 냉각기 길이 방향 주 가진 주파수 36Hz에서의 최대 전달력 2.5N을 모사하기 위해 더미 냉각기 내부에 주 가진 주파수와의 동조를 위해 플레이트 스프링으로 지지된 영구자석을 배치하고, Function Generator로부터 생성된 신호를 Power Amplifier를 통해 영구자석 외주연에 감긴 코일로 인가하면, 영구자석은 코일 내부에 발생하는 기전력에 의해 선형 왕복운동을 하게 되며 이로 인해 우주용 냉각기 모사가 가능한 미소진동이 발생한다. 상기를 통해 구현된 더미 냉각기로부터의 미소진동은 지지판에 부착된 가속도계를 통해 획득하고, 무게로부터 냉각기가 발생하는 전달력을 산출하였다.

2.4 미소진동 절연성능 측정시험

본 연구에서 구현하고자하는 궤도상 미소진동절연 원리는 우주용 냉각기의 길이방향 (y -axis) 주 구동 주파수와의 충분한 주파수 분리를 실현시키는 것으로, 궤도상에서는 냉각기를 저장성 탄성 지지함으로

써 목적하고자 하는 미소진동 절연성능을 구현할 수 있다. Table. 1의 1g 환경에서 측정된 더미 냉각기 조립체의 고유진동수에 기인하여, 미소진동레벨의 가속도 영역에서는 냉각기의 주 가진축인 y 축에 대해 더미 냉각기 조립체의 고유진동수가 약 8Hz 대역에 존재하며, 궤도 0g 환경에서는 스틸와이어의 장력이 이완됨으로써 트랜스퍼라인과 히트파이프에 의해 냉각기 조립체의 저장성 탄성지지구조를 구현하게 된다. 궤도상 냉각기 조립체의 공칭위치는 본 연구에 적용한 SMA 메쉬 와셔의 의탄성 거동에 의해 복귀된다.

Figure 4는 궤도 미소진동 시험으로부터 획득된 기저면 전달력의 시간이력을 나타내며, 진동절연기의 절연성능 비교를 위한 강체 구속조건, 궤도 미소진동 절연성능 검증을 위한 0g조건, 설계가 의도한 공칭위치의 범위를 초과한 최악의 상태에서의 경향성 분석을 위한 1g조건에서의 시험 결과를 나타낸다. 강체 구속조건에서 발생하는 냉각기의 주 구동 주파수인 36Hz에서의 최대 전달력 2.5N에 대해 궤도환경을 모사한 0g 조건에서는 설계가 의도한대로 스틸와이어의 장력이 이완되어 트랜스퍼라인과 히트파이프의 강성치를 모사한 스프링으로 더미 냉각기 조립체의 저장성 탄성지지구조가 구현되어 강체 구속조건 최대 전달력 대비 8배 이상의 뛰어난 미소진동 절연성능이 확보됨을 입증하였다. 냉각기 자중에 의해 37.24N이 중력방향으로 작용하는 1g 조건에서는 스틸 와이어에 장력이 인가됨에 따라 냉각기가 발생하는 외란력이 진동절연기 지지구조체를 통해 전달되나 궤도상에서는 예측 할 수 없는 최악의 조건에서도 증폭 없이 강체구속조건과 유사한 수준으로 기저면에 전달됨을 알 수 있다. 이는 0g 환경인 궤도환경에서는 재현성이 낮은 결과이며, Table. 1의 자유감쇠진동시험 결과로부터 측정된 1g 조건에서의 냉각기 조립체의 고유진동수가 약 8Hz 대역에 존재하기 때문에 궤도상에서는 스틸와이어의 장력이 이완되어 트랜스퍼라인과 히트파이프에 의해 냉각기 조립체의 저장성 탄성지지가 가능하여 냉각기의 주 가진 주파수와의 주파수 분리를 통한 미소진동절연이 가능할 것으로 판단된다.

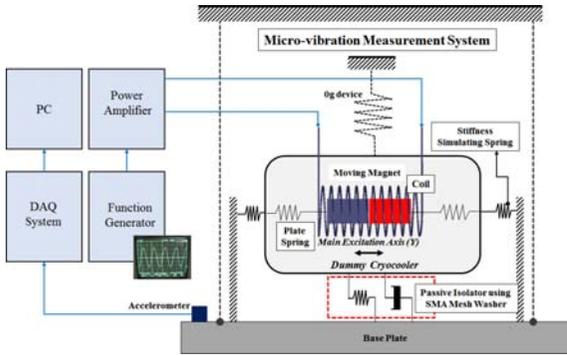


Fig. 3 Whole Schematic Diagram for the Micro-vibration Isolation Performance Test

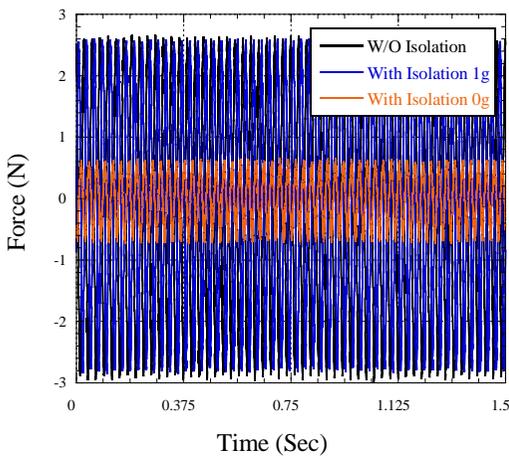


Fig. 4 Force at Time Profile

3. 결 론

의탄성 형상기억합금 메쉬 와셔를 적용한 진동절연기를 제안하였으며, 궤도 미소진동 절연성능 측정 시험을 통해 냉각기의 주 가진 주파수 36Hz에서의 최대 전달력 2.5N에 대해 최대 8배 이상의 미소진동절연 효과가 있음을 입증하였다. 또한, 공칭위치에서 공차가 $\pm 3\text{mm}$ 범위내로 존재하더라도, 시스템의 고유진동수는 8Hz 범위에 존재하여, 궤도 미소진동절연에 유효할 것으로 판단하였다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 우주핵심기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다(NRF-2013 M1A3A3A02041817)

참 고 문 헌

- (1) S. H. Youn, H. K. Jeong, J. H. Han, "Comparisons of Isolation Performances for the SMA Mesh Washer Isolator with the Variation of Pre-compressed Displacement", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 162~168.