

압전 작동기 PUMPS 를 이용한 불균형 휠의 미소 진동 제어 Active Vibration Isolation of Disturbances Generated by Imbalance Wheel using Piezoelectric Actuator PUMPS

이대은* · 강래형* · 한재홍†

Dae-Oen Lee*, Lae-Hyong Kang* and Jae-Hung Han†

1. 서 론

위성체의 다양한 임무장비는 인공위성에 사용되는 다양한 구동기 (반작용 휠, 극저온 냉각기, 등등)에 의한 진동 환경에 노출되어 있다. 이와 같은 진동 환경의 진동 수준은 매우 작지만 우주 공간에는 별도의 감쇠 요인이 없기 때문에 지속적인 미소 진동이 발생하게 된다. 이러한 미소 진동은 jitter 라고도 불리는데 jitter 는 관측 탑재체를 통해 획득한 영상의 품질을 심각하게 저하시킬 수 있기 때문에 진동원에서 고정밀 탑재체로 전달되는 진동 수준을 저감시킬 수 있는 기술이 필요하다⁽¹⁾. 진동을 제어하는 방식은 크게 수동, 반능동, 능동 방식으로 분류할 수 있다. 능동 진동 제어는 수동적 제어 방식에 비해 작동기, 제어기 등 추가적 요소가 요구되지만 외부 환경 또는 시스템 구성 변화에 능동적으로 대처할 수 있으며 수동적 진동 제어 방식 보다 좋은 성능을 가질 수 있다. 특히 기존의 작동기에 비해 고체상태 작동을 하는 스마트 재료 기반 작동기는 간단한 구조에 가볍고 에너지 밀도가 높기 때문에 경량화가 중요한 항공우주 분야에 더욱 적합하다.

본 연구에서는 초기 응력이 가해진 기저 구조물을 이용한 압전 유니모프(Piezoelectric Unimorph with Mechanically Pre-stressed Substrate; PUMPS⁽²⁾)을 활용한 진동 제어 시스템을 제작하였으며 이를 통해 불균형 휠의 미소 진동에 의한 영상 품질 저하 현상과 진동 절연을 통한 영상 품질 개선 효과를 시연할 수 있는 시스템을 구축하였다.

2. PUMPS 작동기

압전 재료는 에너지 변환 효율이 높고, 단위 부피당 발생 힘이 크며, 높은 주파수에서 작동 가능하며, 위치 정밀도가 높은 장점이 있지만 압전 작동에 따라 유발되는 길이 방향 변형률이 0.1~0.2% 정도로 매우 작은 단점이 있다⁽³⁾. PUMPS 작동기는 이러한 단점을 극복하기 위해 개발된 곡면형 작동기로서 복잡한 고온 제작 과정을 요구하는 기존의 pre-stressed 압전 작동기에 비해 그 제작 기법이 매우 단순한 작동기이다. PUMPS는 Fig.1과 같이 상온에서 기저 구조물에 미리 기계적으로 인장을 가한 상태에서 압전 재료를 부착한 다음 초기 응력을 제거함으로써 고온 설비나 재분극 과정 없이 빠르고 간편하게 제작할 수 있다. 이와 같이 단순한 방법으로 제작된 PUMPS의 작동변위와 작동력은 대표적인 pre-stressed 작동기인 THUNDER (TH-8R)와 유사한 성능을 보이는 것을 확인하였다⁽²⁾.

3. PUMPS 작동기를 활용한 진동 제어 시스템

본 장에서는 PUMPS 작동기를 활용하여 능동 진동 제어를 수행하였으며, 지지 능력 증대 및 힘 증

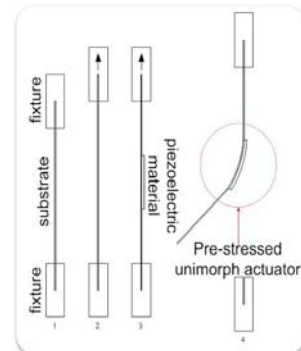


Fig. 1 Fabrication process for PUMPS.

† 교신저자: KAIST 항공우주공학전공
E-mail : jaehunghan@kaist.edu
Tel : 042-350-3723, Fax : 042-350-3710
* KAIST 항공우주공학전공

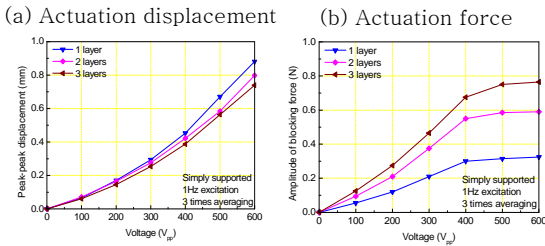


Fig. 2 Effect of number of stacked layers on the performance of the actuator system.

폭을 위하여 수직방향 복층형 PUMPS 작동 시스템을 설계하여 적용하였다. 설계된 작동기 시스템을 사용해 적층수에 따른 작동 변위 및 작동력 변화를 실험해 보았으며 그 결과 적층수에 따라 작동력은 비례하여 증가하며 작동 변위는 조금 감소되는 것을 확인하였다 (Fig. 2). 최종적으로 단층형 작동기 세 층을 적층하여 진동 제어 시스템을 구축하였다.

세 층으로 구성된 진동 제어 시스템을 사용하여 Fig. 3과 같이 구성된 진동 절연 실험을 수행하였다. 진동원으로는 인공위성에서 가장 큰 미소 진동원으로 알려진 반작용휠의 진동을 모사하기 위해 불균형을 가진 휠을 사용하였으며 광학 탐재체를 모사하기 위해 CCD 카메라를 진동 제어 시스템 위에 장착하여 영상을 획득하였다. 압전 재료는 작동기 뿐 아니라 센서로도 사용될 수 있기 때문에 가장 윗 층에 있는 PUMPS를 센서로, 아래층 두 PUMPS는 작동기로 사용하였다. PUMPS 센서에서 감지되는 신호는 속도의 일종인 strain rate이며 이를 사용하여 NVF (negative velocity feedback) 컨트롤러를 DS1103 DSP 보드를 통해 구성하였다.

불균형 휠이 회전할 경우 발생하는 진동은 구조체를 타고 진동 제어 시스템 위에 장착된 CCD 카메라에 전달되어 획득되는 영상의 품질을 저하시킨다. 이때 진동 제어기를 구동하면 CCD 카메라로 전달되는 진동이 크게 줄어들게 되며 이를 통해 결과적으로 획득되는 영상의 질을 향상시킬 수 있다.

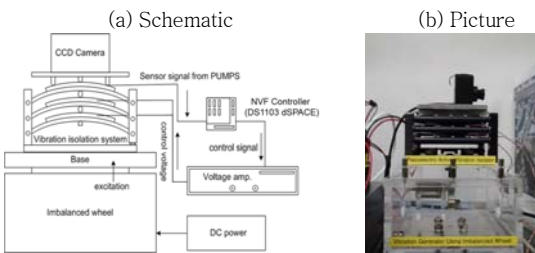


Fig. 3 Vibration isolation demonstration system using PUMPS actuators.

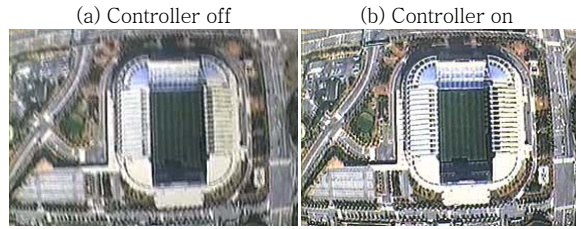


Fig. 4 Comparison of acquired image without and with vibration control.

Fig. 4 는 진동 제어기를 구동하기 전 획득한 이미지의 흐린 현상이 진동 제어를 할 경우 거의 없어져 훨씬 더 선명한 이미지를 획득할 수 있는 것을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 곡면형 압전 작동기 PUMPS를 세 층으로 적층하여 구성된 진동 제어 시스템을 사용하여 불균형 휠에서 발생하는 미소 진동에 의한 광학 탐재체의 성능 저하와 진동 제어를 통한 성능 향상을 실험적으로 시연하였으며 진동 제어를 하지 않은 경우와 한 경우 획득한 이미지를 비교함으로써 개발된 진동 제어 장치의 효과를 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로 부터 지원받아 수행되었습니다(과제번호 2009-0091934).

참 고 문 헌

- (1) Anderson, E.H., Fumo, J.P. and Erwin, R.S., 2000, Satellite Ultraquiet Isolation Technology Experiment(SUITE), Proceedings of IEEE Aerospace Conference, Vol. 4, pp.299-313.
- (2) Kang, L.H. et al., 2009, Development of a Piezoelectric Unimorph using a Mechanically Pre-Stressed Substrate, Smart Materials and Structures, Vol.18, No.10, 104007.
- (3) Park, S. E. and Shrout, T. R., 1997, Ultrahigh Strain and Piezoelectric Behavior in Relaxor Based Ferroelectric Single Crystals, Journal of Applied Physics, Vol. 82, No. 4, pp.1804~1811.