

FxLMS 알고리즘을 적용한 하이브리드 미소진동 절연장치의 절연성능 평가

Performance Evaluation of Hybrid Vibration Isolator using FxLMS algorithm

이 대 은 † · 박 지 용* · 한 재 흥 †

Dae-Oen Lee, Geeyong Park, Jae-Hung Han

Key Words : FxLMS Algorithm (FxLMS 알고리즘), Hybrid Vibration Isolator (하이브리드 진동절연장치)

ABSTRACT

Vibration disturbances generated by reaction wheels may cause serious problems in high precision pointing spacecraft missions. Implementation of vibration isolator is a practical solution to meet the high pointing stability requirement placed on precision payloads. In this paper, development of hybrid vibration isolator that combines passive and active component is described. Vibration isolation performance of the developed isolator is evaluated using reaction wheel disturbance model. Hybrid isolation results obtained using FxLMS algorithm show clear improvement compared to the results obtained using only passive means.

1. 서 론

인공위성에 탑재된 고정밀 임무 장비들은 매우 높은 지향 안정성을 요구한다. 위성의 자세제어에 사용되는 반작용휠은 플라이휠의 회전속도를 가감속시키는 원리로 작동하는데, 위성 임무 중 반작용휠의 등속 회전은 위성의 탑재된 다른 임무 장비에 지속적인 가진원으로 작용하며 위성의 지향 안전성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 반작용휠에 의한 교란은 플라이휠의 정적 및 동적 불균형, 베어링의 불규칙성, 모터 토크 리플 및 코깅에 의해 발생하며 반작용휠의 회전속도에 비례하는 조화성분을 가진다⁽¹⁾. 반작용휠의 운용 속도 범위가 넓고 지속적으로 변하기 때문에 교란의 주파수 특성도 지속적으로 변하며 넓은 주파수 대역을 가진하게 된다.

본 연구에서는 반작용휠의 교란으로부터 고정밀 임무 장비들을 보호하기 위해 수동 요소와 능동 요소를 결합한 하이브리드 진동 절연 장치를 개발하였으며 반작용휠 교란 특성을 고려해 FxLMS (filtered-x least mean squares) 알고리즘을 적용하여 진동 절연 성능을 평가하였다.

2. 하이브리드 진동 절연장치 성능 평가

2.1 진동 절연 장치 설계

하이브리드 진동 절연장치는 수동 요소로 기본적인 절연 성능을 확보하고 능동 요소로 교란의 특성을 반영해 절연 성능을 조절할 수 있는 장점을 가진다. 하이브리드 절연장치 개발을 위해 먼저 수동 절연 장치를 구성하였다. 수동 절연 장치는 스프링과 스프링으로 지지된 감쇠 요소가 평행으로 연결된 3 파라미터 형태로 구성하였는데 3 파라미터 절연 장치의 경우 감쇠 값과 스프링 값을 적절하게 조절하면 일반적인 2 파라미터 절연 장치와 달리 공진에서 높은 감쇠와 고주파수 영역에서 높은 절연 성능을 동시에 확보할 수 있다⁽²⁾. 3 파라미터 수동 절연 장치는 벨로우즈(bellows)와 점성유체를

† 교신저자; KAIST 항공우주공학전공

E-mail : jaehunghan@kaist.ac.kr

Tel : 042-350-3723, Fax : 042-350-3710

‡ 발표자; KAIST 항공우주공학전공

* KAIST 항공우주공학전공

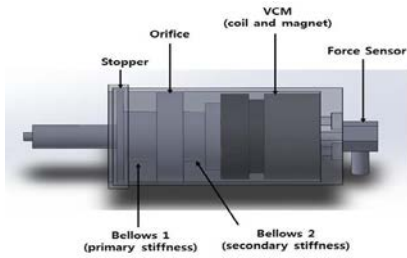


Fig. 1 Designed hybrid vibration isolator

사용하여 구성하였다. 능동 요소로는 작동기, 센서, 제어기가 있으며 본 연구에서는 전자석 작동기, 힘 센서, FxLMS 알고리즘을 사용해 능동 절연을 구현하였다. 설계된 절연 장치는 Fig. 1과 같다.

2.2 FxLMS 알고리즘

FxLMS 알고리즘은 LMS 알고리즘의 일종으로 소음 및 진동 제어뿐 아니라 신호처리와 관련해서도 널리 쓰이는 적응제어 기법이다. LMS 기법의 목표는 n 차원의 FIR 필터(W)를 사용하여 여러 신호의 mean square error (MSE, ϵ)를 최소화 하는 피드포워드 제어 신호를 생성하는 것이다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 형태로 FxLMS 알고리즘을 적용하였으며⁽³⁾ secondary plant의 모델은 LMS 필터를 사용하여 시스템 특성을 파악하는 방법 (시스템 ID)으로 대체하였다.

2.3 성능 평가 시험

개발한 하이브리드 진동 절연 장치에 FxLMS 알고리즘을 적용하여 반작용휠 교란에 대한 단축 절연 성능 평가를 수행하였다. 반작용휠에서 발생하는 진동 특성을 가지는 신호를 가진기를 통해 절연장치에 가했으며 2개의 힘 센서를 통해 발생하는 교란과 절연된 교란을 측정하여 능동제어와 절연 성능 평가에 사용하였다. FxLMS 제어를 위해 사용된 제어용 LMS 필터의 차수는 100, 시스템 ID에 사용된 LMS 필터의 차수는 2이다.

반작용휠의 회전속도는 20~100 Hz를 10 Hz 씩 증가하면서 수행했으며 Fig.3 은 회전속도가 40 Hz에서 측정된 시험 결과다 (하이브리드의 경우 LMS 필터 계수가 수렴한 후의 결과로 비교했다). 수동 절연 장치를 통해 고주파수 대역의 교란은 거의 절연됐지만 40 Hz 성분은 비교적 크게 남아 있는 것을 확인할 수 있다. 하지만 FxLMS 제어를 추가한 하이브리드 시험 결과에서는 40 Hz 성분도 거의 다 절연된 것을 볼 수 있다.

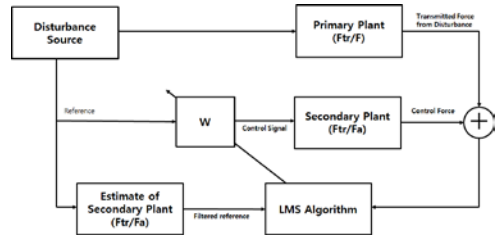


Fig. 2 FxLMS algorithm for vibration isolation

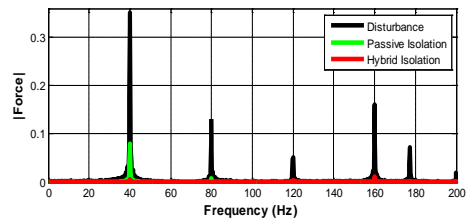


Fig. 3 Isolation test result (wheel speed: 40 Hz)

3. 결 론

본 연구에서는 반작용휠 교란 절연을 위해 수동 요소와 능동 요소를 결합한 하이브리드 형태의 진동 장치를 개발했으며 FxLMS 알고리즘을 적용하여 하이브리드 절연 성능을 평가한 결과 수동 절연에 비해 FxLMS 제어를 추가함으로써 진동 절연 성능을 크게 향상시킬 수 있는 것을 확인하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) R. A. Masterson, 1999, Development and validation of empirical and analytical reaction wheel Disturbance Models, Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- (2) Lee, D.-O., Park, G., and Han, J.-H., 2014, Development of vibration isolation platform for low amplitude vibration, Proceedings of SPIE, 905708-1~905708-7.
- (3) Widrow, B., and Stearns. S. D., 1985, Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall PTR, New Jersey