

인공위성 반작용휠의 미소진동 측정/해석기법 및 결과

Measurement and Analysis Method of Satellite Reaction Wheel Micro-Vibration

오시환† · 김대관* · 이선호* · 용기력*

Shi-Hwan Oh, Dae-Kwan Kim, Seon-Ho Lee and Ki-Lyuk Yong

1. 서론

고해상도 영상 획득 임무를 수행하는 인공위성의 경우, 임무 수행 중 위성 내부에 존재하는 다양한 진동원에 의해 발생하는 미소 진동은 탑재체 또는 다른 센서 등의 성능을 저하시킬 수 있다. 이러한 진동원으로는 내부에서 로터가 끊임없이 회전해야 하는 반작용휠, 지속적인 전력 생산을 위해 태양을 지향 하도록 하기 위한 태양전지판의 구동, 지구 지향 안테나의 운동, 연료 탱크 안의 연료의 움직임 등이 존재한다. 태양전지판이나 안테나는 일시적으로 구동을 정지시켜 진동원을 차단할 수 있으며 연료 탱크 내의 연료의 움직임도 위성의 자세가 안정적으로 유지된다고 가정할 때 그 영향이 크지 않을 수 있으나 반작용휠은 정확한 목표 지향을 위해 계속적으로 구동되어야만 하는 구동기이므로 탑재체의 성능 저하를 일으키는 주요 원인으로 취급되고 있으며 위성 선진국에서는 반작용휠에서 발생하는 진동의 저감을 위한 여러 가지 방법들이 이미 다양하게 활용되고 있다. 본 연구에서는 반작용휠에서 발생하는 진동이 탑재체 카메라에 미치는 영향을 분석하기 위해 먼저 수행되어야 하는 반작용휠의 미소 진동 분석 방법 및 제안된 방법에 따라 수행된 미소 진동의 분석 결과를 소개한다.

2. 반작용휠 진동 측정 방법

2.1 측정 장비

인공위성 반작용휠의 미소 진동을 측정하기 위한 장비의 구성은 Figure 1 과 같다. 크게, 반작용휠을 구동시키기 위한 전원과 반작용휠의 진동 데이터를 측정하기 위한 6 자유도 정밀 센서, 반작용휠의 속도 제어 및 반작용휠에서 발생하는 진동 데이터를 저장하기 위한 이산신호처리 보드가 장착된 PC, 바닥에서 들어오는 진동을 차단하기 위한 공압 스프링 시

† 교신저자; 한국항공우주연구원 위성제어팀
E-mail : oshysh@kari.re.kr
Tel : (042) 860-2446, Fax : (042) 860-2898
* 한국항공우주연구원 위성제어팀

스템으로 구성되어 있다. 이중 가장 중요한 것은 6 자유도 힘 및 토크를 측정하기 위한 센서이며 본 시험에서는 1400Hz 부근에서 공진 주파수를 가지고 있는 KISTLER 사의 6 자유도 힘/토크 측정 센서를 사용하였다.

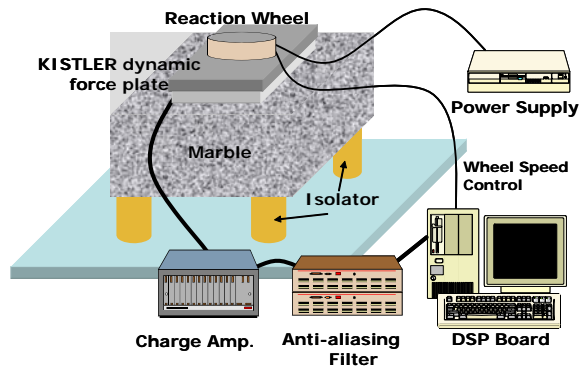


Figure 1 Reaction Wheel Micro-Vibration Test Setup



Figure 2 KISTLER Force Plate Type 9255B

2.2 반작용휠의 운용

반작용휠의 미소 진동을 측정하기 위해서는 임무 수행 중 운용되는 반작용휠의 모든 속도 영역에 대해서 약 400~500 Hz 영역까지의 진동이 측정되어야만 한다. 이를 위해 반작용휠을 매 속도마다 고정시켜 놓고 반복적으로 진동 측정을 수행해야 하나 운용 영역이 큰 경우, 또는 흠뻑한 속도 간격에 대해서 반작용휠의 진동을 측정하고자 할 경우 측정 시간과 노력이 상당히 오래 걸린다. 그러므로 이러한

경우 반작용휠의 회전 방향 마찰력이 일반적으로 매우 작은 특성을 고려하여 반작용휠을 최대 속도로 끌어 올린 후 자유 감속 시키는 상태에서 진동을 측정 후 측정 데이터를 이용하여 원하는 임의의 속도에서 진동 특성을 분석하는 방법을 이용한다. 이 경우 마찰력에 의한 반작용휠의 감속량이 분석하고자 하는 주파수 분해능에 비해서 작은 경우에만 가능하므로 가능 여부를 확인한 후에 적용해야만 한다.

3. 측정 결과의 분석/처리 방법

3.1 측정 결과의 시간 영역 분석/처리

KISTLER force plate 는 3 축 힘 성분과 3 축 토크 성분을 동시에 측정하도록 설계되어 있다. 이들 6 자유도 성분은 위성을 가진 시키는 독립적인 외란으로 작용하기 때문이다. 일반적으로 센서 위에 반작용휠이 장착되면 센서의 무게 중심보다 높은 위치에 반작용휠이 장착된다. 그러므로 반작용휠에서 발생하는 힘 성분이 센서의 힘 성분뿐만 아니라 토크 성분에도 부가적인 영향을 미치게 된다. 그러므로 측정 데이터로부터 반작용휠에서 나오는 순수한 토크 외란을 정확하게 추정하기 위해서는 다음과 같은 높이 (H) 보정을 수행해야만 한다.

$$\text{Torque}_{\text{recovered}} = \text{Torque}_{\text{measured}} - H \cdot \text{Force}_{\text{measured}}$$

이러한 보정을 통하여 얻어진 토크 신호는 Figure 3 에 나타나 있다.

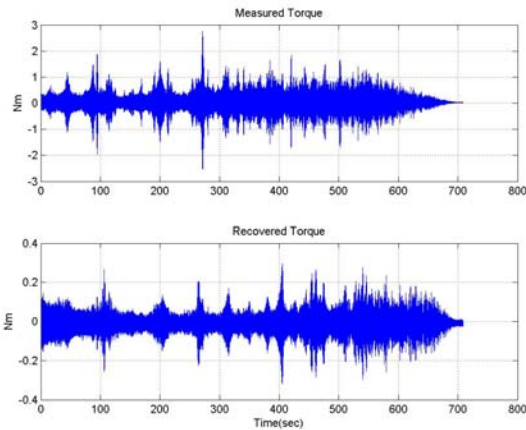


Figure 3 Comparison of Measured Torque and recovered Torque

3.2 측정 결과의 주파수 영역 분석/처리

반작용휠을 자유 감속 시킨 상태에서 진동 데이터를 측정할 경우, 회전 속도가 서서히 감소하므로 Figure 4 와 같이 스펙트럼을 구하고자 하는 속도를

중심으로 데이터를 취하여 속도의 변화가 크지 않은 범위 내에서 FFT 평균을 취하여 계산한다.

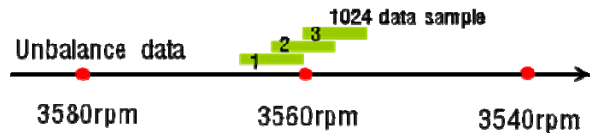


Figure 4 Concept of Data Selection for Spectrum Analysis

3.3 하모닉 성분의 분석/처리

일반적으로 하모닉 성분의 추출은 order tracking 기법을 이용하여 추출하며 이 order tracking 기법은 데이터 샘플링 주기를 회전 속도에 동기 시켜서 회전 속도의 변하더라도 마치 일정한 주파수의 크기를 측정하는 것 같은 효과를 이용한다. 그러나 이미 일정한 샘플링 주파수에 대해 측정된 반작용휠 데이터에서 하모닉 성분을 추출할 때는 order tracking 기법을 이용할 수 없으므로 다음과 같이 Anti-notch filter 를 이용하여 원하는 주파수 성분을 시간영역에서 추출한 후 그 크기를 측정하는 방법을 이용하였다.

$$\text{Anti Notch filter} = \frac{2(1-\rho) \cos 2\pi f z + \rho^2 - 1}{z^2 - 2\rho \cos 2\pi f z + \rho^2}$$

이 때 주파수(f)는 회전 속도에 동기 시킴으로써 notch filter 의 주파수도 함께 서서히 변하게 된다. 그 결과는 Figure 5 에 나타나 있다.

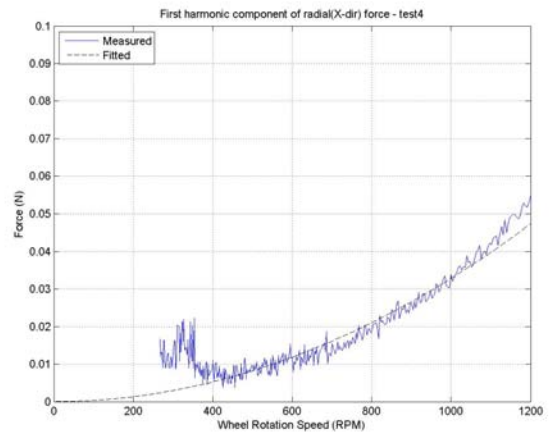


Figure 5 First Harmonic Component of Force Disturbance

4. 결론

반작용휠의 미소진동 데이터를 이용하여 시간 영역 그리고 주파수 영역에서 미소진동원을 규명하는 방법을 설명하였고 그 결과를 확인하였다.