

## 반작용휠의 미소진동 측정법에 관한 실험적 연구

### Experimental Study on Micro-vibration Measurement Methods of a Reaction Wheel

김대관† · 오시환\* · 이선호\* · 용기력\*

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

#### 1. 서론

인공위성의 자세제어에 필요한 토크의 발생과 각 운동량의 저장의 목적으로 사용되고 있는 반작용 휠(RWA)은 위성의 주요 진동원으로서 운영 시 발생하는 미소진동에 대한 지터해석이 필수적이다[1]. 이러한 지터해석을 수행하기 위해 사용되는 반작용휠의 미소진동 특성분석은 미소진동 시험으로부터 측정된 6 축 교란력을 이용하여 수행되며, 시간영역 및 주파수 영역에 대한 진동특성 분석으로 이루어진다.

반작용휠의 교란력 측정을 위한 미소진동 시험방법은 크게 최대 운영속도에서 마찰감쇠에 의한 감속을 이용하는 자유감속법(free run-down)과 일정한 운영속도에 대해서 수행되는 일정속도법(constant speed)으로 나눌 수 있다. 주로 자유감속법을 이용한 미소진동 측정 및 분석이 수행되어 왔으며[2], 아직까지 이러한 미소진동 측정방법들에 대한 비교분석이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 반작용휠의 미소진동 측정법에 대해서 비교분석을 수행하였다. 자유감속법과 일정속도법에 대해서 스펙트럼(spectrum), 불균형 질량(imbalance mass) 및 RSS(root sum square) 분석을 수행하였으며 측정법에 따른 미소진동 특성을 고찰하였다.

#### 2. 미소진동 시험 및 분석법

##### 2.1 미소진동 시험

반작용휠의 진동특성을 측정하기 위해서 한국항공우주연구원 위성제어팀에서 보유하고 있는 미소진동 측정장치 시스템을 이용하였다. 시험에 사용된 반작용휠은 자세제어용 반작용휠로서 동적 진동원을 6 축 방향에서 동시에 측정할 수 있는 KISTLER 위에 고정치구를 이용하여 장착하였다. 미소진동 측정은 Fig. 1에 나타나있는 것과 같이 KISTLER로부터 측

정된 6 자유도 진동을 DSP Board 를 이용하여 저장하였으며, Anti-aliasing filter 를 이용한 Low pass filter 신호처리를 병행하였다. 본 시험에서는 미소진동 시험방법에 대한 비교분석을 위하여 동일한 반작용휠에 대해서 자유감속법(free run-down method)과 일정속도법(constant speed method)을 적용하여 미소진동 측정을 수행하였다.

##### 2.2 미소진동 분석법

본 시험에서 사용된 미소진동 시험법인 일정속도법의 경우 25 ~ 825 rpm 까지 25rpm 간격으로 수행되며, 각 속도조건에 대해서 휠 속도제어기를 이용하여 80sec 의 안정화 기간을 거친 후 20sec 의 신호를 측정하였다. 이에 비해서 자유감속법은 휠의 최대속도인 1400rpm 까지 가속 후 구동 토크를 제거한 자유회전 상태에서 마찰감쇠에 의한 자유감속을 이용하였으며, 자유감속 기간의 모든 데이터를 측정한다.

측정된 미소진동에 대한 주파수 분석 시에는 일정속도법에 대해서 10 번의 평균을 취하였으며, 0.5Hz 의 동일한 주파수 분해능을 적용하여 waterfall 을 계산하였다. 휠 속도에 따른 진동크기를 비교하기 위하여, 두 방법에서 측정된 미소진동의 불균형 질량 값과 RSS 크기를 비교하였다. RSS 계산에서는 MATLAB 의 PSD(power spectrum density) 계산함수인 "pwelch"를 동일하게 적용하였으며, 0~200H 영역의 진동특성 비교를 수행하였다.

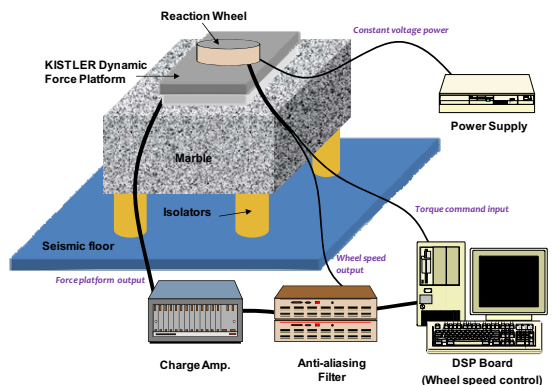


Fig. 1 Experimental setup for micro-vibration test.

† 교신저자; 한국항공우주연구원 위성제어팀  
E-mail : dkk@kari.re.kr

Tel : (042) 870-3751, Fax : (042) 860-2898

\* 한국항공우주연구원, 위성 제어팀

### 3. 교란력 특성 분석

#### 3.1 Spectrum 분석

두 가지 측정법을 통해 획득한 6 축 교란력을 힘과 토크에 대해서 각각 정규화(normalization) 시킨 후 주파수 영역에 대한 스펙트럼 분석을 수행하였다. 정규화된 전달력의 Waterfall 은 Fig.2 와 같으며, 두 가지 방법에 대해서 유사한 스펙트럼 특성을 확인할 수 있다. 특히 자유감속법에 의해 측정된 교란력이 보다 세밀한 피크를 포함하고 있음을 알 수 있다.

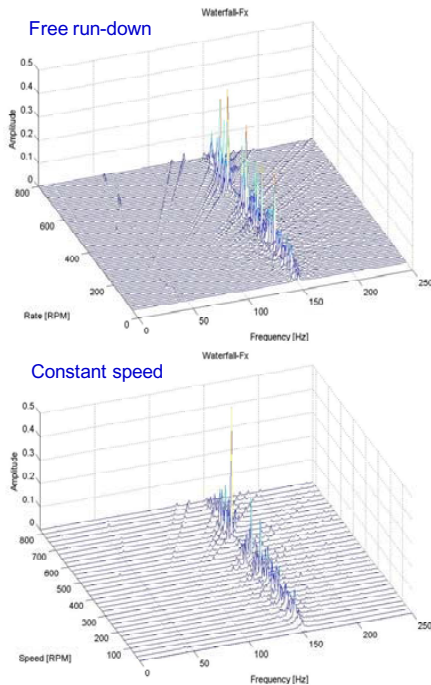


Fig. 2 Waterfall plot of normalized radial force (Fx).

스펙트럼 분석을 위해 계산된 Waterfall 결과에서 1 차 조화(first harmonic, H1)으로 발생하는 정적/동적 불균형 질량[2]을 계산하여 Table 1 과 같이 비교하였다. 두 측정방법에 의해서 매우 유사한 불균형 질량이 계산됨을 확인할 수 있다.

Table 1 Static and dynamic imbalance

Measurement method	Static imbalance			Dynamic imbalance		
	Fx	Fy	Mean	Tx	Ty	Mean
Constant speed	0.049	0.053	0.051	9.019	7.845	8.432
Free run-down	0.048	0.054	0.051	9.915	8.736	9.325

#### 3.3 RSS 분석

마지막으로 정규화된 교란력의 PSD 를 계산하여 6 축 교란력의 RSS 결과를 비교하였다. Fig.3 과 같이 두 측정법에 의해서 유사한 RSS 레벨이 측정되며, 스펙트럼 분석 결과와 유사하게 자유감속법이 보다 세밀한 피크의 RSS 를 측정할 수 있음을 확인할 수 있다.

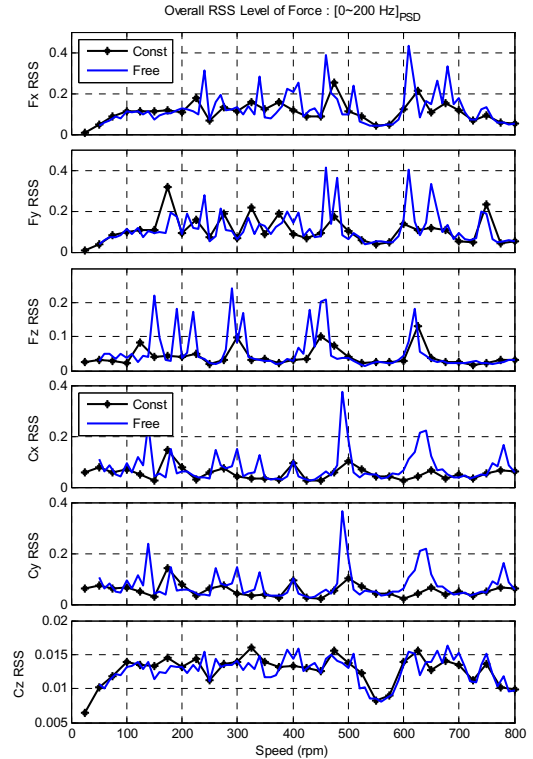


Fig. 3 RSS levels of normalized disturbances [0-200]Hz.

### 4. 결론

반작용휠의 미소진동 측정법에 대한 실험적 분석을 수행하였다. 자유감속법과 일정속도법 모두 유사한 주파수 특성 및 스펙트럼을 보였으며, 정적/동적 불균형 질량 또한 매우 유사한 결과를 보였다. 또한 자유감속법이 보다 세밀한 피크의 RSS 를 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) 김대관, 오시환, 용기력, 양근호, “반작용휠 모델을 이용한 휠 외란 모델링에 관한 연구,” 한국항공우주학회 추계학술발표회논문집, pp. 970~973, 2009.
- 2) 김대관, 오시환, 용기력, 양근호, 2010, “반작용휠 및 휠 교란 모델링에 관한 해석적 연구,” 한국항공우주학회지 Vol.38, No.7, pp.702-708.