

충격 시험에 의한 위성체용 반작용 휠 계의 강성 계수 산출 Calculating stiffness of Reaction wheel used in a satellite by impact test

허용화* · 신윤희* · 오시환† · 김대관** · 김광준* · 용기력**

Yong-hwa Heo, Yun-ho Shin, Shi-hwan Oh, Dae-kwan Kim, Kwang-joon Kim and Ki-lyuk Yong

1. 서론

앞으로 발사될 인공위성에는 예전의 위성이 탑재하고 있던 장비보다 고정밀의 장비를 갖추게 된다. 이러한 장비는 더 정밀한 진동조건이 요구된다. 반작용 휠은 인공위성의 자세제어를 위해 널리 쓰이는 장치이다. 이 반작용 휠은 지속적으로 미소진동을 발생시키며 다른 탑재체의 성능발현에 문제를 일으킴에 따라 반작용 휠에 대한 연구가 요구된다. 이 연구에서는 반작용 휠의 모드 형상에 대해 논하고, 모형화 하며 모형의 강성 계수를 산출한다. 이는 향후, 진동저감장치 모델과 함께 사용되어 반작용 휠로부터 전달되는 진동을 예상하는데 사용될 것이다.

2. 반작용 휠의 전달력 측정 및 분석

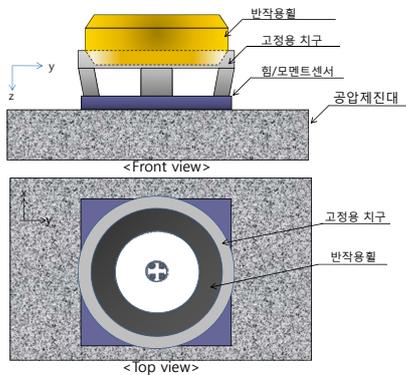


Fig.2.1 반작용 휠의 전달력 측정을 위한 실험장치 구성

반작용 휠의 전달력 측정을 위해 Fig.2.1과 같이 장치를 구성하였다. 고정용 치구는 반작용 휠과 힘/모멘트 센서를 연결해 주는 역할을 하며 공압제진대는 외란을 막아주는 역할을 한다. 참고로 공압제진대의 공진주파수는 2~7Hz이다. 이 장치를 이용하여 반작용 휠의 전원을 켜고 명령(command input=0V)에 의한 감속 시(강제감속) 전달력 측정, 반작용 휠

† 오시환; 한국항공우주연구원

E-mail : oshysh@kari.re.kr

Tel : (042) 860-2446, Fax : (042) 860-2898

* 한국과학기술원 기계공학과 노빅(NOVIC) 센터

** 한국항공우주연구원 위성제어팀

전원을 끄고 자유감속 시 전달력 측정, 충격망치를 이용한 충격시험 이렇게 세가지 실험을 수행하였다.

2.1 반작용 휠의 감속 중 전달력 측정 및 분석

강제감속 시, 최고 회전속도 1400rpm에서 0rpm 까지 떨어질 때까지 약1300초 걸리며, 그 시간 동안 측정된 힘/모멘트를 분석하기 위하여 자기파워스펙트럼밀도 함수를 산출한 결과는 Fig.2.2와 같다.

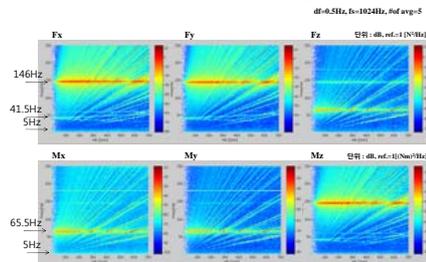


Fig.2.2 측정된 힘/모멘트의 자기파워스펙트럼밀도 함수, 회전속도-주파수 영역

Fig.2.2을 보면 <x-, y-힘, z-모멘트>, <z-힘, x-, y-모멘트> 사이에 유사성을 볼 수 있다. 피크 주파수 성분은 Table 2.1에 나타내었다.

Table.2.1 자기파워스펙트럼밀도 함수 피크 주파수

F_x, F_y, M_z	F_z, M_x, M_y
5Hz, 0rpm에서 41.5Hz이며 회전 속도에 따라 변하는 성분, 143.5~145.5Hz	5Hz, 65.5Hz

이러한 성분들은 반작용 휠의 구조적/전자기계 모드에 의한 값이다. 이 모드의 원인을 규명하기 위해 반작용 휠의 전원을 끈 상태에서 실험을 수행하였다.

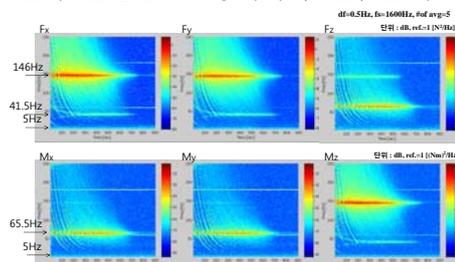


Fig.2.3 자유감속 시 힘/모멘트의 자기파워스펙트럼밀도 함수, 시간-주파수 영역

자유감속 시 실험결과는 Fig.2.3과 같다. 강제감속의 경우와 비슷하게 그려지며 같은 주파수에서 피크를 가진다. 이로써 앞의 결과에 전자기계 모드가 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있다.

2.2 반작용 휠의 충격시험 및 결과분석



Fig.2.4 충격시험의 측정점 및 가진점

Fig.2.4와 같이 장치를 구성하였다. 반작용 휠에 3축 가속도계를 붙이고, 고정용 치구에 충격망치로 충격을 가하여 응답을 관찰하였다. 측정장비로는 B&K pulse를 이용하였다.

충격시험결과는 Fig.2.5, Table.2.2에 정리하였다.

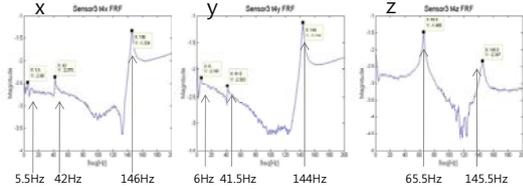


Fig.2.5 충격시험의 결과그래프

Table.2.2 충격시험 데이터

방향	x[Hz]	y[Hz]	z[Hz]
피크주파수	5.5,42,146	6,41.5,144	65.5,145.5

5Hz근방의 값은 공압제진대의 모드에 의해 생긴 값이며, 41.5Hz, 65.5Hz와 146Hz 근방의 값은 2.1절에서 측정된 값과 일치하는 것을 볼 수 있다.

2.3 실험 결과 분석

위에서 살펴본 피크주파수는 Fig.2.6에 보이는 모드 형상 중 하나에 의한 것이다.

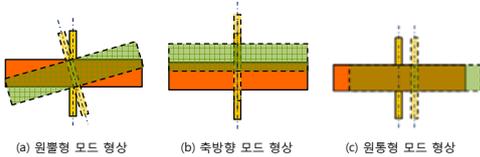


Fig.2.6 반작용 휠의 모드 형상

회전속도에 따라 변하지 않으며 F_x , F_y 에서 잘 나타나는 146Hz 성분은 원통형 모드 형상이라 보이며, F_z 에서 잘 나타나는 65.5Hz 성분은 축방향 모드 형상이라 보여진다. 41.5Hz 성분은 회전속도에 따라 변하므로 원뿔형 모드 형상이라 판단된다.

3. 반작용 휠 모형화

3.1 모형화

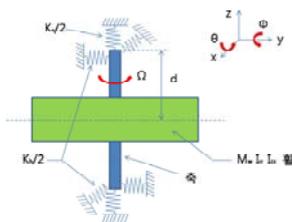


Fig.3.1 반작용 휠 모형

Fig.3.1에 나타낸 모형의 운동에너지와 위치에너지를 구한 후, Lagrangian을 이용하여 선형화 하면 식(1), (2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} M_w & 0 & 0 \\ 0 & M_w & 0 \\ 0 & 0 & M_w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_h & 0 & 0 \\ 0 & k_h & 0 \\ 0 & 0 & k_v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} I_{rr} & 0 \\ 0 & I_{rr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \Omega_{zz} \\ -\Omega_{zz} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} kd^2 & 0 \\ 0 & kd^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ \phi \end{pmatrix} = 0 \quad (2)$$

식(1)과 (2)의 운동방정식으로부터 공진주파수를 구하면 식(3)~(5)와 같다.

$$\omega_{x,y} = \sqrt{\frac{k_h}{M_w}}, \quad \omega_z = \sqrt{\frac{k_v}{M_w}} \quad (3), (4)$$

$$\omega_{\theta,\phi} = \pm \frac{-\Omega_{zz} \pm \sqrt{\frac{k_h d^2}{I_{rr}} + \left(\frac{\Omega_{zz}}{2I_{rr}}\right)^2}}{\Omega_{zz}} \xrightarrow{\Omega=0} \sqrt{\frac{k_h d^2}{I_{rr}}} \quad (5)$$

위의 식에 반작용 휠의 관성정보와 2절에서 본 실험 결과를 적용하면 강성계수를 산출할 수 있다. $M_w=24\text{kg}$, $I_{rr}=0.19\text{kgm}^2$, $I_{zz}=0.38\text{kgm}^2$ 로 주어졌다. x-, y-힘의 피크주파수는 146Hz, z-힘의 피크주파수는 65.5Hz이며, 회전속도가 0rpm일 때, 원통형 휠링주파수는 41.5Hz이므로

$$k_h = (2\pi \times 146)^2 \times 24 = 2.02 \times 10^7 [N/m] \quad (6)$$

$$k_v = (2\pi \times 65.5)^2 \times 24 = 4.06 \times 10^6 [N/m] \quad (7)$$

$$d = \sqrt{\frac{0.19 \times (2\pi \times 41.5)^2}{(2\pi \times 146)^2 \times 24}} = 0.0253 [m] \quad (8)$$

을 얻을 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 반작용 휠의 모드 형상을 알아보았고, 강성요소와 질량 만을 이용하여 간단한 모형으로 나타내었다. 또한 그 모형의 변수들을 실험결과를 이용하여 산출해 내었다. 이 연구를 통하여 어떠한 반작용 휠이라도 관성정보만 있으면 간단한 모형을 수립하고, 그에 상응하는 변수를 산출해 낼 수 있게 되었다. 향후 다른 모형을 만들 때에도 이 연구가 도움을 줄 것이라 기대한다.

후기

이 연구는 한국항공우주연구원의 연구과제의 일환으로 수행되었다.