

인공위성 반작용휠의 능동진동제어 기법 연구

Active Control of Satellite Reaction Wheel Vibration

오시환† · 이선호* · 용기력*

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

1. 서론

인공위성의 주 구동기로 많이 쓰이는 반작용휠은 회전 관성이 존재하는 내부 회전체의 속도 변화를 이용하여 위성의 자세를 변화시키나 회전 시 발생하는 미세한 진동으로 인해 위성 탑재체의 성능을 저하시키는 요인으로 작용하기도 한다. 최근 위성의 성능이 점점 향상되어감에 따라 위성 반작용휠의 회전에 의한 진동 영향은 상대적으로 커지고 있으며 이를 해결하기 위한 다양한 방법들이 개발, 적용되고 있다. 위성 구조물을 개선하거나 반작용휠의 장착 위치를 바꾸어 진동의 전달 경로를 변경시키는 방법이나 수동 감쇄기 등을 이용하여 전달되는 진동원의 크기를 줄이는 방법들이 주로 이용되고 있다. 인공위성은 고신뢰성을 요구하기 때문에 능동제어 방법이 널리 이용되고 있지는 않으나 수동 감쇄 방법으로는 제어가 쉽지 않은 대형 구동기나 탑재체의 경우 능동 제어가 사용되기도 한다.

그러나 향후 위성의 임무에 대한 요구 사항이 점점 높아질수록 수동 제어보다 성능이 좋은 능동제어 방법이 필요할 것으로 예상된다. 이는 능동제어 방법의 신뢰성을 높이기 위한 연구와 동반되어야 한다.

본 연구에서는 다양한 능동진동제어 방법 중 시변 환경이나 비선형성이 존재하는 시스템에 대해 효과적인 성능을 보이는 적응 제어 기법을 이용하여 반작용휠의 진동을 제어하고자 하였다.

2. 반작용휠 진동 특성

2.1 절 주파수 영역 특성

반작용휠을 회전속도에 따른 일반적인 주파수 영역 선도는 Figure 1 과 같다. 회전 주파수에 해당하는 일차 하모닉 성분과 고차 하모닉 성분이 반작용휠에 존재하는 구조진동(Structural modes)과 회전

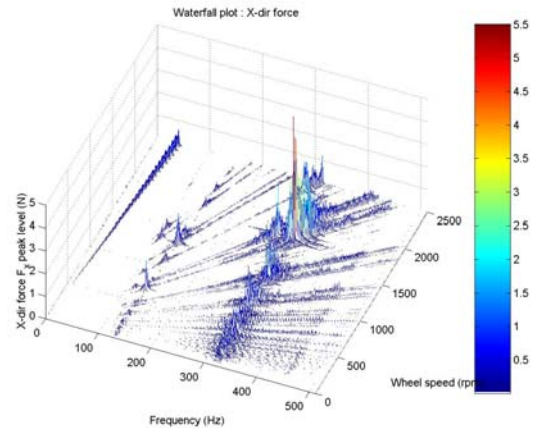


Figure 1 Conventional waterfall spectrum of reaction wheel vibration

체 모드(whirling modes)를 가진하면서 큰 진동을 발생시킨다. 대개의 경우 반작용휠의 회전체 모드는 구조진동 주파수보다 낮은 영역에 존재하며 회전 속도에 따라 공진 주파수가 변하는 반면 구조 진동은 볼베어링에 의한 영향, 회전체를 지지하는 구조물의 유연 모드 등이 회전 속도와 상관없이 동일한 주파수 대역에서 나타난다. 그러므로 반작용휠의 속도를 정확히 추정할 수 있는 경우 이의 하모닉 성분을 기준신호로 생성하여 적응 피드포워드 제어가 가능하다. 기준 신호 생성이 불가능한 경우에는 적응 피드백 제어기법을 이용하여 제어할 수 있다.

3. 반작용휠 진동의 제어

3.1 절 적응 피드포워드 제어

반작용휠의 회전 속도의 정확한 추정이 가능한 경우 이를 기본 주파수로 하는 다양한 하모닉 성분들을 기준신호로 생성할 수 있으므로 이를 이용한 적응 피드포워드 제어가 가능하다. 이의 성능을 확인하기 위해 본 연구에서는 Figure 2 와 같이 6 자유도 진동측정 테이블에서 실제 측정된 속도와 진동 데이터를 이용하여 제어 성능을 예측하여 보았다.

적응 제어기로는 Filtered-X LMS 알고리즘을 이용하였으며 샘플링 주파수는 1024Hz, 적응 제어

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

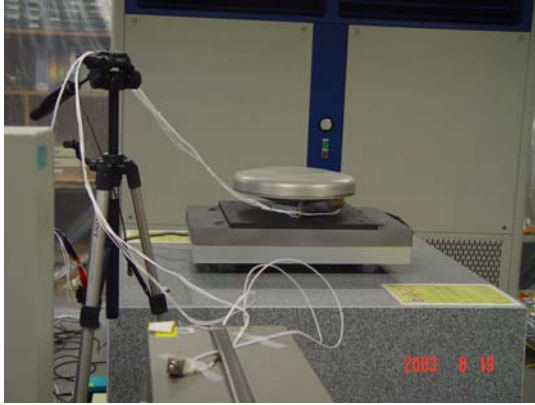


Figure 2 Vibration measurement of reaction wheel using KISTLER force plate

기는 50 차 FIR 필터를 선택하였다. 일차 하모닉 성분만을 제어하기 위해 회전 속도에 해당하는 주파수를 갖는 정현파를 기준신호로 생성하였다. 반작용휠의 진동 측정은 자유 감속 환경에서 측정되었으므로 반작용휠의 속도가 서서히 감소하는 시변 환경에서의 제어 성능을 확인하였다. 그 결과는 Figure 3 에 나타나 있다.

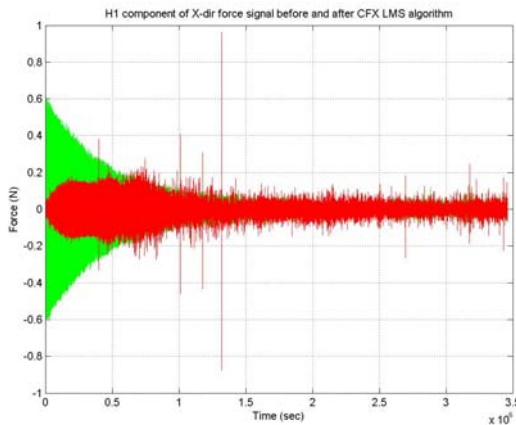


Figure 3 Control performance using Filtered-X LMS algorithm

반작용휠 속도 추정의 오차로 인해 제어가 효과적으로 이루어지지 않았음을 확인할 수 있었다.

3.2 절 적응 피드백 제어

기준 신호 없이 적응 피드백 제어를 수행하기 위해 IMC (Internal Control Method)를 이용하였으며 마찬가지로 50 차 FIR 필터를 적응 제어기로 사용하였다. 오차계가 단수 5 스텝 지연, 수려 계수가 0.09 일 때의 제어 성능은 Figure 4 에 나타나 있다. 오차계의 시간에 지연이 커질수록 제어 성능은 저하되나 고차 주파수 성분도 제어가 됨을 확인하였다.

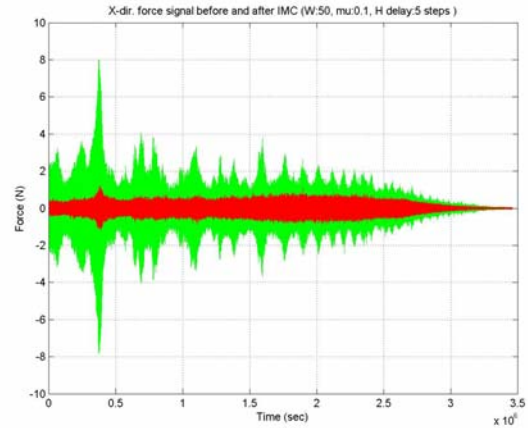


Figure 4 Control performance using IMC with 5 step delay error path

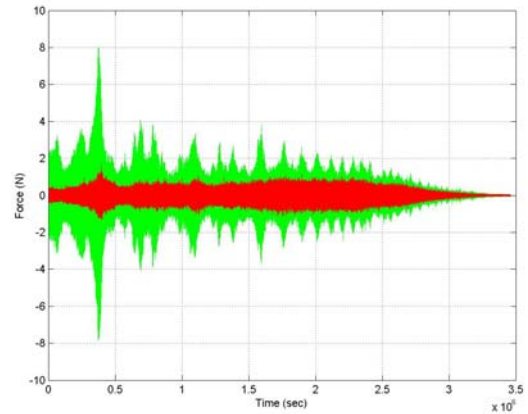


Figure 5 Control performance using IMC with 9 step delay error path

4. 결론

본 연구에서는 회전 속도가 변하는 반작용휠의 진동을 제어하기 위해 적응 제어기법을 적용하였으며 반작용휠의 속도 측정 오차가 존재할 경우 이를 이용한 기준신호의 부정확성으로 인해 피드포워드 제어가 피드백 제어보다 효과적이지 않을 수 있음을 확인하였다. 그러나 오차계의 지연이 길어질수록 피드백 제어기의 성능이 저하되므로 반작용휠 속도 추정의 정확도를 높여 피드포워드 제어기의 성능 향상을 위한 개선을 위한 연구가 병행되어야 한다.