스텝핑 모터 특성에 따른 2축 짐발 안테나 시스템의 미소진동 측정 시험

Micro-Vibration Test on a Two-Axis Gimbal Antenna System with Stepping Motors

김대관† · 최홍택* · 박지용**

Kim Dae-Kwan, Choi Hong-Taek and Park Gee-Yong

Key Words : Jitter(지터), Micro-vibration(미소진동), Satellite(인공위성), 2-axis gimbal system(2축 짐발 시스템), Stepping motor(스텝핑 모터).

ABSTRACT

A 2-axis gimbal system is one of main disturbance sources affecting on image jitter response of a satellite. The gimbal system can be rotated on its azimuth and elevation axes, resulting in variation of its moment of inertia and structural modes, so that generates non-linear vibration characteristics. In order to estimate the jitter response, it is an indispensable process to characterize micro-vibration disturbance of the 2-axis gimbal system. In the present research, the vibration characteristics of the 2-axis gimbal system was investigated with respect to the types of stepping motors. The micro-vibration tests were performed for 2-phase and 5-phase stepping motors. The test results show that the disturbance can be reduced with vibration attenuation ratio of 60% by replacing the 2-phase stepping motor with the 5-phase one.

1. 서 론

인공위성의 지터(Jitter) 현상[1]을 발생시킬 수 있는 위성 내부의 진동원들은 대표적으로 위성 자세제어를 위해 사용되는 반작용휠(Reaction Wheel Assembly, RWA)과 제어모멘트자이로(Control Moment Gyro, CMG), 지향 조정 장치로 사용되는 2축 짐발 시스템(2-Axis Gimbal System), 그리고 적외선 영상 촬영을 위한 극저온 냉각기(Cryogenic Cooler) 등이 있다. 위성의 지터 특성 향상을 통한 영상품질 확보를 위해서는 이러한 주요 진동원들에 대한 진동 특성 분석 및 모델링 연구가 필수적이라 할 수 있다[2].

본 연구의 대상이 되는 2축 짐발 시스템의 경우 운영조건에 따라 Azimuth와 Elevation 방향으로 다양한 회전 속도 성분의 지향 프로파일의 적용이 가능하다. 이러한 2축 짐발 시스템의 구동을 위해서 주로 스텝핑 모터(stepping motor) 형태의 구동장치가 사용되고 있으며 불연속적인 진동특성을 발생시키는 원인이다. 또한 짐발 시스템의 구동에 의해 시스템의 관성모멘트가 시간에 따라 변화하는 매우 복잡한 비선형 진동 특성을 보인다[3]. 이러한 2축 짐벌 안테나 시스템의 진동 특성에 대한 연구는 아직까지 부족한 실정이며, 단지 유사한 2축 진벌 시스템에 대한 연구가 주로 구조적 진동특성 해석[4-6] 위주로 진행되어왔다.

본 연구는 2축 짐발 시스템 개발을 위한 선행연구로서 2축 짐발 시스템을 제작하고 2상 스텝핑 모

† 교신저자; 정회원, 한국항공우주연구원 위성제어팀
E-mail : dkk@kari.re.kr
Tel : 042-870-3751 , Fax : 042-860-2898
* 한국항공우주연구원 위성제어팀
** 한국과학기술원 항공우주공학과

터와 5상 스텝핑 모터스텝를 적용하여 모터 특성에 따른 2축 짐발 시스템의 교란력을 측정하였다. 또한 모터 종류에 따른 2축 짐발 시스템의 진동특성 및 저감성능을 분석하였다.

2. 2축 짐발 시스템 진동 시험

2.1 2축 진발 시스템

위성에서 지향 조정 장치로 사용되고 있는 2축 짐발 시스템의 임의의 지향각은 Azimith 축과 Elevation 축에 대한 회전각으로 구현될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 2축 구동이 가능한 짐발 시스템을 제작하였으며, 제작된 2축 짐발 시스템은 그림1 에 나타나 있다.

본 모델의 경우 Azimuth 축에 대해서는 회전의 제한이 없으며, Elevation 축에 대해서는 15°~145°의 회전영역이 존재한다. 각 축에 대한 회전은 2상 또는 5상 스텝핑 모터에 의해 구동될 수 있으며, 모터의 회전속도는 1:50 기어비의 하모닉드라이브(harmonic drive)와 1:1.6 기어비의 스퍼기어(spur gear)를 통해서 총 1:80의 감속이 이뤄진다. 또한 각 모터의 1 스텝은 8개의 Microstep들로 구성된다. 2상과 5상 스텝핑 모터의 1회전 당 스텝 수는 각각 200과 500이며 회전속도 ω(deg/sec)에 대하여 다음과 같이 각각의 구동 주파수(Hz)를 계산할 수 있다.

$$H_{2phase} = (200 \times 80 \times \omega)/360 \quad (1)$$

$$H_{5phase} = (500 \times 80 \times \omega)/360 \quad (2)$$

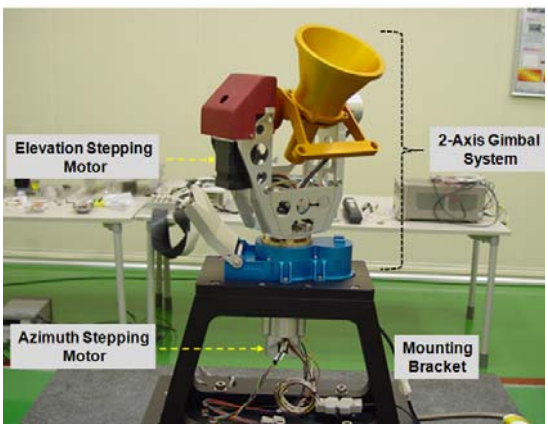


Fig. 1 2-Axis Gimbal System (KARI)

2.2 미소진동 시험

스텝핑 모터의 종류에 따른 2축 짐발 시스템의 진동특성 측정을 위하여 다음과 같이 미소진동 시험을 수행하였다. 수행된 미소진동 시험은 그림 2와 같이 KISTLER Platform 위에 2축 짐발 시스템을 고정시킨 상태에서 6축에 대한 진동을 동시에 측정하는 방식으로 진행되었으며, 데이터 저장은 DAQ 장비 (dSPACE-DS1103)를 이용하여 수행되었다. 본 시험에서 사용된 2축 짐발 시스템의 Azimuth와 Elevation 구동 프로파일의 회전각, 각속도 각가속도는 그림 3에 나타나 있다. 주어진 구동기 프로파일은 크게 3가지 구동 영역으로 나누어진다. 우선 장착위치(parking position)에서 기준위치(reference position)으로 구동하는 영역-I (10~70sec), 주요 프로파일을 구동하는 영역-II (130~250sec) 그리고 최종 구동위치에서 장착위치로 구동하는 영역-III (310~430sec)으로 구성되어 진다.

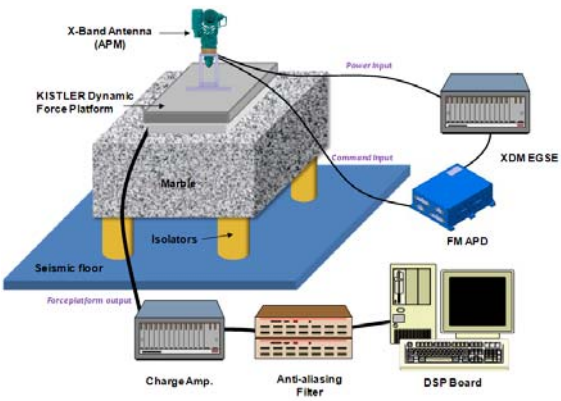


Fig. 2 Experimental setup for micro-vibration test

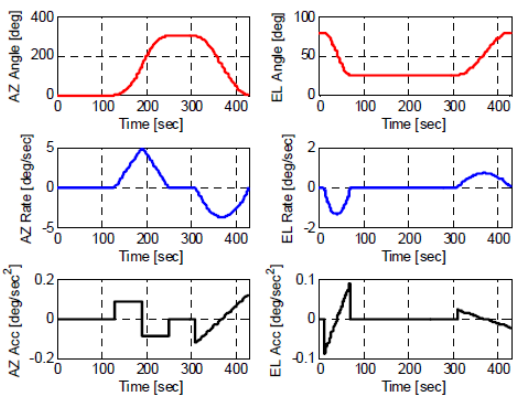


Fig. 3 Stepping motor driving profiles

3. 시험결과 및 분석

2축 짐발 시스템에 대한 미소진동 시험은 Azimuth와 Elevation 구동기에 모두 2상 또는 5상 스템핑 모터를 적용한 2가지 경우에 대해 수행되었다. 각 시험은 그림 3과 같이 적용된 프로파일에 대해서 약 430sec 동안 수행되었다. Kistler platform을 통해 측정된 6자유도 진동 신호 중에서 주요 프로파일을 구동하는 영역-II에 해당하는 총 120sec 시간영역의 교란력 신호는 그림 4와 같다. 전체적인 진동 특성을 보면 2상 스텝핑 모터사용의 경우에 비해서 5상 스템핑 모터를 사용할 경우가 전반적인 진동 특성이 감소됨을 확인할 수 있다. 특히 그림 4의 80sec 이전에서 발생하는 2축 짐발 시스템의 구조 공진조건에 의한 진동 특성은 5상 스텝핑 모터를 사용하는 경우 매우 낮은 진동특성이 발생함을 확인할 수 있다.

식(1)과 식(2)에서 확인할 수 있듯이 2상 스텝핑 모터에 비해서 5상 스텝핑 모터의 구동 스텝수가 2.5배 더 많음을 알 수 있으며, 이러한 스텝수의 증가는 스텝 당 회전각의 감소를 의미한다. 따라서 2상에 비해 5상 스텝핑 모터의 스텝 각 감소가 전체 시스템의 진동특성을 감소하는 주요 원인이 됨을 예측할 수 있다. 이러한 진동저감 특성의 분석을 위하여 그림 5와 같이 각 구간별로 최대 크기 감소율과 표준편차(Standard Deviation) 감소율을 분석하였다. 감소율 분석은 구동영역 I-III 모두에 대해서 수행되었으며, X방향 교란력에 대해서 최대 피크 감소율을 보면 최대 감소율은 93.2%이고 평균 감소율은 64.0%로 나타났다. 또한 표준편차는 최대 감소율이 91.9%이고 평균 감소율이 57.8%의 감소율을 보임을 확인할 수 있다. 이러한 스텝핑 모터에 따른 진동 저감 특성은 표 1과 같이 다른 교란력 결과에도 매우 유사하게 나타났음을 확인하였다.

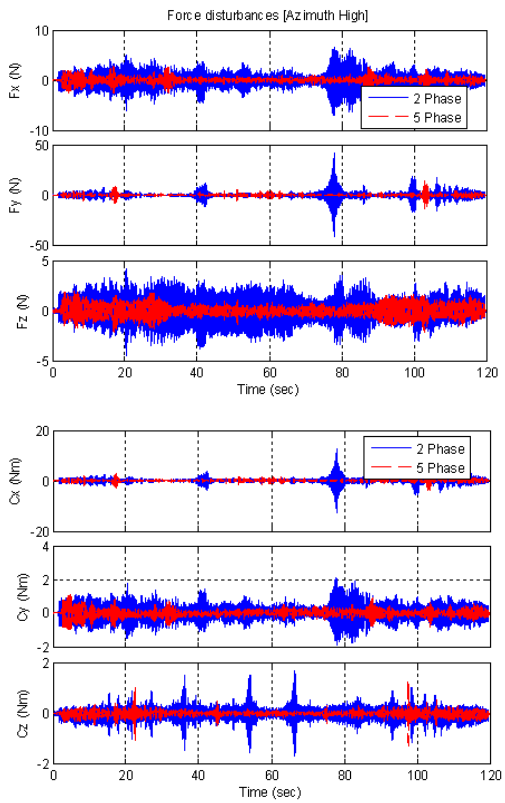


Fig. 4 Time histories of disturbance measured in main driving phase of Azimuth High.

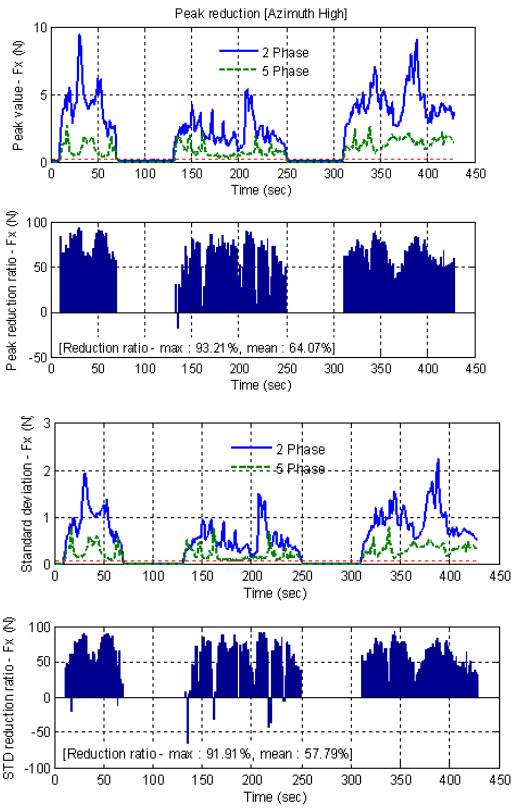
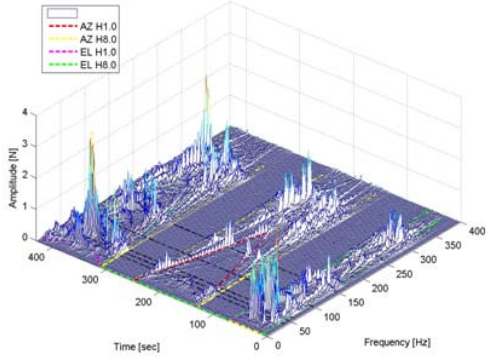
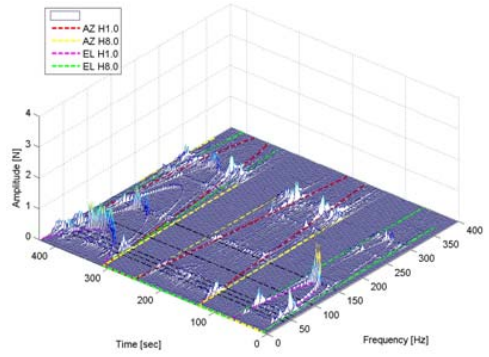


Fig. 5 Reduction ratio of maximum peak and standard deviation in Azimuth High.



(a) 2-phase stepping motor



(b) 5-phase stepping motor

Fig. 6 Radial disturbance force (Fx) waterfall plots in Azimuth High.

측정된 교란력의 주파수 특성 비교는 그림 6의 Waterfall을 통하여 나타나 있다. 주요 교란력을 발생시키는 영역은 구동 주기인 H1.0 주파수대와 각각의 모터에서 발생하는 8개의 Microstep에 의한 하모닉 주기인 H8.0 주파수대에서 발생함을 확인할 수 있다. 또한 이외에 구조 공진주파수대에서 교란력 크기가 증폭됨을 확인할 수 있다. 2상 스테핑 모터를 사용한 경우(Fig.6.a)에 비해서 5상 스테핑 모터를 사용한 경우(Fig.6.b)가 전체적인 주파수 영역대에서 교란력 크기 감소가 발생하고 있다.

이러한 특성은 구조적 변화에 의한 특징이 아닌 스테핑 모터로 부터의 가진원의 크기가 감소하여 발생하는 특징이다. 이러한 교란력 저감은 표 2에 정리된 것과 같이 수직방향 토크(Cz)를 제외하고 다른 교란력들에서도 유사한 진동저감 특성으로 나타남을 확인할 수 있다.

Table 1 2-Axis Gimbal System (KARI)

Fx	Peak Reduction (%)		STD Reduction (%)	
	Max	Mean	Max	Mean
AZ_High	93.21	64.07	91.91	57.79
AZ_Low	91.95	40.47	90.03	14.96
EL_High	94.14	70.62	94.89	61.78
EL_Low	92.62	62.52	90.29	48.67
Sample	91.85	60.68	93.34	55.60
Total Mean	92.75	59.67	92.09	47.76

Table 2 2-Axis Gimbal System (KARI)

	Peak Reduction (%)		STD Reduction (%)	
	Max	Mean	Max	Mean
Fx	92.75	59.67	92.09	47.76
Fy	96.34	56.20	97.70	48.82
Fz	89.02	59.28	90.66	50.72
Cx	96.14	55.49	97.37	47.84
Cy	93.58	56.31	92.43	42.93
Cz	79.74	32.41	73.96	12.60

4. 결 론

본 연구에서는 인공위서의 지터 특성에 주요 진동원 중 하나인 2축 짐발 시스템에 대한 진동 특성 분석을 수행하였다. 특히 구동기로 사용되는 스템핑 모터의 특성에 따른 짐발 시스템의 교란력 특성을 측정 및 분석하였다. 이를 위하여 Azimuth와 Elevation에 대한 구동이 가능한 2축 짐발 시스템을 제작 하였으며, 2상과 5상 스템핑 모터의 적용하여 Kistler platform에서 6가지의 교란력을 동시에 측정

하였다. 측정된 교란력 데이터의 진동 저감율은 최대 피크 감소와 표준편차 감소율로 분석되었으며, 본 시험에서 사용한 스텝핑 모터에 따라서 평균 60%대의 교란력 저감이 발생함을 확인할 수 있었다. 이러한 교란력 저감 결과는 향후 인공위성의 2축 짐발 시스템 개발에 중요한 설계 기준으로 활용될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

(1) Gerald C. Holst, 1996, CCD Arrays Cameras and Displays, SPIE Press and JCD Publishing.

(2) 김대관, 오시환, 용기력, 양군호, 2010, "반작용휠 및 휠 교란 모델링에 관한 해석적 연구," 한국항공우주학회지 Vol.38, No.7, pp.702-708.

(3) 김대관, 오시환, 김홍배, 이원범, 용기력, 2010, "2축 짐벌 시스템을 갖는 X-밴드 안테나의 미소진동 시험," 한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집, pp.927-930.

(4) 김만달, 이용덕, 김성국, 2005, “2축 짐벌 안정계 동특성 고찰을 통한 해석 모델링 검증에 관한 연구,” 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 180~183.

(5) Baek J. H., 2006, "Modeling on a Gimbal with an Antenna and Investigation on the Influence of Backlash," JSME International Journal. Series C, Vol.49, No.3, pp.804-813.

(6) 이상은, 이태원, 2011, “감시 정찰 카메라부를 포함한 짐발 구조 시스템의 진동 특성 해석,” 대한기계학회논문집 A권, 제35권, 제4호, pp. 409~415.