

광학식 조준장치에 대한 진동영향 평가에 대한 연구

Analysis on the vibrational effect for the optical collimation system

김홍배†·이원범*·임재혁**

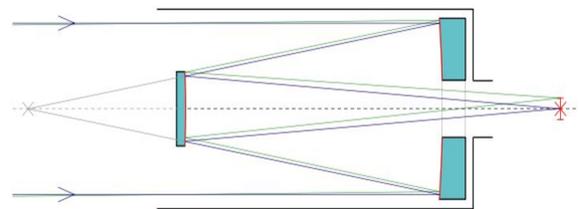
Hong-Bae Kim, Won-Beom Lee and Jae-Hyuk Lim

1. 서 론

광학식 조준장치는 원거리에 떨어진 물체를 탐색하기 위한 광학식 망원경(Optical telescope)과 광학식 추적장치(Optical tracking system)는 물론 최근 레이저를 이용한 원거리 통신 및 타격등에 활용되고 있는 광 집속장치(Beam director) 등에 광범위하게 활용되고 있다. 이러한 장치들은 일반적으로 다축으로 구성된 정밀 구동장치에 의하여 이동중인 대상물을 따라 운동하게 된다. 이러한 구동장치는 모터 및 기어등으로 구성되며, 이로부터 발생된 진동은 조준장치의 구조계 및 광학계를 가진한다. 반사경(Mirror)과 초점면(Focal Plane)과 같은 광학계간의 상대운동으로 인하여 망원경과 추적 장치의 경우, 초점면상에서 영상의 흔들림으로 인하여 영상의 품질 저하 및 추적위치의 오차를 발생시킨다. 또한 광 집속장치의 경우, 원거리에 위치한 수신 장치 및 타격 대상을 정확히 조준하지 못함으로 인하여 원하고자 하는 목적을 수행하기가 어렵다. 따라서 광학식 조준장치의 설계 시 진동환경에 대한 영향 평가가 반드시 수행되어야 하며, 본 연구에서는 영향을 분석하는 절차를 논하고자 한다.



(a) 광학식 추적장치



(b) Cassegrain 광학계

Fig. 1 광학식 조준장치의 예

2. 본 론

2.1 조준장치의 구성

광학식 조준장치의 예로 Fig. 1은 광학식 추적장치를 보여주고 있다. 기본 구성은 대상물을 고해상도로 인식하기 위한 광학식 망원경과 대상물을 추적하기 위한 방위각(Azimuth)과 고도각(Elevation) 2축의 독립적인 구동장치로 이루어진다.

광학식 조준장치는 주경(Primary Mirror), 부경(Secondary Mirror) 및 초점면(Focal Plane)으로 구성되는 카세그레인(Cassegrain) 형태의 천체 망원경 형상이 일반적이다. 이를 개선한 Ritchey-Chrétien 형태나 Three Mirror Anastigmat 형태의 조준장치들도 있으나, 진동등 외부로부터의 영향에 대한 광학적 특성은 카세그레인 형태와 매우 유사하다.

2.2 조준장치의 응답 산출

반사경과 초점면 같이 광학계를 이루는 요소가 기준 위치로부터 변위($X(\omega)$)가 발생할 경우, 영상은 초점면 상의

† 김홍배; 한국항공우주연구원 다목적 3호체계팀
E-mail : hbkim@kari.re.kr
Tel : (042) 860-2395, Fax : (042) 860-2007

* 한국항공우주연구원 다목적 3호체계팀

** 한국항공우주연구원 위성구조팀

기준위치로부터 다음과 같이 움직임이 발생한다.

$$\begin{cases} dx(\omega) \\ dy(\omega) \end{cases}_{2 \times 1} = T \cdot X(\omega) \quad (1)$$

여기서 dx와 dy는 초점면 상의 변위이며, T는 광학계의 민감도 행렬이다. 카세그레인 형태의 망원경에 대한 민감도 값은 다음과 같이 유도되어 진다.

Table 1. 카세그레인 광학계의 민감도

	R_p^x	R_p^y	R_s^x	R_s^y	T_p^x	T_p^y
dx	0	2	0	$-2A/L$	$1/L_p$	0
dy	-2	0	$2A/L$	0	0	$1/L_p$
	T_s^x		T_s^y		T_f^x	T_f^y
dx	$\left(\frac{1}{L_p} - \frac{1}{L}\right)$		0		$-1/L$	0
dy	0		$\left(\frac{1}{L_p} - \frac{1}{L}\right)$		0	$-1/L$

R_p : Rotation of the primary mirror
 R_s : Rotation of the secondary mirror
 T_p : Translation of the primary mirror
 T_s : Translation of the secondary mirror
 T_f : Translation of the focal plane
 L : System effective focal length
 L_p : Primary mirror focal length
 A : distance between secondary mirror vertex to the focal plane

광학계 각 요소의 변위는 구동부에서 발생하는 토오크가 조준장치의 지지 구조물과 조준장치를 가진함에 따라 발생한다. 토오크 리플은 모터 및 기어류 등에 대한 상세모델을 통하여 계산하는 해석적 방법도 있으나, 백래쉬, 마찰등이 존재하므로 실험적 방법을 통하여 얻어내는 것이 일반적이다. 토오크 리플 입력에 대한 응답은 유한요소모델을 이용하여 구동부 출력단과 각 요소의 자유도에 대한 주파수 응답함수를 구함으로써 가능하다.

2.3 조준장치의 영향 평가

광학계가 있어서 노출시간 또는 적산시간(Exposure time or Integration time) 내에서 반사경 간의 상대운동이 발생할 경우, 초점면상에서 영상이 떨림(Jitter)에 따라 촬영된 영상의 품질을 떨어트린다. 영상품질을 평가하는 기준으로는 영상의 선명도(MTF, Modulation Transfer Function)를 기준으로 하는 것이 일반적이며, 영상의 떨림(Jitter)과 선명도 간의 관계에 대한 많은 연구가 수행되었다. 영상의 떨림이 존재할 경우, MTF는 식(2)와

같으며, 전 공간 주파수(Spatial Frequency) 영역에 대하여와 Fig. 2와 같이 선명도가 감소함을 볼 수 있다. Fig. 3은 떨림의 변화에 따른 실제 영상의 선명도 저하를 보여준다.

$$MTF(f, \sigma_{jittered}) = \exp\left(-\pi^2 \cdot f^2 \cdot \left(\left(\frac{\sigma_p}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{2}\right)^2\right)\right) \quad (2)$$

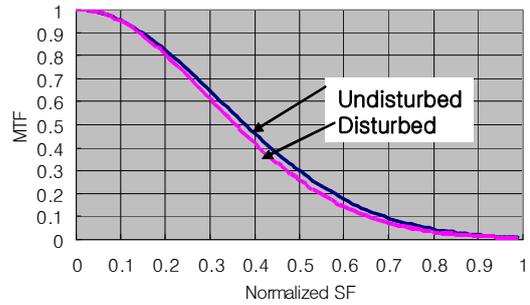


Fig. 2. MTF Degradation due to Jitter

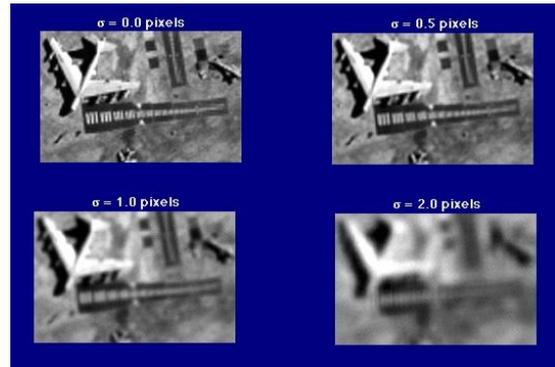


Fig. 3. Real Image according to Jitter level

4. 결 론

광학 조준장치의 경우, 자세제어를 위한 구동장치로부터 발생하는 미소 가진에 의하여 영상의 품질이 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서는 가진 특성과 전달경로에 대한 특성을 이용하여 영상의 거동을 예측하는 방법에 대하여 기술하였으며, 미소 가진에 의해 야기되는 초점면상의 영상운동과 영상 품질 간의 관계를 알아보았다.