

## 우주용 광학탐재체 광기계 설계

## Opto-Mechanical Design for Spaceborne Telescope

이용식\*, 장홍술\*, 정대준\*, 이덕규\*, 장수영\*, 육영준\*, 이승훈\*, 양호순\*\*, 이윤우\*\*

\*한국항공우주연구원, \*\*한국표준과학연구원

eslee@kari.re.kr

미국은 해상도 1m급의 IKONOS와 0.6m인 Quickbird 등을 1990년대 후반부터 개발 운용하고 있으며, 최근에는 해상도 0.5m급 이하의 위성탐재카메라를 상용으로 개발하였다. 프랑스, 이스라엘, 일본 등도 1m 이하 해상도의 탐재카메라를 개발 중이거나 운용하고 있다(표1).

표 1 해외 고해상도위성카메라 개발현황

| 위성        | 국가   | 해상도   | 발사년도  |
|-----------|------|-------|-------|
| IKONOS    | 미국   | 1m    | 1999년 |
| QuickBird | 미국   | 0.6m  | 2001년 |
| EROS B1   | 이스라엘 | 0.87m | 2003년 |
| Worldview | 미국   | 0.5m  | 2007  |
| Pleiades  | 프랑스  | 0.7m  | 개발중   |
| GeoEye-1  | 미국   | 0.4m  | 개발중   |

지상 685km 고도 우주 상공에서 해상도 1m의 영상을 위해서는 주반사경의 유효구경이 0.6~0.8m 정도이며, 근래 발사 예정인 해상도 0.4m의 Geoeye-1은 직경이 1.1m로 알려져있다. 무중력 상태 하의 온도 변화가 심한 우주 환경 하에서 운용되기 때문에 우주용 광학카메라는 중력과 온도 등의 환경 변화에 대해서도 파면오차(wavefront error)  $\lambda/20$  정도의 허용값 이하로 유지시키는 광기계 기술이 중요하다. 광기계 설계는 반사경 등의 광학 부품들이 온도, 습도, 중력 등의 환경 변화와 발사 진동 등의 하중에 대하여 광학적으로 지정된 위치와 형태를 유지하도록 하는 설계를 의미한다.

현재 운용중이거나 개발되고 있는 고해상도 지구관측용 위성카메라는 3장의 비구면 반사경으로 구성되는 광학계를 많이 사용하며, 이로써 2장의 비구면 반사경으로 구성되는 이반사식 광학계에 비해 상대적으로 우수한 성능을 구현할 수 있다<sup>(1)</sup>. 카메라의 광학적 형태에 따라 열구조적 안정성을 높이기 위한 카메라 구조부의 형태가 달라지며, 카메라 구조부는 광학, 전자 부품들을 우주발사 환경으로부터 보호해주며 광학 성능에 민감한 주반사경과 부반사경 사이의 상대 위치를 2~3 $\mu\text{m}$  이내로 안정적으로 유지시켜 주는 역할을 한다. 우주용 카메라는 지구 복사열, 태양 광선 및 절대 온도에 가까운 우주 심연 환경에 노출되어 있어 열적인 환경 변화를 심하게 경험하며 이는 광학 부품의 형상 및 위치 변형을 야기하고 광학 성능을 저하시키는 원인이 된다. 열적 안정이 높은 구조로 설계하기 위해서 열팽창 계수가 매우 작은 글라스세라믹 또는 복합재를 사용하거나 비강성이 월등한 실리콘카바이드를 사용하고 섬세한 온도 제어를 통하여 온도를 일정하게 제어하는 방법이 있다.

반사경의 무게는 이를 지지하는 카메라구조부의 질량도 비례하여 증가함으로 우주용 반사경은 무게를 최소화하기 위한 경량화 설계가 필수적이다. 반사경 경량화는 열팽창 계수가 매우 작은 Zerodur 나 ULE 등의 글라스세라믹 재질을 사용하여 형상 최적화하는 방법과 열팽창 계수는 비교적 크지만 비강성 특성이 우수한 실리콘카바이드(SiC)나 베릴륨(Be) 등의 재질을 사용하여 경량화 비율을 높이는 방법이 있다. 최근에는 복합재를 사용하여 강성을 최대화한 반사경 구조물에 얇은 글라스세라믹 반사경을 접착하는 등의 복합재를 사용한 경량화 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

고해상도 우주용 광학카메라의 핵심 부품인 구경 800mm 반사경과 그 지지구조물로 구성된 반사경

조립체의 국내 개발을 목표로 한국항공우주연구원과 한국표준과학연구원이 관련 연구를 수행하고 있다. 현재 개발 중인 Pleiades등에 적용된 Zerodur를 사용한 뒷면반열린형(semi-open back type) 또는 뒷면열림형 형태의 경량화 설계를 구경 0.8m의 반사경 국내 개발에도 적용하였다(그림1). 가장자리 세 곳의 보스에서 반사경이 인바 플렉쉬에 우주용 접착제를 사용하여 연결된다<sup>(3)</sup>. 가장자리 보스 지지는 하중에 의한 응력 집중이 발생하는 취약한 구조이나, 경면과 일정 거리 이상 떨어져있어 접착제의 수축에 의한 경면 변형이 최소화되는 장점이 있어 많이 사용된다.

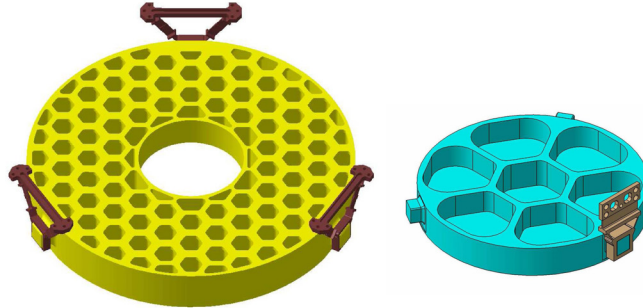


그림 1 경량화 설계된 주반사경(좌)과 부반사경(우)

우주용 반사경의 파면오차는 중력 변화에 대한 영향이 가장 큰 요소 중의 하나이므로 중력에 대한 파면오차의 영향을 우선적으로 고려한 설계가 필요하다<sup>(4)</sup>. 중력이 경면에 수직으로 작용하는 경우는 spherical과 trefoil 형태의 광학수차가 가장 중요하고 경면에 수평인 경우에는 astigmatism이 파면오차에 큰 영향을 미치는 형태의 변형이 일반적으로 발생한다. 중력이 경면에 평행하게 작용할 때 경면의 변형 모습과 Zernike 다항식으로 분해한 후 강제 운동과 defocus 항을 제거한 후의 경면 형상을 그림2에 나타내었다. 자중 변화에 의해서 astigmatism 광학수차가 크게 발생하며, 최적의 조립상태에서는 6.7nm이내의 파면오차(RMS) 변화가 발생하도록 설계하였다. 지지구조의 장착 위치에 따라 파면오차가 크게 변화함으로, 경면 가공뿐 아니라 지지구조 조립 기술도 반사경의 최종 성능을 위해서 매우 중요하다.

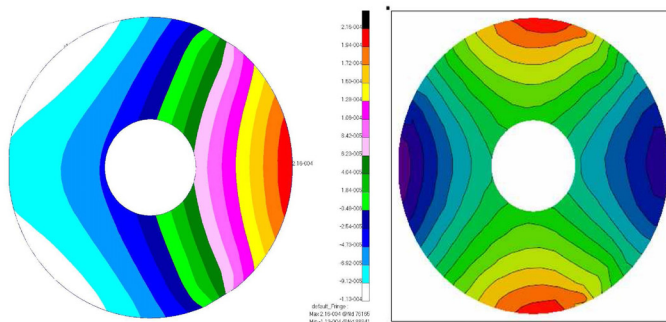


그림 2 수평 중력인 경우의 변형(좌)과 파면오차(우)

#### 참고문헌

1. 장홍술, 이승식, 정대준 외, “위성카메라용 비구면 반사경의 파면오차 측정정밀도 해석”, 한국항공우주학회 춘계 학술발표회 논문집, pp. 1123-1126, (2008)
2. K.B. Doyle, V. C. Genberg and G. J. Michels, Integrated Optomechanical Analysis, SPIE Press, 2002
3. 이승식, 장홍술, 정대준 외, “우주용 대구경 반사경 조립체의 광기계 설계”, 한국항공우주학회 춘계 학술발표회 논문집, pp. 1033-1036, (2008)
4. Genberg, V. and Company, N., “Optimum design of a lightweight telescope,” Optomechanical Design, Proc. of SPIE, Vol. 1998, 60-71, (1993)