

인공위성 주반사경의 플렉서 마운트 설계

Design of Flexure Mounts for Satellite Primary Mirrors

엄태경¹, 박강수¹, 조지현¹, 이완술¹, 이준호², 윤성기^{1,2}, 이응식³, 우선희³, 이승훈³, 백홍렬³

¹한국과학기술원 기계공학과, ²한국과학기술원 인공위성연구센터, ³한국항공우주연구원

espoir@kaist.ac.kr

반사경을 지지하는 데에 있어서의 기계적, 열적 변형이 광학 부품에 미치는 영향을 최소화 하도록 광학 요소를 이러한 영향으로부터 차단하는 기계 장치를 플렉서(flexure)라고 한다. 기계적 영향은 중력, 관성, 진동에 의한 하중 및 조립 시의 오차에 의한 응력 등에 의해 발생하는 변형을 말한다. 또한 열적 영향은 열적 평형 상태와 과도 상태 하에서 주위 환경의 온도변화에 의한 변형을 말한다. 예를 들어 작은 열팽창 계수를 가진 반사경 또는 렌즈와 큰 열팽창 계수를 갖는 지지구조가 어떤 온도 하에서 조립된 후 처음 온도와 다른 온도에 놓이는 경우를 생각해 보자. 이 경우 반사경 혹은 렌즈가 지지구조의 열적 변형과 격리되어 있지 않다면 지지구조의 이러한 변형이 광학 부품에 영향을 주어 상이 심하게 왜곡되는 현상을 가지게 될 것이다.

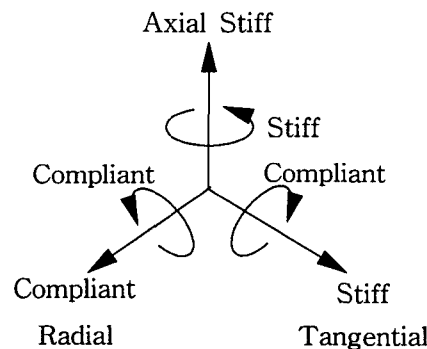


Fig. 1 Flexure concept

기계적, 열적 변형으로부터 광학 부품이 변형되는 것을 막기 위해 플렉서는 각 자유도별로 그림 1에 서와 같은 구조적 특성을 가져야 한다.⁽¹⁾ 먼저, 병진 자유도에 대해서는 반경 방향으로 유연해야 하고 나머지 두 자유도에 대해서는 단단해야 한다. 회전 자유도에 대해서는 광축 방향의 회전 자유도를 제외한 나머지 회전 자유도에 대해 모두 유연성을 가져야 한다.

본 연구는 $\Phi 300\text{mm}$ 위성용 고해상도 카메라 주반사경의 지지를 위한 플렉서 마운트의 설계 및 시험을 목적으로 하고 있다. 반사경의 지지는 반사경의 측면에서 3점 지지를 하는 것으로 하였다. 여러 형태의 플렉서 형태 중 그림 2와 같이 2각 플렉서(bipod flexure)와 단일 평판 플렉서(single-strip flexure)에 대하여 고려하였다. 2각 플렉서의 경우 정밀한 광학부품의 지지를 위하여 많이 이용되고 있다.⁽²⁾ 2각 플렉서의 각 다리는 일반적으로 두 방향의 자유도에 대하여 유연성을 제공한다. 단일 평판 플렉서의 경우 반경 방향으로의 유연성은 제공하지만 회전 자유도에 대한 유연성은 제공하지 않는다.

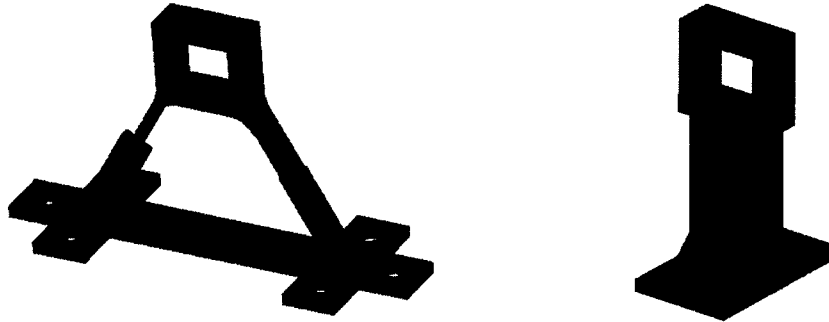


Fig 2. Bipod and single-strip flexures

그림 2와 같은 두 가지 형태의 플렉서에 대한 세부 설계를 위하여 유한요소법을 이용하여 주반사경이 마운트로 지지되어 있는 경우에 대한 해석을 수행하였다. 이 때 하중조건으로는 광축방향으로의 중력 및 1℃의 온도변화에 의한 열변형을 고려하였으며 반사경과 플렉서의 재료는 Al으로 가정하였다. 유한요소법을 이용한 주반사경의 변형해석을 통하여 얻어진 광학면의 변형을 광학적 성능과 연계시키기 위하여 자체 제작한 코드를 이용하여 변형을 제르니케 다항식(Zernike polynomial)으로 근사하여 각 수차특성을 구하고 파면오차의 제곱평균근오차(RMS W/E)를 구하였다. 이 때 각 부의 주요치수(다리의 길이, 두께, 다리와 바닥과의 각도 등)를 매개변수로 하여 값을 변화시켜 가면서 반복해석을 수행함으로써 매개변수에 대한 광학성능의 변화 양상을 확인하였다. 최종적으로 결정된 모델에 대해 플렉서 종류에 대한 광학성능을 표 1에서 비교하였다.

Table 3 플렉서 종류에 따른 광학성능 비교($\lambda = 632.8nm$)

	광축 방향의 중력	1℃의 온도변화	무게(g, 3 σ)
hard mount	0.053473 λ	0.522628 λ	-
bipod flexure	0.085771 λ	0.004887 λ	89.6
single-strip flexure	0.085978 λ	0.009428 λ	61.8

위의 결과로부터 플렉서 마운트를 사용할 경우 하드 마운트(hard mount)를 사용한 경우에 비해 자중에 의한 변형은 더 크다는 사실을 확인할 수 있다. 그러나 온도변화에 의한 열변형이 발생하는 경우 하드 마운트는 반사경을 과구속하여 파면오차가 매우 큰 값을 가지게 되고 플렉서 마운트의 경우 이러한 열변형을 마운트 자체의 구조적 특성을 이용하여 수용함으로써 작은 파면오차값을 가지게 되는 것을 알 수 있다. 앞으로 이러한 플렉서 마운트를 실제 제작하여 반사경에 장착 후 광학 시험을 실시함으로써 해석결과와 비교, 분석할 예정이다.

참고문헌

1. Martin Schreiber and Philip Young "Design of infrared astronomical satellite(IRAS) primary mirror mounts", Proc. of SPIE, Optomechanical Systems Design, Vol. 0250, pp. 50-58.
2. Daniel Vukobratovich and Ralph M. Richard, "Flexure mounts for high-resolution optical elements", Proc. of SPIE, Optomechanical and Electro-Optical Design of Industrial Systems, Vol. 0959, pp. 18-36.