

인공위성용 지구관측 광학카메라 광학성능의 열탄성 효과 분석

Thermo-elastic Effect Analysis of Optical Performance for Spaceborne Earth Observation Camera

양승욱(suyang@satreci.com), 김종운, 김도형, 강명석, 최영완, 김이을
(주)썬트랙아이

인공위성용 지구관측 카메라의 광학 성능을 좌우하는 요소는 다음과 같다.

광학면의 제작 오차와 광기계 구조물 제작시의 정렬 및 조립 오차와 함께 중력에 의한 구조물 및 광학면의 변형 오차, 위성체 발사 환경으로부터 오는 정현파, 랜덤, 음향 충격 하중 등의 진동 환경에 의한 영향 등의 예를 들 수 있고, 마지막으로 지구 공전 궤도 진입시 중력 하중 제거에 따른 구조물의 재변형 오차 및 우주 열환경 하에서의 온도 변화에 의한 구조물 및 광학면의 변형 오차가 고려되어야 한다.

실제적으로 구현 가능한 광기계 구조물의 제작을 위해서는 설계 초기 단계부터 광학, 구조, 열해석을 통해 위와 같은 오차 요소들을 적절히 분배하고 검증해야 한다. 이중 우주 열환경에 기인한 광학성능 저하는 궤도상에서 카메라 운용시의 광학 성능을 좌우하는 주요 변수로서 이의 평가를 위해선 열해석, 열탄성 구조해석, 광학 해석의 3단계를 거치면서 평가가 이루어 진다.

본 논문에서는 현재 (주)썬트랙아이와 말레이시아의 국영기업ATSB가 공동개발중인 인공 위성 RazakSAT의 주 탑재체인 해상도 2.5m급 지상관측 카메라 MAC(Medium-sized Aperture Camera)을 대상으로 하여 우주 열환경에서의 카메라의 온도분포를 파악하고 이에 의한 광기계 구조물의 열탄성 변형 그리고 광학 성능 변화를 논의하였다.

인공위성용 카메라의 궤도 환경하에서 열해석을 위해서 I-DEAS TMG를 이용하여 복사연성계수, 궤도 열 유속, 전도 연성 계수를 구하여 절점 열해석 모델(Lumped thermal Node model)을 구성하였고, 동일 프로그램을 이용 열해석을 수행하여 카메라의 온도분포를 구하였다.

열해석 모델은 복사 연성 계수 해석에 따른 계산량이 크므로 일반적으로 구조해석용 유한 요소 모델(Finite Element Model)에 비해서 절점(Node) 또는 요소(Element)의 갯수가 작다. 열해석 모델을 통해 구해진 온도분포는 공간상에서 보간법(Interpolation)을 통해서 보다 조밀한 유한 요소 모델로 사상(mapping) 된다. 이와 같은 온도 분포 사상과정은

I-DEAS 내부에서 열해석 모델 및 열탄성 해석 모델사이에서 이루어지고, 열탄성 해석은 MSC/NASTRAN solver에서 수행하였다. 그림1은 MAC의 열탄성 해석 모델을 보여준다.

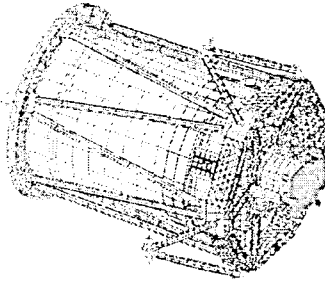


그림 1. 열탄성 해석 모델

열탄성 해석을 통해서 얻어진 광학면(거울 및 렌즈)의 변위결과는 광학면 사이의 상대 위치 변화(Despace, Decenter) 및 상대 각도의 변화(Tilt)와 같은 강체 이동 성분과 광학면 자체의 변형 성분의 두가지로 나누어서 분석된다. 광학면 자체의 변형은 변위를 Zernike 다항식으로 분할한 후 광학면의 강체 이동 성분(Piston, tilt)을 제거한 나머지 성분을 통해 구할 수 있다. 그림 2는 Zernike 다항식으로 분할한 광학면의 파면오차 형상이다.

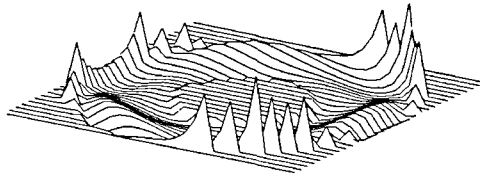


그림 2. 광학면의 파면 오차 형상

이와 같이 구한 강체 이동 성분 및 광학면 변형의 성분을 각각 광학 해석 프로그램인 ZEMAX에 입력하여 세부적인 광학성능의 변화를 검토하게 된다.

이와 같은 과정을 거쳐 우주 열환경하에서의 온도변화에 의한 카메라의 광학성능 변화를 검토하였고 요구조건을 만족함을 알 수 있었다.

(참고문헌)

1. E. D. Kim, Y-W Choi, H-S Yang et al, "Medium-sized aperture camera for Earth observation from space ", Proc. SPIE Vol. 5542, p. 117-124 (2004)
2. Victor L. Genberg, "Integrated Optomechanical Analysis", SPIE Press Vol. TT58, p. 50-63 (2002)