

인공위성용 지구관측 광학카메라의 MTF 측정

MTF Measurement of a Spaceborne Earth Observation Camera

김도형 (edk@satreci.com), 최영완, 강명석, 양승욱, 김종운, 정성근, 김이을, 양호순*
(주)세트렉아이, 한국표준과학연구원*

인공위성용 지구관측 광학카메라의 성능 요구조건은 통상 공간상의 변조전달함수인 MTF로 주어지며, 설계 단계에서부터 최종 조립까지 요구조건을 맞추기 위해 제어한다. 발사 후 궤도 상에서의 카메라의 MTF는 특정한 목표물을 찍은 영상을 토대로 추출해 내지만⁽¹⁾, 지상에서는 카메라 조립 후, 진공챔버 안에서 MTF를 측정하는 방법을⁽²⁾ 쓴다. 카메라 망원부만의 MTF 측정은 간섭계를 이용, 파면오차를 측정하여 auto-correlation 등에 의해 구할 수 있으나, CCD가 조립된 후의 카메라 시스템의 성능을 보기 위해서는 직접 CCD에서 영상을 받아 CCD 및 전자부의 영향이 포함된 MTF를 측정한다. 카메라 시스템의 MTF를 측정하는 방법은 여러 가지 방법이 있는데⁽³⁾ 그 중 정밀하게 측정하는 방법의 하나로 칼날주사 방법을 많이 이용한다. 본 발표에서는 지상해상도 2.5m 급 인공위성 RazakSAT의 주탑재체 지상관측 카메라 MAC⁽⁴⁾의 성능을 지상에서 시험하기 위한 실험과정과 결과 등을 정리한다.

MAC의 MTF 측정 장치는 그림 1에 간단하게 보여준다. 우선 시준장치를 이용하여 카메라에 칼날의 상을 전달한다. 이 때 칼날 주사 시의 jitter 등의 영향을 최소화하기 위해서는 축소광학계가 되도록 시준장치의 초점거리가 측정하고자 하는 카메라의 초점거리보다 길수록 유리하다. 본 실험에서는 초기에는 한국표준과학연구원의 비축포물면경을 이용한 시준장치를 이용하였다. 후기에는 역시 한국표준과학연구원에서 가공/시험한 450mm 급 반사경을 이용하여 회절한계의 파면오차를 가지는 시준장치를⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 만들어 이용하였다.

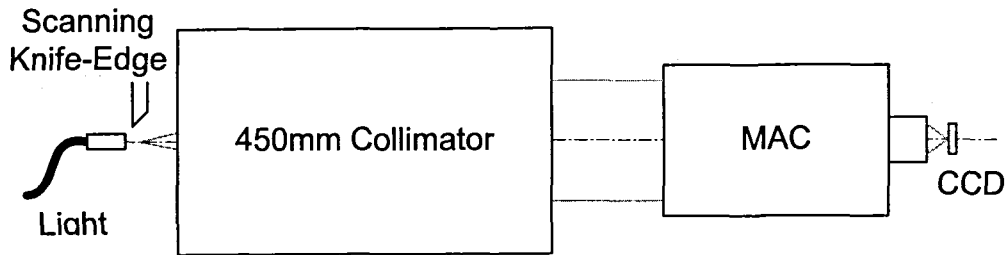


그림 1. MAC의 MTF 측정 개념

광범위 광원 (extended light source)를 이용하여 빛이 들어오는 부분의 신호가 균일하게 나오게 만들고, 이를 시준장치의 초점에서 횡방향으로 칼날을 주사시켜가며 CCD의 한 화소에서 맺힌 상의 edge-spread function(ESF)을 저장한다. MTF를 구하는 방법은 잘 알려진 방법인 ESF를 미분하여 line-spread function(LSF)을 구하고 이를 다시 fourier transform하여 구하는 방법을 이용하였다.

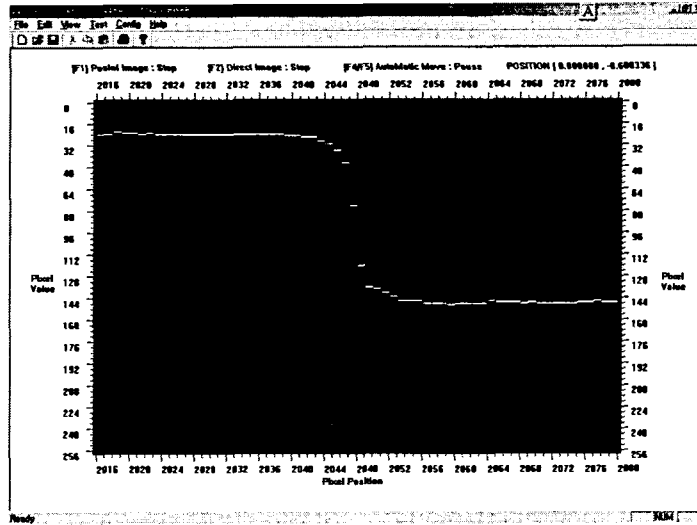


그림 2. MAC의 초점면부에서 잡은 ESF

처리되지 않은 ESF의 원래 데이터를 미분하여 MTF를 구하면 MTF가 정상적인 수치에서 벗어나는 경우가 있는데, 이를 막기 위해 smoothing 등을 이용하면 더 정확하게 MTF를 구할 수 있다. 또한 여러 시야각에서 MTF를 측정하여 MAC의 초점면부를 정렬할 때 이용하였다. 초점면부의 상하좌우를 보며, 시준장치의 여러 가지 광축위치에서 칼날을 주사시켜 MTF의 균형을 맞추어 초점면부의 기울기를 정렬하였다.

이상과 같이 MAC의 조립 후, 지상에서의 성능평가를 위해 실험실 MTF를 측정하였고, 주요 채널에서 요구조건을 만족시킴을 확인하였다. 장비/시설의 제약으로 진공챔버가 아닌 청정실 환경에서 측정하였는데 RMS 파면오차를 측정할 때와 마찬가지로 미세한 온도/기류 등의 환경에 민감하게 반응함을 알 수 있었다.

1. H-S Jang, D-J Jung, S-H Lee, "MTF analysis of KOMPSAT 1 from on-orbit image", Int. Symp. Remote Sensing (2004).
2. B. P. Canova, et al, "Modulation transfer function testing of a time-delay-integrate charge-coupled-device imager using a flashlamp light source", SPIE Proc. Vol. 3750, pp. 368-374 (1999)
3. T. L. Williams, "The Optical Transfer Function of Imaging Systems", Inst. of Physics Publishing, pp. 54-114 (1999).
4. 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)
5. 양호순, 김종운, 이운우 외, "직경 450 mm Cassegrain 형태 시준장치의 제작 Development of diameter 450 mm Cassegrain line collimator", 한국광학회지 v.15, n.3, pp.241-247 (2004)
6. 김종운, 강명석, 양호순 외, "구경 450mm Cassegrain Type 시준장치의 기계구조 개발", 한국광학회 하계학술발표회 (2004)