

## 다목적실용위성탑재 고해상도 카메라의 광학계 개발

### Optical Systems of the High-resolution Cameras for the KOMPSAT Payloads

이승훈, 백홍열\*

한국항공우주연구소 위성응용연구그룹, \*위성운영센터

shlee@kari.re.kr

정밀 지상관측 위성인 다목적실용위성 1호기에는 해상도 6.6 m인 전자광학카메라(EOC)가 탑재되어 현재 우수한 영상을 보내오고 있으며 2003년 발사예정인 2호기를 위하여 해상도 1 m의 Multispectral Camera(MSC)가 개발중이다. 미 TRW 사가 제작한 EOC 개발에 항우연의 연구진은 그 설계 및 시험의 각 단계별 검토와, 탑재, 위성전체 시험과 보정을 포함한 궤도운용 등의 수행과 함께, 개발기간 동안 현지에서 수행된 별도의 현장교육을 통하여 동급의 위성카메라를 실제 개발할 수 있는 설계기술을 이전받았다. 수차례 대구경 비구면 광학계 제작 경험을 더한 항우연은 MSC 공동개발선인 이스라엘 ELOP사와 현재 그 설계를 진행하고 있다.

685 km 고도에서 7.6 km/sec 속도로 비행하는 위성에 탑재되므로써 Pushbroom 방식 촬영을 수행하는 EOC는 반사식 광학계의 초점면에 놓인 10  $\mu$ m 화소 2592 개의 선형 어레이로써 1024 Hz의 frame rate로 검출된 영상신호를 탑재체자료 전송장치에 의해 25 Mbps의 속도로 지상국으로 보내며, 목표물 조준은 위성체의 정밀 자세제어에 의해 이루어지고 주기 당 연속촬영 시간은 한반도 종단길이에 해당한다. EOC는 광검출부(ESA)와 전자회로부(EEA)로 나누어지는데 위성 본체와 열적으로 차단되어 별도의 자체 온도조절 시스템을 갖추고 있는 ESA는 다시 Optomechanical Subassembly(OMS), Focal Plane Module 및 아날로그 신호처리 회로로 구성된다. 4 개의 공동면 티타늄 브라켓으로 마운팅 되는 OMS는 넓은 파장 대역에서 고른 품질의 영상을 수집하고 전체 구조를 소형, 경량화하기 위해 반사경만으로 된 비차폐, 비축상 3 면 반사 망원경 체계로 되어있다. 이는 제작 특히, 광정렬의 난점이 있으나 넓은 가로방향 시계각에서 대단히 우수한 광학성능을 작은 부피의 망원경 체계로 구현할 수 있으며 비구면인 반사경의 기본 재질과 OMS의 기본적 역학구조물은 같은 재질(Al-6061T6)을 사용하여 열적 특성을 통일시키므로써 왜곡을 최소화하였고, 자체 히터와 방열기로 온도 조절이 이루어진다. F-수 8.3, 초점 길이 1045 mm, 시계각(FOV) 24.9 mrad 등의 광학계 기본 설계 변수를 결정하여 CCD Nyquist 주파수 50 cycles/mm에서 광학계의 최종 MTF 값이 35 % 이상 되도록 설계하였는데, 이는 제작과 정렬 등을 고려한 OMS 전체의 WFE Budget을 0.15  $\lambda$  rms로 설정하여 분석한 값이며 이럴 때 EOC의 최종 시스템 MTF 값은 10 % 이상을 예상할 수 있었다. 관측파장 대역을 가시광선 영역의 510~730 nm로 하고, 각 반사경의 반사율 및 CCD 위 광학 필터의 투과율을 고려하여 광학계의 Total Throughput은 66 % 이상이 되도록 설계하였으며, ESA의 온도 조절을 위한 열해석을 수행하였다. EOC에는 TRW가 앞서 개발한 탑재체의 설계가 적용되었는데 다목적실용위성 1호가 가진 기술특성에 맞추어 광학계의 일부 및 광기계 구조가 설계 변경되어, 3 장의 비구면 반사경은 그대로이나 광경로를 일부 변경하여 더 간단한 구조에 효율이 높아지도록 하였고 다목적실용위성 발사체인 토러스 로켓의 진동규격에 맞추기 위해 광기

계들의 역학 구조를 더 안정되고 튼튼하게 변경하였다<sup>(1)</sup>. ESA는 탑재체 플랫폼의 지구 방향 쪽에, EEA는 그 반대 방향 쪽에 설치되도록 설계하였으며 이는 다목적실용위성 1호기의 탑재 플랫폼과 본체 사이가 2중 격벽으로 되어있는 점을 이용한 것이다. EOC의 총질량은 전자회로부를 합쳐 35 kg을 넘지 않도록 하였다. EOC 광학성능 검증에는 Spectral Response, MTF 등 각종 시험이 실시되었고 그 결과, EOC는 성능 및 접속 분야에서 모든 요구사항을 만족하거나 초과하도록 제작되었음이 입증되었다<sup>(2)</sup>. 위성 궤도상에서의 성능치를 예측할 수 있는 진공에서의 EOC의 파장별 반응특성 측정결과, FWHM이 EOC의 관측파장대역과 일치하므로써 그 분광학적 요구사항에 맞게 제작되었음을 확인하였다. EOC의 MTF 값은 왼쪽 필드에서 24 %, 중앙에서 20 %, 우측에서 16 %를 보여 Requirement 10 %를 초과하였다<sup>(3)</sup>, 시험시 측정된 MTF 곡선은 위성발사후 지상국의 영상처리 과정에서 MTF Correction을 통하여 세밀한 부분까지 명확한 상을 얻는데 사용되었다.

1호기와 일단 같은 궤도운영 개념을 설정한 다목적실용위성 2호기에 탑재키 위하여 항우연이 이스라엘 ELOP사와 현재 공동개발 중인 MSC는 500~900 nm 대역의 Panchromatic Channel을 해상도 1 m로, 450~900 nm 내 4 개의 Multispectral Bands를 4 m 해상도로 촬영하며 1호기에서와 같은 Pushbroom 방식, 위성체 정밀자세제어에 의한 조준방식을 쓰고 있다. Ritchey-Chretien 망원경에 PAN 및 MS Channel 별로 다른 수 개의 보정 렌즈를 더한 일종의 Catadioptric System인 MSC는, 광학적 입사구경이 600 mm, FOV 1.25°, 최종 MSC 시스템 MTF가 PAN 15 %, MS 20 % 등 이미 결정된 사항을 가지고 세부 분야별로 현재 몇 가지 설계를 병행하여 예비설계검토(PDR) 전에 하나를 선택할 예정이다. 제 1 안의 경우, PAN의 초점길이가 9000 mm, MS 2250 mm이고, 각각의 초점면에는 13 μm 화소 5200 개의 CCD 어레이 3 개(MS는 2×3)를 Optical Butting에 의해 길이로 이어 685 km 고도에서 총 15 μm의 연속된 swath를 갖도록 하였다<sup>(4)</sup>. 이 CCD 어레이는 PAN의 경우 Line Rate 6800 Hz, MS의 경우 1700 Hz이며 최대 32 단계의 TDI 기능을 갖고 있다. 경통의 입사구 쪽 끝에서 3 개의 spider로 지지되는 2차 반사경은 5 축 자유도를 가지고 궤도상에서 필요시 미세조정이 가능하며 MS Bands의 Radiometric On-board Calibration을 위한 표준광원이 2차 반사경 중앙에 내장되어 있다. MSC는 입사구경을 비롯한 전체가 크고 궤도당 작동시간이 1호기의 EOC 보다 훨씬 길어 열해석에 전보다 많은 비용이 주어졌는데 1, 2차 반사경 기본 재질은 현재 Zerodur 또는 ULE를 고려하고 있으며 각각의 경우를 기계해석중이다. MSC의 총 질량은 120 kg 이하로 개발중인데 반사경의 Aspect Ratio 및 Undercut에 의한 경량화, 주반사경의 Baseplate 장착 방법 등도 설계중이며, 발사 및 우주 환경이 줄 수 있는 광기계적 변형에 의한 WFE 분석도 현재 수행중이다.

#### 참고문헌

1. Byoung-Kyo Kim, Jang-Soo Ryoo, Seunghoon Lee, et. al., "System Design and Development of the Korea Multi-Purpose Satellite (III), Annual Report", Ch.4, 205-219 (1997)
2. Robert Whitley, Glenn Brossus, David Shuckstes, et. al., "Final Acceptance Test Report on KOMPSAT Electro-Optical Camera, End Item Data Package, Vacuum Performance Tests"(Technical data under control pursuant to the KOMPSAT Contract between KARI and TRW), Appendix 90 (1998)
3. Seunghoon Lee, Hyung-Sik Shim, and Hong-Yul Paik, "Characteristics of the Electro-Optical Camera(EOC)", Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 14, 213-222 (1998)
4. ELOP, "Multi-Spectral Camera System Design Review"(Technical data under control pursuant to the MSC Contract between KARI and ELOP), Ch. 5 & 6, (2000)