

위성 전자광학 결상계의 실용적 MTF 성능 지표

Study on Practical MTF Budget of Satellite Electro-Optical Imaging System

조 영 민

한국항공우주연구소 위성응용연구그룹

ymcho@kari.re.kr

우주에서 작동이 검증되었고 영상 품질이 잘 알려진 기존 위성 전자광학 결상계들의 MTF 특성을 분석하여 위성 전자광학 결상계 설계에서 실제로 적용될 수 있는 최적화된 MTF 성능 지표를 구하는 방법을 제시하였다. KOMPSAT-1 EOC와 IKONOS에 대해 이론적 한계가 잘 알려진 MTF 성분들인 광학회절한계 MTF와 Spatial 및 Temporal Sampling MTF를 분석하여 실용적인 MTF 성능 지표를 구하였고, 이 지표를 이용하여 몇 가지 광학계의 최소 구경을 추정하여 지표의 실용성을 검토하였다.

일반적으로 위성체 개발에서 우주라는 특수 환경으로 인해 크기 및 질량에 대한 제한이 매우 엄격하고 우주에서 작동성능이 이미 검증된 부품 및 개발 방법을 선호하게 마련이다. 따라서 위성기술의 변화는 매우 더디고 최근에 우주검증이 완료된 기기는 가까운 장래에 대한 매우 중요한 지표가 된다.

최근 위성 전자광학 결상계의 세계적 개발 추세 중의 하나는 지상해상도 1m 수준의 고해상도 전자광학 기기의 상용화이다. 최근의 위성 고해상도 전자광학계에서는 대구경의 반사경 광학계와 Charge Coupled Device (CCD)를 광검출기로 사용하고 Push-broom 주사 방식으로 2차원 영상을 만들어낸다.

위성 전자광학계의 체계 MTF는 위성 영상의 품질을 결정하며 표 1과 같이 각 구성요소가 기여하는 MTF 성분들의 곱으로 표현된다. 표 1의 MTF 성분들 중에서 광학회절한계 MTF^[1], Spatial Sampling MTF^[2], Temporal Sampling MTF^[2]는 이론적 한계를 갖는 MTF들이며 그 이론 공식들은 잘 알려져 있다. 이 3 가지 MTF들의 곱을 한계 MTF로 정의하면 체계 MTF는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{체계 MTF} = \text{한계 MTF} \times \text{기술 의존 MTF}$$

여기서 기술 의존 MTF는 체계 MTF에서 한계 MTF를 제외한 잔여 MTF 성분들의 곱으로서, 사용하는 기술 수준에 따라 개선시킬 수 있는 MTF이며 한계 MTF값보다 전체에서 차지하는 비율이 꽤 작다.

Nyquist 공간 주파수에서 일정한 한계 MTF 값을 만족시키는 최소의 광학계 구경을 CCD 소자 하나의 시계각인 화소 시계각(Instantaneous Field of View: IFOV) 별로 구하였고, 최근에 우주에서 영상을 생성하고 있는 KOMPSAT-1 EOC^[3]와 IKONOS의 한계 MTF를 분석한 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 보듯이 EOC가 IKONOS보다 더 큰 한계 MTF 값을 갖고 있음을 알 수 있다. IKONOS 해상도가 더 작은 것을 고려한다면 IKONOS가 EOC보다 광학계 크기에 있어서 더 적은 설계 여분을 갖고 있는 것으로 해석되며, 기술 의존 MTF의 향상 즉 기기 개발 기술의 향상을 이룩한 것으로 볼 수도 있을 것이다. 이것은 일반적으로 동일한 활용 효과를 갖는 두 전자광학 기기의 한계 MTF 값의 차이는 설계 여분의 차이 즉 설계 최적화 정도의 차이를 의미한다고 해석된다.

IKONOS의 상용성을 고려시 당분간 향후 위성 전자광학계의 설계 최적화 수준은 IKONOS 수준에 머무를 것으로 예측되므로, IKONOS의 한계 MTF 값을 실용적인 최적화 지표로 정하여 현재 개발 중이

거기 후 개발하려는 동종의 위성 전자광학계에 대한 성능 지표로 활용하는 것은 물론 전자광학계 설계에 이용하는 데에 큰 무리가 없을 것으로 생각된다. 이 지표의 실용성 검토를 위해, IKONOS 수준의 개발 기술 확보시 IKONOS 수준의 영상을 가능케 하는 광학계 최소 구경을 IKONOS의 한계 MTF 값을 이용하여 그림 2와 같이 구하였다.

표 1. 위성 전자광학계의 MTF 산출 구조

Subsystem	MTF component	EOC		IKONOS		Remark
		Along-Track MTF	Cross-Track MTF	Along-Track MTF	Cross-Track MTF	
Optics	Diffraction	0	0	0	0	Theoretical Limit
	Design Aberration	0	0	0	0	
	Manufacturing & Assembly	0	0	0	0	
	Alignment	0	0	0	0	
Detector (CCD)	Spatial Sampling	0	0	0	0	Theoretical Limit
	Charge Carrier Diffusion	X	0	X	0	
	TDI mismatch	X	X	0	0	
	Alignment	0	0	0	0	
Electronics	Compression	X	X	0	0	
	Other Processing	0	0	0	0	
Spacecraft	LOS error	0	0	0	0	
	Temporal Sampling	0	X	0	X	Theoretical Limit
	Smear	0	0	0	0	
	Jitter	0	0	0	0	
Environment	Thermal / Vacuum	0	0	0	0	
	Other degradation	0	0	0	0	

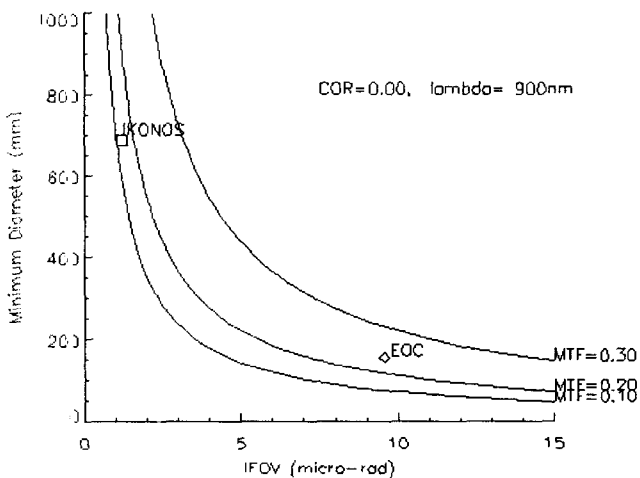


그림 1. 주어진 Along-track 한계 MTF 값에서 IFOV에 대한 광학계 최소 구경 크기 변화 (EOC, IKONOS 구경은 환산값임.)

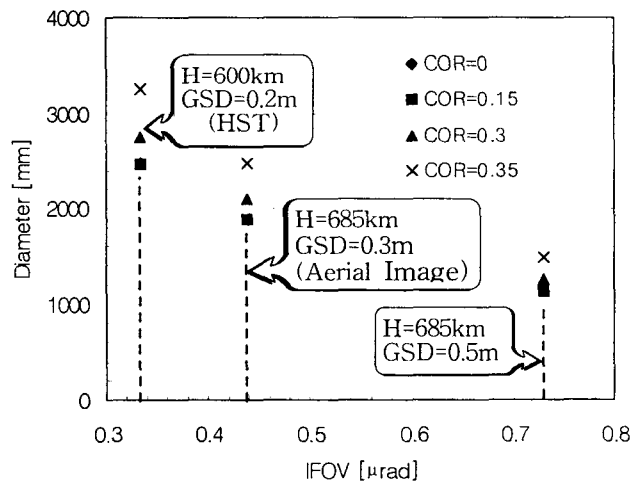


그림 2. IKONOS 수준의 영상 품질을 제공할 수 있는 광학계 최소 구경 ($\lambda=900\text{nm}$, COR: Central Obscuration Ratio)

참 고 문 헌

[1] W. Wetherell, Applied Optics and Optical Engineering, Vol. VIII, p 309, 1980.
 [2] J.F. Johnson, "Modeling Imager Deterministic and statistical Modulation Transfer Functions", Applied Optics, Vol. 32, pp.6503-6513, 1993.
 [3] S. Lee, H.S. Shim, and H. Y. Paik, "Characteristics of the Electro-Optical Camera (EOC)", Journal of the Korea Society of Remote Sensing, Vol. 14, No. 3, pp. 213-222, 1998.