위성 영상 탑재체에 관련된 영상품질 인자의 특성

조영민*

Characteristics of the Image Quality Parameter in Satellite Imaging Instrument

Young-Min Cho*

Abstract

The characteristics of the satellite image quality parameters driven by satellite imaging instrument are investigated. Since the satellite image is directly produced by the satellite imaging instrument, the satellite image quality depends on the imager performance highly. This is why the imager performance parameters are considered as an important part of the satellite image quality parameters. The imager performance parameters consist of spectral band parameters, ground sample distance(GSD) parameters, swath width parameters, imager Modulation Transfer Function (MTF), imager Signal to Noise Ratio(SNR), radiometric response characteristics parameters, pixel registration, and imager calibration.

초 록

위성 영상 품질 인자들 중에서 위성 영상 탑재체에 의해 결정되는 인자들의 특성을 조사하였고 그들의 특성을 연구하였다. 위성 영상은 일차적으로 위성영상탑재체에 의해 생성되므로 위성 영상의 품질은 위성영상탑재체의 성능에 크게 의존한다. 따라서 위성 영상 품질 인자로서 탑재체 성능 인자를 고려하여야 한다. 탑재체 성능 인자는 대략적으로 관측파장대역(Spectral Band), 지상화소거리(Ground Sample Distance: GSD) 결정 인자, 관측폭 결정 인자, 탑재체 Modulation Transfer Function (MTF), 탑재체 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR), 여러 탑재체 복사 응답 특성 인자, Pixel Registration, 탑재체 보정 등이 있다.

키워드 : 위성 탑재체 (satellite payload), 영상 품질(image quality), 기기 성능(instrument performance), 해상도(resolution), 변조전달함수(MTF), 신호대잡음비(SNR)

1. 서 론

위성 영상 품질은 위성영상탑재체의 성능에 의존한다. 따라서 위성 영상 품질 인자에 탑재체 성능 인자를 포함하여야 한다. 탑재체 성능 인자는 대략적으로 관측파장대역(Spectral Band), 지상화소거리(Ground Sample Distance: GSD) 결정 인자, 관측폭 결정 인자, 탑재체 Modulation Transfer

* 위성응용연구그룹/ ymcho@kari.re.kr

Function (MTF), 탑재체 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR), 여러 탑재체 복사 응답 특성 인자, Pixel Registration, 탑재체 보정 등이 있다. 각 성능 인자들의 특성을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

2. 본 론

2.1 관측파장대역(Spectral Band)

관측파장대역은 위성영상의 분광 특성 및 종류를 결정하는 탑재체 성능 인자로서, 관측하고자하는 파장 대역의 개수, 각 파장대역의 중심파장과 파장대역폭, 분광 응답 곡선의 기본 형태 등의 요소들이 관측파장대역을 규정한다. 일반적으로 광학 필터 또는 회절 격자를 사용하여 입력광을 분광 및 선택함으로써 관측파장대역을 구현한다. 최종 관측 신호는 관측파장대역 내의 파장별 신호의 합이므로 MTF, SNR 등의 다른 탑재체 성능 인자들이 관측 파장 대역 특성에 의존한다. 관측파장대역은 관측하고자 하는 물질 특성, 관측 대상 지역의 특성, 활용 분야에 맞게 정해진다. 일반적 경우 가시광선에서 적외선에 이르는 여러 파장대별로 수집되는데, 각 파장별 관측 예는 표 1과 같다.

표 1. 파장별 관측 예
(Landsat TM Band Selection [1])

파장(㎛)	적용분야
0.45 0.52	해안 지역 지도 토양면/ 목초지 구분
0.52 0.60	싱싱한 초록색 초목 탐지
0.63 0.69	엽록소 흡수를 통한 수종 구분
0.76 0.90	생물량 조사, 해류 분석
1.55 1.75	목초지역 습도 측정
2.08 2.35	열수 지도, 지질 지도
10.4 12.5	열영상 지도 식물의 열 스트레스 측정

2.2 지상화소거리(GSD) 결정 인자

지상화소거리(GSD)는 위성 영상의 공간 해상도를 결정하는 중요 인자 중의 하나로서 다음과 같이 위성영상탑재체의 주요 규격 요소들로서 결정된다.

$$GSD = \frac{Px}{EFL} H \tag{1}$$

여기서 EFL은 위성영상탑재체 광학계의 초점거리, Px는 위성영상탑재체 초점면의 Charge Coupled Device (CCD) 화소 크기, H는 위성체의 고도이다.

표 2. 주요 지구관측 위성들의 관측 파장 대역[2-8]

위성체	탑재체	파장대역(um)	위성체	탑재체	파장대역(um)
KOMPSAT-1	EOC	Pan 0.51-0.73	SPOT 1,2,3	HRV	Pan 0.51-0.73 B1 0.50-0.59 B2 0.61-0.68 B3 0.79-0.89
	OSMI	B1 0.402-0.422 B2 0.433-0.453 B3 0.480-500 B4 0.545-0.565 B5 0.745-0.785 B6 0.845-0.885	LANDSAT-4	TM	T1 0.45-0.52 T2 0.52-0.60 T3 0.63-0.69 T4 0.76-0.90 T5 1.55-1.75 T7 2.08-2.35 T6 10.4-12.5
KOMPSAT-2	MSC	Pan 0.50-0.90 MS1 0.45-0.52 MS2 0.52-0.60 MS3 0.63-0.69 MS4 0.76-0.90	NOAA	AVHRR	A1 0.58-0.68 A2 0.725-1.0 A3 3.53-3.93 A4 10.3-11.3 A5 11.5-12.5
IKONOS		Pan 0.45-0.90 MS1 0.45-0.53 MS2 0.52-0.61 MS3 0.64-0.72 MS4 0.76-0.88	SeaStar	SeaWiFS	B1 0.402-0.422 B2 0.433-0.453 B3 0.480-500 B4 0.500-0.520 B5 0.545-0.565 B6 0.660-0.680 B7 0.745-0.785 B8 0.845-0.885
EROS A1		Pan 0.5-0.9	IRS-1C/ 1D		Pa 0.5-0.75 B1 0.52-0.59 B2 0.62-0.68 B3 0.77-0.86 B4 1.55-1.70

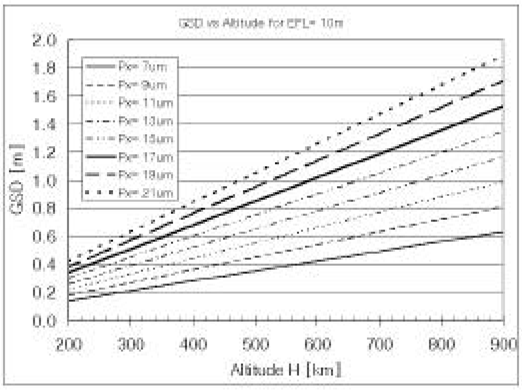

그림 1. 고도(H) 및 CCD 화소 크기에 따른 지상화소거리(GSD)의 변화 (EFL=10m)

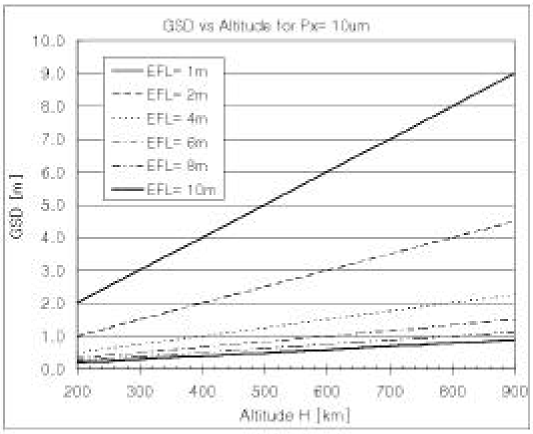

그림 2. 고도(H) 및 초점거리(EFL)에 따른 지상화소거리(GSD)의 변화 (P_x =10㎛)

고도와 CCD 화소 크기가 작을수록 그리고 초점거리가 클수록 지상화소거리(GSD)가 작아진다. 즉 정밀하고 큰 탑재체를 이용하여 낮은 고도에서 영상을 얻어야지 작은 지상화소거리(GSD) 즉 고해상도의 영상을 얻을 수 있다. 고도(H), CCD 화소 크기, 초점거리 변화에 따른 지상화소거리(GSD)의 변화를 그림 1과 2에 나타내었다. 고도 650km에서 1m의 지상화소거리(GSD)를 얻기 위해서는 대략적으로 초점거리 10m의 광학계와 화소크기 15㎛의 CCD가 필요하다. 또는 고도 600km에서 초점거리 6m의 광학계와 화소크기 10㎛의 CCD로 1m의 지상화소거리(GSD)를 얻을 수도 있다. 즉 여러 가지 방법으로 1m의 지상화소거리(GSD)를 얻을 수 있는데 어느 것이 좋은 것인지 정하려면 MTF, SNR 등의 다른 탑재체 성능 요소들도 함께 고려하여 임무에 적합한 것을 선택하는 것이 좋다.

2.3 관측폭(Swath Width) 결정 인자

관측폭은 영상의 품질이 유지되는 위성 영상의 크기를 결정하는 인자로서 주어진 광학성능을 만족하는 광학계의 시야각(Field Of View: FOV)과 CCD 화소 개수에 의존한다. 일반적으로 광학계의 시야각과 CCD 화소 개수는 서로 동일한 관측폭에 해당하도록 결정되므로 Push-broom 주사 방식에서 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\text{관측폭} = \text{지상화소거리(GSD)} \times \text{CCD화소개수} \quad (2)$$

표 3. 주요 지구관측 위성의 해상도(GSD) 및 관측폭

위성명	탑재체명	해상도(GSD)	관측폭
KOMPSAT-1	EOC	6.6m	17km
	OSMI	0.85km	800km
KOMPSAT-2	MSC	1m	15km
IKONOS		0.82m	11km
EROS A1		1.8m	12.5km
IRS-1C/ 1D		Pan: 5.8m B1 B3: 23m B4: 70m	Pan: 70km B1 B4:142km
SPOT 1,2,3	HRV	Pan: 10m B1 B3: 20m	60km
LANDSAT-4	TM	T1 T5, T7: 30m T6: 120m	185km
NOAA	AVHRR	1.082km	2500km
SeaStar	SeaWiFS	1.1km @nadir	2801km @equator

지상화소거리(GSD)가 일정할 때 관측폭이 넓을수록 많은 수의 CCD 화소가 필요하다. CCD 화소 수가 많은 것은 영상 자료량이 많은 것을 의미하며 이는 대용량 자료의 고속 처리, 저장, 전송 장치가 탑재되어야 함을 의미한다. 정확한 영상 품질 평가를 위해서는 관측폭 내의 모든 화소들에 대해 지상화소거리(GSD), MTF, SNR등의 다른 탑재체 성능 인자들이 고려되어야 한다. 1m의 지상화소거리(GSD) 경우 15km의 관측폭을 얻기 위해서는 15,000개의 CCD 화소가 필요하다. 몇 가지 주요 지구관측 위성의 관측폭을 해상도(GSD)와 더불어 표 3에 제시하였다.

2.4 탑재체 MTF

일반적으로 영상기기는 결상, 신호 변환 및 처리 과정에서 물체의 입력광 신호를 왜곡시켜 영상을 흐리게 만드는데 이런 영상기기의 특성은 MTF로 표현되며 영상기기의 중요한 성능 요소로 취급된다. MTF는 영상기기가 물체의 선명도를 얼마나 잘 재현하는가에 대한 척도이며, 공간 주파수 f (즉, 공간 주기의 역수)에 따라 변한다. 일반적으로 영상기기의 MTF는 공간 주파수 f의 감소 함수이다. 작은 물체들은 조밀하게 변하는 공간 세기 분포를 만들며 큰 값의 공간 주파수 성분을 많이 가지고, 큰 물체들은 성기게 변하는 공간 세기 분포를 만들며 작은 값의 공간 주파수 성분을 많이 갖는다. 큰 물체의 영상은 잘 보이고 작은 물체의 영상은 잘 안 보이는 것은 MTF가 공간 주파수의 감소함수이기 때문이다. MTF의 최대 값은 1 이며 이 경우 영상기기는 영상의 흐림을 전혀 만들지 않는 즉, 물체와 동일한 세기 분포의 영상을 만드는 이상적인 경우이다.

위성영상 탑재체의 MTF는 위성영상의 선명도를 결정하는 중요 인자로서 올바른 MTF 산출을 위해서는 위성영상 탑재체의 영상 획득 과정 전반에 대해 폭넓고 정확한 이해가 필요하다. 지상의 물체에서 오는 빛이 위성 영상 탑재체의 광학계에 입사한다. 광학계는 지상 물체의 빛을 CCD가 놓여 있는 초점면에 결상시키고 CCD는 광영상을 전자신호로 바꾸어 탑재된 영상신호처리 전자회로에 전달한다. 이 회로에서 영상 신호의 증폭, 옵셋 조정, 디지털화(digitization), 화소별 응답 편차 보정, 압축, 암호화 등의 처리를 수행한 후 탑재된 자료전송장치를 통해 전송 자료를 포장, 변조하여 Radio Frequency의 전자기파 형태로 지상의 자료 수신국에 보낸다. 이상과 같은 탑재체의 영상 획득 각 과정은 탑재체 MTF에 영향을 미치므로 각 과정별로 MTF를 고려하고 탑재체 MTF는 각 과정별 MTF의 곱으로 구할 수 있다. 탑재체 MTF는 크게 광학계 MTF, 광검출소자(Detector) MTF, 전자회로 MTF로 구분할 수 있으며 각각을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

2.4.1 광학계 MTF

광학계 MTF는 광학계의 결상 과정에서 발생하는 물체 신호의 변형 정도를 나타내며 영상 선명도 저하의 일차적 원인을 제공한다[9]. 즉 광학계 MTF는 광학계가 물체와 완전히 똑 같은 광영상을 재현해내지 못하는 데 있으며, 물체 또는 이상적인 영상과 실제 영상의 차이(오차)는 광학계의 회절한계 특성, 광학계 설계 잔류 수차, 제작 공차, 조립 및 정렬 오차 등에 기인한다. 이러한 각 오차들에 대한 MTF들을 고려해 볼 수 있으며, 그 중에서 광학계의 회절한계에 의한 MTF는 광학계 기본 규격 요소들에 의해 결정되고 나머지 오차들에 대한 MTF들은 설계, 제작, 조립 및 정렬의 상세 상태에 따라 결정된다.

광학회절한계 MTF는 광학계의 유한한 구경 크기에 의해 발생하는 회절 효과로 인해 영상 흐림이 나타나는 데 이를 MTF로 표현 한 것이며, 공간 주파수, 구경, 초점거리, 파장, 중앙차폐율 (Central Obscuration Ratio: COR)의 함수이다. 일반적으로 광학계는 원형의 개구를 갖으며, Cassegrain 종류 또는 Ritchey Chretien 종류 등과 같이 반사경들로 구성된 일부 광학계에서는 광축 중앙부분에 2차 반사경에 의한 차폐가 있다. 이들 기본 규격 요소들이 광학회절한계 MTF에 미치는 영향을 살펴보기위해 대략 1m의 지상화소거리(GSD)가 얻어 질 수 있는 고해상도 광학계에 대한 예제를 고려하였다. 먼저, 사용하는 파장에 따른 광학회절한계 MTF의 변화를 그림 3에 제시하였

다. 파장이 짧을수록 광학회절한계 MTF 값이 높은 것을 알 수 있다. 초점거리 10m, 구경 60cm의 원형 개구의 광학계 경우 50 lines/mm의 공간 주파수에서 파장 범위 0.4 0.9μm에 대해 광학회절한계 MTF 값은 0.58부터 0.14까지 변화가 매우 크다. 따라서 위성영상에서 사용하는 관측파장대역 선정은 파장이 영상의 선명도에주는 영향을 고려하여 결정해야 한다. 일반적으로 흑백 또는 전정색 (panchromatic) 대역은 표 2와 같이 대부분의 가시광선 영역을 포함하는 넓은 파장 범위를 가지므로 최종 영상은 파장에 따라 MTF 즉 선명도가 다른 영상들이 중첩되어 나타나게 된다. 전정색 대역의 경우 MTF를 한가지 값으로 정확히 규정짓기는 어렵지만 일반적으로 하나의 대표값으로 나타낸다. 대표값을 정하는 방법으로 최저 MTF 값, 중간 MTF 값, 파장별 가중치를 고려한 평균 MTF 값, 중간 파장에서의 MTF 값 등을 들 수 있다.

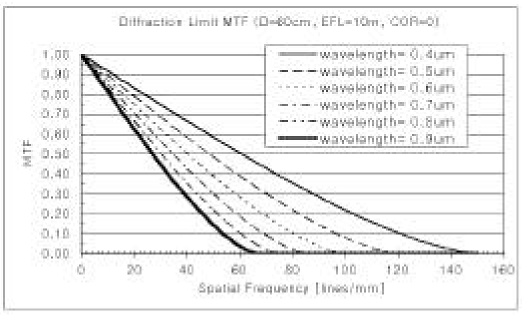

그림 3. 파장 변화에 대한 광학회절한계 MTF의 변화

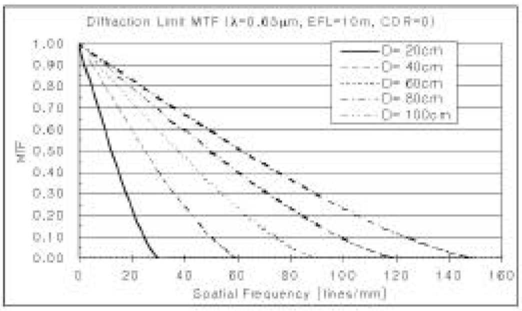

그림 4. 구경(D) 변화에 대한 광학회절한계 MTF의 변화

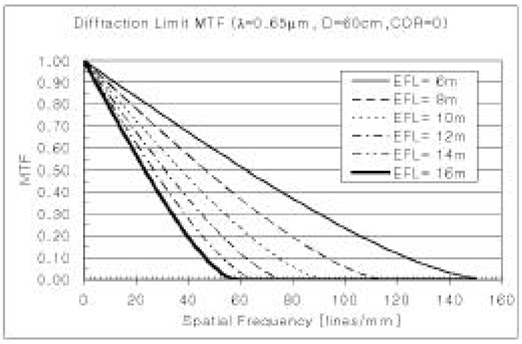

그림 5. 초점거리(EFL) 변화에 대한 광학회절한계 MTF의 변화

광학계 구경 변화에 대한 광학회절한계 MTF의 변화를 그림 4에 제시하였다. 구경이 클수록 광학회절한계 MTF 값이 높은 것을 알 수 있다. 즉 선명한 영상을 얻기 위해서는 큰 구경의 광학계가 필요한 것을 알 수 있다. 파장 0.65μm, 초점거리 10m의 원형 개구 광학계 경우 50 lines/mm의 공간 주파수에서 구경 범위 20 100cm에 대해 광학회절한계 MTF 값은 0.0부터 0.59까지 변화가 매우 크다. 그림 4에서 50 lines/mm의 공간 주파수를 고려할 경우 40cm 이하의 구경은 MTF 값이 너무 작아 사용하기 부적절함을 알 수 있다.

광학계 초점거리 변화에 대한 광학회절한계 MTF의 변화를 그림 5에 제시하였다. 초점거리가 작을수록 광학회절한계 MTF 값이 높은 것을 알 수 있다. 선명한 영상을 얻기 위해서는 무조건 초점거리가 작아야 하는 것으로 쉽게 결론을 내릴 수가 있는데 이는 큰 오해이다. 식(1)에서 보듯이 일정한 고도와 CCD 화소 크기에 대해 초점거리가 작을수록 지상화소거리(GSD)가 커지므로 이로 인해 영상의 공간 해상도가 나빠지고 결국 초점거리가 작을수록 전체적인 영상의 품질은 떨어지게 된다. 한편, 일정 고도에서 일정한 지상화소거리를 유지하기 위해서는 실제적으로 사용 가능한 CCD 화소 크기에 제한이 있으므로 최소 초점거리에 한계가 존재한다. 파장 0.65μm, 구경 10m의 원형 개구 광학계 경우 50 lines/mm의 공간 주파수에서 초점거리 범위 6 16m에 대해 광학회절계 MTF 값은 0.59부터 0.06까지 변화가 매우 크다.

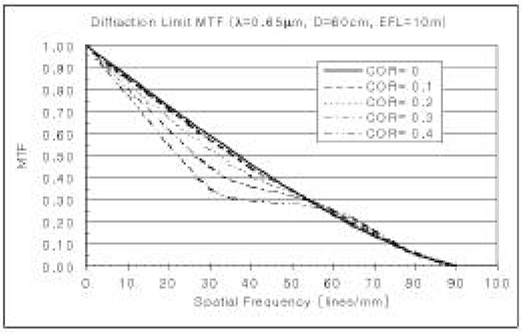

그림 6. 중앙차폐율(COR) 변화에 대한 광학회절한계 MTF의 변화

광학계 중앙차폐율 변화에 대한 광학회절한계 MTF의 변화를 그림 6에 제시하였다. 중앙차폐율 값이 커질수록 중간 이하의 공간 주파수에서 MTF 값이 떨어지고 중간 이상의 공간 주파수에서 MTF 값이 아주 조금 올라가는 것을 알 수 있다. 일반적인 경우 선명한 영상을 얻기 위해서는 중앙차폐율 값이 작은 것이 좋다. 파장 0.65µm, 초점거리 10m, 구경 10m의 광학계 경우 50 lines/ mm의 공간 주파수에서 중앙차폐율 범위 0 0.4에 대해 광학회절한계 MTF 값은 0.35부터 0.29까지 변화가 크지는 않다.

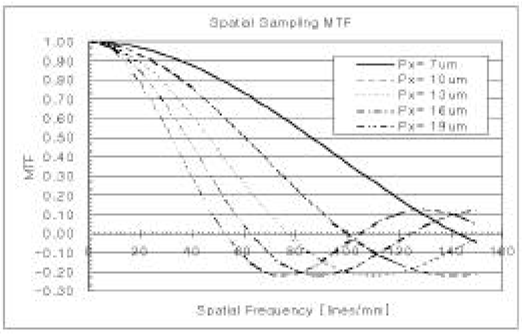

그림 7. CCD 화소 크기 변화에 대한 Spatial Sampling MTF 변화

2.4.2 광검출소자(Detector) MTF

일반적으로 고해상도 위성 영상 탑재체에서 선형 CCD 배열을 사용하며 선형 CCD 배열 방향에 수직인 방향으로 위성 속도를 이용하여 주사하는 Push-broom 주사를 통해 2차원의 영상을 얻는다. 광 영상은 연속적으로 상면에 분포하지만 CCD 배열에 의해 광영상을 전자 신호로 변환시 CCD 배열 각각의 화소 위치에서 한 화소 크기 만큼의 광영상 신호를 공간적으로 적분하여 각 화소의 전자 신호를 만드는 데 이 것은 한 화소 크기보다 작고 세밀한 광영상 세기 변화를 감지할 수 없음을 의미하고 결국 영상 흐림을 유발한다. Spatial Sampling MTF는 CCD 화소 크기에 의한 영상 흐림을 표현한 것이며 공간 주파수와 화소 크기의 함수이다. 몇 가지 CCD 화소 크기에 대해 Spatial Sampling MTF를 그림 7에 나타내었다. CCD 화소 크기가 작을수록 MTF 값이 높다. 고 선명도의 영상을 위해서는 CCD 화소 크기가 작을수록 좋으며, 식(1)에서 보듯이 작은 CCD 화소는 지상화소거리(GSD)를 작게 하므로 영상의 공간 해상도를 향상시킨다. CCD 화소 크기를 7µm에서 19µm까지 변화시킬 때 Spatial Sampling MTF값은 50 lines/ mm의 공간 주파수에서 0.81에서 0.05까지 크게 변한다.

공간적으로 불연속적이고 주기적인 신호 추출(Sampling)은 어느 특정 공간 주파수 이상에서 aliasing을 발생시켜 영상의 흐림을 유발한다. 이 특정 주파수를 Nyquist 주파수라고하며 일반적인 CCD 배열에 대해 Nyquist 공간 주파수는 식(3)과 같다. CCD 배열을 사용하는 전자광학계에서 Nyquist 주파수를 실질적으로 최대 가용 주파수로 고려하고 Nyquist 주파수에서의 MTF 값으로 기기의 해상 성능을 표현하는 것이 일반적이다.

$$Nyquist\ \text{공간주파수} = \frac{1}{2 \times CCD\ \text{화소크기}} \quad (3)$$

Spatial Sampling MTF이 광검출소자(Detector) MTF의 주요 성분이며 그 외에 Cross-Talk MTF, Time Delay and Integration (TDI) 동기화 오차에 의한 MTF 등이 있다. Cross-Talk MTF는 인접한 CCD 화소들간의 전하 확산에 의한 영상 흐림을 나타내며 Si의 전하 흡수율, 파장, CCD 구조 및 물질 등에 의존한다. TDI 기법은 일부 고해상도

위성 영상 탑재체에서 사용하는데, TDI 동기화 오차 MTF는 TDI에 사용되는 각 화소들간의 위치 불일치 양과 TDI 화소 개수에 의해 결정된다.

2.4.3 전자회로 MTF

광영상이 광검출소자(Detector)에 의해 전자신호로 바뀌어 진 다음에 탑재체의 영상신호처리 전자회로에서 영상 신호의 증폭, 옵셋 조정, 디지털화(digitization), 화소별 응답 편차 보정, 압축, 암호화 등의 처리를 수행하는 과정에서 신호의 왜곡 즉 영상 흐림을 초래할 수 있다. 전자회로에 의한 영상 흐림을 전자회로 MTF로 표현 할 수 있는데, 전자회로 MTF에서 영상 압축에 대한 MTF성분이 높은 비중을 차지 할 수 있다. 현실적으로 전자회로 MTF가 탑재체 MTF에 미치는 영향은 아주 작다.

2.5 기하학적 공간 해상도

흔히 광학계의 해상도를 고려할 때 Rayleigh 기준이 사용되는 데 이 기준은 광학계의 회절한계를 고려하여 식(4)와 같이 사용하는 파장 그리고 광학계의 구경과 초점거리에 의해 얻을 수 있는 한계 해상도(R) 를 제시한다.[10]

$$R = 1.22\lambda\frac{EFL}{D} \qquad (4)$$

여기서 λ는 파장, EFL은 초점거리, 그리고 D는 구경이다. 파장변화에 대한 Rayleigh 기준 해상도를 초점거리 10m에 대해 그림 8에 나타내었다.

그러나 이 기준은 천문 관측에서와 같이 어두운 배경에서 두 점 광원의 구분에 적합한 기준이고 광학계 자체만의 성능에 대한 것이다. 이 기준을 다양한 크기의 물체가 산재하여 분포하는 대상을 관측하고 광학계뿐만아니라 광전자 검출기와 전자신호처리회로를 포함하는 디지털 영상 기기의 성능에 대한 실용적 기준으로 사용하기에는 많은 무리가 따른다. 즉, Rayleigh 기준의 회절한계 해상도가 디지털 영상 기기의 해상도 한계를 의미하는 것이 아니라는 것이다. 디지털 영상 기기에 있어서 Rayleigh 기준의 의미는 많은 응용분야에 적용할수 있는 범용적 학술적 기준에 대한 일종의 예시이며 기기 개발에 대한 한가지 지침 제시이라는 데 있다. 이 지침에 대한 해석은 활용, 기기 설계, 개발 기술력, 자료 처리 등에 따라 달라지게 된다.

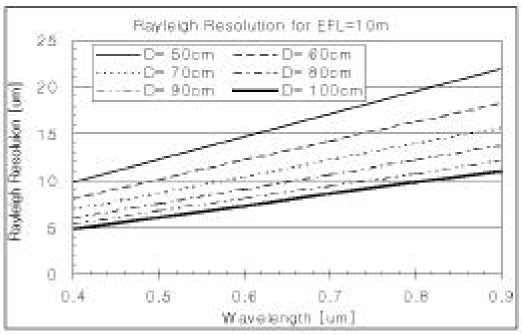

그림 8. Rayleigh 기준 해상도 (EFL=10m)

일반적으로 영상기기의 성능 기준은 활용 용도 및 기기 구성 특성에 적합하게 표현되어야한다. 디지털 영상을 생성하는 전자광학 위성 영상 기기 개발에 있어서는 GSD와 MTF가 기하학적 공간해상도의 주요 결정 인자들이므로 이것들 고려하여 해상도를 산출해야한다. 앞서 언급했듯이 탑재체 MTF는 각 과정별 MTF의 곱으로 주어지므로 탑재체 공간해상도 산출시에는 2.4절에서 언급한 성분 MTF들이 모두 고려되어야한다. MTF는 공간주파수의 함수인데, 2.4.2절에서 언급한 대로 Nyquist 주파수에서의 MTF 값으로 탑재체의 공간 해상 성능을 표현하는 것이 일반적이다.

2.6 탑재체 신호대잡음비(SNR)

위성 영상 탑재체가 영상 신호를 생성하는과정에서 신호량의 정확성이 떨어질 수 있는데 이런 신호의 비정확도 즉 오차는 영상의 품질을 저하시킨다. 신호 오차는 잡음(Noise)으로 표현되고 신호대잡음비(SNR)를 다음과 같이 정의하여 탑재체 성능을 표현하는 중요 인자로 사용한다.

$$\text{신호대잡음비}(SNR) = \frac{\text{신호}(Signal)}{\text{잡음}(Noise)} \quad (5)$$

위성 영상 탑재체의 신호(Signal)는 다음과 같이 표현된다.

$$S = \frac{\pi A_p t_i (1 - COR^2)}{4hcF/\#^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_o T_o Q \lambda \, d\lambda \quad (6)$$

여기서 Ap는 광검출소자 면적,
ti는 적분시간,
COR은 중앙차폐율
F/ #는 F-number,
h는 Plank상수(6.626196×10-34 Jsec),
c는 광속 (2.997925×108 m/ sec),
λ는 파장,
Lo는 입력 Radiance,
To는 광학계 투과율,
Q는 양자효율이다.

위성 영상 탑재체의 잡음(Noise)은 촬영 잡음(Shot Noise), 암흑 잡음(Dark Noise), Read-out Noise, 이산화 잡음(Digitization Noise), Fixed Pattern Noise, 기타 전자회로 잡음의 집합이다. 촬영 잡음(Shot Noise) Ns는 탑재체에 입사하는 광량자의 Poisson 분포에 기인하며 다음과 같다.

$$N_s = \sqrt{S} \quad (7)$$

여기서 S는 신호량이다.

암흑 잡음(Dark Noise) Nd는 광검출소자(Detector)의 고유 특성으로서 광 입력이 없을 때의 잔류 신호량이다. Read-out Noise Nr는 광검출소자(Detector)로부터 전하를 읽어들일 때 발생하는 잡음이다. 이산화 잡음(Digitization Noise) Nq은 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는데 발생하는 잡음으로 다음과 같이 표현된다.

$$N_q = \frac{S_{sat}}{2^n \times \sqrt{12}} \quad (8)$$

여기서 Ssat는 이산화 포화 신호량이며 n은 이산화 bit 수이다.

NFP는 화소간의 응답 불균일도에 기인하는 잡음이다.

탑재체 전체 잡음(Noise) Nt은 다음과 같이 각 잡음(Noise)의 제곱의 합의 평방근(RSS)으로 표현할 수 있다.

$$N_t = \sqrt{N_s^2 + N_d^2 + N_r^2 + N_q^2 + N_{FP}^2 + \cdots} \quad (9)$$

2.7 탑재체 복사 응답 특성 인자

탑재체 복사 응답 특성도 영상 품질과 밀접한 관계를 갖고 있다. 탑재체 복사 응답 특성 인자들로는 포화 radiance, Dynamic Range, 복사응답 선형도, Radiometric Accuracy, 응답 불균일도, 이득과 옵셋 조정, Polarization 등을 고려할 수 있다.

(1) 포화 radiance
포화 radiance는 탑재체가 일정한 응답 특성를 갖고 최대로 받아들일 수 있는 radiance 이다.

(2) Dynamic Range
Dynamic Range는 탑재체가 일정한 응답 특성를 갖는 radiance 범위이다.

(3) 복사응답 선형도
복사응답 선형도는 탑재체 복사 응답의 선형성을 나타내는 척도이다.

(4) Radiometric Accuracy
Radiometric Accuracy는 탑재체 복사 응답의 정확도이다.

(5) 응답 불균일도
응답 불균일도는 화소간의 복사 응답의 불균일도이다.

(6) 이득과 옵셋 조정
이득과 옵셋 조정은 탑재체 복사 응답을 증폭하거나 무광 신호 위치를 조정하는 것을 의미한다.

(7) Polarization

Polarization은 입력광의 편광 정도에 따른 탑재체 복사 응답의 의존성을 나타낸다.

2.8 Pixel Registration

Pixel Registration은 탑재체 각 화소의 위치 정확도를 나타낸다. Pixel Registration가 잘못되었을 경우 관측 영상의 물체가 일그러져 보이게 된다. Pixel Registration은 공간적(Spatial) Pixel Registration과 분광적(Sectral) Pixel Registration로 구분할 수 있다. 공간적 Pixel Registration은 단일 파장대역 영상에서 각 화소의 기하적 위치 정확도를 언급하고, 분광적 Pixel Registration은 여러 파장 대역의 영상을 중첩시켜 하나의 합성 영상을 만들 때 동일 위치에 대한 각 파장 대역의 화소들의 위치 정확도를 의미한다. Pixel Registration의 원인으로는 광학계의 왜곡수차 및 색 수차, CCD 화소들의 정열 오차, 위성체 지상주사의 흔들림(Drift)등이 있다.

2.9 탑재체 보정

탑재체 보정을 통해 영상 품질을 보정 또는 향상시킬 수 있다. 탑재체 보정은 지상 보정과 궤도상 보정으로 나뉠 수 있다. 지상 보정은 발사전 지상에서 탑재체 성능 측정과 함께 이루어지며 궤도상 보정은 발사후 보정으로서 탑재체 자체 보정 기능은 주로 응답 불균일도, 복사 응답 정확도 등의 복사 응답 보정에 국한된다.

3. 결　론

위성 영상 품질을 결정하는 위성 영상 탑재체의 성능 인자들인 관측파장대역(Spectral Band), 지상화소거리(Ground Sample Distance: GSD) 결정 인자, 관측폭 결정 인자, 탑재체 Modulation Transfer Function (MTF), 탑재체 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR), 여러 탑재체 복사 응답 특성 인자, Pixel Registration, 탑재체 보정들에 대해 그 특성을 살펴보았다.

결론적으로 탑재체의 영상획득 과정 전반에 걸쳐 각 과정마다 위성 영상의 품질을 결정하는 요소들이 산재해 있으며, 이 영상획득과정에 사용되는 위성 영상 기기의 각 구성요소들이 기기 성능 즉, 위성 영상 품질에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. H. S. Chen, Space Remote Sensing Systems, London, Academic Press. Inc., 1985, p.55
2. C. B. Pease, Satellite Imaging Instruments Principles Technologies and Operational Systems, London, Ellis Horwood Ltd, 1991
3. http://www.spaceimaging.com
4. http://www.spot.com
5. http://www.euromap.de
6. 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, 1998, pp. 213-222.
7. Y. M. Cho, S.S. Yong, S.G. Lee, S. H. Woo, K.H. Oh, and H.Y. Paik, "Ocean Scanning Multispectral Imager (OSMI)", Proceedings of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, San Diego, California, USA, p. I-459, October 5-7, 1998.
8. KARI, MSC system specifications, Contract for the Satellite Multi-Spectral Camera (MSC) System for the KOMPSAT-2 Program, KARI-99-T07, 1999
9. E. Hecht and A. Zajac, Optics, 2nd Ed., Addison-Wesley, Singapore, 1989, p.507
10. W. J. Smith, Modern Optical Engineering, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, 2000, pp. 161-162.