

SOLAR CALIBRATION을 이용한 OSMI 영상자료의 복사 보정

이동한[†], 김용승
한국항공우주연구소, 위성운영센터

RADIOMETRIC CALIBRATION OF OSMI IMAGERY USING SOLAR CALIBRATION

Dong-Han[†] Lee and Yongseung Kim
Satellite Operation & Application Center
Korea Aerospace Research Institute
E-mail: dhlee@kari.re.kr, yskim@kari.re.kr

(Received October 13, 2000; Accepted November 20, 2000)

요 약

이 논문에서는 solar calibration data를 이용하여 아리랑 위성의 해상 관측 카메라 (OSMI; Ocean Scanning Multi-spectral Imager)의 원시 영상 자료를 복사 보정 (radiometric calibration)하기 위한 절차 및 결과에 대해 설명한다. 복사 보정을 하기 위해 필요한 각 픽셀별, 각 밴드별 slope과 offset 값들을 구하기 위하여, OSMI 센서로부터 측정된 solar & dark calibration data와 OSMI 센서에 입사되는 각 시간별로 계산되어진 태양 빛의 입사 복사량 (input radiance) 값이 사용되었다. 이 때 OSMI 센서에 입사하는 태양 빛의 입사 복사량 값의 결정에는 OSMI 센서 특성 중 투과율, Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) 및 입사각 (β, θ)이 고려되었다. 계산되어진 slope 및 offset 값들을 OSMI data 처리 전용 프로그램인 OSMIDAS (이동한 외 1999)에 적용하여 OSMI 원시 영상자료를 복사 보정하였다. 복사 보정 처리가 가해진 영상 자료에는 두 가지 이상 현상이 나타났으며, 이에 대한 논의가 이루어진다.

ABSTRACT

OSMI (Ocean Scanning Multi-Spectral Imager) raw image data (Level 0) were acquired and radiometrically corrected. We have applied two methods, using solar & dark calibration data from OSMI sensor and comparing with the SeaWiFS data, to the radiometric correction of OSMI raw image data. First, we could get the values of the gain and the offset for each pixel and each band from comparing the solar & dark calibration data with the solar input radiance values, calculated from the transmittance, BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) and the solar incidence angle (β, θ) of OSMI sensor. Applying this calibration data to OSMI raw image data, we got the two odd results, the lower value of the radiometric corrected image data than the expected value, and the Venetian Blind Effect in the radiometric corrected image data. Second, we could get the reasonable results from

[†]corresponding author

comparing OSMI raw image data with the SeaWiFS data, and get a new problem of OSMI sensor.

Keywords : instrumentation, calibration, payload

1. 서 론

1999년 12월 21일에 발사되어 성공적으로 운행 중인 아리랑 위성의 탑재체 중 하나인 해색 관측 카메라 (OSMI)는 2000년 1월 3일에 첫 solar & dark calibration data를 촬영하여 지상 수신국에 보내왔으며, 동년 1월 19일 일본 홋카이도 지역을 실시간으로 촬영하는데 성공했다. OSMI 센서는 클로로필 농도 분포도인 해색 (Ocean Color) 관측을 위해 중심 파장이 각각 412, 443, 490, 555, 765, 865nm인 6가지 밴드 대역에서 영상 자료를 촬영할 수 있으며, 1km의 해상도에 800km의 촬영 폭으로 매 궤도 당 20분까지 촬영할 수 있도록 설계되었다. OSMI 센서는 촬영 전에 OSMI 센서 내부적으로 electric gain 값을 '0'부터 '7'까지, electric offset 값을 '3'부터 '255'까지 지상에서 선택할 수 있다. 또한, OSMI는 센서의 기능 저하를 관찰할 수 있는 on-board solar calibration 기능이 포함되어 있다. OSMI 센서는 설계 단계부터 미국 NASA에서 개발한 해색 관측용 SeaWiFS 센서의 특성 (Hook *et al.* 1992)과 동일하게 제작되었으며, 실제 OSMI 센서의 실험 결과 (Lee 1998)로부터 OSMI 센서의 특성이 SeaWiFS 센서의 특성과 오차 범위 안에서 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 단지, SeaWiFS 센서가 510과 670nm 밴드가 더 있으며, on-board solar calibration 기능 대신에 lunar calibration 기능이 있다는 점이 다르다 (Hook *et al.* 1992).

복사 보정의 목적은 OSMI 센서의 CCD로부터 측정된 10bit (0~1023)의 DN (digital Number) 값을 input radiance 값으로 변환하는 일이다. DN 값을 radiance 값으로 변환하는 공식은 식 (1)과 같다. OSMI 원시 영상 자료를 복사 보정하기 위해서는 우선 slope 값과 offset 값을 구해야 한다.

$$\text{input radiance} = \text{slope} \times (\text{DN} - \text{offset}) \quad (1)$$

OSMI 원시 영상 자료를 복사 보정하는 절차는 그림 1과 같다. 우선, 주어진 시각에 OSMI 센서의 CCD에 입사한 입사 복사량 값을 계산하기 위해서, slit attenuator (solar calibration window)에 대한 매 시간 별 태양 빛의 입사각 (β, θ) 값을 ancillary data에 포함되어 있는 아리랑 위성의 궤도 자료로부터 계산한 후에, OSMI 센서 (그림 2) 내에 위치한 slit attenuator의 투과율 (attenuation slit transmittance) 및 diffuser plate (spectralon)의 반사율인 BRDF와 같은 OSMI 센서의 정해진 내부 특성 값들을 식 (1)에 적용하여 input radiance 값을 계산하였다. 자세한 계산 과정은 2장에서 설명하였다. OSMI 센서에서 측정된 solar & dark calibration data의 DN 값과 위에서 이미 계산되어진 같은 시각에서의 OSMI 센서에 입사된 입사 복사량 값을 비교, 정합하여 OSMI 센서의 calibration data인 각 밴드별, 각 픽셀별 slope 값과 offset 값들을 구한 후에, 이 값들을 이용하여 OSMI data 처리 전용 프로그램인 OSMIDAS (이동한 외 1999)를 이용하여 OSMI 원시 영상 자료를 보정하였다.

3장에서 OSMI 센서의 calibration data에 대해 분석하였으며, 4장에서 실제 calibration data를 OSMI 원시 영상 자료에 적용하여 보았다. OSMI 원시 영상 자료를 보정해 본 결과, 몇 가지 문제점에 있음을 알 수 있었으며, 5장에서 그에 대한 설명 및 분석 결과를 기술하였다.

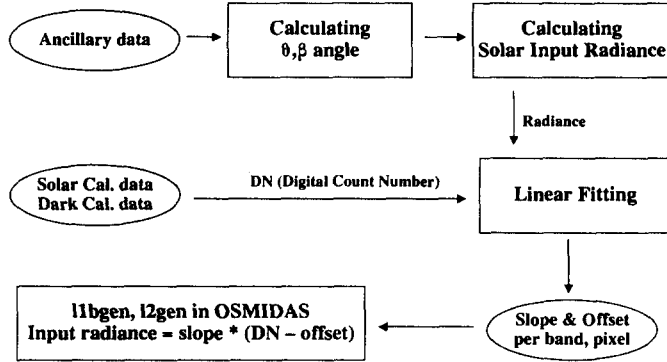


그림 1. Solar & dark calibration data를 이용하여 OSMI 원시 영상 자료 (Level 0)를 복사 보정하는 과정을 설명한 그림으로, OSMI 원시 영상 자료의 DN 값으로부터 복사 보정을 통해 input radiance 값을 얻는다.

2. 태양 복사량 계산

그림 2는 OSMI 센서의 내부 구조 중에서 solar calibration에 관련된 부분만 보여주는 그림이다. 위성의 진행 방향은 +X축 방향이다. 태양 빛은 slit attenuator의 슬릿 방향에 대해 각각 β, θ 각도를 이루면서 slit attenuator를 통과한 후에, diffuser plate에서 일정 반사율로 반사되어 OSMI 센서의 CCD로 향하도록 설계되어 있다.

OSMI 센서에 입사한 각 시간별 input radiance인 $L(\lambda, \beta, \theta, t)$ 값($mWcm^2\mu m^{-1}sr^{-1}$)을 계산하기 위해서는 식 (2) (Frink 1996)와 같이, 각 시간별로 OSMI 센서의 slit attenuator의 슬릿과 태양 빛 사이의 입사각도 (β, θ) 값과, 표준 평균 태양 복사량 ($F_0(\lambda)$; Mean extraterrestrial irradiance; 표 1)을 이용한 날짜별 태양 복사량 값, OSMI 센서 안에 있는 diffuser plate의 반사율 (BRDF) 및 slit attenuator의 투과율 (Tsw) (그림 2)을 이용하여 input radiance 값을 계산하였다.

다음 식 (2)는 각 시간별 input radiance 값을 계산하는 공식이다.

$$L(\lambda, \beta, \theta, t) = F(\lambda) \times BRDF(t) \times Tsw(\theta) \times \cos(65^\circ - \beta) \quad (2)$$

$F(\lambda)$ 는 날짜별 표준 평균 태양 복사량 값으로 다음 식 (3) (McClain 1992)과 같이 표시되며, 표준 평균 태양 복사량 ($F_0(\lambda)$)($mWcm^2\mu m^{-1}sr^{-1}$)은 표 1 (McClain 1992)과 같다. 식 (3)에서 D는 일수로 표시되는 해당년도의 Julian day 이다.

$$F(\lambda) = F_0(\lambda)[1 + 0.0167 \cos(2\pi(D - 3)/365)]^2 \quad (3)$$

BRDF (t) 값은 OSMI 실험실 측정치인 ≈ 0.3 을 사용하였으며 (Frink 1996), slit attenuator의 투과율인 Tsw는 식 (4)와 같고, 2.2절에서 설명할 다시 계산한 수정된 slit attenuator의 투과율인 $Tsw_{Modified}$ 은 식 (5)와 같다.

$$Tsw = (0.042 - 0.383 \times \tan(\theta))/0.192 = 0.21875(at0^\circ) \quad (4)$$

$$Tsw_{Modified} = 0.2128 - 1.8289 \times \tan(\theta) \quad (5)$$

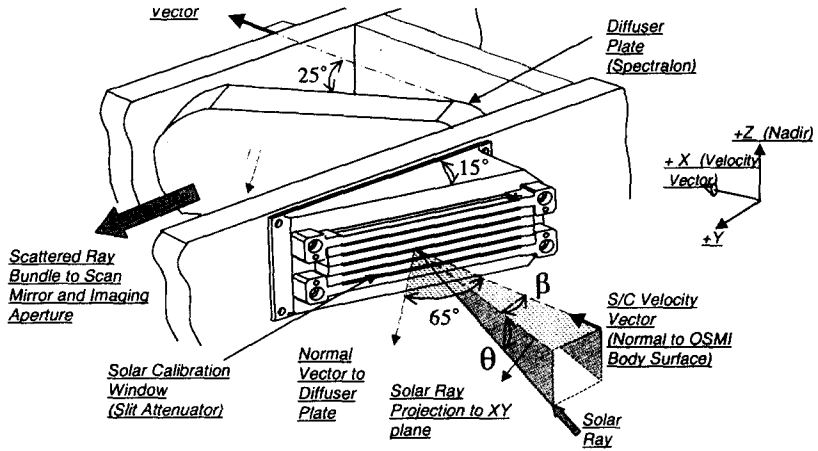


그림 2. OSMI 센서의 내부 구조 중에서 solar calibration에 관련된 부분에 대한 그림으로 태양 빛이 slit attenuator를 거친 후, diffuser plate에서 반사되어 CCD로 향하도록 설계되어 있다.

표 1. 각 밴드별 표준 평균 태양 복사량 값($F_0(\lambda)$; $mWcm^2\mu m^{-1}sr^{-1}$)

$\lambda(nm)$	421	443	490	555	765	865
$F_0(\lambda)$	170.79	189.45	193.66	185.33	122.24	98.32

위의 식 (4)와 식 (5)에서 사용한 β 값은 위성의 속도 변화축 (+X)과 위성체 좌표축 (+Y)에 대한 태양 입사각이며, θ 값은 위성의 nadir (지구 직하점) 방향 쪽의 위성체 좌표축 (+Z)에 대한 태양 입사각을 의미한다.

2.1 각 시간별 OSMI 센서와 태양빛과의 입사각도 (β, θ) 계산

그림 3에서 위성은 K 지점에 위치하고 있으며, 아리랑 위성의 궤도 평면과 태양과의 사이 각도인 $\angle F$ 값은 아리랑 위성의 궤도가 태양 동주기 궤도이므로 항상 17.5° 를 유지한다. 아리랑 위성의 궤도 기울기인 $\angle CBK$ 값은 98.13° 이다. 각 시간별 평균 태양의 위치는 주어진 시각 값으로부터 ECEF (Earth Centered Earth Fixed; 그리니치 천문대를 경도 0° 로 하는 지구 질량 중심 좌표계) 좌표계 안에서의 경·위도 값을 계산하였다 (Henden & Kaitchuck 1982). 그림 2에서 보듯이, β 는 위성의 속도 벡터축 (+X)과 위성체 좌표 (+Y)에 대한 태양 빛의 입사각 (그림 3에서는 $\angle TKO$)이며, θ 는 위성의 지구 직하점 방향 쪽의 위성체 좌표 (+Z)에 대한 태양 빛의 입사각 (그림 3에서는 K 지점에서 호 AK와 이루는 접선과의 사이 각도)이다. β 는 slit attenuator의 슬릿과 같은 방향이며, θ 는 슬릿과는 직각 방향이다. OSMI 센서와 태양 빛과의 각 시간별 입사각도 (β, θ)를 계산하기 위해서 필요한 아리랑 위성의 궤도 정보 값들은 아리랑 위성으로부터 관제국을 통해 수신국에 전송되어지는 ancillary data내에 포함되어 있는 ECEF 좌표계인 GPS position data를 사용하였다. β, θ 값에 대한 자세한 계산 과정을 다음과 같다.

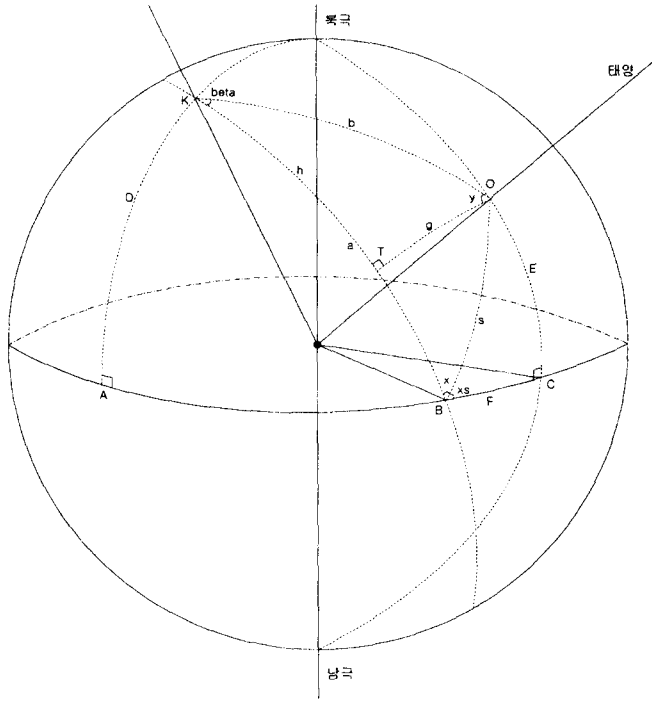


그림 3. Slit attenuator의 슬릿과 태양 빛과의 입사각도 (β, θ)에 대한 계산 과정을 설명하는 그림이다. 위성은 K 지점에 위치하고 있으며, β 는 $\angle BKO$ 이며, θ 는 $90^\circ - h$ 이다.

그림 3에서 $\triangle KAB$ 에서 D는 아리랑 위성의 위도이고, $\angle A$ 는 90° 이며, $\angle CBK$ 는 위성 궤도 기울기인 98.13° 이므로 다음 식 (6)과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin D}{\sin(180^\circ - 98.13^\circ)} \tag{6}$$

$\triangle BCO$ 에서 $\angle C$ 는 90° 이고, E는 태양의 위도이며, F는 아리랑 위성의 궤도가 태양 동주기 궤도이므로 항상 17.5° 를 유지하므로 다음과 같이 식 (7), (8), (9), (10)으로 표시할 수 있다.

$$\cos s = \cos E \cos F + \sin E \cos F \cos 90^\circ \tag{7}$$

$$s = \cos^{-1}(\cos E \cos F) \tag{8}$$

$$\frac{\sin xs}{\sin E} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin s} \tag{9}$$

$$x = 180^\circ - (180^\circ - 98.13^\circ) - xs \tag{10}$$

$\triangle KOB$ 에서 β 는 $\angle BKO$ 로 표시되어지며, 다음과 같은 두개의 식 (11)과 (12)를 유도할 수 있다.

$$\cos b = \cos a \cos s + \sin a \cos s \cos x \tag{11}$$

$$\cos s = \cos a \cos b + \sin a \cos b \cos \beta \tag{12}$$

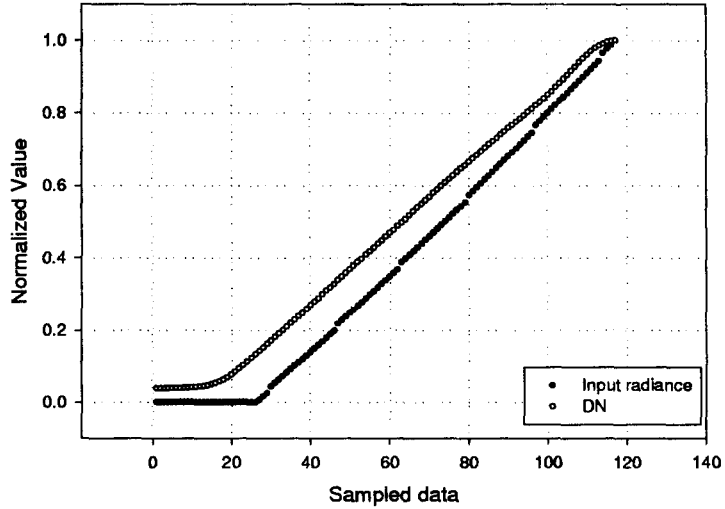


그림 4. 2000년 2월 27일에 측정된 555nm 밴드의 solar calibration data (DN)와 input radiance 값을 비교한 그림이다. x축은 solar calibration data를 100개당 1개씩 측정 시간 순서에 따라 추출한 값을 나타내며, y축은 θ 값이 가장 작은 경우의 DN 값과 input radiance 값을 '1'로 했을 경우를 나타낸다.

식 (12)로부터 β 는 다음 식 (13)으로 표시된다.

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{\cos s - \cos a \cos b}{\sin a \sin b}\right) \quad (13)$$

ΔKOT 에서 다음과 같은 식 (14), (15)와 (16)으로 표시할 수 있다.

$$\frac{\sin g}{\sin \beta} = \frac{\sin b}{\sin 90^\circ} \quad (14)$$

$$\sin b \sin \beta = \cos g \sin h - \sin g \cos h \cos 90^\circ \quad (15)$$

$$h = \sin^{-1}\left(\frac{\sin h \cos \beta}{\cos g}\right) \quad (16)$$

위의 식 (16)으로부터 θ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\theta = 90^\circ - h \quad (17)$$

2.2 BRDF와 slit attenuator의 투과율 계산

BRDF 값과 slit attenuator의 투과율 계산 공식인 식 (4)는 OSMI 센서를 개발한 후에 실험을 통해 얻어진 실험치와 공식이다. BRDF 값은 한 번 위성이 우주 공간 상에 올려진 이상 solar & dark calibration data와 OSMI 영상 자료만으로는 재검증하기가 쉽지 않지만, slit attenuator의 투과율 계산 공식은 여러 solar & dark calibration data들의 분석을 통해 약간의 수정이 필요함을 알 수 있었다.

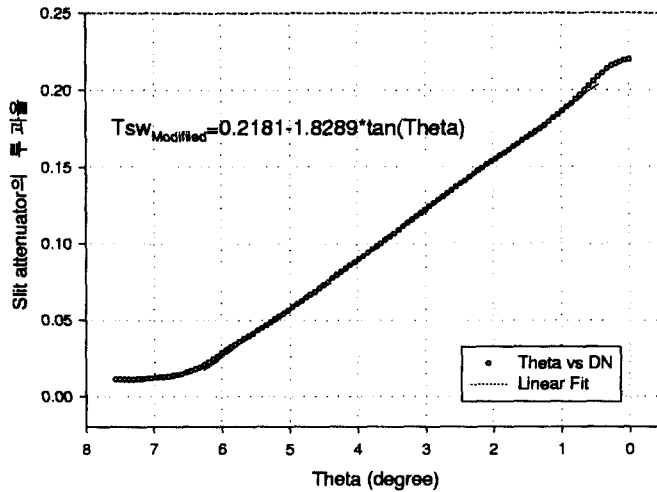


그림 5. 새로이 유도된 slit attenuator의 투과율 공식을 설명한 그림이다. x축은 θ 이며, y 축은 slit attenuator의 투과율을 나타낸다. 그림에서 직선은 linear fitting을 통해 구한 새로이 구한 slit attenuator의 투과율 ($T_{sw_Modified}$)이다.

그림 4는 2000년 2월 27일에 측정된 555nm 밴드의 solar calibration data (그림에서 DN)와 계산을 통해 얻어진 input radiance 값을 비교한 그림이다. 그림에서 x축은 solar calibration data를 100개 당 1개씩 측정 시간 순서에 따라 추출한 값을 나타내며, y축은 θ 값이 가장 작은 경우의 DN 값과 입사 복사량 값을 '1'로 했을 경우를 나타낸다. 그림에서 보듯이, solar calibration data와 입사 복사량의 기울기가 서로 약간 차이가 나고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 그림 4의 solar calibration data의 기울기에 맞추어 linear fitting을 통해 새로운 slit attenuator의 투과율 공식인 식 (5)를 유도한 그림이다. 실험실에서 측정된 slit attenuator의 투과율 공식과 새로이 유도한 공식 사이에 약간의 차이가 생긴 이유는 몇 번에 걸친 OSMI 센서에 대한 설계 변경과 함께 충분한 실험이 병행되어지지 않음에 따른 OSMI 센서에 대한 실험 결과 값의 오차에 근거한 것으로 추정된다.

3. OSMI 센서 CALIBRATION DATA

3.1. OSMI 센서 calibration data 계산

OSMI 센서 calibration data는 solar & dark calibration data와 계산을 통해 얻어진 입사 복사량 값과의 비교, 정합을 통해 얻어진다. OSMI 센서의 CCD는 총 6개의 밴드에 대해 각각의 밴드별로 96개의 픽셀로 이루어져 있으므로, OSMI 센서 calibration data는 총 6개의 밴드에 대해 밴드별로 96개의 픽셀에 대한 slope 값과 offset 값들로 이루어진다. 그림 6에서 보듯이, solar & dark calibration

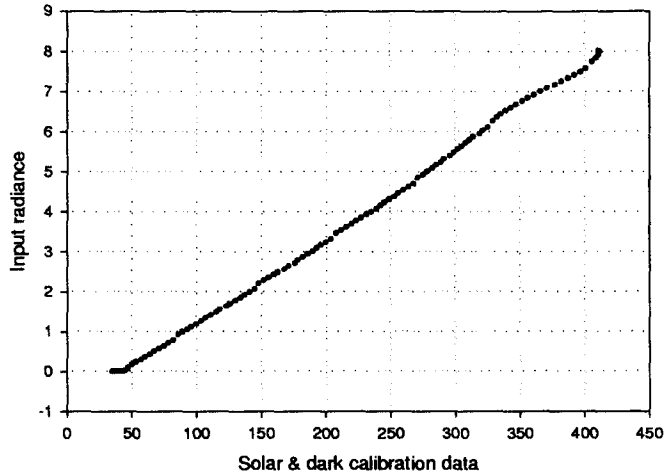


그림 6. x축은 OSMI 센서의 CCD에서 측정된 solar & dark calibration data이고, y축은 계산된 입사 복사량 값이다. 거의 1차 선형 관계를 유지하고 있는 것을 알 수 있다.

data와 입사 복사량은 양 끝 부분을 제외하고는 거의 직선에 가까운 1차 선형 관계를 유지하고 있으므로, 약간 불규칙한 양 끝 부분만을 제거하고 linear fitting을 통해 slope 값과 offset 값을 구하였다.

3.2. OSMI 센서 calibration data 결과

그림 7은 2000년 1월 3일에 OSMI 센서의 내부 electronic gain 값으로 '0'을, offset 값으로 '3'을 사용하여 측정되어진 solar & dark calibration data를 이용하여 계산한 총 6개의 밴드에 대해 각각 밴드별로 96개 픽셀에 대한 slope 값들이다. 그림에서 보듯이, 865nm 밴드의 slope 값이 765nm 밴드의 slope 값보다 크다는 것만을 제외하면 파장이 짧은 밴드일수록 slope 값이 크다. OSMI 센서는 1~48번 픽셀 부분과 49~96번 픽셀 부분이 다른 CCD판을 사용하므로, 그림에서도 두 부분의 slope 값에 차이가 있음을 볼 수 있고, 두 부분의 이음 부분이 약간 불규칙하다는 것도 볼 수 있다.

그림 8은 아리랑 위성 발사 전에 실험실에서 측정된 OSMI 센서의 calibration slope 값을 그린 그림이다. OSMI 센서의 electric gain 값으로 '0'을, electric offset 값으로 '3'을 사용하였다. 그림 7과 그림 8을 비교하면, 그림 7에서의 412nm 밴드의 slope 값이 그림 8의 412nm 밴드의 slope 값보다 약간 작고, 변화가 약간 크다는 것을 제외하고는 나머지 밴드들에서는 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. 이는 OSMI 센서의 solar & dark calibration data를 이용하여 계산한 calibration data가 전체적으로 실험실에서 측정된 OSMI 센서의 calibration data와 잘 일치하고 있다는 것을 알 수 있다. 단지, 그림 7에서 볼 수 있는 55~58 픽셀에서의 가파른 산 모양의 급격한 slope 값의 변화를 그림 8에서는 볼 수가 없다. 이는 아리랑 위성 발사 후에 발생한 문제로 아직까지 정확한 원인이 파악되지 않은 상태이며, 지속적인 논의가 이루어져야 하는 문제이다.

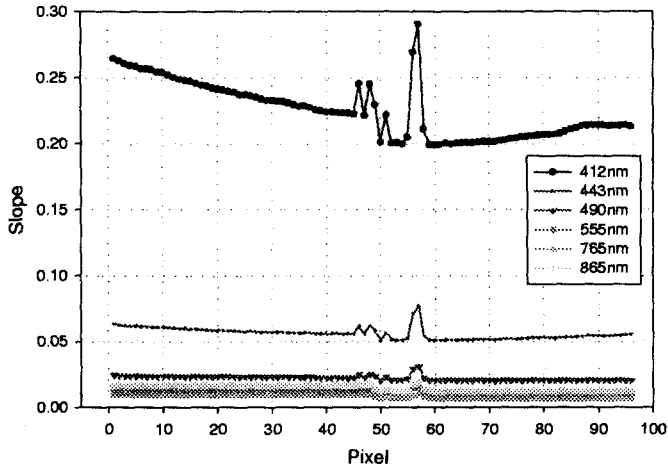


그림 7. OSMI 센서 CCD의 각 픽셀별 calibration slope 값에 대한 그림이다. 2000년 1월 3일에 OSMI 센서의 내부 electric gain 값으로 '0'을, offset 값으로 '3'을 사용하여 측정된 solar & dark calibration data를 이용하여 계산된 slope 값이다. x축은 OSMI 센서의 CCD 픽셀 (1~96)을 나타내며, y축은 slope 값을 나타낸다.

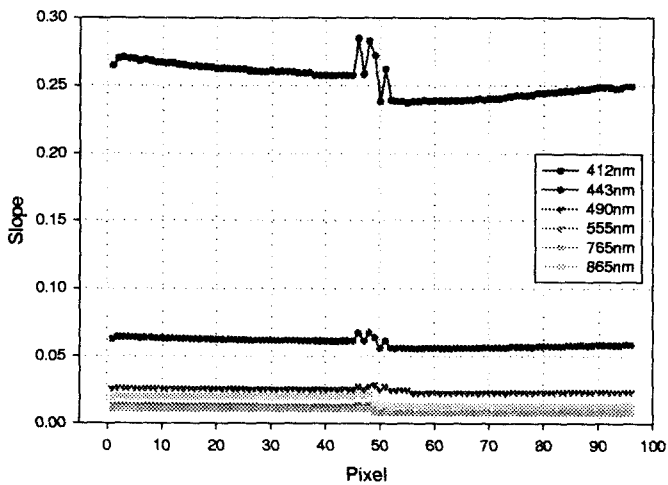


그림 8. 위성 발사 전에 실험실에서 측정된 OSMI 센서 CCD의 각 픽셀별 calibration slope 값에 대한 그림이다. OSMI 센서의 내부 electric gain 값으로 '0'을, offset 값으로 '3'을 사용하였다. x축은 OSMI 센서의 CCD 픽셀 (1~96)을 나타내며, y축은 slope 값을 나타낸다 (Lee 1998).

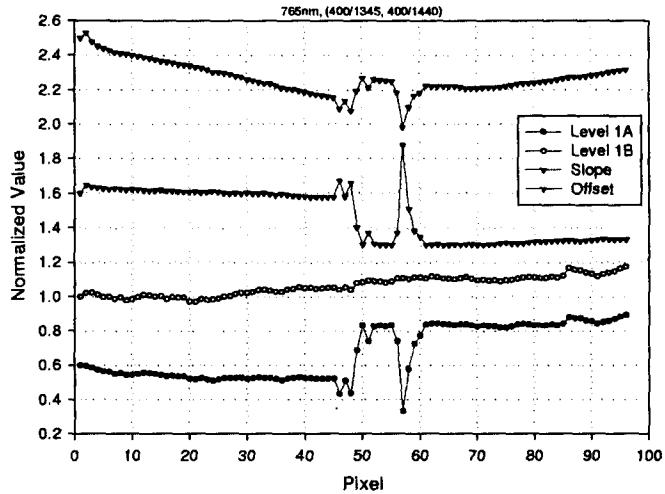


그림 9. OSMI 원시 영상 자료를 calibration slope 값과 offset 값을 이용하여 복사 보정을 한 과정을 보여주는 그림이다. 'Level 1A'는 OSMI 원시 영상 자료이며, 'Level 1B'는 복사 보정된 OSMI 영상 자료이다. x축은 OSMI CCD의 픽셀 (1~96)을 나타내며, y축은 단지 상대적인 크기만을 나타낸다. 2000년 2월 27일 15시 정도에 아라비아 해 지역을 촬영한 OSMI 영상 자료의 765nm 밴드 중 400번째 열의 1345~1440 행의 자료를 추출하였다. 그림에서 네 번째 Level 1A에 첫 번째 offset을 뺀 후, 두 번째 slope를 곱한 값이 세 번째 Level 1B이다.

4. OSMI 원시 영상 자료의 보정

그림 9는 2000년 2월 27일 15시 18분 (KST) 정도에 OSMI 센서의 electronic gain 값으로 '4'를 electric offset 값으로 '3'을 사용하여 촬영한 아라비아 해 지역의 OSMI 원시 영상 자료 중 765nm 밴드 자료를 이용하여 영상 자료의 보정 과정을 보여주는 그림이다. 그림 9에서, 제일 아래에 놓인 네 번째 OSMI 원시 영상 자료 (Level 1A)에 제일 위에 놓인 첫 번째 offset 값을 뺀 후에, 두 번째의 slope 값을 곱한 결과가 최종적으로 얻고자하는 세 번째의 OSMI input radiance 값 (Level 1B)이다. 결과적으로 solar & dark calibration data를 이용하여 OSMI 원시 영상 자료를 보정하는 방법은 단지 그림 9만 보았을 경우, 55~58번째 픽셀에서의 급격한 값의 변화도 없어지고 전체적으로 큰 굴곡이 없이 완만한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나, Level 1B 입사 복사량 값이 픽셀의 증가에 따라 조금씩 값이 증가하여 픽셀의 처음 부분보다 마지막 부분이 20%정도 값이 커짐을 볼 수 있다.

그림 10과 그림 11은 OSMI 원시 영상 자료의 보정 전 (Level 1A)과 보정 후 (Level 1B)를 각각 보여주는 그림이다. 그림 10과 그림 11은 2000년 2월 27일 15시 18분 (KST) 정도에 아라비아 해를 촬영한 영상이다. 그림에서 보듯이, 보정 전에 보이던 줄무늬들이 보정 후에는 거의 없어진 것을 볼 수 있다. 그림 10의 하얀 부분과 그림 11의 줄무늬가 나타난 부분은 saturation된 육지 부분으로 보정 결과와는 무관하다. 그러나, 그림 11을 자세히 보면, 그림 9의 결과에서와 같이, 매 스캔마다 약간씩 틈나 모양으로 밝기가 층을 이루고 있는 것이 보인다 (Venetian Blind Effect). 아직 정확한 원인 분석은 되어 있지 않으나, 아마도 OSMI 센서가 solar calibration을 하는 경우와 실제 해양을 촬영하는

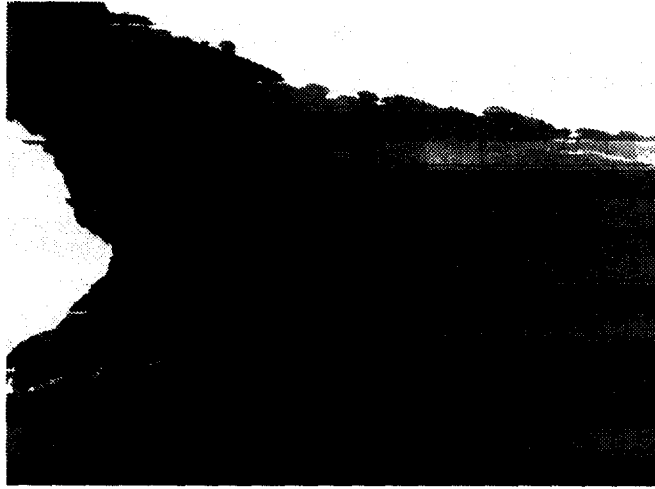


그림 10. OSMI 원시 영상 (Level 1A). 2000년 2월 27일 15시 정도에 촬영된 아리비아 해 영역이다. 보정이 전혀 되지 않은 원시 영상이라서 줄무늬가 많이 보인다.

경우에 대한 OSMI 센서 내부에서의 빛의 진행 경로 사이의 차이가 원인이 아닐까 추측하고 있다.

5. 보정 결과

그림 12는 그림 11에서 북위 20.01° , 동경 62.51° 지점인 448열 1728행 픽셀의 radiance 값과, 동일한 위치의 실험실에서 측정된 calibration data를 이용하여 복사 보정한 radiance 값과, 비슷한 시각에서의 동일한 위치의 SeaWiFS 영상 자료의 radiance 값 및 같은 위치의 Rayleigh radiance 값을 각 밴드별로 그린 그림이다. SeaWiFS 영상 자료의 촬영 시각은 2000년 2월 27일 16시 42분 (KST)으로 OSMI 영상 자료의 촬영 시각과는 1시간 24분의 차이가 있다. 태양 천정 고도각 (solar zenith angle)은 OSMI 영상 자료의 경우 37° 이고 SeaWiFS 영상 자료는 26.5° 이다.

그림 12를 보면, 복사 보정된 OSMI 영상 자료의 radiance 값보다 SeaWiFS 영상 자료의 radiance 값이 밴드별로 약간의 차이가 있지만 대략 1.5배 이상 크다는 것을 볼 수 있다. SeaWiFS 영상 자료의 radiance 값은 많은 현장 검보정을 통해 상당히 신뢰성을 인정받고 있는 값이다. 한가지 주목할 사항은 OSMI 영상 자료의 radiance 값이 412nm, 443nm, 490nm의 밴드에서 Rayleigh radiance 값보다도 작다는 것이다. 또한, 실험실에서 측정된 calibration data (Lee 1998)를 사용하여 OSMI 원시 영상 자료를 보정할 경우, 근소하지만 solar & dark calibration data를 사용하여 보정했을 경우보다 오히려 radiance 값이 412nm, 443nm, 490nm 밴드에서는 더 작아지고 있다는 것을 알 수 있다.

OSMI 센서에 입사된 복사 보정된 총 radiance 값은 Rayleigh radiance 성분, 대기 에어로졸 성분과 실제 해양의 radiance 성분 등이 합하여진 값이므로, 복사 보정된 OSMI 영상 자료의 radiance 값이 Rayleigh radiance 성분보다 작다고 하는 것은 물리적으로 이해가 어려운 상황이다 (Gordon 1992). OSMI 센서는 SeaWiFS 센서의 특성과 가능한 동일하게 설계, 제작되었으므로, 복사 보정된



그림 11. 복사 보정이 가해진 OSMI 영상 (Level 1B). 그림 10에서 볼 수 있었던 줄무늬들이 거의 사라졌다.

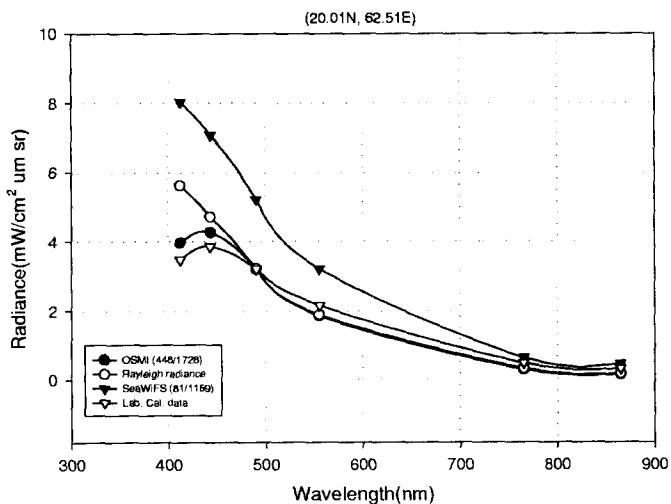


그림 12. 각 밴드에 대한 radiance 값을 보여주는 그림이다. 2000년 2월 27일 15시 정도에 촬영한 아라비아 해 영역의 OSMI 센서 영상 중에서 북위 20.01°, 동경 62.51° 지점에 대해, solar & dark calibration data를 이용하여 보정한 경우의 보정 값, 실험실에서 측정된 calibration data를 이용하여 보정한 경우의 보정 값, 같은 시각 같은 지점에서의 SeaWiFS 값과, Rayleigh radiance 값을 각각 표시한 그림이다.

OSMI 영상 자료의 radiance 값은 그림 12의 SeaWiFS 값에 근사하여야 한다. 그러나, solar & dark calibration data와 실험실에서 측정된 calibration data를 이용하여 복사 보정한 OSMI 영상 자료의 radiance 값이 모두 Rayleigh radiance 값보다 작다는 것은 solar calibration 방법의 옳고 그름보다는 OSMI 센서 자체의 특성에 대한 이해가 부족한 것으로 생각할 수 있다. 특히, 실험실에서 측정된 calibration data를 이용하여 복사 보정한 경우에서도 Rayleigh radiance 값보다 작다는 것은 실험실에서 측정된 slit attenuator의 반사율과 BRDF 값 등의 측정치가 정확하지 않을 수 있다는 것을 의미하거나, 또는 최종 실험 후에 OSMI 센서의 특성에 많은 변화가 있었음을 추측할 수 있다. 즉, solar & dark calibration data 계산 시에 실험실의 측정 결과 값들인 slit attenuator의 반사율과 BRDF 값을 사용하므로 solar & dark calibration data를 이용한 복사 보정 결과가 실험실에서 측정된 calibration data의 복사 보정 결과와 비슷하다는 사실이 위의 결과를 반증한다고 볼 수 있다.

6. 결론 및 문제점

OSMI 센서의 solar & dark calibration data를 이용하여 OSMI 원시 영상 자료를 복사 보정하는 방법은 이론적으로는 문제가 없으며, 복사 보정된 영상도 어느 정도 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 그러나, 실제 OSMI 영상 자료의 정확도라는 측면에서는 두 가지 문제점을 안고 있다는 것을 알 수가 있다.

Venetian Blind Effect의 경우, OSMI 센서가 solar & dark calibration data를 촬영하는 경우와 영상 자료를 촬영하는 경우에서의 OSMI 센서 내부에서의 운영 방식이 다른 듯 하다. 예를 들면, solar calibration data를 촬영할 때에는 diffuser plate와 slit attenuator를 사용하고 있으며, scanning mirror는 사용하지 않는다. 아직까지는 충분한 검토가 이루어지지 않아 정확한 원인을 알 수는 없으나, 현재로서는 slit attenuator보다는 diffuser plate의 반사율과 scanning mirror의 빛의 반사가 실험실의 결과에서처럼 균일하지 않은 것으로 추측되고 있다. 아리랑 위성이 우주 상공에 있는 현 상황에서 가능한 많은 영상 자료와 solar & dark calibration data를 비교 분석하여 빠른 시일 안에 이 문제가 해결되어야 하겠다.

Solar & dark calibration data와 실험실에서 측정된 calibration data를 사용하여 보정된 OSMI 영상 자료 (level 1B)의 radiance 값이 SeaWiFS의 radiance 값뿐만 아니라 Rayleigh radiance 값보다 작다는 것은 OSMI 센서의 설계 특성과 관련되는 것으로 추정되며, 보다 정확한 원인 분석 및 문제 해결을 위해 추가 연구 노력이 필요하다.

참고 문헌

- 이동한, 김용승, 임효숙, Benton, W., & Leach, C. 1999, Data Processing, Display, and Analysis for the KOMPSAT OSMI Sensor, 한국우주과학회 가을학술발표회 포스터 발표
- Frink, M. 1996, LRC Calibration, TRW IOC (KOMPSAT.96.530.009)
- Gordon, H. P., & Wang, M. 1992, Applied Optics, 31, 4247
- Henden, A., & Kaitchuck, R. 1982, Astronomical Photometry (New York: Van Nostrand Reinhold Company), pp.113-116
- Hook, S. B., Esaias, W. E., Feldman, G. C., Gregg, W. W., & McClain, C. R. 1992, An Overview

of SeaWiFS and Ocean Color, NASA Tech. Memo. 104566, 1

Lee, P. 1998, LRC FM EIDP, 1, 393

McClain, C. R., Esaias, W. E., Barnes, W., Guenther, B., Endres, D., Hooker, S. B., Mitchell, G., & Barnes, R. 1992, Calibration and Validation Plan for SeaWiFS. NASA Tech. Memo. 104566, 3