

# 정지궤도 해양위성(GOCI) 복사보정 S/W 개발 Development of the GOCI Radiometric Calibration S/W

조성익, 안유환, 한희정, 유주형  
Seongick CHO, Yu-Hwan Ahn, Hee-Jeong Han, Joo-Hyung Ryu

한국해양연구원 해양위성센터  
경기도 안산시 상록구 사2동 1270번지  
sicho@kordi.re.kr

요 약 : 정지궤도에서는 세계 최초의 해양관측위성으로 개발된 정지궤도 해양위성(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager)은 통신해양기상위성(COMS, Communication, Ocean and Meteorological Satellite)의 탑재체로서 2009년말 발사 예정이다.

정지궤도 해양위성의 복사보정은 센서의 전기적 특성에 의한 잡음을 제거하기 위한 암흑전류 교정(Dark Current Correction)을 먼저 수행한 다음, 주운영지상국인 해양위성센터(KOSC, Korea Ocean Satellite Center)에서 수신된 위성의 원시자료의 Digital Number(DN)를 실제 해양원격탐사에서 이용하는 물리량인 복사휘도(Radiance,  $W/m^2/\mu m/sr$ )로 변환하는 복사보정을 수행한다.

정확도 높은 복사보정을 수행하기 위해서는 기준광원의 복사휘도와 센서의 물리적 특성을 정확하게 알아야 한다. 정지궤도 해양위성 궤도상 복사보정(on-orbit radiometric calibration)에서는 태양이 기준광원이기 때문에, 기준 태양복사모델(Thuillier 2004 Solar Irradiance Model)에서 지구-태양간 거리 변화(1년 주기)를 보정한 태양의 방사도(Irradiance)를 이용하고, 태양입사각에 대한 태양광 확산기의 감쇄 특성 변화를 고려하여 센서에 입력되는 복사휘도를 계산한다. 센서의 물리적 특성으로 인한 복사보정의 오차를 줄이기 위해 우주방사선 및 우주먼지(space debris)로 인해 위성 운용기간 중 그 특성이 저하되는 태양광 확산기(solar Diffuser)의 특성변화를 모니터링하기 위한 DAMD(Diffuser Aging Monitoring Device)를 이용한다. 정지궤도 해양위성 주관운영기관인 한국해양연구원의 해양위성센터에서는 정지궤도 해양위성 복사보정을 수행하기 위한 S/W를 통신해양기상위성 자료처리시스템 개발사업의 일환으로 개발하였으며, 관련 성능시험을 수행하고 있다.

## 1. 서론

위성을 이용한 원격탐사에 있어, 실제 위성에서 수신된 원시 데이터(Raw Data)는 위성의 관측센서에 입사된 빛의 광자 개수

및 노출시간의 곱에 비례하는 정수값인 DN(Digital Number)이다. 이 값을 해양환경 분석 등 해양원격탐사에 이용하기 위해서는 물리량인 복사휘도(radiance) 또는 반사

도(Reflectance)로 변환하여야 하며, 이를 복사보정(Radiometric Calibration)이라고 한다. 해양원격탐사에 있어서 복사보정은 세계 최초의 해양관측센서인 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)가 Nimbus-7 위성의 탑재체로 발사된 1978년부터 크게 대두되기 시작하였다.(한국해양연구원, 2003)

특히 해양원격탐사에 있어, 위성에서 수신되는 DN의 약 80~90%는 대기에 의한 신호이고 실제 연구에 필요한 해수수출광량(Water Leaving Radiance)은 DN의 약 10~20%에 불과하기 때문에, 정확도 높은 복사보정이 필수이다.(Shanmugam & Ahn, 2007) 정확도 높은 복사보정을 위해서는 먼저 위성 설계단계에서 위성운영기간 동안 우주 복사선(Galactic Cosmic Ray)과 우주 먼지(Space Debris) 등 위성센서의 특성을 변화시키는 외부환경에 영향을 받지 않도록 주요 부품 및 서브시스템들을 개발하여야 하며, 정확도 높고 효율적으로 운용할 수 있는 궤도상 복사보정 시스템(on-orbit radiometric calibration)을 구축하여야 한다. 그와 더불어 지상시험 단계에서는 실제 제작된 위성센서의 특성을 정확하게 측정하여, 이를 복사보정 알고리즘에 반영하는 지상 복사보정(Ground Radiometric Calibration)이 수행되어야 한다. 그와 더불어 위성 발사 이후에는 현장관측값과 위성 데이터와의 비교를 통한 대리보정(Vicarious Calibration) 및 검증(Validation)도 가능하다.

사용자인 한국해양연구원의 요구사항에 따라 한국항공우주연구원에서 개발한 세계 최초로 정지궤도에 위치할 해양관측위성인 정지궤도 해양위성(GOCI)는 대기권밖(Top of Atmosphere)기준 해수수출광량을 기준으로 절대 복사보정 정확도 4%를 요구사항으로 하고 있다. 기준광원으로 분류한 일반적인 궤도상 복사보정방안으로는 태양 복사보정(Solar Calibration), 위성체 내에 탑

재된 램프를 기준광원으로 하는 램프 복사보정(Lamp Calibration), 그리고 달을 기준광원으로 하는 달 복사보정(Lunar Calibration)으로 나눌 수 있다. 표준광원으로 램프를 이용할 경우, 지상에서 측정된 램프의 특성이 위성 운영기간 동안 변하지 않거나, 미리 측정된 특성변화가 있을 때에만 정확한 복사보정이 가능하나, 실제로는 램프에 전원을 공급하는 위성체의 불안정 및 우주복사선 등의 우주환경(Space Environment)의 영향으로 인해 그 특성 변화가 지상에서 미리 예측한 것과는 많은 차이를 보이게 된다. 이러한 이유 때문에 GOCI에서는 궤도상에서 확보할 수 있는 가장 안정되고 특성변화를 직접 측정할 수 있는 태양을 기준광원으로 한 태양 복사보정을 채택하였다. 태양광의 방사도(irradiance)가 일반적인 관측위성에 탑재된검출기(detector)의 포화 복사휘도(Saturation Radiance)보다 훨씬 높기 때문에 태양광의 휘도를 검출기 반응대역(Dynamic Range)에 맞게 감쇄하는 동시에 각 검출기 화소에 동일한 휘도의 태양광을 조사하기 위한 태양광 확산기(Solar Diffuser)를 이용하여, 태양 복사보정을 수행한다. 태양광 확산기는 태양 복사보정시 태양에 직접 노출되고, 위성에 탑재된 광학계 가운데 가장 우주환경에 의한 특성변화가 큰 부품이기 때문에, 위성운영기간 동안 태양광 확산기의 특성변화를 확인하고 이를 보정하는 것이 정확도 높은 궤도상 복사보정을 수행하는 데 필수이다. 이를 위해 GOCI에서는 태양광 확산기의 특성변화를 모니터링 할 수 있는 제2 태양광 확산기인 DAMD(Diffuser Aging Monitoring Device)를 탑재하였다. 본 연구에서는 태양광 확산기(Solar Diffuser) 및 제2 태양광확산기(Diffuser Aging Monitoring Device)를 이용한 GOCI 궤도상 복사보정을 수행하기 위한 GOCI Radiometric

!Calibration S/W를 개발과 관련된 알고리즘 및 운용방안 그리고 향후 개선방안 등에 대해 논하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 1) GOCI 복사보정 모델

GOCI 복사보정을 수행하기 위하여 GOCI 센서의 특성을 표현한 GOCI 복사모델은 아래와 같다.

$$DN = G(L \cdot T) + b(L \cdot T)^3 + R \quad (1)$$

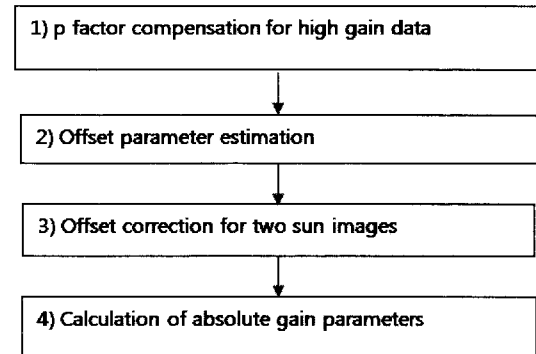
DN	Digital Number
G	Linear Gain
b	Nonlinear Gain
L	Radiance
T	Integration Time
R	Offset value (electric noise)

위의 식(1)에서 DN은 위성에서 측정된 원시데이터인 DN을 의미하며, G는 선형이득(Linear Gain), b는 비선형이득(Nonlinear Gain)을 뜻한다. GOCI에서 사용하는 2D Frame Capture 형식의 CMOS FPA(Focal Plane Array)의 경우, 입사되는 광자에 대하여 DN이 3차 함수의 형태로 증가하기 때문에, 복사모델의 형태로 3차 함수로 정의되었으며, 이 때 1차항의 계수를 선형이득, 3차항의 계수를 비선형이득으로 정의하였다. GOCI 복사모델은 센서에 입사되는 광량에 대한 센서의 반응 특성을 수식화한 것으로 CMOS 검출기의 특성상 DN이 입사되는 광자의 개수에 비례하며, 이는 노출시간과 휘도의 곱에 비례하므로, 결론적으로 GOCI 복사모델은 위성에서 측정된 DN은 입사광의 복사휘도(L)과 노출시간(T)의 곱에 대한 함수로 정의할 수 있다. R은 오프셋 값을 의미하며, GOCI 복사모델에서는 입사광량 또는 노출시간이 0일 때, GOCI 센서를 구성하는 전자회로부의 전기적 특

성에 의한 기본 배경잡음을 의미한다.

### 2) 복사보정방안

전술한 복사보정 모델을 바탕으로 실제 GOCI 궤도상 복사보정에서 구현하는 복사보정방안의 기본 흐름도는 아래의 표와 같다.



#### A. P factor Compensation

GOCI는 저휘도 영역인 해양과 고휘도 영역인 구름/육지를 동시에 효율적으로 관측하기 위해 High Gain/Low Gain 두가지 영상촬영모드를 가진다. GOCI의 High Gain 촬영은 일반적인 지구관측위성의 TDI(Time Delay integration) 방식과 유사하게 동일한 Integration time으로 여러번(최대 32회) 중복 촬영하고 그 값의 합에 의사평균을 구하여, 랜덤 노이즈를 제거하는 방식으로 영상을 촬영하고, 그 가운데 12bit A/D 컨버전에 의한 최대값인 DN=4095인 픽셀은 Low Gain에서 촬영한 값으로 대체하여 최종적으로는 High Gain/Low Gain Image 2개를 합성한 하나의 이미지만 지상으로 전송한다. 이렇게 전송된 영상으로 복사보정을 수행할 경우, high gain으로 촬영된 영상(픽셀)에 대해서는 복사보정을 수행하기 위해서는 앞에서 수행한 pseudo averaging을 되돌리는 과정이 필요하며, 이를 P factor 보상(Pseudo Averaging Factor) Compensation)이라고 한다.

## B. Offset Parameter Estimation

이론적으로 완벽하게 제작된 센서의 경우, 외부의 광원으로부터 빛이 들어오지 않는다고 했을 때, 센서 측정값인 DN은 0이 되어야 한다. 하지만 실제로는 센서의 검출기(Detector), 전자회로 및 광학계 등 다양한 서브시스템들의 특성에 의해 GOCI의 경우 DN값 기준으로 평균 600(LSB) 정도의 배경잡음을 가진다. 이러한 값은 실제 영상처리 및 복사보정을 수행하기 전에 미리 제거해 주어야 되는 값으로, 위와 같은 촬영 영상데이터에 항상 존재하는 배경잡음을 제거하는 과정을 offset correction이라고 한다.

배경잡음은 센서의 온도증가 및 촬영시간 등과 무관한 기본 배경잡음과 검출기의 온도 증가에 따른 자유전자로 인해 생성되는 열잡음으로 구분할 수 있다. 열잡음은 검출기의 온도에 비례하는 특성을 가지고 있고, 일반적인 실리콘 기반의 검출기는 촬영 시간(Integration time)이 길어질수록 검출기의 온도도 증가하기 때문에, GOCI에서는 효율적인 배경잡음 제거를 위하여 하나의 슬롯 영상을 촬영하기 위한 Band1~8 까지의 촬영의 앞과 뒤에 각각 서로 다른 노출 시간에 대한 암흑영상을 촬영하고, 배경잡음을 노출 시간에 대한 1차 함수로 정리하여, 각 밴드별로 다르게 정의된 8개의 노출 시간에 대한 최적의 배경잡음 제거를 위한 암흑 교정(Dark Correction)을 수행한다.

## C. Offset Correction (Dark Correction)

앞의 과정을 통해 도출된 암흑 교정 함수를 이용하여 실제 복사보정용 영상데이터에 적용하여, 암흑 교정을 수행한다.

## D. Calculation of Absolute Gain Parameters

GOCI 복사보정은 각 밴드별, 하나의 픽셀에 대하여 복사모델에서 정의된 선형이득

(G)와 비선형이득(b)를 구하는 과정으로 정의할 수 있다. 서로 다른 노출시간 및 태양광 확산기를 통과한 태양광의 복사휘도에서 측정된 두 개의 복사보정 이미지를 통해 2차항이 빠진 2원3차 연립방정식 형태로 계산함으로써 선형이득(G)와 비선형이득(b)를 구한다.

위의 과정에서 사용자 요구사항인 절대 복사보정 정확도 4%를 달성하기 위해서는 태양광 확산기를 통과한 태양광의 복사휘도가 정확히 얼마인지 계산하는 것이 매우 중요하다. GOCI는 기준 태양 방사도(Solar Irradiance) 모델로 Thuillier 2004(Thuillier et al, 2004)를 이용한다. 뿐만 아니라 태양 방사도의 정확성을 높이기 위해 지구가 태양을 타원궤도의 형태로 공전함으로 발생하는 1년 주기의 태양-지구간 거리오차보정을 각 복사보정 영상의 촬영시각에 맞게 수행한다. 실제, 지구-태양 평균거리인 1AU 기준으로 약  $\pm 3\%$ 의 편차가 존재하며, 이는 아래의 식(Spencer, 1971)으로 보정이 가능하다.

$$D_{E-S} = 1.00011 + 0.034221 \cos(\theta_{day}) + 0.00128 \sin(\theta_{day}) + 0.000719 \cos(2\theta_{day}) + 0.000077 \sin(2\theta_{day}) \quad (2)$$

$$\theta_{day} = \frac{2\pi}{365}(d-1) \quad (d: \text{day number, } 1 \sim 365)$$

위의 식(2)에서  $D_{E-S}$ 는 지구-태양의 거리 요소로서 실제 지구-태양의 거리의 제곱의 역수를 의미한다.

현재 GOCI에 탑재된 Fused Silica로 제작된 태양광 확산기의 경우 입사각에 따라 투과 감쇄율이 변하는 non-lambertian 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 충분한 지상시험을 통해 하나의 특성 모델 형태로 구현되었으며, 실제 복사보정 계산시에는 태양의 입사각에 따른 태양광 확산기의 감

색 특성인 Diffusion Factor의 변화도 고려하여 계산한다.

### 3. 연구결과 및 고찰

앞의 과정을 통해 서로 다른 노출시간 및 태양광 확산기 통과후 태양 복사휘도에 대한 두 개의 복사보정 영상이 존재할 경우, GOCI의 복사보정을 위한 선형이득(G)와 비선형이득(b)를 계산하는 S/W를 개발하였다. 아래의 그림1.은 실제 한국해양연구원에서 개발한 GOCI 궤도상 복사보정 S/W의 사용자 인터페이스 화면이다.

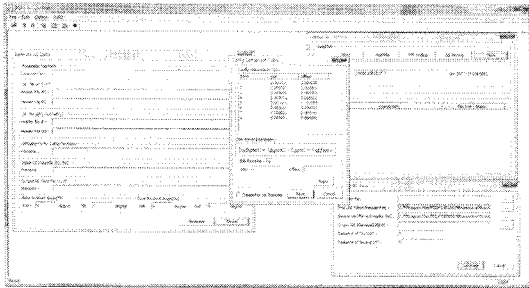


그림1. 한국해양연에서 개발된 GOCI 복사보정S/W 사용자 인터페이스 화면

### 4. 결론

세계최초의 정지궤도 해양관측위성인 정지궤도 해양위성(GOCI)의 주사용자이자 주관 운영기관인 한국해양연구원에서는, GOCI의 원활한 운영 및 보다 정확도 높은 데이터 산출을 위해 센서 검출기의 열잡음 특성, 태양광 확산기 감쇄 특성, 태양 방사도 특성 등 정확도 높은 GOCI 복사보정에 필요한 다양한 특성 계수 및 모델들을 고려한 GOCI 복사보정 S/W를 개발하였다. 향후에는 보다 정확도가 높은 복사보정을 위해 2nd order nonlinear gain 추가, 센서 열특성을 고려한 배경잡음 제거 알고리즘 추가 및 3개 이상의 복사보정이미지 기반의 GOCI 궤도상 복사보정 알고리즘 개발 등 다양한 측면에서 개선된 GOCI 복사보정 S/W를 개발하여, 실제 GOCI 운영상의 복

사보정에 활용할 예정이다.

### 5. 사사

본 연구는 국토해양부 국가연구개발사업인 통신해양기상위성 해양자료처리시스템 개발사업, 해양위성센터 구축 사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 6. 참고문헌

한국해양연구원, 2003. 정지궤도 해양위성 탑재체 선행연구, 해양수산부: 67-69

Shanmugam, P., and Ahn, Y.H., 2007. New atmospheric correction technique to retrieve the ocean colour from SeaWiFS imagery in complex coastal waters. *J. Opt.*, 9: 511-530

Spencer, J. W., 1971. Fourier series representation of the position of the sun. *Search* 2, 5: 172-.

Thuillier, G., Floyd, L., Woods, T. N., Cebula, R., Hilsenrath, E., Herse, M., and Labs, D., 2004. Solar Irradiance Reference Spectra, in: *Solar Variability and its Effect on the Earth's Atmosphere and Climate System. American Geophysical Union: 171 - 194*