

대양에서의 OSMI 모의 복사량 산출

임효숙 · 김용승 · 이동한

한국항공우주연구소 위성사업부

Estimation of Simulated Radiances of the OSMI over the Oceans

Hyo-Suk Lim, Yong-Seung Kim, and Dong-Han Lee

Satellite Division, Korea Aerospace Research Institute

Abstract : In advance of launch, simulated radiances of the Ocean Scanning Multispectral Imager (OSMI) will be very useful to guess the real imagery of OSMI and to prepare for data processing of OSMI. The data processing system for OSMI which is one of sensors aboard Korea Multi - Purpose Satellite (KOMPSAT) scheduled for launch in 1999 is developed based on the SeaWiFS Data Analysis System (SeaDAS). Simulation of radiances requires information on the spectral band, orbital and scanning characteristics of the OSMI and KOMPSAT spacecraft. This paper also describes a method to create simulated radiances of the OSMI over the oceans. Our method for constructing a simulated OSMI imagery is to propagate a KOMPSAT orbit over a field of Coastal Zone Color Scanner (CZCS) pigment concentrations and to use the values and atmospheric components for calculation of total radiances. A modified Brouwer - Lyddane model with drag was used for the realistic orbit prediction, the CZCS pigment concentrations were used to compute water - leaving radiances, and a variety of radiative transfer models were used to calculate atmospheric contributions to total radiances detected by OSMI.

Imagery of the simulated OSMI radiances for 412, 443, 490, 555, 765, 865nm was obtained. As expected, water - leaving radiances were only a small fraction (below 10%) of total radiances and sun glint contaminations were observed near the solar declination. Therefore, atmospheric correction is critical in the calculation of pigment concentration from total radiances. Because the imagery near the sun's glitter pattern is virtually useless and must be discarded, more advanced data collection planning will be required to succeed in the mission of OSMI which is consistent monitoring of global oceans during three year mission lifetime.

Key Words : Simulated Radiances, Ocean Scanning Multispectral Imager (OSMI), Korea Multi - Purpose Satellite (KOMPSAT)

요 약 : 발사 이전에 OSMI 모의 복사량을 산출함은 실제로 관측할 자료를 추정하고, 자료처리를 위한 준비에 매우 유용하다. 1999년 발사에정인 다목적 실용위성의 탑재체 중의 하나인 OSMI 자료처리 시스템은 SeaWiFS 자료처리 시스템을 OSMI에 맞추어 재개발된 것이다. 모의 복사량 계산은

OSMI 센서의 파장대역 및 스캔방식, 다목적 실용위성의 궤도에 관한 정보가 고려되어야 한다. 본 연구에서는 대양에서의 OSMI 모의 복사량을 산출하기 위해 CZCS에서 관측한 엽록소를 다목적 실용위성이 관측한다는 가정을 하게 되었다. 궤도 예측에는 수정된 Brouwer-Lyddane 모델이, water-leaving 복사량을 산출하기 위해 CZCS 엽록소 농도가, OSMI가 관측할 대기에 의한 복사량 계산에는 여러 가지의 복사모델이 이용되었다.

OSMI의 412, 443, 490, 555, 765, 865nm 6가시광선 파장대역에서 모의 복사량을 산출하였다. 예상대로, 총 복사량 중 water-leaving 복사량은 아주 작으며 (10% 미만), 태양해면반사에 의한 영향은 태양 적위 근처에서 관측된다. 그러므로 대기보정은 총 복사량으로부터 엽록소 농도를 계산하는데 매우 중요하다. 태양해면반사에 의해 영향을 받는 자료는 사용할 수 없으므로 OSMI 임무 기간 내에 지속적인 전구 해양관측을 위해서는 체계적인 자료수집 계획이 요구된다.

1. 서 론

Ocean Scanning Multispectral Imager(OSMI)는 1999년 발사 예정인 다목적 실용위성의 탑재체 중의 하나로써 생물학적 해양학 연구를 위한 전구의 해색관측을 하게 된다. OSMI는 관측 파장대역 선정이 가능한 가운데 412, 443, 490, 555nm에서는 20nm의 파장폭을 가지고 해수내의 성분 추정에 필요한 복사량을 측정하고, 765와 865nm에서는 40nm의 파장폭을 가지고 대기보정에 필요한 복사량을 측정한다. OSMI의 임무가 시작되기에 앞서 복사량을 모의 계산함으로써 센서의 설계, 위성체의 운용 및 궤도의 이상과 관련된 문제를 미리 파악하고 준비할 수 있어 성공적인 임무 수행 가능성을 높이게 한다. OSMI 모의 복사량 계산에는 OSMI 센서의 파장대역 및 스캔방식, 다목적 실용위성의 궤도에 관한 정보가 고려된다.

현재까지의 해색관측 센서에는 CZCS(Coastal Zone Color scanner), OCTS(Ocean Color and Temperature Scanner), SeaWiFS(Sea-viewing

Wide Field-of-view Sensor), OCI(Ocean color Imager)가 있으며 올 12월에 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)가 발사될 계획이다. 각 센서 및 궤도의 특징은 Table 1과 같다. CZCS는 1978년부터 1986년까지 운용되었으며 그 관측자료는 NASA/JPL이나 NASA/GSFC의 DAAC에서 구할 수 있다. SeaWiFS는 1997년 8월에 발사되어 동년 9월부터 자료를 수신하고 있다. 본 연구에서는 OSMI 모의 복사량을 계산하기 위해서 비교적 오랜 기간의 자료를 쉽게 구할 수 있는 CZCS 자료를 기본으로 이용하였다. CZCS 자료 중 level 3 엽록소 농도가 이용되었는데 전 지구를 2048×1024(경도, 위도 0.176° 간격)로 나누어져 해상도를 가진다. 1982 - 1983년에 있었던 El Nino는 태평양을 비롯한 근접 지역에 기상/해양에 있어서 큰 변이를 가져왔다. 그러므로 본 연구에서는 El Nino에 관한 연구가 목적이 아니므로 이 기간을 피해서 1984년의 자료를 이용하였다. 그 한 예로써 1984년 3월의 CZCS 엽록소 농도가 Fig. 1에 나타나 있다. 엽록소 농도가 높은 곳은 주로

Table 1. Orbit and Sensor Characteristics of Ocean Color Sensors

Instrument	Bands(nm)	Resolution(km)	Swath(km)	Orbit Node
CZCS	443, 520, 550, 670, 750, 13500	0.825	1566	12:00 ascending
OCTS	412, 443, 490, 520, 565, 670, 765, 865	0.7	1400	10:30 am descending
SeaWiFS	412, 443, 490, 510, 555, 670, 765, 865	1.1	2800	12:00 noon descending
OCI	443, 490, 510, 555, 670, 865	0.85	600	Asynchronous
MODIS	412, 443, 488, 531, 551, 667, 680, 748, 869	1.0	1500	10:30 am descending

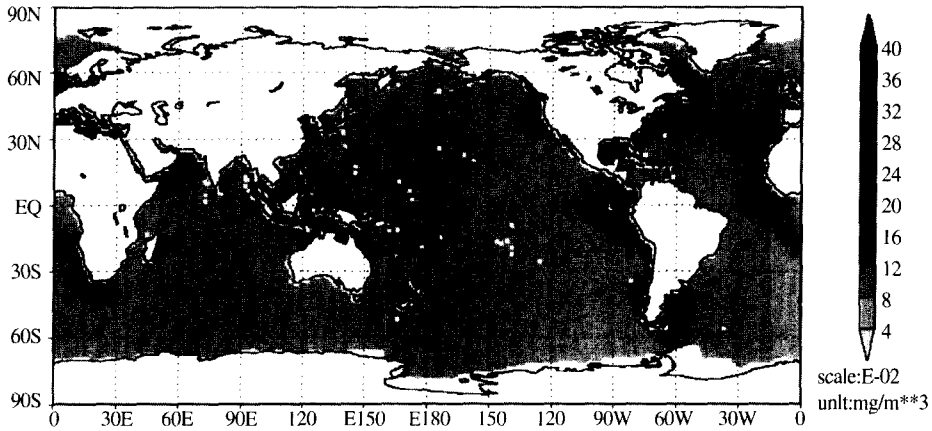


Fig. 1. Global Map of CZCS Pigment Concentration for March, 1984

대륙의 연안지역인데 특히, 북아메리카의 동안지역은 주목할만하게 높은 농도를 보이고 있다. 또한 보조자료로써 바람과 기압은 NOAA에서 수행한 COADS(Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) 프로젝트의 결과를 이용하였다. 이 자료는 1946년부터 1990년까지 대양 위에서의 평균값이다.

2. 이론 및 접근 방법

OSMI에 의해 관측될 복사량의 모의 계산은 1) 다목적 실용위성의 궤도 예측 및 2) 대기 상층부 (top-of-atmosphere; TOA)에서 OSMI가 관측하는 복사량을 계산하는 과정으로 이루어진다. SeaWiFS의 궤도를 계산하는 소프트웨어인 SeaTrack에 다목적 실용위성의 궤도 변수를 적용하여 궤도의 위치를 구한 후 각 점에서의 위성 및 태양의 방위각과 천정각을 계산하였다. 위성 및 태양의 방위각과 천정각은 대기에 의한 복사량을 계산하는데 필수적이다.

해색관측에 이용되는 복사방정식에서는 대기와 해양에 의한 영향을 고려하고 있다.

$$L_t(\lambda) = T_s(\lambda)L_w(\lambda) + L_r(\lambda) + L_a(\lambda) + T_d(\lambda)L_g(\lambda) \quad (1)$$

여기서, 각 변수는

$L_t(\lambda)$: TOA에서 OSMI가 관측하는 총 복사량

$L_w(\lambda)$: water-leaving 복사량

$L_r(\lambda)$: Rayleigh 복사량

$L_a(\lambda)$: 에어로졸에 의한 복사량

$L_g(\lambda)$: 태양해면반사 복사량

$T_d(\lambda)$: 직접 투과율

$T_s(\lambda)$: 분산 투과율

을 나타낸다.

1) 궤도

궤도를 계산하는 소프트웨어인 SeaTrack은 SeaWiFS 관련 팀들이 개발한 것으로 SeaWiFS 자료를 HRPT(High Resolution Picture Transmission) station에서 획득 가능한 시간을 미리 계산하여 준비하기 위함이다. SeaTrack의 입력 중 NORAD(North American Air Defense) TLE(Two-line element)가 있는데, 이는 위성마다 다르고 같은 위성도 정기적으로 수정되어 모든 사용자가 접근할 수 있는 곳에 게재된다. SeaTrack은 특정 위성에만 한정되지 않고 다목적 실용위성에도 적용 가능하기에 본 연구에서 이용하였다.

SeaTrack에서 궤도를 예측하기 위해서 Brouwer-Lyddane 모델을 이용한다. Brouwer-Lyddane 모델은 해석적인 해를 계산하는 일반섭동 모델인데

대기의 영향을 고려하지 않으므로 위성을 저궤도로 이동시켜 속도는 증가하게 된다. Patt et al.(1993)에서는 NOAA-12 위성의 궤도를 계산하였는데 1주일에 2초의 오차만 보이고 있다. 그러므로 NORAD TLE가 1주일 이내에 수정된다는 가정 하에서는 Brouwer-Lyddane 모델은 궤도 예측에 유용하게 된다. SeaTrack의 출력 중 본 연구에서는 위성 직하 점의 경도(ω_s)와 위도(ϕ_s) 및 GMT를 이용하였다. SeaTrack 소프트웨어에 대한 보다 자세한 사항은 Lambert et al.(1993)을 참조하기 바란다.

2) Navigation

위성 직하점의 경도(ω_s)와 위도(ϕ_s), scan angle, tilt angle이 주어지면 비직하 픽셀의 지구상에서의 위치를 계산할 수 있다. 우선, 위성 직하 점과 픽셀간의 대원상의 거리(δ)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta &= \theta - \theta'_s \\ \cos \theta'_s &= \cos \theta_s \cos Y \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, θ 는 위성의 천정각, θ'_s 는 tilt가 고려된 scan angle, θ_s 는 scan angle, Y는 tilt angle이다. 위성의 천정각(θ)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1} \left[\frac{R_e + H_s}{R_e} \sin \theta'_s \right] \quad (3)$$

여기서, R_e 는 지구의 평균 반경 (6371.2 km), H_s 는 위성체의 고도(685.13 km)이다.

픽셀의 위도와 경도는 구면 삼각법에 의해 결정되며 우선 위도(ϕ)는 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$\phi = \sin^{-1} [\sin \phi_s \cos \delta + \cos \phi_s \sin \delta \cos \eta] \quad (4)$$

여기서, η 는 위성의 운행 방향 상에서 위성 직하 점에서 픽셀로의 휘어짐 (180 + inclination for the LHS facing north, 180 - inclination for the RHS facing south)이다.

위성 직하 점과 픽셀의 경도차($\Delta\omega$)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\omega = \cos^{-1} \left[\frac{\cos \delta - \sin \phi_s \sin \phi}{\cos \phi_s \cos \phi} \right] \quad (5)$$

픽셀의 경도(ω)를 구하기 위해서는 위성 직하 점의 서쪽은 $\omega_s - \Delta\omega$, 동쪽은 $\omega_s + \Delta\omega$ 이다.

3) Viewing and Solar Geometries

위성의 천정각(θ)은 이미 계산되었으며, 방위각(ϕ)은 다음과 같은 관계식을 이용하여 구한다.

$$\phi = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \phi_s - \cos \delta \sin \phi}{\sin \delta \cos \phi} \right] \quad (6)$$

태양의 천정각(θ_0)과 방위각(ϕ_0)을 구하기 위해서는 어떤 지점의 위도, 경도, 날짜 및 GMT가 결정되면 아래와 같은 절차를 거쳐 구할 수 있다. 어떤 지점의 위도를 ϕ , 태양의 적위를 δ_s , 시간각을 t 라 할 때 태양의 천정각은 다음과 같다.

$$\cos \theta_0 = \sin \delta_s \sin \phi + \cos \delta_s \cos \phi \cos t \quad (7)$$

태양의 천정각 및 방위각 계산에 대한 보다 자세한 사항은 Vermote et al.(1997)을 참조하기 바란다.

4) OSMI가 관측하는 복사량 계산

1) Normalized Water-Leaving Radiances

우선 위성과 태양의 위치에 영향을 받지 않는 L_{wn} (normalized water-leaving radiance)를 6개의 OSMI 파장대역에 대해서 계산한다. Gordon et al.(1988a)에 있는 semi-analytic 복사 모델에 의하면 L_{wn} 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{wn}(\lambda) = \frac{(1-\rho_n)(1-\rho_N) F_0(\lambda) R(0^-, \lambda)}{n^2 Q [1 - rR(0^-, \lambda)]} \quad (8)$$

여기서, ρ_n 은 태양이 nadir에 있으며 풍속이 0일 때 해수면의 Fresnel 반사율로 0.0211의 값을 가지며, ρ_N 은 편평한 해수면에서 직, 간접 조도량에 대한 반사율의 정규화된 평균값으로 0.043이며, $F_0(\lambda)$ 는 태양과 지구간의 거리를 고려하여 보정한 extraterrestrial spectral irradiance, $R(0^-, \lambda)$ 은 해

수면 바로 밑의 조도량 반사율, n 은 물의 굴절 계수(1.341), Q 는 조도량 대 복사량의 비율로써 완전히 분산되는 복사량에 대해서는 π 이며, r 은 완전히 분산되는 조도량에 대한 물과 공기의 반사율로써 0.48이다.

$R(\lambda)/Q$ 는 파장의 함수인데 Gordon et al.(1988a)에 의하면 다음과 같다.

$$\frac{R(\lambda)}{Q} = 0.110 \frac{b_b(\lambda)}{K(\lambda)} \quad (9)$$

여기서, $b_b(\lambda)$ 는 역산란 계수, $K(\lambda)$ 는 소광계수이다. $K(\lambda)$ 는 Baker and Smith(1982)에 의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K(\lambda) = K_w(\lambda) + K_c(\lambda) + K_g(\lambda) \quad (10)$$

여기서 $K_w(\lambda)$ 는 해수의 소광계수, $K_c(\lambda)$ 는 플랑크톤의 소광계수, $K_g(\lambda)$ 는 부유사의 소광계수이다. $K_w(\lambda)$ 는 Baker and Smith(1982)의 값을 이용한다(Table 2). $K_c(\lambda)$ 는 Baker and Smith(1982)에서 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$K_c(\lambda) = k_c(\lambda)[chl.a] \exp[-k'_c(\lambda) \log_{10}[chl.a] / C_{ref}]^2 + 0.001[chl.a]^2 \quad (11)$$

이때 $[chl.a]$ 는 엽록소 농도, $C_{ref}(= 0.5)$ 는 엽록소의 기준값, $k_c(\lambda)$ 와 $k'_c(\lambda)$ 는 OSMI의 파장대역에 대해 평균한 계수로써 Table 2의 값을 가진다. $K_g(\lambda)$ 는 0으로 가정하였다.

역산란 계수 $b_b(\lambda)$ 는 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$b_b(\lambda) = 0.5b_w(\lambda) + b_{bc}(\lambda) \quad (12)$$

이때 $b_w(\lambda)$ 는 해수의 총 산란계수, $b_{bc}(\lambda)$ 는 플랑크톤의 역산란 계수인데 Gordon et al.(1988a)에 의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_{bc}(\lambda) = A(\lambda)[chl.a]^{B(\lambda)} \quad (13)$$

여기서, $A(\lambda)$ 와 $B(\lambda)$ 는 상수로써 Table 2에 있으며, $[chl.a]$ 는 엽록소 농도로써 CZCS 관측 자료를 이용한다.

평균 extraterrestrial irradiance $MF_0(\lambda)$ 는 Table 2와 같이 Gregg et al.(1993)의 값을 취한 후 Gordon et al.(1983)과 같이 지구와 태양간의 거리를 고려하여 다음과 같이 보정하였다.

$$F_0(\lambda) = MF_0(\lambda)[1 + 0.0167 \cos \frac{2\pi(D-3)}{365}]^2 \quad (14)$$

이때 D 는 Julian day이다.

2) 대기의 영향에 의한 복사량

위성에서 관측하는 복사량 중 대기의 영향에 의한 복사량을 산출하기 위해서는 Rayleigh 산란, 오존, 수증기 및 산소에 의한 흡수, 에어로졸에 의한 산란과 흡수 및 태양해면반사에 의한 영향을 고려해야 한다. 기초자료인 오존, 산소, 수증기에 의한 흡수계수 및 Rayleigh 광학적 두께는 Table 3과 같다.

(1) 투과율(Transmittances)

Gordon et al.(1983)에 의하면 대기중의 흡수는

Table 2. Values for mean extraterrestrial irradiance $MF_0(\lambda)$ ($mW \text{ cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), $K_w(\lambda)$, $k_c(\lambda)$, $k'_c(\lambda)$, $b_w(\lambda)$ (m^{-1}), $A(\lambda)$ (m^{-1}), and $B(\lambda)$ used in the creation of the OSMI simulated radiance

λ	MF_0	K_w	k_c	k'_c	b_w	A	B
412	171.92	0.0194	0.208	1.077	0.0067	0.00313	0.20401
443	189.05	0.0169	0.175	1.001	0.0048	0.00300	0.21770
490	193.60	0.0212	0.121	0.963	0.0031	0.00284	0.23674
555	185.90	0.0683	0.076	1.144	0.0019	0.00330	0.35666
765	123.27	2.5300	0.040	1.732	0.0005	0.00221	0.32081
865	100.34	3.4000	0.010	1.732	0.0003	0.00206	0.34400

Table 3. Spectrally weighted Rayleigh optical thickness(τ_r), ozone absorption coefficient(a_{oz}), water vapor absorption coefficient(a_{wv}) and oxygen absorption coefficient(a_{ox}). Wavelengths, λ , are in nm. The units for the absorption coefficients are in cm^{-1} ; τ_r is dimensionless

λ	τ_r	a_{oz}	a_{wv}	a_{ox}
412	0.3191	0.0000	0.0000	0.0000
443	0.2364	0.0027	0.0000	0.0000
490	0.1562	0.0205	0.0000	0.0000
555	0.0938	0.0898	0.0000	0.0000
765	0.0255	0.0083	0.0000	6.9900
865	0.0155	0.0000	0.0008	0.0000

extraterrestrial irradiance가 대기를 한번 왕복한 후 위성에 의해 관측된다는 가정 하에 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$F_0'(\lambda) = F_0(\lambda) T_{oz}(\theta_0) T_{oz}(\theta) T_{wv}(\theta_0) T_{wv}(\theta) T_{ox}(\theta) \quad (15)$$

여기서, T는 각 기체의 투과율이며, θ_0 는 태양의 천정각, θ 는 위성의 천정각이다.

수증기와 산소의 path length(M)는 다음과 같이 구할 수 있다(Kasten, 1966).

$$M = \frac{1}{\cos\eta + 0.15(93.885 - \eta)^{-1.253}} \quad (16)$$

이때 η 는 θ_0 나 θ 이다.

Ozone의 path length는 다음과 같은 관계식을 가진다(Paltridge and Platt, 1976).

$$M_{oz} = \frac{1.0035}{\cos 2\eta + 0.007^{-0.5}} \quad (17)$$

Gregg and Carder (1990)에 의하여 T_{ox} , T_{wv} , T_{oz} 을 산출하였다. 이와 관련하여 Rayleigh 산란 후 투과율(T_r)도 산출하게 된다.

하향 총투과율(T_0)은 직접 투과율(T_d)과 분산 투과율(T_s)의 합이다.

$$T_0 = T_d + T_s$$

$$T_d = T_r T_{aa} T_{oz} T_{wv} T_{ox} \quad (18)$$

$$T_s = T_{aa} T_{oz} T_{wv} T_{ox} [T_r^{1.5} F_a (1 - T_{as}) + (1 - T_r^{0.95}) / 2]$$

이때 T_{aa} 는 흡수 후 에어로졸의 투과율, T_{as} 는 산란 후 에어로졸의 투과율, F_a 는 에어로졸의 전방 산란확률인데 Gregg et al.(1993) 및 Gregg and Carder (1990)에 의하여 산출하였다.

(2) Rayleigh 복사량 (L_r)

Single scattering이라는 가정 하에 L_r 은 다음과 같은 관계식을 가진다 (Gordon et al. 1988b).

$$L_r(\lambda) = \tau_r(\lambda) F_0'(\lambda) p_r(\theta, \theta_0, \lambda) / 4\pi$$

$$p_r(\theta, \theta_0, \theta) = \{P_r(\theta_+, \lambda) + [\rho(\theta) + \rho(\theta_0)]$$

$$P_r(\theta_+, \lambda)\} / \cos \theta \quad (19)$$

$$\cos \theta_{\pm} = \pm \cos \theta_0 \cos \theta - \sin \theta_0 \sin \theta \cos(\phi - \phi_0)$$

$$P_r(\theta_{\pm}) = 0.75 [1 + \cos^2 \theta_{\pm}]$$

여기서, $\rho(\theta)$ 는 Fresnel 반사율, $\tau_r(\lambda)$ 는 Rayleigh 산란의 광학적 두께이다.

(3) 에어로졸에 의한 복사량 (L_a)

Gordon and Castano(1989)에 의하면 L_a 는 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$L_a = \omega_a \tau_a p_a F_0' / \cos \theta \quad (20)$$

여기서, ω_a 는 에어로졸의 single scattering albedo, τ_a 는 에어로졸의 광학적 두께, p_a 는 위성체에 대한 산란 확률이다. 자세한 계산 과정은 Gregg and Carder(1990)를 참조하기 바란다.

(4) 태양해면반사 복사량 (L_g)

태양해면반사 복사량은 Cox and Munk(1954)의 방정식에 기원을 둔 Gregg et al. (1993)의 다음과 같은 관계식을 이용하여 계산한다.

여기서, $p_w(\theta, \phi, \theta_0, W)$ 는 일정방향에서 태양해면반사를 관측할 수 있는 확률, W 는 풍속, $T_d(\lambda, \theta_0)$ 는 직접 투과율이다.

$$L_g = \frac{0.021 T_d(\lambda, \theta_0) F_0(\lambda) p_w(\theta, \phi, \theta_0, w)}{4 \cos \theta \cos^4 \theta_N}$$

$$p_w(\theta, \phi, \theta_0, w) = \frac{1}{\pi \sigma^2} \exp[-(Z_x^2 + Z_y^2) / \sigma^2]$$

$$\sigma^2 = 0.003 + 0.00512 W \quad (21)$$

$$Z_x^2 + Z_y^2 = \tan^2 \theta_N$$

$$\cos 2\omega = \cos \theta \cos \theta_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \cos(\phi - \phi_0)$$

$$\theta_N = \cos^{-1}[(\cos \theta + \cos \theta_0) / 2 \cos \omega]$$

3) 총 복사량

식(1)을 이용하여 위성에서 관측한 총 복사량을 구할 수 있다. 우선 우변의 첫 번째 항인 $T_s L_w$ 는 위성에서 관측한 water leaving 복사량으로 Gordon(1990)에 의하면 다음과 같다.

$$T_s L_w = T_s(\theta_0) L_{wn}(1-\rho) T_s(\theta_0) \cos \theta_0 \quad (22)$$

이때 ρ 는 가중치를 준 직·간접 반사율로써 다음과 같다.

$$\rho = \rho_d W_d + \rho_s W_s$$

$$\rho_d = \rho_{dsp} + \rho_t \quad (23)$$

$$\rho_s = \rho_{ssp} + \rho_f$$

Gregg and Carder(1990)에 의거하여 모든 반사율을 산출하였다. 식(1)에서 이외의 모든 항은 이미 정의하였으므로 위성에서 관측한 총 복사량을 산출할 수 있게 된다.

총 복사량 산출시 고려된 대기의 조건은 다음과 같다. Rayleigh 산란은 기압의 함수인데 이때 표준기압은 1013.25mb를, 월 평균값은 COADS로부터 취하였다. 오존의 scale height는 340DU(0.34 cm)를, 총가장수량은 1.5cm라고 가정하였다. 에어로졸에 의한 복사량 (L_a) 계산에 필요한 시정(visibility)은 15km, 상대습도는 80%로 가정하였다. 풍속 및 기압은 1946 - 1990년 평균인 COADS로부터 취하였다.

3. 결과 및 토의

OSMI의 6개 파장에서 관측할 총 복사량을 모의 계산한 결과가 Fig. 2에 나타나 있다. 예상대로 3월에 적도 근처의 위성 진행 방향의 오른쪽에서 태양해면반사에 의한 복사량이 크게 나타난다. 그 영향으로 인하여 동일 지역에서의 총 복사량도 크게 나타나고 있다. 412nm에서 865nm로 파장이 길어질수록 총 복사량은 점차 줄어들고 있다. 태양해면반사에 의한 복사량은 태양의 적위와 풍속에 의해 큰 영향을 받게 되는데 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 계절별로 태양해면반사에 의한 영향을 받는(복사량이 $0.5mW \text{ cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ 보다 큰 지역으로 더 진한 회색으로 shading) 위도대가 변하고 있다. 예상대로 3월과 9월에는 적도 근처에서 6월에는 북위 23.5° 근처에서, 12월에는 남위 23.5° 근처에서 위성 통과 시 직하점 우측의 대부분은 태양해면반사에 의한 영향을 받게 된다. 김용승 등(1999)은 세 종류의 풍속을 이용하여 태양해면반사 복사량을 모의 계산하였다. 그 결과 어떤 풍속 자료를 이용하느냐에 의해 태양해면반사에 의한 영향을 받는 픽셀이 다르게 나타나고 있다. SeaWiFS는 태양해면반사에 의한 영향을 최소화하기 위해 센서의 방향을 틀지만, OSMI는 설계시 이러한 사항을 고려하지 않았으므로 장기 자료수집 계획 시 유효한 자료의 양을 늘리기 위해서는 대안이 필요하게 된다(Kim et al., 1998).

Water-leaving 복사량, Rayleigh 복사량, 에어로졸에 의한 복사량, 태양해면반사에 의한 복사량 및 총 복사량의 6개 파장에서의 경향을 조사하기 위해 Fig. 2에서의 전 면적에 대하여 평균을 취하였다(Table 4). Water-leaving 복사량은 해수내의 엽록소 농도와 직접적인 관련을 가지면서 해색 측정에 중요한 역할을 하는데 총 복사량의 10% 미만(412, 443, 490, 555nm 에 대해)을 차지하며, 765와 865nm 에서는 사라지게 된다. 그러므로 765와 865nm 파장을 이용하여 정확한 대기보정을 실시하여야 신뢰할 만한 해색자료를 얻게 된다. 대체



Fig. 2. Simulated total radiances at 6 bands of OMSI in March. Units are $\text{mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$

로 가시광선 영역에서는 Rayleigh와 에어로졸에 의한 복사량이 대부분을 차지하게 되는데 에어로졸의 영향은 765와 865nm파장에서 지배적이다. 이러한 사실과 두 파장대역에서의 water-leaving 북

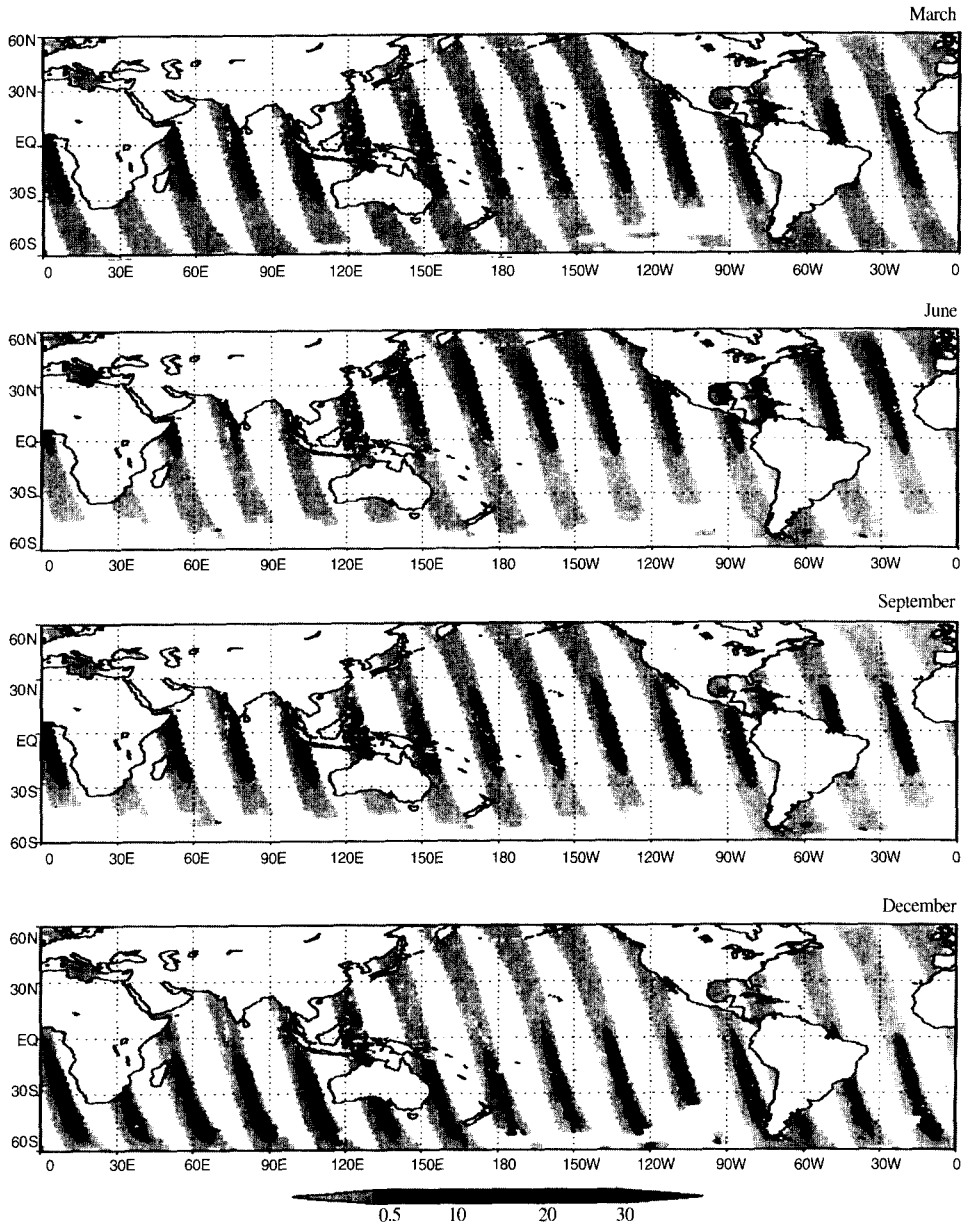


Fig. 3. Simulated sun glint radiances at 865 nm for the OSMI in March, June, September, and December. Units are $\text{mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$.

사량이 0이라는 점에 근거하여 대기보정에 이용된다. 에어로졸에 의한 복사량은 시간/공간에 따라 크게 변하므로 정확하게 예측하기 쉽지 않다. 그러므로 대기보정의 정확성은 에어로졸의 양을 얼마나 정확하게 계산하느냐에 달려 있다고도 할 수

있다. Gordon and Wang(1994)은 여러 가지의 에어로졸 모델을 이용하여 보다 정확한 대기보정을 시도하고 있다. 올 12월에 발사되는 MODIS는 에어로졸의 양을 관측하여 대기보정에 직접 이용하게 된다. 태양해면반사에 의한 복사량은 765와

Table 4. Averaged values of water - leaving radiance, Rayleigh radiance, aerosol radiance and sun glint radiance (units are $mW\ cm^{-2}\ \mu m^{-1}\ sr^{-1}$). The values in the parenthesis are ratio of each radiance to total radiances.

파 장	water - leaving	Rayleigh	에어로졸	태양해면반사	총복사량
412 nm	0.562(5.9%)	5.699(60.2%)	1.942(20.5%)	1.270(13.4%)	9.473
443 nm	0.506(5.9%)	4.644(54.1%)	2.030(23.7%)	1.399(16.3%)	8.579
490 nm	0.301(4.4%)	3.139(46.1%)	1.935(28.4%)	1.434(21.1%)	6.809
555 nm	0.065(1.4%)	1.805(36.5%)	1.697(34.3%)	1.375(27.8%)	4.942
765 nm	0.000(0.0%)	0.327(15.2%)	0.903(42.0%)	0.920(42.8%)	2.150
865 nm	0.000(0.0%)	0.162(10.2%)	0.674(42.5%)	0.750(47.3%)	1.586

865nm에서 큰 값을 가지게 된다. 그러므로 SeaWiFS의 자료처리시 일정 픽셀에서의 태양해면반사에 의한 영향을 최소화하기 위해서 한계값을 적용하고 있는데(McClain et al., 1995), 865nm에서의 태양해면반사 복사량이 $0.005F_0(865)$ 보다 큰 픽셀은 차폐하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 다목적 실용위성의 발사 이전에 OSMI의 파장대역에서 관측하게 될 복사량을 모의 계산하였다. 대양에서의 OSMI 모의 복사량을 산출하기 위해 CZCS에서 관측한 열복사를 다목적 실용위성이 관측한다는 가정을 하게 되었는데 궤도 예측에는 SeaTrack이 이용되었다. TOA에서 OSMI가 관측하는 복사량은 크게 water leaving, Rayleigh, 에어로졸에 의한, 태양해면반사 복사량으로 이루어진다. water leaving 복사량 계산에는 Gordon et al.(1988a)의 semi-analytic 복사 모델이 이용되었으며, 대기내의 오존, 수증기 및 산소에 의한 Rayleigh 복사량을 고려하였다. 에어로졸에 의한 복사량은 Gregg and Carder(1990)의 모델을 이용하여 계산하였다. 대기중의 에어로졸은 기원, 광학적 성질, 크기의 분포에 의해 대류권, 해양, 연안 에어로졸등으로 구분하고 있다. 이러한 에어로졸 이외에 Fukushima and Toratani(1997)은 봄철 중국 황하에서 발생하여 태평양을 건너 이루하는 황사를 대기보정시 고려하고 있다. 마지막으로, 태

양해면반사 복사량은 Cox and Munk(1954)의 방정식을 근거로 하여 계산하였다.태양해면반사에 의한 복사량은 태양의 적위와 풍속에 의해 큰 영향을 받게 되는데 3월과 9월에는 적도 근처에서 6월에는 북위 23.5° 근처에서, 12월에는 남위 23.5° 근처에서 위성 통과 시 직하 점 우측의 대부분은 태양해면반사에 의한 영향을 받게 된다. 세 종류의 풍속을 이용하여 태양해면반사 복사량을 모의 계산한 결과(김용승등, 1999), 어떤 풍속 자료를 이용하느냐에 의해 태양해면반사에 의한 영향을 받는 픽셀이 다르게 나타나고 있다.

모의 계산한 총 복사량과 성분별(water-leaving, Rayleigh, 에어로졸, 태양해면반사) 복사량이 CZCS 및 모의 SeaWiFS 결과와 비교했을 때에 적절한 값을 가지고 있다(McClain et al., 1996; Gregg et al., 1993). 제한된 OSMI 임무기간동안 자료수집에 큰 영향을 주게 될 태양해면반사 복사량에 대해서도 모의 계산을 통해 월별 영향 지역을 예측하였다. 그러므로 본 연구의 결과는 OSMI 월간 자료 수집계획을 수립(Kim et al., 1998)하는데 반영하였다. 이와 같이 위성이 발사되기 전에 모의 복사량의 계산은 본격적인 임무가 시작되기 전에 발생할 문제에 대해 미리 준비할 수 있게 한다. 즉, 모의 계산을 통해 센서의 디자인, 위성체의 운용, 궤도의 이상에 관련된 문제가 위성 발사에 앞서 드러나게 된다. 그러므로 모의 계산시 실제에 더욱 근접한 상황을 가정할수록 결과는 더욱 실제에 가까움으로 위성의 임무가 성공적으로 수행될 수 있는 가능성을 더욱 높이게 된다.

참고문헌

- 김용승, 임효숙, 이동한, 1999 : OSMI 모의 태양반사 복사량, 1999년도 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집, 134 - 140.
- Baker, K.S., and R.C. Smith, 1982: Bio-optical classification and model of natural waters, *2, Limnol. and Oceanography*, 27, 500 - 509.
- Cox, C., and W. Munk, 1954: Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter. *J. Mar. Res.*, 44, 838 - 850.
- Fukushima, H. and M. Toratani, 1997: Asian dust aerosol: Optical effect on satellite ocean color signal and a scheme of its correction. *J. Geophys. Res.*, 102, 17119 - 17130.
- Gordon, H.R. and M. Wang, 1994: Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. *Applied Optics*, 33, 443 - 452.
- _____, 1990: Radiometric considerations for ocean color remote sensors. *Applied Optics*, 29, 3228 - 3236.
- _____, and D.J. Castano, 1989: Aerosol analysis with Coastal Zone Color Scanner: A simple method for including multiple scattering effects. *Applied Optics*, 28, 1320 - 1326.
- _____, O.B. Brown, R.H. Evans, J.W. Brown, R.C. Smith, K.S. Baker, and D.K. Clark, 1988a: A semianalytic radiance model of ocean color. *J. of Geophys. Res.*, 93, 10909 - 10924.
- _____, J.W. Brown, and R.H. Evans, 1988b: Exact Rayleigh scattering calculations for use with the Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner. *Applied Optics*, 28, 1320 - 1326.
- _____, D.K. Clark, J.W. Brown, O.B. Brown, R.H. Evans, and W.W. Broenkow, 1983: Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: Comparison of ship determinations and CZCS estimates. *Applied Optics*, 22, 20 - 36.
- Gregg, W.W., F.C. Chen, A.L. Mezaache, J.D. Chen, and J.A. Whiting, 1993: The simulated SeaWiFS Data set, Version 1. *SeaWiFS Technical Report Series*, Vol 9, 17pp.
- _____, and K.L. Carder, 1990: A simple spectral solar irradiance model for cloudless maritime atmospheres. *Limnol. and Oceanography*, 35, 1657 - 1675.
- Kasten, F., 1966: A new table and approximate formula for relative optical air mass. *Geophys. Biokimatol.*, B14, 206-223.
- Kim, Y., C. Kang, and H.-S. Lim, 1998: Global patterns of pigment concentration, cloud cover, and sun glint: Application to the OSMI data collection planning. *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 14(3), 277-284.
- Lambert, K.S., W.W. Gregg, C.M. Hoisington, and F.S. Patt, 1993: SeaTrack - Ground station orbit prediction and planning software for sea-viewing satellites. *NASA Reference Publication 1331*, 37pp.
- McClain, C.R., J. Comiso, R. Fraser, J. Firestone, B. Schieber, E. Yeh, K. Arrigo, and C. Sullivan, 1996: Atmospheric correction and other correction algorithms. *SeaWiFS/SeaDAS Tutorials*, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, April 23-24, 1996.
- _____, K. Arrigo, W.E. Esias, M. Darzi, F.S. Patt, R.H. Evans, J.W. Brown, C.W. Brown, R.A. Barnes, and L. Kumar, 1995: *SeaWiFS Algorithm Part 1*, *NASA Technical Memorandum 104566*, Vol. 28, 38pp.
- Paltridge, G.W., and C.M.R. Platt, 1976: Radiative processes in meteorology and climatology. *Development in Atmospheric Science*, Vol 5,

Elsevier Scientific Publishing Co., New York,
318pp.

Patt, F.S., C.M. Hoisington, W.W. Gregg, and P.L.
Coronado, 1993: Analysis of selected orbit
propagation models for the SeaWiFS

Mission, *NASA Technical Memorandum*
104566, Vol. 11, 16pp.

Vermote, E., D. Tanre, J.L. Deuze , M. Herman,
and J.J. Morcrette, 1997: 6S User Guide
Version 2, 218pp.