

論 文

정지궤도를 위한 해면방사휘도(L_w)의 양방향 계수 (bidirectional factor) 평가 연구

박진규* **, 한희정* · 문정언* · 양찬수* · 안유환*

* 한국해양연구원, ** 부경대학교

Bidirectional Factor of Water Leaving Radiance for Geostationary Orbit

Jin-Kyu Park* **, Hee-Jeong Han**·Jeong-Eon Mun**·Chan-Su Yang**·Yu-Hwan Ahn**

* Ocean Satellite Research Group, Korea Research and Development Institute

** Pukyong National University

요 약 : 정지궤도위성은 태양 궤도위성과는 달리 넓은 지역의 매시간 측정이 가능하다. 정지 위성은 관측영역은 항상 고정되어 있으나 태양의 위치가 항상 변하므로 한 주어진 지점의 해수 신호의 크기는 시간에 따라 변하게 된다. 반면에 태양 궤도 위성은 하루 동일한 시간대에서 동일한 영역을 촬영하기 때문에 신호의 크기의 변화가 없다. 즉, 정지해양 위성에서 관측된 신호의 크기는 태양과 위성이 항상 수직 방향에 위치한다고 가정할 때 얻어지는 신호의 크기로 변경되어야 한다. 이와 같은 신호의 보정은 지속적으로 변화하는 태양, 위성과 관측점의 기하학적인 위치변화에 따라 나타나게 되는데 이를 양방향 계수(Bidirectional Factor)라고 한다. 본 연구에서는 태양의 위치와 기하학적인 요인을 계산, 대기권 밖의 총 방사휘도와 반사율을 계산하였다. 그리고 양방향계수, 즉 관측점과 관측지점 사이의 규격화된 해면방사휘도($[L_w]_N$)의 비율 모의실험을 통해 확인하였다. 1년간의 값을 영상화 하였고 보다 정확한 양방향 계수(Bidirectional Factor)를 얻기 위해 다양한 조건의 모의실험의 필요성을 제시하였다.

핵심용어 : 해면방사휘도, 양방향 계수

ABSTRACT : Geostationary Orbit satellite, unlike other sun-synchronous polar-orbit satellites, will be able to take a picture of a large region several times a day (almost with every one hour interval). For geostationary satellite, the target region is fixed though the location of sun is changed always. However, Sun-synchronous polar-orbit satellites able to take a picture of target region same time a everyday. Thus Ocean signal is almost same. Accordingly, the ocean signal of a given target point is largely dependent on time. In other words, the ocean signal detected by geostationary satellite sensor must translate to the signal of target when both sun and satellite are located in nadir, using another correction model. This correction is performed with a standardization of signal throughout relative geometric relationship among satellite-sun-target points. This relative ratio called bidirectional factor. To find relationship between time and $[L_w]_N$ /Bidirectional Factor differences, we are calculate solar position, geometry parameters. And reflectance, total radiance at the top of atmosphere(). And water leaving radiance, normalized water leaving radiance. And calculate bidirectional factor, that is the ratio of $[L_w]_N$ between target region and aiming the point. Then, we can make the bidirectional factor lookup table for one year imaging. So, we suggested for necessary to simulation experiment bidirectional factor in more various condition(wavelength and ocean/air condition).

KEY WORDS : Water Leaving Radiance, Bidirectional Factor

1. 서 론

우리가 해석의 원격탐사를 통해서 해양 환경의 변화를 해석하고자 할 때 많은 고려 사항이 있다. 바다표면의 발광의

양, 공기와 물의 투과율, 그리고 물 분자 및 부피의 상호작용(흡수, 산란, 감쇠)을 들 수 있다. 이런 신호들은 바다에서 해양으로 향하는 반사를 통해 해석 센서로 도달하게 되는데 해석센서는 이런 효과를 계산하는 능력을 가지고 있다.

이런 특징은 정지 궤도 위성이나 태양궤도 위성의 공통적인 특성이라고 할 수 있다. 하지만 정지궤도 위성은 태양궤도 위성과는 달리 그 위치가 고정되어 있다(태양고도 변화의 영향을 받는다.). 또, 매 시간 자료를 획득할 수 있고 큰 관측영역(예, 통신해양기상위성(GOGI)의 경우 2500km × 2500km)을

* emishii@kordi.re.kr 031)400-7686
* han77@kordi.re.kr 031)400-7607
* jemoon@kordi.re.kr 031)400-6139
* yangcs@kordi.re.kr 031)400-7678
* yhahn@kordi.re.kr 031)400-6129

가지고 있다. 따라서 시시각각 변하는 태양광과 대기의 특성을 묘사하기 위한 양방향(Bidirectional) 대기 모델을 개발하는 것이 필수적이다. 이에 따라 태양-관측점-정지궤도 해양 위성의 위치 및 하루/연중 태양의 위치에 따른 해수면 태양광반사(sun-glint)영역의 위치를 찾아주는 예측 알고리즘을 개발하여 활용해야 한다.

해수의 빛 반사도 모델은 Morel(1988)과 Gordon(1988)이 개발하여 해석 분석 원격탐사 기술을 경험적인 접근에서 벗어나 분석적 접근을 유도하는 기초를 만들었다.

정지궤도 해석위성자료는 지금까지 개발된 극궤도용 해수 환경 알고리즘을 사용할 수 없다. 그 이유는 극궤도 위성은 거의 매일 같은 시각에 자료를 수신하기 때문에 해수에서 올라오는 신호가 크게 변하지 않지만, 정지궤도 위성은 매 시간마다 자료를 수신하기 때문에 그때마다 태양의 위치가 시간에 따라 변하고 이에 따른 해석도 변하여 기존의 환경 분석 알고리즘의 사용이 어렵기 때문이다. 따라서 대기와 해양의 신호 모델의 개발을 통해 태양과 위성, 관측점의 위치에 따라 해수 방사휘도의 변화 비율을 파악하는 모의실험을 통해 규격화된 해석 자료를 얻을 수 있는 모델을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 이론적 배경

2.1 기하학적 구조

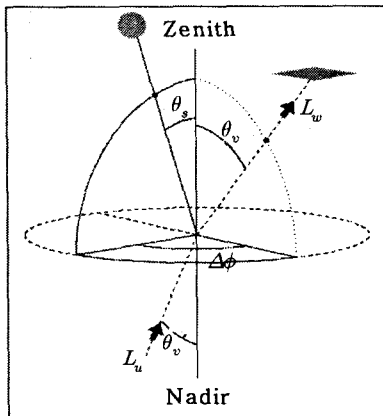


Fig. 1. Geometry at sea level.

Fig. 1: Schematic views of the geometry and symbols used in this chapter. The polar angles that specify the radiances correspond to the direction of photon travel and are measured from the local zenith for water-leaving radiance (θ_v') and zenith sun angle (θ_s), or from nadir when dealing with the in-water upwelling radiance (θ_v''). The azimuth angle $\Delta\phi$ is 0 and π for the sun and the antisolar directions.

2.2 해면 방사휘도(L_w)

해수표면 바로 아래에서 해수의 수괴로부터 반사되어 올라오는 광(Upwelling Radiance: L_u)은 해수표면 바로 아래 해수와 대기의 경계면에서 일부 반사되고 밖으로 나오게 된다. 이 반사되어 나오는 광량 중에는 해수표면 바로아래에서 반사되어서 해수 밑바닥으로 되돌아가는 광을 제외한 나머지, 즉 해수표면을 통과해서 대기를 향하여 솟아나오는 광량, 해수의 방사휘도(Water Leaving Radiance)로 정의 한다. 이 해수의 방사휘도(L_w)을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$L_w = E_d(0^+) \frac{R}{Q} R \quad \text{식(1)}$$

- ① $E_d(0^+)$ (Wm^{-2}) : 해수면에 입사되는 광 에너지
- ② R : 대기와 해양 사이의 반사와 굴절, 풍속을 요인을 포함한 값이다.
- ③ R : 해수의 일반적인 반사도를 의미한다. 그 값은 해수에 입사되는 광에너지에 대한 해수를 벗어나는 광에너지의 비의 값($E_u(0^-)/E_d(0^-)$)으로 정의된다.
- ④ Q : Q-factor라고 하며, 해수 내에서 벗어나는 광 에너지 값을 주어진 방향(천정(θ), 방위각(ϕ))에서 해수면 바로 아래에서의 올라오는 복사에너지 값을 으로 나뉜 값(E_u/L_u)을 의미한다.

2.3 원격반사도(Remote Sensing Reflectance)

원격반사도 값은 기기로 바로 측정할 수 없기 때문에 해수의 복사휘도(L_w)와 해수에 입사되는 광에너지(E_d)의 비로 나타내야 한다. 원격 반사도를 수식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{rs} = \frac{L_w}{E_d(0^+)} \quad \text{식(2)}$$

여기에 식(1)을 이용하여 다음과 같이 바꿀 수 있다.

$$R_{rs} = \frac{R}{Q} R \quad \text{식(3)}$$

2.4 투과율($t(\theta_s)$)

해수의 복사에너지는 대기에서 해수면으로 오는 과정에서 오존 및 에어로졸의 광학 두께에 의해서 감소하게 되는데 대기의 복사 휘도는 $t(\theta_v)L_w$ 와 같이 표현된다.

$$t(\theta_v) = \exp(-(0.5\tau_r + \tau_{oz} + (1 - \omega_a F_a)\tau_a) / \cos(\theta_v)) \quad \text{식(4)}$$

여기서 τ_r , τ_{oz} , τ_a 는 레일레이 대기, 오존, 에어로졸의 광

정지궤도를 위한 해면방사휘도(L_w)의 양방향 계수(bidirectional factor) 평가 연구

학두계를 의미한다.

$$\tau_r(\lambda) = 8.524 \cdot 10^{-3} \lambda^{-4} + 9.63 \cdot 10^{-5} \lambda^{-6} + 1.11 \cdot 10^{-7} \lambda^{-8} \quad \text{식(5)}$$

여기서 λ 의 단위는 μm 으로 나타낸다.

$$\tau_{oz} = \frac{DU}{1000} k_{oz} \quad \text{식(6)}$$

DU(Dobson units)는 오존의 양을 나타내는 단위이고 k_{oz} 는 파장에 대한 그 값을 의미한다.

λ	412	443	490	510	555	670	765	865
k_{oz}	0.00103	0.00400	0.02536	0.04200	0.09338	0.04685	0.00837	0.00485

τ_a 에어로졸의 투과율을 말하는 것으로 파장 550nm에서 0.03, 0.1, 0.5의 3가지 계수 값으로 입력한다.

2.5 규격화된 해수의 방사휘도($[L_w]_N$)

Gordon과 Clark의 정의에 의해 다음과 같이 나타내어진다.

$$[L_w]_N = \frac{L_w}{E_d(0^+)} F_0 \quad \text{식(7)}$$

위의 식을 앞에서 고려한 요인들은 고려해 보면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} [L_w(\lambda, \theta_v, \theta_s, \Delta\phi, Chl)]_N &= \frac{L_w(\lambda, \theta_v, \theta_s, \Delta\phi, Chl)}{E_d(0^+, \lambda, \theta_s)} F_0 \\ &= \frac{L_w(\lambda, \theta_v, \theta_s, \Delta\phi, Chl)}{et(\theta_s)\cos(\theta_s)} \quad \text{식(8)} \end{aligned}$$

$$\epsilon = d^{-2} \quad \text{식(9)}$$

$$t(\theta_s) = \exp(-(0.5\tau_r + \tau_{oz} + (1 - \omega_a F_a)\tau_a)/\cos(\theta_s)) \quad \text{식(10)}$$

- ① F_0 : 대기권 밖에서 얻어지는 태양광 스펙트럼
- ② d : 태양과 지구 사이의 거리(단위: au)
- ③ $t(\theta_s)$: 해수 위 $t(\theta_v)$ 의 투과율

2.6 정확하게 규격화된 해수의 방사휘도($[L_w]_N^{ex}$)

태양과 위성 그리고 대기간의 상호작용 요소를 제거하여 정확하게 규격화된 해수의 복사휘도는 다음과 같이 정의되어진다. (Morel & Gentili, 1996)

$$[L_w]_N^{ex} = [L_w]_N \frac{R_0}{R} \frac{f_0}{Q_0} \left(\frac{f}{Q}\right)^{-1} \quad \text{식(11)}$$

위의 식은 NASA/TM 2003-211621/Rev 4 - vol III의 논문 에 4장의 Morel & L. Mueller 의 논문 "Ocean Optics Protocols for satellite Ocean Color Sensor validation"에서

인용해 온 것이다.

2.7 태양과 위성, 대기의 상호작용 요소의 수정

태양과 위성, 대기의 상호작용 요소(Bidirectional Factor)는 다음과 같이 수정될 수 있다.

$$BF(\lambda, \theta_v, \theta_s, \Delta\phi, Chl) = \frac{L_w(\lambda, \theta_v, \theta_s, \Delta\phi, Chl)}{[L_w]_N^{ex}(\lambda, Chl)} \quad \text{식(12)}$$

위의 식에 식(5)와 식(6)을 사용하면 다음과 같다.

$$BF(\lambda, \theta_v, \theta_s, \Delta\phi, Chl) = et(\theta_s)\cos(\theta_s) \frac{R}{R_0} \frac{f}{Q} \left(\frac{f_0}{Q_0}\right)^{-1} \quad \text{식(13)}$$

위의 모든 요소들을 재정립해보면 다음과 같다.

$R(\theta_v, WS)$ 와 $R_0(WS)$ 에서 $\theta_v = 0$ 이라 하면 ($WS = \text{풍속}$)

$$f(\lambda, \theta_s, Chl) \Rightarrow \frac{f_0(\lambda, \theta_s = 0, Chl)}{Q_0(\lambda, \theta_v = 0, \theta_s = 0, \Delta\phi = 0, Chl)}$$

위와 같이 나타낼 수 있는데 본 연구에서는 해양신호의 상대적인 값을 구하기 위한 것이므로 다음과 같은 식을 통해서 양방향 계수(BF)의 상대적인 값을 표현하였다.

$$BF = \frac{[L_w]_N(i, j)}{[L_w]_N(\text{aiming point})} \quad \text{식(14)}$$

3. 가설 및 방법론

3.1 가설

정지해양위성에서 태양과 위성, 관측점간의 양방향 계수(Bidirectional factor)를 얻기 위해서는 몇 가지 가정을 통한 모델로 계산되어야 한다. 그 가정은 다음과 같다. 첫째, 해수면은 평평하다는 가정이다. 둘째, 대기에 의한 효과는 무시한다. 세 번째, 태양광의 반사가 일어나는 영역에서는 일반적인 반사의 법칙을 만족한다.

위의 가정을 통해서 다음과 같이 위성의 위치, 관측 영역, 센서의 자료 획득 시간, 관측영역의 시간(GMT), 대기조건, 해수조건, 풍속 그리고 센서의 파장대를 임의적으로 지정하여 태양과 위성, 관측점의 상호작용으로 인해 해수의 복사휘도가 변화하는 비율을 알고자 한다.

- 1) 위성의 위치: 동경 127도 정지궤도
- 2) 관측영역: 대상의 중심부는 위도 37도 혹은 북반구의 2500km × 2500km의 영역
- 3) 센서의 자료획득 시간: 09:00시부터 16:00시까지
- 4) 관측영역의 시간(GMT): 세계표준시 + 9시간
- 5) 대기조건: 대기의 에어로졸 광학적 두께 값을 설정하는 것

으로 3가지의 광학두께의 값을 선택할 수 있다. $\tau_a = 0.03$ (매우 맑은 대기), 0.10(평균적인 대기), 0.50(혼탁한 대기)있는데 북반구와 동등한 값을 선택한다.

- 6) 해수조건 : 해수의 클로로필 농도를 설정하는 것으로 3가지의 농도중 하나를 선택한다. 그 값은 0.1, 1, 10mgm^{-3} 3가지로 나뉜다. 수치의 의미는 다음과 같다. 매우 투명한 해수 중간정도의 해수, 매우 탁한 해수를 나타낸다.
- 7) 풍속 : 풍속은 기본적으로 0으로 선택한다.
- 8) 센서의 파장대 : 8가지의 파장대로 나뉜다. 그 값은 412, 443, 490, 555, 660, 680, 745, 865nm중에 하나를 선택한다.

3.2 방법론

해양의 빛 반사율을 산출하는데 3가지 클로로필 농도에 따른 수치모델을 사용하여 왔다.

만약 우리가 위와 같이 관측 대상의 에어로졸 농도, 해양의 클로로필 농도와 태양과 위성이 천정과 이루는 각과 위·경도에 따른 좌표 그리고 관측지점에 대한 태양과 위성과의 상대적인 위치의 값을 수정 할 수 있다면 물에서부터 올라오는 방사휘도와 에어로졸에 의한 대기의 복사휘도 그리고 다른 형광 신호의 값을 고려한 대기의 복사휘도를 구할 수 있다.

위의 값을 이용한 한국의 해양에 적합한 해수의 방사휘도의 비율을 통해서 태양과 위성, 대기의 상호작용에 따른 복사휘도의 변화를 알 수 있다. 그리하여 해수의 방사휘도와 태양과 위성, 대기의 상호작용에 따른 방사휘도의 변화를 고려하여 일/월별 변화를 고려 할 수 있다.

4. 결과 및 분석

4.1 결과

우리는 2006년 4월 21일과 매달 23일 선택하여 555nm의 파장대를 가진 하나의 밴드와 매우 맑은 대기($\tau_a = 0.03$), 물(0.1mgm^{-3})의 상태를 선택 위의 수치모델을 실험하였다. 각각의 복사휘도의 변화는 다음과 같이 나타났다.

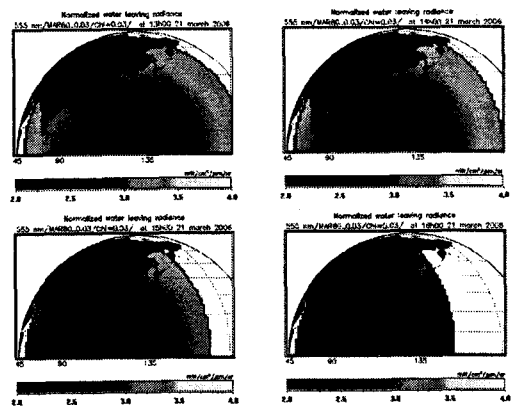
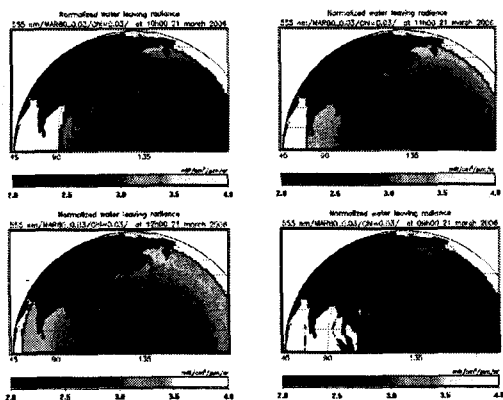


Fig. 2. The Hourly variation of normalized water leaving radiance in 21 march 2006. (09h ~ 16h).

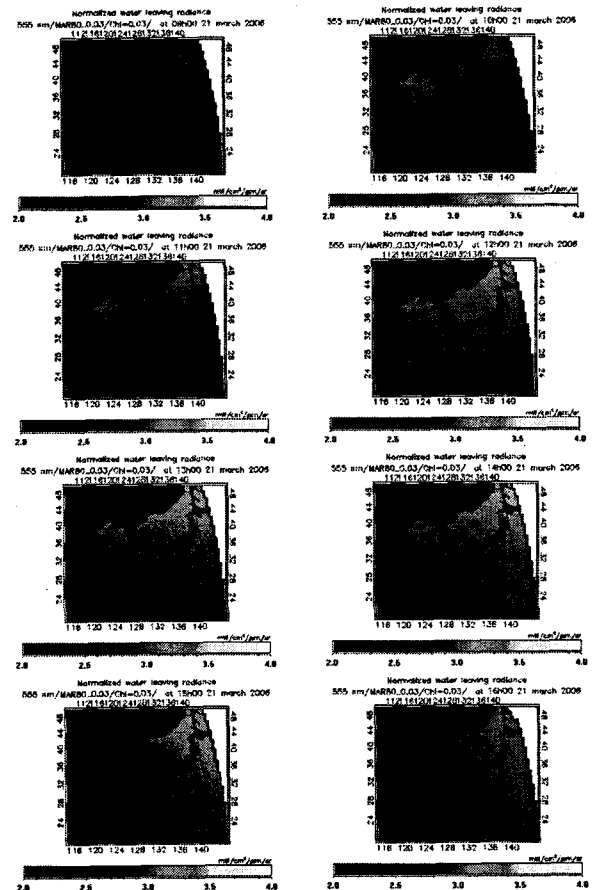


Fig. 3. The Hourly variation of normalized water leaving radiance in 21 march 2006 at Korean target. (09h~16h)

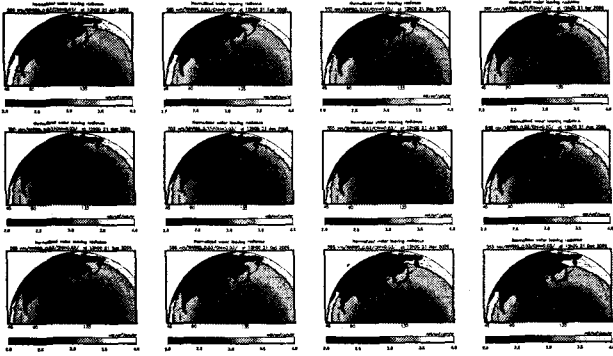


Fig. 4. The monthly variation of normalized water leaving radiance. (each month 21th day)

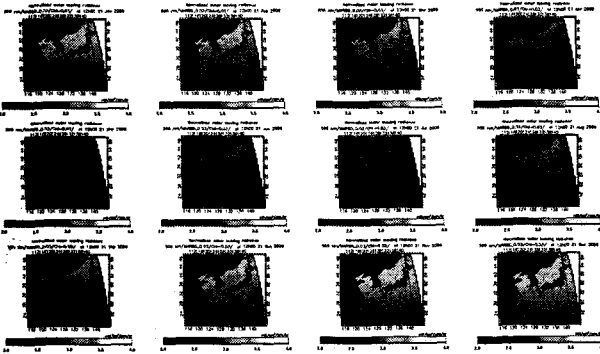


Fig. 5. The monthly variation of normalized water leaving radiance at Korean target (each month 21th day)

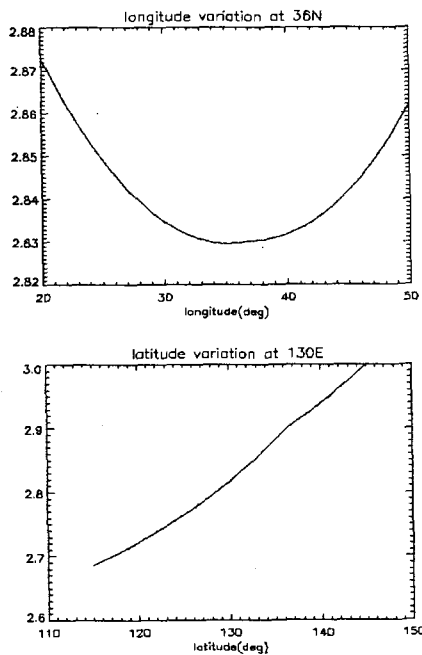


Fig. 6. The latitude variation of normalized water leaving radiance. (left) and longitude variation of it (right). This show 2nd degree equation form, but in small boundary it can be approximated just a line that can be interpolated.

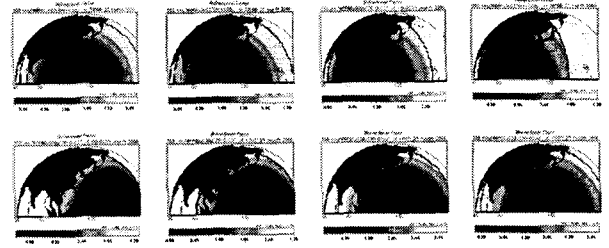


Fig. 7. The Hourly variation of Bidirectional Factor in 21 march 2006. (09h ~ 16h)

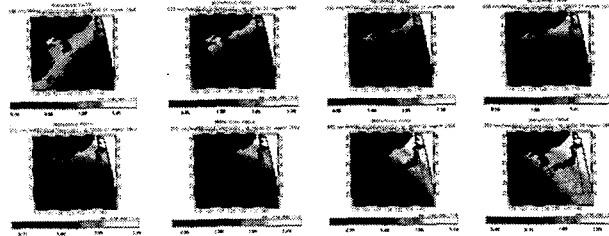


Fig. 8. The Hourly variation of Bidirectional Factor in 21 march 2006 at Korean target. (09h ~ 16h)

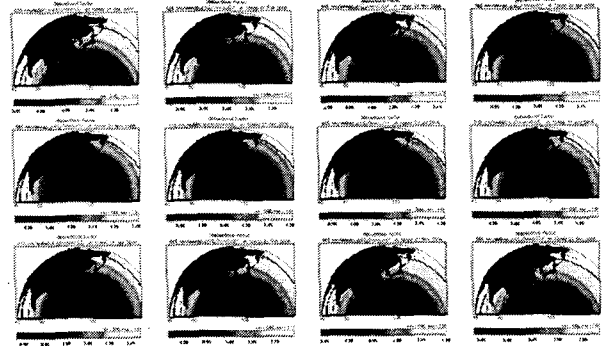


Fig. 9. The monthly variation of Bidirectional Factor. (each month 21th day)

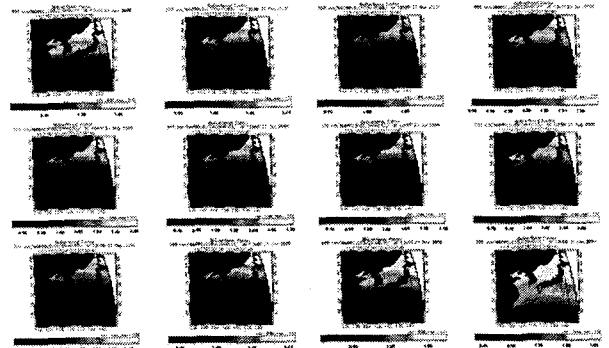


Fig. 10. The monthly variation of Bidirectional Factor at Korean Target.(each month 21th day)

5. 결론

우리는 어느 일정한 상태의 대기 및 해양조건에서 태양과 위성, 관측점의 상호작용에 따른 해수의 방사휘도의 변화와 그 양방향 계수(Bidirectional Factor)가 방사휘도에 미치는 영향을 알아보았다. 이 결과는 새로 개발될 정지해양위성의 해수면 방사휘도의 규격화와 대기 보정 후에 태양과 위성, 관측점의 상호작용에 따른 해수의 방사휘도의 변화 요소로 사용될 수 있을 것이다. 그러므로 이러한 요소를 최적화하기 위해 더 많은 데이터의 모의실험과 분석을 필요로 한다.

참고 문헌

[1] 안유환, 2000, 해상원격탐사를 위한 원격반사도 및 수출광모델의 개발 : Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol.16, No.3, 2000, pp243-260

[2] 한국해양연구원, 2005. COMS Ocean Data Processing System Development(II), pp 195-228, 해양수산부.

[3] A. Morel and B. Gentili, 1991. Diffuse reflectance of oceanic waters: its dependence on Sun angle as influenced by the molecular scattering contribution, *Applied Optics*, 30, 4427-4438.

[4] A. Morel and B. Gentili, 1993. Diffuse reflectance of oceanic waters. II. Bidirectional aspects, *Applied Optics*, 32, 6864-6879.

[5] A. Morel and B. Gentili, 1996. Diffuse reflectance of oceanic waters. III. Implication of bidirectionality for the remote-sensing problem, *Applied Optics*, 35, 4850-4862.

[6] Morel, A., Antoine, D. and B. Gentili, 2002. Bidirectional reflectance of oceanic waters: Accounting for Raman emission and varying particle phase function, *Applied Optics*, 41, 6289-6306.

[7] Morel, A., and S. Maritorena, 2001. Bio-optical properties of oceanic waters: A reappraisal. *Journal of Geophysical research*, 106, 7763-7780.

[8] Morel, A., 2002. Close range photogrammetry for analyzing distressed trees. *Photogrammetria*, 42(1), pp. 47-56.

[9] H. Loisel and A. Morel, 2001. Non-isotropy of the upward radiance field in typical coastal (Case 2) waters, *International Journal of Remote Sensing*, 22, 275-295.

[10] Voss, K. and A. Morel, 2005. Bidirectional reflectance function for oceanic waters with varying chlorophyll concentration Measurements versus predictions. *Limnology and Oceanography*, 50, 698-705

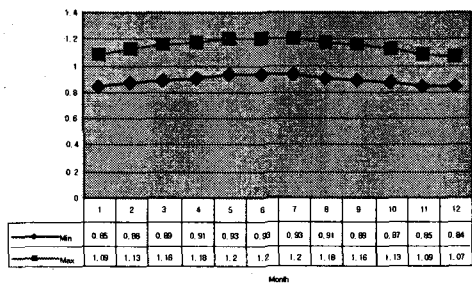
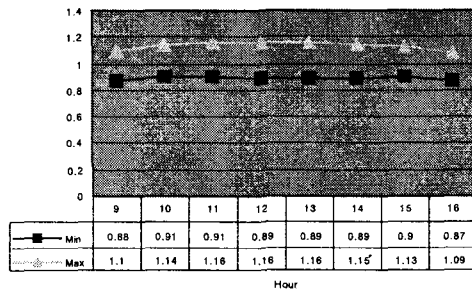


Fig. 11. Min/Max variation of Bidirectional Factor. (hourly/monthly)

4.2 분석

선택한 날의 규격화된 해면의 방사휘도는 2~4mW/cm²/μm/sr의 값을 가지고 있다. 태양과 위성, 대기의 상호작용에 따른 방사휘도는 목표지점의 값을 규격화된 방사휘도의 값으로 나눔으로써 나타내어진다.

Fig. 2와 3의 결과를 보면 태양으로부터 들어오는 빛의 양이 13시 전까지는 점점 커가는 것을 볼 수 있지만 곧 그 양은 작아지는 것을 볼 수 있다. 또한 시간이 지나감에 따라 태양의 위치변화로 인해 매시간 대상 지역의 영상을 찍는데 해양의 반사 신호에 영향을 주게 된다.

Fig. 4와 5를 보면 5~8월의 신호는 다른 달 보다 약한 것을 보여주는데 식(8)을 보면 태양과 지구와의 거리가 가까워짐에 따라 규격화된 해면 방사휘도가 줄어드는걸 알 수 있다

Fig. 6의 그래프를 보면 경도와 위도의 변화에 따라 [L_w]_N의 변화를 나타내어 주는데 그 값은 해당 위/경도의 1도 값에 해당하는 값으로 나타낼 수 있다.

Fig 7~10은 앞의 [L_w]_N를 BF를 통해서 나타낸 그림이다. Fig. 11을 보면 위와 같이 최소값 0.9, 최대값 1.1의 분포를, 즉 10%정도의 차이는 나타낸다고 볼 수 있는데 이 결과는 적합한 해수의 방사휘도를 얻기 위해서는 기하학적인 위치변화에 따른 방사휘도의 양방향계수(Bidirectional Factor)의 데이터기록의 필요성을 보여준다.