

## 해양수색 위성자료의 검·보정

서 영 상 · B. G. Mitchell · 장 이 현 · 이 삼 근 · 유 신 재\*\*  
국립수산진흥원 해양연구과, \*미국 Scripps 해양연구소, \*\*한국해양연구원  
(2001년 4월 3일 접수; 2001년 12월 13일 채택)

## Calibration and Validation of Ocean Color Satellite Imagery

Young-Sang Suh, B. G. Mitchell\*, Lee-Hyun Jang, Sam-Geun Lee and Sin-Jae Yoo\*\*  
Oceanography Division, National Fisheries Research and Development Institute, Republic of Korea, Busan 619-902, Korea  
\*Scripps Institution of Oceanography, UCSD, \*\*Korea Ocean Research and Development Institute  
(Manuscript received 3 April, 2001; accepted 13 December, 2001)

Variations in phytoplankton concentrations result from changes of the ocean color caused by phytoplankton pigments. Thus, ocean spectral reflectance for low chlorophyll waters are blue and high chlorophyll waters tend to have green reflectance. In the Korea region, clear waters and the open sea in the Kuroshio regions of the East China Sea have low chlorophyll. As one moves even closer to the northwestern part of the East China Sea, the situation becomes much more optically complicated, with contributions not only from higher concentrations of phytoplankton, but also from sediments and dissolved materials from terrestrial and sea bottom sources. The color often approaches yellow-brown in the turbidity waters (Case II waters). To verify satellite ocean color retrievals, or to develop new algorithms for complex case II regions requires ship-based studies. In this study, we compared the chlorophyll retrievals from NASA's SeaWiFS sensor with chlorophyll values determined with standard fluorometric methods during two cruises on Korean NFRDI ships. For the SeaWiFS data, we used the standard NASA SeaWiFS algorithm to estimate the chlorophyll<sub>a</sub> distribution around the Korean waters using Orbview/ SeaWiFS satellite data acquired by our HPRT station at NFRDI. We studied to find out the relationship between the measured chlorophyll<sub>a</sub> from the ship and the estimated chlorophyll<sub>a</sub> from the SeaWiFS satellite data around the northern part of the East China Sea, in February, and May, 2000. The relationship between the measured chlorophyll<sub>a</sub> and the SeaWiFS chlorophyll<sub>a</sub> shows following the equations (1) in the northern part of the East China Sea.

$$\text{Chlorophyll}_a = 0.121\text{Ln}(X) + 0.504, R^2 = 0.73 \quad (1)$$

We also determined total suspended sediment mass (SS) and compared it with SeaWiFS spectral band ratio. A suspended solid algorithm was composed of *in-situ* data and the ratio ( $L_{\text{WN}}(490 \text{ nm})/L_{\text{WN}}(555 \text{ nm})$ ) of the SeaWiFS wavelength bands. The relationship between the measured suspended solid and the SeaWiFS band ratio shows following the equation (2) in the northern part of the East China Sea.

$$\text{SS} = -0.703 \text{Ln}(X) + 2.237, R^2 = 0.62 \quad (2)$$

In the near future, NFRDI will develop algorithms for quantifying the ocean color properties around the Korean waters, with the data from regular ocean observations using its own research vessels and from three satellites, KOMPSAT/OSMI, Terra/MODIS and Orbview/SeaWiFS.

Key words : Calibration, Ocean color, SeaWiFS, KOMPSAT/OSMI

Corresponding Author, Young-Sang Suh, Oceanography  
Div, Nat'l Fisheries Research and Development Ins.,  
Republic of Korea, Busan 619-902, Korea  
Phone : +82-51-720-2222  
E-mail : yssuh@nfri.re.kr

### 1. 서 론

외해(Open Sea)에서 맑은 해수(clear waters)는 식물플랑크톤(phytoplankton)의 양이 많아질수록 해수색이 파란색에서 초록색(green)으로 변화가 진행

된다. 외해역에서 연안으로 가까이 올수록 높은 농도의 식물플랑크톤 뿐만 아니라, 기원이 육지인 부유입자와 퇴적물과 용해성 유기물질 등이 해수에 대한 광학적 연구를 보다 복잡하게 한다.<sup>2),4)</sup> 더욱이, 우주로부터 해양을 관찰하기 위해서는 해양학적 현상뿐만 아니라 기상학적인 검토 또한 고려해야 함으로 문제는 더욱 복잡해지게 된다.<sup>7)</sup> 최근 한국에서도 한반도 및 전세계 해양에서 해수색을 관측하고자 한국형 다목적 위성(KOMPSAT-1)에 해수색 감지기(OSMI)를 탑재하여 발사 운행하고 있어, 상기에 기술한 문제점을 해결할 시점에 직면하였다.<sup>6)</sup>

해수광학적 연구와 관련된 최근 사례에서 Parsad<sup>10)</sup>는 band ratio ( $L_{WN} 490nm / L_{WN} 555nm$ )와 같은 방법으로 캘리포니아 연안의 투명도를 추정하였다. Ahn<sup>3),4)</sup>은 SS 추정 알고리즘을 위한 모델개발 결과에서 490nm는 chlorophyll의 흡수 band임으로 사용의 자제를 제안하고 있으며, 특히 single band는 555nm 혹은 625nm에서 normalized water leaving radiance( $L_{WN}$ )의 사용을 권장하고 있다.<sup>3)</sup>

본 연구에서는 해수색 위성 자료의 검토 및 수산활용을 목적으로 OSMI와 거의 동일한 성능을 가지고 있는 미국의 SeaWiFS(Sea viewing Wide Field Scanner) 위성 자료와 현장 해수 다중 채널 광 측정기인 PRR-800(Profiling Reflectance Radiometer-800 system)으로 관측한 6개 가시영역 밴드 자료, 해양현장의 chlorophyll<sub>a</sub>, 부유성 고형물질 등의 관측자료간의 관계식을 도출하고 한국 근해에서 해수의 광학적 특성을 구명하고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구의 수행을 위하여 국립수산진흥원 해양관측선 탐구 1호를 이용하여 2차(2000. 2. 22~3. 2, 5. 22~5. 27)에 걸쳐 동중국해 북부해역의 32개 조사정점 (Fig. 1)에서 해양조사를 실시하였다. 해양 광 다중 채널 측정장비(PPR-800)를 이용하여 SeaWiFS의 파장별 해수 광 특성 (412, 443, 490, 510, 555, 665(670)nm)을 측정하였고<sup>5)</sup>, 생물 화학 측정법에 의한 식물플랑크톤이 다량 함유한 염록소인 chlorophyll<sub>a</sub>량, 해수 중 부유성 고형물질(Suspended Solid), 투명도(Transparency), 광 파장별에 대한 해수중 chlorophyll<sub>a</sub>에 의한 광흡수의 정도 ( $a^* \mu m^2 mg^{-1} chl a$ ) 등을 측정하였다.<sup>1)</sup>

위성자료의 경우 SeaWiFS와 동일 가시영역 밴드를 갖는 Orbview-2/ SeaWiFS 자료를 이용하여 현장관측 ocean color 자료 (Fig. 2)와 위성자료간의 관계식을 도출하고자 시공간적으로 일치하는 data set을 생산하였다.

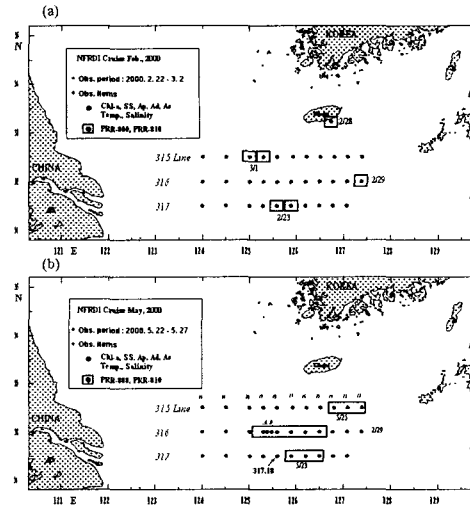


Fig. 1. Locations of the optical observing stations for the calibration and validation of the ocean color satellite data.

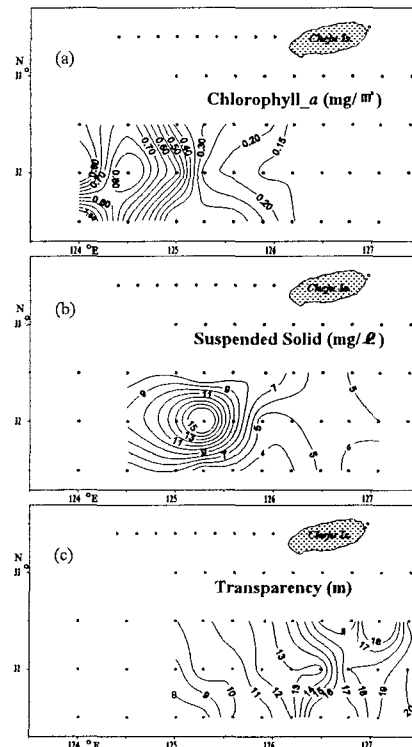


Fig. 2. Distributions of the chlorophyll<sub>a</sub> (a), suspended solid (b) and transparency (c) in the East China Sea in May, 2000

위성자료의 처리를 위해서는 TeraScan package 를 사용하였으며<sup>11)</sup>, 위성자료로부터 chlorophyll<sub>a</sub>를 도출하기 위해서 SeaBAM (SeaWiFS Bio-optical Mini-workshop) 알고리즘을 이용하였다.<sup>8)</sup>

### 3. 동해와 동중국해 북부해역 광학적 특성

#### 1. 동해(Case I waters)

미국 UCSD의 Scripps 해양연구소 소속의 Dr. Greg Mitchell이 동해에서 관측한 (1999년 6~7월, 2000년 2~3월) chlorophyll<sub>a</sub> 농도를 함수로 한 원격 반사도(remote sensing reflectance),  $R_{rs}$ 은 1993년 이후 최근까지 캘리포니아 연안 정선 해양조사(CalCOFI)에서 측정된 300개 이상의 data set<sup>9)</sup>과 비교해볼 때 아주 유사한 특성분포를 보였다.(Fig. 3a)

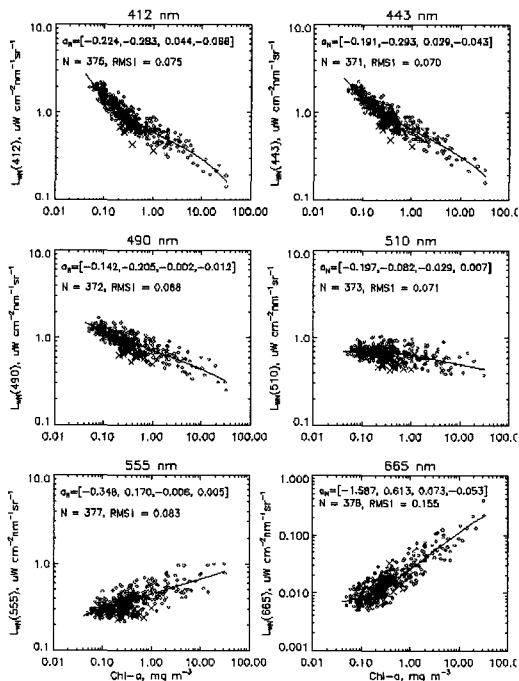


Fig. 3a. Normalized water leaving radiance(LWN) at SeaWiFS spectral bands and for the CalCOFI reference data set(●) and the June-July 1996 R/V Revelle data(×) (Mitchell, 2000; personal communication).

#### 2. 동중국해 북부해역(Case II waters)

수산진흥원이 2000년 2월에 관측한 chlorophyll<sub>a</sub>의 농도를 함수로한 원격 반사도  $R_{rs}$ 과 Dr. Greg Mitchell의 Data set 비교 검토한 결과, 캘리포니아 연안의 해수 반사도와 상이함을 구명할 수 있었다 (Fig. 3b).

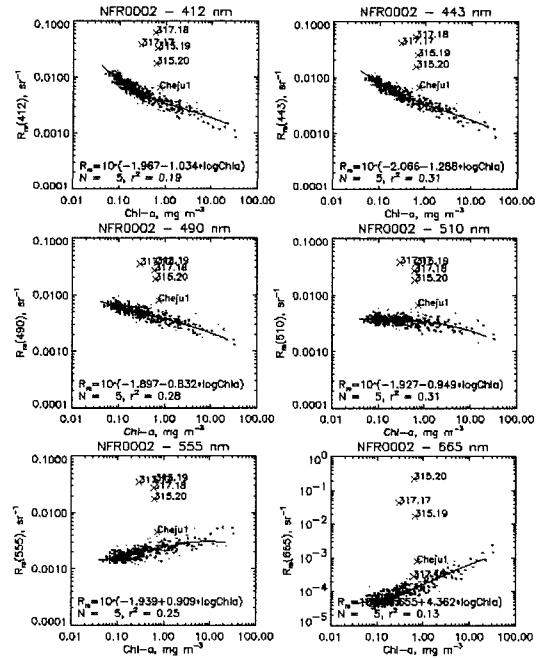


Fig. 3b. Normalized water leaving radiance (LWN) at SeaWiFS spectral bands for the CalCOFI reference data set (●) and the NFRDI February-March data (×).

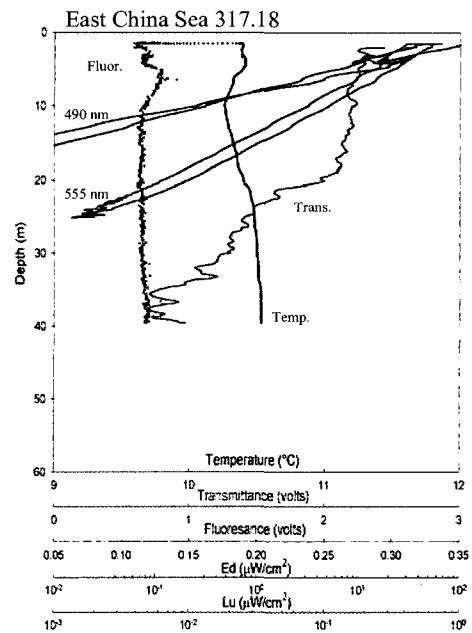


Fig. 4. Vertical profiles of optical properties from the PRR-800 spectral radiometer collected in the East China Sea in February at NFRDI st 317.18.

동중국해 북부해역의 경우 490nm와 555nm 파장대가 수심에 따른 도달 광량은 급격히 감소하는 매우 탁한 해역이다. 외관상의 광감쇄계수(diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance) K의 차이로 490nm와 555nm 파장대의 수심변화에 따른 Ed와 Lu에는 차이가 있었다(Fig. 4). 또한 이 해역의 경우 식물플랑크톤의 농도뿐만 아니라 퇴적물의 영향으로 광학특성이 더욱 복잡한 양상을 띠게 되는데 2월의 경우 부유성 퇴적물의 영향으로 강한 광흡수가 발생되며, 5월의 경우 Case I waters와 Case II waters의 중간 수괴 특성을 나타내었다 (Fig. 5).

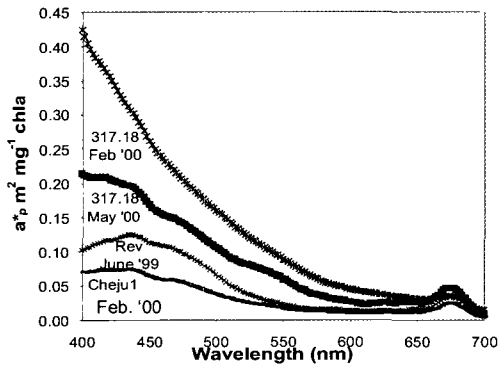


Fig. 5. Particle absorption spectra normalized by chlorophyll concentration.

#### 4. Ocean Color 위성 자료와 현장관측 자료의 상관성

##### 1. SeaWiFS 영상의 chlorophyll\_a와 현장관측 자료의 상관성

동중국해 북부에서 2월과 5월, 두차례에 걸쳐 해양 조사한 총 64개의 현장 chlorophyll\_a값 중 공간 해상도 1km×1km의 위성자료와 시공간적으로 일치되는 20개의 data set을 토대로 관계를 도출한 결과식 (1)을 구하였다 (Fig. 6a).

$$\text{chlorophyll}_a = 0.1213 \ln(\chi) + 0.504 \quad (R^2 = 0.73) \quad (1)$$

여기서  $\chi$ 는 SeaWiFS 위성 자료를 이용하여 미국 NASA에서 개발한 Case I waters에서의 chlorophyll\_a 추정 알고리즘으로 도출한 chlorophyll\_a 값이다.

##### 2. SeaWiFS 영상의 부유성 고형물질과 현장관측 자료의 상관성

위성자료와 일치되는 현장관측의 부유성 고형물질(SS) data set (10개)로부터 도출한 관계식 (2)를 구하였다 (Fig. 6b).

$$SS = -0.7029 \ln(\chi) + 2.2366 \quad (R^2 = 0.62) \quad (2)$$

여기서  $\chi$ 는 SeaWiFS의 2개 밴드에 대한 비 값,  $L_{wN}(490)/L_{wN}(555)$ 이다.

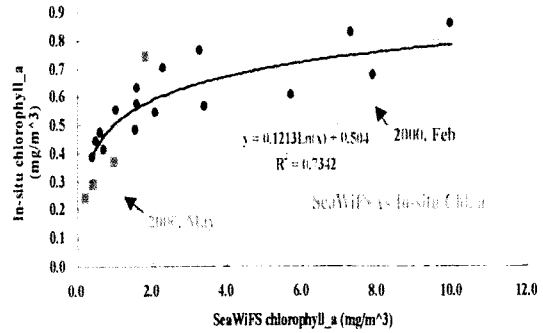


Fig. 6a. Relationship between the measured field chlorophyll\_a and the SeaWiFS satellite chlorophyll\_a in the East China Sea.

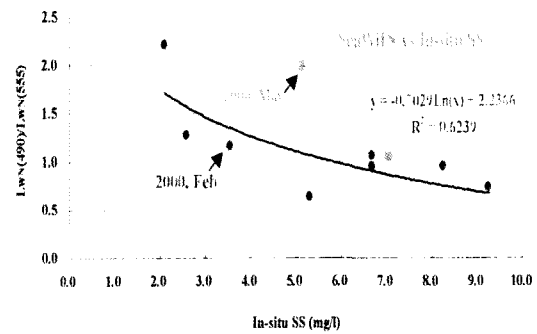


Fig. 6b. Relationship between the measured field suspended solid (SS) and the 2bands ratio (490/550) LwN values for the SeaWiFS bands in the East China Sea.

##### 3. 해수중 Total SS에 의한 흡광도 스펙트럼

해수중에 순수한 chlorophyll\_a 입자만 있는 경우와 다른 부유물이 있는 경우와의 흡광도 크기와 스펙트럼 모양은 다르다. Fig. 5는 해수중 총입자의 흡광계수( $a_p$ ) 스펙트럼을 부유물 총량으로 나누어 준 것으로 해수 중에 chlorophyll\_a 입자 외에 얼마나 많은 다른 입자가 들어있는지를 알아볼 수 있다.

만약 순수한 chlorophyll\_a 입자만 있는 경우 연안해역에서는 440nm에서 값은 0.02~0.05m<sup>2</sup>/mg 정도로 낮아진다.<sup>4)</sup> 그러나 본 연구해역에서의 조사 결과는 해수중 순수한 chlorophyll 입자만 있을 경우보다 대부분 2~10배 훨씬 큰 값을 보여 유무기성 입자들이 존재하고 있음을 보여주고 있다. 흡광도 값이 점차 증가할 경우, 스펙트럼 모양은 순수 chlorophyll\_a 입자의 흡광도 모양에서 순수한 비를

로로필(non-chlorophyll<sub>a</sub>) 입자의 흡광도 스펙트럼 모양으로 변한다.

## 5. 검보정된 Ocean Color 요소 분포

### 1. chlorophyll<sub>a</sub> 분포

위성 chlorophyll<sub>a</sub> 값과 현장 값간의 관계식 (1)을 이용하여 한국 근해에서의 chlorophyll<sub>a</sub> 분포를 구하였다 (Fig. 7(b)). NASA의 알고리즘으로 구한 영상 (Fig. 7(a))에서 중국 양자강 연근해와 한국 서해 연안의 chlorophyll<sub>a</sub> 량이 탁한 물로 인해 극대화되어 표현되고 있으나, 관계식 (1)을 이용하여 도출한 chlorophyll<sub>a</sub> 분포에서는 분포양상은 보정하기 전 SeaWiFS에 의한 결과와 비슷하였고 Case II waters에서 다소 낮은 chlorophyll<sub>a</sub> 분포 값을 보여 양호한 chlorophyll<sub>a</sub> 분포 결과를 얻을 수 있었다.

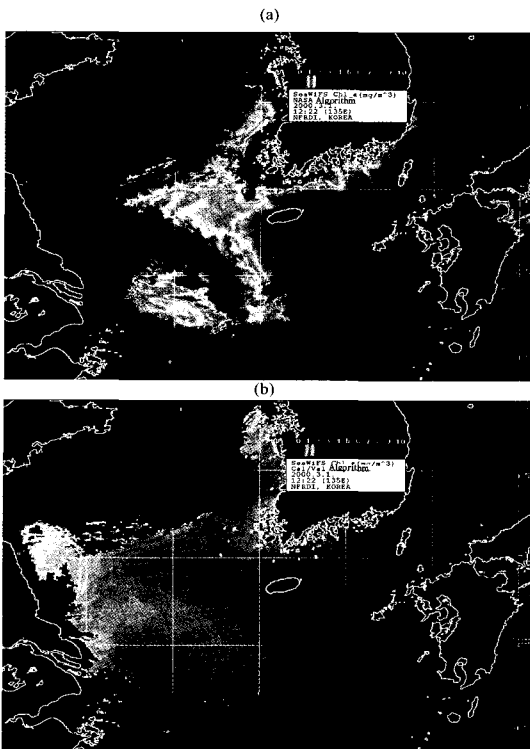


Fig. 7. Imageries of chlorophyll<sub>a</sub> distribution on March 1, 2000. (a) From the SeaWiFS NASA algorithm, (b) From the NFRDI Cal/Val algorithm.

### 2. 부유성 고형물질 분포

위성 채널의 비율 값과 현장 값간 관계식 (2)을 토대로 한국 근해에서의 부유성 고형물질(SS) 분포도를 작성하였다 (Fig. 8(b)). 위성 자료의 검보정

전의 SS 분포도(Fig. 8(a))보다 분포양상이 많이 달라지고 그 값 또한 다소 낮은 양호한 결과를 얻었다.

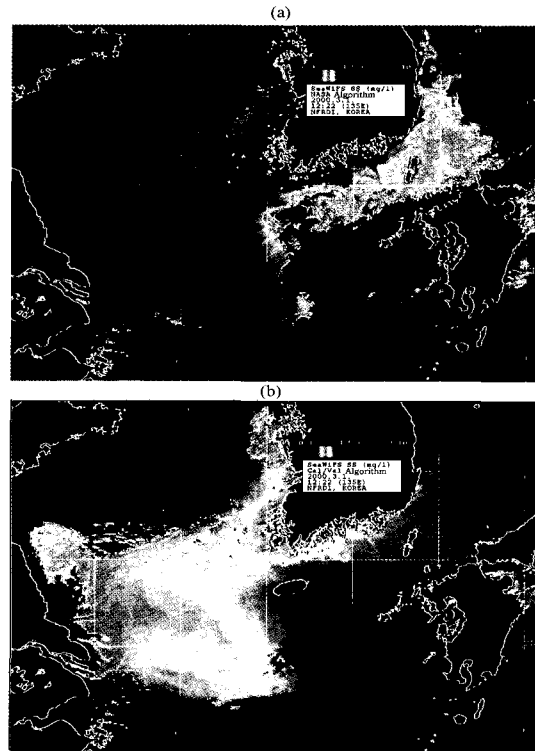


Fig. 8. Map showing suspended solid distribution on March 1, 2000. (a) From the SeaWiFS band ratio (LwN 490/LwN 555), (b) From the NFRDI Cal/Val algorithm.

## 6. 결론

동해의 해양 광학적 특성은 미국의 캘리포니아 근해역의 해수특성과 비슷하여 미국에서 개발한 알고리즘을 사용하여 OSMI (SeaWiFS) 위성 자료로부터 chlorophyll<sub>a</sub> 분포량 추정하는데 무방할 것으로 사료된다.

그러나 쿠로시오(Kuroshio) 난류가 크게 영향을 미치는 제주도-일본 구주해역을 제외한 동중국해 북부의 대부분 해역에서 SeaWiFS가 지닌 각각의 중심 파장대 (412, 443, 490, 510, 555, 660(670) nm)에 대해 캘리포니아의 clear waters (Case I)와는 아주 다른 해양 광특성을 보였기 때문에 위성자료에 대한 검보정 자료를 장기적 연구차원에서 생산하고, 한국형 현장-위성자료 관계식을 도출해야 할 것으로 사료된다.

SeaWiFS 등과 같은 ocean color 위성 자료의 수산활용은 기존의 위성 추정 표면 수온 정보에만 의

존해왔던 수산관련기관 및 어민에게 새로운 개념의 과학적 정보가 될 것으로 기대된다. 본 연구 결과에서 최종 도출된 제주도 근해 chlorophyll<sub>a</sub> 분포도 (Fig. 9(a))를 통해, 식물플랑크톤은 동중국해 북부해역 중 쿠로시오 난류역에서 보다는 양자강 등 중국 연안수의 영향을 받는 제주도 남서쪽 근해역에서 늦은 겨울철에 bloom을 형성함을 알 수 있었다. 또한 당시 NOAA 위성 자료에서 측정된 표면수온 분포도에 chlorophyll<sub>a</sub> 분포도를 overlapping한 위성영상 (Fig. 9(b))을 통해, 난류와 한류가 만나 수온 전선대를 형성하는 해역 중 난류역보다는 한류역에 어류의 기초먹이가 되는 식물플랑크톤량이 많이 분포하고 있음이 구명되었다. 이러한 결과들이 향후 어민의 조업활동에 과학적인 자료로 활용되어 어민의 소득증대에 기여할 것으로 기대된다.

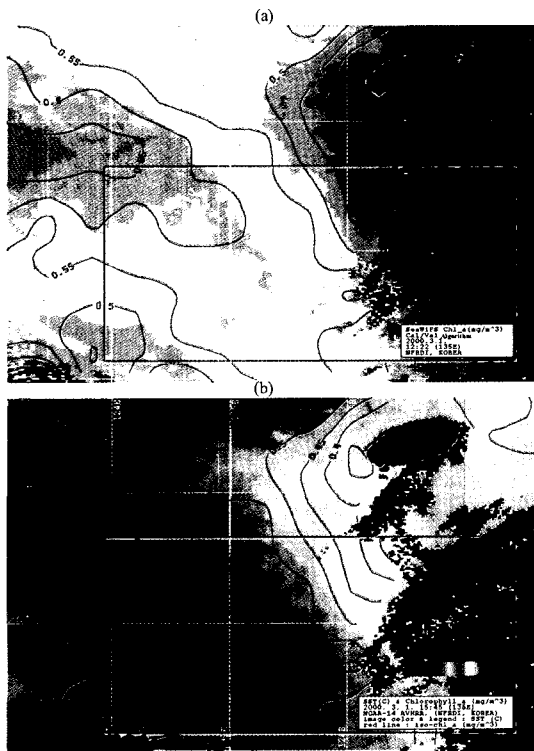


Fig. 9. Maps showing the relationship between chlorophyll<sub>a</sub> and SST on March 1, 2000. (a) Chlorophyll<sub>a</sub> distribution from the NFRDI Cal/Val algorithm, (b) Iso-chlorophyll<sub>a</sub> lines on the color imagery of NOAA SST.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 특정과제 「OSMI 수산활용 및 검보정 지원」 연구비의 지원에 의해 수행되었으며, 과제 참여 연구원과 국립수산진흥원 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 1) 서영상, 1999. OSMI 검·보정을 위한 해양조사, 한국항공우주연구소 사업보고서, 위성영상 자료 처리 및 활용기술 개발: 240-258.
- 2) 안유환, 2000. 해색 원격탐사를 위한 원격반사도 및 수출광 모델의 개발, 16(3), 243-260.
- 3) 안유환, 유신재, 석문식, 이흥재, 염기대, 이동영, 장만, 신경순, 문정언, 1999. 위성에 의한 적조 및 해수탁도 원격탐사기술 개발. 287pp.
- 4) Ahn Y. H and J. E. Moon, 1998. Specific absorption coefficients for the chlorophyll and suspended sediment in the Yellow and Mediterranean sea. *J. Korean Soc. Remote Sensing*, 14(4), 353-365.
- 5) Biospherical Instruments Inc., 1999. PRR-800 user's manual. Ver. 004961UA.DOC. 58 pp.
- 6) Cho Y. M. 2000. Prelaunch radiometric performance analysis of ocean scanning multispectral imager (OSMI). *J. Korean Soc. Remote Sensing*, 16(2), 135-143.
- 7) Gordon H. R and M. Wang, 1994. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: A preliminary algorithm, *App. Opt.*, 33, 443-452.
- 8) McClain C. R., 1997. SeaWiFS Bio-Optical Mini-Workshop (SeaBAM)
- 9) Mitchell B. G. and M. Kahru, 1998. Algorithms for SeaWiFS standard products developed with the CalCOFI bio-optical data set. *Cal. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rept.* (in press).
- 10) Parasad K. S., R. L. Bernstein., M. Khru and B. G. Mitchell, 1998. Ocean color algorithms for estimating water clarity (secchi depth) from SeaWiFS. *J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci.*, 4(2), 301-306
- 11) SeaSpace. 1993. TeraScan Package Manual 2.4, 388 pp.