

## 클로로필 *a* 추정시 OSMI 밴드의 광학 반응 특성

서영상 · 이나경 · 장이현 · 황재동 · 유신재\* · 임효숙\*\*

국립수산과학원 해양연구과, \*한국해양연구원, \*\*한국항공우주연구원

### Characteristic Response of the OSMI Bands to Estimate Chlorophyll *a*

Young-Sang Suh, Na-Kyung Lee, Lee-Hyun Jang,  
Jae-Dong Hwang, Sin-Jae Yoo\*, and Hyo-Suk Lim\*\*

National Fisheries Research and Development Institute, Republic of Korea, yssuh@nfrdi.re.kr

Korea Ocean Research and Development Institute\*

Satellite Operation & Application Center, Korea Aerospace Research Institute\*\*

**Abstract :** Correlation between chlorophyll *a* in the East China Sea and spectral bands (412, 443, 490, (510), 555, (676, 765) nm) of Ocean Scanning Multi-Spectral Imager (OSMI) including the profile multi-spectral radiometer (PRR-800) was studied. The values of remote sensing reflectance (Rrs) at the bands corresponding to the field chlorophyll *a* in the East China Sea were much higher than those in clear waters off California, USA. In case of the particle absorptions related to the chlorophyll *a* concentration at the spectral bands (440, 670 nm) were much higher in the East China Sea than the ones in the clean waters off California.

The normalized water leaving radiances (nLw) at 412, 443, 490, 555 nm of OSMI and the field chlorophyll *a* in the East China Sea were correlated each other. According to the results, the relationship between field chlorophyll *a* and nLw 410 nm in OSMI bands was the lowest, whereas that between field chlorophyll *a* and nLw 555 nm in the bands was the highest.

Reciprocal action between the field chlorophyll *a* and the band ratio of the OSMI bands (nLw410/nLw555, nLw443/nLw555, nLw490/nLw555) was also studied. Relationship between the chlorophyll *a* and the band ratio (nLw490/nLw555) was highest in the OSMI bands. Relationship between the chlorophyll *a* and the ratio (nLw443/nLw555) was higher than one in the nLw410/nLw555. The difference in the estimated chlorophyll *a* (mg/m<sup>3</sup>) between OSMI and SeaWiFS (Sea Viewing Wide Field-of-View Sensor) at the special observing stations in the northern eastern sea of Jeju Island in February 25, 2002 was about less than 0.3 mg/m<sup>3</sup> within 3 hours.

It is suggested that OC2 (ocean color chlorophyll 2 algorithm) be used to get much better estimation of chlorophyll *a* from OSMI than the ones from the updated algorithms as OC4.

**Key Words :** OSMI, Chlorophyll *a*, Calibration, Ocean Color Satellite.

**요약 :** 해수광 특성이 시공간적으로 심하게 변동하는 동중국해 북부해역에서 현장 클로로필  $a$ 와 OSMI 밴드(412, 443, 490, 555nm) 및 해수 다중 광측정기(PRR-800) 밴드(412, 443, 490, 510, 555, 670, 765nm)간의 관계성을 구한 결과, 클로로필  $a$ 에 대한 각 밴드별 remote sensing reflectance (Rrs) 값이 맑은 해수(미국 캘리포니아 근해)에서 보다 동중국해 북부해역에서 크게 나타났다. 또한 440nm와 670nm 영역에서 현장 관측 클로로필  $a$ 에 대한 입자 물질들의 광흡수 값이 맑은 해수의 경우보다 큰 값을 보였다. 그러므로, OSMI밴드에서 클로로필로 인해 최대 흡수가 일어나는 밴드가 443nm임을 추정할 수 있었다.

동중국해를 관측한 OSMI 위성의 각 band (412, 443, 490, 555 nm)로부터 nLw (normalized water-leaving radiance)와 현장 클로로필  $a$ (Chl  $a$ )값의 관계성(Chl  $a$  =  $f$ (nLw))을 구하였다. OSMI 밴드에서 클로로필  $a$  값과 각 밴드별 nLw 값과의 상관성은 412nm에서 최저 상관성을, 555nm에서 최고 상관성을 나타내었다.

클로로필  $a$  현장 관측 값 및 OSMI 복합밴드 비 값(nLw412/nLw555, nLw443/nLw555, nLw490/nLw555)을 비교 분석한 결과, nLw490/nLw555 비 값과 현장 클로로필  $a$  값간에 최고 높은 상관성을 나타내었다. 다음으로 nLw443/nLw555 순으로 안정된 값을 보였으나, nLw412/nLw555와 클로로필  $a$  값간의 상관성이 가장 낮게 나타났다. 3시간이내 현장 측정 클로로필  $a$  값을 기준으로 OSMI 및 SeaWiFS 위성 자료를 OC2 알고리즘을 이용하여 추정된 클로로필 값간의 차이는 해양의 수평 공간 변동에 관계없이 OSMI 추정 값이 약  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$  정도 일정하게 낮게 나타났다.

향후 OSMI 위성 밴드를 이용한 클로로필  $a$  추정시에는 SeaWiFS 위성과 관련된 global algorithms 중에서 490nm와 555nm의 복합밴드를 포함하는 OC2 알고리즘(ocean color chlorophyll 2 algorithm)을 사용하는 것이 OC2 series 및 OC4 알고리즘보다 좋은 추정 값을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

## 1. 서론

원격탐사를 이용한 맑은 해수(Case I) 관측 스펙트럼 영역은 파란색과 초록색으로 국한하여 왔지만(Gordon and Morel, 1983). 이후 맑은 해수(Case I)에 적용하기 위해 개발된 알고리즘들은 고농도 클로로필  $a$  값과 부유성 고형물질이 동시에 존재하는 탁한 해수(Case II)에서는 제한성을 가질 뿐만 아니라 활용될 수 없다는 연구결과가 보고된 바 있다(GKSS, 1986). 최근 O'Reilly 등(1998)은 SeaWiFS 위성 자료를 이용하여 클로로필  $a$ 를 추정할 경우, 다양한 현장의 해수광 특성을 고려하여 개발한 여러 형태의 알고리즘을 정리하였다.

동중국해 해역은 중국 대륙 연안수와 쿠로시오 난류가 만나는 곳으로 그 경계역에서 시공간적인 해황 변동이 심하다(Chikuni, 1985). 동중국해의 중

국 대륙 연안층에서는 탁한 해수(Cast II), 일본 연근해역에서는 맑은 해수(Case I) 그리고 동중국해의 중심 해역인 제주도 연근해역에서는 맑은 해수와 탁한 해수가 합쳐진 혼합수 특성을 나타낸다(Ahn *et al.*, 1998; Ahn, 2000; Suh *et al.*, 2001). 최근 이렇게 복잡한 광특성을 지닌 동중국해 해역에서 우리나라 OSMI(Ocean Scanning Multispectral Imager) 위성으로 클로로필  $a$ 를 추정하고자 하는 연구가 수행되고 있다(Suh *et al.*, 2002).

본 연구에서는 동중국해 북부해역에서 해수색 위성 OSMI의 band별 자료와 현장 측정 클로로필  $a$  값간의 관계를 규명하였다. 또한 현장 측정된 클로로필  $a$  값에 대해 해수 다중 광측정 기기로 측정된 파장별 원격반사도(remote sensing reflectance, Rrs), 정규화된 수출 광량(normalized water leaving radiance, nLw) 값 및 해수 중 입자의 광흡수 (particle absorption,  $a_p$ )와의 관계성도 조사하였다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구의 수행을 위하여 국립수산과학원 해양 관측선 탐구 1호 및 탐구 3호를 이용하여 4회(1차: 2000년 5월 22~27일, 2차: 2000년 2월 22일~3월 2일, 3차: 2001년 5월 22~31일, 4차: 2002년 2월 20~24일)에 걸쳐 동중국해 북부해역의 3개 관측 line, 32개 조사정점 및 특별 관측점 4곳(제주도 북동해역, 2002년 2월 25일)에서 해양조사를 실시하였다(Fig. 1).

특별 관측점에서는 다중 광측정 장비(PRR-800)를 이용하여 OSMI bands(412, 443, 490, (510), 555, (665) nm)에서의 nLw, Rrs의 해수 광량을 측정하였다(Fig. 2). 생물화학 측정법을 이용하여 식물플랑크톤이 다량 함유된 엽록소인 클로로필 *a* 양을 동시에 측정하였다(Strickland and Parsons, 1968). 클로로필 *a*가 주로 흡수하는 광영역인 440, 676nm에서 해수 중 입자성분의 광흡수를 UV-Visible spectropotometer(Cary-100 Conc)로 측정하였다. 현장 해양관측과 동시에 획득된 OSMI 위성 자료(2002년 2월 20일, 25일)로부터 밴드별 nLw 및 클로로필 *a*를 추정하기 위한 영상처리프로그램은 Terascan package(SeaSpace, 1993)를 이용하였

고, 알고리즘은 SeaBAM(SeaWiFS Bio-optical Algorithms Mini-workshop)의 OC2 (ocean color chlorophyll 2 algorithm)를 이용하였다(O'Reilly *et al.*, 1998).

## 3. 결과

### 1) 클로로필 *a*에 대한 동중국해의 해수광학 특성

#### (1) 클로로필 *a*에 대한 현장측정 광파장별 Rrs 특성

동중국해 북부해역에서 3차례(2000년 2월, 5월 및 2001년 5월) PRR-800으로 관측한 OSMI 4개 밴드별(기타) 파장(412, 443, 490, (510), 555, (665)nm)의 Rrs는 미국 캘리포니아 근해역에서의 맑은 해수(Case I)에서 클로로필 *a*에 대한 Rrs 반응 값 분포 범위를 대부분 벗어났다(Fig. 2).

#### (2) 클로로필 *a*와 해수 중 입자성분의 광흡수성 관계

클로로필 *a*가 주로 광흡수를 하는 파장대로 잘 알려져 있는 440nm와 676nm에서 해수 중 입자성

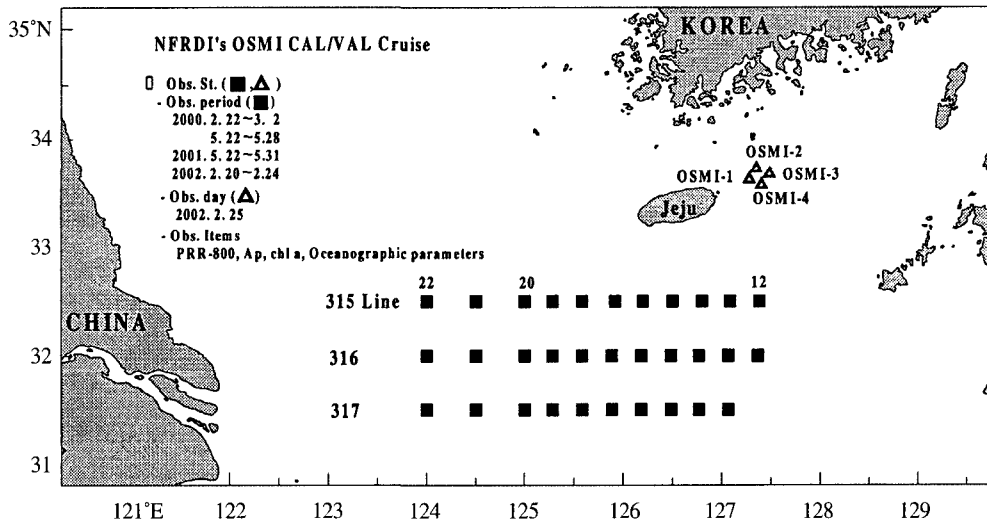


Fig. 1. Location of the optical observing stations for the calibration and validation of the OSMI satellite.

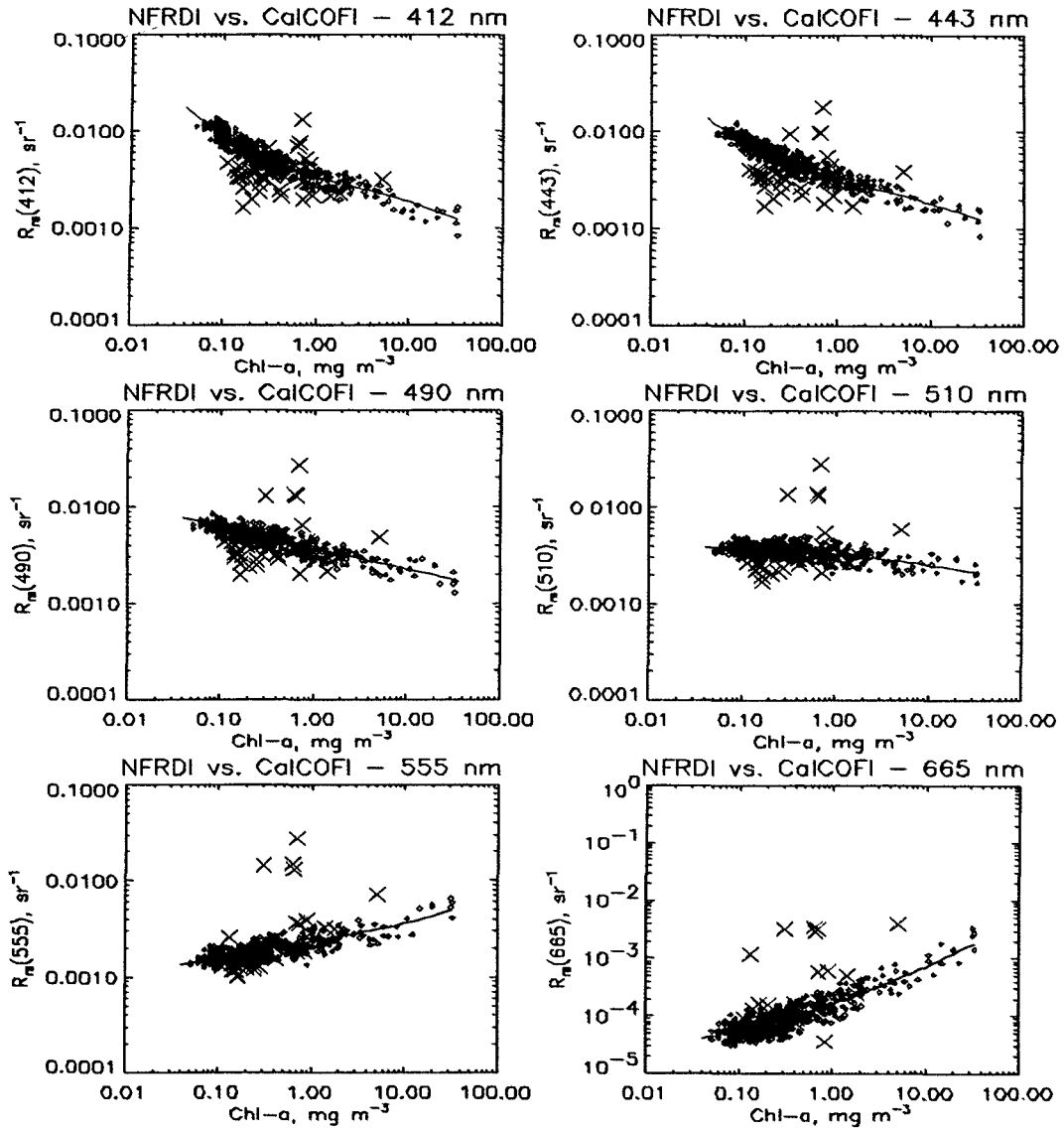


Fig. 2. Remote Sensing reflectance ( $R_n$ ) at SeaWiFS (OSMI) spectral bands for the CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations) reference data set ( $\diamond$ ) and the NFRDI (National Fisheries Research Development Institute) data ( $\times$ ) February, May in 2000 and 2001 (Kahru and Mitchell, 2002; personal communication).

분이 흡수하는 광의 정도를 비교해 본 결과 동중국해역에서의 값이 캘리포니아 근해의 맑은 해수역에서의 반응 값 분포 범위보다 모두 높게 나타났다(Fig. 3).

## 2) OSMI 위성영상(nLw, 클로로필 a)

2002년 2월 20일 오전 11시 10분경 우리나라 위

성 아리랑 1호(KOMPSAT-1/OSMI)가 황해 중심 해역을 통과시 관측한 OSMI 밴드 자료를 이용하여 클로로필 a 및 각 밴드별(443, 490, 555nm) nLw를 영상화하였다(Fig. 4). OSMI 위성 자료를 OC2 알고리즘에 대입하여 추정된 클로로필 a 값 및 현장 관측 값은 315-17 관측점에서 0.9, 0.86mg/m<sup>3</sup>, 316-20에서 2.1, 1.3mg/m<sup>3</sup>, 317-22에서 1.6,

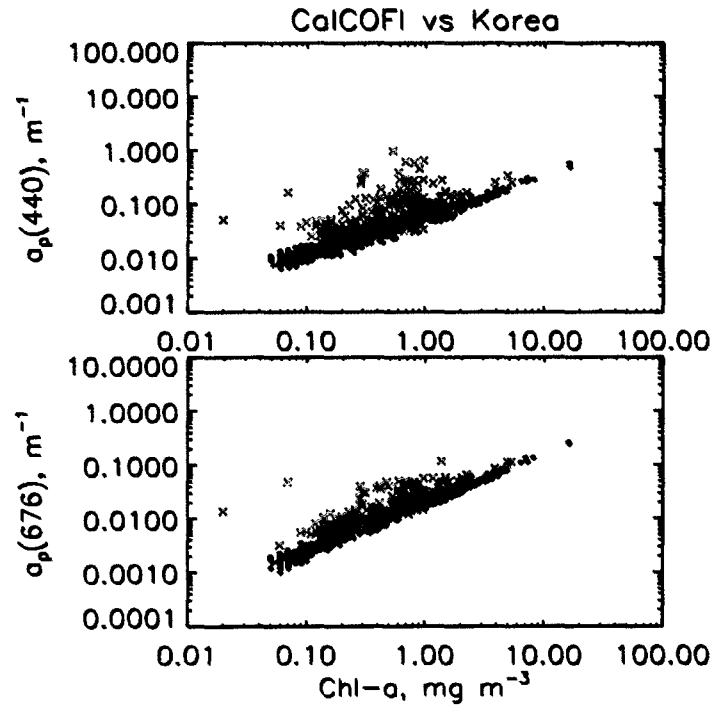


Fig. 3. Particle absorption related to the chlorophyll *a* concentration at spectral bands (440nm, 676nm) for the CalCOFI reference data (◆) and the NFRDI data (×) in 2000 and 2001 (Kahru and Mitchell, 2002; personal communication).

0.9mg/m<sup>3</sup>이었다(Fig. 4(a)). 동중국해 해양관측점 315-17, 316-20, 317-22에서 OSMI 3개 밴드(443, 490, 555nm)의 측정 nLw 값은 443nm의 경우 3.2, 3.3, 2.8, 490nm의 경우 3.9, 4.1, 3.7, 555nm의 경우 2.7, 4.1, 3.3으로 탁한 해수의 중심에 위치한 316-20 정점에서 값이 비교적 맑은 해수에 위치한 315-17 및 317-22 정점에서 보다 각 밴드 영역에서 모두 높은 값을 보였다(Fig. 4(a, b, c, d)).

2002년 2월 25일 오전 10시 52분 관측된 OSMI 위성 영상에서는 남해 일부해역에 국한된 자료만 획득할 수 있었다(Fig. 1, Fig. 5). 제주도 북동쪽 연근해역에서 반경 수 km이내에 4회 관측된 클로로필 *a* 값의 평균은 0.3mg/m<sup>3</sup>이었다. OSMI 관측 nLw 값은 412nm에서 0.5(편차 ±0.38), 443nm에서 0.7(±0.34), 490nm에서 1.0(±0.24), 555nm에서 0.4(±0.12)이었다. OSMI와 동시에 해수 광 다중 측정기 (PRR-800)로 현장에서 4회 관측한 nLw의 평균값은 412nm에서 0.5(편차 ±0.04), 443nm에서

0.5(±0.05), 490nm에서 0.5(±0.05), 555nm에서 0.3(±0.01)으로 OSMI 값보다 모든 파장에서 평균과 편차 값이 낮게 나타났다(Fig. 6).

### 3) 클로로필 *a* 값과 OSMI 단일밴드 및 복합 밴드 비율 값간의 반응 특성

OSMI 단일밴드(412, 443, 490 및 555 nm)에 대한 nLw 값과 OSMI 추정 클로로필 *a* 값사이의 상관성은 555nm( $R^2=0.67$ ), 490nm( $R^2=0.59$ ), 443nm( $R^2=0.52$ ), 412nm( $R^2=0.48$ ) 순으로 높은 값을 보였다(Fig. 7).

OSMI 복합밴드 nLw 값의 비(412/555, 443/555, 490nm/555nm) 값에 대한 OSMI 추정 클로로필 *a* 값 사이의 상관성은 nLw490/nLw555( $R^2=0.73$ )에서 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 nLw443/nLw555( $R^2=0.69$ ), nLw412/nLw555( $R^2=0.42$ ) 순으로 나타났다(Fig. 8).

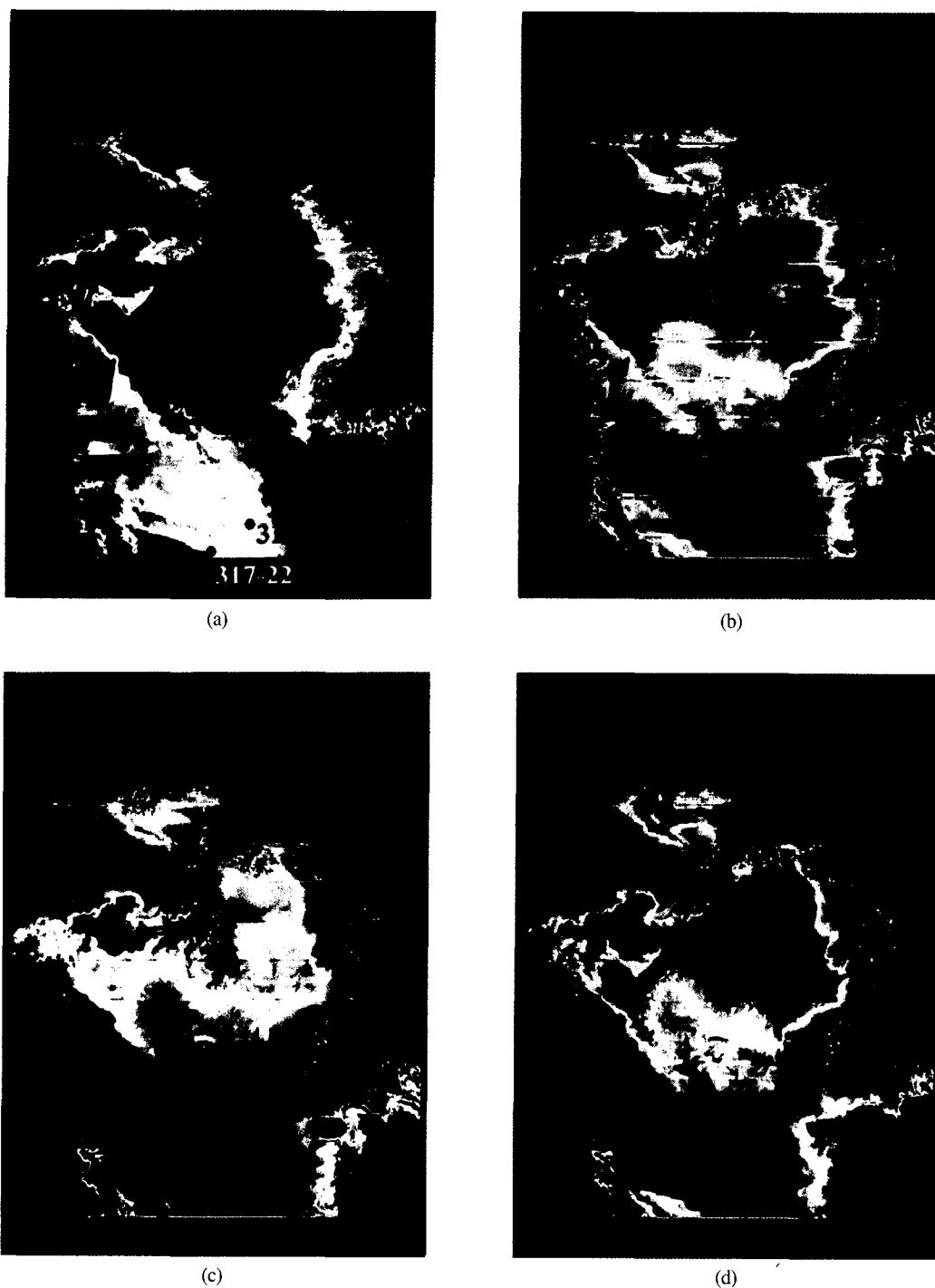


Fig. 4. OSMI imageries on 20th February, 2002 (a) The estimated chlorophyll *a* ( $\text{mg/m}^3$ ), normalized water leaving radiance(nLw) of (b) 443 nm, (c) 490 nm, (d)555 nm.

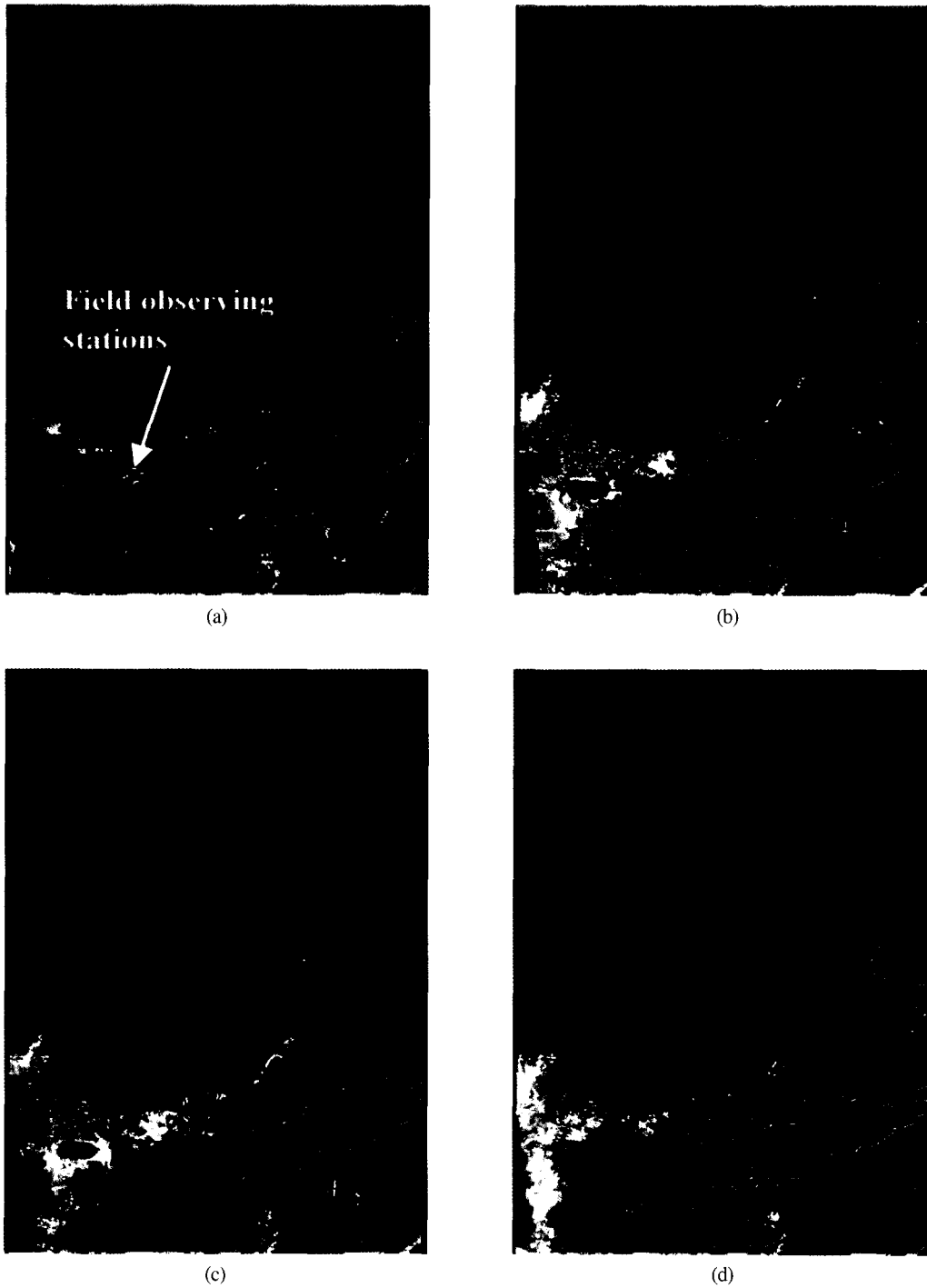


Fig. 5. OSMI imageries on 25th February, 2002. (a) The estimated chlorophyll  $a$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), normalized water leaving radiance (nLw) of (b) 443 nm, (c) 490 nm, (d) 555 nm.

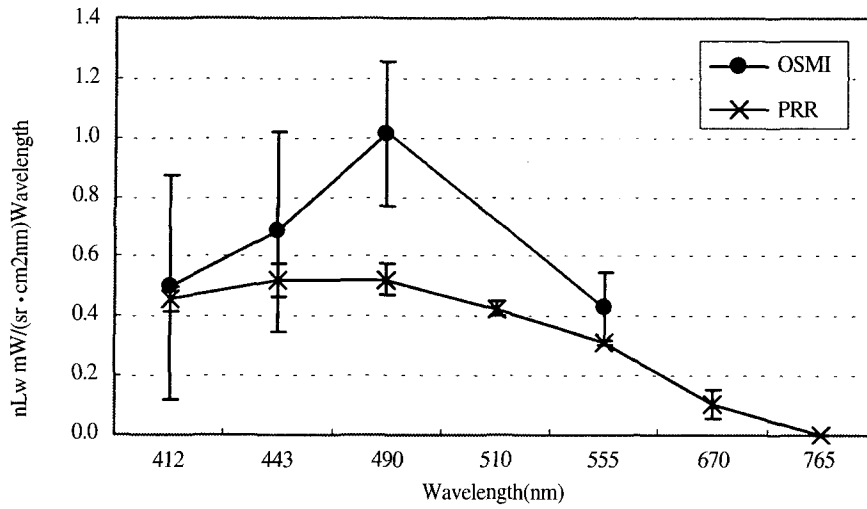


Fig. 6. Normalized water leaving radiance and deviations at OSMI spectral and the NFRDI s field reference data using PRR-800 at the 4 observing stations in the northeastern sea of Jeju Island within 3 hours in February 25, 2002.

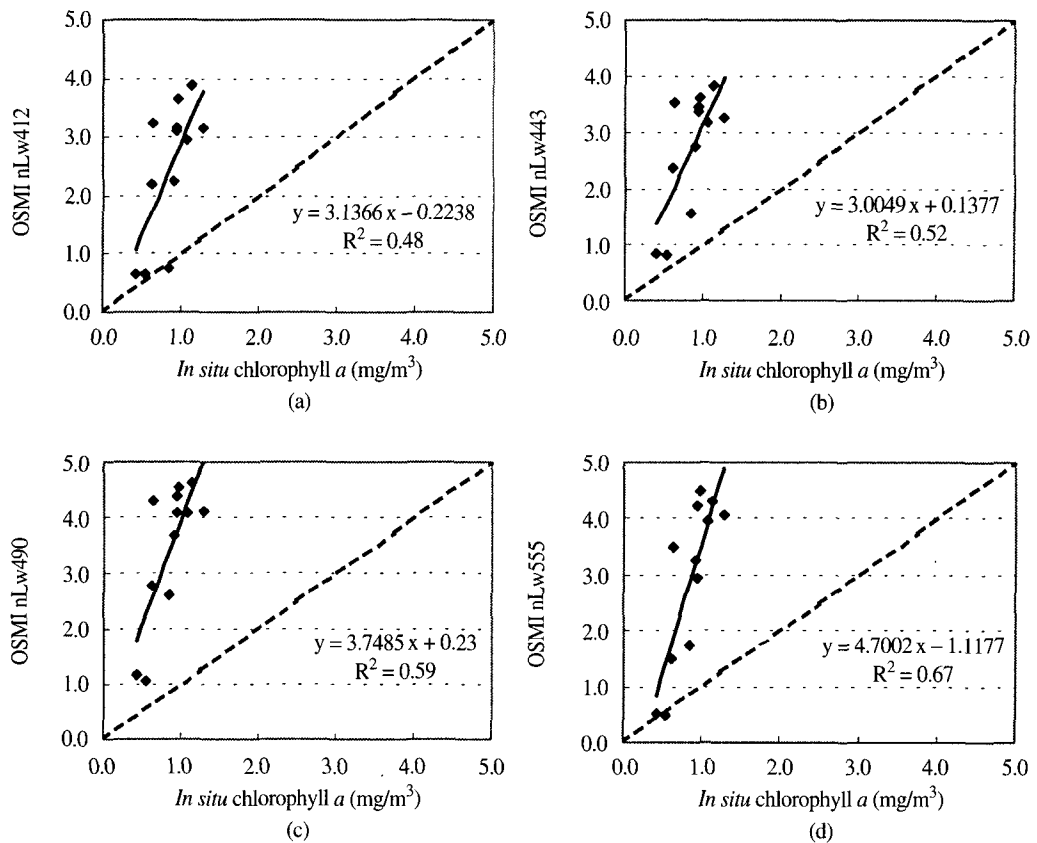


Fig. 7. Relationships between the field chlorophyll *a* and the normalized water leaving radiance (nLw) at (a) 412 nm, (b) 443 nm (c) 490 nm, (d) 555 nm of OSMI bands in the southern part of the Korean water in February 20 and 25, 2002.



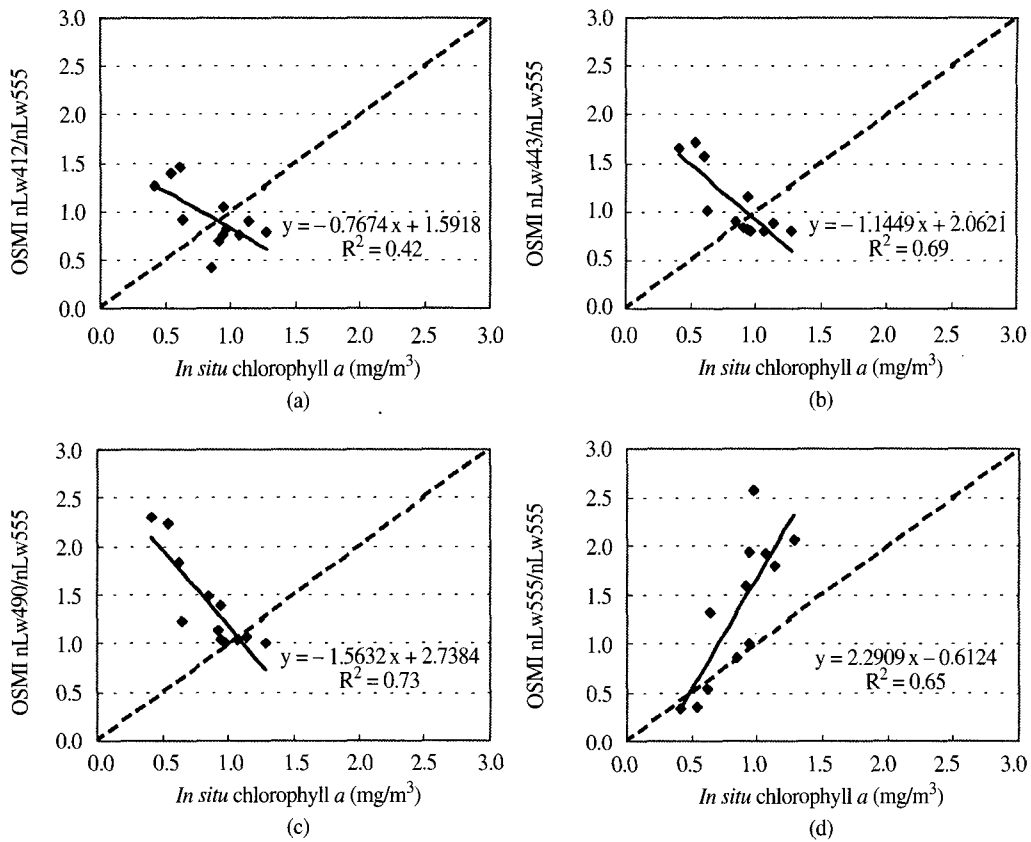


Fig. 8. Relationships between the field chlorophyll *a* and the ratio of the normalized water leaving radiance (nLw) from OSMI bands in the southern part of the Korean waters in February 20 and 25, 2002. (a) nLw412/nLw555, (b) nLw443/nLw555, (c) nLw490/nLw555 (d) estimated chlorophyll *a* from OSMI data using OC2 algorithm (490 nm/555 nm).

#### 4) OSMI와 SeaWiFS 밴드 반응 값간의 상호 검증

##### (1) 위성 자료 값 비교 검토

남해 연근해역(북위 31.28도~35도, 동경 122.86도~130.20도)에 대해 2002년 2월 20일 OSMI(11시 11분) 및 SeaWiFS(13시 11분)로 관측한 각 밴드(412, 443, 490, 555nm)별 nLw 상호 반응 값을 비교하였으며, OC2 알고리즘으로 추정된 클로로필 *a* 값간의 분포 상관성을 검증하였다(Fig. 9).

OSMI 및 SeaWiFS의 각 밴드별 nLw의 비교 분석 결과, 412nm에서는 상관성( $R^2=0.25$ ,  $Y = -0.22(X)+2.43$ )이 낮게 나타났으나, 나머지 파장

대에서는 nLw 443nm( $R^2=0.63$ ,  $Y=1.14(X)+0.11$ ), nLw 490nm( $R^2=0.86$ ,  $Y=1.19(X) - 0.84$ ), nLw 555nm( $R^2=0.91$ ,  $Y=1.03(X) - 0.55$ )로 비교적 높은 상관성을 나타내었다(여기서 X는 SeaWiFS의 각 밴드별 nLw, Y는 OSMI의 각 밴드별 nLw 이다). 추정 클로로필 *a* 값간의 관계성은 비교적 높은 상관성( $R^2=0.60$ )을 보였으나, 전체적으로 OSMI 자료로 추정된 클로로필 *a* 농도 값이 SeaWiFS 위성 자료로 추정된 클로로필 *a* 값보다  $0.5\text{mg/m}^3$  정도 낮게 나타났다(Fig. 9(a)). 한편, OSMI의 각 밴드별 nLw 값과 추정 클로로필 *a* 값의 일부분이 평균 분포범위를 훨씬 벗어나 이상 분포 값을 나타내었다. 이는, Suh 등(2002)이 지적한 OSMI의

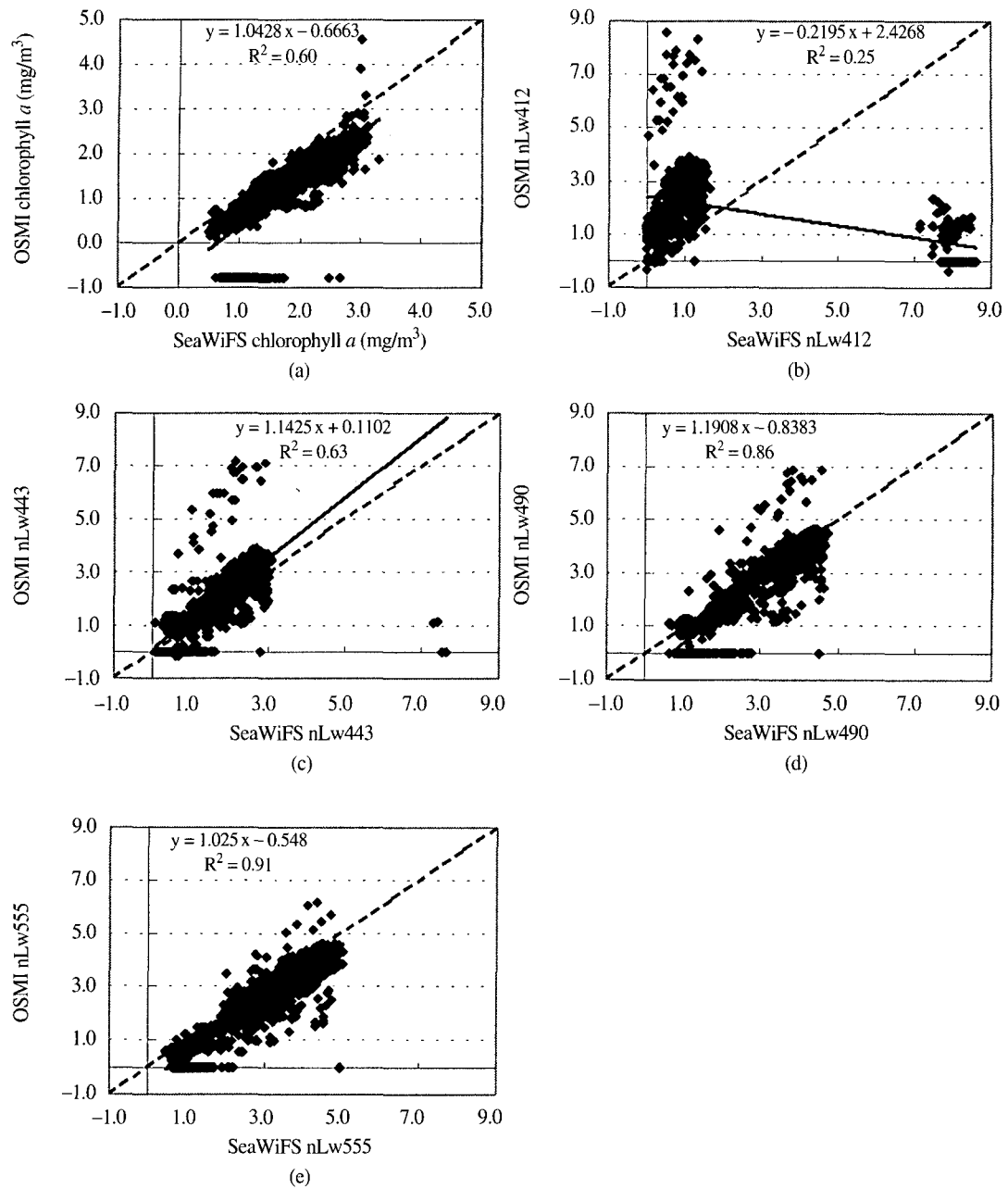


Fig. 9. Relationships between data from SeaWiFS and OSMI in the western part of the Korean waters on 20th February, 2002. (a) The estimated chlorophyll  $a$  using ocean color algorithm 2 (O'Reilly, 1998). The normalized water leaving radiance(nLw) at (b) 412 nm, (c) 443 nm, (d) 490 nm, (e) 555 nm.

bow-tie effect 및 whisk-broom 작동시 영상에 줄무늬가 생기는 기기 오차에서 기인된 것으로 생각된다.

(2) 현장 클로로필 *a*에 대한 해수색 위성간 추정값 비교 검토

동중국해의 현장 해양 관측 line(315, 316, 317)에서 2002년 2월 22일에서 25일까지 조사 측정된 현

장 클로로필 *a* 값과 OSMI 및 SeaWiFS 위성 자료로 추정된 클로로필 *a* 값간의 관계성을 살펴보았다(Fig. 1, Fig. 10). OSMI 및 SeaWiFS 추정값에서 각각 현장 측정 클로로필 *a* 값을 제거한 값의 측정 station별간 공간적 변동을 비교한 결과 대부분 비슷한 변동 경향성을 보였으나, SeaWiFS 추정값이 OSMI 추정값보다 전체적으로 0.3~0.6mg/m<sup>3</sup> 높게 나타나는 변동 양상을 보였다. 위

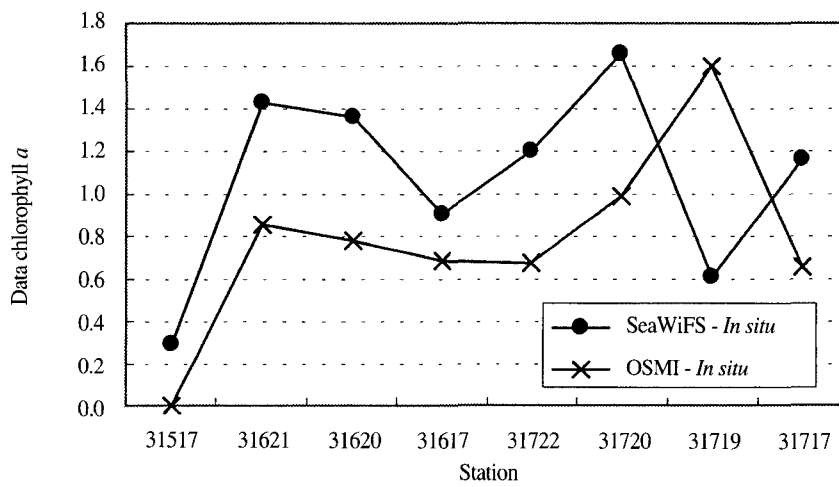


Fig. 10. Distribution of the difference in chlorophyll *a* (mg/m<sup>3</sup>) between satellite data and *in situ* data at the observing stations in the East China Sea within 3 days from February 22 to 24, 2002.

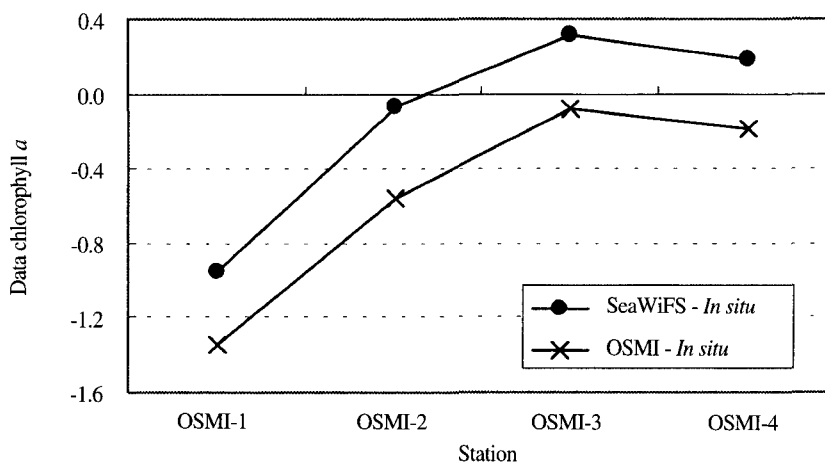


Fig. 11. Distribution of the difference in chlorophyll *a* (mg/m<sup>3</sup>) between satellite and *in situ* data at the special observing stations in the northeastern sea of Jeju Island within 3 hours in February 25, 2002.

성 관측시기와 현장 관측시기가 3일 이상 차이 나는 정점들(317-19, 317-17)에서 값들의 변동은 상호 위성 추정 값간에 역현상이 일어났다.

제주도 북동해역에서 현장-위성 관측은 1일 이내 (2002년 2월 25일) 및 3시간 이내에 획득된 클로로필 *a* 값들의 변동을 비교하였다(Fig. 1, Fig. 5(a), Fig. 11). OSMI 및 SeaWiFS 위성 자료로 추정된 클로로필 *a* 값에서 각각 현장 클로로필 *a* 측정값을 제거한 값을 비교한 결과, Fig. 10의 결과와 같이 SeaWiFS 추정 값이 OSMI 추정 값보다  $0.3 \text{ mg/m}^3$  정도 높은 농도 값을 보였다. 그러나 3시간 이내의 거의 동일 시각에 관측한 결과로써, 값 차이의 공간 변동 양상은 매우 흡사하고 일정하였다(Fig. 11).

#### 4. 고찰 및 결론

동중국해 해수는 캘리포니아의 맑은 해수(Case I)에 비해 클로로필 *a*에 대한 각 밴드별(412, 443, 490, 555, 665 nm) 원격반사율(remote sensing reflectance(Rrs))은 탁월하게 큰 반응 값을 보일 뿐만 아니라, OSMI 밴드의 443 nm 밴드에 해당하는 440 nm 및 676 nm에서 해수 입자에 의한 흡수광 값이 Case I의 해수의 특성을 지닌 캘리포니아 해수에서 클로로필 *a*의 광흡수 분포 범위를 훨씬 벗어나는 특성을 보였다. 이러한 결과에서 동중국해역은 Suh 등(2001)이 보고한 바와 같이 동계 및 춘계(2월과 5월)에 중국 동측연안의 탁한 대륙연안수가 제주도쪽으로 수평 확장되고 동계 해수의 연직 혼합이 활발히 일어나는 과정에서 수심이 얕아 저층의 탁한물이 표층까지 연직적으로 전달되는 탁수의 수평적, 연직적 방향의 영향을 동시에 받아 탁한 해수인 Case II 특성을 나타내게 되는 것으로 추정된다.

클로로필 *a* 추정시 OSMI band는 555 nm에서 비교적 안정된 반응 값을 나타내었다. 복합 밴드 비 값에서는  $nLw490/nLw555$  값이 최대 상관도를 보이며, 안정된 반응 값을 나타내었다. 이러한

결과를 종합해보면, 비교적 검정된 것으로 보고된 해수색 정량화(클로로필 *a* 추정) 알고리즘들(O'Reilly *et al.*, 1998) 중 510nm 밴드가 포함되어 있는 OC2d, OC4 알고리즘은 OSMI 510nm 밴드를 가지고 있지 않음으로 클로로필 *a*를 OSMI 밴드로 추정하는 것이 적당하지 않을 뿐만 아니라, 본 연구 결과에서 현장 클로로필 *a* 값과 반응상태가 안정하지 못하거나 상관성이 낮은 410nm 또는 443 nm를 포함하는 OC4 및 OC2 series(OC2a, OC2b, OC2d, OC2e)를 사용한 클로로필 *a* 추정도 좋은 결과를 얻지 못할 것으로 판단된다. 그러므로 현장 클로로필 *a* 값간의 관계성 및 반응 안정도가 높은 490nm 및 555nm의 복합밴드만으로 구성된 OC2 알고리즘을 이용하여 OSMI 밴드 자료를 처리 후 추정된 클로로필 *a*량 정량화가 보다 나은 결과를 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 3시간이내의 현장 추정 클로로필 *a* 값을 기준으로 OSMI 및 SeaWiFS 위성 자료로 추정된 클로로필 *a* 값의 차가  $0.3\text{mg/m}^3$  정도로 낮았을 뿐만 아니라, 클로로필 *a* 관측 수평 공간별 차이에서 오는 값들의 변동 양상이 매우 흡사하고 일정하였기 때문에 일정 계수만 곱하여 주면 위성 자료 상호간의 검보정 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 특정과제 「OSMI 수산활용 및 검보정 지원」 연구비의 지원에 의해 수행되었으며, 과제 참여 연구원, 한국 항공우주연구원 및 국립수산과학원 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

Ahn Y. H., 2000. Development of remote sensing reflectance and water leaving radiance models for ocean color remote sensing

- technique, *J. Korean Society of Remote Sensing*, 16(3): 243-260 (in Korean).
- 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 Society of Remote Sensing*, 14(4): 353-365.
- Chikuni, S., 1985. The fish resources of the northwest Pacific, *FAO Fisheries Technical Paper 266*, pp. 6-7.
- GKSS, 1986. The Use of Chlorophyll Fluorescence Measurements from Space for Separating Constituents of Sea Water, ESA Contract No. RFQ3-5059/84/NL/MD, 2, Appendices, GKSS Research Centre.
- Gordon, H. and A. Morel, 1983. *Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery: A review*, Springer-Verlag, New York, 113p.
- O' Reilly J. E., S. Maritorena, B. G. Mitchell, D. A. Siegel, K. L. Carder, S. A. Graver, M. Kahru, and C. McClain, 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, *J. of Geophys. Res.*, 103-C11(24): 937-24, 953.
- SeaSpace, 1993. TeraScan Package Manual 2.4, 388p.
- Strickland J. D. H. and T. R. Parsons, 1968. A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin 167*, 311p.
- Suh Y. S., B. G. Mitchell, L. H. Jang, S. G. Lee, S. J. Yoo, 2001. Calibration and validation of ocean color satellite imagery, *J. of the Korean Environmental Sciences Society*, 10(6): 431-436 (in Korean).
- Suh Y. S., L. H. Jang, B. G. Mitchell, M. Kahru, Kota Prasad and H. Y. Shin, 2002. Study on the Korean waters using the CAL/VAL of the OSMI level 2 data, *J. Korean Society of Remote Sensing*, 18(3): 127-139.