

한국 근해 Ocean Color 위성자료의 정량화

서영상⁺ · 장이현 · 이나경 · 김복기
국립수산과학원 해양연구과

Development of the Regional Algorithms to Quantify Chlorophyll *a* and Suspended Solid in the Korean Waters using Ocean Color

Young Sang SUH⁺, Lee-Hyun JANG, Na Kyung LEE and Bok Kee KIM
Oceanography Division, National Fisheries Research and Development Institute,
Busan 619-902, Korea

Ocean color properties can be quantified by the relationship between the band ratios of the sensor on the ocean color satellites and the measured field ocean color parameters. A tool to determine the abundance of primary organism using the observed ocean color properties from satellite is presented. Coincident to ocean color satellite passes over the Korean waters, the research vessels were deployed to survey the East Sea, the South Sea and the West Sea around the Korean waters. We have been able to have more than 100 data sets containing coincident *in situ* chlorophyll *a* and the estimated chlorophyll *a* derived from SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) from February, 1999 to October, 2001. We were able to develop three proper regional algorithms for the East Sea, the South Sea and the West Sea of the Korean peninsula to estimate chlorophyll *a*, and set up regional algorithms to quantify the suspended solid in the southern sea of the Korean peninsula. Furthermore we were successful in finding out a simple way of estimating chlorophyll *a* in the turbid water (Case II water) using the relationship between *in situ* chlorophyll *a* and the estimated chlorophyll *a* from the processed level 2 data, using the NASA's global algorithm.

Key words: Ocean color, SeaWiFS, Chlorophyll *a*, Suspended solid, Remote sensing

서 론

해수색 (ocean color)에 영향을 미치는 요소는 다양하다. 식물플랑크톤의 광합성 색소인 클로로필 *a*는 상대적으로 파란색이나 붉은색 계통 빛을 흡수하게 되어 식물플랑크톤이 증가하면 해수색이 검청색에서 초록색으로 변화된다 (Yensch, 1960). 1970년 및 80년대에 지구탐사 위성인 Nimbus-7에 CZCS (Coastal Zone Color Scanner)라는 해수색 센서를 탑재하여 해수색의 변화를 위성으로 모니터링하려는 시도가 있었다 (Clark et al., 1970; Hovis, 1981). 이후, 해수색 위성 (CZCS) 자료를 이용하여 외양에서 해수색이 식물플랑크톤 현존량에 의해 변화되는 것을 추정하는 연구도 수행되었으며 (Yoder et al., 1988; McClain, 1993), 이러한 연구를 통해 전지구적인 식물플랑크톤의 시공간적 변동을 대략 파악할 수 있게 되었다. 1997년 후반에 Orbview-2라는 해수색 관측위성이 발사되었으며, 탑재된 센서는 SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)로서 CZCS의 한계점을 보완한 것이었다. 초기단계에는 CZCS의 클로로필 *a* 추정 알고리즘을 답습하여 사용하다가 최근에는 SeaWiFS 관측자료를 이용하여 해수색으로 클로로필을 추정하는 제 2 알고리즘 (ocean color chlorophyll 2 algorithm, OC 2)이 개발되었다 (O'Reilly et al., 1998). 이러한 알고리즘은 NASA에서 주관하는 소규모 위원회인 SeaBAM (SeaWiFS Bio-optical Algorithm Mini-Workshop)을 주축으로 해서 점차 개선되어지고 있다 (McClain et al., 1995; McClain, 1997; Firestone and Hooker, 1998). 또한 전세계 해양 수색관측자료와

관측센서 및 그 알고리즘을 통합하기 위한 연구, SIMBIOS (Sensor Intercomparison and Merger for Biological and Interdisciplinary Oceanic Studies)가 조직화되고 있다 (Esaías et al., 1995).

그러나 이러한 전지구적 해양환경을 대상으로 개발된 해수색 추정 알고리즘이 한국 연근해역의 해수 광특성 등 복잡한 해양변동 특성에 적합치 않다 (Suh et al., 2001). 따라서, 본 연구에서는 해역 특성을 고려한 해수색 요소의 정량화 방법 중 가장 단기간 내에 실용화할 수 있는 기법인 현장자료와 위성추정자료 (level 2 처리단계) 사이의 관계를 규명하는 기법을 이용하여 한국 연근해역의 해수 광특성 등 복잡한 해양변동 특성에 맞도록 검정 보완하여 클로로필 *a* 등의 해수색 요소량을 보다 실제값에 가깝게 정량화할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

재료 및 방법

해수색 관측위성이 한국 근해 상공을 통과할 때 연구조사선으로 동·서·남해에서 클로로필 *a*, 부유성 고형물질 등을 정기적으로 (1999~2001년; 2, 4, 6, 8, 10, 12월) 관측하고 분석하였다 (Fig. 1). 이러한 자료를 이용하여 위성과 현장의 동시 공간적 해수색 요소 data set을 확보하였다. 위성과 현장 자료간 상호 관계식을 도출하여 SeaWiFS ocean color 위성자료를 정량화하고자 하였다 (Fig. 2). 또한 현장자료를 기준하여 정량화된 위성자료와 인도우주국에서 1999년 5월 발사, 운영하고 있는 위성 IRS-P4 위성에 탑재되어 있는 OCM (Ocean Color Monitor) 관측 해수색 요소 자료간의 관계식을 통하여 위성 대 위성자료의 검보정 (satellite to satellite data calibration and validation)을 시도하였다.

⁺Corresponding author: yssuh@nfrdi.re.kr

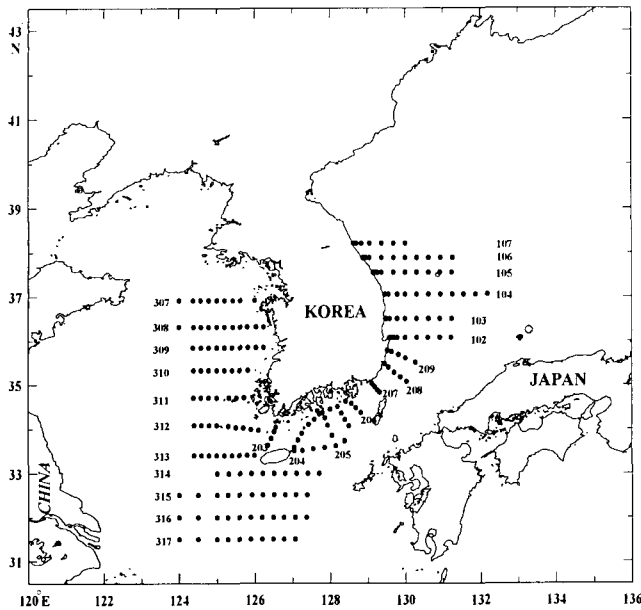


Fig. 1. Map showing the serial oceanographic stations to measure ocean color parameters around the Korean waters.

1. 해양수색 위성자료 실용화 기법 개발

Ocean color 위성 (Table 1) 자료와 현장에서 관측한 해수색 요소 [기초먹이 생물량 (클로로필 *a*), 부유성 고형물질]가 동시 공간적으로 일치하는 자료를 선별 분석하여 보정 관계식을 도출함으로써, 해수색 위성 영상을 정량화 할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

1) SeaWiFS 위성자료로부터 클로로필 *a* 추정 및 검보정

SeaWiFS 해양수색 관측위성 자료와 SEABAM 알고리즘인 식 (1)을 이용하여 클로로필 *a* 값을 산출하였다 (O'Reilly et al., 1998).

$$\text{Chlorophyll } a = 10^{(a_0 + a_1 \times R + a_2 \times R^2 + a_3 \times R^3)} + a_4 \quad (1)$$

여기서, $a_0 = 0.3410$, $a_1 = -3.0010$, $a_2 = 2.8110$, $a_3 = -2.0410$, $a_4 = -0.0400$ 의 계수 값을 가진다. R은 SeaWiFS Rrs490과 Rrs555의 비를 나타내며, 식 (2)로 표현된다.

$$R = \log (Rrs490/Rrs555) \quad (2)$$

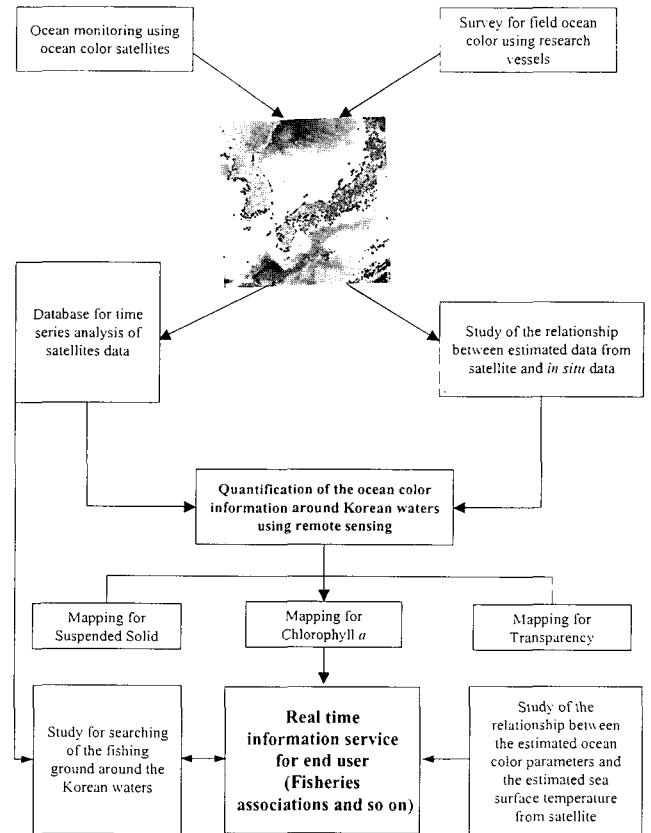


Fig. 2. Schematic diagram of technique for quantifying ocean color parameters using satellite remote sensing.

현장자료와 위성자료를 추출하여 관계성을 파악하고자 전지구 알고리즘 (OC 2 알고리즘)을 이용하여 위성자료를 level 2 단계 까지 처리한 클로로필 *a* 추정 값과 동일 시공간의 현장자료를 x-y축에 두고 양자간의 선형 관계식을 구하였으나, 적합치 않아 관계성을 log 함수로 표현한 관계식을 도출하였다. 이러한 관계식을 이용하여 검보정된 클로로필 *a* 영상 자료를 계산출 하였다.

또한 개발된 지역 알고리즘과 전지구 알고리즘의 차이를 파악 코자 위성과 현장 관계식으로 산출한 클로로필 *a* 위성 영상의 각 해당 pixel에서 추출한 digital 값을 OC 2 알고리즘으로 구한 클로로필 *a* 값과 비교하여 그 오차범위를 정량화하였다.

Table 1. The band of sensors related to the ocean color monitoring satellites, Orbview-2 and IRS-P4

Satellite	Sensor	Spatial Resolution (m)	Channel (Visible, NIR Band)	Wavelength (nm)	Intended Use
Orbview-2	SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor)	1,130	1	402~422	Gelbstoffe
			2	433~453	Chlorophyll Absorption
			3	480~500	Pigment Concentration
			4	500~520	Chlorophyll Absorption
			5	545~565	Sediments
IRS-P4	OCM (Ocean Color Monitor)	360	6	660~680	Atmospheric Aerosols
			7	745~785	Atmospheric Aerosols
			8	845~885	Atmospheric Aerosols

2) 검증된 위성자료 (SeaWiFS)와 OCM 위성자료간 관계성 도출

3년간 (1999~2001)의 SeaWiFS 위성추정 클로로필 *a* 값과 현장자료간의 관계식을 정립하였다. 정량화된 SeaWiFS 위성 클로로필 *a* 값을 기준으로 OCM (Ocean Color Monitor/IRS-P4) 위성자료를 일반적인 전지구 알고리즘을 이용하여 추정된 클로로필 *a* 값을 재검증하였다.

3) SeaWiFS 위성 자료로부터 부유성 고형물질 추정
SeaWiFS 위성의 490 nm와 555 nm 밴드에서 구한 반사율 비값

(nLw490/nLw555)과 현장관측 부유성 고형물질량의 관계성을 구명하여 한국 근해에서의 부유성 고형물질을 추정하였다.

2. 해수색 환경요인 현장조사 및 분석

위성자료를 검증하기 위해서는 현장조사 자료의 동시공간적 생산이 필수적이다. 따라서 기초먹이생물량 (클로로필 *a*), 부유성 고형물질을 위성관측과 동시 공간적으로 일치하도록 현장에서 시료를 채취하여 분석하였다.

클로로필 *a*는 표층 해수를 500 mL 채수하여 glass microfibre filter (membrane 0.45 μm)로 여과하였으며, 여과가 끝나기 직전

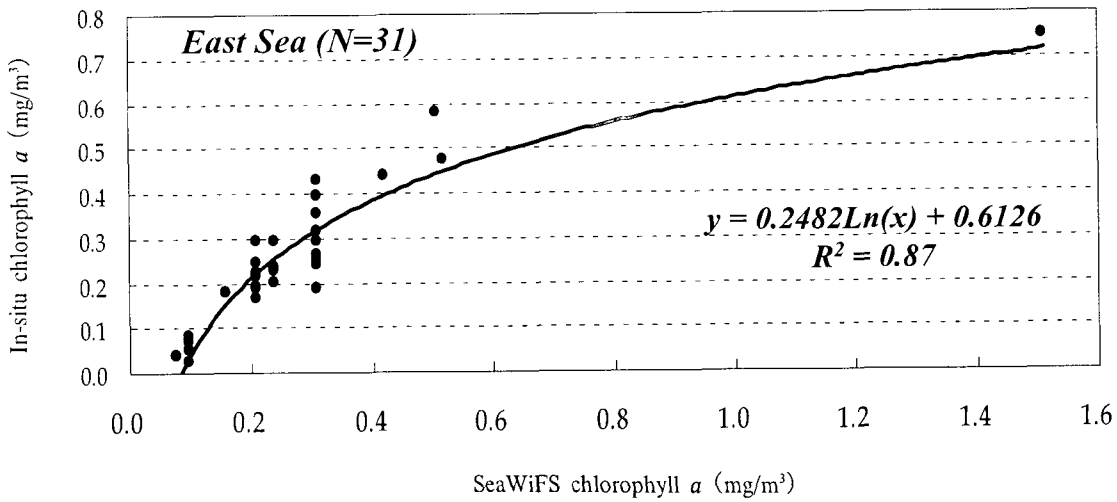


Fig. 3-1. Relationship between *in situ* chlorophyll *a* (mg/m³) and the estimated chlorophyll *a* from the SeaWiFS data using the global standard algorithm in the East Sea.

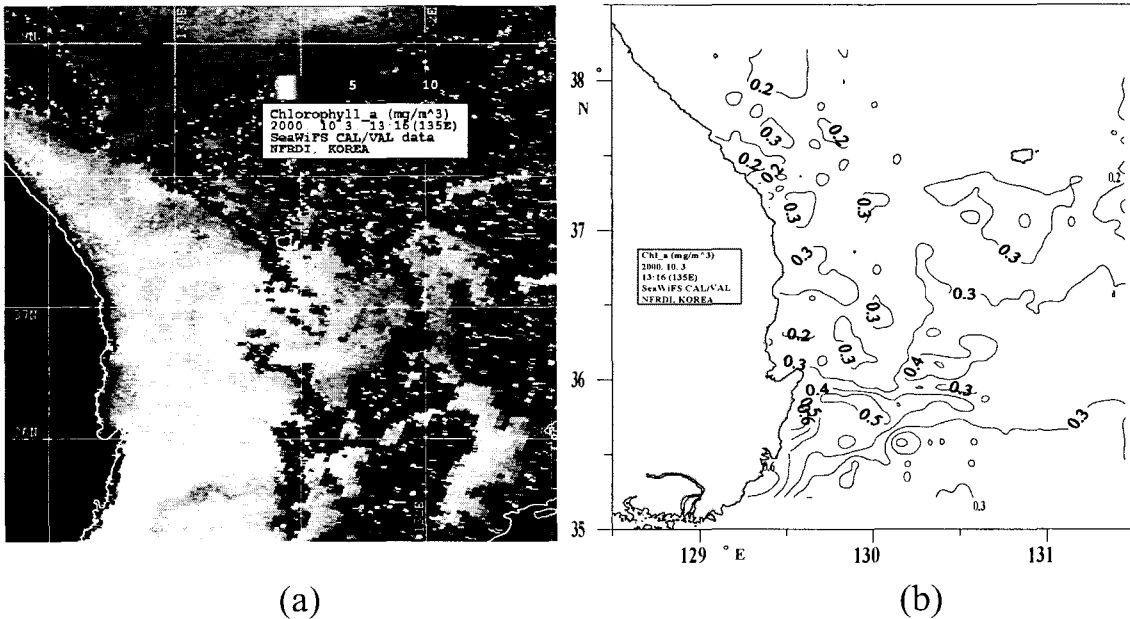


Fig. 3-2. Maps showing the chlorophyll *a* in the East Sea in October 3, 2000.
(a) Chlorophyll *a* imagery from the NFRDI Cal/Val algorithm with SeaWiFS satellite data.
(b) Iso-chlorophyll *a* lines from the imagery of (a).

산화를 방지하기 위하여 1% 탄산마그네슘 용액 1 mL로 고정시킨 다음 액체 질소에 보관하였다. 냉동 보관된 여과지를 90% 아세톤 10 mL에 24시간 동안 냉암소에서 방치하여 클로로필 *a*를 추출하였다. 추출된 클로로필 *a*는 원심분리시켜 상등액을 취하여 형광광도계 (Tunner Designs, Model 10-Au-000)로 분석하였다 (Strickland and Parsons, 1968).

부유성 고형물질은 표층 해수를 500 mL 채수하여 폴리에틸렌 용기에 넣고 미생물에 의한 분해를 방지하기 위하여 냉장상태에서

보관하였다. 잘 혼합된 일정량의 해수시료를 무게를 알고 있는 유리섬유 여과지 (GF/C)에 여과한 후 103~105°C에서 1시간 동안 건조한 후 유리섬유 여과지의 무게를 달아, 증가한 무게를 부유현탁물질의 양으로 계산하였다 (해양수산부, 1998).

결 과

1. 클로로필 *a* 추정을 위한 SeaWiFS 위성자료의 검보정

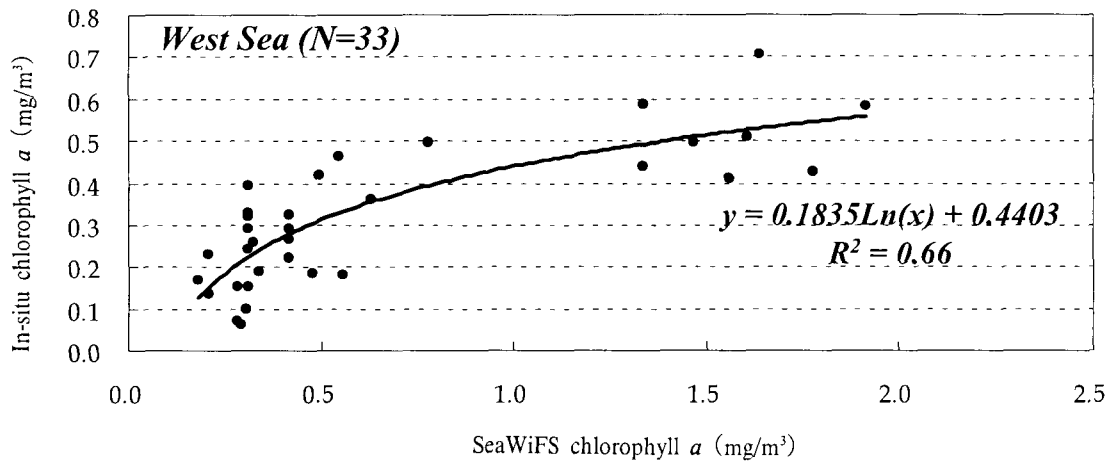


Fig. 4-1. Relationship between *in situ* chlorophyll *a* (mg/m³) and the estimated chlorophyll *a* from the SeaWiFS data using the global standard algorithm in the West Sea.

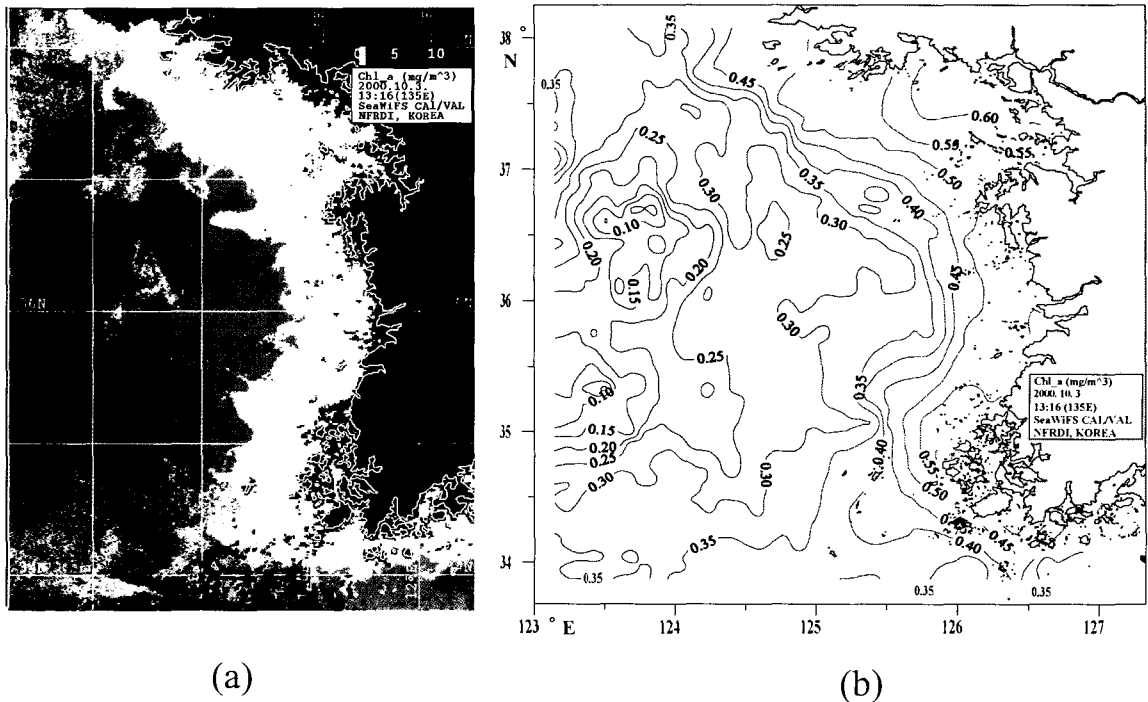


Fig. 4-2. Maps showing the chlorophyll *a* in the West Sea in October 3, 2000.
 (a) Chlorophyll *a* imagery from the NFRDI Cal/Val algorithm with SeaWiFS satellite data.
 (b) Iso-chlorophyll *a* lines from the imagery of (a).

해양수색 위성자료 실용화 기법을 개발하기 위해 동시·공간적인 위성자료와 현장 관측 자료의 관계식을 도출하였다. Suh et al. (2001)은 광학적 해수 특성을 기준으로 동해 근해역을 전형적인 Case I water (맑은 해수)로 서해 연근해역을 Case II water (탁한 해수)로 대마난류의 영향을 직접 받는 해역 (Case I)과 양자강의 영향권에 속한 해수의 특성 (Case II)이 혼합되는 남해 연근해역으로 분류하였다. 본 연구에서도 위성자료와 현장자료의 관계를 세 가지 유형으로 영역을 분류하고, 클로로필 *a*에 대한 위성과 현장자료의 관계식을 각각 도출하였다 (Fig. 3, 4, 5).

1) 클로로필 *a*에 대한 위성자료와 현장자료의 관계식 도출 동해 (맑은 해수, Case I water)에서는 총 31개의 해양조사 자료 및 위성영상 처리 자료를 총 31개의 동시 공간적으로 구하여 위성과 현장값 간의 관계식 ($Y=0.248 \ln(X)+0.61$, $R^2=0.87$)을 도출하였다 (Fig. 3-1).

서해 (탁한 해수, Case II water)에서는 총 33개의 동시·공간적 위성자료와 현장자료 data set을 구하여 위성과 현장 값간의 관계식 ($Y=0.184 \ln(X)+0.44$, $R^2=0.66$)을 도출하였다 (Fig. 4-1).

남해 및 서해 (Case I 과 Case II의 중간특성 해수)에서 가용할 수 있는 위성자료와 현장자료는 총 72개로 이를 이용하여 위성과

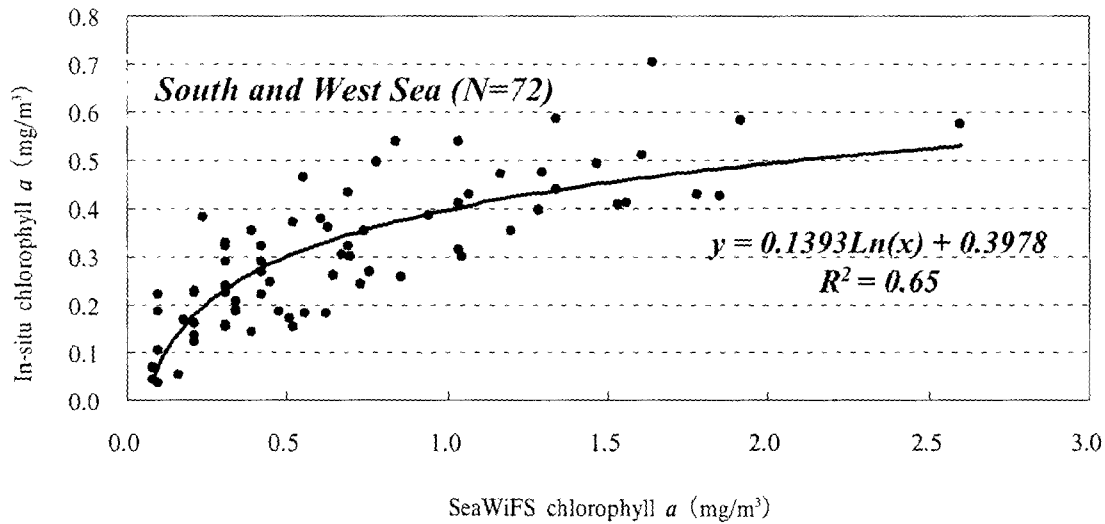


Fig. 5-1. Relationship between *in situ* chlorophyll *a* (mg/m^3) and the estimated chlorophyll *a* from the SeaWiFS data using the global standard algorithm in the southern and western parts of the Korean peninsula.

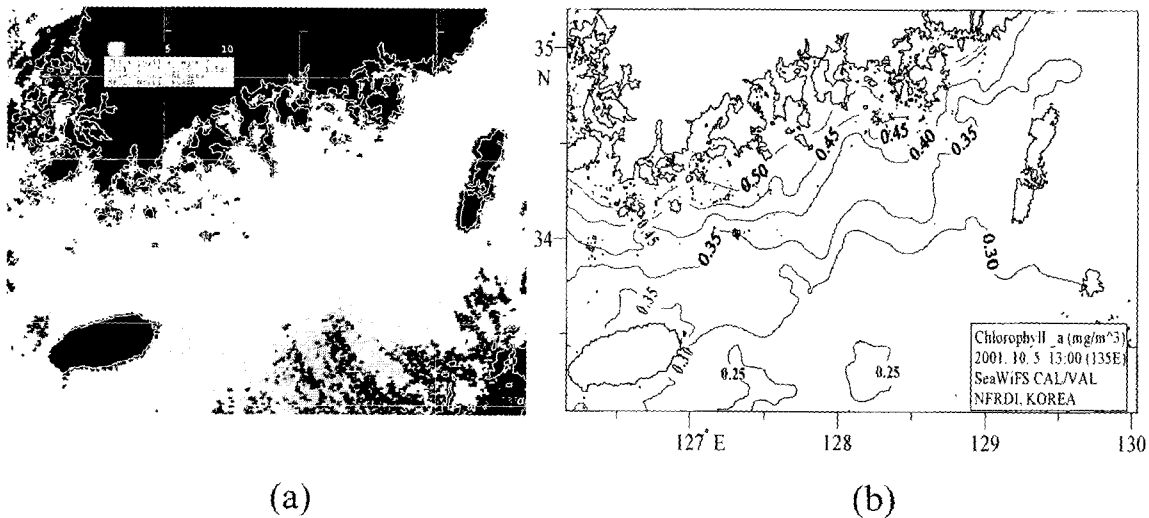


Fig. 5-2. Maps showing the chlorophyll *a* in the South Sea in October 5, 2001.
(a) Chlorophyll *a* imagery from the NFRDI Cal/Val algorithm with SeaWiFS satellite data.
(b) Iso-chlorophyll *a* lines from the imagery of (a).

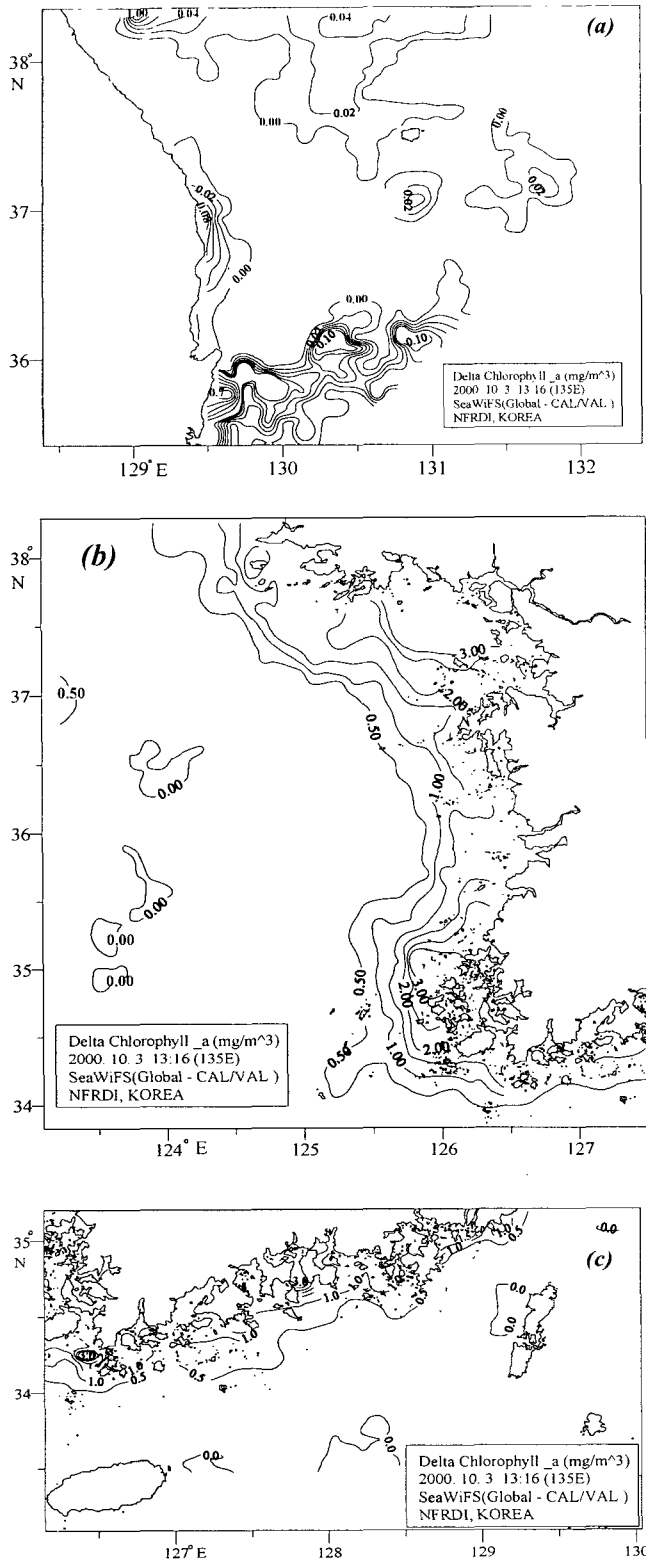


Fig. 6. Distribution of the difference in chlorophyll *a* (mg/m^3) between the global algorithm (OC 2) and the regional algorithm (NFRDI) to estimate chlorophyll *a* in the East Sea (a), West Sea (b) and South Sea (c) using SeaWiFS satellite data on October 3, 2000.

현장 값간의 관계식 ($Y=0.139 \ln(X)+0.40$, $R^2=0.65$)을 도출하였다 (Fig. 5-1).

2) 개발된 지역알고리즘과 전지구 알고리즘으로 도출한 값의 오차 범위

위성과 현장관계식으로 검보정한 클로로필 *a* 위성 영상에서 pixel 값들을 digital 값으로 재추출하여 클로로필 *a* 분포도를 작성하였다 (Fig. 3-2b, 4-2b, 5-2b). 또한 위성자료의 보정전과 보정

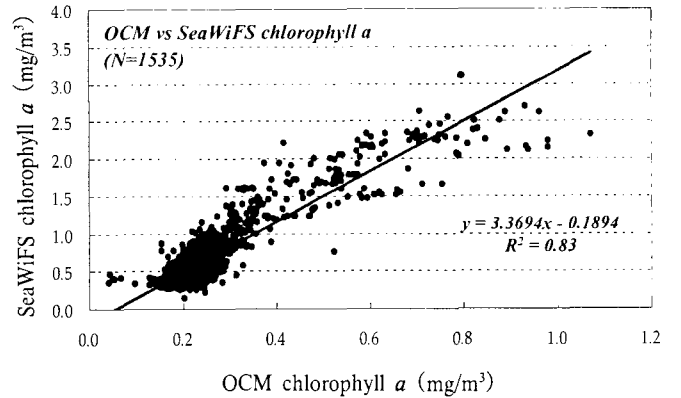


Fig. 7-1. Relationship between the estimated chlorophyll *a* (mg/m^3) from the imagery of OCM satellite on October 5, 2001 and the estimated chlorophyll *a* from SeaWiFS Cal/Val regional algorithm which NFRDI developed.

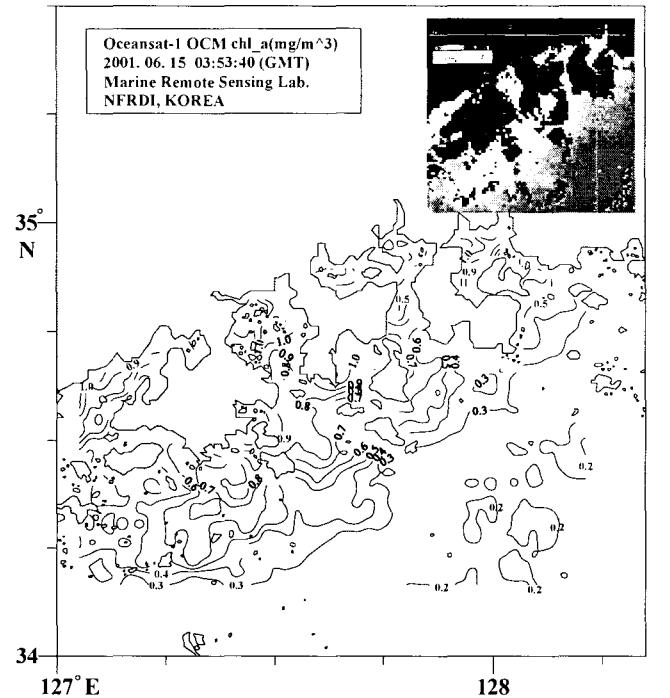


Fig. 7-2. Estimated chlorophyll *a* (mg/m^3) distribution from the imagery of the Ocean Color Monitor, Indian satellite IRS-P4 in the southern coastal area of the Korean peninsula.

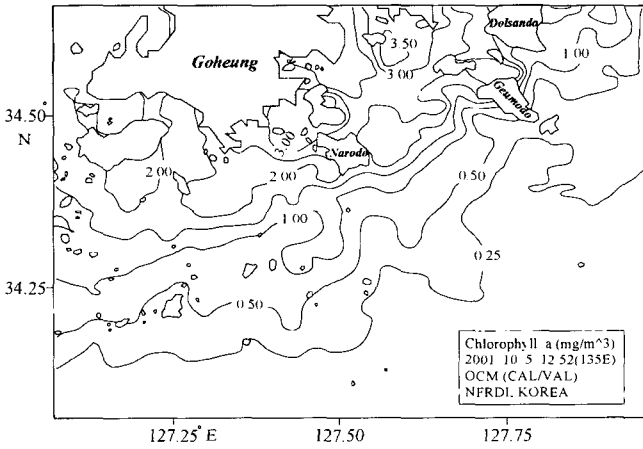


Fig. 7-3. Quantified chlorophyll *a* (mg/m³) distribution at the Narodo Is. which redtide occur at first time every year derived from Ocean Color Monitor, Indian satellite IRS-P4 data using NFRDI's Cal/Val algorithm on October 5, 2001.

후의 값 차이를 도출하였다 (Fig. 6(a), 6(b), 6(c)).

2. 해수색 위성 (OCM)과의 상관성을 이용한 해수색 정보의 공간해상도 향상

2001년 10월 5일 인도위성 OCM 자료를 전지구용 알고리즘을 이용하여 추정된 클로로필 *a* 값을 이미 검증한 SeaWiFS 위성 자료를 기준하여 재차 상관 관계식을 구하였다 (Fig. 7-1). SeaWiFS보다 공간해상도가 3배 좋은 OCM 자료 (해상도 360 m)를 이용하여 SeaWiFS (해상도 1 km) 위성으로 볼 수 없었던 상세한 양식장 주변의 연안 및 내만 환경과 (Fig. 7-2), 적조가 매년 첫 발생하는 나로도 연안에서도 공간적으로 고해상도의 클로로필 분포 값을 도식화할 수 있었다 (Fig. 7-3).

3. SeaWiFS 위성자료를 활용한 부유성 고형물질 추정

1) 위성자료와 현장자료의 관계식 도출

현장의 부유성 고형물질과 SeaWiFS 위성 밴드 비율 값 (nLw 490/nLw555)을 비교하여 경험적 관계성을 분석한 결과, 서해와 남해에서 현장 탁도와 SeaWiFS 위성 자료의 nLw490/nLw555 값 간의 상관성이 높게 나타났다. 동해 (Case I water)의 경우 위성 자료와 현장자료간에서 총 83개의 data set을 생산하여 관계식 ($Y=0.973 \ln(X)+2.19, R^2=0.12$)을 도출하였으나, 상관성이 낮게 나타났다. 서해 (Case II water)의 경우 위성자료와 현장자료간에서 총 16개의 data set을 생산하여 관계식 ($Y=-16.44 \ln(X)+22.38, R^2=0.70$)을 도출하였다. 남해 및 서해 (Case I 및 Case II water의 중간 특성해수)의 경우 위성자료와 현장자료간의 38개의 data set을 생산하여 관계식 ($Y=-12.45 \ln(X)+15.40, R^2=0.63$)을 도출하였다 (Fig. 8-1).

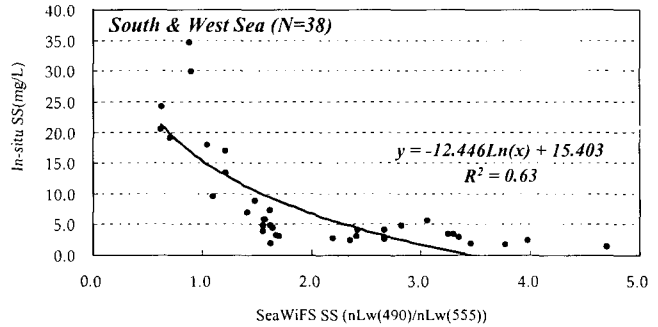


Fig. 8-1. Relationship between the measured field suspended solid (mg/L) and SeaWiFS band ratio (nLw490/nLw555) in the southern and the western parts of the Korean peninsula.

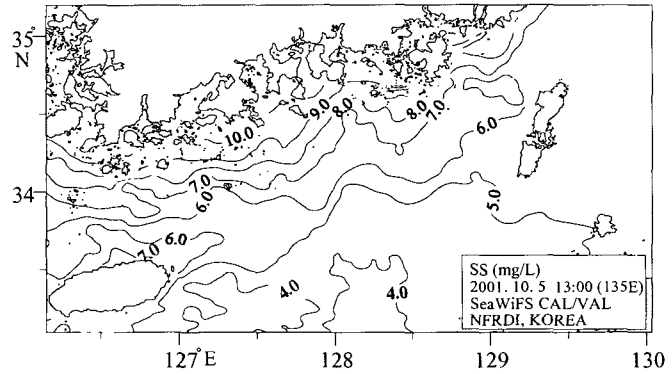


Fig. 8-2. Estimated suspended solid SS (mg/L) distribution from the imagery of the band ratio (nLw490/nLw555) in the southern coastal area of the Korean waters in October 5, 2001.

2) 부유성 고형물질의 정량화 및 분포 특성

2001년 10월 5일 획득된 SeaWiFS 위성자료를 본 연구에서 개발한 부유성 고형물질 추정 알고리즘을 이용하여 한국 남해 주요 어장의 부유성 고형물질 농도를 정량화 하였다 (Fig. 8-2).

고찰

본 연구에서 개발한 한국 연근해 알고리즘을 이용하여 산출한 클로로필 *a* 값과 전지구 알고리즘 (OC 2)으로 구한 값간에는, 동해 근해의 경우 해수특성이 전형적인 Case I에 해당됨으로서 그 오차범위가 단지 0.02~0.04 mg/m³ 정도였다. 그러나 동해 남부 연안역 특히 감포연안에서는 0.08~0.70 mg/m³로 오차가 비교적 크게 나타나 해수의 특성이 Case II water에 근접함을 알 수 있었다.

서해 연근해역의 경우, 서해 연안으로부터 약 150 km 떨어져 있는 황해 중앙부에서는 오차범위가 0.50 mg/m³ 이하로 작았다. 그러나 전형적인 Case II water에 해당하는 서해 연안 100 km 이내의 탁한 해수에서 OC 2 알고리즘으로만 클로로필 *a*를 추정한다면, 0.50~3.00 mg/m³ 정도의 큰 오차가 발생됨을 알 수 있었다.

남해 연안에서도 동해 근해의 맑은 해수에서 클로로필 *a*량을 추정하는 것보다는 비교적 큰 오차범위를 가졌다 (0.50~1.50 mg/m³). 그러나 남해 근해역 (제주도~대마도간 해역 및 그 외해역)에서는 0.10~0.25 mg/m³ 정도의 비교적 작은 오차범위를 보였다. 이러한 결과를 통해 한국 연근해역에서 Case II water의 특성을 나타내는 것으로 추정되는 해역은 서해 100 km 이내의 대부분 연안역과 남해 연안 약 40 km 이내 해역 및 동해남부 장기갑 연안역 30 km 해역이다. 앞으로 이러한 Case II water 특성을 지닌 연안역에서 클로로필 *a*를 추정할 수 있는 알고리즘을 최신화하는 연구 개발이 계속 수행되어야 한다. 특히 공간해상도가 높은 OCM 해수색 위성자료와 현장 클로로필 *a* 측정값 및 SeaWiFS 검보정 위성자료 간의 관계성을 계속 정량화 할 필요가 있다. 이러한 연구결과는 향후 양식어장에서 양식물의 풍도에 영향을 미치는 해양환경 여건을 결정하는데 필수적인 위성 정보 자료로 활용될 것으로 사료된다.

본 연구 수행을 통해 개발된 지역 알고리즘으로 산출한 해수색 요소의 정량화 값들은 한국 근해의 해황 변동과 더불어 지금까지 알 수 없었던 특이 해황의 원인을 규명할 수 있을 것이다. 예를 들면, 본 연구 결과의 활용을 통해 동해북부 원산 근해역에서 개발 발생하는 와동류 (eddy)에 대해 NOAA 위성 관측 수온 값과 정량화된 클로로필 *a* 값을 동시 비교함으로써, 와동류 주변에서 변동하는 생물 및 물리화학적 해양현상을 상세히 파악할 수 있을 것이다 (Fig. 9). 또한 위성자료를 정량화한 본 연구 결과와 NOAA 위성 등을 이용한 한국 근해수온 정보를 겹쳐 분석하는 중첩효과를 얻을 수 있어 (Fig. 10), 향후 어류의 적수온대 중에서도 기초먹이 생물량이 풍부한 해역을 쉽게 탐색하는 등 효율적으로 주요어장을 탐색하고 관리하는데 중요한 위성탐사 실용 기법으로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

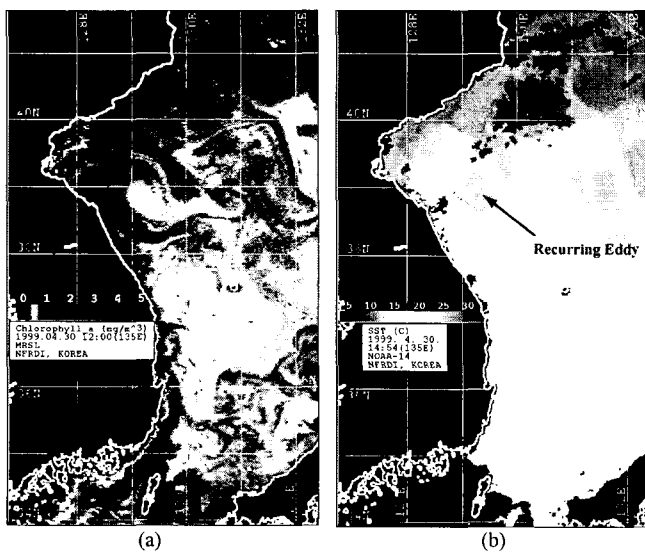


Fig. 9. Surface chlorophyll *a* distribution (a) from SeaWiFS sensor and NOAA/AVHRR SST distribution (b) off the east coast of Korea on April 3, 1999 (Suh et al., 2000).

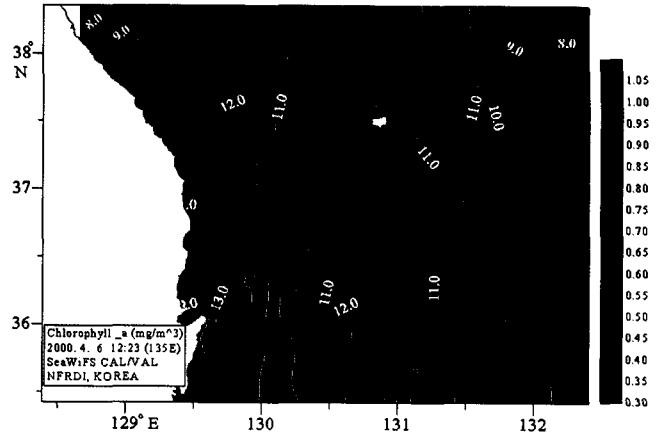


Fig. 10. Map showing the relationship between chlorophyll *a* and SST on April 6, 2000. Isothermal lines were overlaid the color imagery of SeaWiFS CAL/VAL chlorophyll *a*.

감사의 글

본 연구는 1998~2000년 해양수산부 수산특정연구개발사업 "Ocean Color 관측위성을 이용한 한국 연근해 기초먹이생물의 정량화 기술 개발"의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

Clark, G.L., G.C. Ewing and C.J. Lorenzen. 1970. Spectra of back-scattered light from the sea obtained from aircraft as a measure of chlorophyll concentration. *Science*, 167, 1119~1121.

Esaias, W.E., G.C. Feldman, R. Frouin, W.W. Gregg, S.B. Hooker and C.R. McClain. 1995. Goddard Space Flight Center Ocean Color Group, 1995. In *Ocean Color Multisensor Data Evaluation and Utilization Plan*, NASA, 72 pp.

Firestone, E.R. and S.B. Hooker. 1998. SeaWiFS prelaunch technical report series final cumulative index. Vol. 43, *NASA Tech. Memo., TM-1998-104566*, 4~8.

Hovis, W.A. 1981. The NIMBUS-7 Coastal Zone Color Scanner (CZCS) program. In *Oceanography From Space*, J.F.R. Gower, ed. Plenum, New York, pp. 213~225.

McClain, C.R. 1993. Review of major CZCS applications: U.S. case studies. In *Ocean colour: Theory and Applications in a Decade of CZCS Experience*, V. Barale and P.M. Schlittenhardt, eds. ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg, pp. 167~188.

McClain, C.R. 1997. SeaWiFS Bio-Optical Mini-Workshop (SeaBAM).

McClain, C.R., H. Evans, J.W. Brown and M. Darzi. 1995. SeaWiFS quality control masks and flags: Initial algorithms and implementation strategy. Vol. 28, *SeaWiFS Algorithms, Part 1, SeaWiFS Technical Report Series, NASA TM 104566*.

O'Reilly, J.E., S. Maritorena, B.G. Mitchell, D.A. Siegel, K.L. Carder, S.A. Garver, M. Kahru and C.R. McClain. 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *J. Geophys. Res.*, 103, 24,937~24,953.

- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1968. A Practical Handbook of Seawater Analysis, 311p.
- Suh, Y.S., B.G. Mitchell, L.H. Jang, S.G. Lee and S.J. Yoo. 2001. Calibration and validation of ocean color satellite imagery. J. of the Korean Environmental Sciences Society, 10, 431~436 (in Korean).
- Suh, Y.S., L.H. Jang, J.H. Kim, Y.Q. Kang and K.S. Lim. 2000. Study of a recurring anticyclonic eddy off Wonsan coast in Northern Korea using satellite tracking drifter, satellite ocean color and sea surface temperature imagery. J. of the Korean Society of Remote Sensing, 16, 211~220 (in Korean).
- Yentsch, C.S. 1960. The influence of phytoplankton pigments on the colour of seawater. Deep Sea Res., 7, 1~9.
- Yoder, J.A., W.E. Esaias, G.C. Feldman and C.R. McClain. 1988. Satellite ocean color-status report. Oceanogr. Mag., 1, 18~20.
- 해양수산부. 1998. 해양환경공정시험방법, 317p.

2002년 1월 31일 접수

2002년 4월 15일 수리