

[Article]

1998년부터 2003년까지의 8월과 2013년 8월 진해 및 거제 근해와 동해 해역의 적조발생해역에서 측정한 해수의 원격반사도와 엽록소 및 총 부유물의 농도 자료

문정언, 한태현, 김광석, 황득재, 안재현, 최종국, 유주형, 박영제

한국해양과학기술원 해양위성센터

Chlorophyll and Total Suspended Materials Concentrations and Remote Sensing Reflectance Data measured at the Red Tide Area of Jinhae, Geoje, and East Sea during August from 1998 to 2003 and August 2013

Moon Jeong-Eon, Han Tai-Hyun, Kim Kwang-Seok, Hwang Deuk-Jae, Ahn Jae-Hyun, Choi Jong-Kuk, Ryu Joo-Hyung, Park Young-Je

Korea Ocean Satellite Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology

(Received: 3 December 2019, revised: 24 December 2019, accepted: 26 December 2019)

Corresponding author: jemoon@kiost.ac.kr

요약문: 한반도 주변 해역에서 매년 여름철 발생하는 적조에 대하여 해수의 원격반사도와 표층 해수의 엽록소 및 총 부유물 농도를 관측하였다. 관측해역과 일정으로, (1) 1998년 8월, 1999년 8월, 2001년 8월, 2003년 8월에는 진해-거제도 근해에서, (2) 2013년 8월에는 동해 연안에서 현장조사를 수행하였다. 원격반사도는 ASD사의 휴대용 분광계를 사용하여 측정하였다. 엽록소 농도는 분광법으로 분석하였고, 총 부유물 농도는 필터무게 차이 분석법으로 분석하였다. 원격반사도 자료의 검증은 Moon et al.(2012)에 의거하여 처리하였다. 엽록소 농도는 baseline correction 과 파장 750 nm 값 차감을 통해 처리하였고, 총 부유물 농도는 습도 변화량을 고려하여 처리하였다.

주요어: 원격반사도, 적조, 분광계, 엽록소, 총 부유물

Abstract: The chlorophyll and total suspended materials concentrations and remote sensing reflectance data were observed for red tides occurring every summer in waters around the Korean Peninsula. In observation area and date, the field survey were performed (1) in the Jinhae and Geoje coasts during August 1998, August 1999, August 2001, and August 2003, (2) in East Sea coast during August 2013. The remote sensing reflectance data were obtained from portable spectroradiometer. The chlorophyll concentration data were obtained from spectrophotometric

method and the total suspended materials concentration data were obtained from filter-weight difference method. The remote sensing reflectance data were validated using Moon et al.(2012). The chlorophyll concentration data were validated using baseline correction and subtraction of 750 nm value, and the total suspended materials concentration data were validated using variation of humidity.

Keywords: Remote sensing reflectance, Red tide, Spectroradiometer, Chlorophyll, Total suspended Materials

1. 개요

한국해양과학기술원 해양위성센터에서는 “위성에 의한 적조 및 해수 탁도 원격탐사 기술개발”, “정지궤도 해양위성 활용 연구”의 일환으로 1998년 8월, 1999년 8월, 2001년 8월, 2003년 8월, 2013년 8월 진해-거제도 근해와 동해 연안의 적조발생해역에서 해수 표층의 엽록소 및 총 부유물 농도와 원격반사도를 측정하였다. 조사해역은 Fig. 1의 진해-거제도 근해와 Fig. 2의 동해 해역으로 총 106개 정점이다, 2003년까지는 한국해양과학기술원 소속의 연구조사선 올림픽5호를 이용하였고, 2013년에는 동 소속의 연구조사선 장목2호를 이용하였다. 해수의 원격반사도는 ASD사의 휴대용 분광계를 사용하여 측정하였고, 해수 표층의 엽록소 및 총 부유물 농도는 채수기로 표층 해수를 채수하여 여과한 후, 실험실에서 필터시료를 분석하여 산출하였다.

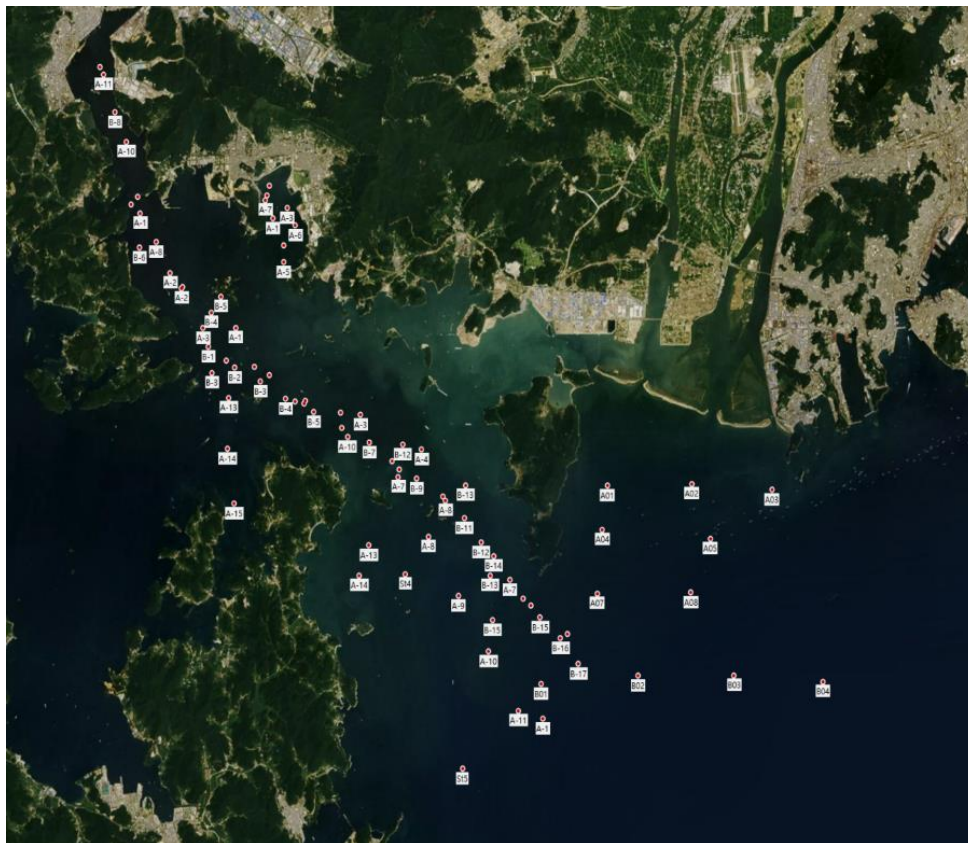


Fig. 1. The observation map shows the points observed in the area (around Jinhae and Geoje) where red tide occurred in August 1998, August 1999, August 2001, August 2003 and August 2013.



Fig. 2. The observation map shows the points observed in the area (around East Sea) where red tide occurred in August 2013.

2. 관측장비 및 측정방법

(1) ASD FieldSpec Pro Dual VNIR Spectroradiometer (휴대용 분광계)

ASD (Analytical Spectral Devices)사의 FieldSpec Pro Dual VNIR Spectroradiometer라는 휴대용 분광계(이하 ASD라 함)의 제원은 Table 1과 같다. 본 장비의 특징은 광학케이블이 두 개 장착되어 있으므로 총 하향광량과 수출광량의 동시 측정이 가능하고, 매년 제조사의 검교정을 받은 관측장비이다.

ASD 광학장비를 이용하여 해수의 원격반사도(remote sensing reflectance) 측정방법(안 등, 1999)은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 해수 표면에서 발생하는 sun glint의 효과를 최소화하기 위하여 선상에서 태양을 바라보고 시계방향으로 135° 되는 방향을 지향한 후, 해수 및 대기의 광량(radiance)를 측정하였다. 총 수출광량(total water leaving radiance, L_{WT} , $W/m^2/nm/sr$) 측정은 관측자의 수직 연장선에 대해서 해수표면에 대한 입사각이 40°가 되도록 센서를 해수표면으로 향하여 측정하였다. 이것은 해수표면 밖에서 해수 수괴의 광량을 측정한 자료인데, 센서와 해수표면 사이의 대기에 의한 광량이 일부 포함되어 있다. 이러한 대기의 광량을 제거하기 위해서, 총 수출광량을 측정한 위치에서 대기에 대하여 지향하는 각이 총 수출광량과 동일한 입사각 40°가 되도록 센서를 잘 지향한 후 측정하였다. 이때 측정된 값을 대기광량(Sky radiance, L_{sky} , $W/m^2/nm/sr$)이라고 한다. 총 하향광량(Downwelling irradiance, E_d , $W/m^2/nm$)을 측정하기 위해서, ASD에서는 Remote Cosine Receptor (RCR)라는 광 센서 창을 이용한다. 이 센서는 해수표면에 대한 반구상태로 입사되는 모든 광량을 측정한다.

Table 1. The specifications of ASD Fieldspec Pro Dual VNIR Spectroradiometer.

Item	Description
Spectral Range	350 - 1050 nm
Spectral Resolution	3 nm @ 700 nm
Sampling Interval	1.4 nm @ 350 - 1050 nm
Scanning Time	Integration times = 2 n x 17 ms for n = 0,1,..., 15
Detectors	Two 512 element Si photodiode array 350 - 1050 nm
Input	Two 1.4 m fiber optic (25° field of view) Optional foreoptics available
Noise Equivalent Radiance (NE_dL)	UV/VNIR 3.7 x 10 ⁻¹⁰ W/cm ² /nm/sr @ 700nm
Weight	14.35 lbs or 6.5 kg
Calibration	Wavelength, reflectance, radiance*, irradiance*. All calibrations are NIST traceable (*radiometric calibrations are optional)
Notebook Computer	1 GHz processor, 256 MB Ram, 20GB Hard Disk Drive, 1024x768 graphics resolution, 24 bit color, bi-directional parallel port, AC/DC adapter/charger, 64 MB USB Flash memory drive

수출광량(water leaving radiance, L_w , W/m²/nm/sr)은 측정할 때 해수표면에 대한 센서의 입사각과 바람에 의해 생성되는 해수표면의 거칠기 등에 의해 생성되는 광량을 총 수출광량에서 제거해주면 된다. 일반적으로 파장에 상관없이 해수표면에 대한 센서의 입사각이 40°일 때, 약 2.5 %의 광량 증가가 발생한다(Kirk, 1994; Mobley, 1999). 따라서 원격 반사도(Remote sensing reflectance, R_{rs})는 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_{wT}(\lambda) - (0.025 \times L_{sky}(\lambda))}{E_d(0^+, \lambda)} [sr^{-1}] \quad (\text{식1})$$

(2) 엽록소 농도(Chlorophyll concentration, CHL, 단위: mg/m³)

엽록소 농도의 분석방법(안 등, 1999)은 표층 해수를 채수 하여 해수여과시스템과 47 mm GF/F를 사용하여 채수한 해수를 여과하였고, 필터의 착색 정도와 여과속도에 의해서 각 정점별 평균 50 mL를 여과하였다. 여과 후의 착색된 필터는 액체질소가 충전된 보관용기에 넣어서 실험실로 운송하였다. 색소를 추출하기 위해서, 90 % 아세톤 10 mL를 사용하였고, 주변 환경 및 잡광에 의한 반응효과를 최소화하기 위하여 호일로 포장하고 약 4 °C 냉장상태에서 24시간 보관하였다. PTFE Membrane syringe filter (필터지름: 25 mm, pore size: 0.45 um)를 사용하여 색소-아세톤 및 필터 혼탁액에서 불순물들을 제거하였다. 이와 같이 추출된 색소-아세톤 혼합액을 1 cm optical cell에 약 3.5 mL 정도 주입한 후, baseline correction이 된 스펙트로포토미터(spectrophotometer)를 이용하여

파장에 따른 엽록소의 optical density (OD)를 측정하였다. 본 연구에 사용된 스펙트로포토미터는 Perkin-Elmer사의 UV/VIS/NIR dual beam spectrophotometer Lambda 19이다. 엽록소 농도 산출식(Jeffrey and Humphrey, 1975)은 다음과 같다.

$$CHL(mg/m^3) = \frac{(11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630}) \times v}{V} \quad (\text{식2})$$

여기서, E_{λ} 는 스펙트로포토미터에서 측정된 파장(λ)에 따른 엽록소의 OD 값, v 는 90 % 아세톤의 사용량(mL), V 는 채수한 해수의 여과량으로 단위는 리터이다.

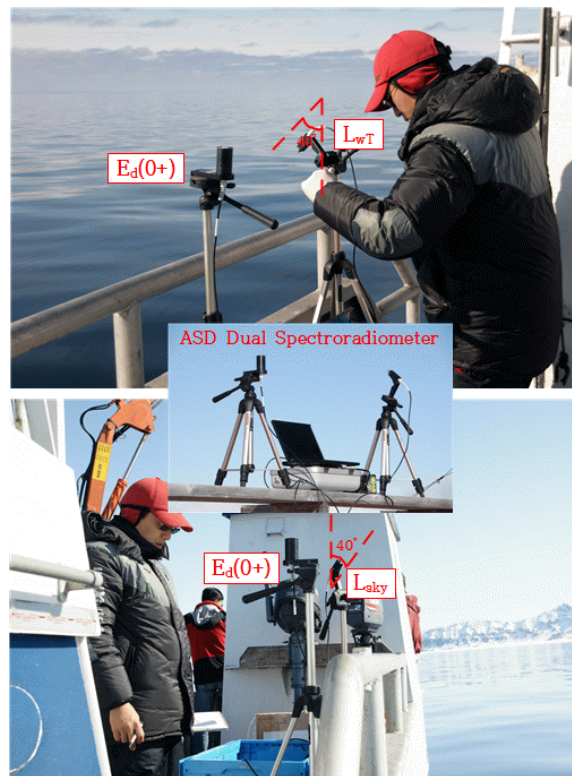


Fig. 3. The picture shows measurements of downwelling irradiance (E_d), sky radiance (L_{sky}), and total water leaving radiance (L_{wT}) using Fieldspec Pro Dual VNIR Spectroradiometer in the field survey.

(3) 총 부유물 농도(Total Suspended Materials concentration, TSM, 단위: g/m^3)

총 부유물 농도의 분석방법(안 등, 1999)은 위의 엽록소 농도 분석방법에서 해수 채수 및 여과 방법은 동일하지만, 사용된 필터는 25 mm GF/F이고 사용하기 전 필터 무게가 측정되었다. 사용된 필터표면에 남아 있는 염분을 제거하기 위해서 증류수 15 mL를 해수 여과 후 헹굼과정으로 사용하였다. 획득한 시료필터들은 냉동보관용기에 넣어서 실험실로 운송하였다. 필터건조는 건조기를 사용하여 60 °C에서 4시간 건조하였다. 저울은 AND사의 GH-202 Semi-micro balance를 사용하였다. 총 부유물 농도 산출은 여과 전 필터무게와 여과 후 필터무게의 차이를 측정하고 여과량을 고려하여 계산하였다.

3. 측정자료

(1) 원격반사도

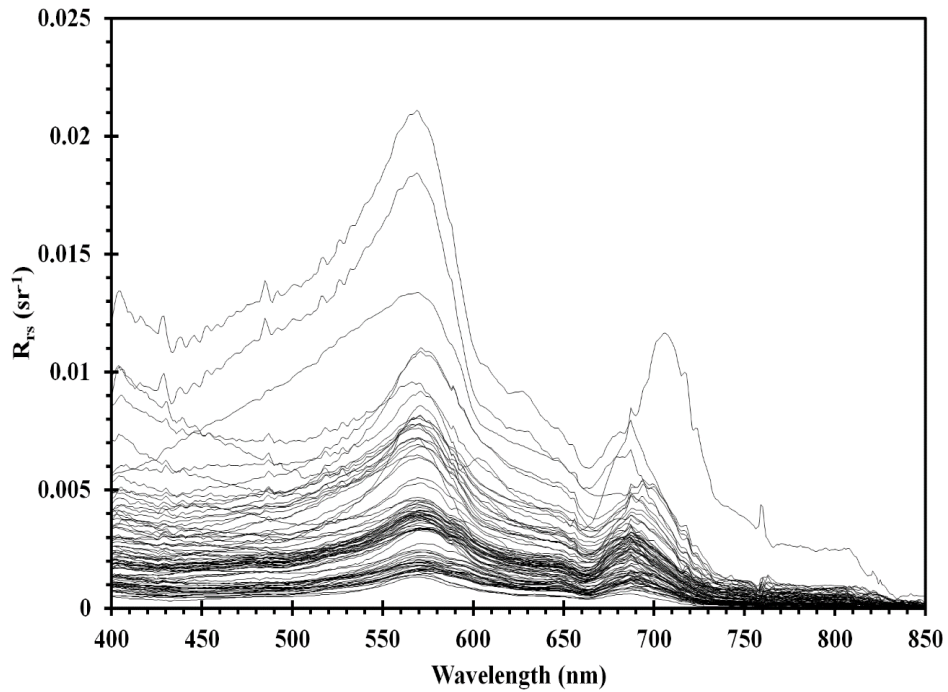


Fig. 4. R_{rs} spectra obtained from ASD portable spectroradiometer in Jinhae and Geoje coasts during August 1998, August 1999, August 2001, August 2003, and August 2013.

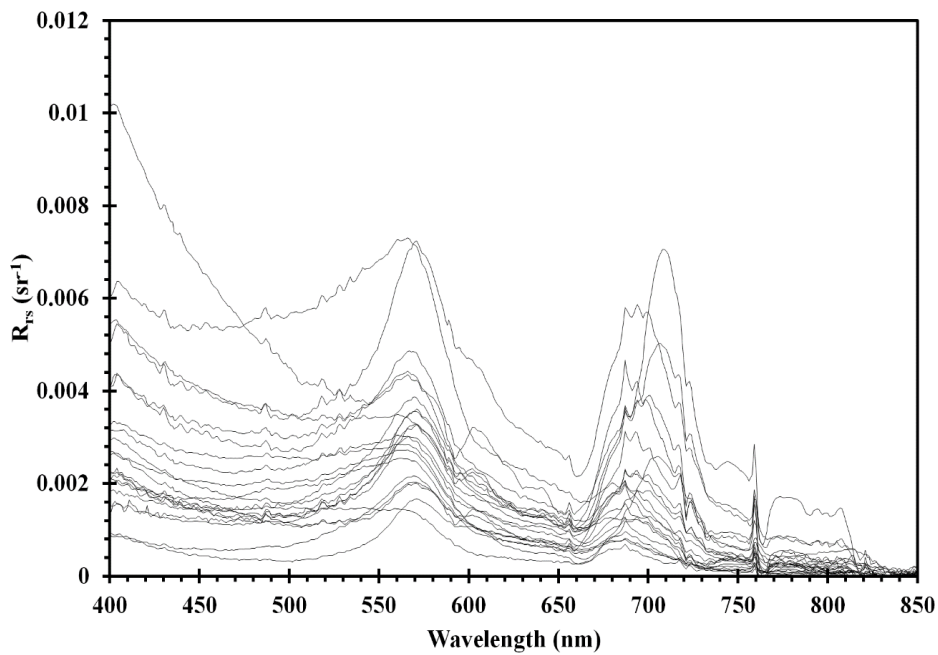


Fig. 5. R_{rs} spectra obtained from ASD portable spectroradiometer in East Sea coast during August 2013.

(2) 엽록소 및 총 부유물 농도

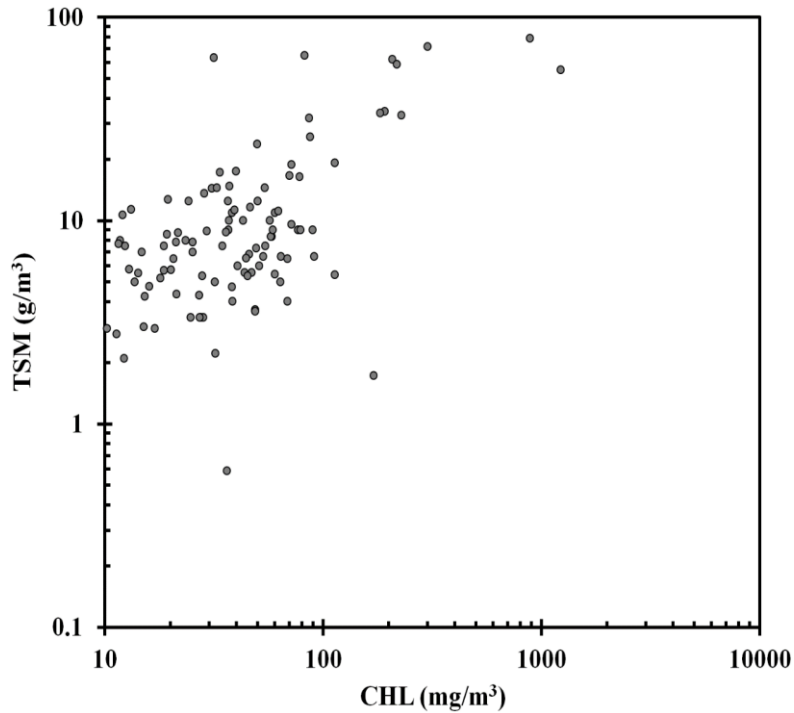


Fig. 6. CHL and TSM obtained from filed survey in Jinhae, Geoje, and East Sea coasts during August 1998, August 1999, August 2001, August 2003, and August 2013.

4. 측정자료의 검증

해수의 원격반사도 자료들에 대한 검증은 Moon et al.(2012)의 논문에 의거하여 처리하였다. 엽록소 농도는 스펙트로포토미터의 baseline용 90% 아세톤을 스캔한 자료와 각 시료별 측정된 파장 750 nm의 측정값으로 검증하였다. 총 부유물 농도는 필터 무게 측정 전과 후의 습도변화를 측정하여 검증하였다.

Table 2. Description of R_{rs} , CHL, and TSM data

Item	Unit	Method	Instrument	Validation (Q/C)
$R_{rs}(\lambda)$	sr^{-1}	Measurement above surface using ship	Fieldspec Pro Dual Vnir spectroradiometer (ASD Co.)	Moon et al.(2012)
CHL	mg/m^3	Spectrophotometric method	Lambda-19 spectrophotometer (Perkin-Elmer Co.)	Baseline correction of 90 % Acetone Subtraction of 750 nm value
TSM	g/m^3	Filter-weight difference method	GH-202 Semi-micro balance (AND Co.)	Humidity change correction

5. 등록자료

등록자료는 1개의 엑셀 파일이고, 파일 내 시트는 총 3개로 진해-거제 근해의 원격반사도 자료, 동해 연안의 원격반사도 자료, 위치 및 날짜 정보와 엽록소 및 총 부유물 농도로 구분된다. 원격반사도 자료 시트들의 1행~3행은 헤더정보이고 4행부터 454행까지 측정 자료가 입력되어 있으며, A열은 파장정보이고 B열부터 마지막 열까지는 각 정점별 측정 자료가 구분되어 있다. 농도 자료 시트의 1행~2행은 헤더정보이고 3행부터 108행까지 각 정점별 측정 자료가 입력되어 있고, A열은 관측날짜, B열은 관측시간, C열은 정점명, D열은 위도, E열은 경도, F열은 엽록소 농도, G열은 총 부유물 농도로 구분되어 있다.

6. 참고문헌

- 안유환 등 (1999) 위성에 의한 적조 및 해수탁도 원격탐사 기술개발. 한국해양연구소, BSPE 98721-00-1224-01, 287pp.
- Ahn, Y.H. and P. Shanmugam (2006) Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 103: 419-437.
- Ahn, Y.H., P. Shanmugam, J.H. Ryu, and J.C. Jeong (2006) Satellite detection of harmful algal bloom occurrence in Korean waters. *Harmful Algae*, 5: 213-231.
- Choi, J.K., J.E. Min, J.H. Noh, T.H. Han, S. Yoon, Y.J. Park, J.E. Moon, J.H. Ahn, S.M. Ahn, and J.H. Park (2014) Harmful algal bloom (HAB) in the East SEa identified by the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Harmful Algae*, 39: 295-302.
- Jeffrey, S.W. and G.F. Humphrey (1975) New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2. *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 167: 194-204.
- Kirk, J.T.O. (1994) Transmission across the air-water interface. In *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems* (pp.40-45), Second edition, Cambridge University Press.
- Mobley, C.D. (1999) Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. *Applied Optics*, 38: 7442-7455.
- Moon, J.E., Y.J. Park, J.H. Ryu, J.K. Choi, J.H. Ahn, J.E. Min, Y.B. Son, S.J. Lee, H.J. Han, and Y.H. Ahn (2012) Initial Validation of GOCI Water Products against in situ Data Collected around Korean Peninsula for 2010-2011. *Ocean Science Journal*, 47: 261-277.
- Noh, J.H., W.K. Kim, S.H. Son, J.H. Ahn, and Y.J. Park (2018) Remote quantification of *Cochlodinium polykrikoides* blooms occurring in the East Sea using geostationary ocean color imager (GOCI). *Harmful Algae*, 73: 129-137.

7. 메타데이터

구분	필드명	하위카테고리#1	하위카테고리#2	설명	비고	
필수	Title	적조발생해역	원격반사도 엽록소 농도 총 부유물 농도	데이터 제목		
	*DOI name			DOI name		
	*Category	현장자료		ISO 19115 Topic Category		
	Abstract			요약 설명		
	*Temporal Coverage	2001-08-28			취득일	
		1998-08-26 ~ 1998-08-28			취득기간	
		1999-08-09 ~ 1999-08-10				
		2003-08-05 ~ 2003-08-06				
		2013-08-06 ~ 2013-08-13				
	*Spatial Coverage	1. 진해-거제 근해 2. 동해 남부 해역			주소	
1. 위도 34.7 °N ~ 35.4 °N, 경도 128.3 °E ~ 129.2 °E 영역		점 (point)		공간정보 (WGS84 권고)		
2. 위도 35.4 °N ~ 37.2 °N, 경도 129.2 °E ~ 130.4 °E 영역		선 (line)		공간정보 (WGS84 권고)		
*Personnel	문정연/해양과기원	문정연		등록자 이름		
		한국해양과학기술원 해양위성센터		소속		
		jemoon@kiost.ac.kr		이메일 주소		
*License				CC 라이선스 중 선택		
선택	*Project	1. 위성에 의한 적조 및 해수 탁도 원격탐사 기술개발 2. 정지궤도 해양위성 활용 연구		수행과제명		
	*Instrument	1. Spectroradiometer 2. Spectrophotometer 3. Balance	1. ASD Fieldspec Pro Dual VNIR 2. Perkin-Elmer Lambda-19 3. AND GH-202 Semi-micro balance	수집 장비 개요 (제조사, 모델명, 분해능 등)		