| | | | |
|---|---|---|---|
| KOSC KOREA OCEAN SATELLITE CENTER | GDPS | Doc. No GDPS- ATBD-020-01 | |
| | | Software version : 2.0 | Revision: 1 |
| | | Date : 30 Jun., 2017 | |

# GOCI Level 2 Ocean Color Products (GDPS 2.0)

# Brief Algorithm Description

## - GDPS Algorithm Theoretical Basis Documents (ATBD) 2.0 -


*Principal Investigator:*

Young-Je Park

*Contributors*

Heejeong Han, Hyun Yang, Jaehyun Ahn, Boram Lee, and Wonkook Kim

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


June , 2017

# 알림

이 알고리즘 설명 문서에는 GDPS v2.0 해색 산출 알고리즘 중 업데이트된 내용만 포함하고 있으며, 이외의 산출물에 대한 설명은 GDPS ATBD v1.3을 참조하기 바람.

# 1. GDPS v.2.0 대기보정 시스템 업데이트

## 목차


1. 대기보정 알고리즘 요약
2. 업데이트 1: 대기 수증기 흡광 보정
3. 업데이트 2: 에어로졸 다중 광 산란 보정
4. 업데이트 3: 시스템 대리교정 재 수행
5. 검증결과
6. 참고문헌



알고리즘 문의 관련 연락처:
안재현 / 해양위성센터 / 한국해양과학기술원
E-mail: brtnt@kiost.ac.kr


1. 대기보정 알고리즘 요약

위성을 통해 엽록소 농도, 총 부유사 농도 등 해양의 환경정보를 추정하기 위해서는 해양의 광 스펙트럼 정보가 필요하다. 위성에서 관측된 대기상층휘도($L_{TOA}$)로부터 대기의 영향을 제거하고 해수원격반사도($R_{rs}$)를 얻기 위해서는 대기보정과정을 거치게 된다. 천리안 해양위성의(Geostationary Ocean Color Imager: GOCI) 대기보정은 SeaWiFS &MODIS를 위해 개발 된 NASA 표준 대기보정 방법(Gordon and Wang, 1994; Wang and Gordon, 1994)에 이론적인 기반을 두고 있으며, GOCI를 위해 부분적으로 수정되어 지속적으로 연구 및 개발되고 있다(Ahn et al., 2012; Ahn et al., 2015; Ahn et al., 2016). 본 문서에서는 GOCI 자료처리시스템(GOCI data processing system: GDPS)에의 마지막 대기보정 업데이트 버전인 1.3버전 대비 2.0버전의 대기보정 알고리즘 보완내역 및 정확도에 관하여 기술하였다.

대기보정은 첫 단계로 식(1)과 같이 각각의 파장 $\lambda$에 대한 대기상층 휘도($L_{TOA}$)를 가스 흡광 및 대리교정 상수($g_{vc}$)가 적용된 대기상층 반사도($\rho_{TOA}^{corr}$)로 변환하는 과정을 거친다.

$$\rho_{TOA}^{corr}(\lambda) = \frac{\pi L_{TOA}(\lambda) g_{vc}(\lambda)}{f_s F_0(\lambda)\cos(\theta_s) tg_s(\lambda) tg_v(\lambda)}, \quad (1)$$

여기서 $f_s$는 평균 지구-태양 거리 대비 현재 지구-태양 거리 비, $F_0$는 지구 대기 밖 태양 복사 휘도이다. 또, $tg_s$ 와 $tg_v$ 는 각각 태양-해수표면 대기 가스 투과도와 해수표면-위성 대기 가스 투과도이다.

해수표면의 태양광 직접반사나 백파에 의한 영향을 무시할 경우 대기 상층 반사도 $\rho_{TOA}^{corr}$는 식(2)와 같이 해수반사도와 대기 반사도 신호로 구성되며,

$$\rho_{TOA}^{corr}(\lambda) = \rho_{am}(\lambda) + \rho_r(\lambda) + td_v(\lambda)\rho_w(\lambda) + td_v(\lambda)\rho_w(\lambda), \quad (2)$$

여기에서 대기 중 분자입자 광 산란(Rayleigh산란) 반사도($\rho_r$), 대기 중 에어로졸 다중 광산란 반사도($\rho_{am}$), 해수표면-위성 대기 확산 투과도($td_v$)를 알면 대기의 영향이 제거된 해수반사도 분광 스펙트럼 $\rho_w(\lambda)$을 구할 수 있다. 해수반사도는 태양-위성 기하각에 따라 그 크기와 스펙트럼 모양이 바뀌기 때문에 식(3)과 같이 현재 위성-태양 관측기하각 대비 $\theta_s$=0, $\theta_v$=0 관측기하학 방향성 보정 계수($f_b$)와 태양-해수표면 대기 확산 투과도($td_v$)를 적용하여 해수원격반사도 $R_{rs}$를 계산해낸다.

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{f_b \rho_w(\lambda)}{\pi\, td_s(\lambda)}, \quad (3)$$

**표 1**. 약호 및 기호 표기

| 약호 및 기호 | 설명 |
|---|---|
| $\lambda$ | : 파장 |
| $\theta_s$ | : 태양 천정각 |
| $\theta v$ | : 위성 천정각 |
| $\phi_{s\text{-}v}$ | : 위성-태양 상대방위각 |
| $g_{vc}$ | : 대리교정 상수 |
| $L_{TOA}$ | : 대기 상층 (top-of-atmosphere) 위성관측 휘도 |
| $\rho_{TOA}^{corr}$ | : 대기 가스 흡광이 보정된 대기상층 반사도 |
| $F_0$ | : 지구 대기 밖 태양 복사 휘도 (태양상수) |
| $f_s$ | : 평균 지구-태양 거리 대비 현재 지구-태양 거리 비 |
| $tg_s$ | : 태양-해수표면 대기 가스 투과도 |
| $tg_v$ | : 해수표면-위성 대기 가스 투과도 |
| $tg_s^{oz}, tg_v^{oz}$ | : 순서대로 대기 중 오존에 의한 $tg_s$ 및 $tg_v$ |
| $tg_s^{wv}, tg_v^{wv}$ | : 순서대로 대기 중 수증기에 의한 $tg_s$ 및 $tg_v$ |
| $td_s$ | : 태양-해수표면 대기 확산 투과도 |
| $td_v$ | : 해수표면-위성 대기 확산 투과도 |
| $R_{rs}$ | : $\theta_s$=0, $\theta_v$=0 및 대기가 없는 조건의 해수표면 위 해수원격반사도 |
| $\rho_w$ | : 해수표면 위 해수 반사도 |
| $f_b$ | : 현재 위성-태양 관측기하각 대비 $\theta_s$=0, $\theta_v$=0 관측기하학 원격반사도 보정 계수 |
| $\rho_r$ | : 대기 분자입자에 의한 광 다중산란 반사도 |
| $\rho_{am}$ | : 대기 분자입자가 있는 상태에서 대기 에어로졸입자에 의한 광 다중산란 반사도 |

## 2. 업데이트 1: 대기 수증기 흡광 보정

대기 가스 흡광 투과도 $tg_v$와 $tg_s$는 아래 식(4)와 같이 오존에 의한 하향 및 상향 흡광(각각 $tg_s^{oz}, tg_v^{oz}$)에 의한 투과도와 수증기에 의한 하향 및 상향 흡광(각각 $tg_s^{wv}, tg_v^{wv}$)에 의한 투과도로 구

성된다

$$tg_v(\lambda) = tg_v^{oz}(\lambda) tg_v^{wv}(\lambda), \tag{4}$$

$$tg_s(\lambda) = tg_s^{oz}(\lambda) tg_s^{wv}(\lambda), \tag{5}$$

GOCI센서의 경우 분광 파장대 응답특성이(spectral response function) 수증기 흡광 파장대를 피하여 설계되었고 이를 이유로 기존 대기보정에서는 수증기 흡광에 의한 영향을 고려하지 않았다. 하지만, 그림(1)과 같이 파장 외 응답특성에서 수증기 흡광의 영향이 발생한다. 본 업데이트에서는 복사전달 시뮬레이션 기반 통계자료를 바탕으로 아래의 수증기 흡광 모델이 식(6, 7) 및 표(2)와 같이 추가적으로 구현되었다.

$$tg_v^{wv}(\lambda) = \exp\left[-\exp\left\{a_n \sum_{n=0}^{2} \ln\left(\frac{w}{\cos\theta_v}\right)^n\right\}\right], \tag{6}$$

$$tg_s^{wv}(\lambda) = \exp\left[-\exp\left\{a_n \sum_{n=0}^{2} \ln\left(\frac{w}{\cos\theta_s}\right)^n\right\}\right]. \tag{7}$$

**표 2.** 수증기 흡광 모델(식 6)의 계수.

| | $a_0$ | $a_1$ | $a_2$ |
|---|---|---|---|
| **660 nm** | -5.5653 | 1.0225 | -0.0568 |
| **745 nm** | -5.3522 | 1.0039 | -0.0494 |
| **865 nm** | -6.3173 | 0.8816 | -0.0243 |

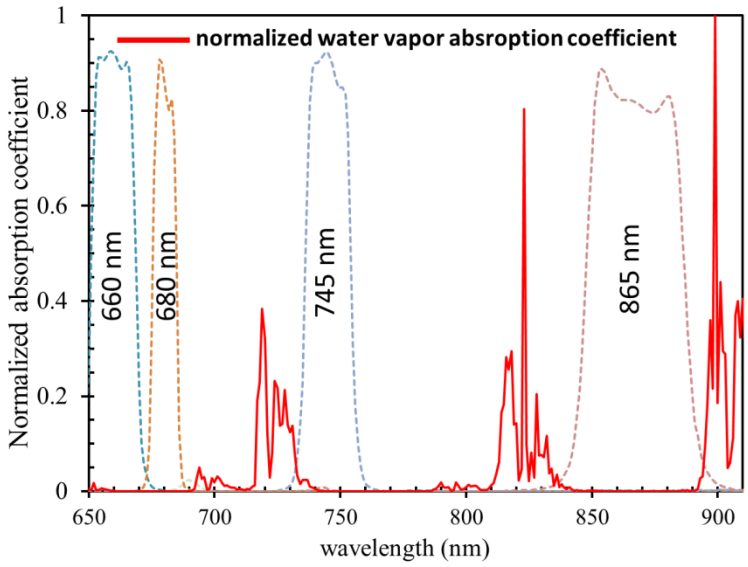


**그림 1.** 정규화된 수증기 흡광계수 스펙트럼과(붉은 실선)과 적색 및 근적외 파장대의 GOCI 분광응답특성 그래프 (점선).

3. 업데이트 2: 에어로졸 다중 광 산란 보정

에어로졸 다중 광 산란 반사도를 보정하기 위해서는 에어로졸 광두께와 에어로졸 유형구분 정보가 필요하다. GOCI를 포함한 일반적인 해색 대기보정 알고리즘의 경우 해수반사도가 0에 가까운 두 NIR파장대의 관측을 통하여 에어로졸 유형과 광두께를 추정한다. 본 업데이트에서는 에어로졸 산출 알고리즘을 기존 Gordon and Wang (1994)와 Wang and Gordon (1994) 방법에서 Ahn et al. (2016)방법으로 변경하였다.

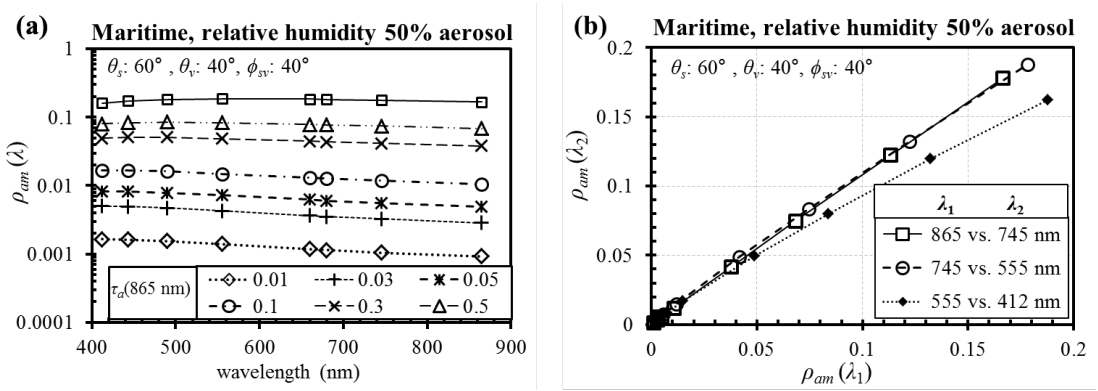


**그림 2**. 865 nm 에어로졸 광두께 범위 0.01~1.2에서의 해양성 에어로졸 다중 광 산란 반사도 스펙트럼 (a)와 파장 별 상관관계 (b).

Ahn et al. (2016) 방법에서는 그림(2)와 같이 에어로졸의 다중 광산란 반사도의 파장 별 상관관계를 이용하여 에어로졸의 유형 및 광두께 정보를 우선 계산하고 NIR파장에서 가시광 파장으로 에어로졸 반사도를 외삽한다. 반사도 상관관계 모델은 여러 경우의 복사전달 시뮬레이션 결과 통계자료를 바탕으로 표 3과 같은 다항식 차수로 구축되었다.

**표 3.** 구축된 에어로졸 다중 광산란 반사도 상관관계 모델의 파장 별 다항식 차수.

| 파장$_1$, $\lambda_1$ (nm) | 865 | 745 | 745 | 745 | 555 | 555 | 555 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 파장$_2$, $\lambda_2$ (nm) | 745 | 680 | 660 | 555 | 490 | 430 | 412 |
| 차수, $D$ | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| $R^2$ 최소값 | 0.99978 | 0.99995 | 0.99996 | 0.99999 | 0.99994 | 0.99996 | 0.99998 |

본 방법은 에어로졸의 다중 광산란 반사도 계산 시 기존 Gordon and Wang (1994) 및 Wang and Gordon (1994) 방법보다 상대적으로 작은 입자크기를 에어로졸 유형에서 (연안 및 대류권 에어로졸 모델) 더 정확한 성능을 보여준다 (Ahn et al., 2016).

마지막으로 기존 대기보정에서 사용된 후보 에어로졸 유형은 상대습도 99, 50%의 해양성 에어로졸, 상대습도 50%의 연안성 에어로졸의 3가지였다 (Shettle and Fenn, 1979 기반). 본 업데이트에서는 기존 3가지 에어로졸 유형에서 상대습도99%의 바다 입자(oceanic), 상대습도 98, 95, 90, 80, 70, 50%의 해양성 입자(maritime), 상대습도 70, 50%의 연안성 입자, 상대습도80, 50%의 대류

성 입자의 11가지 에어로졸 유형(Shettle and Fenn, 1979)으로 개수가 확장되었다.

4. 업데이트 3: 시스템 대리교정 재 수행

대기보정 및 복사보정 시스템과 실제 관측과의 차이를 좁혀 주기 위하여 GOCI를 비롯한 대부분의 해색센서들은 시스템 대리교정(system vicarious calibration: SVC)이라는 일종의 복사보정을 수행하여 대리교정 상수($g_{vc}$)를 업데이트 한다. GOCI의 SVC 방법은 Franz et al. (2007)에 이론적인 기반을 두고 있으며 GOCI 관측영역의 특성을 반영하여 부분적으로 변경되었다 (Ahn et al., 2015). 대리교정 상수는 대기보정이나 복사보정 방법이 변경될 때마다 업데이트 되어야 하며 GDPS v.2.0에서의 대리교정 상수는 표 4와 같다.

**표 4.** GOCI 밴드 별 대리교정 상수

| **wavelength (nm)** | **412** | **443** | **490** | **555** | **660** | **680** | **745** | **865** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **GDPS v.1.3** | 1.0118 | 0.9954 | 0.9715 | 0.9343 | 0.9596 | 0.9669 | 0.9613 | 1.0 |
| **GDPS v.2.0** | 1.0053 | 0.9911 | 0.9681 | 0.9694 | 0.9739 | 0.9776 | 0.9893 | 1.0 |

5. 검증결과

GOCI대기보정 성능 평가를 위하여 2010년부터 2016년까지 한국해양과학기술원의 현장조사 캠페인을 통해 수집된 $R_{rs}$자료와 NASA의 AERONET-OC를 통해 수집된 $R_{rs}$자료가 사용되었다. 평가지표로는 다음의 식(7)과 같이 APD (absolute percentage deviation)이 사용되었다.

$$\mathrm{APD}\ (\%) = \frac{100}{K}\sum_{n=1}^{K}\left(\frac{\left|R_{rs}^{in\,situ} - R_{rs}^{GOCI}\right|}{R_{rs}^{in\,situ}}\right). \tag{8}$$

검증 결과 그림 3과 같이 GDPS v.1.3과 비교했을 시 $R_{rs}$산출 정확도가 8% 이상 향상되었으며, 특히 적색 파장대인 660, 680 nm에서 정확도가 약 15%정도로 더 향상되었다.

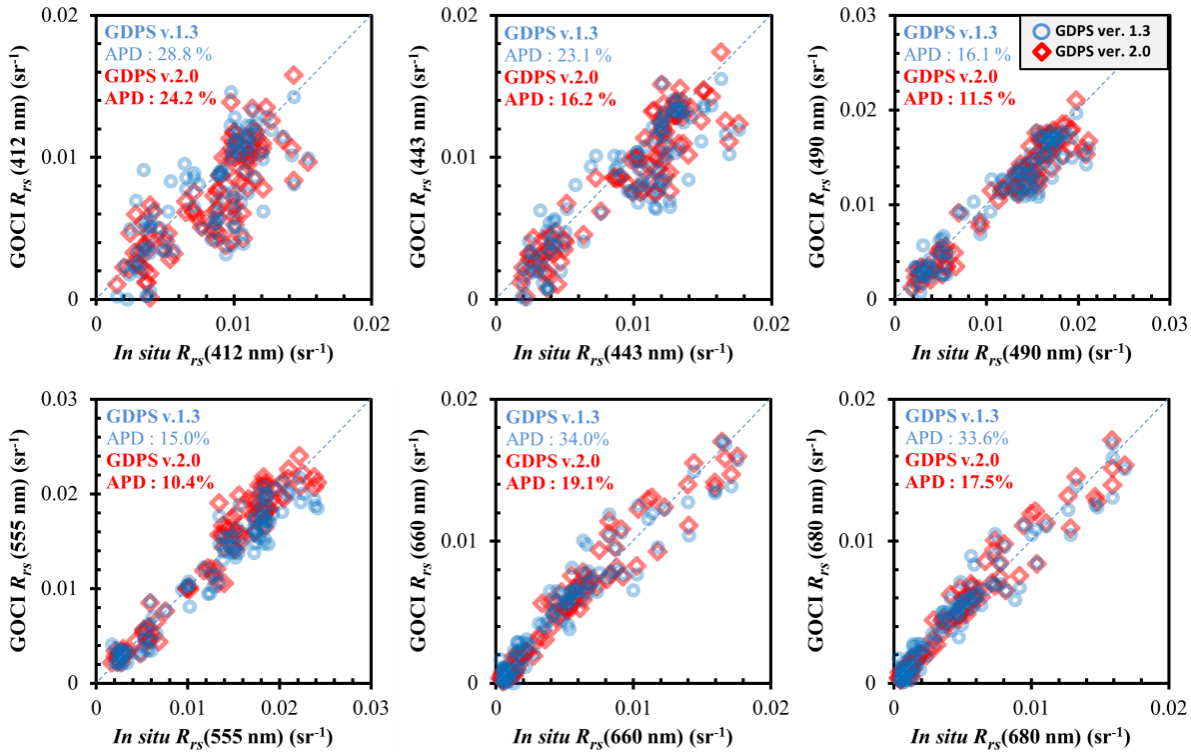


**그림 3**. 해양과학기술원 현장 조사 및 AERONET-OC를 통해 수집된 현장 $R_{rs}$측정자료를 이용한 GOCI 대기보정 검증 결과. .

## 6. 참고문헌 (APA로 표기)


Ahn, J. H., Park, Y. J., Ryu, J. H., & Lee, B. (2012). Development of atmospheric correction algorithm for Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Ocean Science Journal*, *47*(3), 247-259.

Ahn, J. H., Park, Y. J., Kim, W., & Lee, B. (2015). Vicarious calibration of the geostationary ocean color imager. *Optics express*, *23*(18), 23236-23258.

Ahn, J. H., Park, Y. J., Kim, W., & Lee, B. (2016). Simple aerosol correction technique based on the spectral relationships of the aerosol multiple-scattering reflectances for atmospheric correction over the oceans. *Optics Express*, *24*(26), 29659-29669.

Franz, B. A., Bailey, S. W., Werdell, P. J., & McClain, C. R. (2007). Sensor-independent approach to the vicarious calibration of satellite ocean color radiometry. *Applied optics*, *46*(22), 5068-5082.

Gordon, H. R., & Wang, M. (1994). Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. *Applied optics*, *33*(3), 443-452.

Wang, M., & Gordon, H. R. (1994). A simple, moderately accurate, atmospheric correction algorithm for SeaWiFS. *Remote Sensing of Environment*, *50*(3), 231-239.

Shettle, E. P., & Fenn, R. W. (1979). *Models for the aerosols of the lower atmosphere and the effects of humidity variations on their optical properties* (No. AFGL-TR-79-0214). AIR FORCE GEOPHYSICS LAB HANSCOM AFB MA.

# 2. GDPS v.2.0 엽록소 농도 산출물

## 목차


7. 산출물 설명
8. 엽록소 알고리즘
9. 검증결과
10. 참고문헌



알고리즘 문의 관련 연락처:
김원국 / 해양위성센터 / 한국해양과학기술원
E-mail: wkkim@kiost.ac.kr


7. 엽록소 농도

엽록소 농도란 식물성 플랑크톤 내에 존재하는 색소인 Chlorophyll-a의 양을 나타내는 것으로, 해수 표층에서 단위 부피당 색소 무게로 표시된다 (일반적으로 mg/m$^3$ 또는 μg/L로 표시).

2. 엽록소 농도 추정 알고리즘

위성 광학자료로부터 엽록소 농도를 추정함에 있어서 다양한 접근방식이 있지만, 전통적으로 밴드간 해수반사도의 비 (band ratio)를 이용하여 엽록소 농도를 추정하는 경험적 방법이 1차적으로 많이 사용되어 왔다. 청색과 녹색의 밴드비 (blue-to-green band ratio)를 이용하는 OCx 알고리즘은 식물성 플랑크톤의 흡광이 전체 광학적 특성을 지배하는 해수에서 효과적이었으며, 주로 대양에서 획득한 현장 엽록소 농도자료와의 비교를 통해 검증이 되었다 (O'Reilly et al. 1998). 그 중 3개의 청녹 밴드를 이용하는 OC3 알고리즘의 기본 형태는 아래와 같다.

$$\mathrm{X} = \max(R_{rs}(443), R_{rs}(490)) / R_{rs}(555),$$

$$log_{10} C_{OC3} = m_0 + m_1 X + m_2 X^2 + m_3 X^3 + m_4 X^4,$$

X는 최대 밴드비 (maximum band ratio), $C_{OC3}$는 추정된 엽록소 농도, 그리고 $m_0, m_1, m_2, m_3, m_4$는 알고리즘 계수로써 위성 센서마다 밴드별 spectral response function이 다른 관계로 다소간 다른 계수가 쓰이게 된다. GOCI GDPS2.0에서는 한반도 주변의 현장 관측자료와 GOCI자료의 비교를 통해 얻어진 계수인 (0.0831, −1.9941, 0.5629, 0.2944, −0.5458)가 채용되어 있다 (Kim et al., 2016).

8. 검증결과

GOCI OC3 알고리즘의 계수 획득을 위해 2010년부터 2014년까지 한국해양과학기술원의 선박 현장조사를 통해 수집된 해수반사도($R_{rs}$) 와 현장 엽록소 농도자료가 사용되었고, 엽록소가 광특성을 지배하는 Case-1 해역에서의 성능은 다음과 같다. 총 46개의 match-up자료를 이용한 검증 결과는, 추정의 산도(scatter)를 나타내는 APD는 약 35%, 편차(bias)를 나타내는 RPD는 1%, 상관계수는 0.72이고, GOCI추정치:현장관측치 비율의 중앙값은 0.96이며, semi inter-quantile range (SIQR)은 0.3으로 나타났다 (표1).

**표 1**. 해양과학기술원 현장 선박조사를 통해 수집된 현장 엽록소 농도와 GOCI OC3 알고리즘을 통해 추정된 엽록소농도를 비교한 결과.

| APD | RPD | Corr | RMSD | N | Ratio | SIQR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 1 | 0.72 | 0.96 | 46 | 0.96 | 0.30 |

$$APD = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n} \left| \frac{CHL_i^{algo} - CHL_i^{insitu}}{CHL_i^{insitu}} \right|$$

$$RPD = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n} \frac{CHL_i^{algo} - CHL_i^{insitu}}{CHL_i^{insitu}}$$

현장조사 기간에 Case-1 해역에서 얻어진 현장관측 생지화학적 변수는 표2에 제시되었다. 엽록소 농도는 약 1 mg/m$^3$, SPM은 0.4 g/m$^3$, 440 nm에서의 유색용존유기물(CDOM) 흡광계수는 0.08이었고, 엽록소와 SPM은 통계적으로 유의미한 상관관계가 없었던 반면(R=0.33), 많은 Case-1해역에서 나타나는 것과 유사하게 엽록소와 CDOM사이의 상관관계는 높지는 않지만(R=0.49) 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

**표 2**. 현장에서 관측된 생지화학적 변수와 상관관계

| | Mean | S.D. |
|---|---|---|
| CHL (mg/m$^3$) | 0.99 | 1.03 |
| SPM (g/m$^3$) | 0.40 | 0.05 |
| $a_{CDOM}(440)$ (m$^{-1}$) | 0.080 | 0.045 |
| Corr(CHL, SPM) | 0.33 | |
| Corr(CHL, $a_{CDOM}(440)$) | **0.49** | |
| N | 85 | |

## 9. 참고문헌

O'Reilly, J. E., Maritorena, S., Mitchell, B. G., Siegel, D. A., Carder, K. L., Garver, S. A., ... & McClain, C. (1998). Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *103*(C11), 24937-24953.

Kim, W., Moon, J. E., Park, Y. J., & Ishizaka, J. (2016). Evaluation of chlorophyll retrievals from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) for the North-East Asian region. *Remote Sensing of Environment*, *184*, 482-495.

# GDPS v.2.0 $K_d$(490) 알고리즘 업데이트

## 목차


11. $K_d$ (490) 알고리즘 요약
12. 알고리즘 정확도 검증
13. 업데이트 사항
14. 참고문헌



알고리즘 문의 관련 연락처:
이보람 / 해양위성센터 / 한국해양과학기술원
E-mail: brlee254@kiost.ac.kr


10. 요약


하향 확산 감쇠계수($K_d$)는 수심에 따라 빛의 흡광($a$) 및 산란($b$)에 의해 하향 복사조도($E_d$) 가 감소되는 정도를 나타낸다. 일반적으로 하향 복사조도는 수심에 따라 지수 함수적 감소 특성을 보인다고 알려져 있으며(Kirk, 1983) 식 (1)과 같이 표현된다.

$$E_d(z) = E_d(0)\,e^{-K_d z}. \quad (1)$$

광학 위성 영상에서 산출되는 $K_d$ 알고리즘은 반 분석적 알고리즘과 경험적 알고리즘 등으로 구분되는데 반 분석적 알고리즘은 해수의 흡광 및 산란과 같은 광학적 특성 값을 계산한 후 $K_d$ 값을 산출하는 방법(Lee et al., 2005b)이며 경험적 알고리즘은 지역적으로 적합한 회귀 식을 사용하여 원격반사도 또는 식물성플랑크톤 농도를 통해 $K_d$ 값을 계산하는 방법(Mueller et al., 2000, Morel et al., 2007a)이다. GOCI 자료처리시스템(GOCI data processing system: GDPS)에는 참조된 세 개의 알고리즘이 실려있다. 최근 들어 맑은 해역과 탁한 해역을 적절하게 고려한 알고리즘(Wang et al., 2009)이 개발되었으며 본 문서에서는 Mueller, Wang 그리고 Lee 논문에서 소개된 방법을 통해 산출되는 $K_d$ 알고리즘의 정확도를 평가하고 이에 따른 이전 버전 대비 업데이트 사항에 관하여 기술하였다.


**표 1.** 약호 및 기호 표기

| 약호 및 기호 | 설명 |
|---|---|
| $\lambda$ | : 파장 |
| $E_d$ | : 하향 복사조도 |
| $a$ | : 흡광계수 |
| $b$ | : 산란계수 |

$R_{rs}$ : 원격반사도

11.알고리즘 정확도 검증

GDPS에 실린 각 알고리즘에 대한 정확도 검증을 수행하였다. 첫 번째로 현장 관측 자료를 통해 알고리즘의 자체적인 성능을 확인하였으며 GOCI $R_{rs}$를 통해 계산되는 각 알고리즘에 대한 $K_d$ 값의 정확도를 검증하였다. 현장 관측 자료는 한국해양과학기술원에서 측정된 자료 중 2013년도부터 2016년도 사이 가용 가능한 $K_d$와 $R_{rs}$를 수집하여 활용하였다. 평가 지표는 MNGE(Mean Normalized Gross Error)와 MNE(Mean Normalized Bias)가 사용되었으며 이에 따르는 수식은 식 (2)와 (3)에 나타내었다.

$$\mathrm{MNGE}(\%) = n^{-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{|K_d^{in\ situ} - K_d^{algorithm}|}{K_d^{in\ situ}}\right), \quad (2)$$

$$\mathrm{MNE}(\%) = n^{-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{K_d^{in\ situ} - K_d^{algorithm}}{K_d^{in\ situ}}\right). \quad (3)$$

현장 측정된 $R_{rs}$를 각 알고리즘의 입력 값으로 사용하여 계산된 $K_d$ (490)을 현장에서 직접 측정된 $K_d$ (490)와 비교하는 과정을 통해 알고리즘의 성능을 평가하였다. 그림 1은 각 알고리즘에 대한 산포도를 나타내며 MNGE는 Lee (16.4%), Mueller (34.4%), Wang (22.1%) 로 도출되었으며 MNB는 Lee (7.7%), Mueller (13.6%), Wang (-6.4%) 로 도출되어 Lee 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보였다.

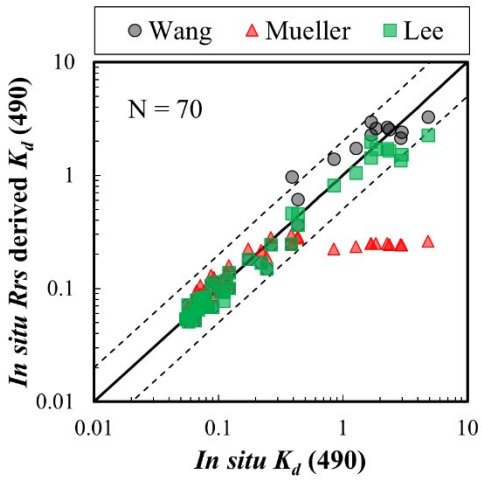


**그림 1.** 현장 관측 원격반사도 자료를 통해 계산된 각 알고리즘의 $K_d$ (490)과 현장 측정된 $K_d$ (490)의 비교

세 알고리즘을 GOCI 자료에 적용 후 검증한 결과는 그림 2에서 제시되었다. MNGE는 Lee (26.5%), Mueller (68.8%), Wang (33.6%) 로 도출되었으며 MNB는 Lee (-1.9%), Mueller (-9.8%), Wang (-

28.3%)으로 현장 자료 기반의 결과에 비해 다소 높은 MNGE 값을 나타내었으나 각 알고리즘에 대한 산포도 패턴이 그림 1과 비슷하게 나타나는 것을 확인하였다.

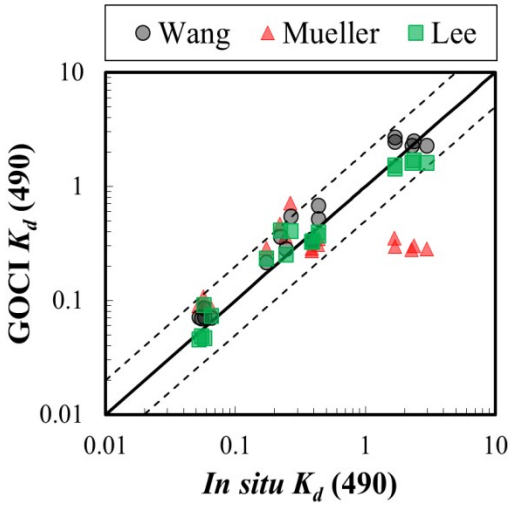


**그림 2.** GOCI 원격반사도 자료를 통해 계산된 각 알고리즘의 $K_d$ (490)과 현장 측정된 $K_d$ (490)의 비교

12. 업데이트 사항: $K_d$(490) 기본 알고리즘 변경

사용자가 GDPS의 Level 2 산출물을 계산하는 과정에서 Set Analysis Mode 부분을 변경하지 않고 $K_d$(490)을 계산하는 경우 Mueller 방법이 기본 알고리즘으로 적용된다. 이에 따라 본 문서에서 제시된 정확도에 따라 Lee의 알고리즘이 기본 방법으로 적용되도록 GDPS를 수정하였다.

13. 참고문헌


Lee, Z. P., Du, K., & Arnone, R. (2005b). A model for the diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance. Journal of Geophysical Research, 110, C02016.

Morel, A., Gentili, B., Claustre, H., Babin, M., Bricaud, A., Ras, J. (2007a). Optical properties of the "clearest" natural waters. Limnology and Oceanography, 52(1), 217–229.

Wang, M., Son, S., & Harding, W., Jr. (2009). Retrieval of diffuse attenuation coefficient in the Chesapeake Bay and turbid ocean regions for satellite ocean color applications. Journal of Geophysical Research, 114, C10011.