

# Inherent Optical Properties

G2GS

Exported on Feb 20, 2025

## Table of Contents

<b>1</b>	<b>서론</b>	<b>5</b>
1.1	문서의 목적	5
1.2	대상 독자	5
1.3	내용 순서	5
1.4	관련 문서	5
1.5	수정 이력	6
1.6	약어 정리	6
<b>2</b>	<b>알고리즘 소개</b>	<b>7</b>
2.1	알고리즘 개요	7
2.1.1	산출물	7
2.1.2	GOCI-II 센서 특성	7
2.2	알고리즘 흐름도 및 처리 과정	8
2.3	입력 자료	9
2.3.1	기본 센서 데이터	9
2.3.2	보조 입력 자료	9
2.4	이론적 설명	9
2.5	모델의 수식적 기술	10
2.5.1	GOCI-II 에 적용된 QAA 알고리즘	10
2.5.2	총 흡광 계수(a) 및 후방산란 계수(bb)의 계산	11
2.5.3	해수의 주요 성분들에 대한 흡광 계수 산출	12
2.6	산출물	13
2.6.1	a (총 흡광계수)	13
2.6.2	bb (총 후방산란계수)	14
2.6.3	bbp (555 nm) (555 nm 후방산란계수)	14
2.6.4	adg (443 nm) (443 nm 용존유기물 흡광계수 + 부유입자 흡광계수)	15
2.6.5	a <sub>φ</sub> (443 nm) (443 nm 엽록소 a 흡광계수)	16
2.6.6	S (adg 의 분광기율기 지수)	16
2.6.7	η (bbp 의 분광기율기 지수)	17
2.6.8	Flag	18
<b>3</b>	<b>검증을 위한 시험자료 및 결과</b>	<b>19</b>
3.1	시험자료	19
3.2	정확도 평가지표	19
3.3	검증결과	19
<b>4</b>	<b>운영 시 고려사항</b>	<b>21</b>
4.1	수치 계산 고려 사항	21
4.2	알고리즘 검증	21
<b>5</b>	<b>가정 및 제한</b>	<b>22</b>
5.1	성능	22
<b>6</b>	<b>참고 문헌</b>	<b>23</b>

문서 제목	IOP Algorithm for GOCI-II Data
최초 작성 일자	2017-09-01
최종 갱신 일자	2025-02-28
작성자	Eunna Jang, Jae-Hyun Ahn Korea Ocean Satellite Center of KIOST, Busan, Republic of Korea

# 1 서론

## 1.1 문서의 목적

ATBD 문서는 Geostationary Ocean Color Imager-II(GOCI-II) 고유 광학 특성 (IOP) 제품 알고리즘의 이론적 배경을 설명한다. Zhongping Lee(Lee et al., 2002; Lee et al., 2009; Lee, 2014)에 의해 개발된 반분석 알고리즘(quasi-analytic algorithm: QAA)을 기반으로 개발되었고, GOCI-II 에 적용하였다. 본 방법은 G2GS 알고리즘 개발 환경(ADE) 시스템에서 구현 및 검증되었으며, 해양 자료 처리 서브시스템(ODPS)에 적용되었다.

## 1.2 대상 독자

이 문서는 다음과 같이 2 가지 목적을 가진 독자를 위해 작성되었으며, (1) GOCI-II semi-analytical IOP 알고리즘의 이론적 배경과 구현에 대해 알고 싶은 연구원, (2) GOCI-II semi-analytic IOP 알고리즘의 유지 보수 및 개선을 수행하고자 하는 개발자가 그 대상이다.

## 1.3 내용 순서

본 문서의 구조는 아래와 같다.

- **서론:** GOCI-II 시스템과 IOP 제품에 대한 개요
- **알고리즘 설명:** IOP 알고리즘의 입출력, 물리적 원리, 수학적 설명
- **테스트 데이터 및 결과:** IOP 알고리즘 테스트를 위한 데이터와 결과
- **운영 시 고려사항:** 알고리즘 완성도, 소프트웨어 구현 정보, 데이터 품질 평가, 예외 처리 가이드라인
- **가정 및 제한 사항:** 개발 과정에서 고려한 제약 및 입력 데이터의 불확실성, 잠재적 개선 방안을 제안

## 1.4 관련 문서

이 문서는 다음 GOCI-II ATBD 문서와 관련이 있다.

- GOCI-II 데이터의 대기 보정 알고리즘 (본 알고리즘 입력자료인 원격반사도 산출) 문서는 국립해양조사원 국가해양위성센터 웹 사이트([www.nosc.go.kr](http://www.nosc.go.kr))에서 찾을 수 있다.

## 1.5 수정 이력

버전	날짜	버전별 설명	수정페이지
0.1	2017-09-01	최초 작성	모두
0.2	2017-10-23	ATBD 쓰기 명령이 추가되고 업데이트	모두
0.21	2018-11-29	영문 ATBD 배포	모두
0.3	2021-05-14	오타 수정	모두
0.4	2025-02-28	약어/기호 일부 수정, 파일 구조 내용 보완	모두

## 1.6 약어 정리

본 문서에서 사용된 약어는 표 1 과 같다.

Table 1. 문서에 사용된 약어

IOP	Inherent Optical Properties
QAA	Quasi-Analytical Algorithm
GOCI-II	2 <sup>nd</sup> Geostationary Ocean Color Imager
GK2	Geostationary KOMPSAT 2
G2AC	GOCI-II atmospheric correction algorithm

## 2 알고리즘 소개

### 2.1 알고리즘 개요

#### 2.1.1 산출물

GOCI-II 대기 보정으로부터 도출된 원격 탐사 반사도( $R_{rs}$ )는 해수의 엽록소(Chlorophyll) 농도, 총 부유물질, 그리고 기타 해수 내 색을 가진 성분 고유광특성(Inherent Optical Properties: IOP) 구성에 따라 결정된다. IOP의 종류로는 흡광 계수, 산란 계수, 역산란 계수, 감쇠 계수, 산란각분포함수 등 다양한 입자들이 가진 고유의 광 변수들이 있다. IOP를 이해하면 다양한 해수 구성성분들에 의한 광학적 기작이 어떻게 서로 다른  $R_{rs}$ 로 나타나는지를 복사전달 이론 기반으로 알 수 있다.

본 문서에서 기술하는 알고리즘은 해색(ocean color) 특히 원격반사도에 가장 직접적으로 기여하는 흡광 계수( $a$ )와 역산란 계수( $b_b$ )의 도출을 목적으로 한다. 흡광 계수( $a$ )와 역산란 계수( $b_b$ )는 각각 순서대로 단위 거리( $m^{-1}$ )당 빛이 해수 구성성분에 의해 유입광 대비 흡수되어 사라지거나 혹은 산란되어 후방 진행방향이 바뀌는 정도를 지수함수로 나타낸 물리량이며 단위는 단위거리인  $m^{-1}$ 을 사용한다.

이 IOP 알고리즘을 거쳐 생산된 산출물은 GOCI-II L1B 데이터와 동일한 시간 및 공간 해상도를 가진다.

Table 1. GOCI-II IOP 산출물 요구 사항

산출물 레벨	공간 해상도	시간 해상도	목표 정확도 (case-1 해수)	목표 정확도 (case-2 해수)
레벨 2	300 m	1 시간	80 %	70 %
레벨 3	1 km	1 일	-	-

#### 2.1.2 GOCI-II 센서 특성

정지궤도 다목적위성-2B(Geostationary Korea Multi-Purpose Satellite-2B: GK2B)의 두 가지 탑재체 중 하나인 천리안해양위성 2 호(2<sup>nd</sup> Geostationary Ocean Color Imager, GOCI-II)는 국립해양조사원(KHOA)의 국가해양위성센터(NOSC)와 한국해양과학기술원(KIOST)의 해양위성센터(KOSC)가 공동 운영하는 정지궤도 해색(ocean color) 탑재체이다.

GOCI-II는 정지궤도에서 동북아(Local Area, LA) 해역 및 지구 전역(Full Disk, FD)의 연안 및 외해 해양환경을 관측할 수 있도록 한다. 해당 센서는 주간 동안 높은 시간 해상도로 이미지를 획득할

수 있으며(현지 시각 GMT+9 기준 08:15 부터 17:15 까지 하루 10 회 촬영), 1 개의 근자외선(near UV) 밴드(380nm), 8 개의 가시광선 밴드(412, 443, 490, 510, 555, 620, 660, 680nm), 3 개의 근적외선(NIR) 밴드(709, 745, 865nm)에서 관측이 가능하다. 또한, 직하점 기준 약 250m 의 공간 해상도를 제공한다.

여기에서 사용되는 QAA IOP 알고리즘은 이 중 6 개 분광밴드(412, 443, 490, 555, 660, 680 nm)를 사용하며, GOCI-II IOP 알고리즘은 GOCI 와 동일한 방식으로 스펙트럼 대역별 반응 특성을 반영하여 개발하였다.

또한, GOCI-II 는 CDOM 흡광 추정 정확도 향상에 유리한 UV 밴드(380nm)를 가지고 있으며, 해수 부유입자에 의한 후방산란을 더 정확하게 추정할 수 있는 620 및 709nm 밴드도 포함 되어있다. 추후 해당 밴드들의 도입을 통해 IOP 알고리즘의 고도화 또한 기대할 수 있다.

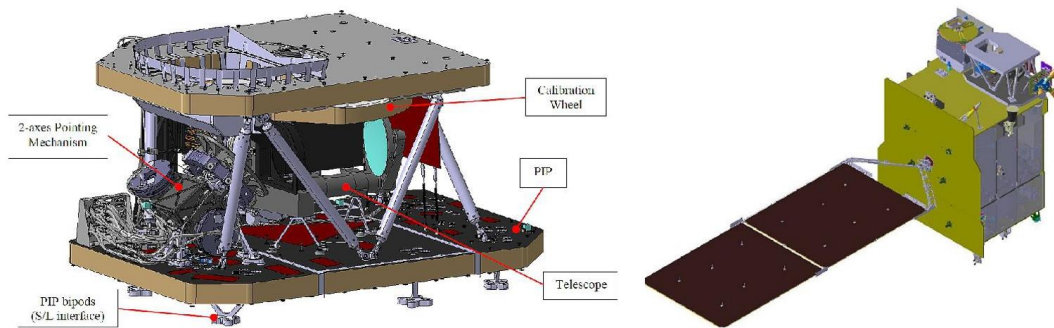


Figure 1. 다중 절연 보호막을 제거한 GOCI-II 탑재체 설계도 (왼쪽)와 GEO-KOMPSAT-2B (GK2B) 위성체 (오른쪽). GOCI-II 는 GK2B 의 두 탑재체 중 하나임 (이미지 제공: 한국항공우주연구원 (KARI))

## 2.2 알고리즘 흐름도 및 처리 과정

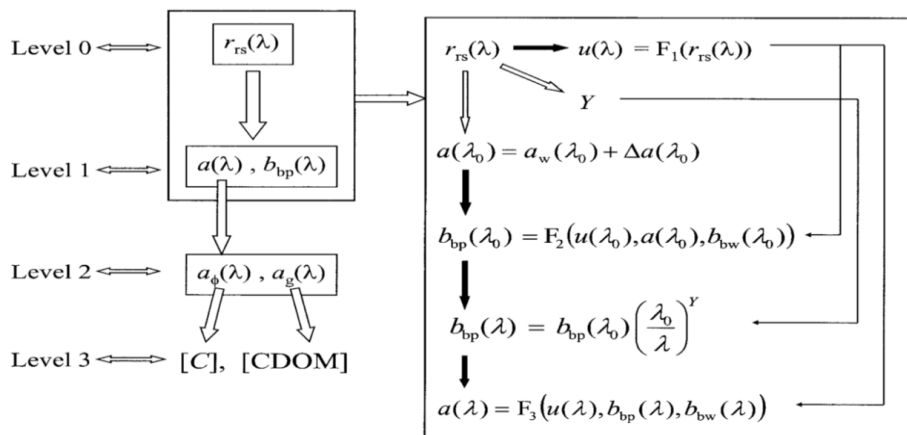


Figure 2. QAA IOP 알고리즘의 흐름도 (Lee et al., 2002).



## 2.3 입력 자료

이 섹션에서는 GOCI-II IOP 알고리즘의 입력 데이터에 대해 설명한다. IOP 알고리즘을 포함한 대부분 GOCI-II 해석자료는 대기보정 산출물인  $R_{rs}$  값을 입력 변수로 사용한다. QAA 에서 사용되고 있지는 않지만 추후 바람장과 같은 보조 기상 자료 및 관측기하각 정보를 바탕으로 정확도를 좀 더 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

### 2.3.1 기본 센서 데이터

알고리즘은 G2AC 에서 산출한  $R_{rs}$  값을 입력 데이터로 사용한다.

- 파일 형식: NetCDF-CF
- 데이터 양식: 32bit float
- 차원: 2780 픽셀 \* 2780 픽셀

### 2.3.2 보조 입력 자료

현재의 GOCI-II IOP 알고리즘은  $R_{rs}$  값만을 입력 자료로 사용하고 있으며 보조 입력자료를 사용하지 않는다.

## 2.4 이론적 설명

해수표면 아래로 투과된 광자는 해수를 구성하는 주요 입자들(순수 해수 분자, 부유 유/무기입자, 용존유기물, 박테리아 등)에 의해 흡수되거나(흡광) 진행방향이 바뀌거나(산란) 혹은 상호작용 없이 그대로 투과한다. 이런 해수 구성성분 각각이 공급되는 빛에 대해 단위 거리를 투과하며 가지는 고유한 흡광 및 산란 특성들을 고유광특성(inherent Optical Properties, IOP)라고 정의한다.

표층에서의 해수 반사도( $\rho_w$ ) 혹은 원격반사도( $R_{rs}$ )는 IOP 에 의해 주로 결정되 부분적으로는 공급되는 빛의 방향성 분포(태양 및 대기광, 해수표면 거칠기에 의한 해수표면 아래의 광분포 등)에 및 관측자의 방향에 의해서도 다소 달라질 수 있다. 이렇게 공급광의 방향분포, 관측자 방향 혹은 주변 광환경에 따라 밝기 및 분광 스펙트럼 형태가 달라질 수 있는 광변수를 외형적 광특성(Apparent Optical Properties: AOP)이라고 하며 대표적인 AOP 로는  $\rho_w$ ,  $R_{rs}$ 를 포함하여 하향확산감쇠계수( $K_d$ ), 세키 깊이 등이 있다.

AOP 인  $R_{rs}$ 는 태양 위치, 관측각, 대기상태, 바람장, 수심 및 표면 거칠기와 같은 주변 광원에 변화 요인에 의해 달라지지만 일반적으로는 식 (1)과 같이 흡광계수( $a$ ) 및 역산란계수( $b_b$ )의 조합에 의해 거의 선형적으로 결정된다.

$$\frac{b_b}{a+b_b} \propto R_{rs} , \quad (1)$$

해수 속 여러 구성성분 각각의 IOP 들끼리는 다음의 식(2)와 같이 같은 특성 (흡광 및 산란)끼리 분리 혹은 가감이 가능하며(Mobley et al., 2010),

$$a_t = a_w + a_\phi + a_p + a_{dom} + \dots, \quad (2-1)$$

$$b_b = b_{bw} + b_{bp}, \quad (2-2)$$

$a_w$ ,  $a_\phi$ ,  $a_p$  및  $a_{dom}$ 은 각각 순수 해수, 엽록소, 부유 입자 및 용존 유기물의 흡광 계수를 나타내며,  $b_{bw}$ 와  $b_{bp}$ 는 각각 순수 해수, 부유입자의 후방산란 계수를 의미한다 (Lee et al., 2002).

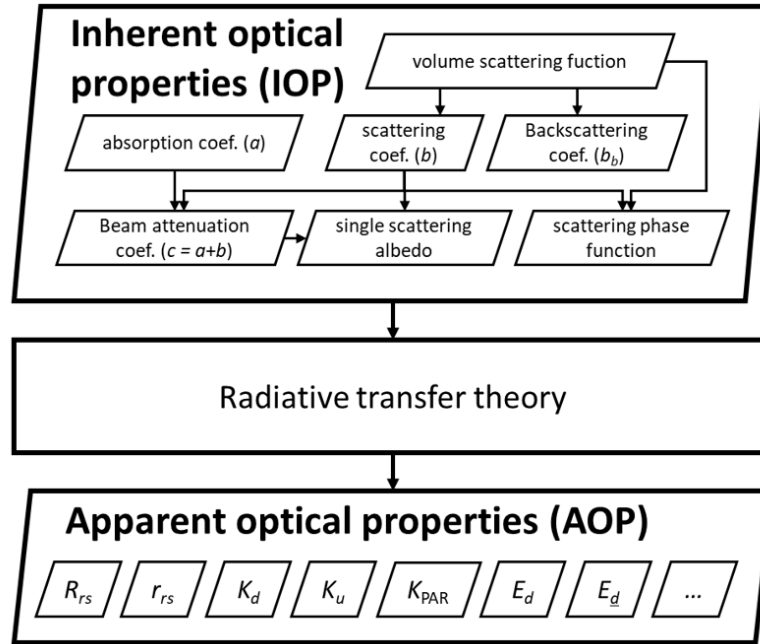


Figure 3. Relationship between IOP and AOP.

## 2.5 모델의 수식적 기술

### 2.5.1 GOCI-II 에 적용된 QAA 알고리즘

Table 2. 약호 및 기호 표기

약호 및 기호	설명
$\lambda$	: 파장
$a$	: 총흡광계수
$a_\phi$	: 엽록소 a 의 흡광 계수
$a_g$	: 용존유기물과 부유입자 흡광 계수의 합
$a_w$	: 순수 해수의 흡광계수

$a(\lambda)^{[555]}$	: QAA 알고리즘으로 추정된 $a(555 \text{ nm})$
$b_{bp}$	: 수중 부유입자의 역산란 계수
$b_{bw}$	: 순수 해수의 역산란 계수
$b_b$	: 전체 역산란 계수
$[C]$	: 엽록소 농도 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
$\eta$	: 후방산란계수의 분광 기울기 지수
$R_{rs}$	: 해수표면위에서의원격반사도(Remote-sensing reflectance)
$\rho_w$	: 해수표면위에서의반사도(irradiance reflectance)
$r_{rs}$	: 해수표면바로아래에서의원격반사도
$S$	: adg 의 분광기울기 지수
$u$	: 역산란지수 대 역산란지수와 흡광지수 합의 비, $b_b/(a+b_b)$
$\lambda_0$	: 기준 파장
$\zeta$	: $a_\phi(412 \text{ nm}) / a_\phi(443 \text{ nm})$
$\xi$	: $a_g(412 \text{ nm}) / a_g(443 \text{ nm})$

QAA 와 같은 반분석적 IOP 알고리즘에서는 해수 표면 위 원격반사도인  $R_{rs}$ 를 해수 표면 아래의 원격반사도인  $r_{rs}$ 를 거쳐 IOP 의 조합인  $u=b_b/(a+b_b)$ 로 변환하는 과정을 거치며 GOCI-II 에 적용된 방법은 다음 방정식(Lee et al., 2002)을 통해  $R_{rs}$ 를  $u$  로 변환한다. (Lee et al., 2002),

$$r_{rs}(\lambda) = \frac{R_{rs}(\lambda)}{(0.52+1.7R_{rs}(\lambda))} \quad (3)$$

$$r_{rs}(\lambda) = g_0 u(\lambda) + g_1 [u(\lambda)]^2, g_0 = 0.0895, g_1 = 0.1247 \quad (4)$$

$$u(\lambda) = \frac{-g_0 + \sqrt{(g_0)^2 + 4g_1 * r_{rs}}}{2g_1} \quad (5)$$

## 2.5.2 총 흡광 계수(a) 및 후방산란 계수(bb)의 계산

반분석적 IOP 알고리즘은 다음의 5 단계를 통해  $r_{rs}$ 로부터 전체 모든 파장대 흡광지수( $a$ )와 역산란지수( $b_b$ )를 산출해 낸다.

- (1) 경험적 상관관계 모델을 통해 중심파장  $\lambda_0$ 에서의 흡광계수인  $a(\lambda_0)$ 를 생성한다.
- (2) 산출된  $a(\lambda_0)$ ,  $u(\lambda_0)$  및 상수 값인  $b_{bw}(\lambda_0)$ 을 통해  $b_{bp}(\lambda_0)$ 를 산출한다.
- (3) 경험적인 방법(식 6)을 통해  $b_{bp}$ 의 분광기율기 지수 값인  $\eta$ 를 도출하고 이를 바탕으로 모든 파장의  $b_{bp}(\lambda)$  및  $b_b(\lambda)$ 를 생성한다 (모든 파장에 대해 상수 값인  $b_{bw}$ 를 이미 알고 있으므로).

$$\eta = 2.0 \left[ 1 - 1.2 \exp \left( -0.9 \frac{r_{rs}(443)}{r_{rs}(555)} \right) \right]. \quad (6)$$

중심파장은 해수의 탁한 정도에 따라 결정되는데 판단 기준은  $R_{rs}$  (670 nm)가 문턱값인 0.0015 sr-1 미만인 경우 탁도가 낮은 해수라고 판단하여  $\lambda_0$ 을 555 nm로 설정하며, 0.0015 보다 크면 탁도가 높다고 판단하여  $\lambda_0$ 를 670 nm로 설정한다 (Lee, 2014). 본 알고리즘을 GOCI-II에 적용하기위해서  $R_{rs}$  (670 nm)를 사용해야 하지만 GOCI-II는 670nm 밴드가 없기 때문에  $R_{rs}$  (670 nm)와  $R_{rs}$  (670 nm)의 중간 값을 이용하여  $R_{rs}(670nm)$ 를 대신하였다.

### 2.5.3 해수의 주요 성분들에 대한 흡광 계수 산출

$R_{rs}(\lambda)$ 로부터 모든 파장의  $u(\lambda)$ 를 알고 있고 위 과정을 통해 모든 파장의  $b_b(\lambda)$ 를 알고 있으면, 모든 파장의 총 흡광계수인  $a(\lambda)$ 를 알 수 있다. 총 흡광계수 중 미지수는  $a_\phi$ ,  $a_p$ ,  $a_{dom}$ 이며 이 중  $a_p$ ,  $a_{dom}$ 의 경우 유사한 색을 가지고 있어 명확한 구분이 어렵기 때문에 두 값을 더해서 한 개의 변수인  $a_{dg}(\lambda)$ 로 정의한다.

변수  $a_{dg}(\lambda)$ 의 단파장 대역(412~443 nm) 분광기율기( $\xi$ )는 1 보다 작은 값,  $a_\phi$ 의 단파장 대역 분광기율기( $\zeta$ )는 1 보다 큰 값을 가지며 명확하게 구분된다. 따라서 두 파장대의 분광기율기와 총 흡광계수  $a(412 \text{ nm})$ ,  $a(443 \text{ nm})$  값을 알고 있으면 아래의 식(7, 8)과 같이 두 파장대에서  $a_\phi$ 와  $a_{dg}$  값의 분리가 가능하다.

$$a_{dg}(443) = \frac{a(412) - \zeta a(443)}{\xi - \zeta} - \frac{a_w(412) - \zeta a_w(443)}{\xi - \zeta}, \quad (7)$$

$$a_{ph}(\lambda) = a(\lambda) - a_{dg}(\lambda) - a_w(\lambda). \quad (8)$$

이를 위해서는  $a_{dg}$ 와  $a_\phi$ 의 412~443 nm 대역 분광기율기  $\xi$  값의 추정이 필요하며  $a_{dg}(\lambda)$ 의 분광기율기는 식(9)의 기율기 지수  $S$ 를 이용하는 모델과 경험적 기율기 지수( $S$ ) 산출모델 식(10)를 이용하여 도출할 수 있다.

$$a_{dg}(\lambda) = a_{dg}(443) * e^{S(443-\lambda)} \quad (9)$$

$$S = 0.015 + 0.002 / 0.6 + [r_{rs}(443)/r_{rs}(555)] \quad (10)$$

$$\xi = e^{S(443-412)} = a_{dg}(412)/a_{dg}(443) \quad (11)$$

단파장 분광 기울기( $\zeta$ ) 또한 마찬가지로 아래 식 12 과 같은 경험적 상관관계 모델을 통해 도출이 가능하다.

$$\zeta = 0.74 + 0.2 / 0.8 + [r_{rs}(443)/r_{rs}(555)] \quad (12)$$

마지막으로 본 알고리즘에서는 부유 유/무기입자 및 용존 유기물의 흡광 계수의 구분이 없음을 유념해야 한다.

## 2.6 산출물

- 파일 포맷: NetCDF-CF
- 자료 형식: 32bit float
- 이미지 크기:
  - Local Area: 2780 (x) \* 2780 (y) \* 12 (band)
  - Full Disk: 3100 (x) \* 3100 (y) \* 12 (band)

### 2.6.1 a (총 흡광계수)

380~865 nm 모든 밴드의 흡광계수( $a$ )를 산출하며  $a$ 에서 상수 값인  $a_w$ 를 빼 주면 모든 밴드의  $a_{dg} + a_\phi$  도출이 가능함.

Attribute	Precision	Value
standard_name	character	a_total_[wavelength]
long_name	character	Spectral absorption coefficient at [wavelength] nm, QAA version 6
_FillValue	float	-999.0
units	character	m <sup>-1</sup>
valid_min	float	-0.1
valid_max	float	100.0
reference	character	Lee, Z. (2014). "Quasi-Analytical Algorithm (QAA) version 6."; Lee, Z., et al. (2002). "Deriving inherent optical properties from water

Attribute	Precision	Value
		color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters." <i>Applied Optics</i> , 41(27): 5755-5772.
scale_factor	float	1.0
add_offset	float	0.0

### 2.6.2 bb (총 후방산란계수)

380~865 nm 모든 밴드의 후방산란계수( $b_b$ )를 산출하며  $b_b$ 에서 상수 값인  $b_{bw}$ 를 빼 주면 모든 밴드의  $b_{bp}$  도출이 가능함.

Attribute	Precision	Value
standard_name	character	bb_total_[wavelength]
long_name	character	Spectral backscattering coefficient at [wavelength] nm, QAA version 6
_FillValue	float	-999.0
units	character	m <sup>-1</sup>
valid_min	float	-0.1
valid_max	float	100.0
reference	character	Lee, Z. (2014). "Quasi-Analytical Algorithm (QAA) version 6."; Lee, Z., et al. (2002). "Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters." <i>Applied Optics</i> , 41(27): 5755-5772.
scale_factor	float	1.0
add_offset	float	0.0

### 2.6.3 bbp (555 nm) (555 nm 후방산란계수)

가장 많이 사용되는 중심파장대인 555 nm 밴드의 부유입자 후방산란계수.  $b_{bp}$  (555 nm) 값의 경우 부유입자의 농도와 선형에 가까운 상관관계를 보여줌.

Attribute	Precision	Value
standard_name	character	bb_p_555
long_name	character	Spectral backscattering coefficient of particles at 555 nm, QAA version 6
_FillValue	float	-999.0
units	character	m <sup>-1</sup>
valid_min	float	-0.1
valid_max	float	100.0
reference	character	Lee, Z. (2014). "Quasi-Analytical Algorithm (QAA) version 6."; Lee, Z., et al. (2002). "Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters." <i>Applied Optics</i> , 41(27): 5755-5772.
scale_factor	float	1.0
add_offset	float	0.0

#### 2.6.4adg (443 nm) (443 nm 용존유기물 흡광계수 + 부유입자 흡광계수)

443 nm 밴드의  $a_{dg}$  값은 수질 혹은 부유입자의 흡광과 높은 상관관계를 보여줌.

Attribute	Precision	Value
standard_name	character	a_dg_443
long_name	character	Spectral absorption coefficient of detritus and gelbstoff at 443 nm, QAA version 6
_FillValue	float	-999.0
units	character	m <sup>-1</sup>
valid_min	float	-0.1
valid_max	float	100.0
reference	character	Lee, Z. (2014). "Quasi-Analytical Algorithm (QAA) version 6."; Lee, Z., et al. (2002). "Deriving inherent optical properties from water

Attribute	Precision	Value
		color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters." <i>Applied Optics</i> , 41(27): 5755-5772.
scale_factor	float	1.0
add_offset	float	0.0

### 2.6.5 $a_\phi$ (443 nm) (443 nm 엽록소 a 흡광계수)

443 nm 는 엽록소 a 의 흡광이 최대인 분광밴드이며 이 밴드의 엽록소 a 흡광계수는 엽록소 농도와 거의 선형적인 상관관계를 가진다. 따라서 엽록소 산출 알고리즘뿐만 아니라 값을 이용해서도  $a_\phi$  (443 nm) 을 산출할 수 있으며 광학적으로 복잡한 case-2 해수에서는  $a_\phi$  (443 nm) 을 이용하는 방법이 경우에 따라 더 정확하게 엽록소 농도를 산출할 수 있다.

Attribute	형식	Value
standard_name	character	a_chl_443
long_name	character	Spectral absorption coefficient of chlorophyll-a at 443 nm, QAA version 6
_FillValue	float	-999.0
units	character	m <sup>-1</sup>
valid_min	float	-0.1
valid_max	float	100.0
reference	character	Lee, Z. (2014). "Quasi-Analytical Algorithm (QAA) version 6."; Lee, Z., et al. (2002). "Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters." <i>Applied Optics</i> , 41(27): 5755-5772.
scale_factor	float	1.0
add_offset	float	0.0

### 2.6.6 S (adg 의 분광기울기 지수)

본 자료는 실시간 배포자료가 아닌 재처리자료(OCR)에서 제공하는 산출물이며,  $a_{dg}$ (443 nm)와 S 값을 식(9)에 적용해서 모든 파장에 대한  $a_{dg}$  값을 간단하게 도출 가능하다.



Attribute	Precision	Value
standard_name	character	a_dg_s
long_name	character	Detrital and gelbstoff absorption spectral parameter for QAA v.6
_FillValue	float	-999.0
units	character	-
valid_min	float	0.0
valid_max	float	5.0
reference	character	Lee, Z. (2014). "Quasi-Analytical Algorithm (QAA) version 6."; Lee, Z., et al. (2002). "Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters." <i>Applied Optics</i> , 41(27): 5755-5772.
scale_factor	float	1.0
add_offset	float	0.0

### 2.6.7 $\eta$ (bbp의 분광기울기 지수)

본 자료는 실시간 배포자료가 아닌 재처리자료(OCR)에서 제공하는 산출물이며,  $b_{bp}(555\text{ nm})$ 와  $\eta$  값을 식(6)에 적용해서 모든 파장에 대한  $b_{bp}$  값을 간단하게 도출 가능하다.

Attribute	Precision	Value
standard_name	character	bbp_s
long_name	character	Backscattering spectral parameter for QAA v.6
_FillValue	float	-999.0
units	character	-
valid_min	float	-3.0
valid_max	float	3.0
reference	character	Lee, Z. (2014). "Quasi-Analytical Algorithm (QAA) version 6."; Lee, Z., et al. (2002). "Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters." <i>Applied Optics</i> , 41(27): 5755-5772.

Attribute	Precision	Value
scale_factor	float	1.0
add_offset	float	0.0

### 2.6.8 Flag

본 IOP 알고리즘을 각 화소 별로 적용하는 과정에서 산출물 정확도 하락 요소가 발견될 경우 아래의 품질분석 flag 를 통해 사용자에게 경고를 줌.

Attribute	Precision	값
standard_name	character	flag

flag_masks (Bit)	flag_values	flag_meanings	Descriptions
1	1	Cloud_or_Ice	Cloud or ice
2	2	Land	Land
3	4	AC_Fail	Atmospheric correction failure
4	8	a_Fail	a is not calculable
5	16	bb_Fail	bb is not calculable
6	32	reserved6	
7	64	reserved7	
8	128	reserved8	

### 3 검증을 위한 시험자료 및 결과

#### 3.1 시험자료

알고리즘의 검증은 1) 알고리즘의 코드가 개발자의 의도대로 정확하게 구현되었는지, 2) 알고리즘의 정확도 확인을 위한 관점에서 진행되었으며, 여기서는 후자인 알고리즘 정확도 검증에 초점을 맞추고 있다. 알고리즘의 검증을 위해 현장에서 수집된 실측자료를 활용하는 것이 가장 이상적이지만 IOP의 실측에는 많은 시간과 비용이 필요하고 높은 정확도 및 신뢰성 확보에도 어려움이 있다. 본 단계 연구에서는 시뮬레이션 자료 기반으로 IOP 자료를 검증하였으며 추후 검·보정 활동을 통한 신뢰성 있는 실측자료가 충분하게 확보될 경우 추가적인 검증을 수행할 예정이다.

본 알고리즘의 검증에 사용된 자료는 HydroLight에서 산출된 시뮬레이션 자료가 사용되었으며 시뮬레이션 입력자료는 2010년부터 한국해양과학기술원이 기존 천리안 해양위성(GOCI)의 검보정을 위해 수집된 실측자료를 기반으로 생성되었다.

#### 3.2 정확도 평가지표

정확도 평가지표로 다음의 식과 같이 MAPD (mean absolute percentage deviation)를 사용하였다.

$$\text{MAPD}(\%) = \frac{100}{K} \sum_{n=1}^K \left( \frac{|R_{rs}^{\text{insitu}} - R_{rs}^{\text{GOCI}}|}{R_{rs}^{\text{insitu}}} \right).$$

#### 3.3 검증결과

생성된 모의자료를 통한 검증 결과 흡광계수 정확도는 약 81%, 후방산란계수 정확도는 약 98% 수준을 보여주었다.

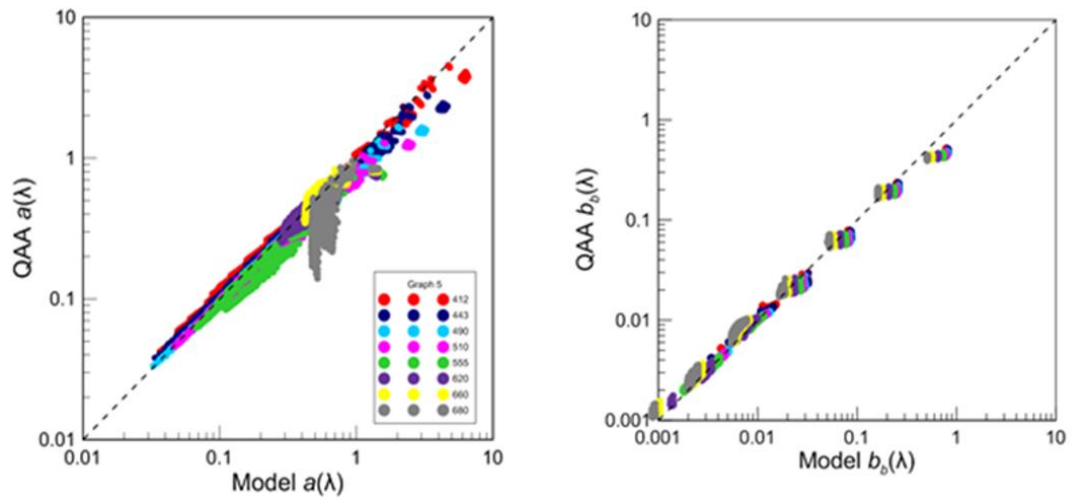


Figure 1. GOCI-II IOP 알고리즘의 모의자료 기반 검증 결과 (좌) 흡광계수, (우) 후방산란계수.

## 4 운영 시 고려사항

### 4.1 수치 계산 고려 사항

GOCI-II IOP 알고리즘을 처리하려면 8GB 이상의 RAM 이 장착된 PC 혹은 워크스테이션이 필요하다. 필요한 처리 시간은 ADE 에서 2 분 이내이다. ADE 에는 dodeca-core 2.5 GHz CPU 와 K80 GPU 가 장착되어 있다

### 4.2 알고리즘 검증

IOP 알고리즘 산출물의 검증을 위하여 아래의 가이드라인을 제시한다.

- (1) IOP 알고리즘의 최종 단계에서 엽록소 흡광계수가 산출되며, 여기서는 중간 단계에서 발생하는 모든 오차들이 누적된다. 엽록소 흡광계수 분광 스펙트럼은 443 과 660 nm 에서 두 개의 피크를 가지고 있으며, 이는 IOP 알고리즘 결과의 품질을 평가하는 데에도 사용할 수 있다.
- (2) 각 IOP 영상의 품질은 MODIS 및 VIIRS 와 같은 다른 위성과 비교하여 검증 할 수 있다. 주요 대상 비교 지역으로는 북서태평양 및 동해 등이 있다.
- (3) IOP 알고리즘의 전반적인 성능은 현장 수집 IOP 측정값과 비교하는 것이 가 장 객관적이다. 현장 수집 자료는 한국해양과학기술원 및 국립해양조사원이 진행하는 검·보정 활동 또는 NASA SeaBASS 에서 배포하는 자료를 사용할 수 있다.

## 5 가정 및 제한

이 섹션에서는 시스템의 제한 사항과 입력 데이터의 불확실성에 대한 설명을 제공한다.

### 5.1 성능

개발 프로세스에서의 가정은 다음과 같다.

1. GOCI-II Level-1B 자료의 대기보정에는 오차가 없다.
2.  $R_s$  값을  $u$ 로 변환하는 과정에서 BRDF의 영향은 크지 않다.

## 6 참고 문헌

Lee, Z., Carder, K. L., & Arnone, R. A. (2002). Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters. *Applied optics*, 41(27), 5755-5772.

Lee, Z., Lubac, B., Werdell, J., & Arnone, R. (2009). An update of the quasi-analytical algorithm (QAA\_v5). *International Ocean Color Group Software Report*, 1-9.

Lee, Z. (2014). An update of the quasi-analytical algorithm (QAA\_v6).  
[http://www.ioccg.org/groups/Software\\_OCA/QAA\\_v6\\_2014209.pdf](http://www.ioccg.org/groups/Software_OCA/QAA_v6_2014209.pdf).

Mobley, C., Boss, E., & Roesler, C. (2010). Ocean optics web book.