Absorption of Colored Dissolved Organic Matter

G2GS

Exported on May 14, 2021

< 목차 >

1. 소개 ····· 1
1.1. 목적 ····· 1
1.2. 사용자 ····· 1
1.3. 내용 순서 ····· 1
1.4. 관련 문서 ····· 1
1.5. 수정 이력 ····· 1
1.6. 약어 정리 ····· 2

2. 알고리즘 소개 ····· 3
2.1. 알고리즘 개요 ····· 3
2.1.1. 생산되는 자료 ····· 3
2.1.2. 기기 특성 ····· 4
2.2. 알고리즘 흐름도 ····· 4
2.3. 알고리즘 입력자료 ····· 4
2.3.1. 기본 센서 자료 ····· 4
2.4. 이론적 설명 ····· 5
2.4.1. 물리적 문제 ····· 5
2.4.2. 수학적 설명 ····· 5
2.5. 알고리즘 표준 산출물 ····· 5
2.5.1. 용존 유기물의 흡광 계수 ····· 5
2.5.2. 플래그 ····· 6

3. 시험자료 및 출력자료 ····· 7
3.1. 입력자료 - 현장관측자료 ····· 7
3.2. 모의 결과 ····· 7
3.2.1. 정확도 평가 ····· 7

4. 운영 시 고려사항 ····· 9
4.1. 수치 계산의 고려사항 ····· 9
4.2. 프로그래밍 및 절차상의 고려사항 ····· 9
4.3. 품질평가 및 진단 ····· 9
4.4. 예외사항 처리 ····· 9
4.5. 알고리즘 검증 ····· 10

5. 가정 및 제한 사항 ····· 11
5.1. 성능 ····· 11

6. 참고 문헌 ····· 12

1. 소개

1.1. 목적

이 ATBD 문서는 GOCI-II 440nm에서 용존유기물의 흡광계수(absorption coefficient of dissolved organic matter; a_{dom}440)를 추정하는 알고리즘의 이론적 배경을 설명한다. 이 알고리즘은 GOCI-II에 추가된 밴드를 활용하여 성능을 향상시킬 목적으로 개발되었다. 알고리즘은 G2GS의 ADE를 통해 구현 및 검증되었으며, ODPS에 적용되었다.

1.2. 사용자

이 문서는 1) GOCI-II a_{dom}440 알고리즘의 이론적 배경과 구현 방법을 알고자 하는 연구원, 2) GOCI-II a_{dom}440 알고리즘 코드를 재현하고 개선하고자 하는 개발자들을 위해 작성되었다.

1.3. 내용 순서

이 문서는 아래의 목차로 구성되어 있다.

- 소개 : a_{dom}440 알고리즘의 산출물에 대한 간략한 설명
- 알고리즘 설명 : 입/출력 자료, a_{dom}440 알고리즘의 물리적 이론 및 자세한 설명
- 시험자료 및 출력자료 : a_{dom}440 알고리즘 테스트를 위한 자료 및 결과
- 운영 시 고려사항 : a_{dom}440 알고리즘 S/W를 정기적으로 유지 및 운영하는 사용자에게 알고리즘 성숙도, S/W 구현에 필요한 정보, 데이터 품질 평가, 예외 처리 등의 지침을 제공
- 가정 및 제한 사항 : 알고리즘이 개발될 때 설정된 시스템 및 데이터의 성능과 실행 시 발생하는 시스템 제한 및 데이터의 불확실성을 시연

1.4. 관련 문서

이 문서는 GOCI-II 대기보정 알고리즘 ATBD와 관련이 있다.

1.5. 수정 이력

개정	일자	개정 설명	해당 페이지
0.2	2018-08-28	ATBD 작성 지침 추가 및 업데이트	전체
0.21	2018-12-06	영문 번역	전체
0.3	2021-05-14	오타 수정	전체

1.6. 약어 정리

Table 1. 약어 목록

a_{dom}	Absorption coefficient of DOM	용존유기물의 흡광계수
a_{dom}440	Absorption coefficient of DOM at 440 nm	440nm 채널에서 용존유기물의 흡광계수
CDOM	Colored Dissolved Organic Matter	유색 용존유기물
DOM	Dissolved Organic Matter	용존유기물
GOCI-II	Geostationary Ocean Color Imager-II	천리안 2B호 해양탑재체
G2CDOM	GOCI-II a_{dom}440 algorithm	GOCI-II 용존유기물의 흡광계수 산출 알고리즘
R_{rs}	Remote sensing reflectance	원격반사도
PAR	Photosynthetically Available Radiation	광합성 유효 광량
G2GS	GOCI-II Ground Segment	자료 수신/처리/저장/배포를 위한 지상 시스템
ADE	Algorithm Development Environment	알고리즘 개발 환경
ODPS	Ocean Data Processing Subsystem	자료처리 서브시스템

2. 알고리즘 소개

이 섹션에서는 GOCI-II 시스템 최종 산출물과 관련된 GOCI-II a_{dom}440 알고리즘의 목적과 특이성을 설명한다.

2.1. 알고리즘 개요

이 챕터에서는 GOCI-II a_{dom} 440 알고리즘을 간단하게 G2CDOM이라고 칭한다. G2CDOM은 YOC 알고리즘을 기반으로 계수를 조정하는 알고리즘이다(Siswanto et al., 2011). 청색 파장 443nm, 490nm, 녹색 파장 555nm 원격반사도의 비율로 Tassan(1994)에서 제시한 형태이다.

2.1.1. 생산되는 자료

DOM(Dissolved Organic Matter)은 해수에 용해된 유기물을 말하며, 황색물질(gelbstoff, yellow substance, gilvin)이라고도 한다. 그 중에서 흡광과 관련된 용존 유기물을 CDOM(Colored Dissolved Organic Matter)이라고 한다. 연안해역의 CDOM은 대부분 담수, 하수, 퇴적물에서 공급되며, 바다의 CDOM은 주로 박테리아에 의한 식물성 플랑크톤 분해, 동물성 플랑크톤의 배설물, 동물성 플랑크톤 및 기타 동물들의 사료공급에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다(Urban-Rich, 1999). CDOM은 주로 태양 복사에 의해 57~84% 분해되며(Moran et al.,2000; Zanardi-Lamardo et al.,2002), 플랑크톤도 CDOM의 분해에 기여하는 것으로 알려져 있다(Hessen et al., 1994; Morris and Hargreaves, 1997; Nelson et al., 1998).

CDOM의 광학적 성질은 청색 파장과 해로운 자외선(UV-A, UV-B)으로부터 수생생태계를 보호하지만, 한편으로는 해양 생태계의 주요 변수인 광합성에 사용 가능한 빛(PAR)을 감소시킨다. 일반적으로 CDOM의 흡광 스펙트럼 특성은 파장이 증가할수록 기하급수적으로 감소한다. 따라서 청색 파장 범위에서는 강한 흡광 특성을 가지고 있다.

CDOM 알고리즘은 파장이 400nm, 412nm, 440nm와 같은 청색 파장 범위에서 특정 파장에서 생성된 흡광계수 값을 계산하며, 단위는 m^{-1}이다. GOCI-II 자료에서 a_{dom}440 생산을 위한 요구사항은 표 2와 같다.

Table 2. GOCI-II a_{dom}440 생산 요구사항

생산 레벨	공간 해상도	시간 해상도	Acc. for case-1 waters
Level-2	300 m	1시간	60%
Level-3	1 km	1일	-

2.1.2. 기기 특성

a_{dom}440은 CDOM이 강하게 흡광하는 청색 파장과 상대적으로 약하게 흡광하는 녹색 파장의 원격 반사도 비율을 사용하여 계산된다. GOCI-II는 380nm, 412nm, 443nm, 490nm의 4개의 청색 밴드와 510nm, 555nm의 두 개의 녹색 밴드를 가지고 있어 다양한 형태의 알고리즘을 적용할 수 있다. 특히 GOCI-II는 GOCI-I에 존재하지 않는 380nm 근자외선 밴드를 사용하여 더 정확한 a_{dom}440을 생성할 수 있다.

2.2. 알고리즘 흐름도

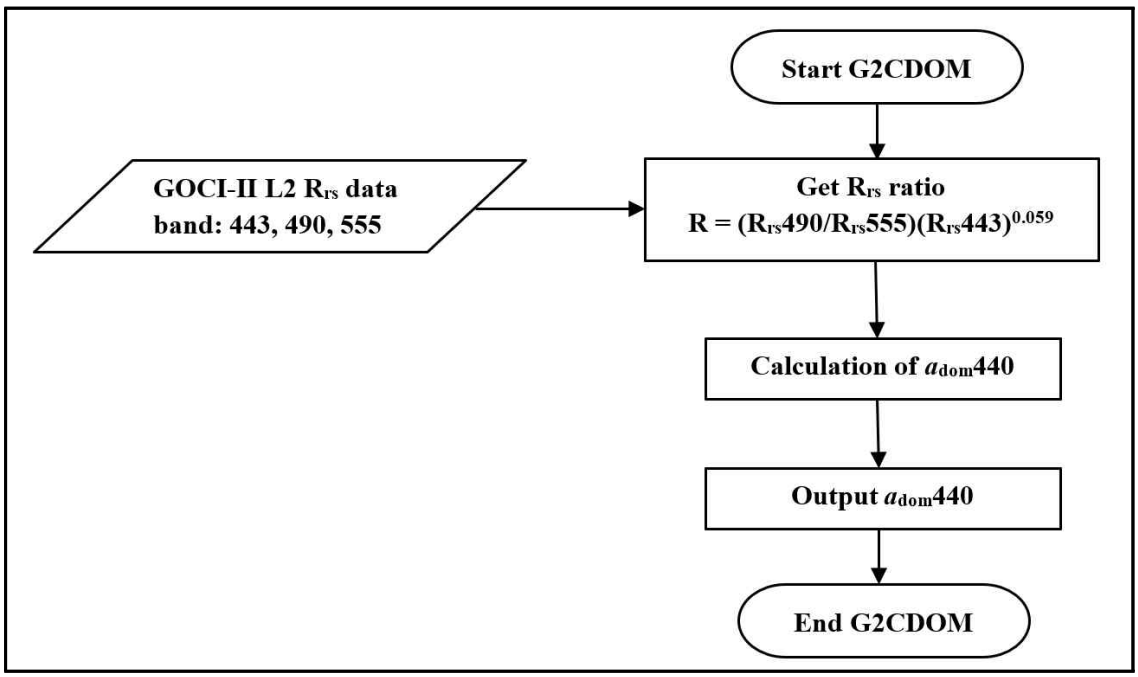


Figure 1. G2CDOM의 흐름도

2.3. 알고리즘 입력자료

입력자료는 GOCI-II 대기보정 알고리즘을 통해 산출되는 원격반사도이다.

2.3.1. 기본 센서 자료

원격반사도를 사용한다.

- 밴드 구성 : 3번 밴드(443nm), 4번 밴드(490nm), 6번 밴드(555nm)
- 파일형식 : NetCDF-CF
- 데이터 형식 : 32비트 float
- 크기 : 2780 픽셀 × 2780 픽셀

2.4. 이론적 설명

2.4.1. 물리적 문제

해수의 원격반사도는 해수에 포함된 성분들의 흡광 및 산란 특성에 의해 결정된다. 용존 유기물은 해수에 용해되어 존재하므로, 산란 특성은 고려하지 않고 흡광 특성만 고려한다. 용존 유기물의 흡광계수의 스펙트럼은 파장이 증가함에 따라 기하급수적으로 감소하므로, 가시광선 영역의 UV 영역과 청색 파장 영역에서 매우 강한 흡광성을 나타내며, 녹색 파장을 넘어서는 흡광 특성이 거의 없거나 전혀 없다. 또한 용존유기물은 박테리아에 의한 식물 플랑크톤 분해와 같은 해양 자원보다는 담수와 퇴적물의 대부분을 차지한다. 그러나 부유 물질의 흡광계수 스펙트럼은 용존유기물과 매우 비슷하지만, 용존유기물에 비해 스펙트럼의 기울기가 완만하고 산란 특성이 매우 강하다. 클로로필은 443nm 파장 근처에서 최대 흡광계수를 나타낸다.

따라서, 용존유기물이 강하게 흡광하는 청색파장에서 부유 물질과 클로로필의 흡광도 강하게 나타난다. 이 두 구성 요소의 영향을 최소화하기 위해서 청색 파장인 443nm, 490nm와 녹색 파장인 555nm의 원격반사도 비율을 사용하였다.

2.4.2. 수학적 설명

2.4.2.1. GOCI-II adom440 알고리즘

YOC 알고리즘(Siswanto et al.,2011)에 기반하여, 아래와 같이 계수를 적용하여 GOCI-II $a_{dom}440$ 알고리즘을 도출하였다.

$$a_{dom}440 = 10^{\left(a_0 + a_1\log_{10}(R) + a_2\log_{10}(R)^2\right)} \quad (1)$$

$$R = \left(\frac{R_{rs}490}{R_{rs}555}\right)(R_{rs}443)^{0.059},\ a_0 = -1.23, a_1 = -2.311, a_2 = -2.16 \quad (2)$$

2.5. 알고리즘 표준 산출물

2.5.1. 용존유기물의 흡광계수(aDOM, absorption coefficient of Colored Dissolved Organic Matter)

- 파일형식 : NetCDF-CF
- 데이터 형식 : 32비트 float
- 크기 : 2780픽셀 × 2780픽셀

(보다 나은 서비스를 위해 데이터 크기를 줄여 향후에는 데이터 형식을 16비트로 변경)

속성	Precision	값
_FillValue	float	-999.0
add_offset	float	0.0
long_name	character	파장 400nm, 440nm, 443nm에서의 용존유기물 흡광계수, Tassan aCDOM
scale_factor	float	1.0
standard_name	character	유색 용존유기물 흡광계수
units	character	m^{-1}
valid_max	float	100.0
valid_min	float	0.0

2.5.2. 플래그

flag_masts(bit)	flag_values	flag_meanings	설명
1	1	Cloud or Ice	구름 또는 해빙
2	2	Land	육지
3	4	AC_Fail	대기보정 실패
4	8	aCDOM_Fail	aCDOM 계산되지 않음
5	16	reserved5	
6	32	reserved6	
7	64	reserved7	
8	128	reserved8	

3. 시험자료 및 출력자료

3.1. 입력자료 - 현장관측자료

2015년부터 2017년까지 3년 동안 한반도 주변 해역에서 수집한 현장 관측자료를 사용하였다. 수집된 현장관측 자료 중, 원격반사도와 용존유기물의 흡광계수가 함께 수집된 관측지점을 선택하여 검증용 데이터로 사용하였다. 사용된 관측점은 111개 지점이다(그림 2).

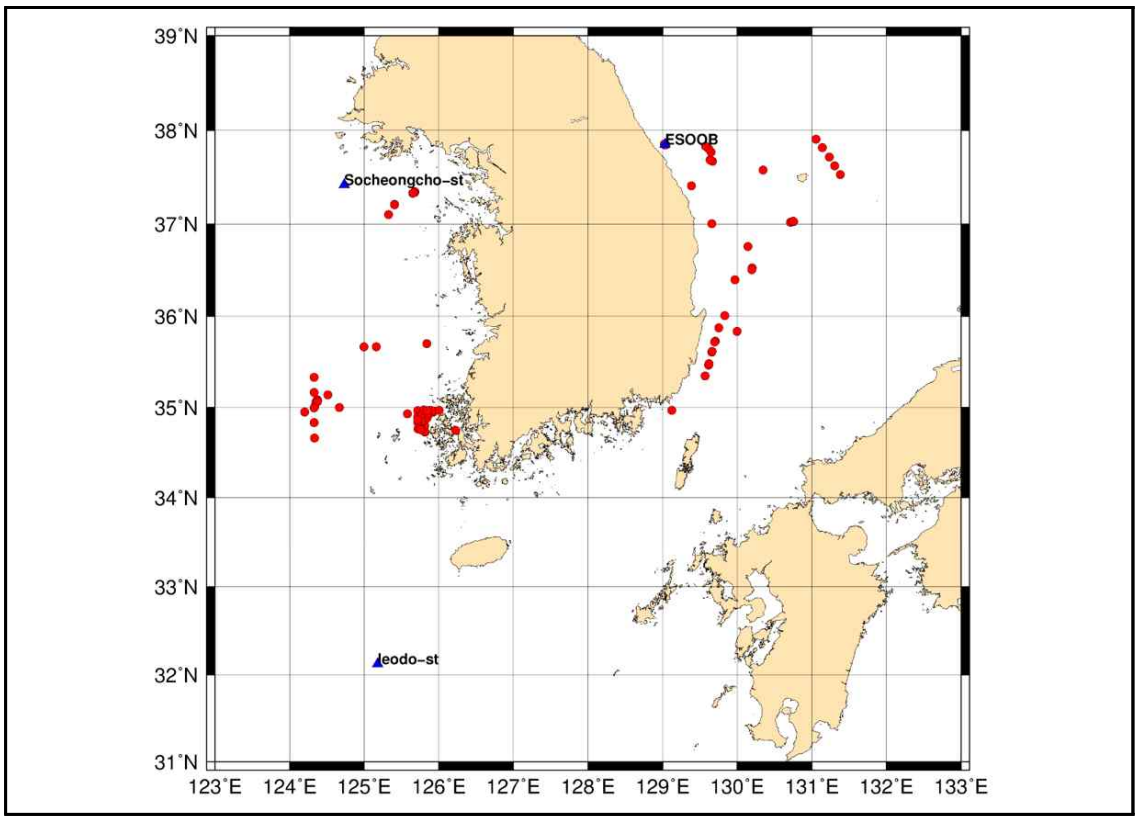


Figure 2. 관측지점(붉은색 원)

3.2. 모의결과

3.2.1. 정확도 평가

정확도 평가에는 아래 공식과 같이, APD(Absolute Percentage Differece, %), RMSE(Root Mean Square Error), RPD(Relative Percentage Difference, %), bias를 사용하였다. P_{ret}는 알고리즘으로부터 계산된 값이며, P_{is}는 현장관측 자료이다.

$$APD = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{P_{ret}-P_{is}}{P_{is}}\right|100$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (P_{ret} - P_{is})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$RPD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{P_{ret} - P_{is}}{P_{is}} \right) 100$$

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (P_{ret} - P_{is})$$

검증 결과, a_{dom}440의 알고리즘에 대한 APD는 40.8%, RMSE는 0.031, RPD는 20.3%, Bias는 1.089로 나타났다. APD로부터 계산된 정확도는 59.2%이다.

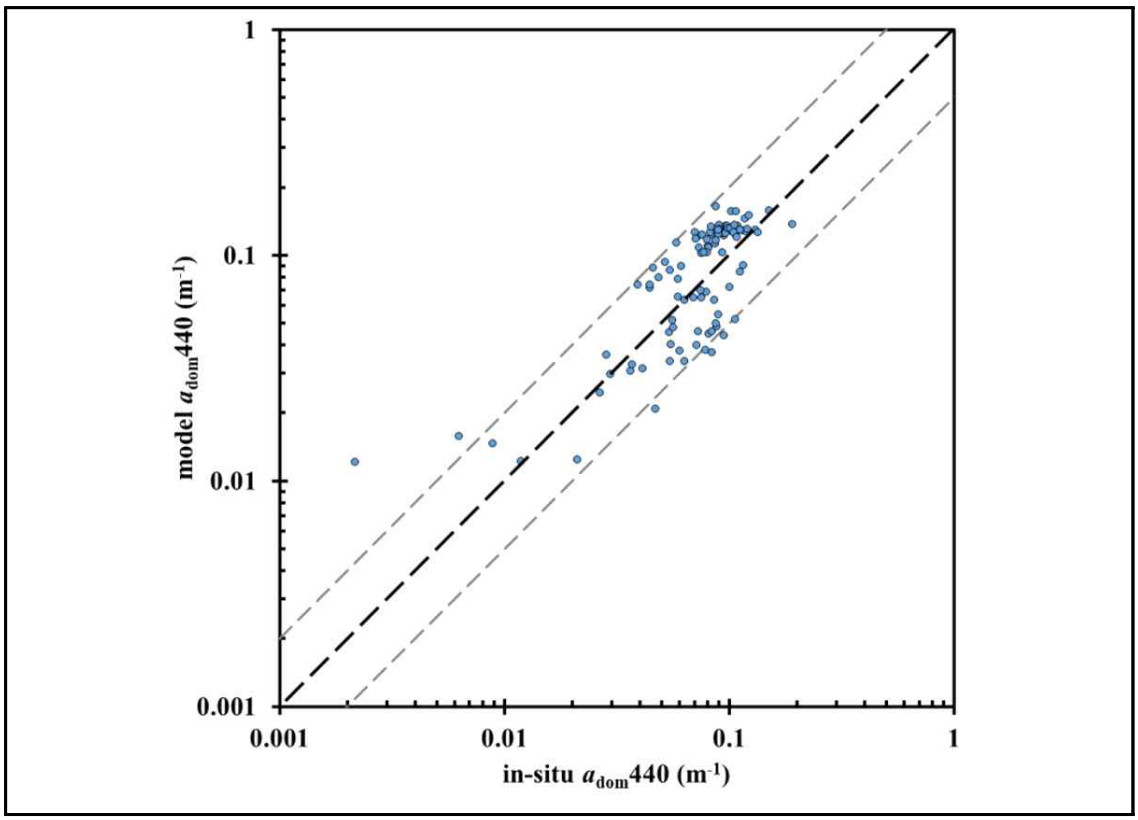


Figure 3. 현장관측자료와 a_{dom}440의 비교결과.

4. 운영 시 고려사항

4.1. 수치 계산의 고려사항

GOCI-II a_{dom}440 알고리즘은 구성이 간단하고 고사양 시스템이 필요하지 않다. 데이터 처리시간의 요구사항은 ADE에서 30초 이내이다. 또한 ADE 시스템의 사양은 dodeca-core 2.6GHz CPU와 K80 GPU로 구성된다.

데이터의 처리를 위해서 지속적인 메모리 공간 할당이 필요하기 때문에, 필요로 하는 메모리보다 2~3배 더 많은 시스템 메모리를 확보하는 것이 좋다. 이 알고리즘은 픽셀 단위로 처리되기 때문에, 병렬처리가 가능하며 이 알고리즘에는 다중 CPU 및 GPU 처리가 지원된다.

4.2. 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

GOCI-II에 대한 a_{dom}440 알고리즘 코드는 인라인 어셈블리 코드 형태로 C++로 작성되었으며, 클래스별 상속은 각 서브루틴의 용이한 모듈화를 위해 사용되지 않았다. 시스템의 호환성을 위해, C++ 코드는 ANSI 사양을 허용하고 윈도우 시스템의 종속 라이브러리는 사용하지 않았다. 모든 클래스와 함수의 입/출력에 대한 구체적인 헤더 파일에 자세히 설명되어 있으며, 변수나 함수 이름은 코드 내에서 각 변수와 함수의 역할을 직관적으로 이해할 수 있도록 설정되어 있다.

GOCI-II a_{dom}440 알고리즘의 병렬처리를 위한 라이브러리(OpenCL)를 제외하고 사용된 모든 라이브러리는 오픈소스 없이 직접 구현되었다.

4.3. 품질평가 및 진단

GOCI-II a_{dom}440 알고리즘은 여러 가지 요인으로 인해 처리 중에 문제가 발생할 수 있으며, S/W 운영자는 아래 목록에 따라 데이터 처리 성공 여부를 결정할 수 있다.

- 메타 데이터에서 생성된 유효 픽셀과 마스크 픽셀의 비율 합계가 100%인 경우 정상 처리
- R_{rs} 입력자료에서 “기상자료 없음”이라는 경고 발생하여 a_{dom}440 결과의 품질이 저하되는 경우 플래그에 “R_{rs} 경고” 가 표시
- 계산된 a_{dom}440은 일반적으로 연안 해역에서 증가함에 따라 외해보다 더 큰 값을 가진다.

4.4. 예외사항 처리

GOCI-II a_{dom}440 알고리즘을 처리할 때, 다양한 상황에 따라 다양한 오류가 발생한다.

4.5. 알고리즘 검증

아래 지침은 GOCI-II a_{dom}440 알고리즘 산출물의 검증을 위해 제공된다.

1. a_{dom}440 이미지는 MODIS 또는 VIIRS의 a_{dom}440 산출물과 관련하여 각 주요 해양 영역의 스펙트럼 모양을 비교하여 결정할 수 있다. 주요 해양지역은 외해(북서 태평양), 동해, 발해만, 경기만, 목포 주변 해역, 양쯔강 하구 등이다.

2. a_{dom}440 알고리즘의 전체 성능은 a_{dom}440의 현장 관측자료와 비교하여 판단할 수 있다. 현장관측자료는 한국해양과학기술원의 해양위성센터에서 수집한다. 이러한 자료를 얻기 힘든 경우, NASA의 SeaBASS 자료 및 기타 기관의 지점 자료를 사용할 수 있다.

5. 가정 및 제한사항

5.1. 성능

다음 가정은 알고리즘의 개발과 성능 측정으로 이어진다.

1. 매시간 자료처리를 위한 보조 입력자료인 기상 재분석 또는 기후 자료를 사용할 수 있어야 한다.
2. GOCI-II Level 1B 의 기하학 및 복사보정은 손상되지 않아야 한다.
3. 대기보정에 사용하는 순람표의 입력 범위는 GOCI-II의 기록 조건 범위 내에 있어야 한다.

6. 참고 문헌

Hessen, D.O., Nygaard, K., Salonen, K., and Vahatalo, A. 1994. 'The effect of substrate stoichiometry on microbial activity and carbon degradation in humic lakes', Environment International, 20: 67-76.

Moran, M. A., Sheldon, W. M., and Zepp, R. G. 2000. 'Carbon loss and optical property changes during long-term photochemical and biological degradation of estuarine dissolved organic matter', Limnology and Oceanography, 45: 1254-1264.

Morris, D. and Hargreaves, B. 1997. 'The role of photochemical degradation of dissolved organic carbon in regulating the UV transparency of three lakes on the Pocono Plateau', Limnology and Oceanography, 42: 239-249.

Nelson, N.B., Siegel, D.A., and Michaels, A.F. 1998. 'Seasonal dynamics of colored dissolved organic material in the Sargasso Sea', Deep-Sea Research I, 45: 931-957.

Siswanto, E., Tang, J., Yamaguchi, H., Ahn, Y., Ishizaka, J., Yoo, S., Kim, S., Kiyomoto, Y., Yamada, K., Chiang, C., and Kawamura, H. 2011. 'Empirical ocean-color algorithms to retrieve chlorophyll-a, total suspended matter, and colored dissolved organic matter absorption coefficient in the Tellow and East China Seas', Journal of Oceanography, 67: 627-650.

Tassan, S. 1994. 'Local algorithms using SeaWiFS data for the retrieval of phytoplankton, pigments, suspended sediment, and yellow substance in coastal waters', Applied Optics, 33: 2369-2378.

Urban-Rich, J. 1999. 'Release of dissolved organic carbon from copepod fecal pellets in the Greenland Sea', Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 232: 107-124.

Zanardi-Lamardo, E., Clark, C., Moore, C., and Zika, R. 2002. 'Comparison of the molecular mass and optical properties of colored dissolved organic material in two rivers and coastal waters by flow field-flow fractionation', Environmental Science and Technology, 36: 2806-2814.