

R&D / 2013-0178
BSPM60080-11548-1

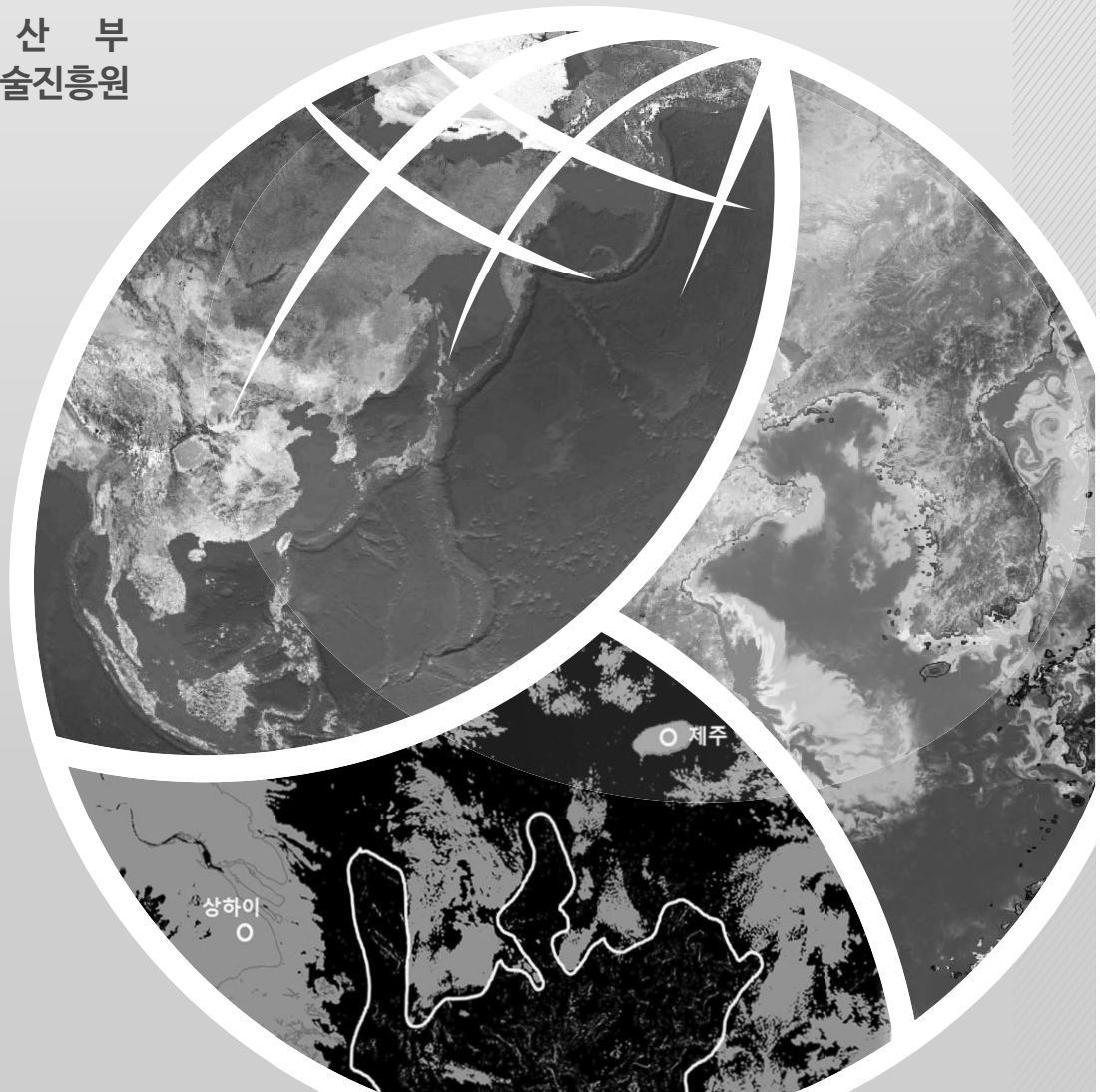
정지궤도 해양위성 활용 연구 (2단계) 최종보고서

Oceans and Fisheries
R&D Report

2018.03.31

주관연구기관 / 한국해양과학기술원

해 양 수 산 부
해양수산과학기술진흥원



제 출 문

해양수산과학기술진흥원장 귀하

‘정지궤도 해양위성 활용연구 (2단계)’ (연구개발 기간 : 2013. 9. ~ 2017. 12.)
과제의 최종보고서 10 부를 제출합니다.

2018 . 03.

주관연구기관명 :	한국해양과학기술원	(대표자)	박영제
협동연구기관명 :	한국항공우주연구원	(대표자)	임철호
참 여 기 관 명 :	(주) 오토로닉스	(대표자)	김기완
	울산과학기술대학교	(대표자)	서판길
	인 하 대 학 교	(대표자)	전한용
	부 산 대 학 교	(대표자)	윤석영
	연 세 대 학 교	(대표자)	조형희
	한국표준과학연구원	(대표자)	신용현
	국 립 수 산 과 학 원	(대표자)	정영훈
	제 주 대 학 교	(대표자)	강 훈
	서 울 대 학 교	(대표자)	김성철
	한 국 과 학 기 술 원	(대표자)	신성철
	가 천 대 학 교	(대표자)	황보택근
	성 균 관 대 학 교	(대표자)	유지범
	부 경 대 학 교	(대표자)	김창수



주관연구기관책임자: 박영제

협동연구기관책임자: 우선희

참여기관책임자: 이성욱, 임정호, 이규성, 조영현,
원중선, 황재동, 정석근, 박경애,
장경일, 김미진, 김성용, 이상현,
이상훈, 이규성, 최민하, 박미옥

해양수산 연구개발사업 운영규정 제40조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20130178	해당 단계 연구 기간	2013.09.01. ~ 2017.12.31	단계구분	2단계/2단계
연구사업명	해양과학조사 및 예보기술개발				
연구과제명	대과제명	정지궤도 해양위성 활용연구 (2단계)			
	세부과제명				
연구책임자	박영제	해당년도 참여 연구원 수	총: 43명 내부: 11명 외부: 32명	해당년도 연구개발비	정부: 1,522,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 1,522,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 85명 내부: 19명 외부: 66명	총 연구개발비	정부: 10,930,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 10,930,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국해양과학기술원/해양위성센터			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 한국항공우주연구원 (주)오트로닉스 울산과학기술대학교 인하대학교 부산대학교 연세대학교 한국표준과학연구원 국립수산물과학원 제주대학교 서울대학교 서울대학교 연세대학교 부산대학교, 제주대학교 한국과학기술원 부산대학교 서울대학교 가천대학교 인하대학교 성균관대학교 부경대학교			연구책임자: 우선희 이성욱 임정호 이규성 조영현 원중선 박철웅 황재동 정석근 박경애 장경일 김미진 조영현 김성용 이상헌 박경애 이상훈 이규성 최민하 박미옥	

○ 연구개발 목적

- 천리안 해양관측위성(GOCI) 중심 위성자료의 현업활용을 위한 실용화 연구

○ 주요 연구개발내용

- GOCI 자료의 실용화 기술(알고리즘 또는 소프트웨어) 개발 연구
- GOCI 표준 산출물의 정확도 검증 및 향상 연구
- GOCI 및 타 위성 자료의 현업지원 서비스

○ 주요 연구개발 성과

- 갈조, 해무 등 10종의 산출물에 대한 실용화 기술(코드) 개발 완료
- 수중가시거리, 일차생산력 등 다수의 산출물 알고리즘 개발
- 대기보정 알고리즘의 개선을 통한 국제 수준의 표준 산출물 정확도 확보
- 활용실무협의체 운영을 통한 체계적인 현업기관 지원 강화
- 갈조, 녹조, 저염수 등 한반도 주변해의 현안에 대한 분석자료 제공
- GOCI 에어로졸 산출물을 대기질에 대한 한미공동조사(KORUS)에 준실 시간 제공됨

* 한반도 주변해양을 하루 8회 관측하는 GOCI 자료의 실용화에 소기의 목적을 달성하였고 이를 인정받아 2016년 국가연구개발 우수성과 100선에 선정됨

* 역대 국내 개발/운영된 위성탑재체 중 최고의 학술적 성과 달성

○ 활용계획

- 해양현안 발생시 신속한 위성자료 제공
- GOCI 위성자료 처리용 알고리즘 또는 소프트웨어는 후속 GOCI-II에 적용될 예정
- 알고리즘 개선과 소프트웨어 개발을 통한 실용성 강화를 지속적으로 추진

보고서 면수 : 241

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천리안 해양관측위성(GOCI) 중심 위성자료의 현업활용을 위한 실용화 연구 - GOCI 자료의 실용화 기술(알고리즘 또는 소프트웨어) 개발 연구 - GOCI 표준 산출물의 정확도 검증 및 향상 연구 - GOCI 및 타 위성 자료의 현업지원 서비스 					
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 갈조, 해무 등 10종의 산출물에 대한 실용화 기술(코드) 개발 완료 ○ 수중가시거리, 일차생산력 등 다수의 산출물 알고리즘 개발 ○ 대기보정 알고리즘의 개선을 통한 국제 수준의 표준 산출물 정확도 확보 ○ 활용실무협의체 운영을 통한 체계적인 현업기관 지원 강화 ○ 갈조, 녹조, 저염수 등 한반도 주변해의 현안에 대한 분석자료 제공 ○ GOCI 에어로졸 산출물을 대기질에 대한 한미공동조사(KORUS)에 준실시간 제공됨 * 한반도 주변해양을 하루 8회 관측하는 GOCI자료의 실용화에 소기의 목적을 달성하였고 이를 인정받아 2016년 국가연구개발 우수성과 100선에 선정됨 * 역대 국내 개발/운영된 위성탑재체 중 최고의 학술적 성과 달성 					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양현안 발생 시 신속한 위성자료 제공 ○ GOCI 위성자료 처리용 알고리즘 또는 소프트웨어는 후속 GOCI-II에 적용될 예정 ○ 알고리즘 개선과 소프트웨어 개발을 통한 실용성 강화를 지속적으로 추진 					
핵심어 (5개 이내)	천리안 해양관측위성	해양 원격탐사	해색위성 활용	산출물 정확도	해양 현안	

영문 요약문

< SUMMARY >

Purpose & Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Operational utilization of data acquired by Geostationary Ocean Color Imager(GOCI) - Study on algorithms or software for analysis of GOCI data for practical applications - Study on quality assurance for GOCI standard products - Service of imagery from GOCI and other sensors for societal issues 					
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Softwares(or code) for automatic processing of floating algae, sea fog, etc(10 items) ○ Algorithms for various geophysical parameters including water visibility and primary production. ○ International level accuracy of standard products of GOCI through improvement of atmospheric correction algorithm ○ Systematic support of user organizations through the “application working group” ○ GOCI data service for coastal water issues such as brown algae, green algae, low salinity water, etc ○ Support for near realtime data service of GOCI aerosol products for Korea-US air quality campaign * This research was selected as one of 100 excellent national R/D projects in 2016 * Outstanding academic achievement among the satellite payloads in Korea 					
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Timely service of satellite-based information for coastal water issues ○ Algorithms or software developed in this project will be used for GOCI-II data processing ○ Strengthening practical use through algorithm improvement and software development 					
Keywords	GOCI	Ocean Remote Sensing	Ocean color applications	product accuracy	ocean issues	

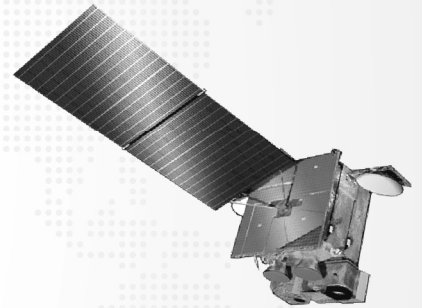
목차 ●●●

제1장 연구개발과제의 개요	3
제 1절. 연구개발 목적	3
가. 최종 목표	3
제 2절. 연구개발의 필요성	5
가. 연구개발의 개요	5
나. 기술적 측면	6
다. 경제산업적 측면	7
라. 사회·문화적 측면	7
제 3절. 연구개발 범위	8
가. 해양 환경 분야 활용 연구	8
나. 천리안 해양관측 위성(GOCI) 자료의 품질 향상을 위한 현장조사 및 확보정	9
다. GOCI 기반 현업 지원	11
제2장 국내외 기술 개발 현황	15
제 1절. 국내 기술 개발 현황	15
가. 현업활용기술개발	15
나. 해양 환경 분야 활용 연구	17
제 2절. 국외 기술 개발 현황	18
가. 현업활용기술개발	18
나. 해양 환경 분야 활용 연구	23
제3장 연구 수행 내용 및 성과	27
제 1절. 사업 추진 체계	27
제 2절. 해양환경 분야 활용 연구	27
가. 개요	27
나. 현업활용기술개발	29
라. 본 연구과제를 통해 획득한 신규 지식 및 주요 성과	124
제 3절. GOCI 알고리즘 정확도 향상	125
가. 개요	125
나. 현장관측자료 획득	130
다. 알고리즘 정확도	181
라. 한미공동해양과학조사 (KORUS-OC)	188
제 4절. 정지궤도해양위성 기반 현업지원	194
가. 개요	194
나. 위성자료 DB 및 서비스 개발	194

다. 활용실무협의체	197
라. 현업지원	199
마. 연구 주제 별 활용 형태	201
제 5절. 기타 연구수행 결과	202
가. 국가연구개발사업 우수성과 100선 선정	202
나. 글로벌 협력체계 및 저변 확대	203
제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	211
제 1절. 목표 달성도	211
제 2절. 관련 분야 기여도	215
가. 국내 해양위성 연구기반 확충	215
나. 위성영상 활용/분석 전문가 양성	216
다. 천리안 해양위성 관제 지원을 통한 연구기반 확보	216
제5장 연구개발성과의 활용계획	219
제 1절. 활용계획	219
제 2절. 기대효과	220
가. 기술적 기대성과	220
나. 사회·경제적 파급효과	220
제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	223
제 1절. 해외 과학기술 정보	223
가. 미국 스티븐스 공과대학	223
나. 일본 SGLI 해색센서 대기보정 연구팀	224
다. NOAA의 VIIRS 해색센서 연구팀	225
라. 기타 국외출장 면담을 통한 정보 수집	226
제7장 연구개발성과의 보안등급	231
제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황	235
제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	239
제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적	243
제11장 기타 사항	251
제12장 참고 문헌	255



연구개발과제의 개요



제 1 장

연구개발과제의 개요

제 1절. 연구개발 목적

가. 최종 목표

- (1) 천리안 해양관측위성(GOCI) 중심 해양위성자료의 현업활용을 위한 실용화 연구
- (2) 정량적 성과 목표

성과목표	세계최고수준 (보유국/보유기관)	연구전 국내수준	목표치
해양환경분석자료 산출을 통한 해양위성의 실용활용 지원	-	-	10 종
천리안 해양관측위성 중심 해양위성자료의 정확도 향상	미국/NASA	50 %	73.7 %
정지궤도 해양위성 기반 현업지원서비스 구축	-	-	서비스 구축

- (3) 최종목표의 성격 및 설정 근거

(가) 최종 연구개발 목표의 성격

본 연구과제의 최종 연구개발목표는 천리안 해양관측 위성 중심의 해양 위성자료의 정확도 향상을 바탕으로 연구 인프라를 구축하여 위성 활용연구를 수행중인 학계·연구계에 지원하며, 해양에서의 재난재해 등 현안 발생 시 신속한 대응이 필요한 현업기관에 정확한 해양 환경 위성 자료 분석결과를 즉시 제공하여 해양 현안에 대한 조기 대응이 가능하도록 지원하는 것이다.

(나) 최종 연구개발 목표의 설정근거

- ① 현안의 중요성과 실현가능한 기술의 완성도를 고려하여 해양환경 분석기술을 2년간 집중 개발하여 현업활용이 가능한 기술을 개발하고 위성현안 서비스에 적용하도록 목표를 제시하였다.
- ② 한반도 지역에 특화된 알고리즘을 개발하여 위성기술 선진기관인 NASA 수준의 정확도를 3차년도에 도달하고 이후 알고리즘을 더욱 개선시켜 한반도 주변 해역에 대해서 선진국을 추월하기 위한 목표를 제시하였다. NASA의 SeaWiFS 검보정 논문에서 CASE-I의 Rrs와 CHL 정확도 기준은 각각 95%, 65%로 명시하고 있으나 NASA 표준 정확도 기준이 주로 수심이 깊은 대양에서 충족하고 있고 그 외 해양에서는 그 기준을 충족하지 못하고 있는 것으로 나타나 있다. 우리나라 주변 해역은 탁한 해역과 맑은 해역을 모두 포함하고 있어 이를 고려하여 알고리즘별, 해역별로 나누어서 년차별 정확도 목표를 제시하였다.
- ③ 천리안 해양관측 위성의 현업 활용 효율화를 위해 현업지원 체계의 구축이 필요하고, 이를 위한 시스템 개발이 필요하다.

(다) 천리안 해양관측위성 정확도 향상 로드맵

표 1. 천리안 해양관측위성(GOCI) 정확도 향상 로드맵

알고리즘	해수 타입	GOCI 정확도				
		2013	2014	2015	2016	2017
R _{rs}	CASE-I	85%	86%	87%	88%	89%
	CASE-II		81%	82%	83%	84%
CHL	CASE-I	55%	60%	65%	66%	67%
	CASE-II		59%	60%	61%	62%
TSS	-	55%	60%	65%	66%	67%
CDOM	-	55%	56%	57%	58%	59%
GOCI 알고리즘 정확도(총괄평균)		67%	68.5%	70.7%	71.7%	72.7%

※ 천리안 해양관측위성 자료 정확도 산출방법

- CASE-I(맑은 해수): 1번 밴드(412nm) 기준
- CASE-II(탁한 해수): 4번 밴드(555nm) 기준
- 오차율(%): 절대 오차 평균
- 정확도(%) = 100% - 오차율(%)
(정확도 ≤ 0 이면 정확도는 0 으로 표기)
- 2013년 알고리즘 정확도(총괄평균) = (Rrs 정확도 × 0.4) + (CHL 정확도 × 0.2)
+ (TSS 정확도 × 0.2) + (CDOM 정확도 × 0.2)
- 2014년 이후 알고리즘 정확도(총괄평균) = (CASE-I Rrs 정확도 × 0.2) + (CASE-II Rrs 정확도 × 0.2)
+ (CASE-I CHL 정확도 × 0.1) + (CASE-II CHL 정확도 × 0.1)
+ (TSS 정확도 × 0.2) + (CDOM 정확도 × 0.2)

※ 천리안 해양관측위성 정확도 향상 로드맵 설정 근거

- 수정된 GOCI 정확도 향상 로드맵 - 최근 발표된 validation(검정) 보고서와 연구논문의 결과를 참고하고 해수 광특성의 차이에 의한 분류에 의해서 GOCI 정확도 로드맵이 수정되었음(2014년-2018년).
- CASE-I의 Rrs와 CHL 정확도 기준은 NASA의 SeaWiFS 검보정 논문(Hooker, S.B. and C.R. McClain, 2000, The calibration and validation of SeaWiFS data, Progress in Oceanography, 45, 427-465)에서 전지구규모의 맑은 해수를 기준(청색밴드 기준)으로 Rrs는 5%의 오차율(정확도 95%), CHL는 35%의 오차율(정확도 65%)로 명시하고 있음.
- 그러나 최근 연구 논문(Bailey, S.W. and P.J. Werdell, 2006, A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products, Remote Sensing of Environment, 102, 12-23)에서 Rrs의 NASA 표준 정확도 기준이 주로 수심이 깊은 대양에서 충족하고 있고 그 외 해양에서는 그 기준을 충족하지 못하고 있음. 또한 이 기준은 SeaWiFS 발사 전에 정의된 기준임.
- 또한 ESA의 MERIS 검정 보고서(MERIS 3rd data reprocessing-Validation report, 2012)에서도 CASE-I의 Rrs 정확도가 13%의 오차율(정확도 87%)을 나타내고 있음.
- 따라서 최근 연구논문 및 보고서 등의 결과에 의거하여 GOCI 알고리즘 정확도 향상 로드맵은 2015년에 CASE-I의 Rrs 정확도를 1번 밴드(412nm) 기준으로 87%를 달성하도록 조정하였음.
- CASE-I의 CHL 정확도도 위의 연구논문 및 보고서 등의 결과에 의거하여 2015년에 정확도 65%를 달성하도록 로드맵을 일부 수정하였음.
- CASE-II의 Rrs 정확도는 ESA의 MERIS 검정 보고서를 참고하여 녹색밴드인 GOCI의 4번 밴드(555nm)을 기준으로 정확도 82%를 2015년에 달성하도록 로드맵을 일부 수정하였음.
- ESA의 MERIS 검정 보고서에서 CASE-II의 CHL과 TSS, CDOM의 정확도 목표치는 "factor 2"로 설정되어 있음. 이것은 CASE-II 해역에서 CHL, TSS, CDOM의 항목들에 대한 불확실성 요소가 많기 때문임.
- CASE-II의 CHL 정확도는 ESA의 MERIS 검정 보고서를 참고하여 정확도 60%를 2015년에 달성하도록 로드맵을 일부 수정하였음.
- TSS의 정확도는 ESA의 MERIS 검정 보고서를 참고하여 정확도 65%를 2015년에 달성하도록 로드맵을 일부 수정하였음.
- CDOM의 정확도는 ESA의 MERIS 검정 보고서를 참고하여 정확도 57%를 2015년에 달성하도록 로드맵을 조정하였음.
- 사업 진척도, 원내 보유 조사선의 운항일정, 과제 관련 현장조사 수행 상황, 원내 타 연구사업과의 연계에 의한 현장조사 수행 상황, 부이 및 기지 등의 고정관측에 대한 유지/보수 현황, 현장자료의 분석 및 처리 상황, 현장자료의 품질(QC) 관리, 매칭자료 관리, 알고리즘 개선 및 개발 연구 일정 등의 모든 사항을 고려하여 GOCI 정확도 향상 로드맵을 매년 최대 5% 이내 향상을 목표로 항목별로 다르게 설정하였음.
- 오차율 산출 방법은 ESA의 MERIS 검정 보고서를 참고하여 산출하고 있음. GOCI를 기준으로 그 계산식을 나타내면 다음과 같음.

$$\text{오차율}(\%) = 100 \times \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{|GOCI_i - \text{현장자료}_i|}{\text{현장자료}_i} \right), n = \text{매칭자료의갯수}$$

- 해양 광학적인 분류에 의한 한반도 주변 해역 구분(문 등, 2010)

동해 : CASE-I 해역

서해 : CASE-II 해역

남해, 동중국해, 제주해협 : 혼합 (CASE-I + CASE-II) 해역

- CASE-I : 해수 광특성을 결정하는 주요 인자가 해수 및 식물플랑크톤의 해역으로 주로 맑은 해역임

- CASE-II : 해수 광특성을 결정하는 주요 인자가 부유물질, 용존유기물 등 다양한 부유입자의 해역으로 주로 탁한 해역임.

제 2절. 연구개발의 필요성

가. 연구개발의 개요

- (1) 한반도 주변 해역은 시/공간적으로 변화가 크기 때문에 외해 및 연안 역에서 제한적인 현장조사를 통해서만 해양환경 변화를 관측 및 예측하는 양질의 자료를 얻기 힘들고 종합적인 분석이 힘들기 때문에 자연적/인공적 요인에 의해 빠르게 변화하는 연안/해양을 감시 및 모니터링 할 수 있는 원격탐사 자료의 활용은 필수적인 기술로 인식되고 있다.
- (2) 기존의 극궤도 해양위성은 낮은 시간 해상도로 인하여 자연히 지역적으로 미세하게 변화하는 환경을 실시간 관측이 어려우며, 한 지역을 다시 방문하는데 시간이 소요되면서 그 사이에 모든 해양현상이 소멸되거나 구름으로 인하여 관측이 용이하지 않다.
- (3) 이런 문제점을 극복하기 위해서 제안된 천리안 위성(COMS, Communication, Ocean, Meteorological Satellite)에 탑재된 해양관측위성(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager)은 SeaWiFS, MODIS 등 기존의 극궤도 위성으로 동일 해역을 관측할 때보다 높은 공간해상도와 뛰어난 시간해상도를 가지고 있으며, 보다 연속적인 해양 현상의 변화를 관측할 수 있다.

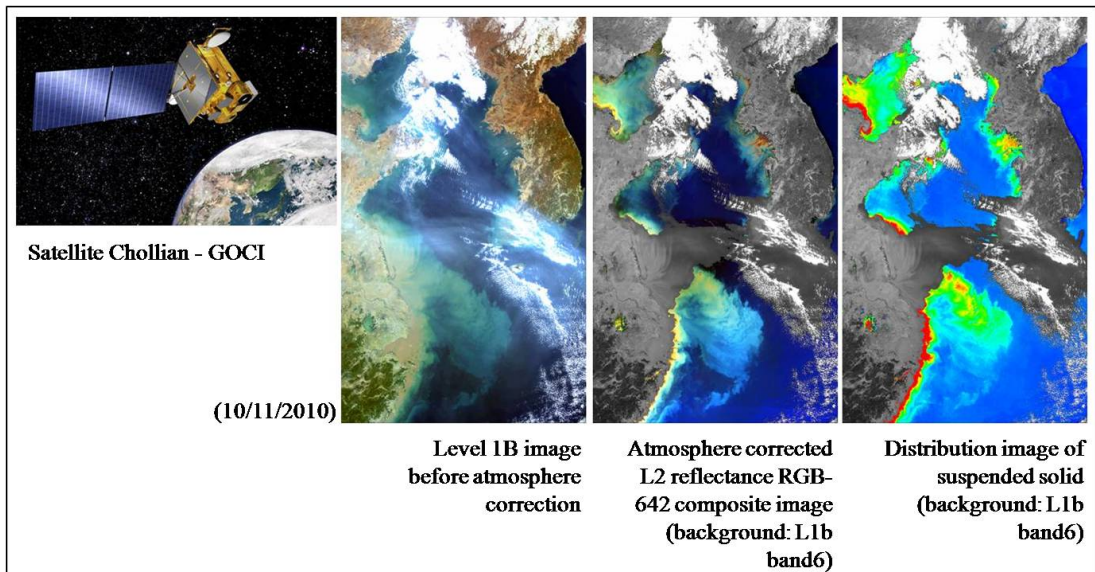


그림 1. 정지궤도에서 GOCI가 관측한 한반도 주변해 분석 영상 예시

- (4) GOCI는 2003년부터 개발이 진행되었으며, 위성개발과 동시에 전용 자료처리 소프트웨어가 2003년부터 독자적으로 개발이 진행되었다. 또한 GOCI의 성공적인 발사 후 현재 GOCI 위성의 운용 및 배포가 이루어지고 있다.
- (5) GOCI 영상의 활용 극대화를 위해 정지궤도 해양위성 활용연구 1단계 사업(2007-2012년)이 추진되어 성공적으로 수행되었다. 이 사업은 주로 “GOCI 활용연구 수행과 기반환경 구축 및 검·보정”을 목표로 국내외 연구 환경 구축, 연구지원, 자료의 검·보정 및 알고리즘 개선 연구 등의 내용이 수행되었다

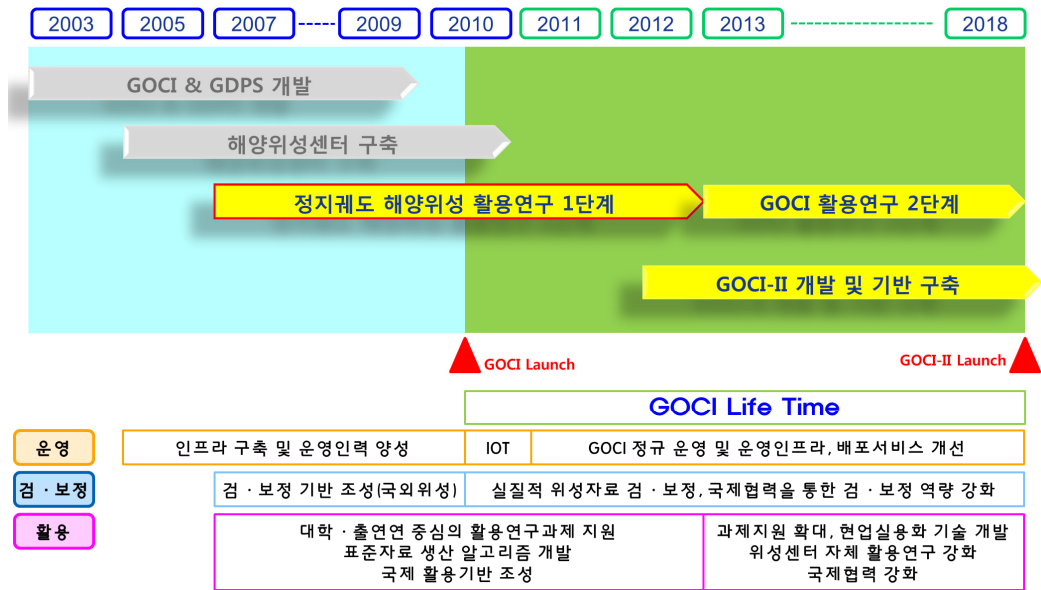


그림 2. 정지궤도 해양위성 개발/활용 추진 일정

- (6) GOCI를 통하여 해양 변화 관측을 위한 알고리즘 개발이 이루어졌으며 이를 활용하여 해양 환경과 기후변화에 대한 연구를 진행하였다. 하지만 추가적으로 연안 및 해양영토 관리, 대기·기상·육상 방재에 대한 지속적인 모니터링은 물론, 군·경·정보기관에서의 활용을 위한 정밀한 검·보정 연구 및 2차적인 산출물 알고리즘이 필요하다.
- (7) 따라서 GOCI의 정규운영 기간(~2017년) 동안 위성자료의 현업 활용 및 실용화를 위한 2단계 활용연구 사업이 필요하다. 특히 전 지구적 환경 관측망 구축을 위한 국제협력 지원체제 동참 및 한반도 해양환경에 특화된 첨단 국가해양관측망 구축이 필요하며, 위성활용 과급효과 확산을 위한 국제 위성활용연구도 추진되어야 한다.
- (8) 현재 세계 최초의 정지궤도 해양관측위성(GOCI) 운용으로 해양 원격탐사분야에서 국제 연구의 선도적인 역할을 수행하는 등 국제적으로 위상이 상승하고 있으며, 이에 힘입어 GOCI의 2단계 사업으로 GOCI-II의 개발도 진행 중에 있다.

나. 기술적 측면

- (1) 해양관측위성의 특성 상 수신된 위성자료를 이용하여 자료처리 시 해양환경 분석 자료의 불확도는 원래 위성자료가 가지고 있는 측정 불확도의 10배 이상 증가하기 때문에, 정확도 높은 위성자료 생산을 위해서는 위성자료의 검·보정 기술 개발이 반드시 필요하다.
- (2) GOCI는 기존의 극궤도 위성과 촬영 기술 및 획득 주기가 다르기 때문에 기존과 다른 검·보정 기술이 필요하다. 따라서 사용자들에게 정밀한 위성 영상을 제공하기 위하여 영상의 지속적인 검·보정이 필요하며 이를 위한 검·보정 기술 개발이 필요하다.
- (3) 위성 영상의 검·보정 계수를 제공함으로써, 영상의 질을 높이고 이를 통하여 GOCI 영상의 활용 분야를 확대 시킬 수 있다.

- (4) 한반도 주변의 기후변화 및 해양환경변화 모니터링 등 실질적인 활용 및 정밀한 성과도출을 위해서는 지속적인 활용연구를 통한 새로운 위성자료 분석기술이 필요하다. 특히 광역적인 해양환경 모니터링을 위해서는 기존의 연구와는 다르게 대상해역에 적합한 위성 분석 및 활용 기술이 필요하다.
- (5) 해양 분야에 있어서 해양위성을 이용한 다양한 모니터링 및 활용연구를 위한 역량강화 지원은 필수적이며 위성의 실용성 강화를 위한 종합 해양관측위성 현업지원활용 시스템 개발 및 체계 구축도 필요하다.

다. 경제산업적 측면

- (1) 해양관측위성자료를 이용하여, 적조와 녹조 등 해양 이상 현상의 정확한 분석 및 예측을 통한 현업활용을 위해서는 신뢰도 높은 고품질의 위성자료 생산이 필수적으로 수반되어야 한다.
- (2) GOCI 발사 후 위성 활용을 통한 현업 운용 및 성과창출을 위하여 위성 영상의 검·보정 기술 개발은 반드시 필요하다.
- (3) GOCI 자료를 활용한 분석기술은 적조 및 녹조 예찰, 어장정보 등 현업지원이 가능하며 양식/수산업 등 유관산업 발전에 기여 할 수 있다.
- (4) 특히 적조 및 녹조 등 해양환경모니터링 및 해양재해/재난감시를 통한 국가적 해양 이슈 조기대응 및 피해저감 등에 활용될 수 있으며 해양 재해 실시간 검출 시스템 구축을 통해 어업 피해 방지 및 해역 환경 관리에 기여 할 수 있다.
- (5) 해양위성을 통한 한반도 및 한반도 주변 해양환경의 실시간 감시 모니터링 및 분석과 같은 활용은 해양 및 육상의 탄소흡수지수 개발 등 녹색성장관련 신산업 발전에도 기여 가능하다.

라. 사회문화적 측면

- (1) 세계 최초의 해양관측을 위한 정지궤도 위성인 GOCI의 개발은 시대를 앞선 뛰어난 해안, 진취적인 도전정신과 아울러 우주개발분야의 틈새시장(niche market)을 철저히 겨냥한 냉철한 연구분석이라는 세박자가 절묘하게 맞아 떨어진 것으로서 지난 20여년간의 국내우주개발 사상 최고의 성과로 평가 가능하다.
- (2) 국내 우주개발분야 가운데 거의 유일하게 선도적 위치를 점하고 있는 정지궤도 위성을 이용한 해양관측분야의 우월적 지위를 지속적으로 유지하기 위해서는 질 높은 영상의 지속적인 제공 및 다양한 분야에서의 활용을 통하여 사용자 관심도를 높이고 사회·문화적 파급효과가 큰 우주개발분야 국가 위상 제고 및 국민의 자긍심 고취 가능하다.
- (3) 실질적인 해양관측위성 개발이 해외공동개발기관 주도로 이루어지는 현실에서, 우리나라가 주도적인 위치를 점하고 해양관측위성 임무개발 및 위성활용 연구개발 역량을 강화하고 GOCI 활용의 세계적인 트렌드를 주도하기 위해서는, 우리나라 주도의 위성 활용 분야 확대가 필수적이며 이를 위하여 위성 활용 기술을 개발하는 것이 필수적이다.
- (4) GOCI 위성 자료를 활용한 해양 환경 변화 및 국가 영토 변화의 실시간 모니터링 결과를 군사기관에 제공함으로써 국가 안보에 기여 가능하다.

제 3절. 연구개발 범위

가. 해양 환경 분야 활용 연구

- (1) 신규 해양환경 분석 알고리즘 개발/검증
 - (가) 수질등급, 식생지수, 구름지역 복원 알고리즘 개발 및 검증
 - ① HPLC 분석 및 흡광 측정 자료 기반의 식물 플랑크톤 크기별 분석 알고리즘 개발 및 검증
 - ② 어장지수 및 일차생산 알고리즘 개발 및 검증
 - ③ 해류벡터 알고리즘 검증/개선(해류벡터 추정 시 고려요소 재검토)
 - ④ 현장관측자료와의 비교를 통한 알고리즘 검증
 - (2) 기존 알고리즘 고도화
 - (가) 국립수산과학원 자료와의 비교를 통한 적조 알고리즘 정확도 향상
 - (나) 계수 조정을 통한 녹조 알고리즘 최적화
 - ① 부이 및 ARGO 등의 현장 관측 자료와 모델 예측 자료를 활용한 해류벡터 알고리즘의 검증 및 정확도 향상
 - ② 국외 타 위성 알고리즘을 활용한 해양전선 알고리즘의 상호 비교 및 정확도 향상
 - ③ 현업용 수질등급 분류 기준을 이용한 수질등급 알고리즘 검증 및 개선
 - ④ 기존(녹조) 알고리즘의 정확도 평가
 - (3) 현업활용 기술 개발
 - (가) 적조/녹조 현업활용 기술 개발
 - ① 적조/녹조 발생 상시 모니터링
 - ② 해역별/계절별 발생 통계 분석
 - ③ 현안대응 매뉴얼 제작 및 분석방법 표준화
 - (나) 해류벡터/해양전선 현업활용 기술 개발
 - ① 해류벡터/해양전선 상시 모니터링
 - ② 해역별/계절별 전선 및 에디 발생 통계 분석
 - ③ 현안대응 매뉴얼 제작 및 분석방법 표준화
 - (다) 수질등급 현업활용 기술 개발
 - ① 수질등급 산출물을 활용한 연안 해역 상시 모니터링
 - (라) Kd 현업활용 기술 개발
 - ① profiler-II를 이용한 현장 조사를 바탕으로 kd 값을 도출
 - (마) 수중가시거리 현업활용 기술 개발
 - ① 수평가시거리는 기존 Kd의 1차식으로 구성된 알고리즘을 Kd의 역수로 알고리즘을 수정
 - ② 탁한 해역에서 보정
 - ③ 수직가시거리는 탁한 해역에 적합한 hybrid형 Kd 알고리즘으로 대체함
 - (바) 갈조 현업활용 기술 개발
 - ① 팽생이 모자반 유조와 인접 해수의 반사도 차이를 이용하여 팽생이 모자반 탐지
 - ② 근적외선 반사도에서 적색 반사도를 뺀 값을 이용하여 조류를 탐지

- (사) 저염수 현업활용 기술 개발
 - ① 기존의 CDOM과 염분과의 관계에만 국한하지 않고 다른 변수를 이용하여 개발
- (아) 유해생물 추적 현업활용 기술 개발
 - ① 유해생물의 이동경로를 예측하기 위한 수치모델·위성자료 융합 연구
 - ② 표층 해류 흐름과의 상관관계 분석으로 이동 양상 예측
- (자) 적조 현업활용 기술 개발
 - ① 탁도를 고려한 알고리즘 개발을 통하여 적조 추정 성능을 개선
- (차) 해무 현업활용 기술 개발
 - ① 인공지능을 이용한 해무의 탐지 알고리즘 개발
- (4) 고해상도 위성 연계 활용 기초연구
 - (가) 고해상도 영상 (Landsat ETM+ 등)을 활용한 연안 습지 생태주제도 작성 및 GOCI를 활용한 연안 해수 탁수 분포도 작성
 - (나) 경험적 알고리즘을 개발하여 천리안 해양관측위성 영상 및 고해상도 영상으로부터 부유퇴적물 농도 분포도 작성
 - (다) 부유퇴적물 농도에 영향을 미칠 수 있는 환경인자 자료 수집 및 분석(강우량, 강의 유입량, 조위 변화 등)
 - (라) 고해상도 위성 영상의 NIR/SWIR 밴드를 사용하여 GOCI 영상의 수준의 대기보정 실시
 - (마) 폭이 좁은 한강 하구역 연안지역의 부유퇴적물 변화 분석을 위하여 GOCI 영상과 고해상도 위성 영상 융합 연구
 - (바) GOCI와 고해상도 영상의 융합을 통한 연안 주제도 생성
 - (사) 고해상도 영상을 이용한 적조 탐지 및 GOCI 분석으로의 연계 연구

나. 천리안 해양관측 위성(GOCI) 자료의 품질 향상을 위한 현장조사 및 검보정

- (1) 선박을 이용한 현장 관측
 - (가) 동해 남부 해역 해양 광특성 현장조사 수행
 - (나) 동해 중부 해역에서 유기탄소, 크기별 플랑크톤 분석 등 기후변화 및 탄소순환 관련 현장자료 확보
 - (다) 탁수 및 연안 해역 광특성 현장조사 수행
 - (라) 울릉도-독도 해역에서 유기탄소, 크기별 플랑크톤 분석 등 기후변화 및 탄소순환 관련 현장자료 확보
 - (리) KIOST내 과제 및 유관기관과의 협조를 통하여 동해 해역에서 해양 광특성 현장자료 확보
- (2) 해양관측부이를 이용한 현장 관측
 - (가) 동해 해양광학부이(ESOOB)를 활용한 현장자료 획득 및 자료검증
 - ① 검·보정용 동해 해양광학부이(ESOOB) 설치
 - ② 부이의 지속적인 운용 및 현장관측을 통한 자료검증
 - ③ CHL, 탁도, CDOM 측정용 형광센서 추가 장착
 - ④ 현장관측을 통한 자료검증
 - ⑤ IOP 측정용 scattermeter 추가 장착

(3) 과학기지를 이용한 현장 관측

(가) 이어도 해양과학기지를 활용한 현장자료 획득 및 자료검증

- ① AERONET-OC의 이어도해양과학기지 설치 및 위성자료 Reference site 등록
- ② 조사원과 협력하여 이어도해양과학기지에 AERONET-OC system 설치 및 운용
- ③ 수집된 AERONET-OC 관측자료를 이용하여 현장자료 및 GOCI 자료의 검보정 연구

(나) 새만금 해상관측기지를 활용한 현장자료 획득 및 자료검증

- ① TriOS 해양 광학 관측시스템 설치 및 지속적인 운용을 통한 현장자료 확보
- ② 기지 주변 해역 현장조사를 통한 자료검증

(다) 서해 및 가거초 해양과학기지를 활용한 현장자료 획득 및 자료검증

- ① 기지 준공 후 AERONET-OC System과 TriOS 해양 광학 관측시스템 설치 및 운용
- ② AERONET-OC와 TriOS 현장자료의 비교/분석
- ③ 기지 주변 해역 현장조사를 통한 자료검증
- ④ 기지의 AERONET-OC System과 TriOS 해양 광학 관측시스템의 교차 회수 및 검교정(현장 자료의 공백 최소화)

(4) GOCI 해수환경 표준자료의 정확도 향상

(가) 매칭자료에 의한 위성자료 산출물의 정확도 계산

- ① 통계분석에 의한 Rrs, CHL, TSS, CDOM의 정확도 산출

(나) 대기보정 알고리즘 개선

- ① 수집된 현장자료를 기반으로 대리교정(Vicarious Calibration) 수행
- ② 수집된 현장자료를 기반으로 대리교정(Vicarious Calibration) 수행 및 센서 degradation 추정
- ③ 수집된 검정자료를 기반으로 flag의 threshold 값 보완
- ④ 탁한 연안 해역에서 대기보정의 정확도 향상을 위해 Red-NIR 파장대 상관관계의 불확실성 최소화 연구
- ⑤ 높은 태양/관측 천정각에서의 대기보정 안정성 향상(해수표면반사 영향 개선)
- ⑥ 대기 보정에 있어서 각 픽셀의 노이즈 최소화 연구 수행
- ⑦ 높은 태양/관측 천정각에서의 대기보정 안정성 향상(대기투과모델 개선)
- ⑧ 기존 대기 에어로졸 모델 평가 및 개선방안 연구(록업테이블 보완)

(다) 현장자료 및 매칭자료를 이용한 해수환경 표준자료 알고리즘 개선 및 정확도 향상 연구

- ① 계수 조정 및 수식형태 변환 등의 경험적 알고리즘 개선
- ② 개선된 알고리즘의 정확도 검정
- ③ 위성자료 산출물의 정확도 계산
- ④ 계수 조정 및 수식형태 변환 등의 경험적 알고리즘 개선
- ⑤ 반분석적 알고리즘의 개발 연구
- ⑥ 개선된 알고리즘의 정확도 검정
- ⑦ 반분석적 알고리즘의 개발 연구
- ⑧ 알고리즘의 정확도 검정

(5) 현장시료 분석법 개선 연구

(가) SS-탁도 연관성 분석(I)

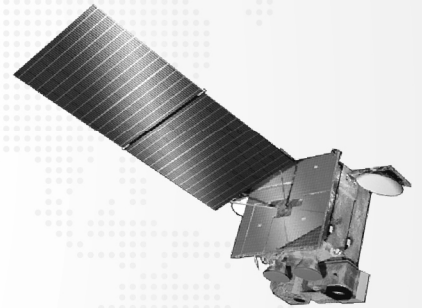
- ① 탁도계-SS의 동시 관측자료 확보 및 SS-탁도 연관성 분석
- ② SS-탁도 관계식 도출 및 국외 연구결과와 비교
- (나) CDOM 시료 분석 방법 검증(I)
 - ① 2가지의 시료채취방법(주사기방식과 2번의 여과방식)을 통해 얻은 CDOM 시료 비교/분석
 - ② 해역별에 따른 CDOM 시료 분석 방법 비교/분석

다. GOCI 기반 현업 지원

- (1) 주관 운영기관 업무 수행
 - (가) 시스템 유지보수
 - ① 수신, 전산, 기타위성, 자료처리, 관리, 배포, 네트워크, 보안
 - (나) 실시간 위성 운영 및 배포 서비스
 - (다) 준실시간 영상 모니터링 및 현안 대응 지원
 - ① 기관별 요청자료 개발 및 지원
 - ② 공동연구, 사용자 기술 교육 지원
 - (라) 위성관제 업무지원
- (2) 지상국 인프라 강화
 - (가) 자료 재처리 및 자동화 방안 개선 연구
 - ① 개선 요구사항 도출
 - ② 병렬처리 기법 연구, 네트워크 효율화
 - ③ 동향분석 기술의 GOCI 시스템 적용 여부 검토
 - (나) 위성자료관리시스템
 - ① 사용자 요구사항 및 위성자료 서비스를 고려한 DB 설계 및 구축
(my-sql 기반 자료 등록/검색/삭제 기능 구현, DB 스키마 설계(현업결과 포함))
 - ② 지역별 현안 분석 정보를 배포시스템과 연계
 - ③ 위성자료 레벨별 검색과 더불어 현안별, 지역별 분류 기능을 추가
 - ④ 현업지원 웹사이트 개발
 - ⑤ 위성 운영기관 및 현업기관 전용 지원 웹사이트 개발
 - ⑥ 사용자 맞춤형 웹페이지 개발(사용자 요구사항 설문조사 실시)
 - (다) GDPS 소프트웨어 개선 및 공개
 - (라) 위성자료 실시간 서비스 개선
 - ① 사용자 편의성 강화 : Open access 도입
 - ② 시스템간 배포주기 단축
 - ③ 네트워크 대역폭, 배포 서버 및 스토리지 개선



국내외 기술 개발 현황



제2장

국내외 기술 개발 현황

제 1절. 국내 기술 개발 현황

가. 현업활용기술개발

(1) 해류벡터

국내에서 해류벡터에 관해 주로 다루고 있는 기관으로 국립해양조사원이 있다. 이 기관은 우리나라 주요해역 및 항로와 위험해역의 해류 흐름에 대한 정보를 제공하기 위해 해양관측부이, 해수유동관측소 등을 이용하여 유향과 유속을 관측하고 있다. 또한 우리나라 주요항만 및 연안의 해수면 변동 파악, 예측정보 산출, 수심기준면 결정 등에 기초자료로 사용되는 조석정보를 산출하기 위해 조위관측소를 운영하고 있다. 이러한 정보들은 국립해양조사원 홈페이지(<http://www.khoa.go.kr>)를 통해 확인해 볼 수 있다.

위와 같이 해양관측부이, 해수유동관측소, 조위관측소 등을 이용하여 해류정보를 획득 하는 데는 지역적으로 한계가 있다. 관측 장비 주변에 대한 정보만 확인할 수 있고, 광범위한 해역에 대한 정보는 확인하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 위성을 활용하여 해류를 유추하는 방법이 있다. 위성 SAR(Synthetic Aperture Radar)를 이용하면 광범위한 해역의 해류 정보를 유추할 수 있다. 위성 해수면 온도 자료에 MCC(Maximu Cross Correlation) 기법을 도입하여 해수면의 흐름을 유추하는 방법도 있으며, 최근에는 해수면 온도 대신에 염록소 농도 및 부유물질 농도 자료에 MCC 기법을 도입하여 해수면 흐름을 유추하려는 시도도 많이 이루어지고 있다.

(2) 적조

Ahn and Shanmugam(2006)에서는 적조지수(RI)를 제안하여 해상위성인 SeaWiFS에 적용하였다. 적조 해수내의 염록소를 추정하는 연구로써 염록소 범위가 0.4- 71 mg/m³에 이르는 현장 적조 조사 자료를 이용하여 443, 510, 555 nm 대역의 해수반사도를 기반으로하는 적조지수 알고리즘을 검증한 결과 대상 현장자료에 대해서 높은 상관관계를 보여주는 것을 확인하였다(R²=0.92).

Kim 등(2017)에서는 수중 복사전달모델인 Hydrolight을 이용하여 적조의 해수반사도를 모의하고 일반 규조류와 적조를 구분할 수 있는 가능성에 대하여 연구하였다. 특정 제한된 조건의 모의실험에서 초분광 반사도자료를 이용하여 구분 가능성을 제시하였으며, 우리나라 빈발 적조종인 코클로디니움 종에 대한 실험을 수행하였다.

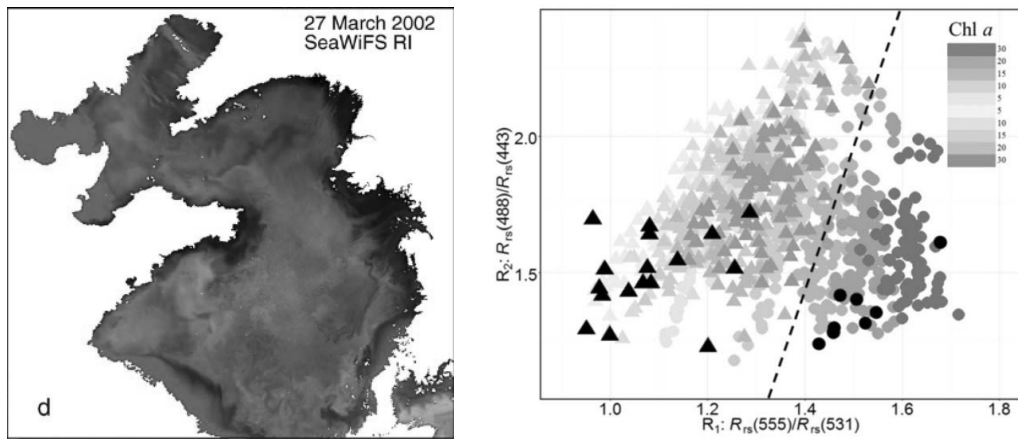


그림 3. (좌) SeaWiFS를 이용한 적조지수 영상. 서해에 퍼져있는 적조를 포착했다고 보고되어있다. (우) 규조류 중심의 식물성 플랑크톤 군집(녹색)과 적조종 군집(적색)의 해수반사도 비 산포도를 나타낸 모습

(3) 유해생물추적

기존의 인공위성자료를 이용하여 유해생물에 관련된 연구는 주로 탐지에 그 초점이 맞춰져 있었다. 특히 대부분의 연구들은 MODIS 등의 해색 위성에 있는 스펙트럼 밴드자료를 이용하여 유해생물을 탐지하고자 하였다. 하지만 해색위성은 구름에 가려진 지역은 관측이 불가능하고, 극궤도위성의 경우 연속적인 관측이 매우 어렵기 때문에 이동 경로나 확산영역 산출 등에 대한 연구는 극히 드물다. 그럼에도 불구하고 유해생물의 이동경로 파악에 대한 연구는 위성 자료 또는 모델자료를 이용한 입자추적 실험으로 실시되고 있다.

서와 김(2014)는 3차원 해수유동모델(POM)을 이용하여 한국 남해 연안에서 하계에 상습적으로 발생하는 유해적조생물의 이동과 확산에 관하여 파악하고자 하였다. 이 연구에서는 해류장을 산출할 때 조석, 취송류, 밀도류를 고려하였다. 하지만 이 연구에서는 유해생물의 정확한 이동 경로 추적 보다는 확산될 수 있는 범위 예측에 초점을 두었다. 하지만 연구 결과가 실제 팽생이 모자반 분포와는 상이하게 나타났으며, 이를 보완하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다고 제시하였다. Son 등(2015)은 GOCI이미지에서 황해와 동중국해에 발생한 녹조 대변성을 관측하였다. 그리고 녹조 덩어리의 분포를 확인하기 위해서 입자추적 실험을 실시하였다. 입자추적 실험을 실시한 해류는 ROMS모델의 해류장을 이용하였으며, 해류만을 고려했을 때와 바람과 해류를 같이 고려하였을 때를 구분하여 입자추적실험을 실시하였다. 그 결과 2011년에 발생한 녹조는 바람에 의한 영향을 강하게 받아서 변성하고, 분포하였다는 것을 밝혀내었다. 따라서 황해 지역에서 유해생물의 이동 경로를 추적할 때 바람이 반드시 고려되어야 한다.

Kim 등(2016)은 입자추적실험을 실시하여 적조의 이동 경로를 파악하여 동해연안에서 발생한 적조의 기원지를 파악하였다. 이 연구에서는 바람을 고려하지 않고 지형류만을 이용하였는데, 그 결과가 GOCI로 관측한 클로로필 이미지와 잘 맞았다고 보고하였다.

(4) 해무

현재 위성을 이용한 해무 탐지에서 가장 어려운 부분은 해무와 하층운을 구별하는 부분이다. 해무와 하층운은 광학적 특징이 매우 유사하여 위성 영상에서 구분이 힘들다. 문헌조사 결과, 허기영 등(2008)은 해무의 운정 표면이 구름에 비해 균질한 특성을 이용하여 극궤도 MODIS 위성영상을

이용한 하층운/안개 구별 연구를 수행하였다. 기상위성센터에서는 천리안위성 기상탐재체(Meteorological Imager, MI)의 근적외채널과 적외채널의 밝기온도 차이를 이용한 안개탐지 알고리즘을 현업에 운용 중이나, 천리안 기상위성 분석자료 품질검증 보고서(박훈 등, 2016)에 따르면 안개 탐지율(Possibility of Detection, POD)은 약 0.11에서 0.16, 오탐율(False Alarm Rate, FAR)은 0.71에서 0.80으로 매우 높아 개선이 필요하다. 최근에는 2019년에 발사될 차세대 정지궤도 위성(Geo-Kompsat-2A, GK-2A)의 기상탐재체인 Advanced Meteorological Imager(AMI)에 활용될 안개 탐지 알고리즘이 개발 중에 있다(김소형 등, 2016). 아직 AMI가 가용하지 않기 때문에 Himawari 위성 자료를 이용하여 가시-근적외-적외영역을 기반으로 알고리즘을 개발하고 있다.

(5) 저염수

안 등(2008)은 다년간 동중국해에서 얻어진 실측 값을 바탕으로 염분 추정 알고리즘을 개발하였다. 실측범위는 29-35 psu의 자료만 사용되었으며 극저염부분의 실측자료의 부재를 극복하기 위하여 Miller 등(2002)이 사용한 강 주변의 실측자료(0-10psu)를 함께 사용하였다. 400nm에서의 CDOM에 의한 흡광도를 구하기 위하여 기존 연구에서 사용하던 방법을 탈피하여 원격반사도의 비율을 이용하여 계산하였으며 염분을 CDOM의 흡광도의 지수함수로 표현을 하였다.

나. 해양 환경 분야 활용 연구

(1) 녹조

녹조류는 원생생물 중 녹색의 조류를 통틀어 이르는 말이다. 대부분은 호수에 많이 살지만 해수에서 생활하는 경우도 있다. 최근 중국 청도 근해에서 발생하는 녹조 대번식이 한반도에도 많은 영향을 끼치고 있기 때문에, 국내에서도 해양 녹조에 대한 관심이 높아지고 있다. 광범위한 해역에 대한 녹조 분포를 파악하기 위해 해색 위성자료를 활용하는 사례가 증가하고 있다. 해양위성센터는 GOCI를 이용하여 해양 녹조의 검출, 이동경로 및 근원지 확인 등을 위한 연구개발을 해오고 있으며, 환경부도 2019년부터 위성을 이용하여 녹조 관측 및 예측을 위한 연구개발을 시작할 계획이다. 환경부는 2015년부터 초분광 영상을 이용하여 녹조를 모니터링하는 연구를 수행해 오고 있기도 한다. 초분광 센서는 가시광선 영역(400~700nm)과 근적외선 영역(700~900nm) 파장대를 수백개로 쪼개어 영상을 획득할 수 있기 때문에 육안보다 다양한 스펙트럼의 빛을 감지할 수 있다.

(2) 입자성탄소농도(POC)

해색을 측정하는 원격 탐사의 목적 중 하나는 생태계와 생태계 순환을 이해하기 위함이며 1970년대부터 클로로필, 플랑크톤 등이 측정되고 데이터가 수집되었다. POC는 시공간적인 변화가 큰 입자이므로 원격 탐사를 이용한 연구가 필요하다. 해양 표층에 분포되어 있는 POC를 추정하기 위해 국내에서 여러 연구들이 이루어졌다. 홍기훈 등 (2011)에서는 동해 서남부 해역에서의 POC 알고리즘을 개발하는 연구를 발표하였다. MODIS AQUA 자료와 2006~2010년 봄, 여름의 현장 측정 POC와의 비교를 통해 동해의 광학특성을 반영한 POC 알고리즘을 개발하였다. 이러한 선행 연구들을 토대로 하여 GOCI 위성 자료를 이용하여 POC 시공간 변이 특성, 알고리즘을 통한 POC 추정 등의 연구가 진행 중이다.

제 2절. 국외 기술 개발 현황

가. 현업활용기술개발

(1) 해류벡터

해류벡터는 해양 소용돌이의 발생이나 해양 생태계에 미치는 영향이 크며, 어장 형성, 선박 경로 설정 등에도 많은 영향을 미친다. 특히 조류는 군사적 미션을 수행하는데 큰 영향을 미치며, 유류 유출, 적조 발생 등과 같은 해양 재난이 발생하였을 때, 이 부유물들이 어디로 흘러갈지에 대한 예측을 가능하게 해주기 때문에 중요하다. 해류 정보는 조난 사고 시 구조 및 탐색에도 유용하게 활용될 수 있다.

위와 같은 이유로, 위성자료를 이용하여 광범위한 해역의 해류 정보를 확인하기 위해 시도가 많이 이루어져 왔다. 가장 대표적인 방법은 위성 고도계를 이용하여 해수면 높이차로부터 지형류(Geophysical Current)를 산출해내는 방법이 있다. 지형류를 산출하기 위한 대표적인 위성 고도계로는 TOPEX/Poseidon과 Jason-1이 있다. 또 다른 방법으로는 X-band 레이더 혹은 InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar)를 이용하는 방법도 있다. 최근에는 해수면 온도, 엽록소 농도, 부유물질 농도 등과 같은 해색자료에 MCC 기법을 적용하여 해수면 흐름을 파악하는 연구도 많이 이루어지고 있다.

(2) 해양전선

해양 프론트는 생물학적 활동이 발달하거나 물리적 변화가 심한 지역에서 띠 형태로 나타나는 현상을 말한다. 이러한 프론트는 서로 상이한 에너지 혹은 수괴 등이 서로 혼합되는 해역에서 주로 나타난다. 프론트 정보를 알면 해양 생태계의 생물학적 특성이나 물리적 변동성을 이해하는데 많은 도움이 되며, 특히 비옥한 어장 찾는 데도 도움이 될 수 있다.

이러한 이유로 위성 자료를 이용하여 해양 프론트를 확인하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. 전통적으로 위성 해수면 온도자료로부터 프론트를 유추하는 연구가 많이 이루어져 왔다. 따뜻한 해수와 차가운 해수가 만나는 지점에서 온도 차이로 인해 강한 프론트가 발생되며, 이때 해양 소용돌이 혹은 버섯모양의 구조 등 역동적인 물리적 변동성을 동반하는 경우가 많다. 최근에는 엽록소 농도와 같은 위성 해색자료를 이용하여 프론트를 유추하는 연구도 많이 이루어지고 있다.

(3) 갈조

(가) 미국에서는 MODIS와 MERIS를 이용하여 Gulf of Mexico나 캐리비안 해 등의 중서 대서양(Central West Atlantic)에 발생하는 모자반을 탐지하는 시스템이 개발되었다(2016년, 남플로리다 대학).

(나) University of South Florida에서 개발한 SaWS(Sargassum Watch System)는 해색위성을 이용하여 AFAI(Alternate Floating Algae Index)를 계산한 후, HYCOM(Hybrid Coordinate Ocean Model)을 연동하여 단기 이동 예측(일주일후) 결과까지 제공한다. 모든 탐지 및 예측 결과는 Google Earth에 표출이 되며, 영상이나 벡터의 형태로도 제공이 가능하다. 상륙 예측치와 실제 상륙일과의 비교결과 최대오차는 3일, 상위 95%는 0.42 지연 예측, 하위 95%는 -0.47 조기상륙 예측하였고, 평균 오차는 0.03일로 아주 정확한 상륙 예측 결과를 도출하였다(총 분석 자료갯수는 34건).

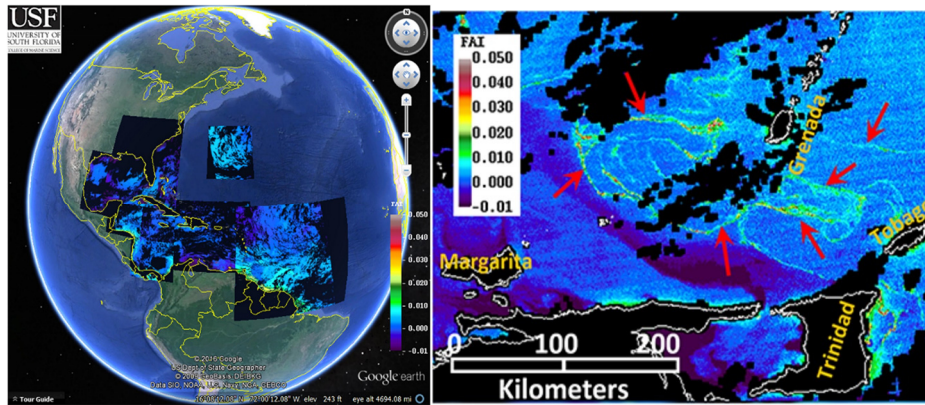


그림 4. SaWS 표출 시스템

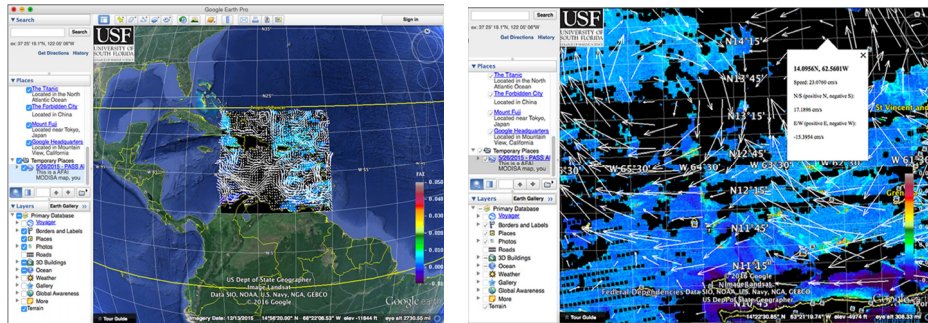


그림 5. SaWS의 HYCOM 결합 표출 결과

(다) Texas A&M의 연구그룹이 SEAS(Sargassum Early Advisory System)라는 웹페이지를 통해 텍사스주, 플로리다주, 캐리비언해 주변 해변의 모자반 탐지 및 상륙을 예측하는 서비스를 제공하고 있다. 기본적으로 Landsat 고해상도 영상을 이용하여 탐지를 수행하고, 지역의 해류, 바람 관측소로부터의 자료를 바탕으로 표층 해류를 예측하여 상륙 시기를 예측한다.

(4) 적조

NOAA에서는 플로리다주 연안와 텍사스주 연안의 멕시코만에서 발생하는 적조를 모니터링하기 위한 위성기반 적조 모니터링 시스템(HAB-OFS)을 운영하고 있다. NOAA 적조 모니터링 시스템 운영팀(COAST팀) 방문하여(15.09) 적조 시스템에 대한 자료를 입수하였고, 미국 및 유럽의 해상위성 MODIS와 MERIS를 이용하여 장기간 시계열 엽록소 자료를 이용하여 적조발생을 탐지하는 기술이 개발되어 운영되고 있음을 확인하였다(Stumpf et al., 2003, Tomlinson et al., 2004).

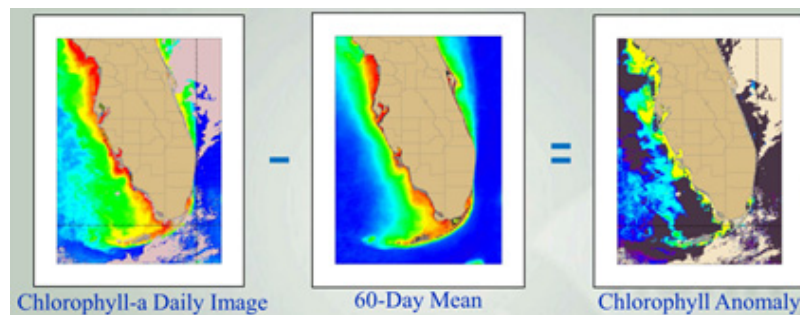


그림 6. 해양위성을 이용한 플로리다주 연안의 적조 발생 탐지 기법

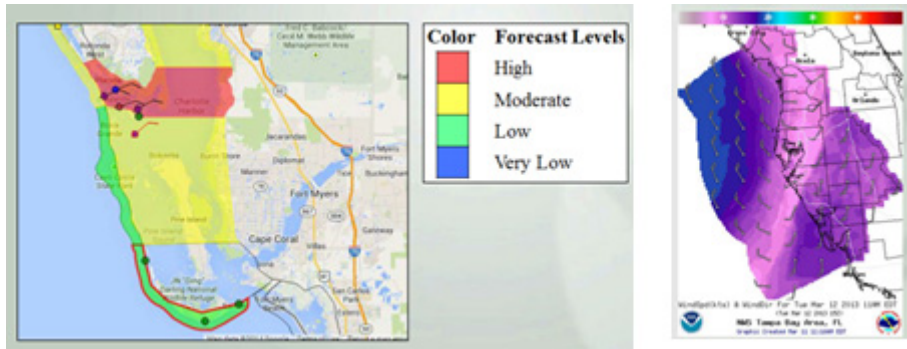


그림 7. 호흡기 질환을 일으키는 Karenia Brevis종에 대하여 해수 및 대기중 독성물질 이동의 예보 결과

(5) 수중가시거리

수중가시거리 연구는 일반적으로 Secchi disk를 이용하는 Secchi disk depth를 사용한다. 그 이유는 선박을 활용한 현장조사 시 측정이 간단 용이하기 때문이다. Secchi depth에 대한 알고리즘 연구는 visibility theory 및 복사전달식을 통한 고전적인 식이 오래도록 사용되어 왔으며 이에 대한 파생 연구가 국외를 중심으로 진행되고 있다. 지금까지 알려져 있는 일반적인 수중가시거리 알고리즘은 하향확산감쇠계수(K_d)와 감쇠계수(c)의 합에 대한 반비례 관계이다(Tyler, 1968). Doron 등(2007)은 감쇠계수를 계산하기 위해 490과 560 nm의 입자 및 용존유기물에 의한 흡광계수 비율 및 후방산란계수 비율이 일정하다는 가정을 통해 수중가시거리를 계산하였다. Lee 등(2015)은 인간의 눈이 인지하는 파장과 최소 $K_d(\lambda)$ 값이 1:1의 관계를 보임을 제시하였고 이를 통해 적합한 파장에 대한 K_d 값을 선택하여 수중가시거리를 계산하였다. 이외에도 다양한 국외 연구가 진행 중에 있으나 한반도 주변 해역에 적합한 알고리즘 개발 및 검증은 미흡한 실정이다.

(6) 유해생물추적

Komatsu 등은 실제 팽생이 모자반 군집의 이동경로를 추적하였는데, 양쯔강 하구역 부근에 부유해 있던 팽생이 모자반 군집에 GPS가 설치된 부이를 떨어뜨려서 그 이동경로를 연구하였다.

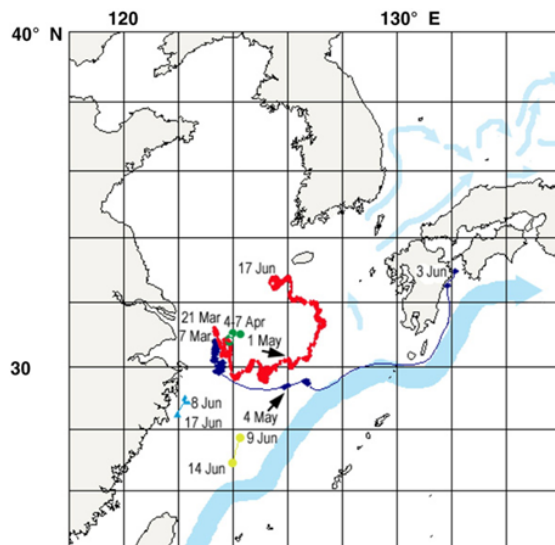


그림 8. Komatsu 등(2007)에 보고된 팽생이 모자반 이동경로.

그림 8에 나타난 서로 다른 색의 실선은 각각 다른 부이의 위치를 나타내고 있으며, 부이 투하 시기와 회수 시기가 기입되어 있다. 본 연구에서는 입자추적실험 검증을 위하여 위 그림의 빨간색 실선을 참고하여 입자추적을 실시하였다.

(7) 하향확산감쇠계수(Kd)

$K_d(\lambda)$ 에 대한 국외 연구는 오래 전부터 수행되어 왔다. 해수의 입자성 물질과 용존유기물질의 구성성분 및 농도에 따라 스펙트럼이 좌우되며 해수의 투명도를 알 수 있는 물리량이기 때문이다. Platt 등(1988), Sathyendranath 등(1989) 등은 수심에 따른 수직적 클로로필의 생체량을 추정하는데 $K_d(\lambda)$ 값을 이용하였다. Wang 등(2012)은 탁한 해역을 위한 대기보정 기법 개발을 위해 $K_d(490)$ 과 정규복사휘도의 경험적 관계식을 구축하여 대기보정 알고리즘에 적용하였다. 이처럼 $K_d(\lambda)$ 활용 연구가 활발히 이루어지고 있다. $K_d(\lambda)$ 추정을 위한 알고리즘은 크게 경험적 관계식과 반 분석적 알고리즘으로 구분지을 수 있다. 경험적 상관관계를 통해 값을 추정하는 방법은 클로로필 a 농도 및 원격반사도를 통해 $K_d(\lambda)$ 를 추정하는 방법이 개발되었으며(Morel, 1988; Morel et al., 2007; Mueller et al., 2000) 반 분석적 알고리즘은 해수의 고유광특성을 고려하여 흡광 및 후방산란계수를 유도한 다음 이를 통해 $K_d(\lambda)$ 를 추정하는 방법(Lee 등, 2005b)이 있다.

(8) 해무

문헌조사 결과, 위성을 이용한 기존의 해무/안개 탐지 알고리즘들은 일반적으로 하나의 채널 또는 두 개 채널(적외-적외, 근적외-적외 등)의 밝기온도 차이(Dual Channel Differences, DCD)등의 경계값을 경험적으로 설정하여 안개영역을 결정하였으며, 그 후 구름이나 육지, 해빙 영역을 제거하는 별도의 과정을 거쳐 최종 해무/안개 영역을 정의하는 경우가 많았다. DCD 방법의 경우, Eyre et al.(1984)에서 최초로 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 극궤도 기상위성에 장착된 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)의 두 개의 적외채널을 이용하여 야간 안개를 탐지하는 방법이 사용되었다. 이후 두 개 채널의 밝기온도차를 이용한 안개/하층운 탐지에 대한 많은 연구가 진행 되어왔다(Turner et al. 1986; Bendix & Bachmann 1991; Dybbroe 1993; Bendix 1995). DCD 방법은 하나의 적외채널을 사용한 경우보다 성능이 상당히 향상되었다(Ellrod et al 1995). 최근에는 위성 자료의 공간해상도 향상으로 고해상도의 해무 모니터링이 가능하게 되었다. Yuan 등(2016)에서는 GOCI의 500m 고해상도 가시채널 반사도를 사용하여 경험적인 방법으로 경계값을 결정하고, 그 경계값을 이용하여 서해상의 해무를 탐지하는 알고리즘을 개발하였다. 하지만 서해상에 국한된 제한된 샘플을 사용한 알고리즘 개발로 인해 그 외의 지역에서는 오탐지되는 부분이 많았다.

(9) 해빙

Su 등(2012)은 2009년과 2010년 기간 동안 시계열 MODIS 영상과 기상관측자료를 이용하여 해빙 생성의 시공간적 양상을 분석하였다. 해빙은 육안판독과 MODIS 반사율 영상의 비율임계값을 이용하여 추출되었다. 2010년 1월 23일 기준으로 보하이해의 해빙 면적은 보하이해의 약 40%를 차지하는 31,849km² 정도로 분석되었으며, 이 중 랴오둥만에 분포한 해빙의 면적은 2월 12일 기준으로 26,700km²에 해당하여 랴오둥만의 90%이상을 차지할 정도로 넓게 분포함을 확인하였다. Su 등의 연구를 통해 보하이해 지역의 해빙은 빠르게 생성되고 소멸되는 특성을 살펴볼 수 있었다(그림 9).

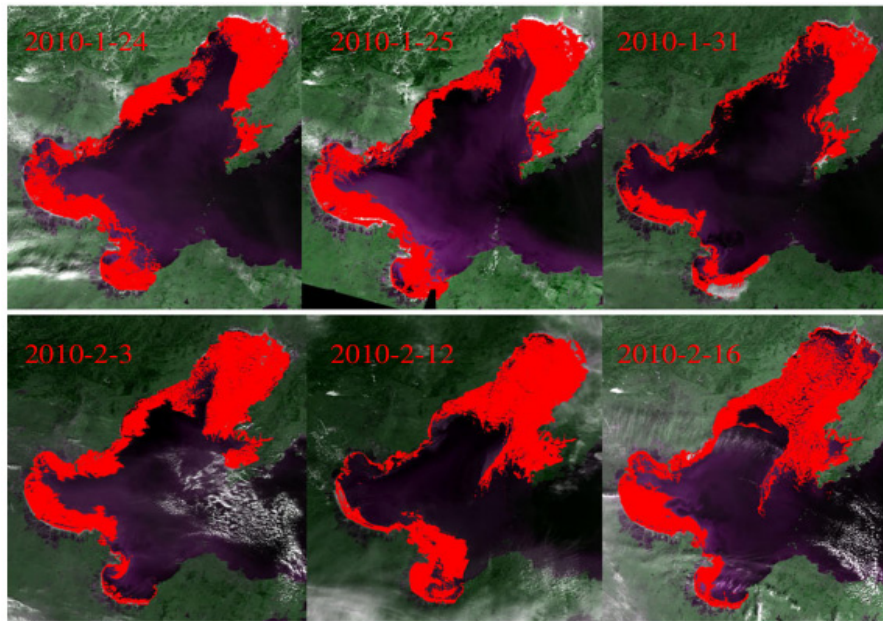


그림 9. MODIS 영상을 이용한 보하이해의 해빙 변화(Su et al., 2012)

Ouyang 등(2017)은 MODIS 영상을 이용하여 2000년-2016년의 보하이 지역에서 발생한 해빙의 두께와 해빙 범위의 시공간적 양상을 분석하였다(그림 10). 이때 MODIS 영상과 기상관측자료의 온도와 풍속자료를 사용하였다. 2000년과 2016년동안 보하이해에서 발생한 평균 해빙 두께와 범위는 각각 5.58 ± 0.86 cm와 $23 \times 10^3 \pm 8 \times 10^3$ km²로 분석되었다.

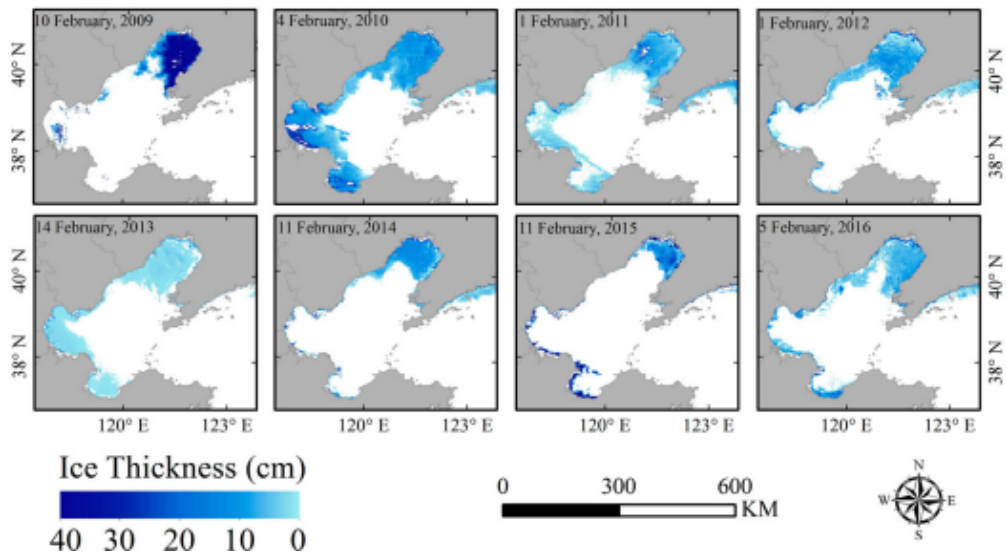


그림 10. 보하이해의 연간 해빙 두께 및 범위 변화(Duyang et al., 2017)

황해와 보하이해 지역의 해빙은 해빙 면적에 대한 가변성이 큰 특성을 갖고 있는 지역이나, 기존의 위성영상은 해빙 표류를 관측에 필요한 높은 관측주기의 영상을 제공하기 않아 관측에 한계가 있었다. 반면 시간단위로 촬영하는 GOCI 영상은 큰 장점이 있다. Lang 등(2014)은 GOCI 시간별 영상에 최대교차상관법을 이용하여 해빙의 표류를 추적하였다. 해빙 표류 추적을 위해 GOCI 영상으로부터 다양한 종류의 해빙 표본의 특징을 추출하여 사용하였다(그림 11). 보하이해 지역에서의

해빙 표류는 해류와 지상풍에 의해 주로 이동하는 것으로 분석되었다. 아래 그림에서 붉은색 화살표를 해빙의 이동, 파란색 화살표는 풍속, 검정색 화살표는 해류를 의미한다(그림 11).

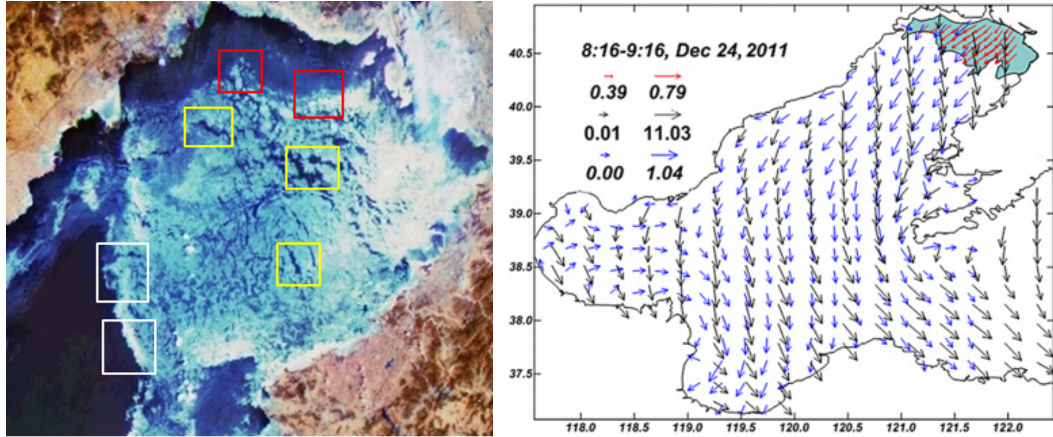


그림 11. 보하이해 지역의 다양한 해빙 유형 및 해빙 표류 경로 (Lang et al., 2014)

Liu 등(2016)은 GOCI 영상을 이용하여 보하이해 지역의 해빙두께를 추정하는 연구를 수행하였다. GOCI 단파장밴드알베도도와 각 밴드사이의 관계성 모델을 생성하고, 이후 해빙 두께와 GOCI 단파장밴드알베도와의 관계성을 나타내는 모델을 생성하여 보하이 만의 해빙 두께를 추정하고, 이의 검증에 MODIS 자료와 현지 조사자료를 수행하였다. 가시광선부터 근적외선의 8개 밴드만을 갖고 있는 전자광학영상인 GOCI를 이용하여 해빙 두께를 추정한 사례로써 큰 의미가 있다.

(10) 저염수

Sasaki 등(2008)은 한 번의 현장조사 결과를 이용하여 염분과 400nm에서의 CDOM 흡광도의 상관관계가 높음을 이용하여 염분 추정 알고리즘을 개발하였다. 클로로필의 농도에 따라서 두 개의 경험식으로 표현하였다. 그리고 Sasaki 등 (2014)은 해마다 CDOM과 염분의 회귀식이 다름을 인정하고 각 해에 적합한 회귀식을 만들었다. 2009년의 자료를 이용한 회귀식은 1차 회귀선으로, 2010년 자료를 이용한 회귀식은 2차식으로 만드는 등 사용된 자료에 따라서 회귀식의 계수만 바꾸는 방법이 아닌 새로운 회귀식을 만들어서 사용하였다.

Bai 등 (2013, 2014)는 양자강 입구부터(0psu) 동중국해 동부 해역(35psu)에서 얻어진 현장관측 자료를 이용하여 355nm에서의 CDOM 흡광도와 염분의 경험식을 만들었다. 기존 연구와 달리 클로로필 농도를 이용하여 해양 기원의 CDOM을 고려하는 과정을 추가하였다(Bai 등 2013). 2014년 연구에서는 2013년 연구 결과 0.7psu가 과대추정 되는 것을 확인하여 0.7psu를 빼주는 방법으로 정확도를 높였다.

나. 해양 환경 분야 활용 연구

(1) 녹조

전세계적으로 해양녹조 대번식은 해양생태계에 큰 악영향을 미치고 있다. 따라서 위성자료를 이용하여 녹조를 파악하고자 하는 연구도 많이 진행되어 오고 있다. 특히 해수면에 떠 있는 녹조는 녹색이 강하게 반사되기 때문에 해색 위성을 활용하여 해색위성자료를 이용하여 녹조를 검출하는

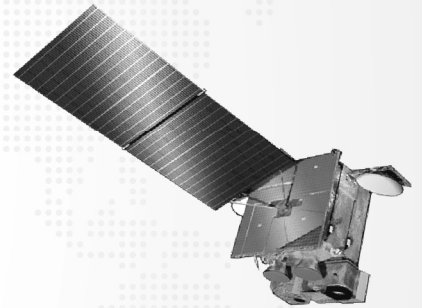
연구가 많이 진행되고 있다. Hu는 해수면에 떠있는 조류를 파악하기 위해 MODIS 위성자료를 이용하여 FAI(Floating Algae Index)라는 지표를 만들었다. 이 지수는 895nm의 반사도와, 645nm와 1240nm의 반사도 차이 값 간의 차이로 정의된다. Wang과 Shi는 지난 2007년 양쯔강 근처에 위치한 중국의 거대 호수 중 하나인 태호 호수에서 발생한 녹조 대번식을 위성자료를 이용하여 조사한 바 있다. Sun 외는 지난 2008년 29회 올림픽 게임 기간에 청도에서 발생한 녹조 대번식을 분석하기도 하였다.

(2) 입자성탄소농도(POC)

해양 표층에 분포되어 있는 POC를 추정하기 위해 해외에서도 여러 연구들이 이루어졌다 (Mishonov et al(2003), Stramski et al(2008), Allison et al(2010), 홍기훈 등 (2011)). Mishonov et al.(2003)은 남대서양의 해수에 존재하는 입자물질의 660nm 파장의 광소산계수(*beam attenuation coefficient, cp*)와 POC 간의 상관관계를 구하고, 555 nm의 정규수출복사량(*normalized water-leaving radiance, nLw(555)*)과 *cp*사이의 관계를 이용해 POC 농도를 추정하였다. Stramski et al.(2008)은 해양에서 POC와 원격반사도를 동시에 직접 측정하여 알고리즘을 개발하였는데 $Rrs(443)/Rrs(555)$ 와 $Rrs(490)/Rrs(555)$ 두 가지가 POC 알고리즘을 개발하는데 가장 적합하다고 결론을 내렸다. Allison et al.(2010)에서는 *band ratio*를 이용한 POC 알고리즘과 두 단계를 거치는 *single wavelength POC* 알고리즘을 비교하였고 *band ratio*를 이용한 알고리즘이 더 정확하다고 판단하였다.



연구 수행 내용 및 성과



제3장 연구 수행 내용 및 성과

제 1절. 사업 추진 체계

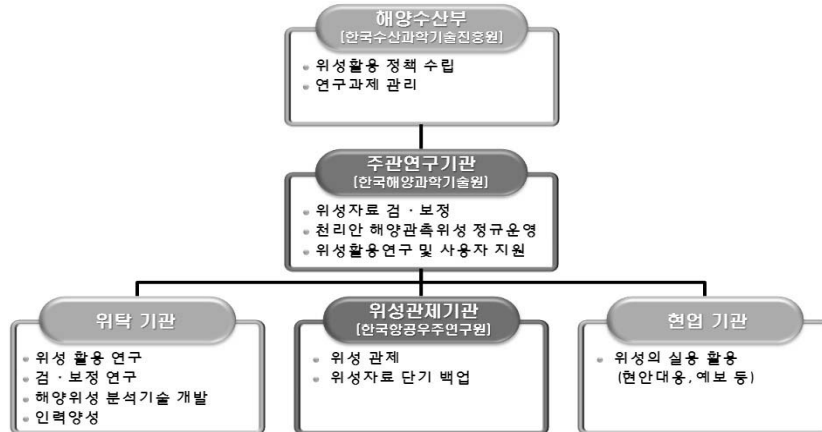


그림 12. 사업 추진 체계

제 2절. 해양환경 분야 활용 연구

가. 개요

(1) 연차별 연구개발 로드맵



그림 13. 연구개발 로드맵

(2) 위탁과제 지원 현황

표 2. 위탁과제 지원 현황 (2단계 과제 기간 내)

과제명	기관명	책임자	예산 (천원)	비고
천리안위성 해양업무 지원(III)	한국항공우주연구원	김방엽	300,000	2차년도부터 협동과제로 수행
해양광학부이를 이용한 위성자료 검증	(주)오토로닉스	이성욱	50,000	
GOCI 자료를 활용한 연안 해수표층 수질등급도 개발	울산과학기술대학교	임정호	81,000	
GOCI 육상 활용 산물 제작을 위한 알고리즘 개발	인하대학교	이규성	90,000	
구름지역 복원과 복합원격 탐사를 활용한 GOCI 자료 응용 및 분석 기법 개발	부산대학교	조영현	81,000	
GOCI 자료를 활용한 조간대 및 육상 건조지역 환경변화 장기 모니터링 기법 개발	연세대학교	원중선	80,000	
(적조탐지)엽록소 현장 관측 자료를 통한 위성 자료 검·보정 연구	국립수산과학원	황재동	40,000	
해양위성 자료를 활용한 한국 연근해 부어류 잠재생산력 평가	제주대학교	정석근	80,000	
정지궤도 해색자료를 활용한 중규모 해양 현상의 변동 특성 및 물리적 과정 연구	서울대학교	박경애	80,000	
해양부이를 이용한 정지궤도 해양위성 자료 검·보정 및 동해 연안 엽록소 농도 시공간 변동 연구	서울대학교	장경일	80,000	
GOCI 에어로졸 광학특성 산출 알고리즘 고도화 연구	연세대학교	김미진	80,000	
GOCI와 해류 합성자료를 활용한 유해생물의 이동경로추적 및 예측시스템 개발	부산대학교, 제주대학교	조영현	80,000	
GOCI 자료를 이용한 아중규모 해양유체의 난류특성 연구	한국과학기술원	김성용	80,000	
GOCI 활용 동해 식물플랑크톤 신생산성(New Production) 시계열 분석	부산대학교	이상현	80,000	
GOCI 자료를 활용한 해양-대기 상호 작용 및 중규모 해양 현상의 시공간 변동성 연구	서울대학교	박경애	80,000	
GOCI 자료 활용을 위한 영상처리 프로그램 개발 및 software 구현	가천대학교	이상훈	60,000	
GOCI 육상 산출물 제작 알고리즘의 고도화 및 활용 연구	인하대학교	이규성	60,000	
다중 위성 자료 융합을 통한 위성데이터의 시공간 해상도 향상 및 한반도내 육상에서의 가뭄 대비/대응을 위한 활용 연구	성균관대학교	최민하	60,000	
GOCI를 이용한 한반도 동해남부 냉수대 탐지법 개발	부경대학교	박미옥	40,000	

나. 현업활용기술개발

(1) 해류벡터

(가) 개요

해수면 흐름의 속도, 방향, 패턴 등은 해양 생태계 및 기후에 많은 영향을 끼치고 있다. 특히, 해수면 흐름은 적조, 녹조, 해빙, 기름 유출 등의 이동 경로를 파악하기 위한 중요한 인자 중 하나이다. 최근에는 한반도 연안에 쌓이는 해양 쓰레기들이 어디서 기인했는지 파악하는 연구도 활발하게 진행되어 오고 있다. 매 시간마다 해양의 변화를 관측하는 GOCI는 해양의 미세한 변화를 파악하는데 사용될 수 있다. 본 연구에서는 코사인 유사도를 기반으로 한 최대 상호 상관관계(Maximum Cross Correlation) 기법을 활용하여 엽록소 및 부유물질 농도의 패턴 변화를 추적함으로써 해수면 흐름을 유추하였다. 해수면의 흐름은 화살표로 표시하여 속도와 방향을 파악할 수 있도록 하였다. 본 연구를 통해 개발된 GOCI 해류벡터는 적조, 해양오염물질, 유류유출 등의 경로 및 확산 범위를 예측하고 어장탐색, 효율적인 항해, 군사목적, 인명구조 등을 위한 기초자료가 될 수 있을 것이라 기대하고 있다.

(나) 알고리즘 개발

본 연구에서는 시간적으로 연속적인 2장의 GOCI 해석 영상에서 패치가 이동한 패턴을 찾아냄으로써 해류벡터를 유추한다. 유사한 패턴을 찾기 위해서 코사인 유사도를 활용한 MCC 기반 알고리즘을 개발하였다. 탁도가 높은 서해 연안에 대해서는 GOCI SS(Suspended Sediment) 자료를 활용하여 해류벡터를 추출하는 알고리즘 개발하였고, 상대적으로 맑은 동해에 대해서는 GOCI CHL(Chlorophyll) 자료를 활용하여 해류벡터를 추출하는 알고리즘을 개발하였다.

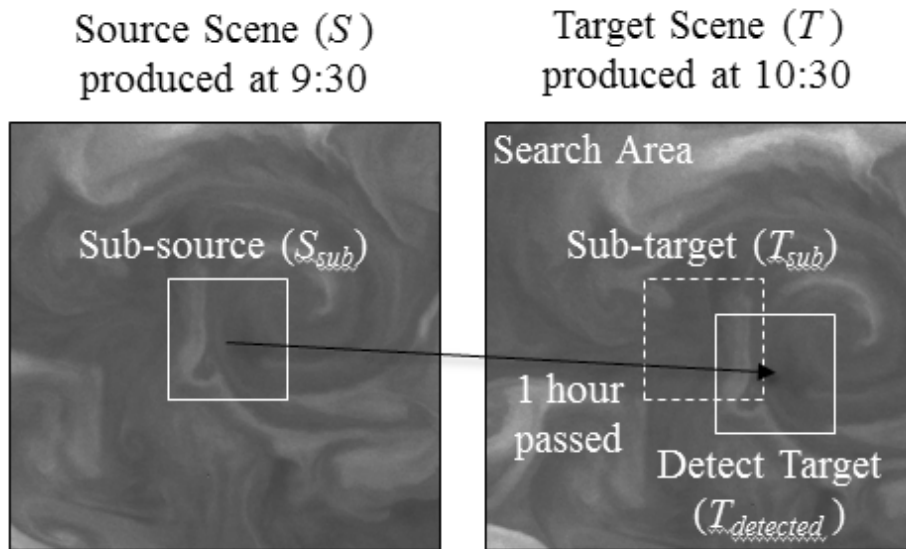


그림 14. MCC 기반 해류벡터 유추 방법

(다) 알고리즘 개선

유사도를 기반으로 하는 GOCI 해류벡터 알고리즘은 기본적으로 2가지 오류를 가지고 있다. 첫 번째 오류는 유사한 패치를 찾지 못하여 벡터를 유추하지 못하는 검출 실패(Detection Failure)이고, 또 다른 오류는 유사하지 않은 패치를 유사하다고 오인하여 발생하는 잘못된 검

출(False Detection) 혹은 잘못된 알람(False Alarm)이다. 본 연구에서는 이러한 2가지의 검출 오류 발생을 최소화하기 위해 신호처리 및 영상처리에서 잡음을 제거하거나 완화시키는데 많이 사용되는 평균 필터 기법을 도입하였다. 실험 결과 GOCI 해류벡터에 평균 필터 기법을 적용하였을 때, 검출 오류들이 완화되는 것을 확인할 수 있었으며, 이로 인해 전체적인 해수면 흐름을 파악하는 것이 보다 용이해지고 더욱 양질의 해류 정보가 제공될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

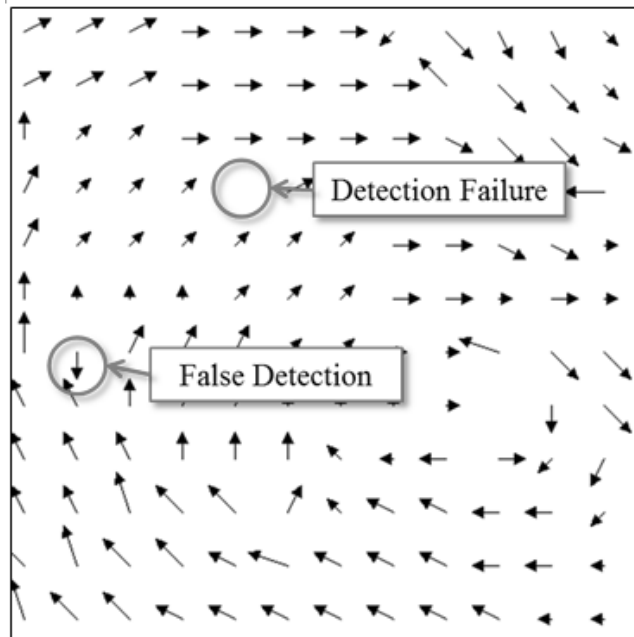


그림 15. GOCI 해류벡터의 검출실패 및 잘못된 검출 예시

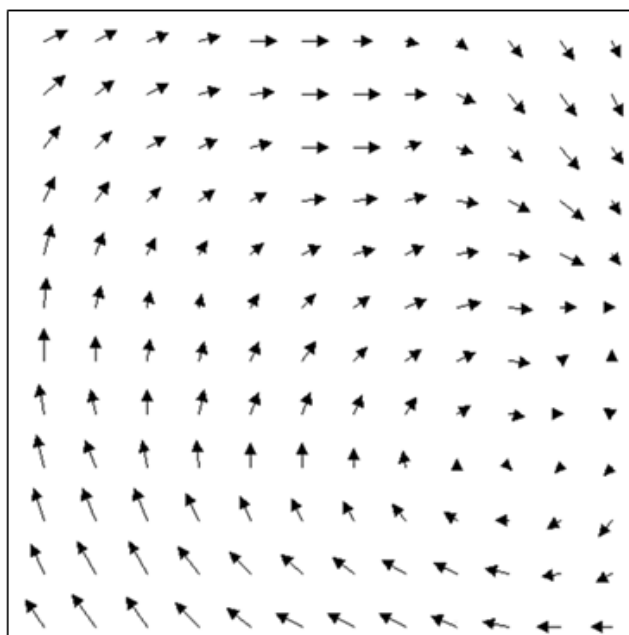


그림 16. GOCI 해류벡터에 평균필터를 적용한 결과

(라) 시간별 해수면 흐름 유추

매시간 제공되는 GOCI 산출물로부터 유도된 해류벡터를 서로 연결하면 시간별 해수면 변화를 파악해 볼 수 있다.

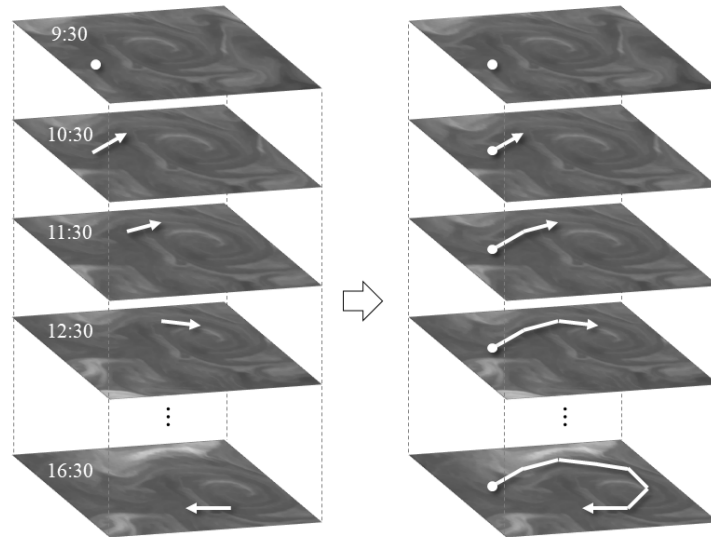


그림 17. 연속적인 해수면 흐름 유추방법

(마) 결과 및 검증

동해에 대해서 GOCI 엽록소 농도 기반 해수면 흐름 결과와 해수면 온도 자료를 비교하였다. 북한한류와 동해난류가 혼합되어 해수면 온도가 급격히 변화하는 해역 라인을 따라 해수면이 흐르는 것을 확인해 볼 수 있었으며, 이로 인해 소용돌이, 버섯모양 구조 등 역동적인 변동성이 나타난다는 것을 파악해 볼 수 있었다.

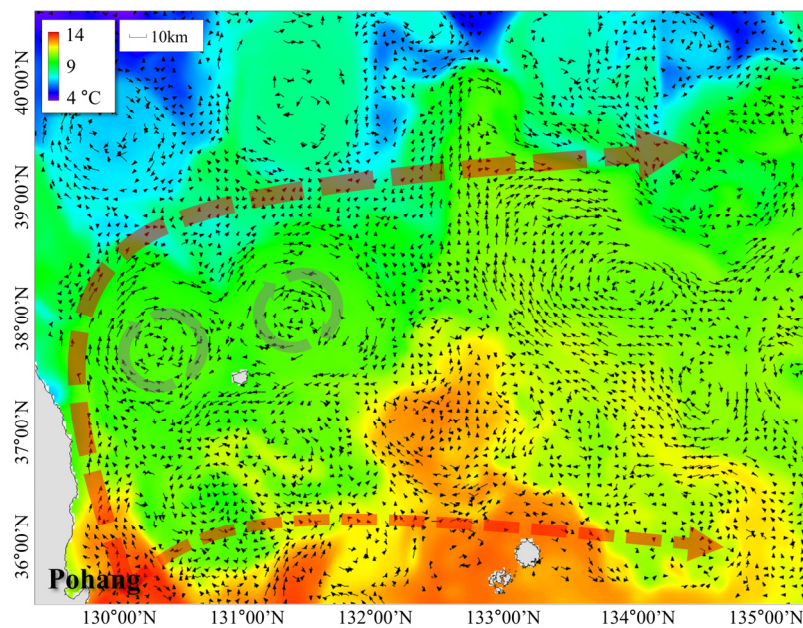


그림 18. GOCI 해류벡터 결과(화살표)와 해수면 온도 자료(컬러영상)와의 비교 결과

서해 경기만에 대해서 GOCI 부유물질 농도 기반 해수면 흐름 결과와 조석 정보 자료를 상호 비교 검증하였다. 실험 결과, 해수면 흐름이 처음에는 해안선 방향을 가리키다가 선회하여 반대 방향으로 빠져나가는 것을 확인할 수 있다. 이는 굴업도 검조소의 결과와도 일치하는 경향을 보였다. 또한 연안의 해수면 흐름은 해저지형과도 밀접한 관련이 있는 것으로 파악되었다.

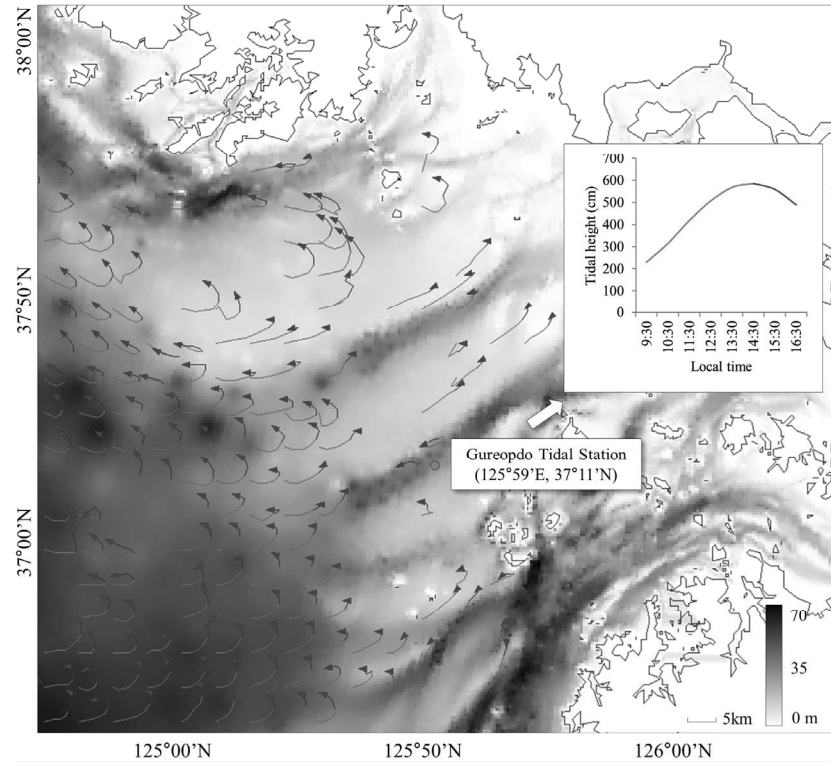


그림 19. GOCI 해류벡터와 조석정보 비교

동해에 대해서 GOCI 엽록소 농도 기반 해수면 흐름 결과와 해수면 높이 기반 지형류 자료를 상호 비교 검증하였다. 전체적으로 GOCI 해류벡터와 지형류가 유사한 경향을 보인다는 것을 확인할 수 있었다. 게다가 GOCI 해류벡터 결과가 지형류 결과 보다 정밀한 해수면 흐름 변화를 보여줄 수 있다는 점도 파악해 볼 수 있었다.

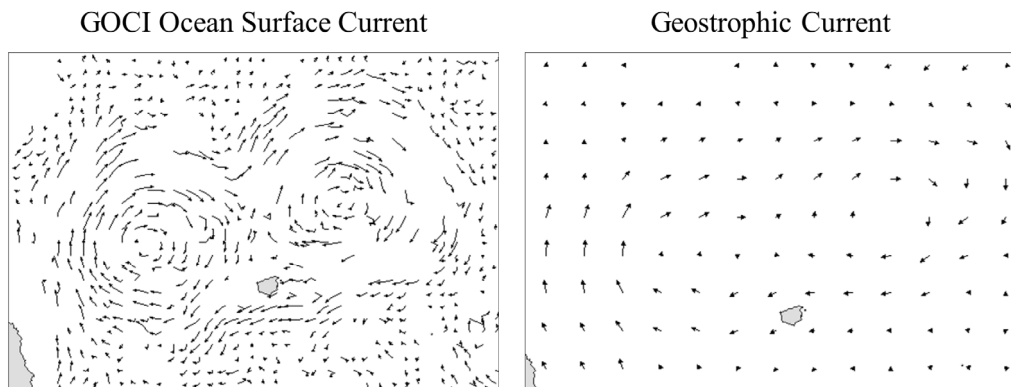


그림 20. GOCI 해류벡터와 지형류 비교

(2) 해양전선

(가) 개요

해양 프론트는 생물학적 활동과 깊은 연관이 있다. 일반적으로 해양 프론트는 수온, 해류, 염분, 밀도 등의 물리적인 요소들이 대조를 이루는 서로 상이한 수괴 사이의 경계 지역에서 주로 나타난다. 따라서 해양 프론트는 해양 생태계의 속성을 이해하는데 도움을 줄 수 있다. 위성 기반 해색 연구 분야에서는 전통적으로 해수면 온도를 이용하여 프론트를 추출하는 연구가 주로 이루어져 왔다. 그러나 해수면 온도로부터 추출한 프론트는 온도가 동일한 지역에서의 변동성은 보여줄 수 없다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에는 연안 지역의 조석 변화나 외해 지역의 소용돌이 변화 등을 분석하기 위해 엽록소 농도 및 부유물질 농도 등으로부터 해색 프론트를 추출하는 연구가 중요해지고 있다.

(나) 알고리즘 개발

본 연구에서는 형태학적 경사(Morphological Gradient) 기법을 활용하여 해양 전선을 추출 알고리즘을 개발 하였다. 해양 전선을 추출하는 방법은 다음과 같다. 먼저 해색 자료를 그레이스케일(Grayscale)로 정규화한 후 중간 필터를 이용하여 노이즈를 제거한다. 다음으로 영상처리에서 사용되는 팽창 및 수축을 적용한 후 팽창과 수축 사이의 차이를 의미하는 형태학적 경사를 이용하여 최종적으로 프론트를 추출한다.

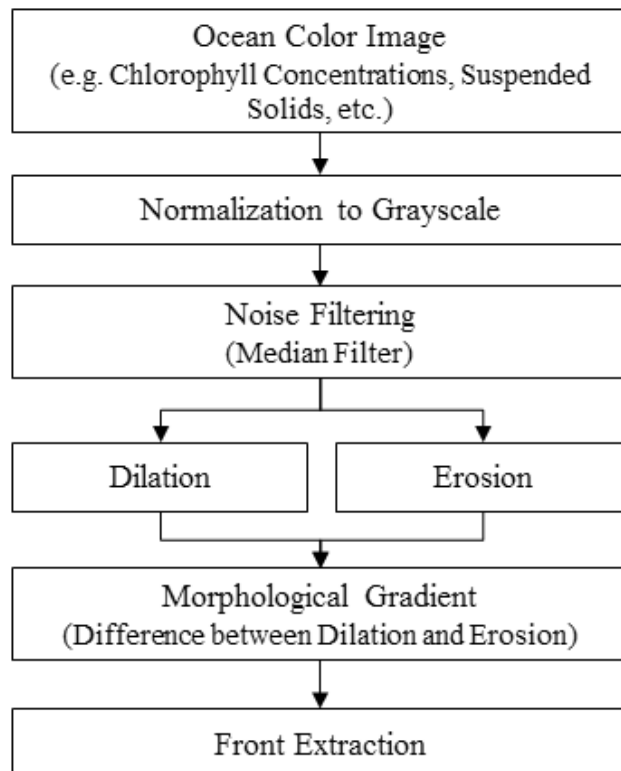


그림 21. 형태학적 경사 기반 해양전선 추출 알고리즘 흐름도

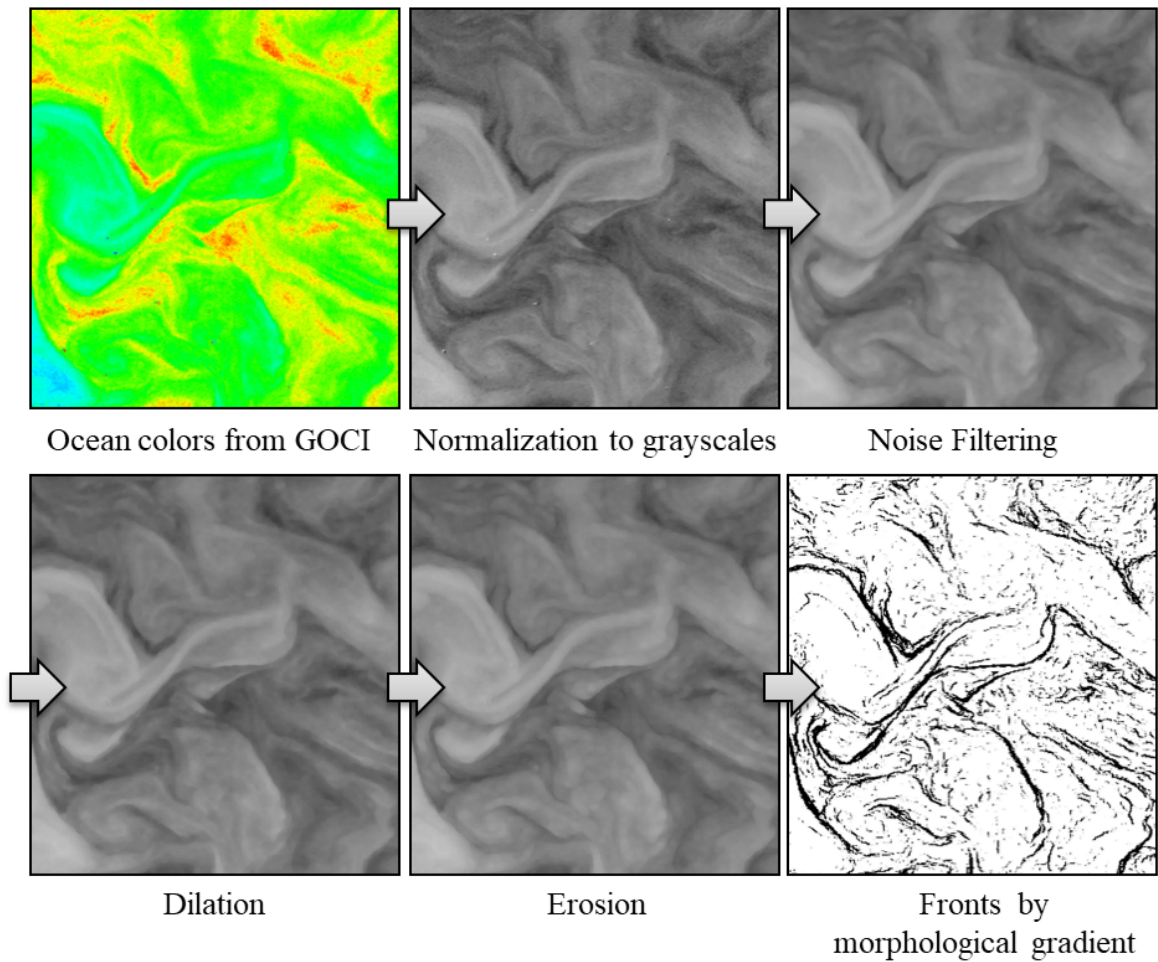


그림 22. 형태학적 경사 기반 해양전선 추출 알고리즘 예시

탁도가 높은 서해 연안에서는 GOCI 부유물질 농도 자료를 활용하여 해양전선을 추출하는 알고리즘 개발하였고, 상대적으로 맑은 동해에 대해서는 GOCI 엽록소 농도 자료를 활용하여 해양전선을 추출하는 알고리즘 개발하였다. 해양전선은 해수의 혼합, 생물생산성, 해양 물리 등과 깊은 관련이 있으며, 서로 다른 수괴의 분리 혹은 혼합에 의해 생성된다. GOCI 해양전선은 바다의 상태 및 변화를 분석하는데 유용하게 쓰일 수 있으며, 특히 해양의 물리적 특성들을 이해하는데 큰 도움을 주고, 어장정보를 추적하거나 탐색하는데 활용될 수 있을 것이라 기대하고 있다.

(다) 결과

아래 그림에서와 같이 해수면 온도 프론트는 온도가 같은 해역에 대해 변화를 감지해 내지 못하는 반면, GOCI 엽록소 농도 기반 프론트는 온도가 같은 해역에서도 역동적인 변화를 보여 주고 있다. GOCI 엽록소 농도 기반 프론트를 어장 관리 및 탐색을 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이라 기대하고 있다.

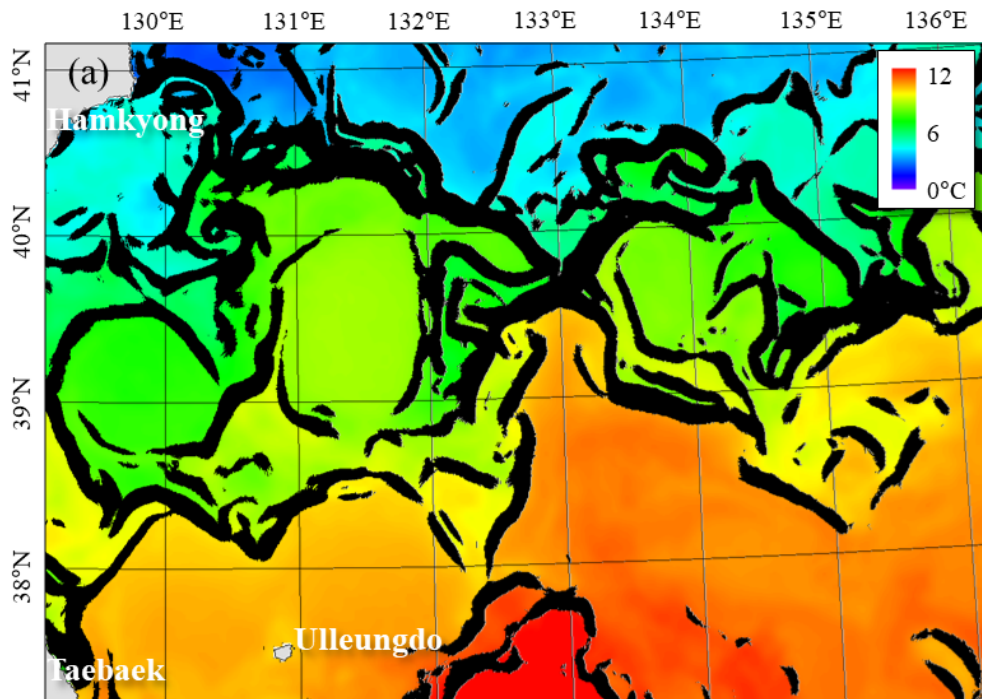


그림 23. 해수면 온도 자료(컬러영상)와 이 자료로부터 추출한 해양전선(검은색실선) 결과

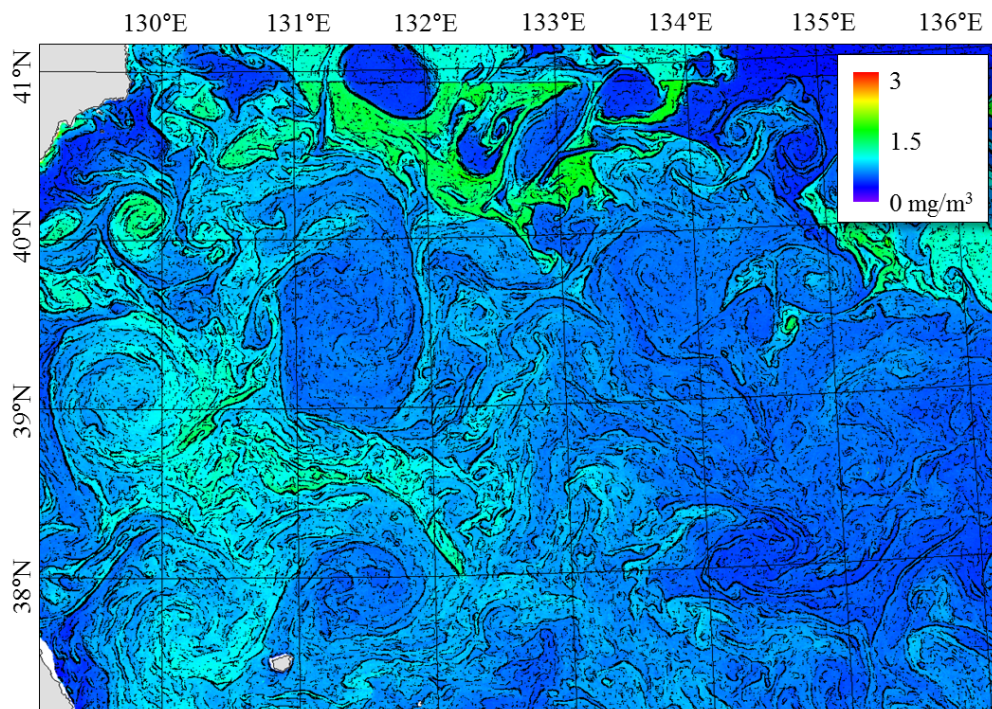


그림 24. GOCI 엽록소 농도 자료(컬러영상)와 이 자료로부터 추출한 해양전선(검은색실선) 결과

(라) 알고리즘 개선

기존의 형태학적 경사 기반 프론트 추출 방법에서 자주 발생하는 잘못된 추출(Fault Extraction) 및 추출 실패(Extraction Failure)와 같은 오류를 제거하기 위해 히스토그램 기반의 프론트 추출 방법론을 개발하였다.

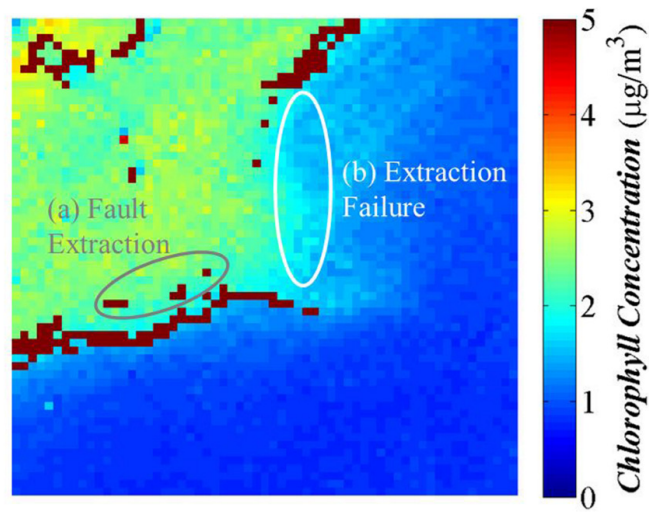


그림 25. 형태학적 경사 기반 프론트 추출 방법에서 자주 발생하는 잘못된 추출 (Fault Extraction) 및 추출 실패(Extraction Failure) 예시

아래 그림은 히스토그램 기반 해석 프론트 추출 방법을 나타낸 것이다.

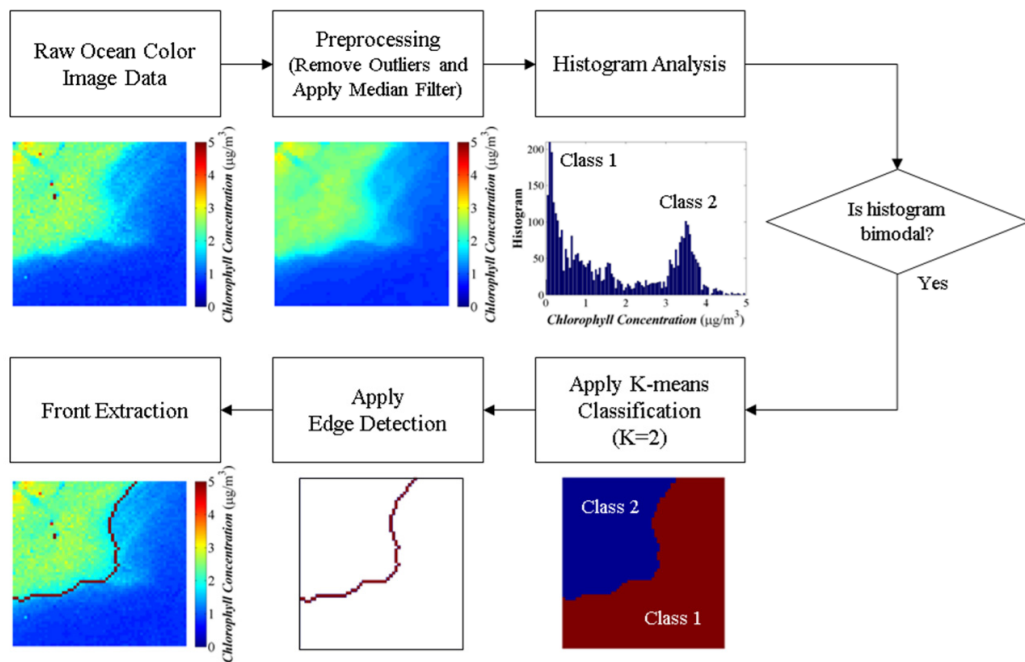


그림 26. 히스토그램 기반 해석 프론트 추출 방법

매 시간 관측되는 GOCI 산출물로부터 히스토그램 기반 해석 프론트를 추출한 후 그 변화를 추적 조사하였다. 서해 연안에서 반일구조의 조류 흐름을 분석하기 위해 GOCI 부유물질 농도부터 유도된 프론트를 사용하였다. 분석 결과 빠른 조류의 움직임을 추적할 수 있었으며, 연안에서의 부유물질 프론트가 해저 지형과 연관관계가 깊다는 것을 파악할 수 있었다.

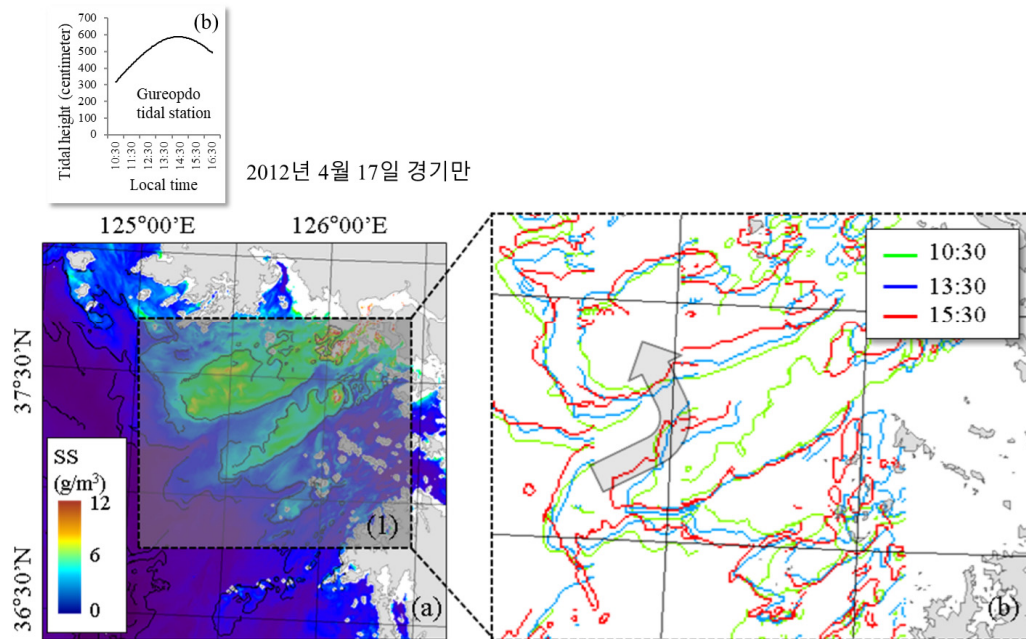


그림 27. 서해 연안에서 GOCI 부유물질 농도로부터 유도된 프론트의 변동성 분석 결과

동해에 대해서는 엽록소(Chlorophyll; Chl) 농도로부터 유도된 프론트를 사용하였으며, 서로 다른 수괴가 혼합되는 해역에서 매우 동적인 변화가 발생한다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 향후 어장을 검색하는데 활용될 수 있을 것이라 기대하고 있다.

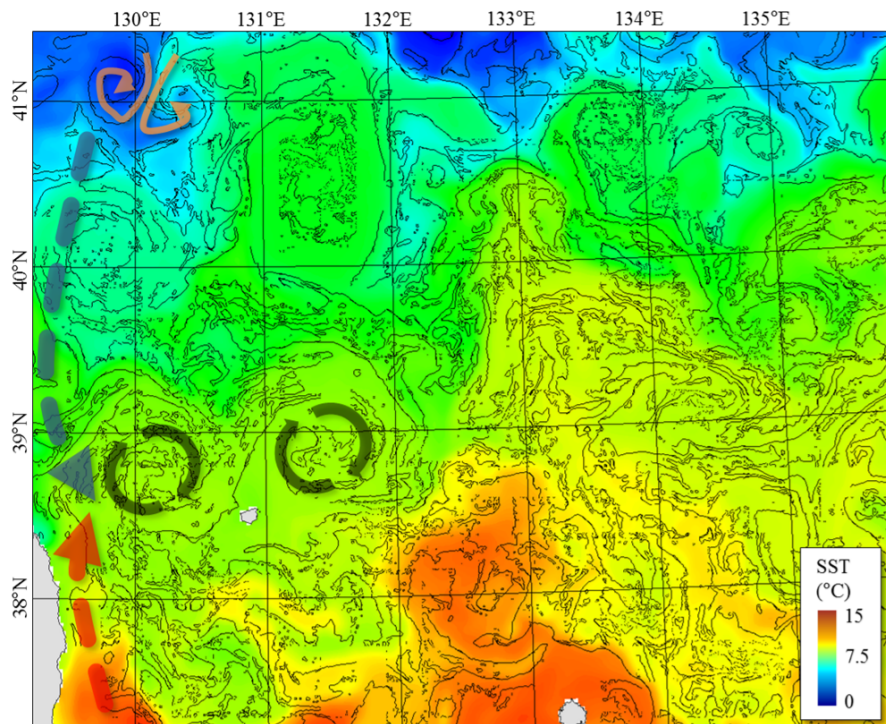


그림 28. 동해에서 해수면 온도와 GOCI 엽록소 농도 기반 프론트 간의 비교 분석

(3) 갈조

(가) 서론

- ① 해양의 조류는 얇은 바다의 바닥에 붙어서 성장하며 이 중 일부는 해수표면에 떠올라 해류를 따라 움직인다. 연안해역은 육지나 양식장에서 공급되는 영양분이 풍부하여 갈조(괭생이 모자반)는 해수표면에 부유하는 동안에도 대량으로 번식하여, 위성 영상에서도 쉽게 관측할 수 있다.
- ② 해안에 축적된 갈조는 햇빛을 차단하고 산소를 빨아들여 그 아래의 생태계를 변화시키며 해안가로 올라온 해조류는 썩을 때 나는 악취로 관광산업에 악영향을 미친다.
- ③ 2015년 1월에서 5월에는 제주 및 신안군에 갈조가 대량으로 유입되었으며, 미국의 멕시코 만이나 중미에서는 갈조가 매년 대규모로 발생하고 있다.
- ④ 이와 같은 조류의 검출을 위하여 종래에는 위성영상에 육상 식생을 측정하는 지수를 적용하여 근적외선과 가시광 영역의 반사도 차이를 이용하여 해수 표면의 조류를 검출하는 방식을 사용하였다.
- ⑤ 그러나, 종래 기술에 따르면 대기의 탁도나 해수의 탁도가 변화하거나, 위성 영상의 촬영 각이 변하는 등의 다양한 요인으로 인하여 조류 분포를 검출하기 어려운 문제점이 있었다.
- ⑥ 따라서, 위성 영상에서 촬영각, 대기상태, 해수의 탁도 등 변화하는 환경에 영향을 받지 않고 해수표면에 부유하는 녹조 및 갈조 등의 조류를 보다 정확하게 탐지할 수 있는 방법이 필요하다.

(나) 방법

- ① 광학위성에서 촬영된 근적외선과 적색밴드를 가지는 복사휘도 영상을 입력받아 반사도 신호로 변환한 후 환경 요소를 적용한 신호 영상의 근적외 신호와 적색밴드 신호의 차이와, 공간적으로 변화하는 해수 배경값을 이용하여 공간 이상값(RESA: Red Edge Spatial Anomaly)을 계산한다.
- ② 계산된 공간 이상값(RESA)에 기초한 각 화소당 조류의 점유면적비를 계산한다.
- ③ 복사휘도 영상의 신호를 반사도 신호로 변환한 후, 대기 분자 산란 신호가 제거된 반사도 신호 영상에 대하여 육지 화소 및 구름 화소를 마스크처리한다.
- ④ 대기 분자 산란 신호가 제거된 반사도 신호 영상의 근적외선 신호와 적색밴드 신호의 차이를 계산한 레드 엣지 차이(RE_Diff: Red Edge Difference) 영상을 생성한다.
- ⑤ 조류의 영향이 없는 순수 해수의 화소에 대하여 공간적인 평균을 취하여 해수 배경값을 계산한다.
- ⑥ 레드 엣지 차이(RE_Diff) 영상의 각 화소에 대하여 상기 해수 배경값을 제거하여 공간 이상값(RESA: Red Edge Spatial Anomaly)을 계산한다.
- ⑦ 레드 엣지 차이(RE_Diff)가 인접하는 왼쪽 5개 화소의 최소값보다 크고, 동시에 레드 엣지 차이(RE_Diff)가 인접하는 오른쪽 5개 화소의 최소값보다 크면 조류의 영향이 있는 화소로 판단한다.
- ⑧ 레드 엣지 차이(RE_Diff)가 인접하는 위쪽 5개 화소의 최소값보다 크고, 동시에 상기 레드 엣지 차이(RE_Diff)가 인접하는 아래쪽 5개 화소의 최소값보다 크면 조류의 영향이 있는 화소로 판단할 수 있다.

(다) 결과

① 기존 방법을 이용한 검출 방법

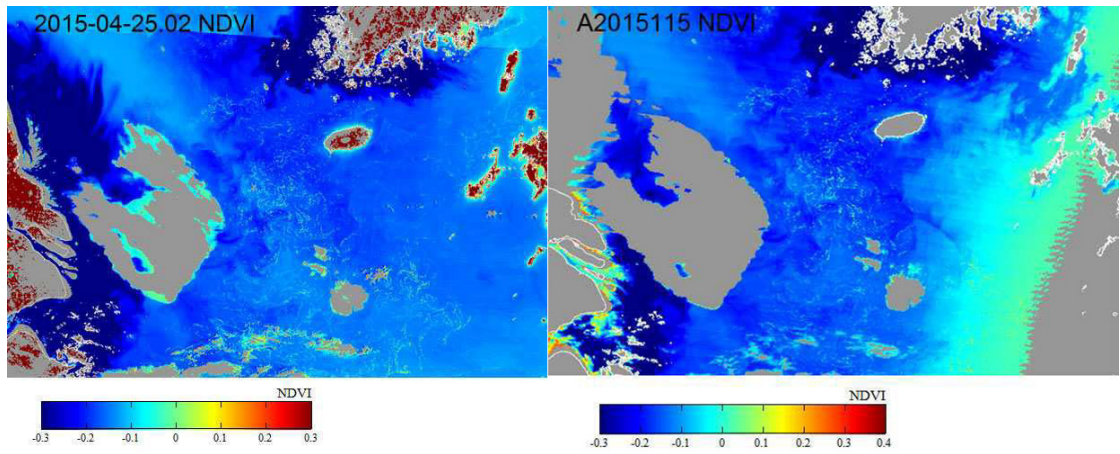


그림 29. 기존 방법(NDVI)에 따른 해수표면 조류 검출 결과(2015년 4월 25일 영상)

② 본 연구방법에 의한 검출 결과

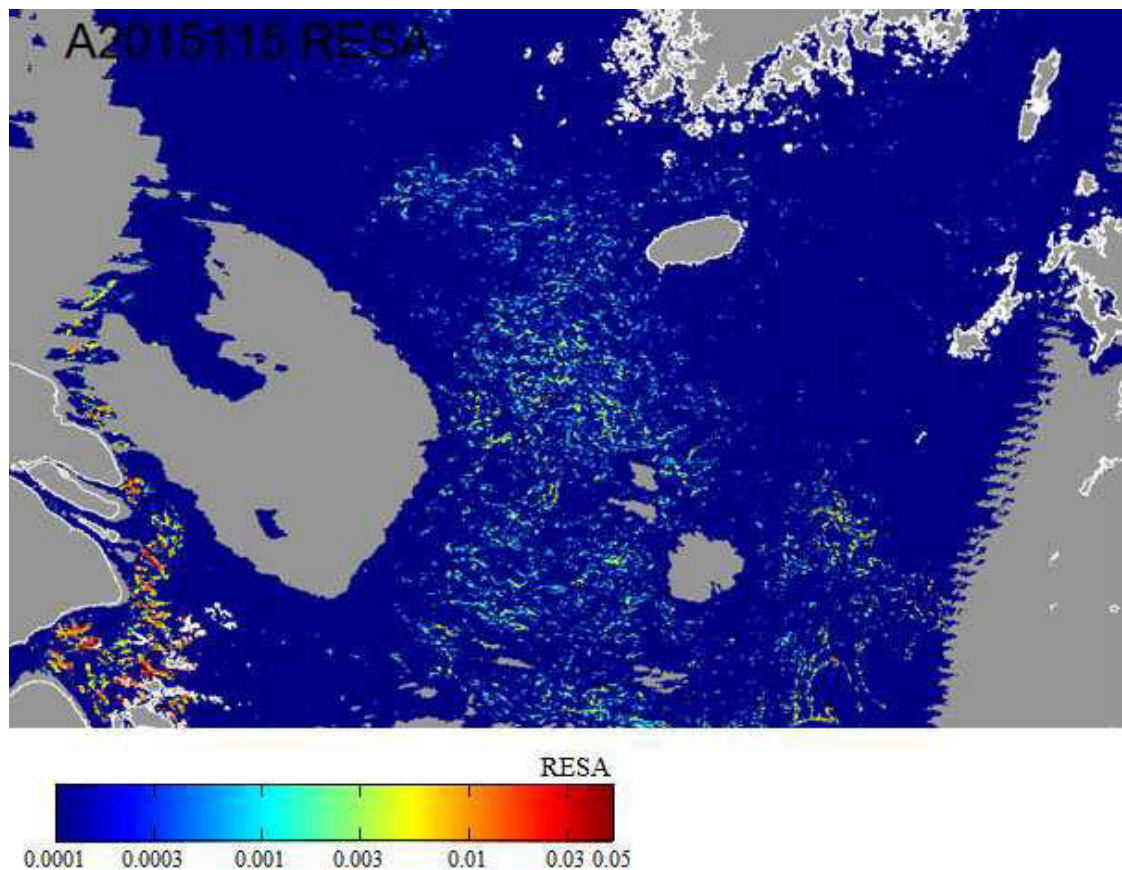


그림 30. 본 연구 방법에 따른 검출 결과(2015년 4월 25일 영상)

- ③ 기존의 식생지수를 이용할 경우 구름 주변과 탁한 연안 지역에서 탐지가 되는 경향이 발생하나 배경값에서 빼 주었을 경우 이러한 현상을 없앨 수 있다.

(4) 적조

(가) 서론

적조(red tide)의 발생으로 인한 어류폐사 피해는 2003년 215억원, 2013년 247억 등 적조 발생 해마다 양식업에 막대한 피해를 일으키고 있고, 적조 예찰 및 방제에 소요되는 비용까지 합하면 많은 사회적 비용을 일으키고 있는 연안재해라고 할 수 있다(Lee et al., 2013, Park et al., 2013).

표 3. 과거 유해성 적조 발생으로 인한 피해 현황

연도	지속기간(일)	발생범위	최고밀도 (개체/ml)	수산피해
2002	57	완도~울진	30,000	49억원
2003	62	진도~강릉	48,000	215억원
2004	30	완도~거제	5,800	1.2억원
2005	58	완도~거제	25,000	10.6억원
2006	36	완도~남해	22,500	0.7억원
2007	50	완도~울진	32,500	115억원
2008	62	완도~울산	7,300	-
2009	19	여수~통영	1,660	-
2010	8	산양읍 풍하리	1,300	-
2011	41	나로도 인근	30	-
2012	87	전남, 경남, 충남	11,000	44억원
2013	51	고흥~목호	34,800	247억원
2014	86	완도~삼척	20,000	74억원
2015	56	진도~울진	32,000	53억원

자료: 해양수산부

위성을 이용하여 적조의 발생 및 이동을 관측하여 적조 발생의 위치 및 시간을 사전에 파악할 경우, 적조로 인한 피해를 경감할 수 있기 때문에 천리안 해양위성을 이용한 적조 탐지기술의 개발이 필요하다.

해색위성을 이용한 적조탐지는 외국에서는 1980년대부터 관련연구가 진행이 되어 왔고 (Carder and Steward, 1985) 정확한 탐지 및 정량화의 어려움으로 인하여 최근까지도 탐지기법에 대한 연구가 수행되고 있다. 기본적인 적조 탐지 원리는 엽록소에 의한 흡광 및 산란, 그리고 형광신호를 이용한 것으로 적조의 농도가 높아질수록 적조생물이 가지고 있는 색소의 농도도 높아져 청색대역에서의 흡광이 강해지고, 적색대역의 반사도가 높아지는 현상을 이용한 것이다.

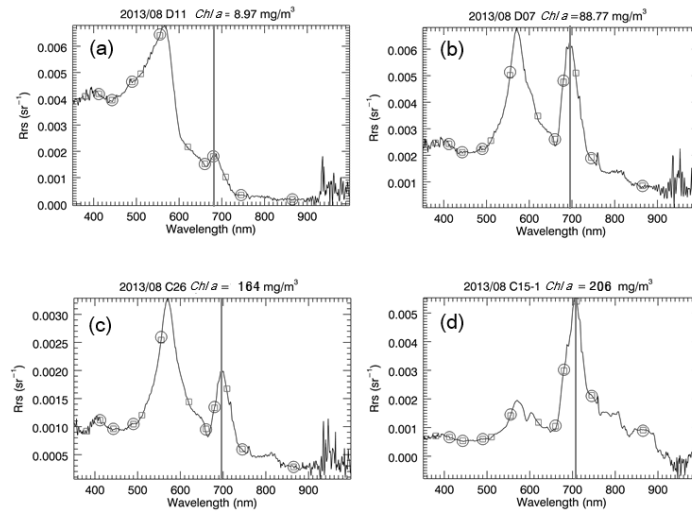


그림 31. 적조 농도에 따른 해수 반사도 스펙트럼

(나) 방법

① 엽록소 농도의 시계열을 이용한 적조 추정 기법 개발

Algal bloom이 일어날시 시간적으로 클로로필 농도가 급격하게 변화하기 때문에, 이를 탐지하기 위하여 과거 2달 전부터 1달 전까지의 평균 클로로필 농도와 표준편차를 이용하여, 현재의 클로로필 농도를 정규화하여 시계열을 구성하여 적조 발생을 탐지하는 기법을 적용하였다.

② 적조 해수의 스펙트럼의 유사도를 이용하는 적조 탐지 기법 연구

적조 해수 스펙트럼은 일반 해수와 여러 분광대에서 차이를 나타내게 되기 때문에, 이를 이용하여 영상에서 적조를 탐지하는 기법을 개발하였다. SAM (Spectral Angular Mapper) 기법을 이용하여 적조시의 해수 스펙트럼과 분석지역의 해수 스펙트럼 사이의 유사도를 측정하여 적조 가능성을 수치화 하는 기법을 적용하였다.

③ 적조 생물내 엽록소 농도를 추정하여 적조를 정량화하는 기법 연구

㉗ 적조의 농도가 증가할수록 적조 생물내의 엽록소 농도가 증가하기 때문에, 적조의 유무 및 적조 농도의 정량화는 엽록소 농도를 추정함으로써 이루어질 수 있다. 정밀한 엽록소 농도의 추정을 위해서는 엽록소 외의 다양한 해수 구성물질 즉, 부유퇴적물, 용존유기물 등의 유색 구성물 농도의 영향을 고려하여 엽록소 농도를 추정하는 추정기법이 필요하다. 이를 위하여 한반도 주변 해역 특히 연안을 중심으로 하여 부유퇴적물의 영향에 따라 해수 형태를 구분한 후 기존 엽록소 농도 알고리즘(OC3, Tassan, FLH, Red-to-NIR)의 성능을 평가하였고, 개선된 추정방식을 개발하였다.

㉘ 기존 OC3와 같은 엽록소 농도 추정 기법은 일반 규조류 중심의 식물성 플랑크톤의 엽록소 추정에는 적합하지만, 외편모조류 중심의 대번성 시에는 색소의 흡광 및 산란 방식이 상이하여 고농도 적조생물 내의 색소량 추정에는 적합하지 않다. 이에 따라 동해에 발생한 코클로디니움 (*Cochlodinium Polykrikoides*) 종에 대하여 농도를 정밀 추정하는 연구를 수행하였고, 청색 밴드(490nm)와 적색밴드(680nm)를 동시에 활용하는 알고리즘을 개발하였다. 또한 위성에서의 추정 결과를 현장에서 수집한 생물 농도 및 색소 농도와의 비교 검증을 수행하였다.

④ 적조 예찰 및 적조 광역조사를 통한 현장 자료 확보

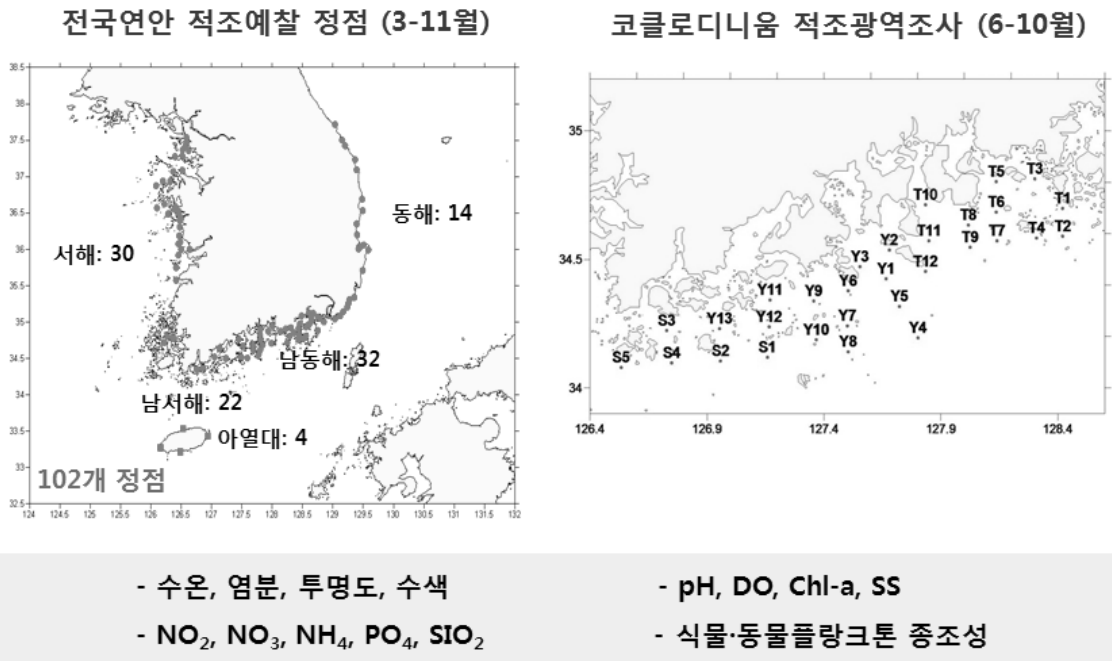


그림 32. 국립수산과학원의 적조 예찰 시스템 운영 정점도

국립수산과학원에서는 남해(격월) 및 동중국해(계절별)에서 해양 관측망을 통한 해역별 클로로필 자료를 수집하고 분석하였다. 특히 남해안 적조광역조사 시기(6월~10월, 격주 조사, 거제~완도)에는 격주조사를 통하여 현장자료를 확보하였고 연안역 식물플랑크톤의 대량 발생시, 지역, 시기, 원인생물, 출현 밀도 등에 대한 정보를 수집하였다. 코클로디니움을 포함한 주요 적조 원인생물의 광특성 분석을 위하여 적조 생물을 대량으로 배양하고 분석하였으며, 또한 실시간 해양 환경 모니터링 부이의 운영을 통하여 엽록소 자료를 획득하였다. 국립수산과학원 적조 상시감시체계망 운영은 본원 뿐 만 아니라 동·서·남해 및 제주해역의 지역 연구소에서 동시 수행하였고, 식물플랑크톤 이상 대증식에 따른 적조 발생시, 지자체 및 부설 수산기술사업소 주관으로 관할 해역에 대한 수시(평시 및 적조생물 출현주의보 발령시) 또는 일일(적조주의보 및 적조경보 발령시) 적조생물 출현 밀도 및 해역에 대한 자료를 국립수산과학원 적조상황실로 보고되었다.

(다) 결과

① 엽록소 시계열을 이용한 적조 탐지 결과

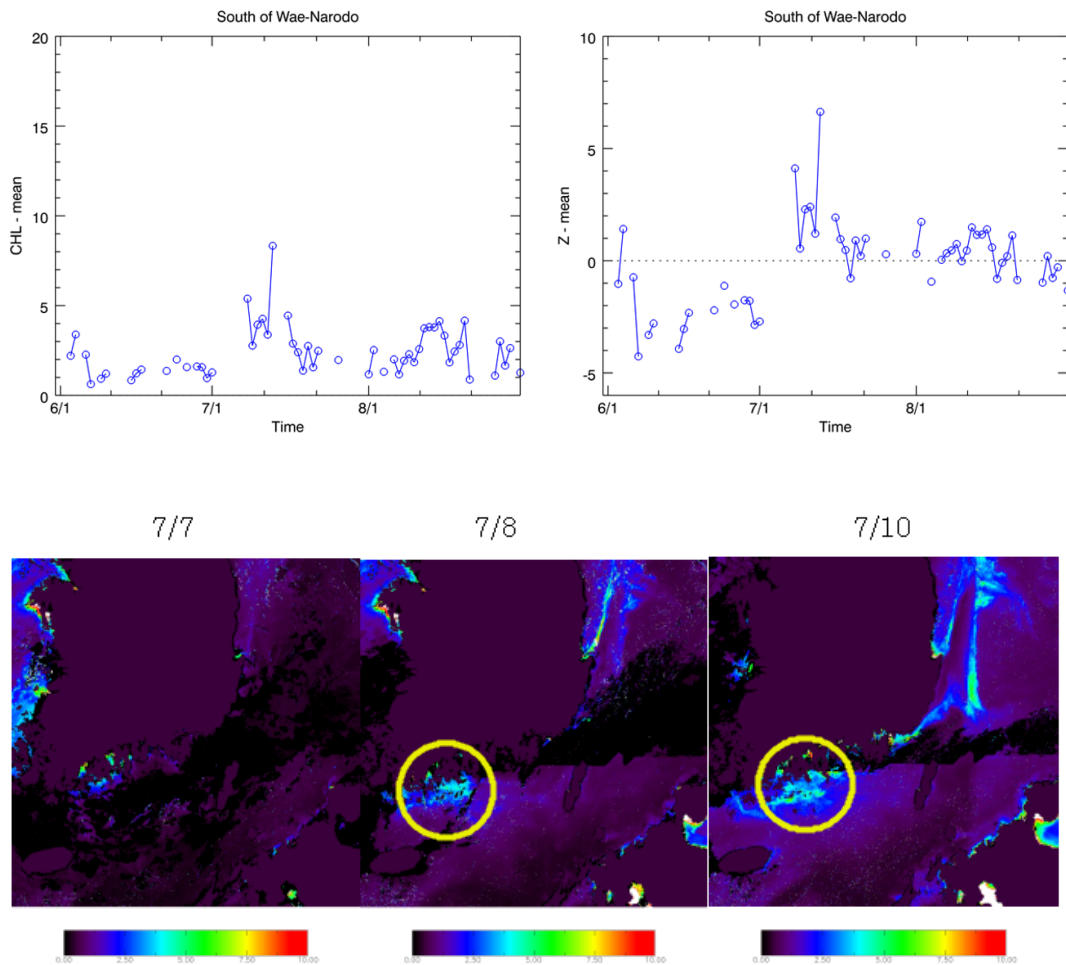


그림 33. 2013년 7월 초에 여수 앞바다에서 촉발한 코클로디니움 적조를 GOCI를 이용하여 관측한 모습 (좌상) 외나로도 해역의 평균 엽록소 농도 시계열, (우상) 같은 해역의 정규화 엽록소 농도 시계열, (하단) 7/7일~10일까지 남해에 포착된 고 엽록소 농도 해역

엽록소농도의 시계열을 이용한 방법으로 2013년 7월초에 발생한 적조에 대하여 외나로도 앞바다 25 km x 25 km 해역의 평균 엽록소 농도 시계열(그림 33, 좌상)과 정규화된 엽록소 시계열(그림 33, 우상)을 도시한 결과, 2013년 적조가 최초 발생한 7월 8일에 시계열 값이 크게 상승한 것을 관측하였다.

② 적조 스펙트럼과의 유사도를 이용한 탐지 기법

SAM 유사도를 이용하여 적조를 탐지하는 기법으로는 적조의 정규수출광량(nLw) 스펙트럼과의 유사도를 이용하여 동중국해상에 발생한 적조를 탐지하였고, 유사도를 spectrum angle의 형태로 표출하여 강도를 표시하였다(그림 34).

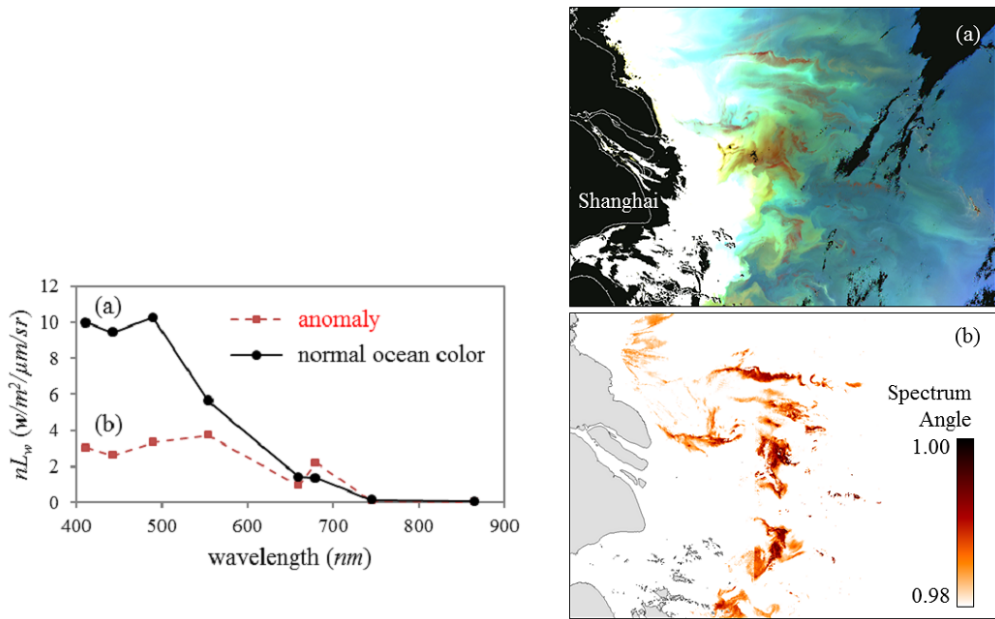


그림 34. (좌)일반 해수의 스펙트럼(a)과 적조 스펙트럼(b), (우)동중국해상의 적조 발생 영상(a)과 SAM기법을 통해 탐지한 적조 발생 해역(b)

③ 적조 생물내 엽록소 농도를 추정하여 적조를 정량화하는 기법 연구

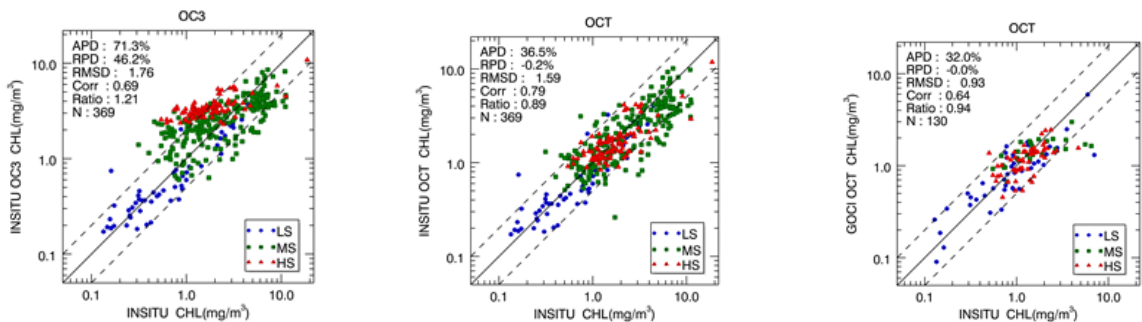


그림 35. 탁도 수준에 따른 엽록소 농도 추정 알고리즘의 성능 평가 (좌) OC3 알고리즘을 현장 광학자료에 적용한 결과, (중) OCT 알고리즘을 현장 광학자료에 적용한 결과, (우) OCT 알고리즘을 GOCI자료에 적용한 결과

- ※ (범례) LS(Low SPM) : 낮은 탁도($SPM < 0.5 \text{ g/m}^3$)
- MS(Moderate SPM) : 중간 탁도($0.5 < SPM < 10 \text{ g/m}^3$)
- HS(High SPM) : 높은 탁도($SPM > 10 \text{ g/m}^3$)

※ APD(Absolute Percent Difference, or Mean Normalized Gross Error) : 알고리즘 불확도
 RPD(Relative Percent Difference, or Mean Normalized Bias) : 알고리즘 오차

㉗ 다양한 광특성을 가진 해수에 대해서 엽록소 알고리즘의 성능을 도출한 결과, 적조 빈발 해역인 남해 연안은 부유퇴적물의 영향으로 표준 엽록소 알고리즘이 큰 오차를 나타내었다. 낮은 탁도(LS)에 대하여서는 35% 내외의 불확도를 나타낸 반면, 중간 및 높은 탁도의 해수에 대해서는 큰 과대추정을 보였다. 탁도에 의한 영향을 보정한 OCT 알고리즘으로는 모든 해수에 대하여 35% 가량의 정확도를 보였고 위성자료와 현장자료를 비교 검증한 결과 역시 35% 내외의 정확도를 나타내었다(Kim et al., 2016).

- ④ 적조에 특화된 엽록소 추정을 위하여 490nm와 680nm의 밴드비를 이용하여 적조내의 엽록소의 양을 추정하는 기법을 개발하였다.

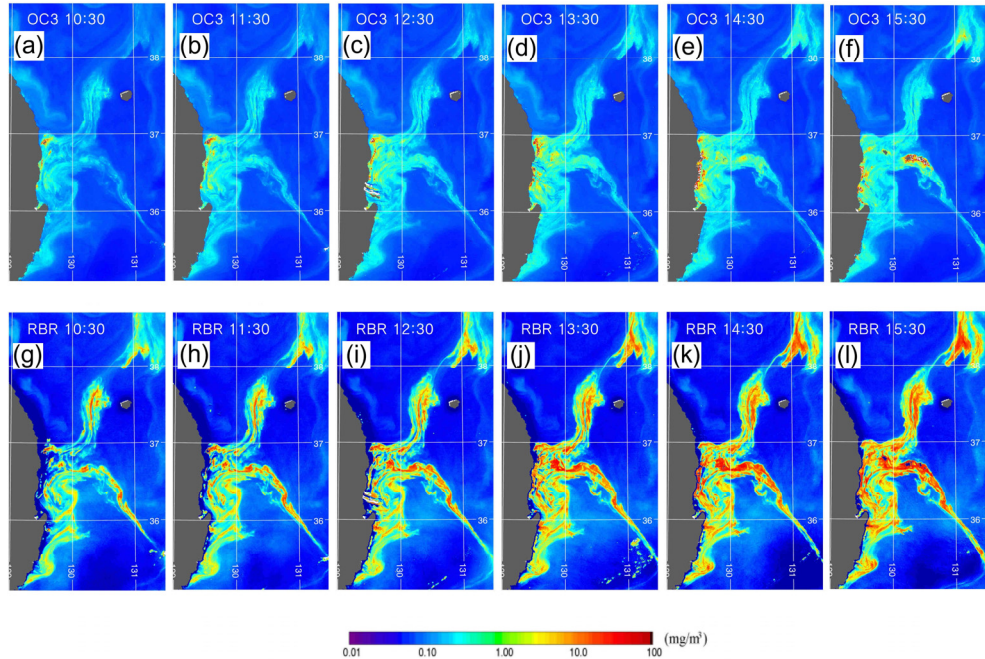


그림 36. 2013년 8월 13일 오전 10:30부터 오후 3:30까지 GOCI영상을 이용한 매시간 관측된 동해상의 적조 분포 (상단) OC3 알고리즘 (하단) RBR 알고리즘

그 결과, 제안된 RBR(red to blue ratio) 알고리즘을 이용하면 기존 밴드비 알고리즘인 OC3에서 나타났던 과소추정이 경감되는 것을 확인하였다. 현장 광학 및 엽록소 자료를 이용하여 알고리즘 구성 시, OC3에서 과소추정되었던 엽록소 농도가 35% 내외의 불확도를 보이며 일반 엽록소 추정 알고리즘 수준의 성능을 나타내었고, GOCI 영상에 적용 시에도 과소추정되었던 엽록소 농도가 현장 관측값에 근사하게 나타났다. 단, 여전히 약간의 과소추정이 관찰되었으나 이는 현장 엽록소와 GOCI 자료간의 공간 해상도 차이, 관측 시간 차이 등에 기인하는 것으로 추정된다.

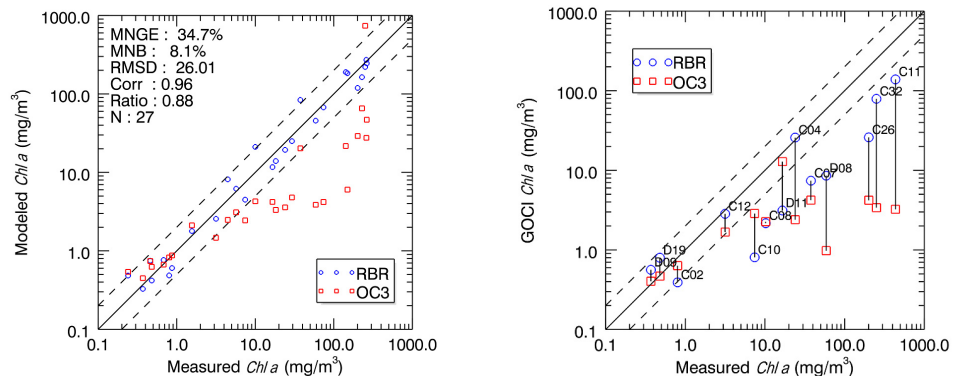


그림 37. (좌) 현장 광학자료에 RBR알고리즘을 적용한 결과와 (우) GOCI자료에 RBR을 적용한 결과, OC3를 적용한 결과와 비교되어있음

(5) 수중가시거리

(가) 개요

수중가시거리는 해수 중의 식물성 입자 및 광물 입자의 구성 및 농도에 따라 달라지며 이를 통해 해수의 투명도를 알 수 있다. Zsd, Secchi depth는 수중가시거리를 나타내기 위한 물리량 중 하나로서, Secchi disk를 수면 아래 연직 방향으로 하강하여 측정하는 거리를 나타낸다. Zsd와 하향 확산 감쇠계수는 음의 상관관계를 나타내는 것으로 알려져 있으며 해양위성센터에서 획득한 현장조사자료를 통하여 물리량이 뚜렷한 음의 관계를 보임을 확인하였다.

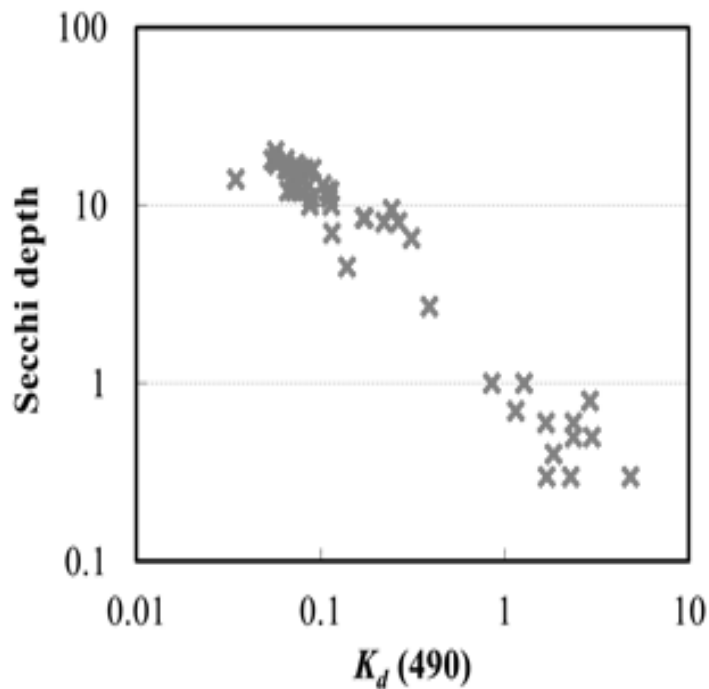


그림 38. 장 측정된 $K_d(490)$ 과 secchi depth

Zsd를 계산하기 위한 고전적 이론식은 복사전달식과 visibility theory를 통해 도출되었으며(식 1), 장기간동안 수중가시거리의 기본 수식으로 사용되어왔다(Lee et al., 2015). 수식 도출을 위해 몇 가지 기본적인 가정이 수립되었는데 첫 번째는 Secchi disk는 해수면의 연직 방향으로 내려서 거리를 측정하며 두 번째는 수심에 따른 해수 구성성분이 균질하다는 점이다. 마지막으로 Secchi disk와 주변 해수의 광 분포함수가 동일하다는 가정이 존재한다.

$$z_{sd} = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_{min}}\right)}{K_d(v) + c(v)} \quad (\text{식 1})$$

(나) 재료 및 방법

GOCI를 위한 Zsd 알고리즘은 기존에 개발된 경험적 관계식을 벗어나서 고전적 이론식을 바탕으로 한 알고리즘(Doron et al., 2007; 2011)을 적용하고 GOCI에 맞게 수정하여 검증하였다.

본 알고리즘은 식2와 같이 인간 눈의 민감도에 관한 함수 P, 물체를 탐지하는 사람의 인지능력에 대한 함수 $\ln\left(\frac{C_0}{C_{\min}}\right)$, 해수의 구성성분 및 농도에 따른 투명도 $K_d(490)+c(490)$ 에 관한 식으로 구성되었으며 이 알고리즘은 현장자료를 토대로 구축/적용되었다.

$$z_{sd} = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_{\min}}\right)}{P(K_d(490)+c(490))} \quad (\text{식2})$$

본 알고리즘은 감쇠계수 $c(490)$ 유도를 위한 가정이 몇 가지 존재한다. 첫 번째로 490nm와 560nm의 입자 및 용존유기물에 의한 흡광계수 비율이 일정하다는 점이고(Doron et al., 2007), 두 번째로 490nm와 560nm의 입자에 의한 후방산란계수 비율이 일정하다는 점이 있다(Babin et al., 2003). 이를 통해 $c(490)$ 를 계산하기 위해 Rrs로부터 흡광계수 $a(490)$ 과 $bbp(490)$ 을 도출하였고 유럽 외해 및 내해에서 수집된 현장자료 COATLOOC 데이터셋으로 $bbp(490)$ 와 $bp(490)$ 비율 모델식을 구축, $bp(490)$ 를 도출하였다. 이를 통해 $c(490)$ 는 $a(490)$ 와 $bp(490)$ 와 $bw(490)$ 의 합으로 계산되었다. $K_d(490)$ 는 Lee 등(2005b)를 사용하여 계산하였고 $\ln(C_0/C_{\min})$ 은 복사전달식과 visibility theory를 통해 도출된 값을 그대로 사용하여 수중가시거리 도출하였다.

하지만 이 알고리즘은 다음과 같은 몇 가지의 개선 가능한 사안이 존재한다. 첫 번째는 기존 연구에서 bbp/bp 경험적 관계식은 값의 범위는 비슷하지만 해역별로 상이한 값으로 알려져 있는 반면 본 알고리즘은 유럽 인근 해역에서 측정된 현장관측자료를 통해 관계식을 획득하였다.

- + Twardowski et al.,(2001) : 0.002 and 0.03 in the Gulf of California
- + Boss et al.,(2004) : 0.005 to 0.035 in the Mid-Atlantic Bight
- + Chang et al.,(2004) : 0.002 to 0.075 in the Santa Barbara Channel

이에 따라 GOCI 관측영역에 적합한 경험적 관계식을 적용하기 위하여 황해 양자강 하구의 탁한 해역 및 동중국해역에서 측정된 현장자료를 토대로 구축된 bbp/bp 경험적 관계식을 적용하였다(Zhang et al.,(2010)). 두 번째로 본 알고리즘은 490nm와 560nm의 광특성계수 비율을 고정하였으나 QAA 알고리즘을 적용하여 흡광계수와 후방산란계수를 각 픽셀마다 계산하였다.

(다) 결과 및 결론

GOCI 수중가시거리 알고리즘의 결과를 검증하기 위해 해양위성센터에서 측정된 우리나라 동해 및 황해 현장 관측 자료를 사용하였다. 현장 관측 자료의 부유퇴적물 농도 범위는 $0.48\sim 105.76\text{g/m}^3$ 로서 넓은 탁도 범위를 포함하고 있다(그림 40).

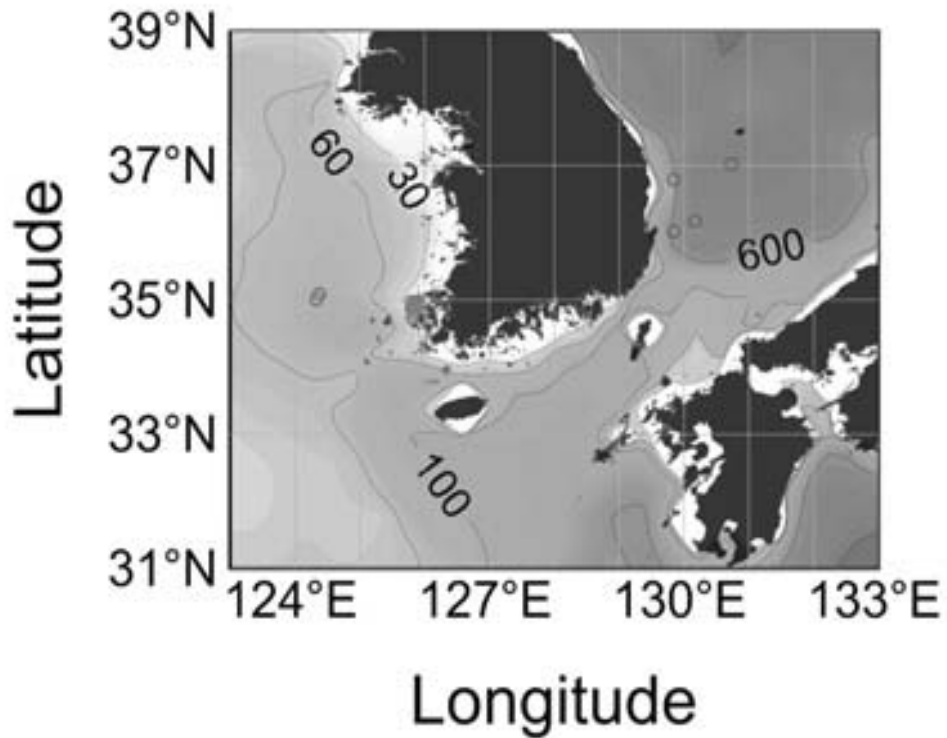


그림 39. 현장조사 정점도. 배경자료는 수심도 (값의 단위 : m)

현장 측정된 수중가시거리와의 비교 검증 결과는 탁한 해역(부유퇴적물 농도의 범위 30~105.76 g/m³)과 그 외의 해역 (부유퇴적물 농도의 범위 0.55~18.88 g/m³)으로 구간을 나눠서 확인하였다. 그 결과 표 4 및 그림 40과 같이 탁한 해역을 제외한 지역에서 Doron은 약 24%의 오차를 보이는 반면 수정된 알고리즘은 약 13%로 개선된 결과를 보였다. 탁한 해역의 정확도는 그 외 해역에 비하여 다소 떨어지는 경향을 보였으나 Doron 알고리즘은 약 200%이상 과대모의하는 경향을 보이는 반면 수정된 알고리즘은 약 30% 정도 과소추정 하는 경향을 보였다.

표 4. 각 알고리즘을 통해 도출된 Mean Normalized Bias(MNB)와 Mean Normalized Gross Error(MNGE)

(%)	목포 (TSM 농도 : 30~105.76 g/m ³)		그 외 (TSM 농도 : 0.55~18.88 g/m ³)	
	MNGE(%)	MNB(%)	MNGE(%)	MNB(%)
Doron	264.9	265.5	24.67	24.67
Modified Algorithm	-30.3	30.3	13.18	10.48

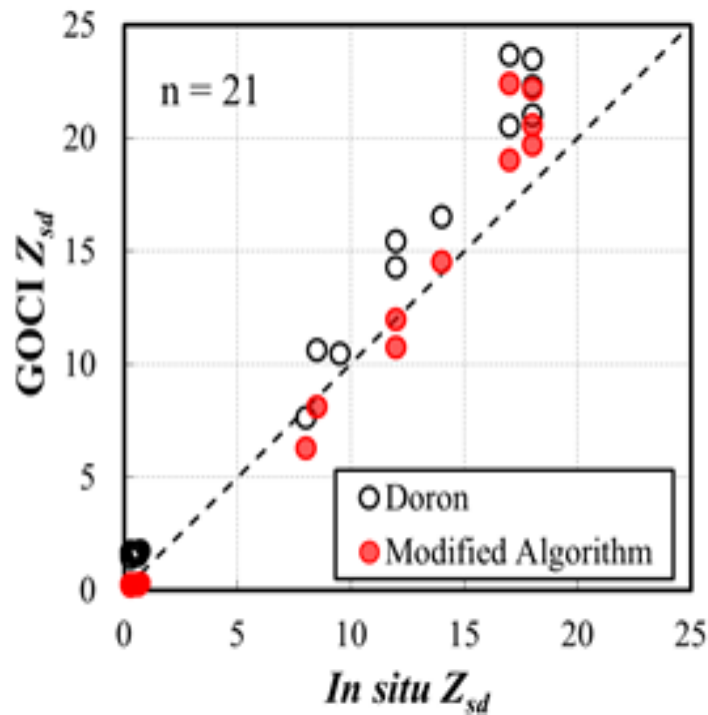


그림 40. 현장 측정된 수중가시거리와 GOCI 수중가시거리

(6) 유해생물 추적

(가) 서론

굉생이 모자반은 겨울철에 암반에 붙어서 성장한 후 봄철에 해수면에 떠다니며 생활하는 해초 중 하나이다. 굉생이 모자반은 번식이 빨라 미국에서는 생태계 교란 종으로 꼽히고 있으며 양식장과 어업에 큰 피해를 준다. 2015년 여름에는 제주도와 남해 근해에서 대거 발견되어 해수욕장과 양식 어업에 큰 피해를 입혔다. 이 때문에 굉생이 모자반의 분포를 위성자료를 이용하여 파악하고 예측하는 연구는 반드시 필요하다.



그림 41. 제주도 인근 해변을 덮은 굉생이 모자반. 중국 남부에서 해류와 바람을 통해 유입된 굉생이 모자반 때문에 제주도민의 피해가 큼
 <<http://m.newsjeju.net/news/articleView.html?idxno=206617>>

GOCI는 하루에 8번 관측이 가능한 세계 최초 정지궤도 해양위성센서로, 한반도 근해 영역에서의 유해생물을 관측하기에 매우 유리하다. 특히 팽생이 모자반은 GOCI 영상에서 육안으로 확인이 가능하며 이는 다른 위성자료로는 탐지가 불가능하다. 이전에도 한반도 근해에 서식하는 유해생물의 탐지 및 이동경로 추적에 대한 연구를 실시하였다. 우선 지형류 자료를 이용한 입자추적 실험을 실시한 결과 적조생물인 *Cochlodinium polykrikoides*의 이동경로 추적이 가능하였다. 이는 *C.polykrikoides*와 같은 작은 생물은 지형류에 의해 지배적으로 이동하며, 입자추적 실험을 통해 이동경로 추적이 충분히 가능하다는 것을 의미한다. 하지만 똑같은 방식으로 해파리를 추적한 결과는 정확하지 않았는데, 해파리는 적조생물과는 다르게 크기가 상대적으로 크기 때문에 지형류뿐만 아니라 해상풍에 의한 영향을 많이 받는다. 따라서 해파리나 모자반과 같이 해수표면에서 해상풍의 영향을 받을 수 있는 생물종의 이동 추적을 위해서는 지형류뿐 아니라 해상풍을 고려한 합성 해류장 이용한 알고리즘의 개발이 필요하다. 본 연구를 통해 해색위성인 GOCI자료를 활용하여 유해생물을 발견하고 이들을 실시간으로 유동을 추적하는 연구를 수행하며, 수치모델을 활용하여 이들의 경로를 예측하고자 한다. 따라서 본 과제의 최종 목적은 한반도 주변에 발생하는 유해생물의 출현을 실시간으로 관측하여 필요한 기관이나 연구원들에게 제공하여 이들의 생태변화나 환경변화를 일으키는 기작을 연구 할 수 있는 기반을 제공하는 것이다.

(나) 방법

① 팽생이 모자반 추적에 필요한 합성 해류 및 알고리즘 개발

㉞ 합성 해류장 생성

Kim 등(2016)은 지형류 위성자료만을 이용해서 적조생물의 입자추적을 실시하였다. 이 연구의 연구지역은 동해였는데, 지형류를 이용한 입자추적실험이 실제 적조의 이동을 잘 모의하였다. 그러나 황해의 경우 수심이 얕고, 조석과 몬순 계절풍 등의 영향을 많이 받기 때문에 지형류 자료만으로는 실제 수괴의 이동을 모의하기에 어려움이 있다. 실제 부이 위치 자료와 지형류를 이용한 입자추적실험 비교 결과 부이 위치를 거의 모의하지 못하는 것을 확인하였다.

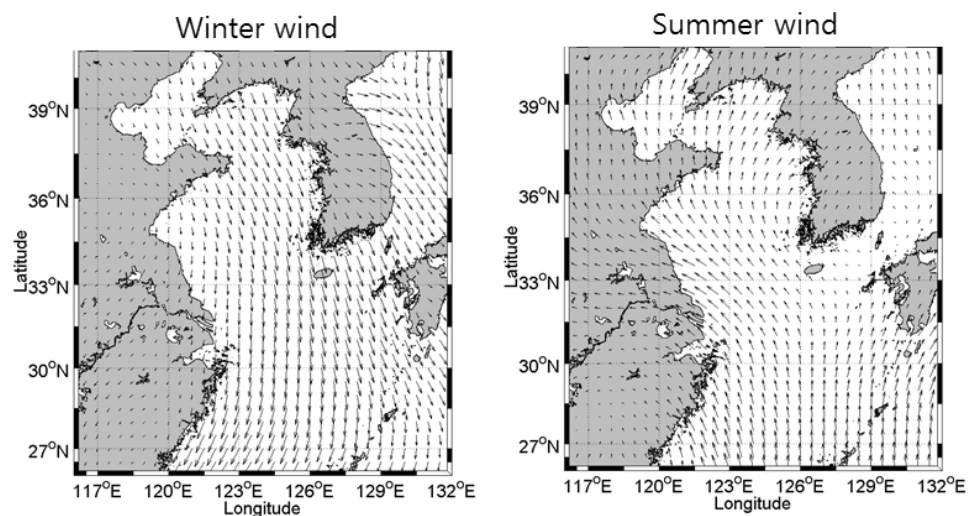


그림 42. 황해 지역에서 몬순의 영향에 의해 달라지는 해상풍(2006년~2014년)

그림 42는 황해 지역에 존재하는 대표적인 계절풍을 보여주고 있다. 겨울철에는 북서풍 계열의 바람이 불고 여름철에는 남동풍 계열의 바람이 분다. 팽생이 모자반 같은 경우 보통 봄철에 양쯔강 하구역에서 발생하여 여름, 가을철에 우리나라 연안까지 확산되는데 이는 짧은 기간이 아니기 때문에 계절풍에 의한 취송류 성분을 반드시 고려해 주어야 한다.

$$\vec{fk} \times \vec{V} = -\frac{\nabla P}{\rho} + A_z \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial z^2} \quad (\text{식3})$$

위의 식은 지형류의 지배항인 압력경사와 전향력 뿐만 아니라 응력의 전달을 나타낼 수 있는 수직방향 와동 점성을 고려한 것이다. 여기서 f 는 코리올리 파라미터, \vec{V} 는 유속 벡터, P 는 압력, ρ 는 해수 밀도를 나타내며, $A_z \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial z^2}$ 은 수직방향 와동점성을 나타낸다. 본 연구에서는 위의 식을 이론적으로 해석한 Welander(1957)의 방법을 이용하였다. Welander는 유속을 취송류 성분(\vec{u}_e)과 지형류 성분(\vec{u}_g)으로 나눈 뒤, 아래 경계조건을 이용하여 취송류 성분의 이론해를 구하였다.

$$\vec{V} = \vec{u}_e + \vec{u}_g, \quad (\text{식4})$$

$$\vec{fk} \times \vec{u}_e = A_z \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial z^2}, \quad \vec{fk} \times \vec{u}_e = -\frac{\nabla P}{\rho}. \quad (\text{식5})$$

위의 식에서 경계조건을 아래와 같이 설정하면

$$z = 0 : \rho A_z \frac{\partial \vec{u}_e}{\partial z} = \vec{\tau}; \quad z = -h : \vec{u}_e + \vec{u}_g = 0, \quad (\text{식6})$$

이 되고, 이때 해는

$$\vec{u}_e = \frac{\vec{\tau}}{\rho A_z j} \frac{\sinh[j(h+z)]}{\cosh[jh]} - \vec{u}_g \frac{\cosh[jz]}{\cosh[jh]}, \quad j = (1+i)\sqrt{f/2A_z} \quad (\text{식7})$$

로 정의된다. 위의 식에서 z 는 수심, τ 는 바람 응력을 나타낸다. 위의 결합된 해류장을 계산하기 위해서 지형류는 AVISO에서 제공되는 자료를 이용하였으며, 해상풍은 ECMWF 재분석 자료를, 수심은 ETOPO1 자료를 이용하였다.

그림 43은 식(4)로 계산된 새로운 해류장의 예를 나타낸 것으로 여름철 보다 겨울철에 황해에서의 해류가 조금 더 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

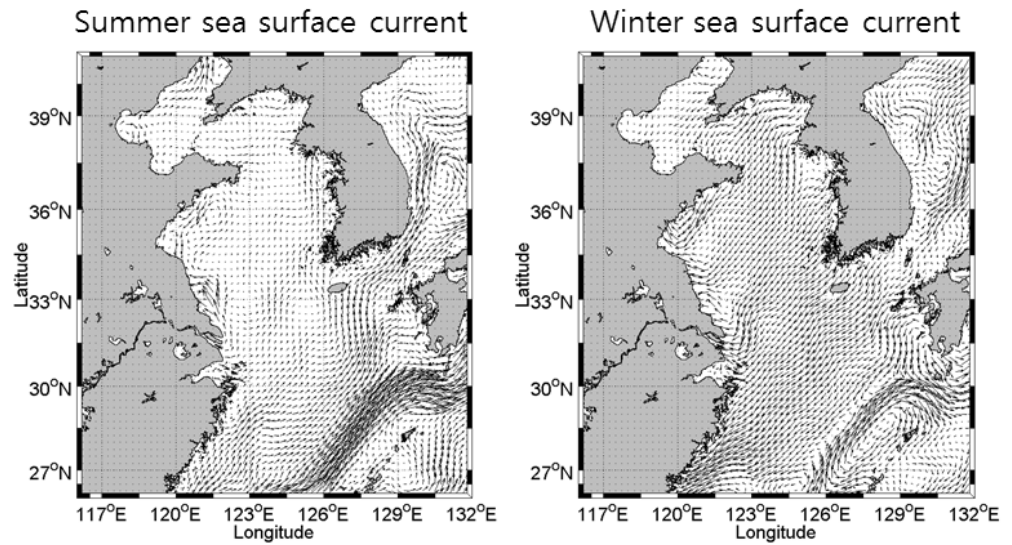


그림 43. 여름철과 겨울철에 지형류와 취송류를 합한 해류장

㉞ 입자 추적 실험

본 연구에서는 팽생이 모자반의 이동 경로를 추적하기 위해 Lagrangian 입자 추적 실험을 실시하였다. 입자의 위치를 모의하는 식은 아래와 같이 간단하게 나타낼 수 있다:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{U} \quad (\text{식8})$$

본 연구에서는 위의 식을 수치적으로 풀기 위해 4차 Runge-Kutta 스킴을 이용하였으며, 해파리의 무작위한 움직임을 모의하기 위해 수평방향 확산을 고려하였다(Smagorinsky, 1963).

$$\Delta x_R = \sqrt{2K_h \Delta t} \times N(0,1) \quad (\text{식9})$$

$$K_h = A \Delta x \Delta y \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2} \quad (\text{식10})$$

위의 식에서 조정계수 A는 Okuno et al.,(2011)의 연구에 근거하여 0.05으로 설정하였다.

㉞ 입자 추적 실험 검증

위에서 소개한 연구 방법을 바탕으로 본 연구에 들어가기에 앞서 해류장과 입자추적이 잘 모의되는지를 확인하기 위하여, Komatsu 등(2007)의 연구결과를 바탕으로 입자추적 실험을 검증하였다. Komatsu 등은 실제 팽생이 모자반 군집의 이동경로를 추적하였으며, 양쯔강 하구역 부근에 부유해있던 팽생이 모자반 군집에 GPS가 설치된 부이를 떨어뜨려서 그 이동경로를 연구하였다.

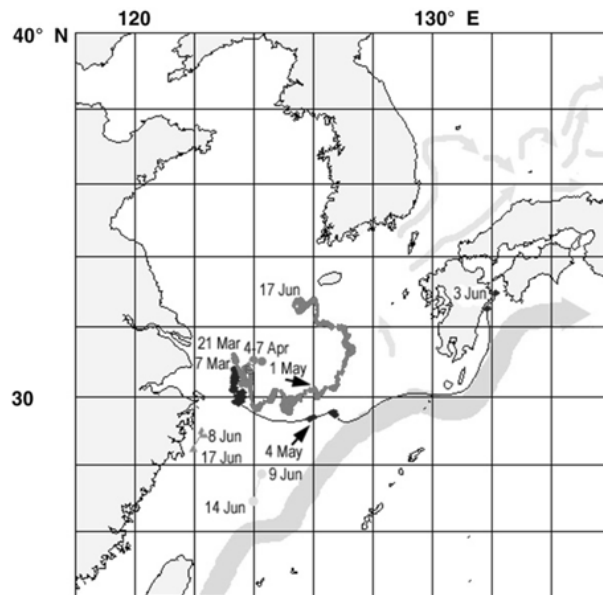


그림 44. Komatsu 등(2007)에 보고된 팽생이 모자반 이동경로

그림 44에 나타난 서로 다른 색의 실선은 각각 다른 부이의 위치를 나타내고 있으며, 부이 투하 시기와 회수 시기가 기입되어 있다. 본 연구에서는 입자추적실험 검증을 위하여 위 그림의 빨간색 실선을 참고하여 입자추적을 실시하였다.

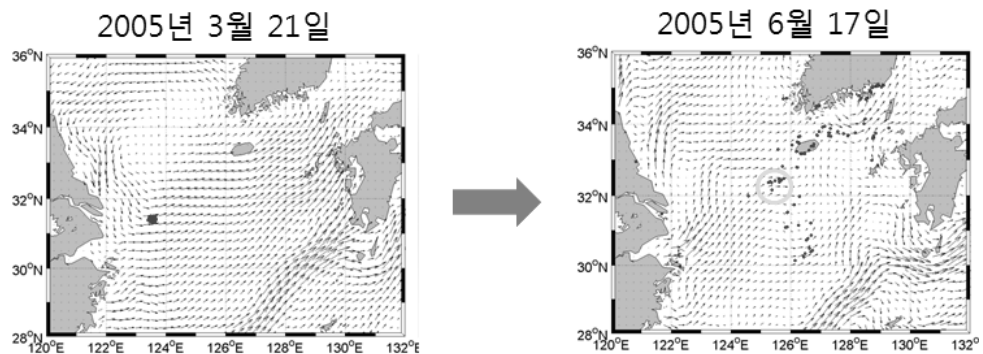


그림 45. 그림 44에 나타난 빨간색 실선의 투하 일시와 위치를 기준으로 입자추적실험 실시

그림 45의 좌측 그림은 Komatsu등이 부이를 투하한 일시와 위치에 초기 입자위치를 설정한 것을 보여준다. 그리고 빨간 실선의 마지막 날짜인 6월 17일까지 해류장에 입자를 흘려보낸 결과가 오른쪽 그림에 나타나 있다. 그림의 연두색 동그라미는 실제 부이가 도착한 지점 부근의 위치를 나타낸다. 입자추적 실험 결과 입자가 실제 부이가 도착한 지점 부근뿐만 아니라 제주도 연안, 남해 연안, 동중국해 부근 등 여러 곳에 도착한 것을 보여주었다. 이러한 결과는 입자추적 실험이 성공적이지 못했다고 판단할 수 있으나, 부이는 하나의 입자를 대변하고 있는 것으로 부이를 여러 개 투하하였을 경우 모두 같은 경로로 이동할 가능성은 매우 적다. 이러한 이유로 다수의 입자가 여러 지역으로 확산된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구진은 실제 부이 도착위치 부근에 존재하는 입자들을 선택해서, 입자추적 기간 동안의 경로를 조사하였다.

실제 모자반 위치와 유사한 지점에 도착한 입자들의 경로

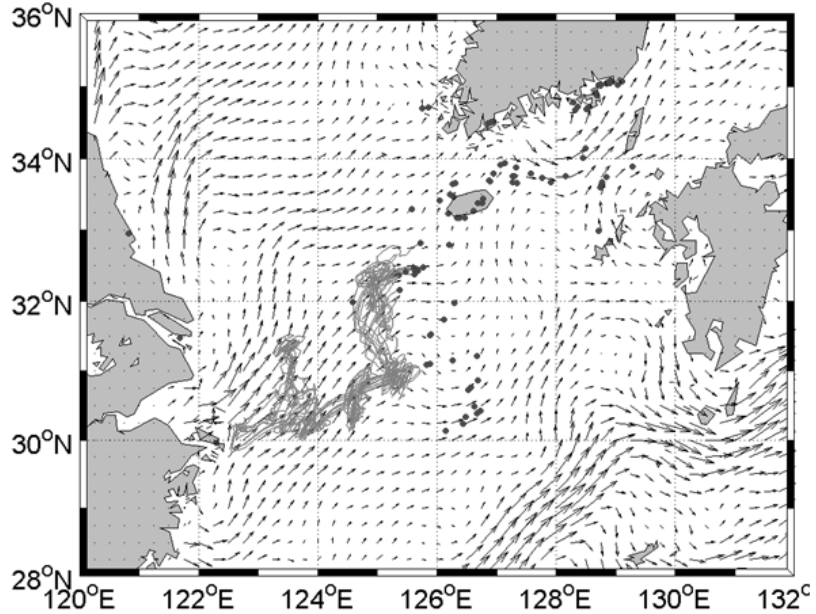


그림 46. 부이 도착 위치를 잘 모의한 입자들의 이동경로

그림 46에 나타난 빨간색 실선이 선택한 입자들의 이동 경로를 타나내고 있으며, 그림 44의 빨간색 실선과 정확하게 일치하지는 않지만 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구진은 위에서 실시한 입자추적실험을 바탕으로 GOCI에서 탐지한 팽생이 모자반의 이동경로의 경향성을 파악할 수 있을 것이라 판단하였다.

② GOCI자료를 활용한 해류장 검증 및 보정

GOCI로 탐지한 팽생이 모자반의 위치를 파악하기 위해서 해양위성센터(KOSC)에 자료를 요청하여 관측날짜가 다른 총 9장의 영상을 제공받았다. 각 영상은 황해와 남중국해에 분포하는 팽생이 모자반 군집 농도를 보여주고 있다(그림 47).

해색위성 특성상 구름이 많은 영역은 관측이 불가능하기 때문에 기상조건에 따라 자료를 연속적으로 획득하기 어렵다. 이러한 특성으로 입자추적실험은 기상조건에 관계없이 수행이 가능하지만 실제 팽생이 모자반 관측자료 없이는 검증이 불가능하다. 따라서 연구 시작단계에서 계획하였던 팽생이 모자반 군집의 이동이나 기원지 추적 등의 연구는 진행하기 어렵다고 판단하였고, GOCI 영상 9장과 입자추적실험을 이용하여 새로 개발한 해류장과 팽생이 모자반 군집 이동의 연관성을 연구하였다.

연속적인 영상이 없이는 관측된 팽생이 모자반 군집이 이전에 관측된 팽생이 모자반과 동일한 군집인지, 새로 발생한 군집인지를 파악하는 것이 불가능하다. 따라서 본 연구는 영상 관측일에 따라 팽생이 모자반 군집을 3개의 그룹으로 구분하였다(A, B, C). 각 군집의 초기위치 주위에 입자를 추적 또는 역추적 하여 영상에서 관측된 팽생이 모자반 그룹을 구분하였으며, 그 결과 9개 영상에서 총 세 가지 팽생이 모자반 군집을 구분할 수 있었다(그림 47).

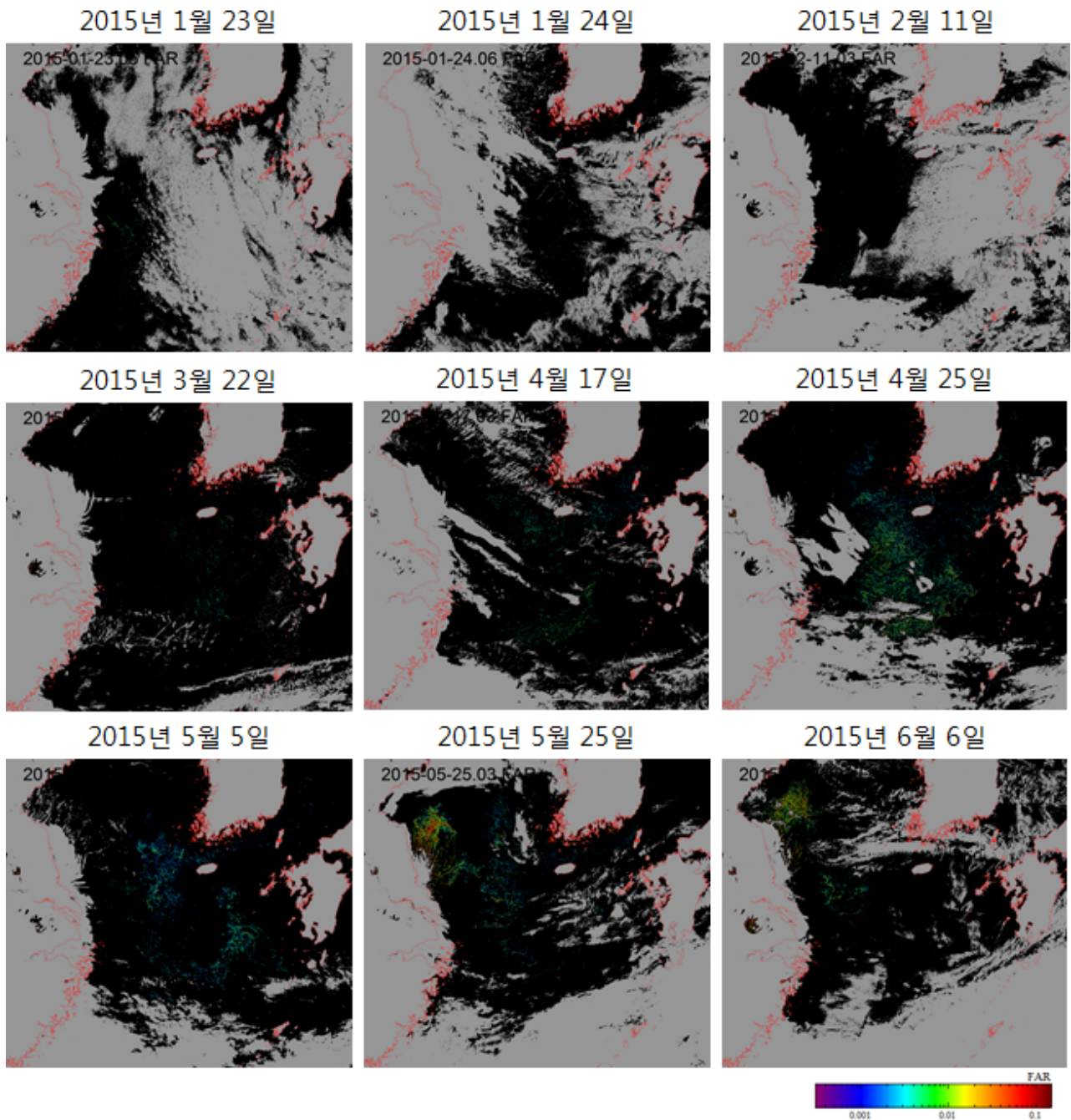


그림 47. GOCI로 관측한 갯생이 모자반 이미지

㉗ 팽생이 모자반 군집 A

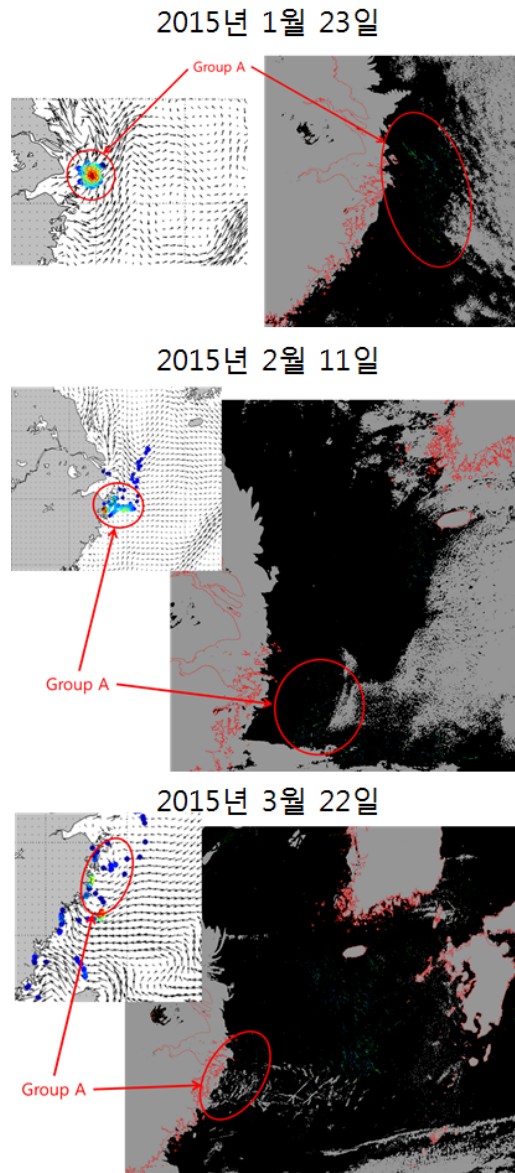


그림 48. 2015년 1월 23일, 2월 11일, 3월 22일의 입자 위치와 GOCI에서 관측된 팽생이 모자반 군집의 위치로 구분한 팽생이 모자반 군집 A

2015년 1월 23일에 양자강 하구역에서 관측된 팽생이 모자반 군집을 A라 지정하였다. 입자추적실험을 실시하고 입자 위치와 GOCI 영상을 비교하여 확장경로를 관측하였다. 1월 24일에는 구름의 영향으로 인해 A군집이 관측되지 않았으나 이후 2월 11일, 3월 22일에는 관측되었다. 그리고 입자추적 실험에서도 해당지역에 입자들이 분포하고 있음을 확인할 수 있었다(그림 48).

㉘ 팽생이 모자반 군집 B

2015년 4월 25일에 동중국해에 넓게 분포하고 있는 팽생이 모자반 군집을 B라 지정하였다. 입자추적 결과 B군집은 9장의 GOCI 영상 중 8장에서 관측된 것을 확인할 수 있었다. 이는 이 팽생이 모자반 군집이 최소한 1월 24일부터 6월 6일까지 동중국해 및 우리나라 연안지역에 분포하고 있었음을 제시하고 있다(그림 49).

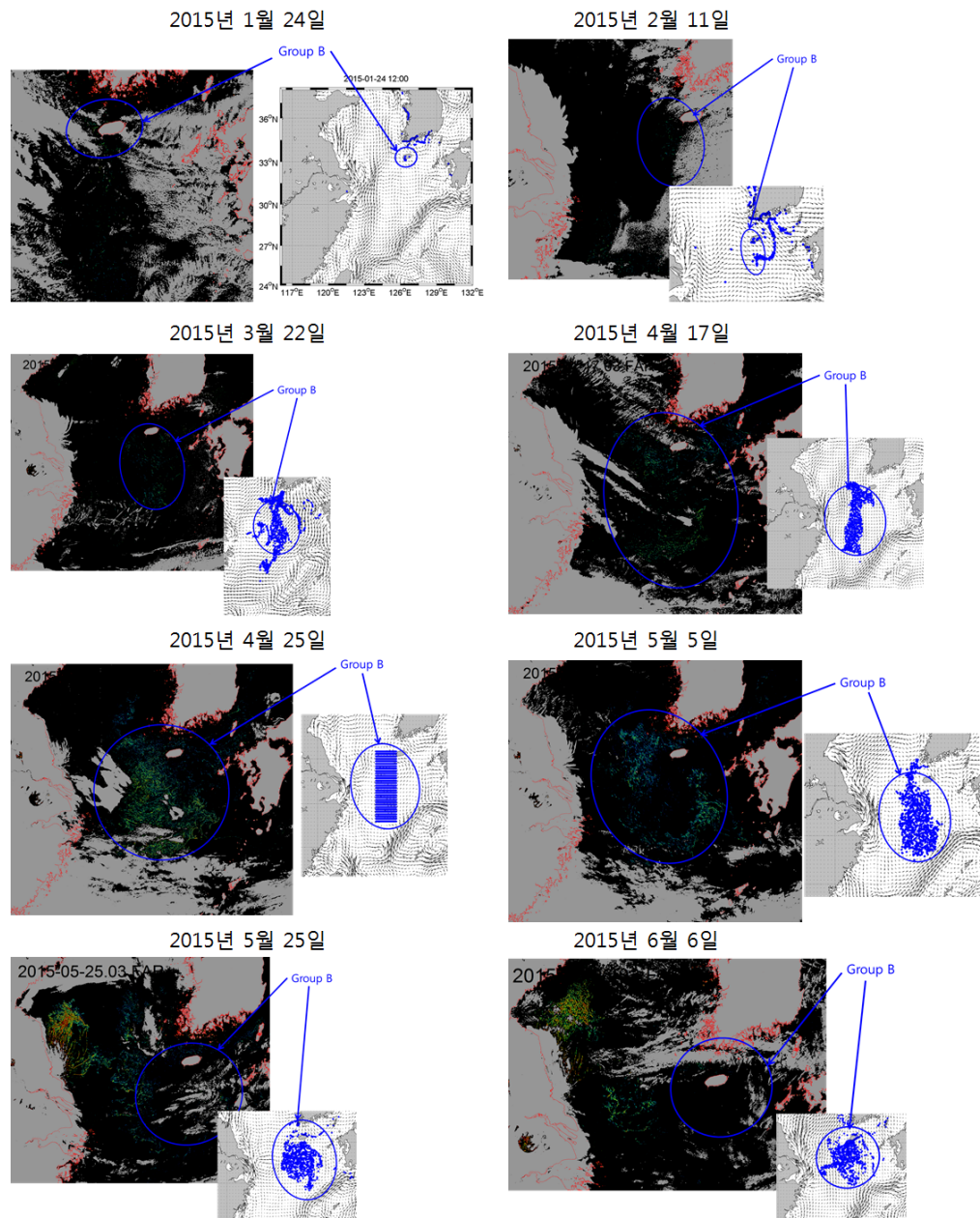


그림 49. 2015년 1월 24일 이후로 관측된 GOCI 팽생이 모자반 영상과 입자의 위치. 4월 25일에 관측된 팽생이 모자반 군집을 초기위치로 설정하여 역 입자추적 및 입자추적 실험을 실시하였음

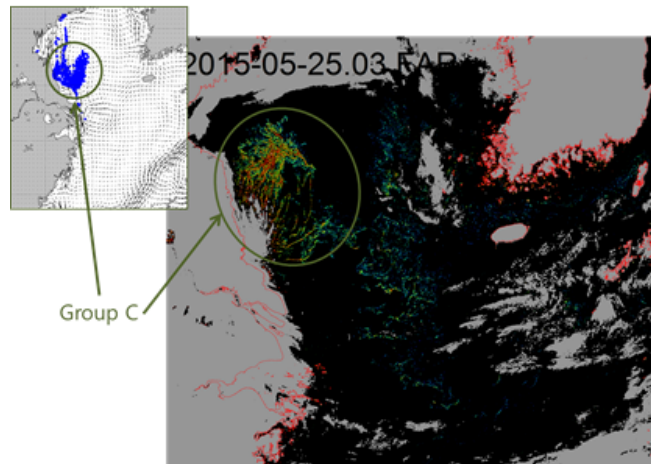
입자추적실험 결과, 4월 25일에 동중국해에서 관측된 팽생이 모자반은 1월에 우리나라 주변 해역에서 기원하였으며, 동중국해로 확산되었다가 다시 제주도 연안으로 확산되었음을 제시하고 있다. 일반적으로 팽생이 모자반은 봄철에 양자강 하구역에서 기원하는 것으로 알려져 있기 때문에 위의 결과는 기존의 배경지식과는 다른 결과를 나타내고 있다. 2015년의 경우 1월에 이례적으로 많은 팽생이 모자반들이 제주도 연안 또는 해역에서 발생되었다 (<http://www.ihalla.com/read.php3?aid=1422272167488361164;> <https://www.youtube.com/watch?v=7BBZyRJdjYE;> <http://blog.naver.com/42dimension/220287628181;>

<http://blog.naver.com/woo4132/220259964586>). 이러한 결과는 팽생이 모자반 군집의 기원이 양자강 하구역 뿐만 아니라 다른 지역일 수 있는 가능성을 제시한다. 실측조사 등 추가적인 연구를 통하여 팽생이 모자반 확산매커니즘을 정확하게 파악할 필요가 있다.

㉔ 팽생이 모자반 군집 C

2015년 5월 25일과 6월 6일에 중국 청도 남쪽 해안에서 고농도의 팽생이 모자반 군집이 관측되었다. 6월 6일에 관측된 팽생이 모자반 군집의 기원을 알아보기 위해 역입자추적을 실시하였고, 5월 25일만 GOCI자료와 비교가 가능하였다. 6월 6일의 입자가 5월 25일에는 조금 더 남쪽에 분포하고, 실제 GOCI 영상의 팽생이 모자반 군집도 5월 25일에 조금 더 남쪽에 위치하는 것을 확인할 수 있다(그림 50).

2015년 5월 25일



2015년 6월 6일

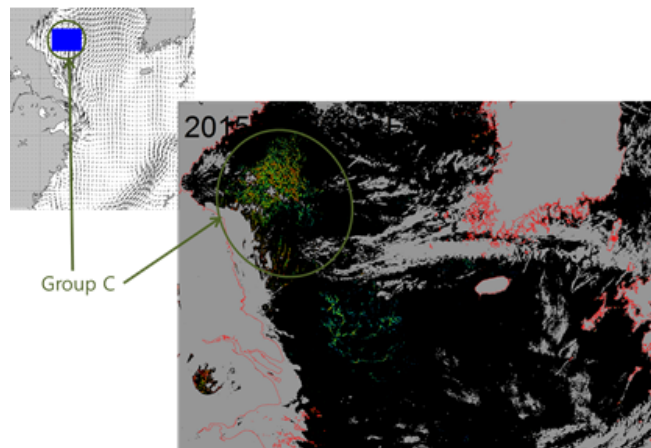


그림 50. 2015년 5월 25일, 6월 6일의 입자 위치와 GOCI에서 관측된 팽생이 모자반 군집의 위치로 구분한 팽생이 모자반 군집 C

③ 북서태평양 해양순환모델 구축

㉗ 해양순환모델 ROMS 구성

황해와 동중국해에서 GOCI 영상으로 관측된 갯생이 모자반의 이동경로 예측과 발원지 추정을 위해 해양순환모델을 구축하였다. 연구에 사용된 모델은 황해와 동중국해를 포함하는 북서태평양을 영역(북위5~52도, 동경 105~165도, 그림 51)으로 하고 있으며 수평적으로 1/10° 도와 수직적으로는 30개의 시그마 층으로 구성하였다. 이외 모델의 구성은 표 5와 같고 황해에서 실제와 유사한 해류순환을 모의하고자 고해상도의 바람자료와 조석, 강물의 유입을 고려하였다. 모델은 2014년 12월로 초기화하였고 2015년 6월까지 입자추적실험과 함께 수행되었다.

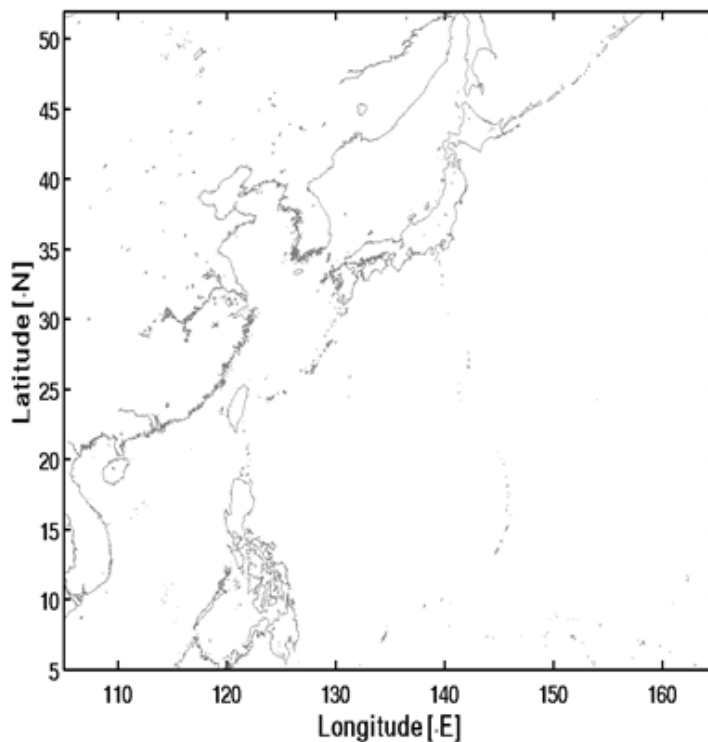


그림 51. 북서태평양 해양순환모델 영역

표 5. 북서태평양 해양순환모델 구성

모델 구성	사용된 자료	자료 해상도
수심자료	ETOPO5 + SKKU	5분, 1분
초기, 경계조건	ECCO2 재분석장	3일 평균, 0.25° 도
조석	TPX07 (10개 분조)	.
바람 강제력	ASCAT 위성자료	1일, 0.25도
해수면 경계	NCEP DOE 재분석자료	1일, 2.5도
담수 유입	양자강 방류량	장기 월 평균

입자추적실험의 구성은 다음과 같다. 입자의 투하위치는 Tseng(2000), Komatsu et al.(2014)의 팽생이 모자반 서식지를 분류한 선행연구와 수산과학원의 팽생이 모자반 유입경로 파악을 위한 수치모델 결과를 밝힌 보도 자료에서 언급된 지명을 참고하여 중국 연안을 따라 설정하였다(그림 52). 또한 겨울철 암반에 부착하여 성장하고 이후 바람과 해류에 의해 탈락하는 팽생이 모자반의 일생을 고려하여 입자의 투하시점을 12월부터 4월까지로 설정하였다. 입자의 개수는 지점별로 약 30개씩 매일 투하하였고 표층에 표류하는 팽생이 모자반의 움직임을 표현하고자 입자의 수직적 움직임은 제한하였다.

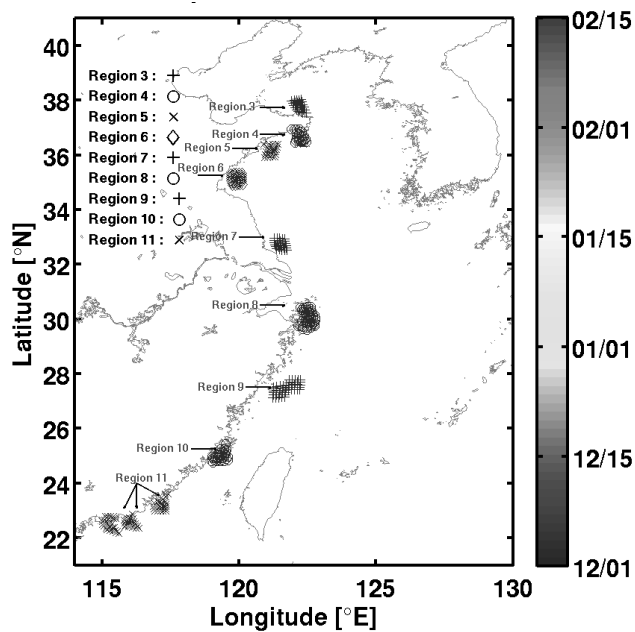


그림 52. ROMS 입자추적실험의 입자 투하 위치

입자의 움직임은 ROMS에서 적분된 3차원 해류장을 따라 흐르기 되는데 이는 fourth-order Runge-kutta scheme을 따르게 된다.

$$z_{n+1} = z_n + \Delta t(w_{adv} + R\sqrt{\frac{2k}{\Delta t}} + \frac{\partial k}{\partial z}) \quad (식11)$$

z 는 수직적 위치이고 랜덤한 수직속도 성분과 수직 확산(k) 경도항을 수직 이류 성분 (w_{adv})에 매 타임스텝마다(Δt) 더하는 것이다. 이 스킴의 상세내용은 Visser(1997), Batchelder et al.(2002), Banas et al.(2009)에 잘 서술되어 있다.

㉞ 해양순환모델 ROMS 검증

구축한 해양순환모델 ROMS의 모의능력을 검증하고자 팽생이 모자반의 군집이 주로 발견된 황해의 겨울철 해류를 살펴보았다. 표층에서 중국과 한반도 연안을 따라 남하하는 연안류와(그림 53, 좌) 수심 50m에서는 제주 남부에서부터 황해 내부로 유입되는 황해 난류(그림 53, 우)가 모의되었다. 이는 겨울철 황해 해류 모식도를 제시한 Kondo(1985)의 연구결과(그림 54)와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

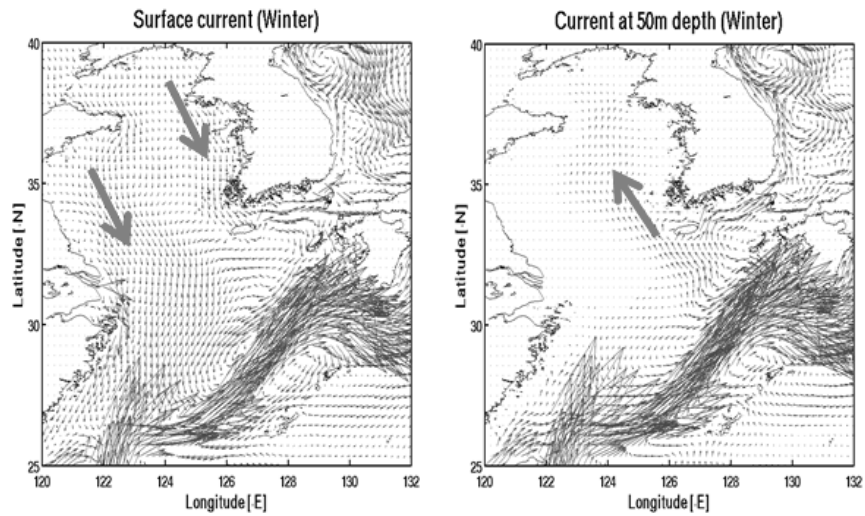


그림 53. 겨울철 황해 표층해류(좌)와 수심 50m 해류(우)

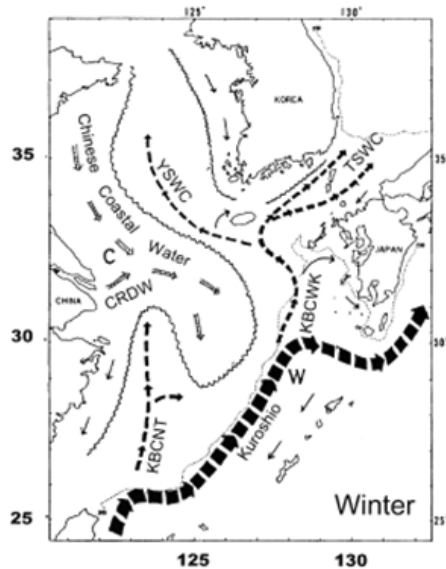


그림 54. 겨울철 황해 해류 모식도(Kondo, 1985)

또한 모델 도메인의 경계에서 조석 효과를 넣어줌으로써 발생한 조위변화에 대해 살펴 보았다. 모델에서 모의된 조위와 황해에서 조위가 가장 강하다고 알려진 인천의 조위 관측소에서 관측된 조위를 비교한 결과 위상이 잘 일치하였고 강도 역시 적절하게 모의하고 있음을 알 수 있었다(그림 55).

다음은 양자강 저염수 분포의 월변화를 살펴보았다. 양자강 유출수에 의한 저염수가 하구에서 발견되었고 점차 황해입구와 제주를 향해 퍼져나가는 모습을 볼 수가 있었으며(그림 56), 이는 Lee et al.,(2016)에서 보인 WOA2009에서 얻은 월별 표층염분의 분포(그림 57)와 유사하게 나타남을 확인할 수 있다. 특히 황하강 유역과 양자강 유역 그리고 오호츠크해에서의 저염수들이 잘 모의된 것을 확인할 수 있었다. ROMS에서 재현된 해류, 조위변화와 표층 염분의 분포를 이전 연구와 관측 자료와의 비교를 통해 모델의 모의능력을 검증하였고 적합하다고 판단하여 이후 팽생이 모자반의 이동경로 예측과 제주 근해 팽생이 모자반의 발원 위치 및 시기 추정(역추적)에 관한 실험을 진행하였다.

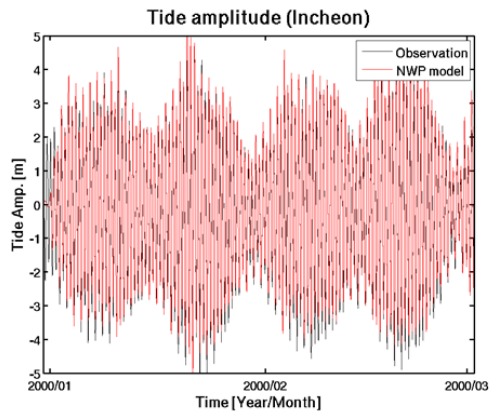


그림 55. 모델에서 모의된 조위(빨간 실선)과 인천 조위관측소의 조위변화(검정실선)

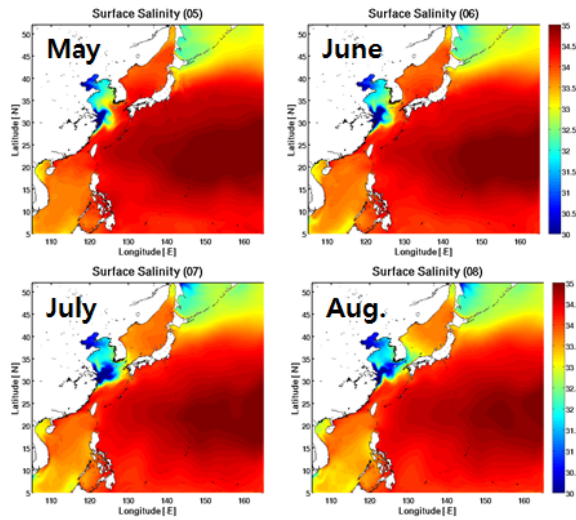


그림 56. 본 연구에 사용된 모델의 표층염분 분포

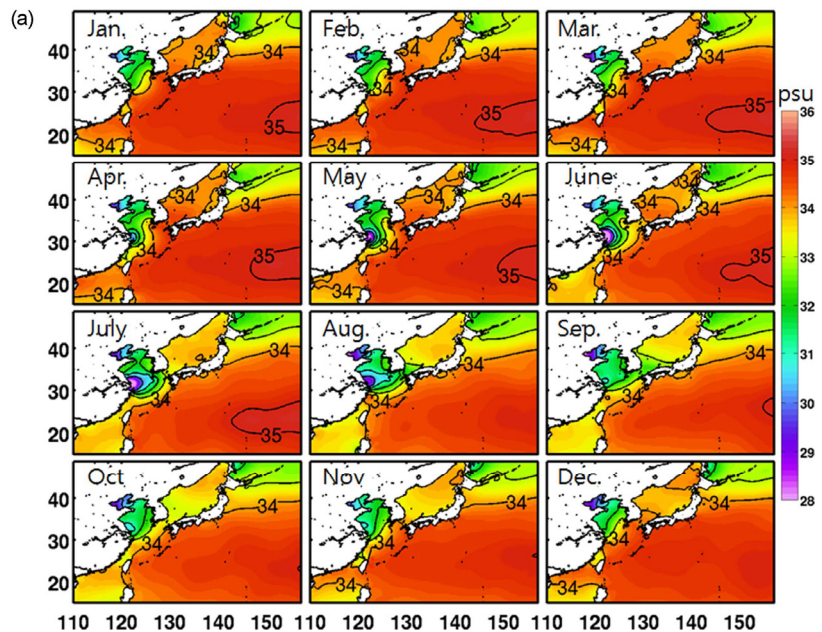


그림 57. WOA2009에서 얻은 표층염분 분포(Lee et al, 2016)

(다) GOCI 자료를 활용한 과거 사례 수치실험 결과

① 갯생이 모자반 이동경로 예측 실험

2015년 1월부터 6월까지 GOCI에서 갯생이 모자반을 탐지한 스냅 샷을 한국해양과학기술원 해양위성센터로부터 제공받았다. 이중 GOCI에서 4월 17일에 관측된 갯생이 모자반의 위치(그림 58)를 해양순환모델에서 입자의 초기 위치로 설정하여(그림 59) 이동경로 예측 실험을 수행하였고 4월 25일, 5월 5일, 5월 25일의 GOCI에서 관측된 갯생이 모자반 공간 분포와 비교하는 방식으로 예측실험을 진행하였다. 해색위성의 특성상 구름의 영향이 많고 갯생이 모자반의 군집이 크게 나타나지 않은 겨울철은 제외하고 명확하게 탐지된 위성 자료만을 고려하였다. 본 실험에서는 GOCI에서 관측한 갯생이 모자반은 구름의 영향으로 인해 전체적인 분포를 파악하기 힘들고 갯생이 모자반의 개체 수가 빠르게 증감하는 등 모델의 입자추적실험 결과와 일관성 있게 비교하기에 무리가 있어 입자의 개수를 많이 투하하여 보완하고자 하였다.

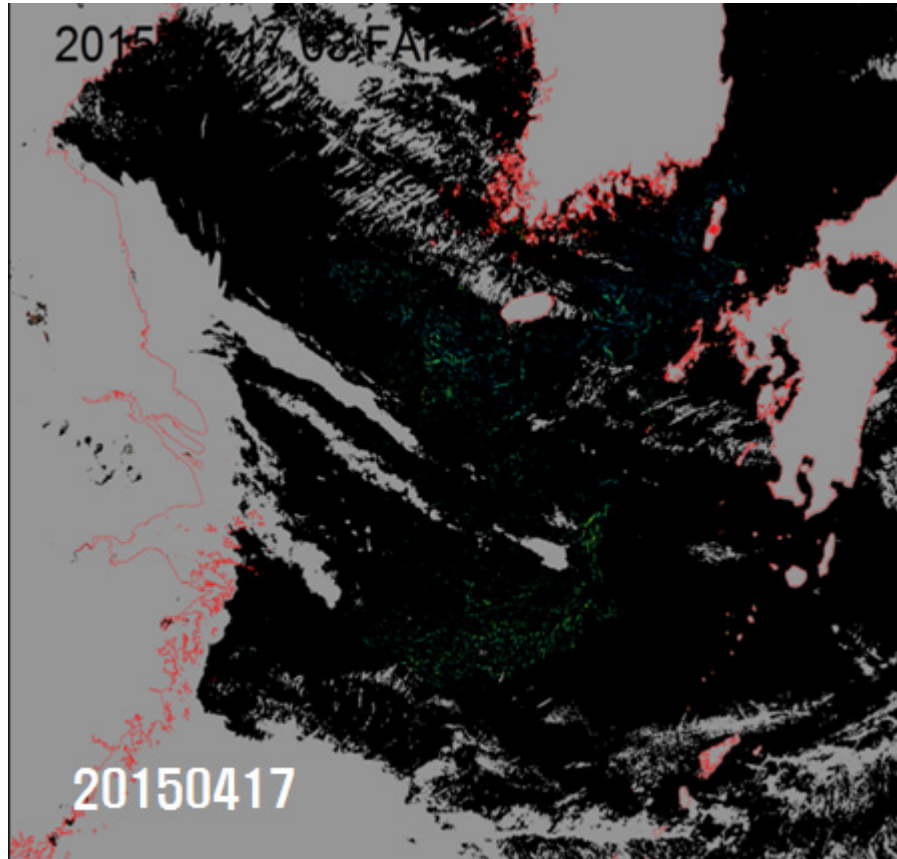


그림 58. GOCI에서 관측한 2015년 4월 17일의 갯생이 모자반

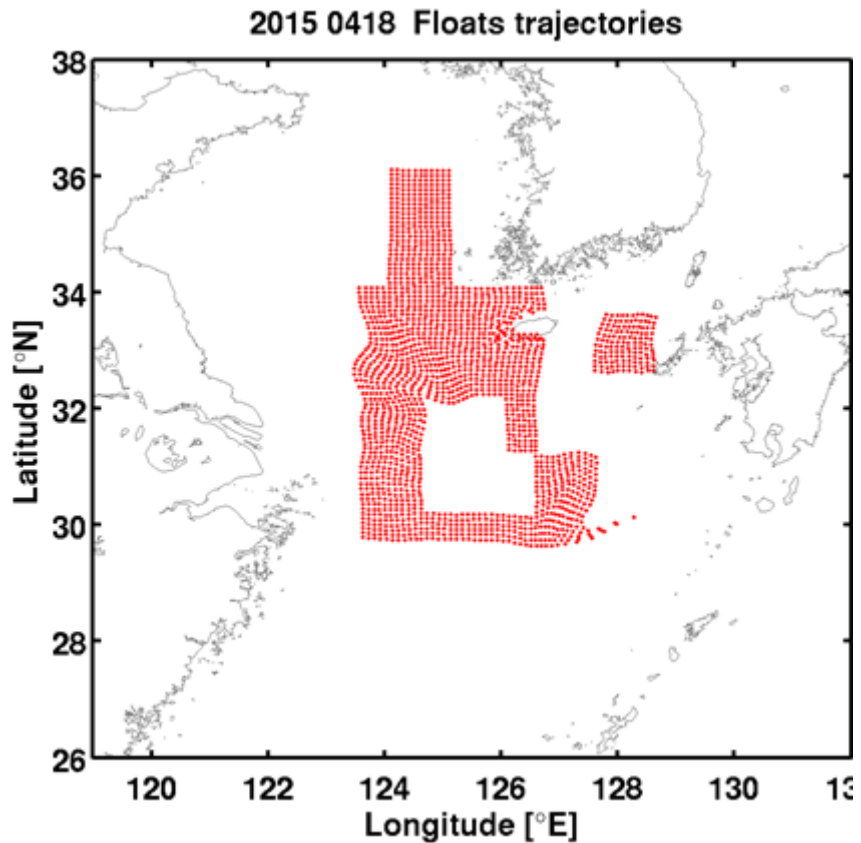


그림 59. 모델에서 위치한 2015년 4월 18일의 입자 위치

그림 58에서는 쿠로시오 해류를 타고 북상하는 모자반의 모습이 동중국해에서 포착이 되었고 제주 인근 해역에서는 제주 남서쪽과 남동쪽에 위치한 것을 볼 수 있었고 대마도 인근 해역에서도 모자반의 군집이 발견되었다. 이 팽생이 모자반이 발견된 위치와 위성영상에서는 발견되지 않았지만 서해 바다에서 구름으로 가려진 부분을 고려하여 모델에서 입자의 초기 위치를 설정하여(그림 59) 이동경로 예측 실험을 진행하였고 이를 GOCI 위성에서 탐지한 팽생이 모자반의 위치와 비교하였다.

4월 25일에 포착된 팽생이 모자반(그림 60, 상단)은 4월 17일의 팽생이 모자반 분포(그림 58)에 비해 제주 남동쪽의 위치했던 모자반들이 북상하는 것을 보였으며 구름에 가렸던 서해 연안 남측에 팽생이 모자반이 발생한 것을 확인할 수가 있었다. 또한 제주 동쪽에 위치한 무리들은 대한해협을 통과하는 모습을 모델에서 잘 재현하였다(그림 60, 하단). 5월 5일에 포착된 팽생이 모자반(그림 61, 상단)에서는 제주 서쪽에서 관측되었던 팽생이 모자반이 황해 입구로 유입되는 모습을 볼 수 있었고 제주 남동쪽에서는 제주도를 향해 북상한 것을 볼 수 있었다. 또한 제주도 북서쪽에 위치한 입자들이 제주 북부 해역으로 유입되는 것을 모델의 결과에서 잘 재현하였다.(그림 61, 하단). 5월 25일에 포착된 팽생이 모자반(그림 62, 상단)은 황해 중앙에서 남북방향으로 길게 위치한 것을 볼 수가 있다. 장수연 안에서 북쪽으로 진행하는 붉은 색의 군집이 발견되었는데 이는 새로 발생한 것으로 추정된다. 제주에서 남쪽으로 분포했던 팽생이 모자반은 구름에 가려 탐지되지 않아 결과를 비교할 수 없었다. 황해 내부에 길게 분포한 팽생이 모자반을 모델에서 적절하게 모의한 것으로 판단하였다(그림 62, 하단).

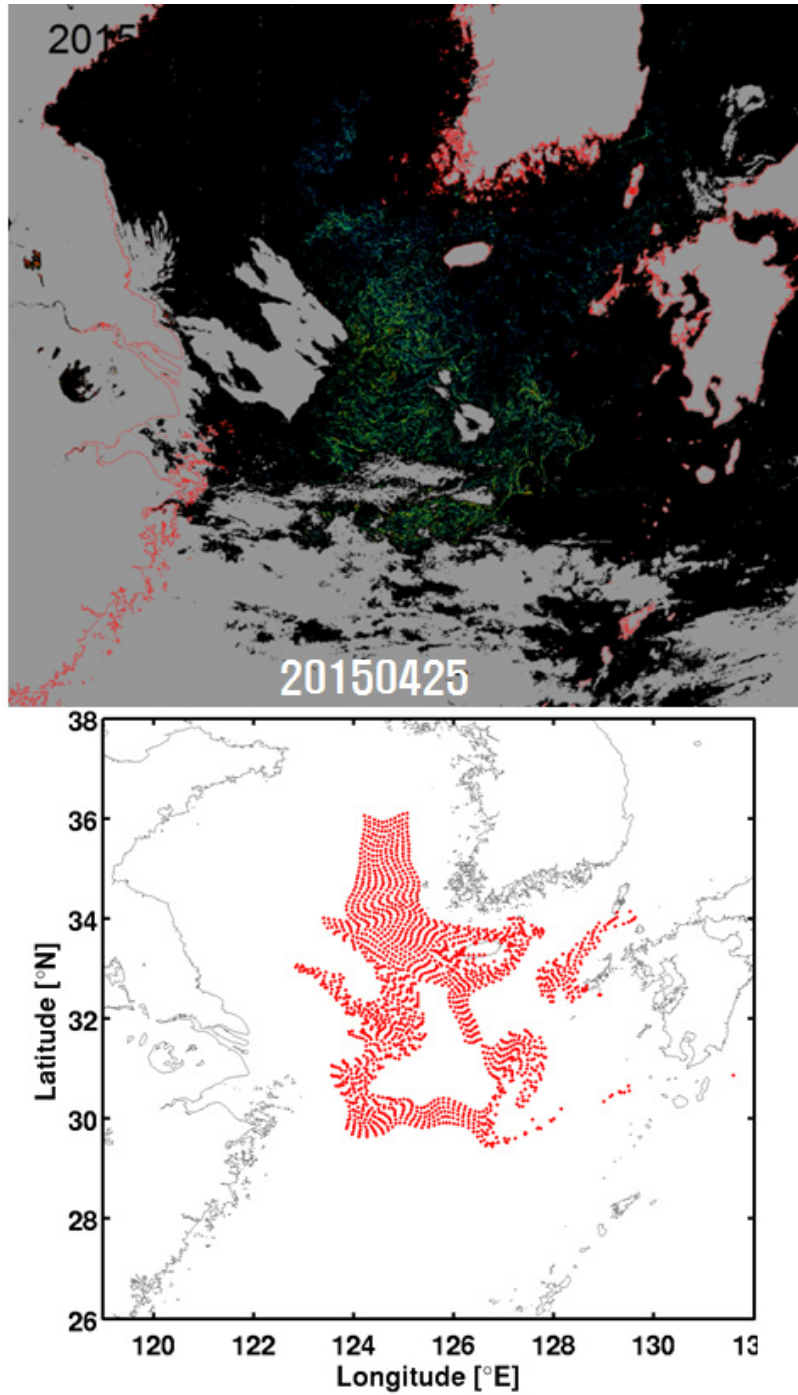


그림 60. GOCI에서 관측된 궤행이 모자반과 모델에서 위치한 입자 위치(2015년 4월 25일)

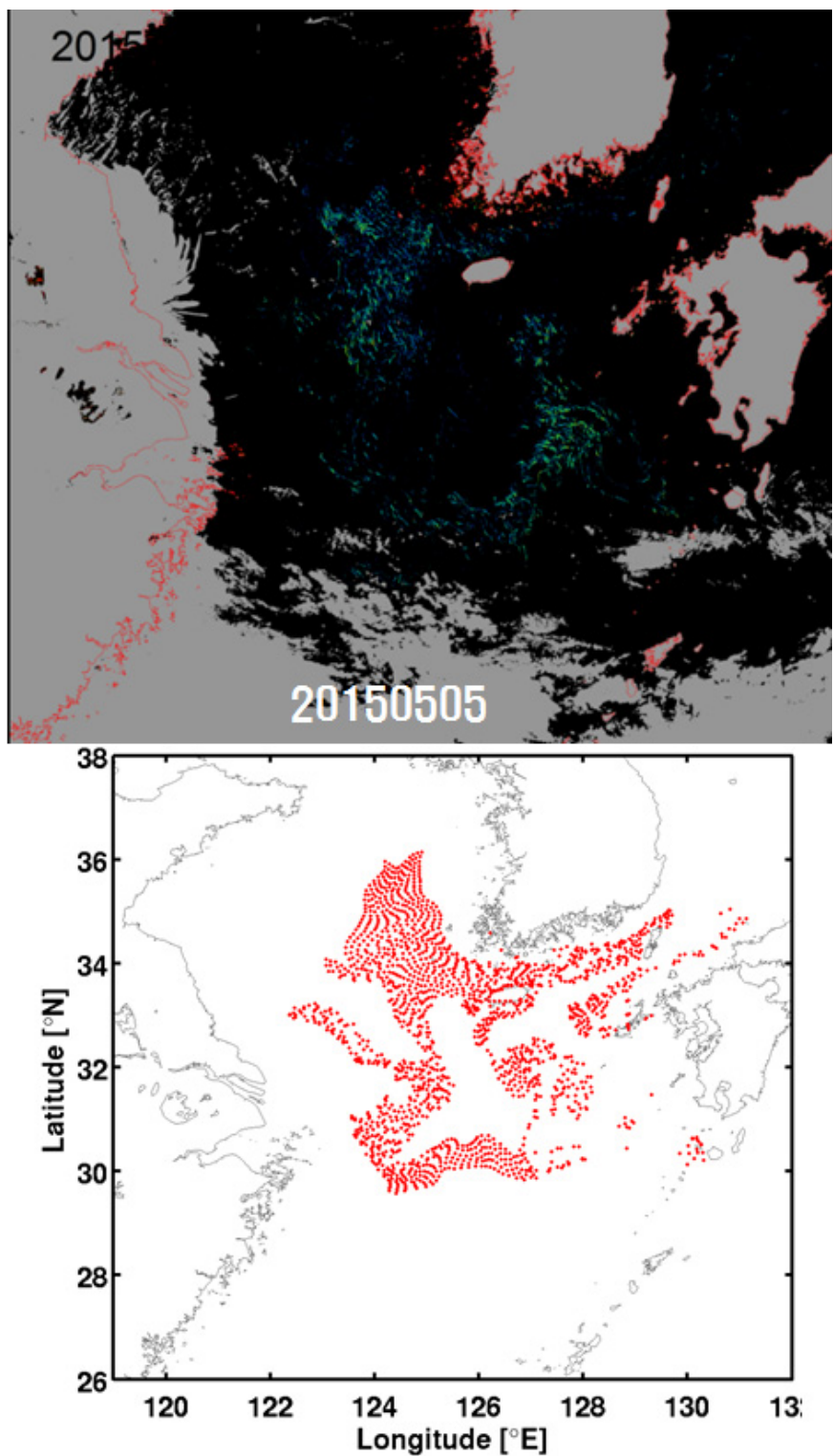


그림 61. GOCI에서 관측된 갯쟁이 모자반과 모델에서 위치한 입자 위치 (2015년 5월 5일)

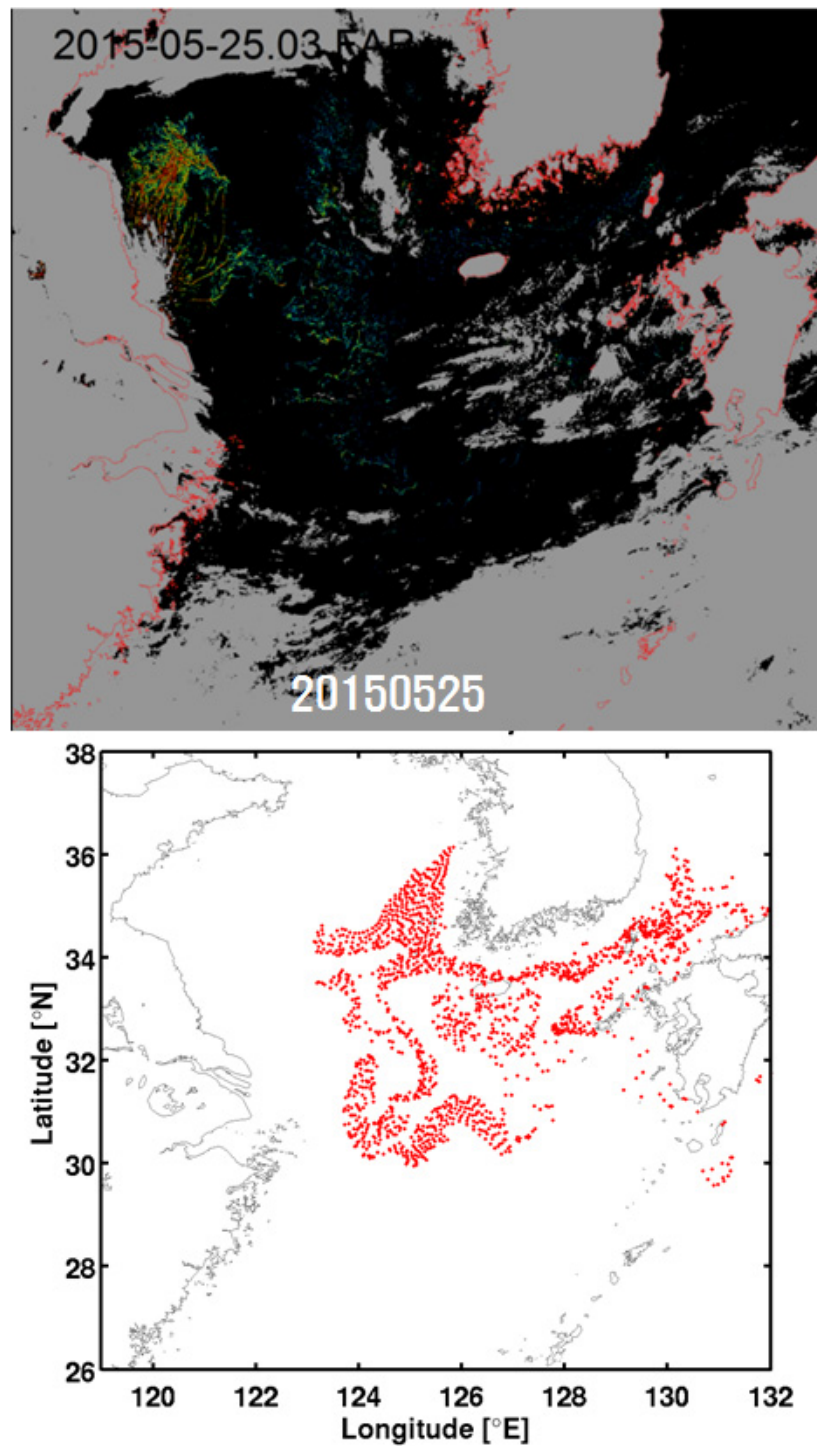


그림 62. GOCI에서 관측된 뽕생이 모자반과 모델에서 위치한 입자 위치(2015년 5월 25일)

① 뽕생이 모자반 발원지 추정(역추적) 실험

2014년 12월부터 4월까지 매일 표층에 중국 연안을 따라 입자를 총 65836개를 투하하였고 입자들의 이동경로를 살펴보았다(그림 63). 모델에서 예측한 모델 결과와 위성에서 포착한 실제 뽕생이 모자반 위치를 비교하기에 많은 양의 입자가 분포하여 분석을 위해 선별하였다. 입자의 선별은 2015년 5월 5일의 GOCI에서 포착된 뽕생이 모자반의 분포를 기준으로

하였고(그림 64, 좌) 모델 내에서 이 분포와 유사하게 세 개의 박스 영역을 설정하여(그림 64, 우) 이 영역 내부로 들어오는 입자의 초기 투하위치와 투하시기를 얻어 역추적하는 방법을 통해 실험을 진행하였다. 박스 별로 유입되는 입자의 초기위치와 투하시기를 살펴보았다.

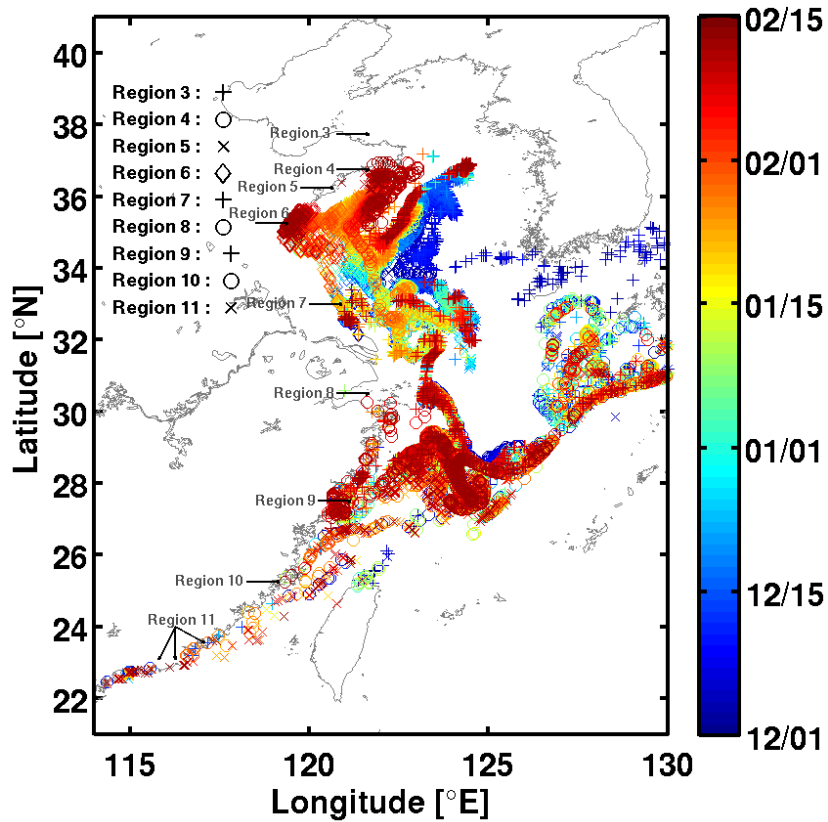


그림 63. 투하된 입자들의 2015년 5월 5일의 공간분포(총 투하시기 : 2014년 12월 1일 ~ 2015년 2월 15일, 컬러바 : 입자투하 시점)

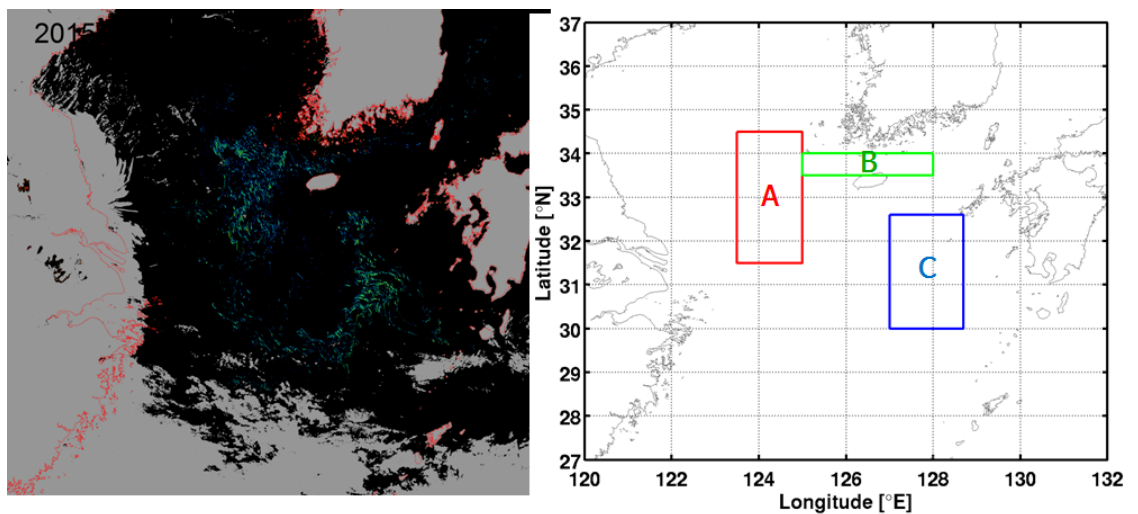


그림 64. GOCI에서 관측된 플랑크톤이 모자반의 분포(좌)와 모델에서 설정한 박스의 영역과 위치(우)

세 박스에 유입되는 입자를 살펴보고자 실제 투하된 입자와 박스에 유입된 입자 개수를 이용하여 확률막대그래프를 그림 65와 같이 도출하였다. 또한 그림 65를 근거로 하여 유입된 입자들만을 선별하여 입자들의 공간분포를 나타내었다(그림 66).

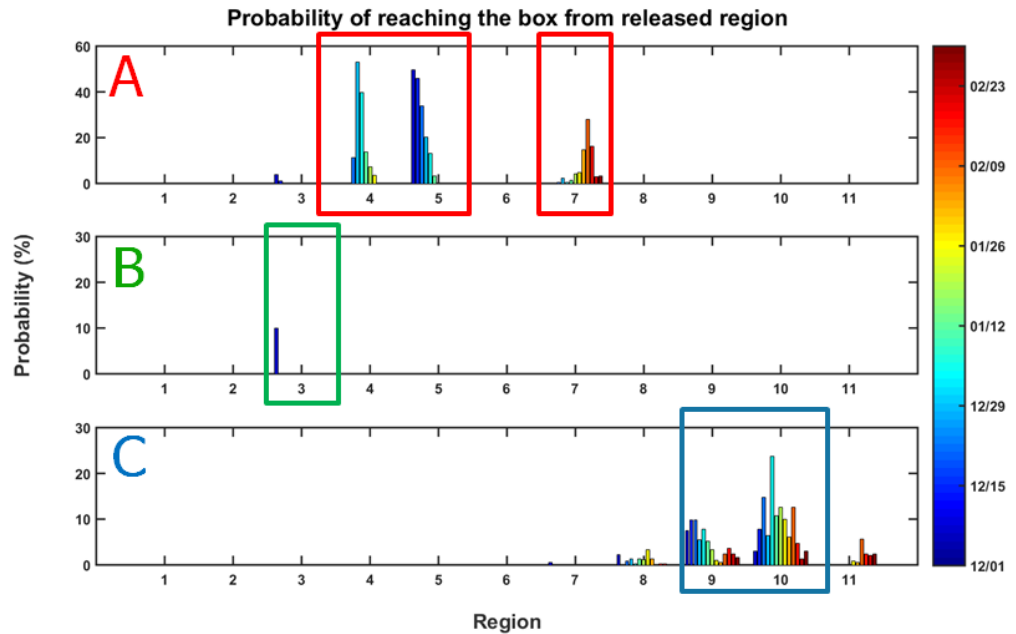


그림 65. 세 개의 박스에 유입된 확률을 초기 위치별로 나타낸 확률막대 그래프 (컬러바 : 입자투하시점)

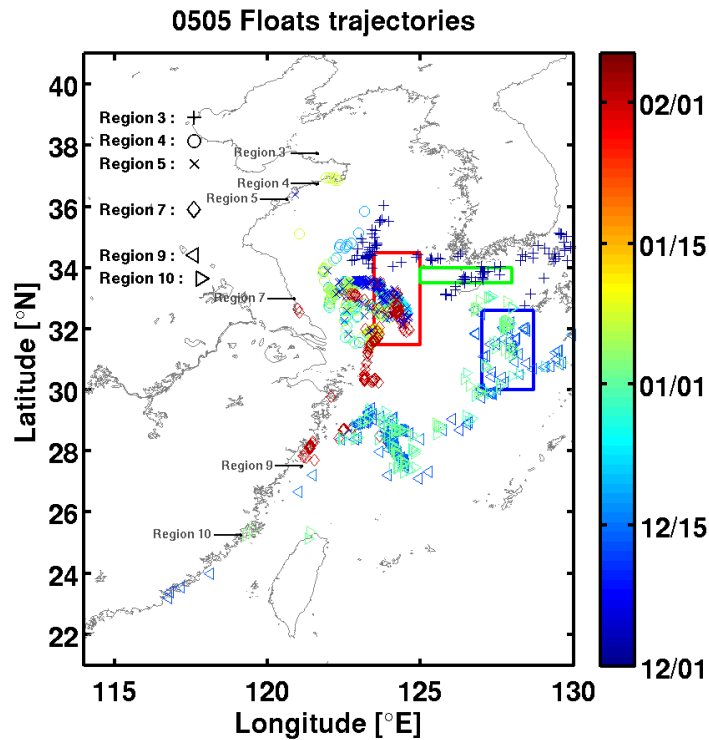


그림 66. 선별된 입자들의 2015년 5월 5일 공간분포 (컬러바 : 입자투하시기)

그 결과 GOCI에서 5월 5일에 관측한 맹생이 모자반의 공간분포(그림 64, 좌)와 상당히 유사한 것으로 나타났다. 세 개의 박스로 유입되는 입자들은 입자투하지점 산둥반도 북부지역인 3번 지역과 산둥반도 남부지역인 지역 4, 5번 지역 그리고 장수성 연안인 7번 지역으로 나타났다. 또한 중국 남부에서 저장성 연안인 9번과 푸젠성 연안인 10번 지역에서도 유입되는 것을 확인할 수 있었다.

먼저 제주 서쪽 지역인 박스 A로 유입된 4, 5, 7번 지역에서 유래된 입자들의 공간 분포이다(그림 67). 산둥반도 남부 지역인 4, 5번 지역에서는 빠르게 남하하며 12월에 투하한 입자들이 주로 박스 A에서 발견되었다. 반면 장수성 연안의 7번 지역에서는 1월 말부터 2월 중순까지 투하된 입자들이 동쪽으로 밀려나며 박스 A로 유입된 것을 확인할 수가 있다.

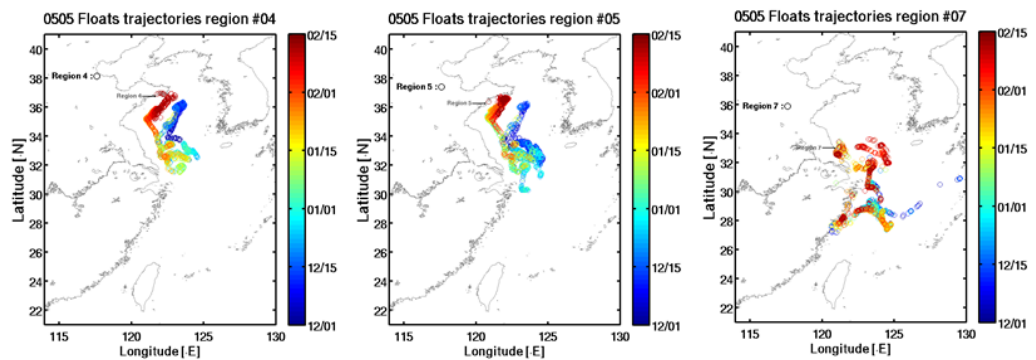


그림 67. 산둥반도 남부지역과 장수성 연안에 투하되어 박스 A로 유입된 입자들의 2015년 5월 5일 분포(컬러바 : 입자투하시기)

제주 북부 지역인 박스 B로 유입된 3번 지역에서 유래된 입자들의 공간 분포이다(그림 68). 산둥반도 북부지역인 3번 지역에서 12월 초에 투하된 입자들이 남하하며 제주 난류를 타고 이동하여 박스 B에서 발견되었다. 입자추적실험 결과에 따르면 특히 2015년 제주 북부 연안에 대규모 발생한 맹생이 모자반은 산둥반도 북부 지역에서 유래된 것으로 확인되었다(그림 69).

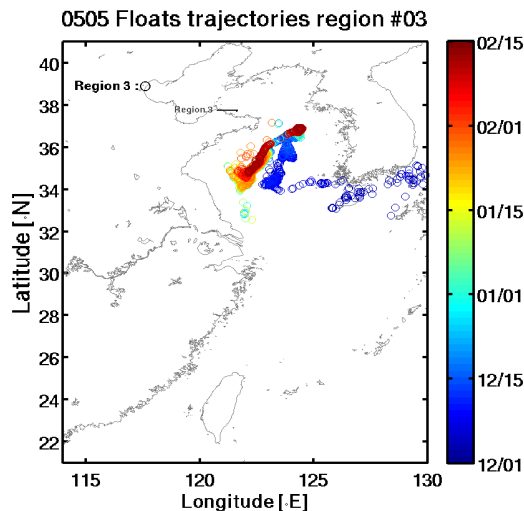


그림 68. 산둥반도 북부지역에 투하되어 박스 B로 유입된 입자들의 2015년 5월 5일 분포(컬러바 : 입자투하시기)

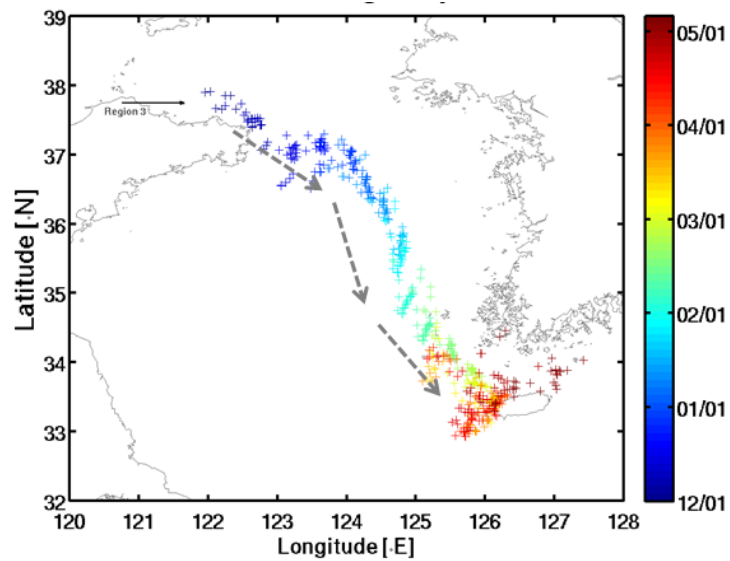


그림 69. 박스 B 중 특히 제주 연안에 유입된 입자의 궤적
(컬러바 : 입자 위치에서의 실제 시간)

그리고 제주 남쪽에 위치한 박스 C로 유입된 9, 10번 지역에서 유래된 입자들의 공간분포이다(그림70). 저장성 연안의 9번과 푸젠성 연안의 10번 지역에서 12월 중순부터 1월 말까지 투하된 입자들이 주로 박스 C에서 발견되었다. 쿠로시오 해류를 타고 북상하는 모습을 보이며 많은 양이 유입되는 것을 확인하였다.

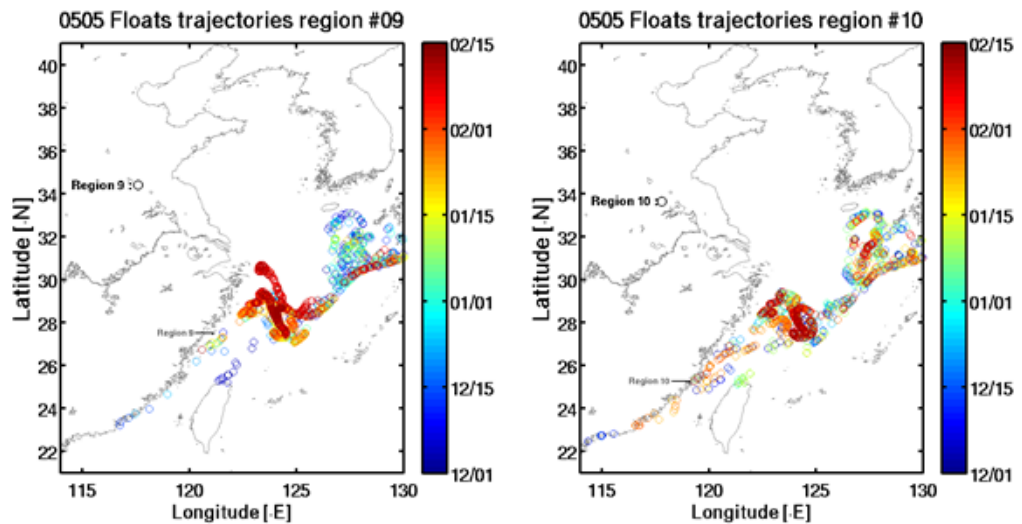


그림 70. 중국 남부지방에서 투하되어 박스 C로 유입된 입자들의
2015년 5월 5일 공간분포 (컬러바 : 입자투하시기)

위 결과들을 정리하여 발견된 위치(박스 A, B, C)와 유래한 지역의 모식도를 그림 71와 같이 표출하였다.

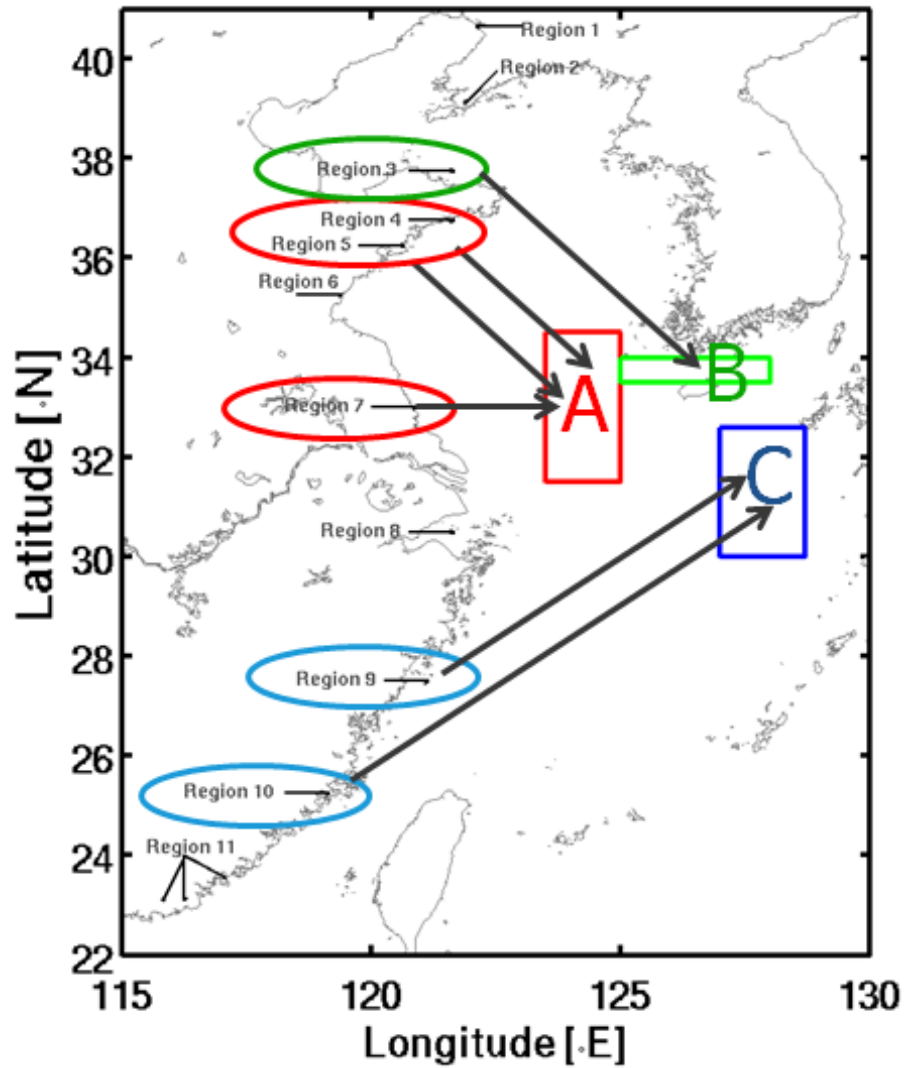


그림 71. 팽생이 모자반의 기원지 별 제주 인근해역 발생지역 모식도

(라) 결론

본 연구결과는 유해생물 추적을 위한 합성 해류장을 개발하는데 중요한 기초연구를 수행하여 미래 유해생물 확산 매커니즘 규명에 기여할 것으로 본다. 또한 이전에는 위성자료의 해상도 문제 때문에 팽생이 모자반 분포를 쉽게 관측하기 어려웠지만, 고해상도의 GOCI를 활용하여 팽생이 모자반 등 유해생물의 관측과 이를 활용할 수 있는 방안을 제시하였다. 특히 우리나라 주변 해역에 큰 피해를 입히는 팽생이 모자반의 분포 패턴과 기원지 추정은 매우 중요한 연구인데, 본 연구 이전에는 이러한 내용들을 밝히기 어려웠다. 본 연구 성과물은 유해생물 이동경로를 파악할 수 있는 합성 해류장 개발 방법과 이를 이용하여 팽생이 모자반 이동경로를 파악하고, 이를 통하여 팽생이 모자반에 의한 피해를 줄일 수 있을 것이라 기대한다.

(7) 수직하향감쇄계수 (Kd)

(가) 개요

하향확산감쇄계수($K_d(\lambda)$, Diffuse attenuation coefficient for downward irradiance)는 수심이 증가함에 따라 빛의 흡광(absorption, a) 및 산란(scattering, b)에 의해 하향 복사조도(Downward irradiance, E_d)가 감소되는 정도를 나타낸다. 해수의 구성성분 및 농도에 따라 K_d 스펙트럼 및 값의 크기가 달라지며 이를 통해 해수의 투명도를 알 수 있다. 해수 표면에서의 하향 복사조도는 수심에 따라 지수 함수적 감소 특성을 보이는 것으로 알려져 있다(Kirk, 1983).

$$E_d(z) = E_d(0)e^{-K_d z} \quad (\text{식12})$$

광학 위성 영상에서 산출되는 $K_d(490)$ 알고리즘은 반 분석적 알고리즘과 경험적 관계식 등으로 개발되어왔다. 본 연구에서는 널리 사용되는 반 분석적 알고리즘 (Lee et al., 2005b)과 경험적 관계식(Mueller et al., 2000)과 탁한 해역을 고려하여 두 가지의 알고리즘을 선택적으로 사용하는 알고리즘(Wang et al., 2009)을 선택하여 상호 비교분석을 수행하였다.

(나) 재료 및 방법

① 우리나라 해역 현장조사 자료 처리 및 분석

K_d 스펙트럼은 Sea-bird scientific 사의 Profiler-II 광학기기를 통해 측정된 $E_d(\lambda, m)$ 의 후처리 과정을 통해 획득된다. 이 때 빛의 투과 깊이를 결정하는 과정을 거치는데 본 연구에서는 식 13과 같이 관측지에 도달하는 광량의 90%가 비롯되는 깊이(z_{90})를 계산하였다(Gordon and McCluney, 1975).

$$z_{90} = \frac{1}{K_d} \quad (\text{식13})$$

그림 72는 Profiler-II 측정값을 통해 계산되는 K_d 의 예시이다. 측정 해역은 남해 연안으로 빛의 투과 깊이 z_{90} 는 12m로 산정되었으며 선형회귀식의 기울기 즉, K_d 는 0.0735를 보였다.

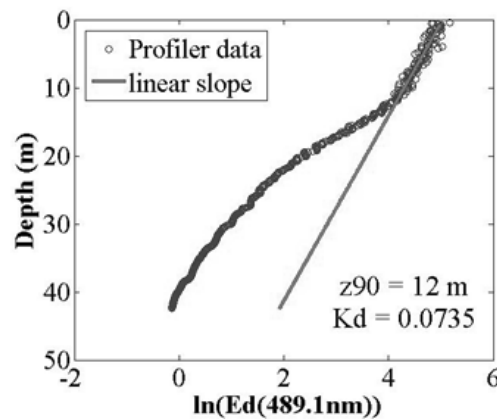


그림 72. Profiler-II 광학기기 측정 자료로부터 산정된 z_{90} 와 K_d (490)

② Kd(490) 알고리즘

본 연구에 사용된 알고리즘은 흡광과 후방산란계수를 통해 Kd(490)을 계산하는 반 분석적 알고리즘(Lee et al., 2005b)과 경험적 관계식(Mueller et al., 2000)과 탁한 해역을 고려한 switching 알고리즘(Wang et al., 2009)이며 식은 표 6과 같다.

표 6. The comparisons for chlorophyll-a algorithms

Name	Equation	Reference
Lee	$K_d(490) = (1 + 0.005\theta_0)a + 4.18(1 - 0.52e^{-10.8a})b_b$	Lee et al. (2005b)
Mueller	$K_d(490) = K_w(490) + 0.15645 \left(\frac{L_w(490)}{L_w(550)} \right)^{-1.5401}$	Mueller et al. (2000)
Wang	$K_d^{comb}(490) = (1 - W)K_d^{Clear}(490) + WK_d^{Turbid}(490)$	Wang et al. (2009)

(다) 결과 및 결론

① 알고리즘 성능 도출

Kd(490) 알고리즘의 성능 도출을 위해 현장 Kd(490)과 현장 Rrs로 계산된 Kd (490)을 비교 하여 MNGE(Mean Normalized Gross error) 값과 MNB(Mean Normalized Bias) 값을 도출하였다(식 14).

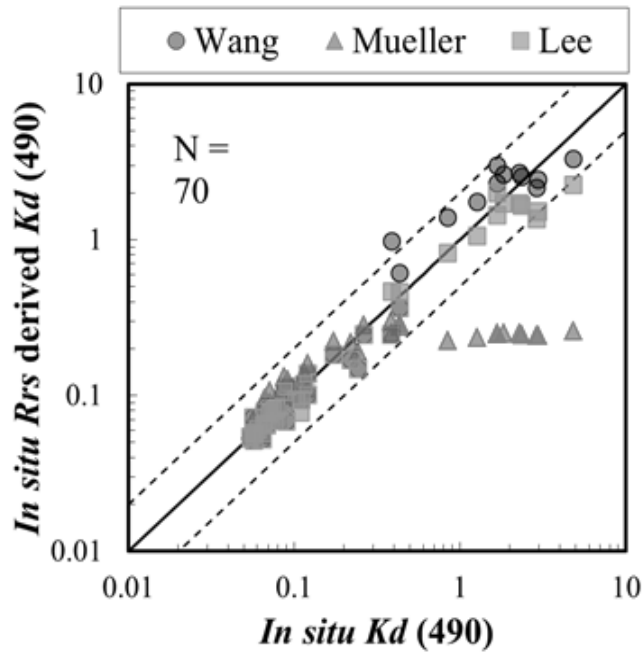


그림 73. 현장 관측 원격반사도 자료를 통해 계산된 각 알고리즘의 Kd (490)과 현장 측정된 Kd (490)의 비교

$$MNGE(\text{Mean Normalized Gross Error}) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|K_d^i - K_{alg}^i|}{K_d^i} \right) \times 100 \quad (\text{식14})$$

$$MNB(\text{Mean Normalized Bias}) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_d^i - K_{alg}^i}{K_d^i} \right) \times 100$$

그 결과, MNGE는 Lee(16.4%), Mueller(34.38%), Wang(22.07%)로 도출되었으며 MNB는 Lee(7.66%), Mueller(13.63%), Wang(-6.4%)로 도출되어 Lee 알고리즘이 가장 좋은 성능을 나타냈다. 이에 반해 GDPS 표준 알고리즘인 Muller 알고리즘의 경우 탁한 해역에서 과소 추정되는 경향을 보였으며 Lee 알고리즘은 Muller 알고리즘에 비해 18% 높은 정확도를 보였다.

② GOCI Kd(490) 알고리즘 결과 분석

세 알고리즘을 GOCI 자료에 적용 후 검증한 결과는 그림 74에 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 73과 비슷하게 나타나는 것을 확인하였다.

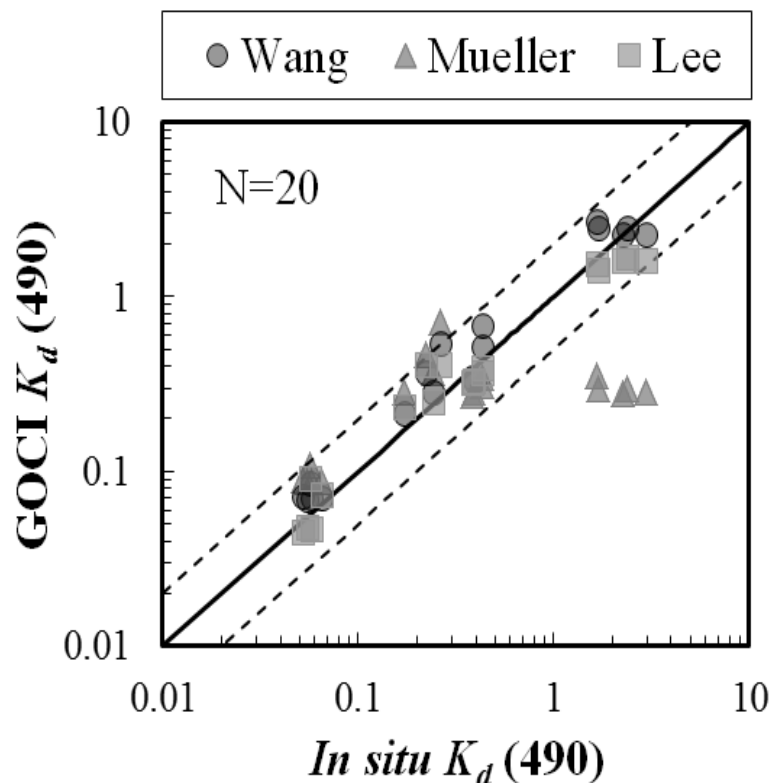


그림 74. GOCI 원격반사도 자료를 통해 계산된 각 알고리즘의 K_d (490)과 현장 측정된 K_d (490)의 비교

(8) 해무

(가) 서론

해무는 바다 위에서 발생하는 안개로 수평 가시거리를 1km 미만으로 저해하여 선박의 운항이나 연안지역의 교통, 항공기 운항 등에 큰 피해를 주는 자연 현상이다. 전 세계적으로 해상 사고의 약 32%가 짙은 해무로 인해 발생했으며(Tremant, 1987) 우리나라에서도 2015년에 발생한 영종대교 106중 추돌사고(그림 75) 등 크고 작은 피해가 끊임없이 발생하고 있어 정확한 탐지가 필요하다.



그림 75. 2015년 2월 11일에 발생한 영종대교 106중 추돌사고 관련 사진
(동아일보 : <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=020&aid=0002745136>)

육상 안개는 육상에 위치한 다수의 기상관측소, CCTV 등을 통해 실시간 모니터링이 가능한 반면, 해무의 경우에는 바다 위에서 해무 유무나 이동을 관측할 수 있는 관측소가 많지 않아 실시간 모니터링이 어렵다. 그림 76의 기상청의 유인 종관기상관측의 위치를 보면, 해무 관측에 사용가능한 관측소는 백령도, 흑산도, 울릉도 세 지점에 불과하다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 위성 원격탐사를 이용한 해무 탐지 방법에 대한 연구가 지속적으로 수행되었으며, 현재까지 다양한 위성과 다양한 채널을 이용한 해무 탐지 알고리즘들이 개발되었다.

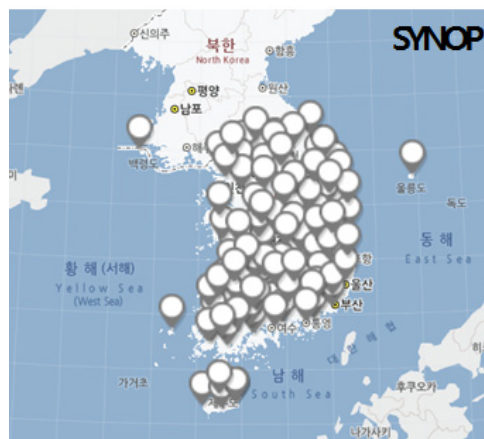


그림 76. 기상청 종관기상관측장비(ASOS) 위치(기상자료 개방포털 : <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosList.do?pgmNo=34>)

수 시간 안에 발생, 발달, 이동, 소멸할 수 있는 안개는 극궤도 위성보다는 같은 정지궤도 위성을 이용한 관측이 더 적합하다. 해무로 인한 피해가 큰 연안지역에서 복잡한 해안선까지 분해되는 정확한 해무 탐지를 하기 위해서는 높은 공간해상도의 위성 자료가 필요한데, 이러한 측면에서 500 m의 고해상도 자료를 제공하는 GOCI가 유용하게 이용될 수 있다. 실제 2017년 4월에 발생한 해무의 사례를 보면(그림 77), 광안대교의 동쪽만 해무로 덮여있고 서쪽은 비해무인 것을 GOCI의 영상에서 명확하게 확인할 수 있으며, 이를 통해 공간적 변동성이 큰 해무의 탐지에 GOCI가 적합하다는 판단을 내릴 수 있었다.



그림 77. 2017년 4월 16일(16:00)에 촬영된 사진(좌)과 육지(Landsat 8 촬영)와 해무분포(GOCI 촬영)의 합성 사진(우)

따라서 본 과제에서는 짧은 거리에서 해무의 공간적 변동성까지 분해할 수 있는 GOCI의 고해상도 자료를 사용하여 해무 탐지 알고리즘을 개발하고자 하였으며, 경험적인 경계값 결정 방식을 사용한 기존 알고리즘들과는 달리 기계학습(의사결정나무 방법 : Decision Tree)을 이용하여 경계값을 설정하였다. 또한 본 과제에서 개발된 해무 탐지 알고리즘은 GOCI의 레일리 보정반사도(R_{rc})를 기반으로 개발되었으며, 구름의 온도/높이 산출에 한계가 있는 가시채널의 단점을 보완하기 위하여 Himawari-8의 운정고도 자료를 이용한 후처리 단계를 포함하였다.

(나) 자료 및 방법

① 위성자료 및 전처리

해무탐지 알고리즘 개발 및 검증을 위해 GOCI 각 채널의 R_{rc} 와 Himawari-8 운정고도 자료를 수집하였다. GOCI와 Himawari-8의 공간 해상도는 각각 500m와 2km로 서로 다르기 때문에, match-up 자료 구성을 위하여 공간일치 과정을 거쳤다. 공간일치는 선형내삽법(bi-linear interpolation)을 통하여 Himawari의 위치좌표를 GOCI 좌표계로 내삽하는 방법을 이용하였다.

그림 78(a)와 같이, GOCI RGB 위성 영상에서 해무(빨강 박스)는 구름(노랑 박스)에 비해 영상의 표면이 매끄러운 특성이 있다. 이러한 해무와 구름의 패턴 차이를 해무 탐지에 활용하기 위하여 R_{rc} 의 Normalized Standard Deviation(NLSD)을 계산하여 하나의 공간패턴 인자로 사용하였다. NLSD는 특정 픽셀 내에서 R_{rc} 의 표준편차를 평균으로 나누어 계산할

수 있는데(Suh et al. 2017), 본 연구에서는 9X9 픽셀을 기준으로 NLSD를 계산하였다. 이렇게 계산한 NLSD를 그린 그림 78(b)를 보면, 해무 지역의 NLSD 값이 구름 지역보다 확연히 낮음을 확인할 수 있다.

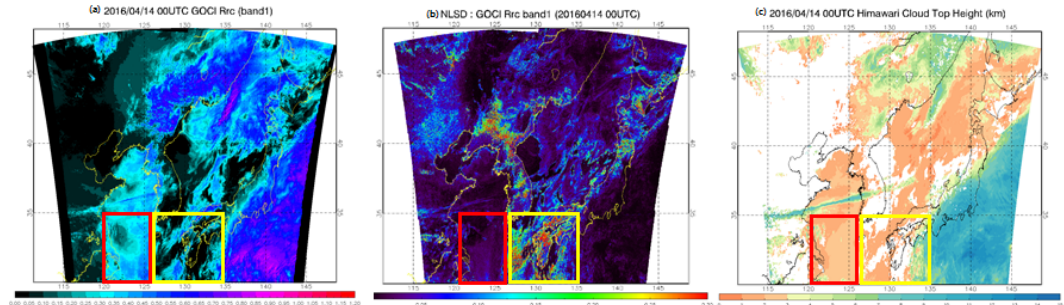


그림 78. 기계학습 기반 해무탐지 알고리즘에 사용된 변수들(2016년 4월 14일 해무 사례) : (a)GOCI Rayleigh corrected reflectance (b)9X9픽셀 기준으로 계산된 Rrc의 Normalized Local Standard Deviation(NLSD) (c)Himawari-8 Cloud Top Height(CLTH)

② 원격탐사 알고리즘 개발 방법론

본 과제에서 개발된 해무탐지 알고리즘은 기계학습을 통해 개발되었으며, 그 중에서도 데이터마이닝에서 널리 쓰이는 의사결정나무 방법이 이용되었다. 의사결정나무는 전형적인 분류 모델로, 실무적으로 가장 많이 사용되는 머신러닝 모델 중 하나이다. 분류의 기준을 나무구조로 표현하기 때문에 결과를 이해하고 해석하기 쉽다는 장점이 있다.

본 과제에서는 기계학습의 수행을 위해 R의 의사결정나무 패키지 중 하나인 'rpart'를 사용하였다. rpart는 나무 모형에 널리 쓰이는 R 패키지로, CART(Classification And Regression Tree, Breiman et al., 1984) 알고리즘을 구현한 대표적인 R 패키지 중 하나이다. CART는 각 마디에서 하나의 설명변수를 선택하고 이를 이용하여 두 개의 가지로 분리하여 이진나무구조를 생성하는 의사결정나무 알고리즘 중 하나이며, 분할을 위한 순수도 측정을 위해 지니지수(Gini index)를 이용한다. 지니지수는 한 집합의 순수도를 측정하는 지표로, 집합 안의 자료가 모두 같다면 지니 순수도는 0의 값을 갖는다. CART는 나무의 능력을 향상시키는 새로운 분할이 발견될 때까지 나무를 크게 만든 후 교차검증을 이용한 가지치기(pruning)과정을 거쳐 최종 나무의 예측력을 높이는 방법을 이용한다.

③ 위성관측-지상시정계 Match-up 데이터베이스 구축

해무탐지 알고리즘의 경계값 설정을 위한 기계학습의 입력자료는 크게 해무(1)와 비해무(0) 두 가지 경우로 구분되며, 비해무의 경우에는 청천, 하층운, 중층운, 고층운의 네 가지 경우가 존재한다. 각각의 경우에 대해서 GOCI Rrc와 Himawari-8 운정고도 자료를 수집하고, Rrc로부터 NLSD를 생성하여 데이터베이스를 구축하였으며, 이를 알고리즘 훈련/검증에 사용하였다. 이렇게 수집한 샘플의 수는 표 7과 같다.

중층운, 고층운과 청천의 경우에는 운정고도 자료를 사용하여 쉽게 구분할 수 있었으나, 해무와 하층운은 광학적 특징이 매우 유사하기 때문에 구분이 어려웠다. 따라서 해무와 하층운 구분을 위한 보조 자료로 기상청 유인관측소의 시정 자료를 이용하였다. 자세한

데이터베이스 구축 과정은 아래와 같다.

표 7. 기계학습 기반 해무탐지 알고리즘 훈련/검증에 사용된 샘플 수

Sea fog	Data	Calibration	Validation	Total
1	해무(2016)	4,868		4,868
0	해무(2017)		1,281	1,281
	하층운	1,005	251	1,256
	중층운	1,562	390	1,952
	고층운	1,466	366	1,832
	청천	2,268	567	2,835
	Total	6,301	1,574	7,875
Total		11,169	2,855	14,024

㉠ 해무(1)

우선 RGB 영상 분석을 통해 유인관측소가 위치한 백령도, 흑산도, 울릉도 부근에 해무가 존재하는 것으로 보이는 30여개의 후보 사례를 수집하였다. 그 후 해당 관측소의 시정이 1km 미만이고 운정고도가 3km 미만인 경우만 최종 해무 사례로 판단하였는데, 최종 해무 사례 중에서 관측소 반경 2km 이내에 위치하는 픽셀 중 운정고도가 3km 미만인 픽셀을 모두 해무라고 가정하고 해무 샘플로 수집하였다. 또한 기계학습 결과 얻은 안개와 짙은 안개의 탐지가 미흡하여, RGB 영상의 주관적 분석을 통해 선정한 얇은 안개와 짙은 안개 샘플을 기존 해무 샘플에 추가하여 해무 샘플의 수와 범위를 늘렸다. 해무 샘플은 모두 2016, 2017년 해무 사례일 중에서 수집하였으며, 2016년 샘플은 알고리즘 훈련(calibration)에, 2017년 샘플은 검증(validation)에 사용하였다.

㉡ 비해무(0)

I) 하층운

GOCI RGB 영상을 주관적으로 분석하여 구름 지역을 선정하고, 운정고도가 3km 미만인 지역 중 관측소 시정값이 1km 이상인 지역의 샘플을 수집하였다.

II) 중층운

GOCI RGB 영상을 주관적으로 분석하여 구름 지역을 선정하고, 운정고도가 3~7km인 지역의 샘플을 수집하였다.

III) 고층운

GOCI RGB 영상을 주관적으로 분석하여 구름 지역을 선정하고, 운정고도가 7km 이상인 지역의 샘플을 수집하였다.

IV) 청천

GOCI RGB 영상을 주관적으로 분석하여 청천 바다 지역을 선정하고, 운정고도 자료가 없는(NaN) 지역의 샘플을 수집하였다.

④ 알고리즘 개발

㉠ 기계학습 수행

위와 같은 방법으로 구축한 데이터베이스를 통해 훈련된 알고리즘 원형은 그림 79와 같다. 첫 번째 가지에서는 반사도가 0.13 미만인 청천 지역이 제거되고, 두 번째 가지에서는 반사도가 0.47보다 높은 구름 지역이 제거되며, 마지막 단계에서는 해무에 비해서 표면의 거칠기가 큰 일부 구름 지역이 제거되어 최종적으로 해무 가능 역역(1)을 정의한다.

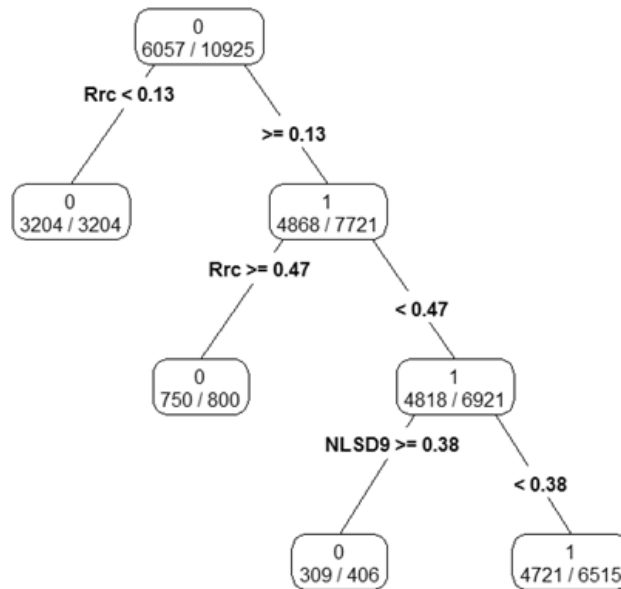


그림 79. 의사결정나무 방법으로 개발된 해무탐지 알고리즘 원형

㉔ 성능 개선을 위한 후처리 기술 개발

I) 구름 제거

가시채널은 구름의 연직분포에 대한 정보를 제공하지 않기 때문에, GOCI 기반 알고리즘은 구름을 효과적으로 제거하지 못하는 한계점이 있었다. 이를 보완하기 위하여 Himawari 운정고도 자료를 이용한 구름 제거 후처리 과정을 추가하였다. 이 단계에서는, 그림 79의 알고리즘 원형을 통해 결정된 해무 가능 영역 중 운정고도가 3km 이상인 지역을 구름으로 분류하여 제거한다.

II) 해무 경계 처리

그림 80(a)의 RGB 영상과 비교했을 때, 해무 경계 처리 과정을 거치지 않은 해무 가능 영역(그림 80(b))은 해무의 테두리 부분이 잘 탐지되지 않았다. 따라서 Himawari 운정고도를 이용한 해무 경계 부분 탐지 과정을 추가하였고, 그림 80(c)와 같이 테두리 탐지가 개선된 것을 확인할 수 있었다. 테두리 탐지는 그림 79의 알고리즘 원형에서 해무 영역에 해당되는 $0.13 \leq Rrc < 0.47$ 범위 중 운정고도가 NaN인 부분을 활용하였다. Himawari 운정고도를 GOCI 격자로 내삽하는 과정에서, 운정고도 값이 존재하지 않는 맑은 지역과 인접해 있는 안개 테두리 부근이 NaN으로 처리되는 점을 이용한 것이다. 이렇게 두 가지 후처리 기술을 포함하여 개선된 최종 해무탐지 알고리즘은 그림 81의 모식도로 나타낼 수 있다.

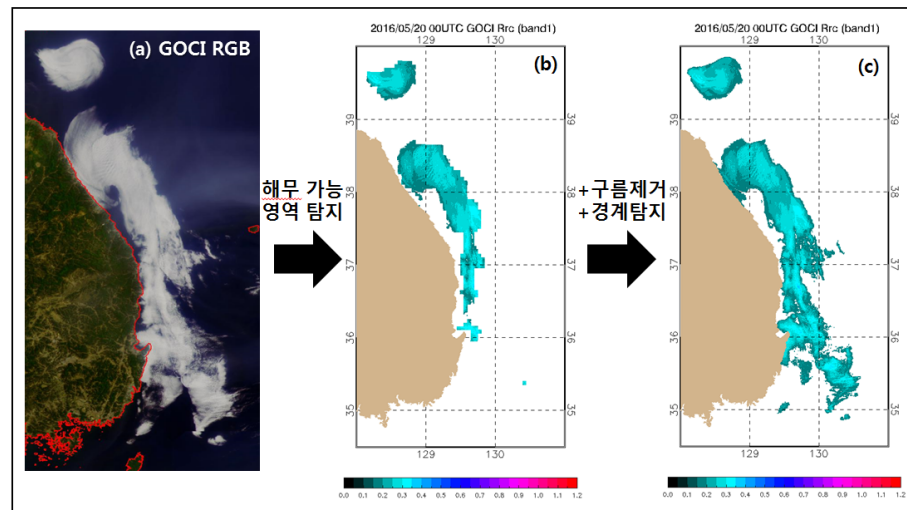


그림 80. 2016년 5월 20일 해무사례 : (a)GOCI RGB영상 (b)기계학습 기반 해무탐지 알고리즘의 해무탐지 결과 (c)Himawari 위성을 융합 이용한 구름제거 및 해무경계처리 후처리 과정을 거친 최종 해무 산출물

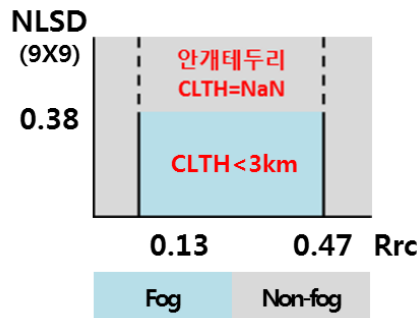


그림 81. 기계학습을 통해 훈련된 알고리즘에 후처리 과정을 추가한 최종 해무탐지 알고리즘 모식도

(다) 결과

① 검증 및 성능 평가

훈련에 사용되지 않은 2017년 해무 샘플을 이용하여 독립 검증을 수행하였다. 그림 82를 보면 1281개의 해무(1) 샘플 중 1003개를 해무로 예측하여 0.783의 hit rate을, 278개를 비해무(0)로 예측하여 0.217의 miss를 나타내었다. 또한 7875개 비해무(0)샘플 중 6606개를 비해무(0)로 예측하여 0.839의 negative hit rate을, 1270개를 해무(1)로 예측하여 0.161의 false alarm을 가졌다.

		Reference	
		0	1
Prediction	0	6605	278
	1	1270	1003

Hit rate : 0.783
 False alarm : 0.161
 Miss : 0.217
 Negative hit rate : 0.839

그림 82. 기계학습 기반 해무탐지 알고리즘의 성능

마지막으로 최종 해무탐지 알고리즘을 실제 해무 사례일에 적용하여 RGB영상과 비교를 통해 검증해보았다. 그림 83과 그림 84의 왼쪽 그림들은 최종 알고리즘을 통한 해무탐지 결과를 표출한 그림이며, 오른쪽 그림들은 GOCI RGB 영상이다. 파란색은 그림 81에서 파란색으로 표시된 해무 영역을, 회색은 그림 81에서 회색으로 표시된 비해무 영역 중 구름이 존재하는(Himawari 운정고도가 NaN이 아닌) 지역을 나타낸다. 이 회색 영역은 상단에 구름이 위치할 경우에 탐지가 어려운 해무의 문제점을 보완하기 위한 참고 자료로 이용될 수 있다. 그 예로 그림 83의 2016년 4월 14일 RGB 영상을 보면, 서해상에 위치하는 해무 위로 밝은 구름 띠가 지나고 있다(빨간 원). 주변이 해무로 덮여있는 것으로 보아 구름 띠 아래에도 해무가 위치할 것으로 추측되지만, 해무탐지 결과는 해무로 분류되지 않았다. 하지만 해무탐지 결과의 회색(구름) 영역을 참고하면, 해무 상부에 위치하는 구름 때문에 그 아래에 위치하는 해무가 탐지되지 않았을 가능성이 높을 것으로 추측이 가능하다. 그림 84의 2017년 5월 1일 사례에서는 서해상의 해무가 상당히 정확하게 탐지되었으며, 한반도 남쪽에는 해무 위에 구름이 덮여있을 것으로 추측해볼 수 있다.

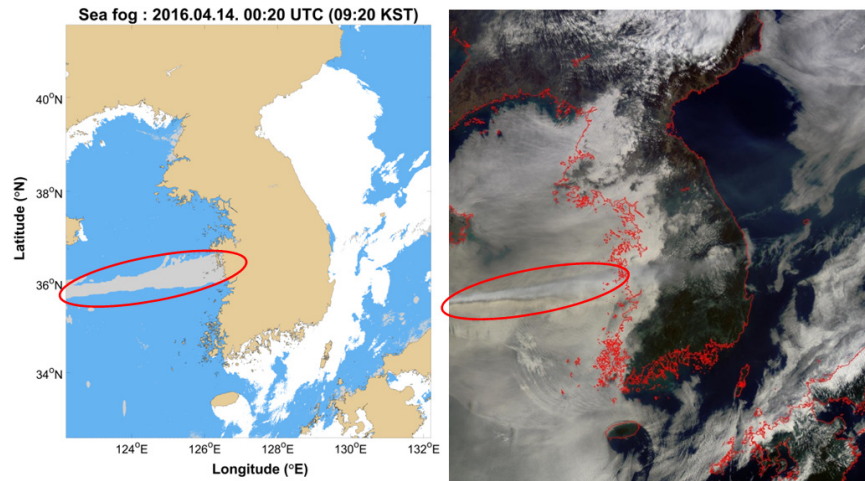


그림 83. 기계학습 기반 GOCI 해무탐지 알고리즘 수행 결과와 GOCI RGB 영상 : 2016년 4월 14일 00UTC(09:20KST)

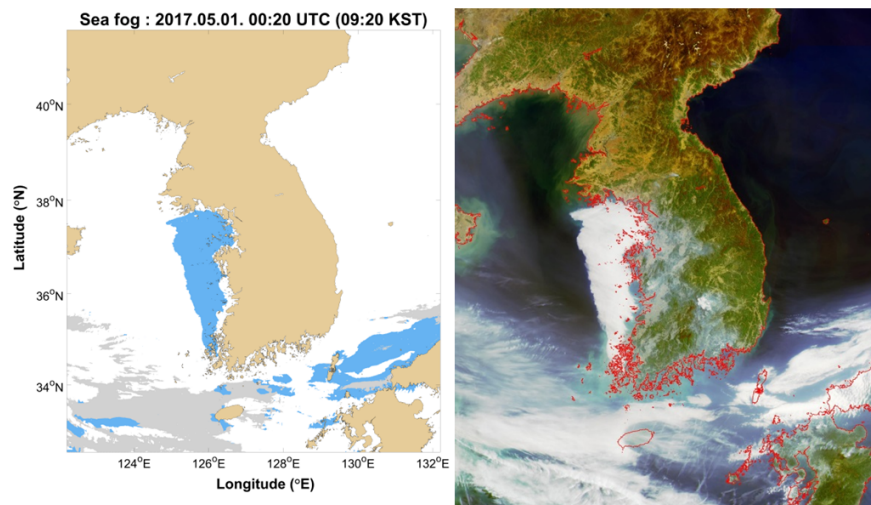


그림 84. 기계학습 기반 GOCI 해무탐지 알고리즘 수행 결과와 GOCI RGB 영상 : 2017년 5월 1일 00UTC(09:20KST)

(다) 결론

본 과제에서는 최초로 기계학습을 이용하여 원격탐사 해무 탐지 알고리즘을 개발하였으며, 기계학습 훈련을 위한 입력 자료로는 GOCI의 레일리보정 반사도 자료를 사용하였다. GOCI는 500m 수평해상도의 자료를 매일 오전 9시부터 오후 4시까지 매시간 제공하여, 시공간적으로 고해상도의 해무 모니터링을 가능하게 한다. GOCI가 보유한 가시광선-근적외선 영역의 8개 채널들은 상층에 구름이 없을 때에는 해무 탐지에 유용하나, 구름이 존재할 경우에는 구름의 연직 분포에 대한 정보를 얻기에 무리가 있다. 이러한 문제점을 Himawari를 이용한 구름 제거와 안개 경계 처리 후처리 과정을 추가하여 보완하였다.

개발된 해무탐지 알고리즘을 통해 탐지한 해무 영역을 MI를 이용한 안개탐지 알고리즘, GOCI를 이용한 Yuan et al.,(2016)의 해무탐지 알고리즘과 비교해 보았다(그림 85). 그 결과, 본 과제 개발 알고리즘이 MI 알고리즘에 비해 옅은 안개 부분을 더 잘 탐지하였으며(붉은 원), Yuan et al.의 알고리즘보다 안개 경계 부분을 더 정확히 탐지하였다(검은 원).

본 과제를 통해 개발된 기계학습 기반 GOCI 해무탐지 알고리즘은 현재 특허(기계학습 기반 위성 해무 탐지 장치 및 해무 탐지 방법, 2017) 출원 상태이며, 매트랩 코드로 작성되어 프로그램(기계학습(Decision Tree) 기반 천리안해양위성(GOCI) 해무 탐지/표출 시스템, 2017)으로 등록되어 있다. 또한 기술이전을 통해 (주)UST21에 전수되었으며, 추후 해양수산부의 항계안전 해양정보 시스템(<http://www.khoa.go.kr/pois/pois.do>)에 본 알고리즘을 이용하여 탐지한 해무 표출 이미지가 추가될 예정이다. 본 과제에서 개발된 해무탐지 알고리즘의 개발 결과로 국내 항만 지역의 해무 상황을 1시간 간격, 500m의 고해상도로 모니터링할 수 있어 항계 안전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

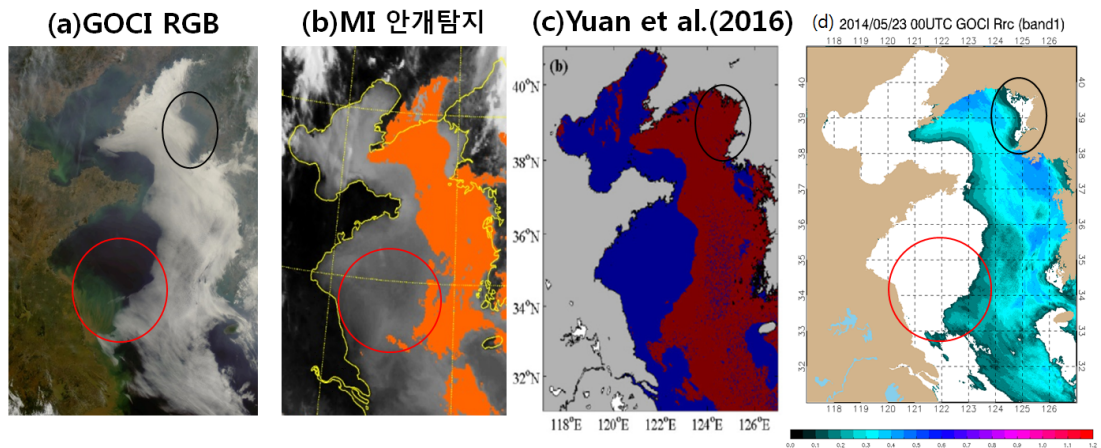


그림 85. 2014년 5월 23일 해무사례 : (a)GOCI RGB (b)MI를 이용한 안개탐지 알고리즘 (c)Yuan et al.(2016)에서 개발한 해무탐지 알고리즘 (d)본 과제에서 개발한 기계학습 기반 GOCI 해무탐지 알고리즘

(9) 수질등급

(가) 서론

우리나라 연안은 생활, 수산, 해운의 중심지 역할을 하고 있다. 산업이 발달함에 따라, 연안지역의 공업단지에 의한 산업 폐수 및 생활하수가 해양으로 유입되고 있다. 또한, 해양재해, 해양사고와 간척사업 등 연안개발로 환경피해가 발생되어 수질 오염에 취약해졌다. 유해물질 유입 등으로 인해 연안 및 해양 환경이 오염되고 있는 추세로, 해양 환경 관련 정책과 대책을 마련하기 위해서는 해양 수질 모니터링이 필요하다.

연안 환경의 경우 효율적인 관리를 위해 수심, 조수, 해류 등을 기준으로 나눈 5가지 해역별로 기준을 설정하여 수질평가지수(WQI)를 산출하고 있다. 수질평가 항목으로는 저층산소포화도(Dissolved Oxygen; DO), 엽록소 농도(Chlorophyll-a; Chl-a), 수증가시거리(Secchi Depth; SD), 용존무기질소 농도(Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN), 용존무기인 농도(Dissolved Inorganic Phosphorus; DIP)로 구성되어 있고, 수질평가 항목별로 해역별(동해중부, 대한해협, 서남해역, 서해중부, 제주해역) 기준값을 토대로 점수를 매겨 수질평가지수를 산출 한 뒤 수질 등급을 정한다.

표 8. 수질평가지수

$$\begin{aligned} & \text{수질평가지수(WQI, Water Quality Index)} \\ & = 10 \times [\text{저층산소포화도(DO)}] + 6 \times [(\text{식물플랑크톤 농도(Chl-a)} + \\ & \quad \text{수증가시거리(SD)})/2] + 4 \times [(\text{용존무기질소 농도(DIN)} + \text{용존무기인 농도(DIP)})/2] \end{aligned}$$

현장 관측을 통한 수질평가지수 분석은 조사지점이 한정적이며, 시공간연속적인 분포를 보기 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 GOCI 위성 영상 자료를 이용하여 수질 등급을 정량화하는 알고리즘을 개발하였다. GOCI 관측 영역 내의 광범위한 지역을 정기적으로 모니터링 할 수 있기 때문에, 개발된 수질등급 알고리즘은 어장 탐색, 부유 물질의 경로 및 확산, 해양 쓰레기 등 오염물의 이동 모니터링 등에 이용될 수 있으며, 해양 환경문제 발생 시에 신속한 의사결정을 가능케 할 것으로 기대한다.

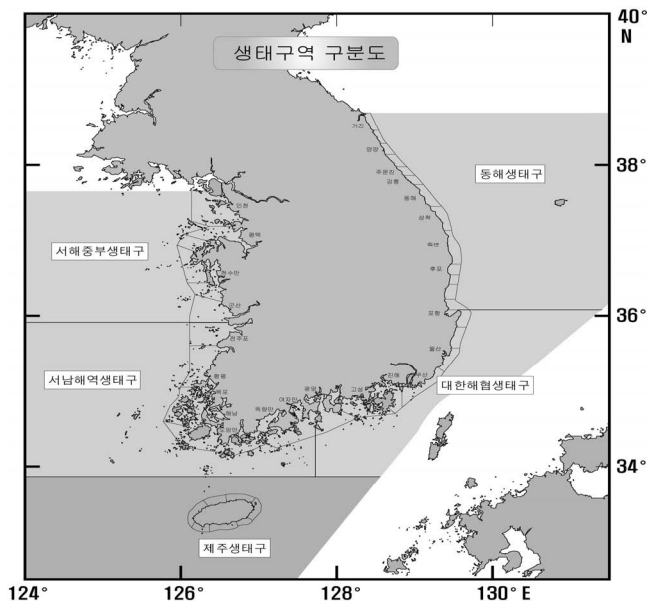


그림 86. 우리나라 연안 및 해양 생태구역 구분도

(나) 자료 및 연구 방법

GOCI 자료와 국가해양환경정보통합시스템의 연안 및 근해 관측 자료로부터 연안 수질을 판단할 수 있는 항목인 엽록소 농도(Chl), 총 부유물질(SS), 수중가시거리(SD), 용존유기물(CDOM), 용존무기질소 농도(DIN), 용존무기인(DIP)의 데이터베이스를 권역별로 수집하였다. 관측-위성 Match-up 자료를 구성하여, 기계학습 기법을 적용하여 GOCI 기반 수질등급 알고리즘을 개발하기 위한 샘플자료로 이용하였다.



그림 87. 5개 권역 현장 관측 자료 위치

① 연안 및 근해 관측 자료 - GOCI 위성 자료 데이터베이스 구축

우리나라 연안의 수질 모니터링 현장 관측 자료 및 GOCI 위성 자료에 대한 데이터베이스를 구축하였다(표 9). 현장 관측 자료는 국가해양환경정보통합시스템(Marine Environment Information System; MEIS) 연안 해양환경측정망(<http://www.meis.go.kr/rest/env/ALL/null/14/1>)에서 2011년부터 2013년까지 2월, 5월, 8월, 11월 동안 우리나라 전체 연안을 대상으로 자료를 취득하였다. 우리나라 해역은 그림 86과 같이 5가지 권역으로 나뉘고, 각각의 권역에서 현장 자료 관측 정점 위치는 그림 87과 같다.

현장 관측 자료 항목으로는 수질평가 항목인 엽록소 농도(Chl-a), 수중가시거리(SD), 용존무기질소 농도(DIN), 용존무기인 농도(DIP) 와 총 부유물질(Suspended Sediment; SS)을 사용하였다. 현장 관측 수질평가 항목을 권역별 기준값에 의해 점수를 매겨 현장 관측 기반 수질평가지수(표 8)를 기준자료로써 산출하였다. 현장 관측 자료와 상응하는 날짜의 GOCI LBI 위성 영상의 관측 자료와 같은 날짜, 시간, 지점에서 밴드별 반사도를 추출하였다(표 9).

표 9. 연안 수질 모니터링 관련 현장 관측 자료 및 GOCI 위성 자료의 데이터베이스

	자료	기간
현장 관측 자료	국가해양환경정보통합시스템 (엽록소 농도, 수증가시거리, 용존 무기질소 농도, 용존무기인 농도, 총 부유물질)	• 2011 ~ 2013년(2, 5, 8, 11월)
위성 자료	GOCI (밴드별 반사도, 엽록소 농도, 총 부유물질, 용존유기물질)	• 2011 ~ 2013년(2, 5, 8, 11월) • 2013년(1월 18일, 3월 21일, 5월 21일, 7월 26일, 9월 16일, 11월 13일) • 2014년(5월 3일)

② 기계학습: Random forest, Cubist, Support vector regression(SVR)

Random forest는 대량의 데이터를 이용 할 수 있고 간편하고 높은 정확도를 가지며 변수들의 중요도도 제공한다. Random forest는 의사결정 나무의 확장 개념으로 여러 개의 의사결정나무를 구축한다(그림 88). 의사결정 나무의 문제점은 overfit이 발생할 수 있다는 것인데, random forest는 두 가지 무작위 함수를 도입하여 각 나무를 분리함으로써 이러한 문제점을 해결한다. 본 연구에서는 R 통계 소프트웨어의 random forest 패키지를 이용하여 나무 개수를 50으로 두고 random forest를 수행하였다. 나무 개수를 500부터 일정하게 감소시키며 수행하였을 때 최적의 최소 나무 개수가 50개였다.

SVR은 입력된 데이터를 커널함수를 이용하여 고차원으로 변환시킨 후, 클래스들 사이를 나누는 최적의 초평면(hyperplane)을 찾는 것을 바탕으로 한다(그림 89). 본 연구에서는 다양한 커널 함수들 중 Radial Basis Function(RBF) 커널함수를 사용하였다. RBF 커널함수에 사용되는 두 가지 파라미터를 최적화하기 위해서 격자 찾기 기법이 적용되었다.

(다) 연구결과: 기계학습을 이용한 GOCI 수질등급 추정

위에서 언급된 연안 및 근해의 수질 모니터링 관측-GOCI 위성 관측 자료를 이용하여, 기계학습을 이용하여 GOCI 반사도와 산출물로 우리나라 연안의 수질등급(수질평가지수)를 추정하였다. 또한, GOCI 산출물인 엽록소 농도, 총 부유물질, 용존유기물을 입력변수로 이용하여 수질평가지수를 정량화하였다.

GOCI 밴드 반사도를 이용한 수질평가지수 추정 결과는 그림 90과 같으며 각 권역별로 정확도가 다르지만, 다른 방법에 비해서 random forest가 가장 높은 정확도를 나타내었다. GOCI와 현장관측 수질평가지수를 비교했을 때, Correlation은 약 0.9, RMSE는 약 10%로 나타났다. 그림 91의 GOCI 산출물을 이용한 수질평가지수 추정보다는 밴드 반사도를 이용한 수질평가지수 추정이 더 정확도가 높은 것으로 나타났다. GOCI 산출물 Chl-a 등의 알고리즘은 맑은해역에서 정확도가 더 높는데, 본 연구에서 이용한 현장관측 자료는 연안 및 근해 집중되어, 산출물의 정확도가 떨어질 수 있는 탁한 지역의 샘플을 이용했기 때문으로 해석된다.

그림 91은 random forest 변수 중요도에서 가장 중요한 7개의 변수의 상대적 중요도를 나타낸다. GOCI 밴드 반사도를 이용한 수질평가지수의 경우 밴드 1번, 3번, 4번, 6번이 중요한 변수로, 청색과 적색 영역이 중요한 것으로 나타났다. GOCI 산출물을 이용한 수질평가지수의 경우 엽록소 농도가 압도적으로 가장 중요한 변수로 나타났으며 용존유기물과 총 부유물질은 비슷한 중요도로 나타났다.

• **Forest is ensemble of several decision trees**

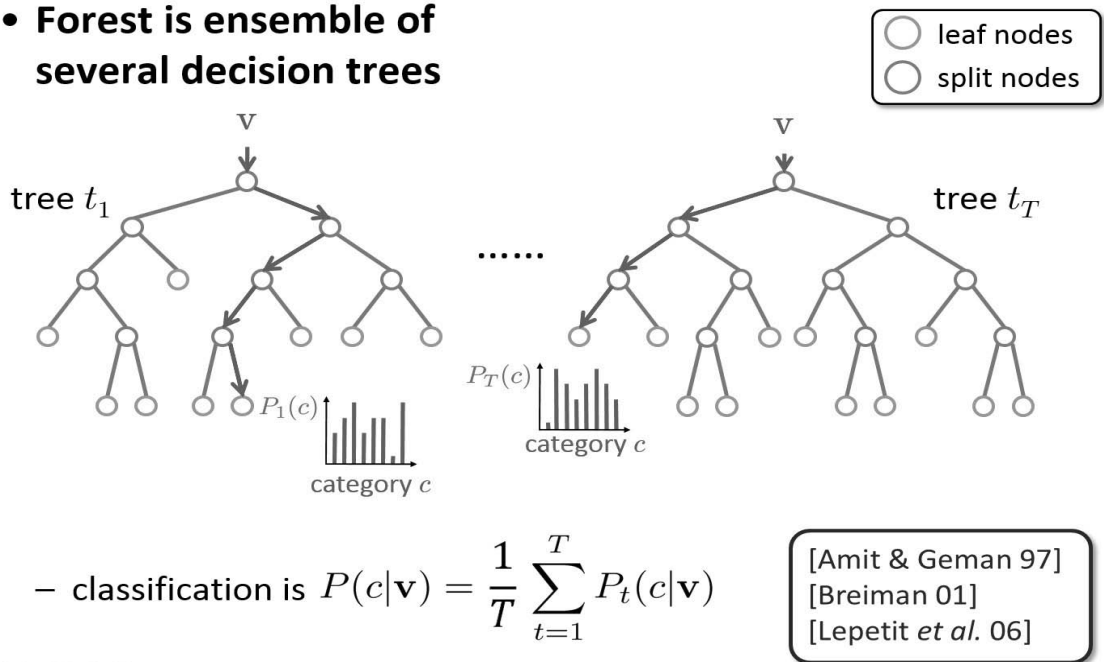


그림 88. Random forest 모식도(출처: 2009년 ICCV (International Conference on Computer Vision) 학회 tutorial, Boosting and Random Forest for Visual Recognition; Jamie Shotton, Tae-kyun Kim and Bjorn Stenger)

그림 92는 GOCI 밴드 반사도를 이용한 수질평가지수의 시공간적인 분포를 나타내고, 그림 93은 GOCI 엽록소 농도, 총 부유물질, 용존유기물 산출물을 이용한 수질평가지수의 시공간적인 분포를 나타낸다. GOCI 밴드 반사도를 이용하여 수질평가지수를 추정하는 모델에서 SVR은 random forest에 비해 수질평가지수 값을 보다 낮게 추정하는 경향을 보였다. 권역별 기준값 차이와 슬롯 보정이 적용되지 않은 것에 의해 지도에 권역별 경계면들이 나타나는 것을 알 수 있다. 전반적으로는, 연안이나 서해바다에서 수질평가지수 값이 높게 나타나는데, 이는 서해 연안에서 더 많은 개발이 이뤄지고 있으며 많은 강물이 흘러들어 오는 것과 연관이 있을 것이라 생각된다. 단, 이 연구에서 이용된 현장관측 자료는 연해 및 근해에 샘플이 집중된 경향이 있어, 원해에서는 정확도가 떨어질 가능성이 있다. 일반적으로 수질등급도는 해수의 저층까지 포함되어 산정되어, 아직 위성을 이용한 표층 수질등급도 연구는 초기 단계이다. 본 연구를 토대로 위성기반 표층 수질등급도 개발 연구가 더 기술적으로 발전할 수 있도록 도모하였다. 본 연구에서 위성기반 표층 수질등급도의 맵핑을 가능하게 함으로써, 상시 관측이 불가능한 해역에서 시공간적인 분포를 분석하고 추정하는데 활용되어 수질 분석에 유용한 정보로 이용될 수 있을 것이다.

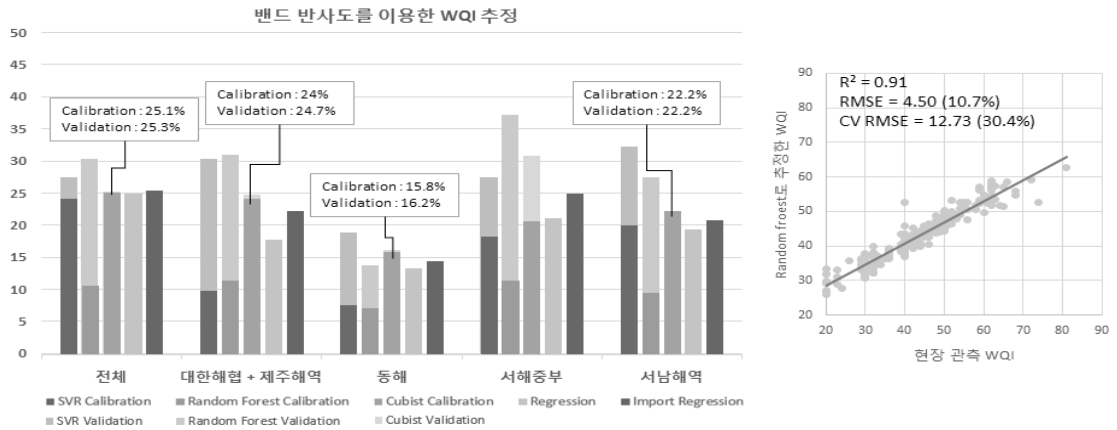


그림 89. 밴드 반사도와 기계학습, 회귀분석을 이용한 수질평가지수 추정시 rRMSE(%) (좌), Random forest를 이용해 추정된 전체 연안 수질평가지수 (우)

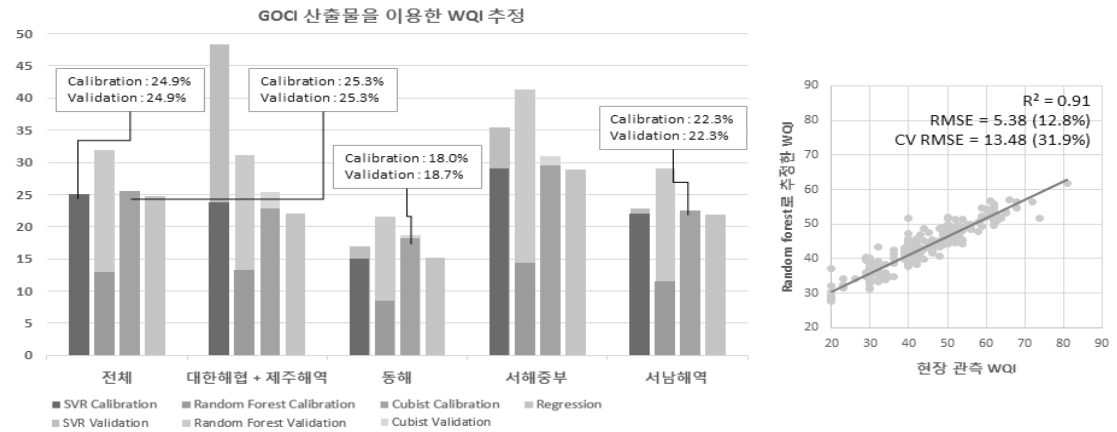


그림 90. GOCI 산출물과 기계학습, 회귀분석을 이용한 수질평가지수 추정시 rRMSE(%) (좌), Random forest를 이용해 추정된 전체 연안 수질평가지수 (우)

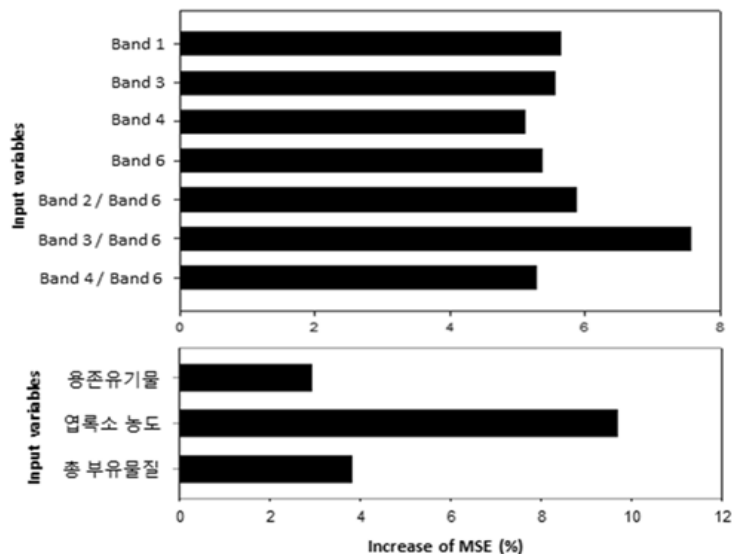


그림 91. Random forest를 이용한 수질평가지수 추정시 입력 변수의 상대적인 중요도

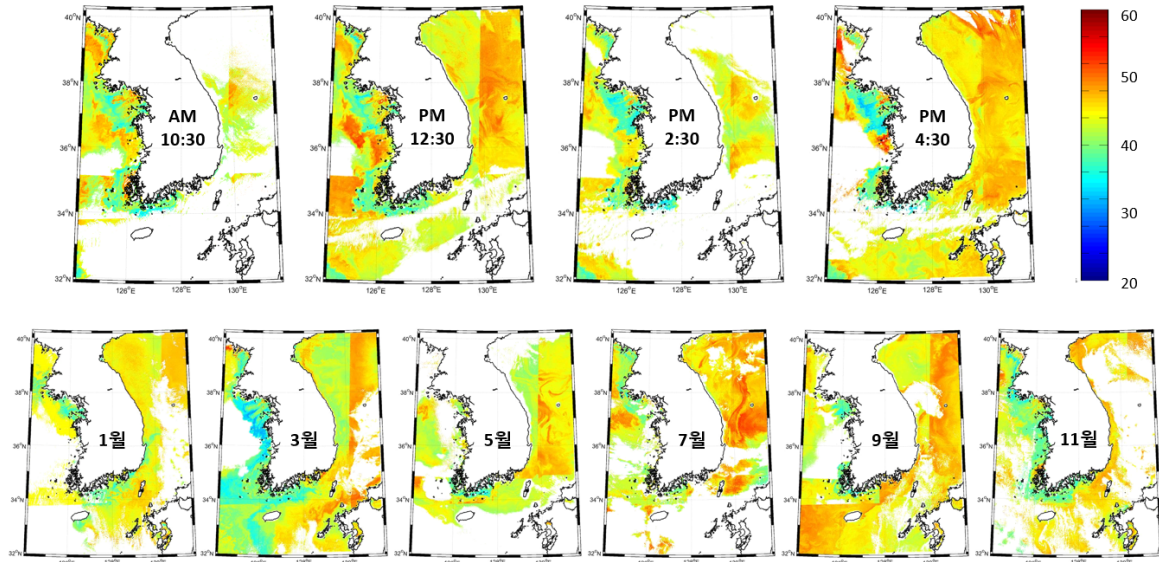


그림 92. Random forest와 GOCI 밴드 반사도를 이용하여 추정된 2014년 5월 3일 수질평가지수 (위), 2013년 수질평가지수 (아래). 격월간 분포에는 평균이 아닌 특정일자 영상 사용

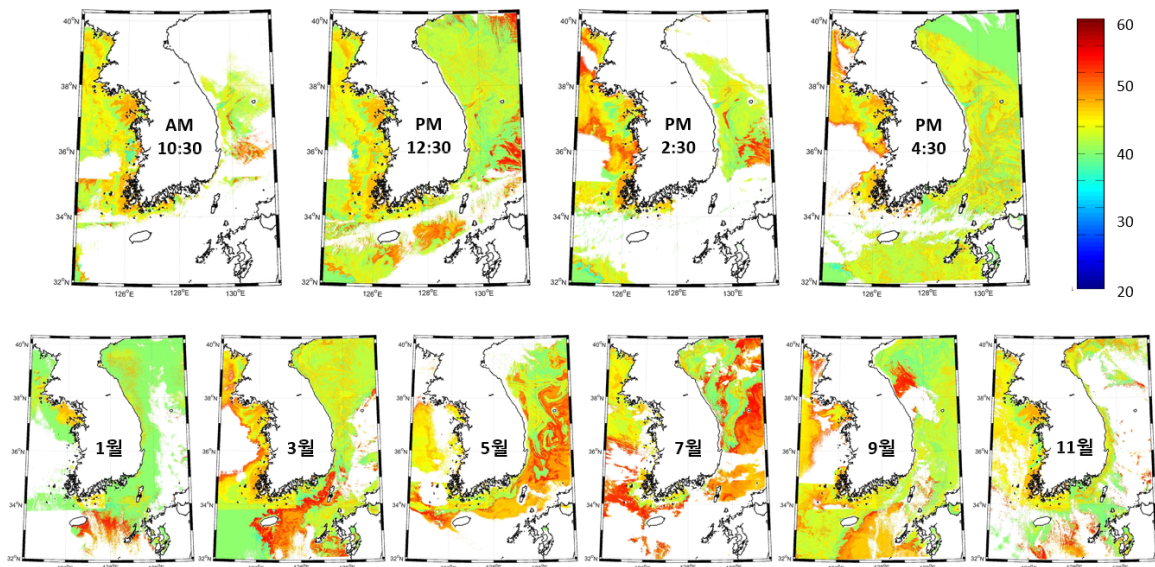


그림 93. Random forest와 GOCI 산출물(엽록소 농도, 총 부유물질, 용존유기물)을 이용하여 추정된 2014년 5월 3일 수질평가지수 (위), 2013년 수질평가지수 (아래). 격월간 분포에는 평균이 아닌 특정일자 영상 사용.

(10) 해빙

(가) 연구지역 선정

본 연구의 지역은 보하이해와 황해로, 상대적으로 저위도에서 해빙이 발생하는 지역이다(그림 94). 보하이해와 황해에서 발생하는 해빙은 해양 운송과 어업에 영향을 미치며 해안 구조물에 피해를 입히므로 이 지역에 대한 해빙 연구가 활발히 수행되고 있는 실정이다. 연구지역에서 해빙은 약 12월부터 3월의 기간 동안에만 계절적으로 형성되며, 해빙의 최대 두께가 1m 이하에 해당한다. 따라서 이 지역의 해빙의 형성은 해류, 풍속, 풍향, 온도 등에 따라 시공간적으로 매우 가변적이기 때문에 높은 관측주기를 갖는 정지궤도 위성영상이 해당 지역의 해빙 모니터링에 효과적으로 활용될 수 있다.

이 지역에서 해빙이 분포하는 기간은 랴오둥만에서 약 106일, 서한만에서 80일에 해당하며 인근 기상관측소인 잉커우와 단동의 관측자료를 통해 기온이 낮은 기간에 생성됨을 알 수 있다(그림 95).

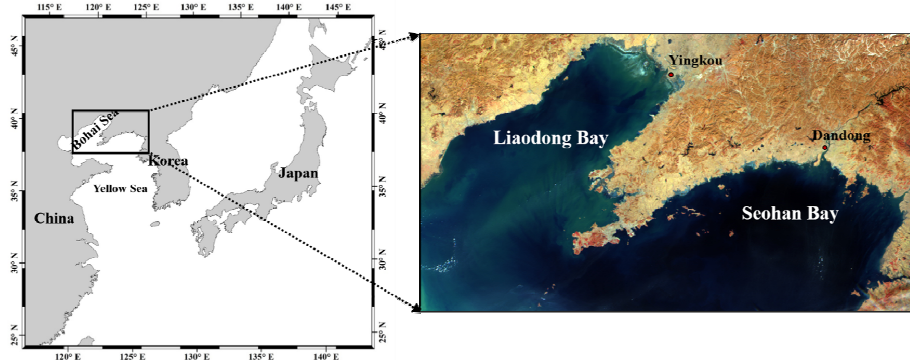


그림 94. 동북아시아의 GOCI 영상의 촬영 영역과 연구 지역으로 선정된 랴오둥만과 서한만의 지리적 범위

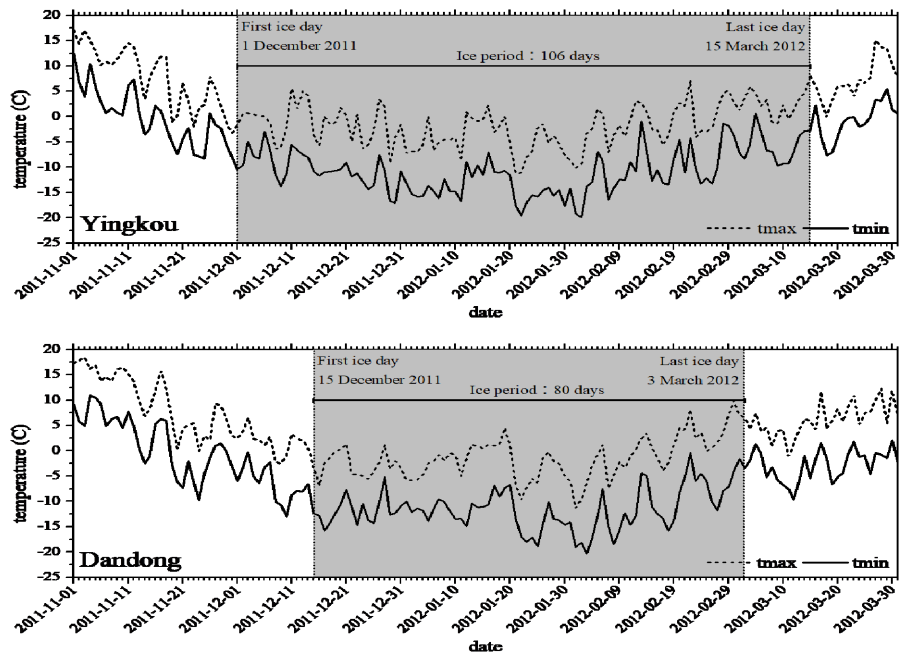


그림 95. 랴오둥만과 서한만 인근의 지상관측소에서 해빙 분포기간에 대하여 획득한 일별 온도 자료

(나) 해빙 모니터링에 대한 GOCI 영상의 시간해상도 평가

해빙 모니터링에 대한 GOCI 영상의 높은 시간해상도를 평가하기 위하여 시간별 GOCI 영상의 육안 판독을 통해 구름량을 평가하여 해빙 모니터링이 가능한 영상을 분석하였다. 분석은 라오둥만과 서한만에 대하여 수행하였고, 이 지역에서 해빙이 존재하는 지속기간은 약 106일과 80일에 해당하고, 각 지역에 대해 총 842개와 635개의 GOCI 시간별 영상이 사용되었다. 해빙이 존재하는 지역에 대한 구름량은 ‘clear’ ‘thin cloudy’ ‘partly cloudy’ ‘cloudy’의 4개의 클래스로 정의하였으며(표 10), 이는 GOCI 근적외선 컬러합성 영상의 육안 판독을 통해 설정하였다.

표 10. 해빙 지역에 대한 구름량의 4개 클래스 정의

Cloudiness class	Definition
Clear	Cloud free, 25% or less cloud cover over sea ice
Thin cloudy	Thin but transparent cloud, 25% or less cloud cover over sea ice
Partly cloudy	25%~75% cloud cover over sea ice
Cloudy	More than 75% cloud cover over sea ice

‘clear’ 클래스는 완전히 깨끗하거나 구름량이 해빙 면적의 25% 이하를 차지하는 영상으로 정의하며, ‘thin cloudy’는 얇고 불투명한 구름이 해빙 면적의 25% 이하를 차지하는 영상으로 정의함. 따라서 육안 판독에 의해 해빙 모니터링이 가능한 영상은 구름량이 ‘clear’ ‘thin cloudy’에 해당한다.

해빙은 해수와 육안으로 쉽게 구분되는 색감과 공간적 특성을 갖고 있기 때문에 육안판독에 의한 구분이 용이하다. 라오둥만과 서한만 지역은 대략 12월부터 3월에 해당하는 계절에 해빙이 발생하는데, 이 기간 동안 해빙이 생성되고 소멸되는 공간적인 특성을 가진다. 해빙은 12월경 연안가에서부터 생성되고 기온 하강에 따라 점차적으로 만의 중심부까지 확장한다. 해빙은 2월 말경 기온 상승에 따라서 점차적으로 감소한다. 이러한 해빙 생성과 소멸의 시공간적 양상을 이용하여 해빙의 육안 판독이 가능하다.

일 8회 획득되는 GOCI 시간별 영상을 이용하여 라오둥만과 서한만에 분포한 해빙 모니터링 가능성을 분석하였으며, 이 때 앞서 정의한 구름량이 ‘clear’ ‘thin cloudy’인 클래스인 경우 모니터링 가능한 것으로 판단하였다. 라오둥만 지역에 대해서 분석된 총 842개의 GOCI 시간별 영상중 70.6%에 해당하는 영상이 ‘clear’ ‘thin cloudy’의 구름으로 분류되어 해빙 모니터링에 사용 가능하다(표 11).

라오둥만 지역보다 해빙의 분포기간이 짧은 서한만 지역에 대해서는 분석된 총 635개의 GOCI 시간별 영상중 63.5%에 해당하는 영상이 ‘clear’ ‘thin cloudy’의 구름으로 분류되어 해빙 모니터링에 사용 가능하다(표 11). 이에 따라 GOCI 영상은 라오둥만과 서한만의 두 지역에 분포하는 해빙을 모니터링 하기에 적절한 깨끗한 영상을 높은 확률로 제공할 수 있다.

표 11. 라오둥만과 서한만 지역에서 구름량 구분에 따른 GOCI 시간별 영상 갯수

Ice period cloudiness	Liaodong Bay	Seohan Bay
	106 days (Dec. 1, 2011 ~ Mar. 15, 2012)	80 days (Dec. 5, 2011 ~ Mar. 3, 2012)
Clear	454 (53.9%)	351(55.3%)
Thin cloudy	141 (16.7%)	52 (8.2%)
Partly cloudy	70 (8.3%)	65 (10.2%)
cloudy	177 (21.0%)	167 (26.3%)
total	842	635

GOCI 영상은 일 8회 획득되기 때문에 하루에 촬영된 8개의 영상 중에서 적어도 1개 이상이 구름이 없이 깨끗한 영상일 확률이 매우 높다. 따라서 이번에는 일일 촬영된 영상중 적어도 1개 이상이 깨끗한 해빙 모니터링 가능성을 분석하였다(그림 96).

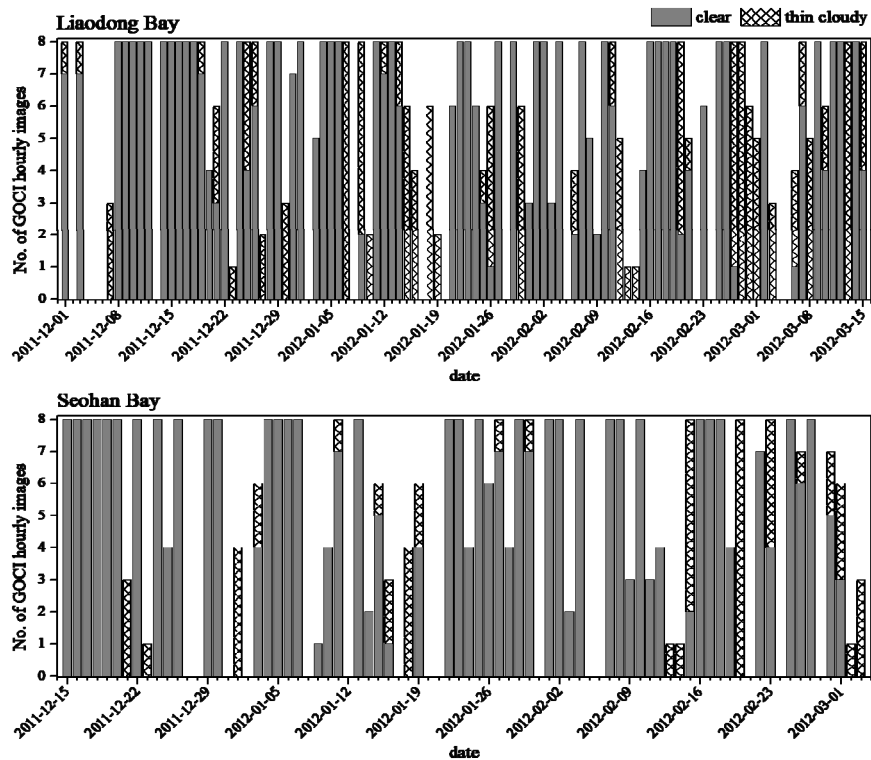


그림 96. 라오둥만과 서한만 지역에서 깨끗한 구름량 조건에서 획득된 GOCI 시간별 영상의 갯수

하루 중 최소 1개 이상의 cloud-free 영상을 얻을 수 있는 날은 라오둥만에 대해서는 106일 중 91일, 서한만에 대해서는 80일 중 65일에 해당한다. 즉, 해빙 분포 기간 중 대 86%와 81%로 하루에 적어도 한번은 해빙 모니터링이 가능하다. 해빙 모니터링에 있어 GOCI 영상의 높은 시간해상도의 장점은 극궤도 위성영상인 MODIS와 비교할 때 더욱 확연히 나타난다. 이를 분석하기 위하여 동일한 분석기간 중 MODIS 영상을 획득하고, 동일한 구름량 기준에 따라서 육안판독에 의해 4개의 구름량으로 구분하여 MODIS 영상을 이용한 해빙 모니터링 가능성을

살펴보았다. MODIS는 라오둥만에 대하여 77일, 서한만에 대하여 50일 동안 'clear'와 'thin cloudy'의 구름량 영상을 제공하였다. 이는 GOCI 영상보다 16%나 낮은 수치이다. 이 기간에 대하여 GOCI 영상은 하루에 촬영된 8개의 모든 관측에 대하여 깨끗한 영상을 제공하는 날이 라오둥만에 대하여 40일, 서한만에 대하여 31일에 해당한다. 그리고 하루에 촬영된 8개의 관측 중 4개 이상이 깨끗한 영상을 제공하는 날이 라오둥만에 대하여 77일, 서한만에 대하여 52일에 해당한다. 일별 단위로 판단하였을 때 MODIS 영상과 GOCI 영상의 cloud-free 영상 제공 가능성은 단 16%의 차이를 나타내지만, GOCI는 시간별로 변화하는 해빙을 관측할 수 있다는 점에서 큰 이점이 있다. 반면 MODIS 영상으로는 시간별로 변화하는 해빙의 관측 추정을 하는데 한계가 있다.

(다) GOCI 영상을 이용한 해빙 탐지

해수로부터 해빙을 탐지하는 것은 해빙이 균질한 공간적 특성을 가질 때는 용이하다. 그러나, 해빙은 일반적으로 표면의 조건, 얼음 거품, 해빙 두께 등에 따라 분광반사특성이 매우 다양하다. 더불어 보하이해와 황해에 분포한 해빙의 분광반사특성은 해빙에 존재하는 불순물에 따라 매우 다양하기 때문에, 탁도가 높은 해수, 즉, 탁수로부터 구분하기 매우 어렵다(Ning et al., 2009). 전자광학영상을 이용한 해빙탐지 알고리즘의 대부분은 특정 밴드의 반사율, 밴드 비, 혹은 적설지수(NDSI)의 임계값을 종합적으로 이용하는 방식에 기반한다. 그러나 적설지수와 밴드 반사율의 임계값에 기반을 두고있는 MODIS 해빙산출물 알고리즘에서 보하이해 지역의 해빙 탐지는 낮은 정확도를 갖고 있다고 보고되었다(shi and Wnag, 2012b). 이에 해빙을 탐지하기 이전에 우선적으로 GOCI 영상의 분광밴드에서 해수와 해빙의 분광특성을 분석하였다. cloud-free인 GOCI 영상으로부터 다양한 해빙과 해수 클래스를 선정하여 이의 분광반사특성을 분석하였다. 각 클래스에는 20개의 지점을 선정하여 이의 분광반사율을 평균내어 사용하였다. 해빙과 해수의 클래스는 GOCI 컬러 영상의 육안판독을 통해 정의한 반면, 눈이 뒤덮인 해빙은 인접한 관측소의 강수량 자료를 바탕으로 판단하여 선정하였다. 눈이 뒤덮인 해빙과, 연회색 해빙, 짙은회색 해빙, 얇은 해빙, 높은 탁도의 해수, 맑은 해수에 대한 GOCI 8개 밴드에서 분광반사특성은 그림 97과 같다.

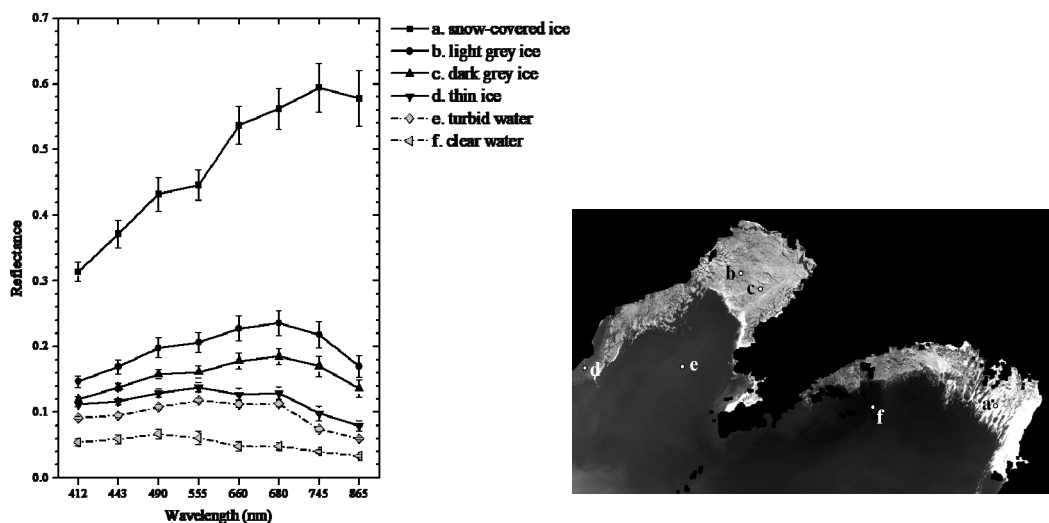


그림 97. GOCI 영상의 다양한 지점에서 추출한 다양한 해빙과 해수의 분광반사특성

4개 종류의 해빙은 해수보다 확연히 높은 반사율을 가지기 때문에, 이의 분광특성으로 해수와 쉽게 구분할 수 있다. 그러나 해빙의 경계 부분에 해당하는 얇은 해빙과 탁수는 분광적 유사성이 높기 때문에, GOCI 영상이 갖고 있는 8개 분광밴드로는 구분이 어렵다. 이에 따라, GOCI 8개 밴드 반사율의 임계값을 이용한 해빙 탐지는 최적의 방법이 아닐 수 있으며, 특히나 얇은 해빙에 있어서는 정확도가 낮을 수 있다.

해빙은 몇 km이내의 범위에서 높은 공간적 변동성을 가진다. 이는 해빙은 표면의 거칠기와, 눈, 빙구, 두께 등에 따라서 좁은 범위에서 공간적 다양하기 때문이다. 반면 해수는 해빙과 달리 좁은 범위에서 균등한 공간적 특성을 가진다. 이렇듯 둘의 상이한 공간적 특성은 해빙과 해수를 구분하는데 효과적으로 사용될 수 있다. 공간 필터링은 NxN 화소 창에서 중심화소와 외곽 화소와의 표준편차를 계산하는 필터인데, 영상 텍스처 분석과 경계 강조에 주로 사용된다. 해빙과 해수의 공간적 변동성의 특성에 따라 표준편차 공간필터링 결과 영상에서 해빙은 높은 편차를 갖고 해수는 상대적으로 낮은 편차를 가지게 된다.

육상 마스크를 이용하여 육상 부분을 제거한 후, 3x3 윈도우를 이용한 표준편차 필터링을 적용하고 이의 임계값으로 해빙을 추출한다. 해빙과 탁수의 특성이 잘 구분되는 대표적인 밴드인 녹색밴드와 근적외선 밴드의 분석을 수행하고, 이에 대하여 표준편차 필터링을 적용하였다.

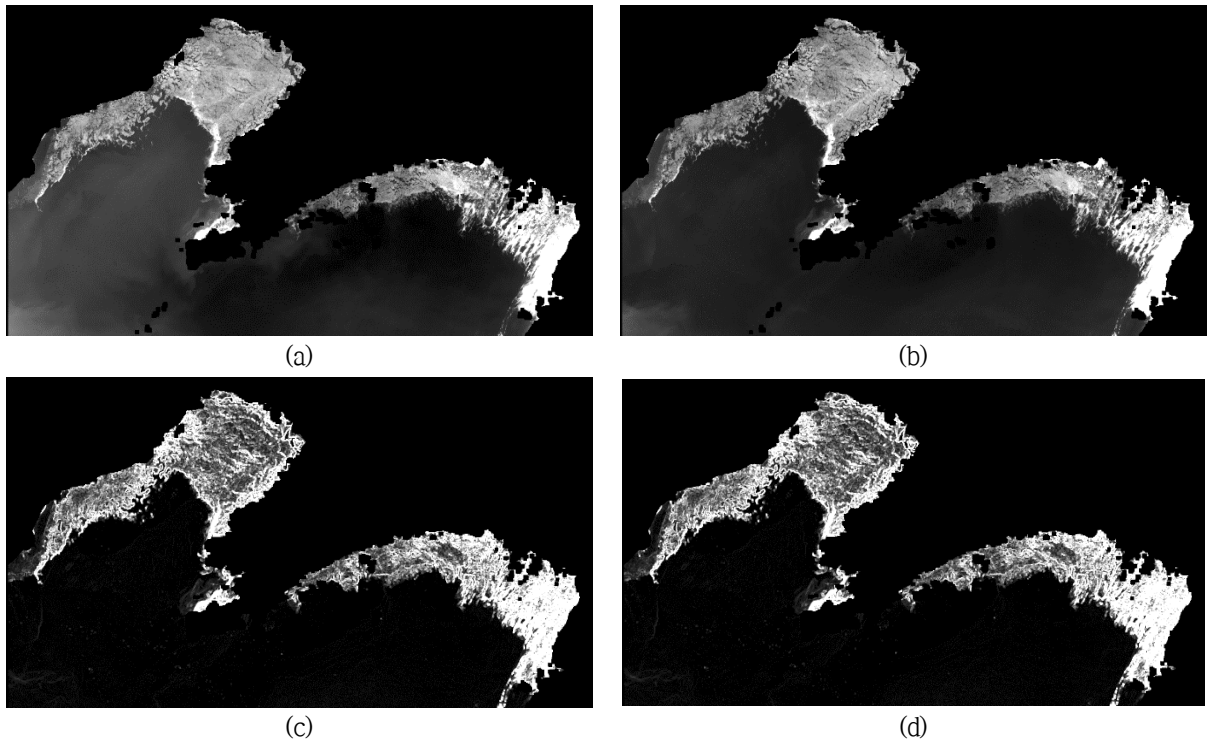


그림 98. GOCI 녹색광 밴드 영상(a)과 근적외선 밴드 영상(b)과 두 영상에 적용한 공간필터링 결과 (c)(d) (2012년 2월 4일 촬영)

녹색 밴드 GOCI 영상의 좌하단에서 탁수가 밝게 나타남을 확인할 수 있다. 반면 얇은 얼음과 탁수의 경계는 둘의 유사한 분광특성으로 인해 불명확하다(진항도 연안 인근)(그림 98-a). 반면, 근적외선 밴드 GOCI 영상에서는 맑은 해수와 탁수 모두 낮은 반사율을 갖고 있기 때문에 매우 어둡게 나타나며, 해수는 해빙과 비교했을 때 공간적으로 균일하다(그림 98-b). 녹색과 근적외선 밴드의 반사율 영상에서 해수의 색상이 매우 다르게 나타나는데, 이는 해수의 탁도 때문이다. 두 개 밴드의 공간필터링 결과는 거의 동일하다(그림 98(c), 그림 98(d)). 녹색과 근적외선 밴드 반사율의 GOCI 영상에 표준편차 공간필터링을 적용한 결과 해빙에서는 높은 편차를 나타내는 반면 해수에서는 편차가 매우 낮은 것을 알 수 있다. 두 결과가 거의 유사하게 나타났으나, 실제로 근적외선 밴드가 해수에서 더 낮은 공간변동성을 갖고 있기 때문에 근적외선 밴드의 공간필터링 결과가 해빙과 해수의 구분에 더 용이하다.

따라서 해빙 면적(Sea ice area, SIA)은 근적외선 밴드 공간필터링 영상에서 획득하는 것으로 결정한다. 근적외선 밴드 공간필터링 영상의 히스토그램을 살펴보면 해빙과 해수가 쉽게 구분되는 경계를 찾을 수 있다. 따라서 이 경계를 임계값으로 선정한 후에 SIA를 추출할 수 있다(그림 99).

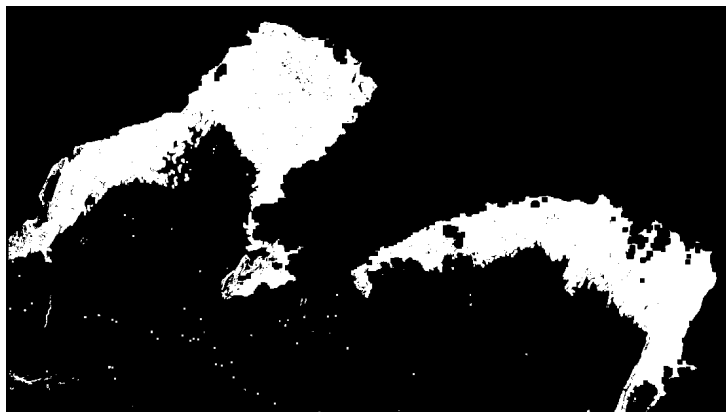
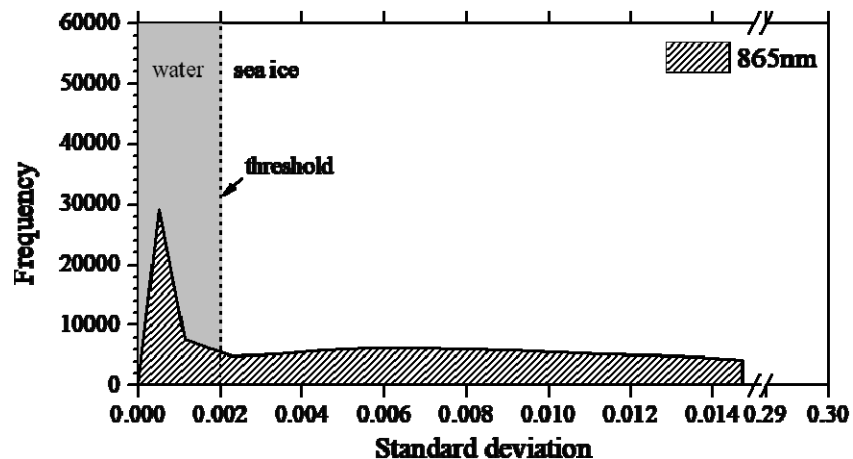


그림 99. NIR 밴드 3x3 윈도우 표준편차 필터링 영상의 히스토그램과 이의 임계값을 이용하여 탐지한 SIA

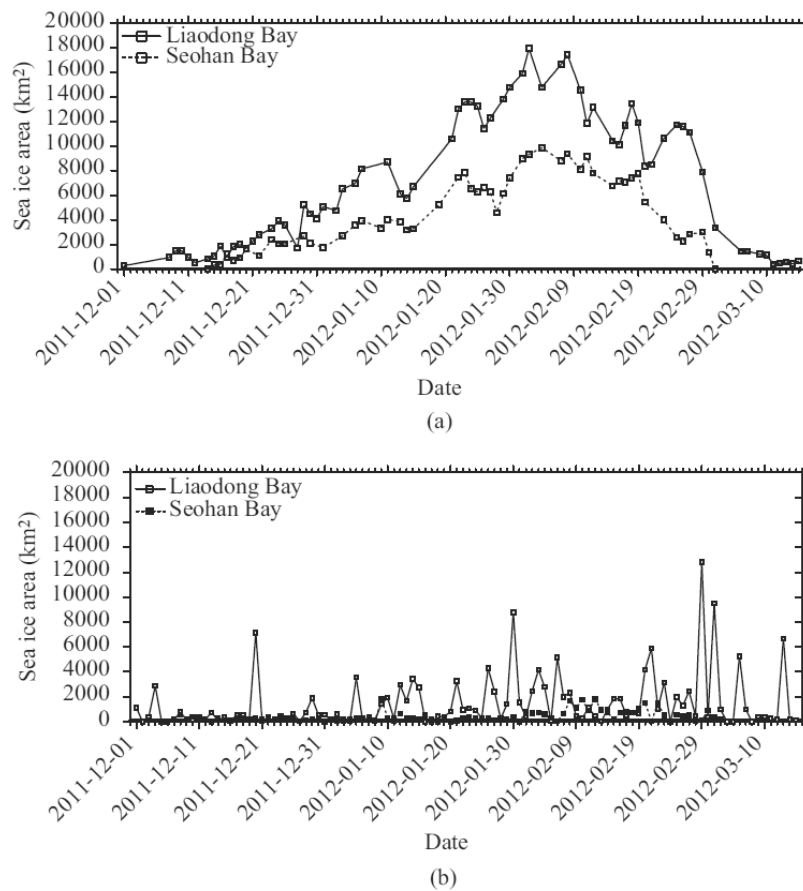


그림 100. 라오둥만과 서한만의 해빙 면적의 시계열 변화 (a) GOCI 일별 영상에 제안된 공간필터링을 적용하여 획득한 결과 (b) MODIS 해빙 산출물을 이용한 결과

위에서 제안한 방법을 이용하여 clear 조건에서 촬영된 라오둥만과 서한만의 해빙 지속 기간에 촬영된 GOCI 일별 영상에 대하여 SIA를 추출하고 이를 분석하였다. SIA의 시계열 변화 양상을 살펴보면, SIA는 2월 초의 2개의 만에서 최대면적을 나타내고, 3월까지 빠르게 감소한다. 해빙 지속기간이 짧은 서한만에서 3월 중 해빙은 대부분 녹아 존재하지 않는 반면, 라오둥만에서는 3월 중순에 해빙이 녹아 사라진다(100(a)). SIA의 시계열 변동양상은 그림 95의 기온과 밀접한 유사성을 보인다.

MODIS 해빙 산출물(MYD29)를 이용하여 SIA를 추출한 결과는 그림 100(b)와 같은데, MODIS 일별영상에서 SIA는 GOCI 영상에서 추출된 면적과 매우 상이하다. GOCI 영상에서 추출한 월 평균 해빙 면적이 10,000km²인 것을 미루어보았을 때, MODIS 해빙 산출물은 해빙의 면적이 매우 저 추정되었음을 알 수 있다. 또한 MODIS 해빙 산출물에서 추출한 해빙 면적의 시계열 양상은 전형적인 계절양상을 나타내지 않는다.

MODIS 해빙 산출물에서 추출한 SIA의 분포와 GOCI에서 추출한 SIA의 분포를 비교하였다(그림 101). 둘을 비교해 보면 MODIS 해빙 산출물은 해빙과 구름을 혼돈하여 분류함을 확인할 수 있다(그림 101(a), 그림 101(b)). MODIS 해빙 산출물이 갖고 있는 SIA의 오류는 해빙과 구름의 구분이 불명확한 것에서 기인할 수 있다. 또한 GOCI 영상의 높은 시간해상도는 cloud-free 영상을 얻을 수 있는 더 높은 확률을 갖고 있음을 확인할 수 있다(그림 101(c), 그림 101(d)). MODIS 해빙 탐지 알고리즘은 밴드 반사율과 적설지수의 임계값에 기반하고 있으며, 자체적

인 구름 탐지 알고리즘을 갖고 있지 않다. 대신에 MODIS 구름 산출물(MYD35)가 구름탐지에 사용되었다. MODIS 구름 탐지 알고리즘은 해빙 탐지 알고리즘보다 보다 복잡한데, 가시광선, 근적외선, 단파적외선에 이르는 다양한 파장영역에서 나타나는 구름의 분광반사특성을 이용하였다. 비록 MODIS 구름 탐지 알고리즘은 높은 정확도를 갖는 것으로 알려져 있으나, 해빙 지역에 대해서는 오류를 가짐을 확인할 수 있었다. MODIS 해빙 산출물과 구름 산출물은 전 지구적 규모를 대상으로 제공되기 때문에, 연구지역인 라오둥만과 서한만과 같이 지역적인 해빙의 특성 분석에는 한계가 있다.

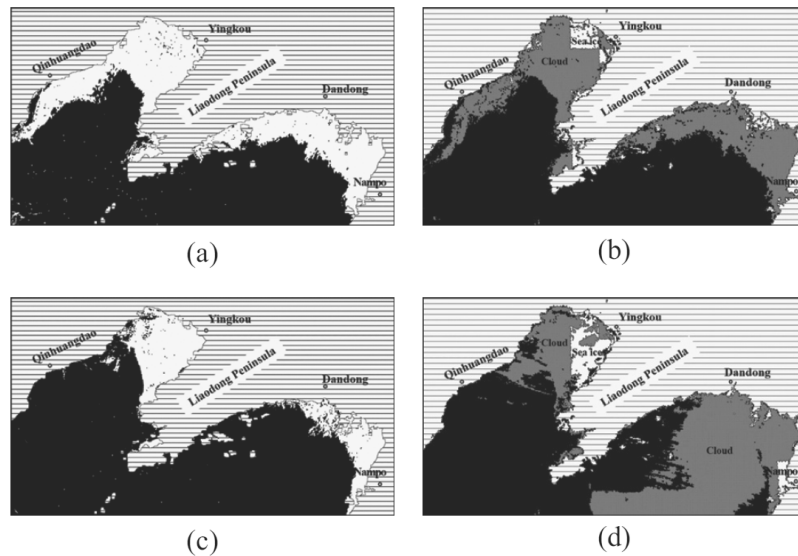


그림 101. GOCI 영상에서 추출한 해빙 정보(a)(c)와 MODIS 해빙 산출물의 해빙 영역(b)(d) 비교. (a)(b)는 2012년 2월 4일 영상에 해당하며, (c)(d)는 2012년 2월 20일 영상에 해당

(11) 저염수

(가) 서론

양자강은 세계에서 세 번째로 큰 강으로써 동중국해의 해양생물들에게 영향을 주는 담수와 영양염의 주된 공급원이다(Ning et al., 1998; Gong et al., 2003). 양자강에서 방류되는 담수는 양자강 입구에서 고염의 해수와 만나 양자강 저염수 패치를 형성하여 영양염이 소산되지 않고 먼 바다까지 이동이 가능하다. 이들 저염수 패치는 주로 바람에 의한 에크만 수송에 의해서 이동하여 겨울철에는 북풍 계열의 바람에 의해서 중국의 해안선을 따라서 남하하는 반면 여름철에는 남풍 계열의 바람에 의해서 동쪽으로 흘러가 제주도 지역 주변까지 이동하게 된다 (Beardsley et al., 1985; Lie et al., 2003; Chang and Isobe, 2003, 2005; Zhang et al., 2007). 기존에 해색을 이용한 양자강 저염수 추정 방법에는 클로로필을 이용하는 방법과 용존유기물을 이용하는 방법이 있다.

- ① 한반도 주변에 양자강 저염수가 확장되면서 피해를 주는 여름철에는 강한 태양에너지와 약한 바람으로 인하여 해수 표층에 강한 성층이 생긴다. 그로인하여 표층으로의 영양염 공급이 제한되어 클로로필의 농도가 낮아지게 된다. 이때 양자강 저염수에 포함되어 있는 영양염이 공급됨으로써 클로로필 번성이 일어나게 된다. 이를 이용하여 여름철 양자

강 저염수의 확장 범위를 추정할 수 있다.

- ② 양자강 저염수는 영양염 뿐만 아니라 육상 기원의 용존유기물(Colored Dissolved organic matter, CDOM) 또한 포함하고 있다. 염분은 해색 위성을 이용하여 직접 측정이 안 되기 때문에 해색에서 관측할 수 있는 다른 광학적인 변수를 이용하여야 한다. 저염수에 포함되어 있는 육상 기원의 CDOM의 양과 염분이 역상관 관계가 있다는 사실을 이용하여 해색 위성에서 염분을 추정하는 것이 가능하다.
- ③ 기존 연구의 한계점
 - ㉠ 클로로필 농도를 이용한 저염수 추정 방법은 정성적인 추정은 가능하나 정량적인 추정은 불가능하다.
 - ㉡ CDOM을 이용하여 저염수를 추정하는 방법은 채택하고 있는 가정에서 한계점이 생긴다.
 - 1) 첫째, 양자강 방류량과 육상 기원 CDOM의 양은 정비례 관계에 있다. 연구결과 이 가정은 맞지 않는 것으로 나타났다. 양자강 방류량이 증가할수록 CDOM의 양은 증가하나 그 비가 해마다 달리 나타나는 문제점이 발생하므로 앞의 가정은 틀렸으며, 하나의 회귀식을 이용하여 매년 적용하는 것은 불가능하다.
 - 2) 둘째, 양자강에서 흘러 나오는 CDOM의 양은 일정하게 유지되며 제주도 주변으로 흘러 들어온다. 이 가정 또한 광분해에 의해서 CDOM이 분해되기 때문에 맞지 않다.

(나) 방법

- ① 동중국해의 표층 해수 염분(sea surface salinity)은 CDOM의 양과 높은 역상관관계에 있으나 이 외에도 염분에 영향을 미치는 요인이 있으므로 기존 연구에서 사용되어온 CDOM과 클로로필 외에 다른 요인을 추가 하여 회귀식을 구하였다.
- ② CDOM의 양이 시간에 지남에 따라서 분해되며, 강수량 및 증발량 또한 시간에 지남에 따라 달라지므로 양자강에서 방류된 후부터 경과된 시간을 고려할 수 있는 요인을 추가 하여야 한다. 이에 경도를 추가하여 회귀식을 구하였다.
- ③ 염분 추정 알고리즘 개발을 위한 현장 자료 확보

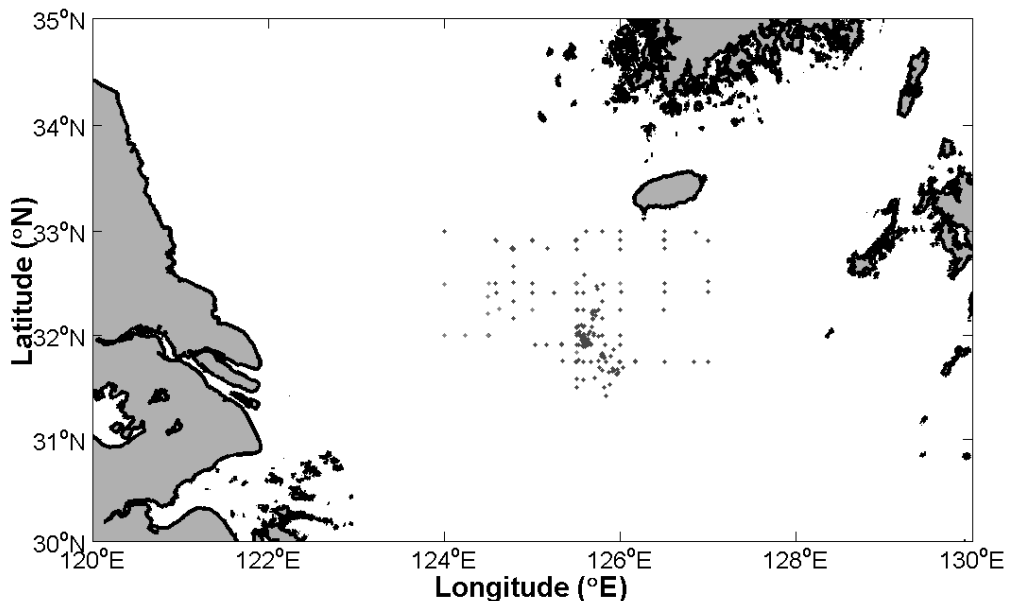


그림 102. 여름철 동중국해에서 관측한 조사 정점도

(다) 결과

① 동중국해의 염분과 클로로필의 상관관계

㉗ 앞에서 설명한 것과 같이 여름철 동중국해는 클로로필 농도와 염분간에 역상관관계가 존재한다. 그러나 클로로필의 경우 계절적인 변동성도 보이지만 지역적인 차이도 존재하므로 단순히 클로로필 농도를 이용하여 상관성을 구하는 것보다 각 지점에서의 평균 클로로필 값으로 나누어 준 비율을 사용하는 것이 더욱 상관도가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

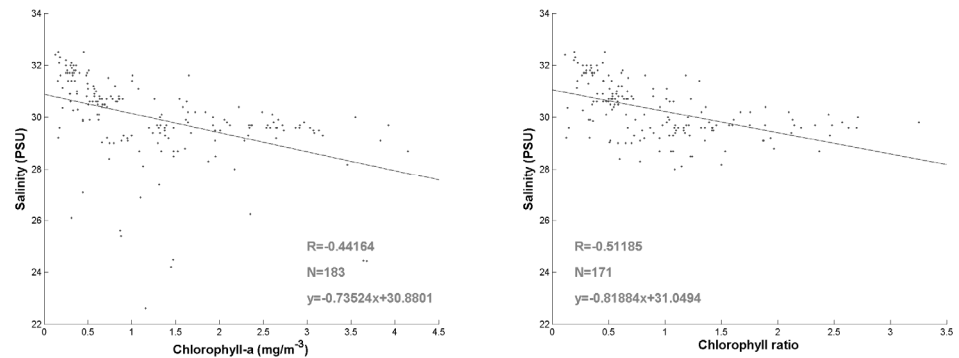


그림 103. (a)클로로필의 농도, (b)평균 대비 클로로필 농도의 비와 염분간의 산점도 및 상관도

② 양자강 방류 후부터 CDOM의 광분해, 강수량 및 증발량, 양자강 저염수 패치의 분산 등 염분과 CDOM 간의 관계가 변하게 된다. 본 연구에서는 이를 고려하기 위하여 경도를 이용하여 보정하였다. 그 결과 양자강에서 동쪽으로 이동할수록 염분이 높아짐을 알 수 있다.

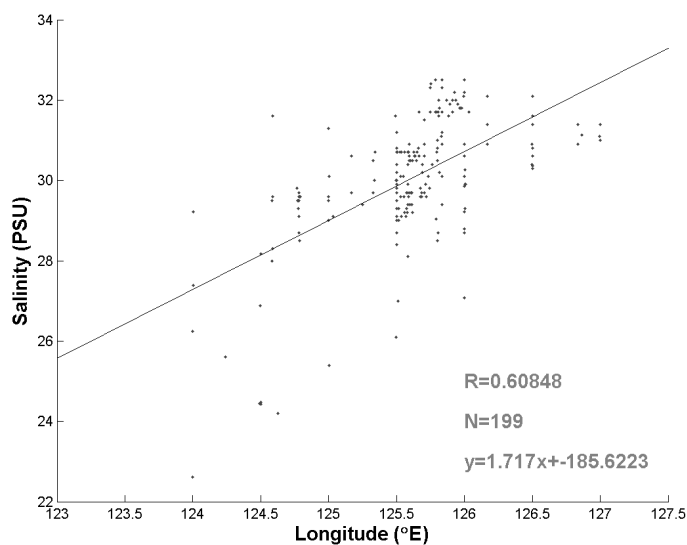


그림 104. 경도와 염분간의 상관관계

- ③ 동중국해의 동쪽해역에서는 CDOM과 염분과의 상관관계보다 412nm 파장에서의 원격반사도와 염분의 상관관계가 높다.

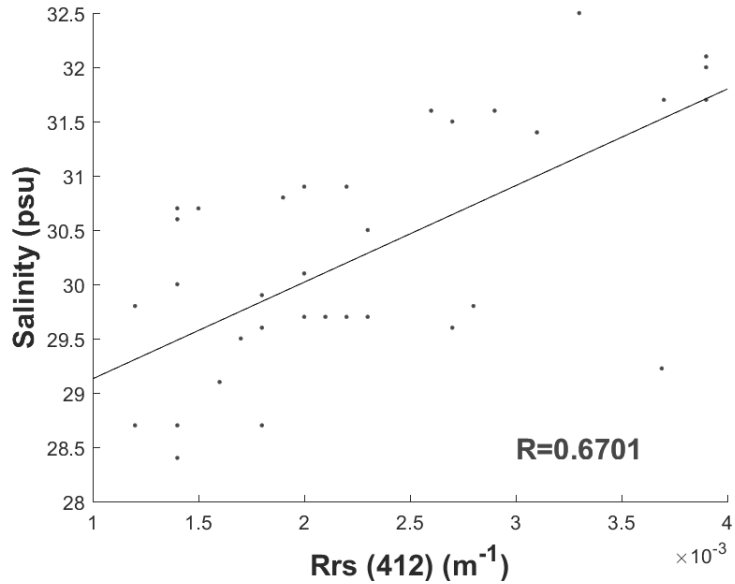


그림 105. 412nm에서의 원격반사도와 염분과의 상관관계

- ④ 이를 이용하여 412nm에서의 원격반사도, 클로로필 비율, 경도를 이용하여 염분 추정 알고리즘을 생성하였다. 알고리즘의 생성 및 검증을 위하여 사용 가능한 전체 데이터에서 무작위로 선정하여 절반은 알고리즘 생성에 나머지 절반은 알고리즘 검증에 사용하였다.

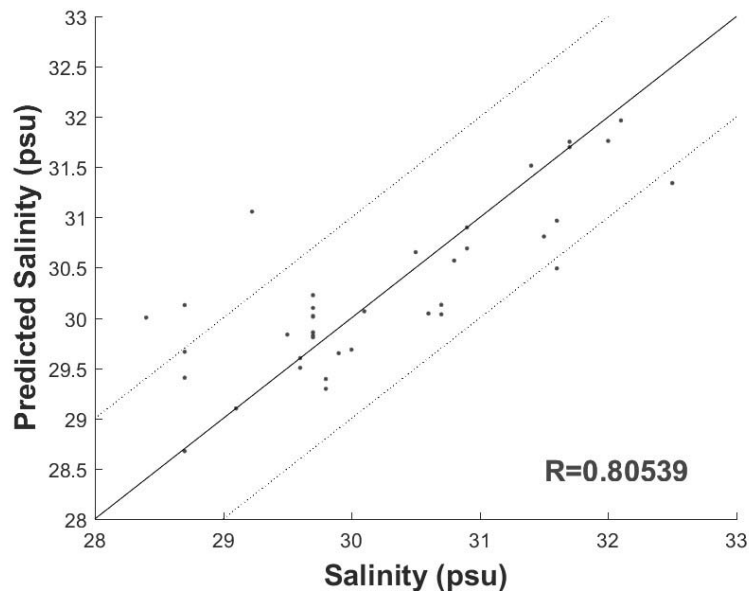


그림 106. 알고리즘 개발. 실선은 1:1선이며 점선은 1:1선을 기준으로 1psu 차이를 나타냄

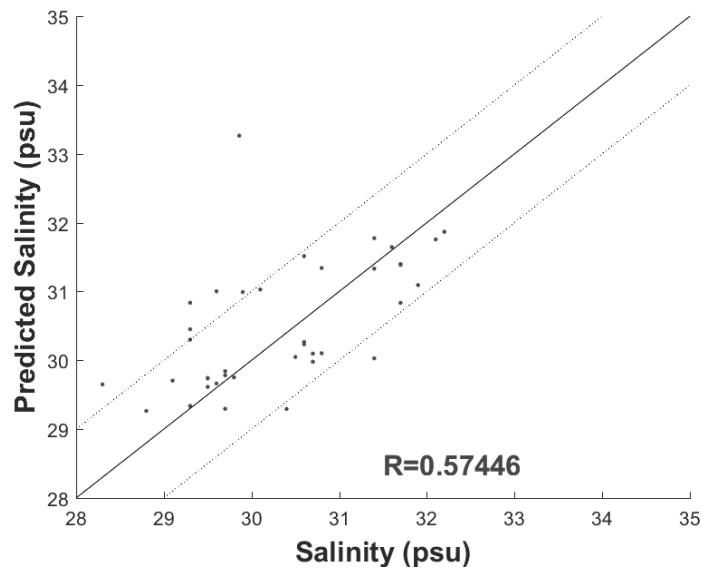


그림 107. 알고리즘 검증

다. 해양 환경 분야 활용 연구

(1) 녹조

(가) 개요

매년 유해조류의 발생으로 인해 많은 어민들이 피해를 보고 있다. 피해를 줄이기 위해서는 신속한 대응이 필수적이지만, 광범위한 바다를 직접 동시에 감시하는 것은 불가능하였다. 차선책으로 극궤도 해상관측위성을 활용하는 방법이 있으나, 그 관측주기가 수일에 해당하여 실시간 대응에 한계로 인해 해양재해에 즉시 대응하지 못하여 피해가 가중되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시간해상도가 높은 GOCI를 활용하여 녹조를 실시간으로 검출하는 방법을 개발하였다.

(나) 알고리즘 개발

일반적으로 녹조는 아래 그림과 같이 NIR파장에서 높은 반사도를 보인다. 이와 같은 반사도 차이를 이용하여 일반적인 바다와 녹조를 구분할 수 있다.

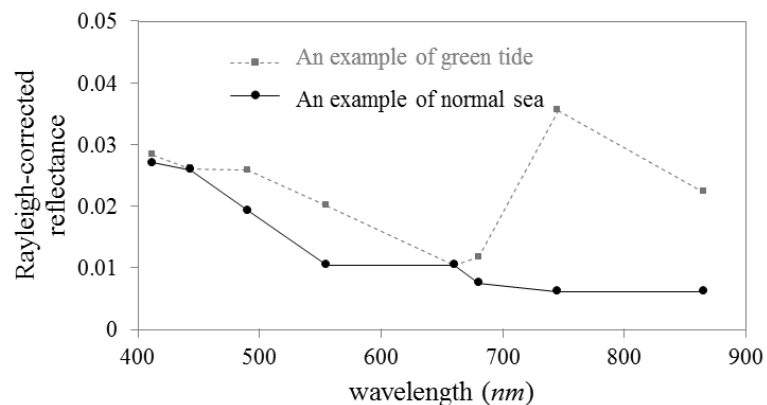


그림 108. 녹조로 인한 해색과 일반 해역간의 GOCI 반사도 비교

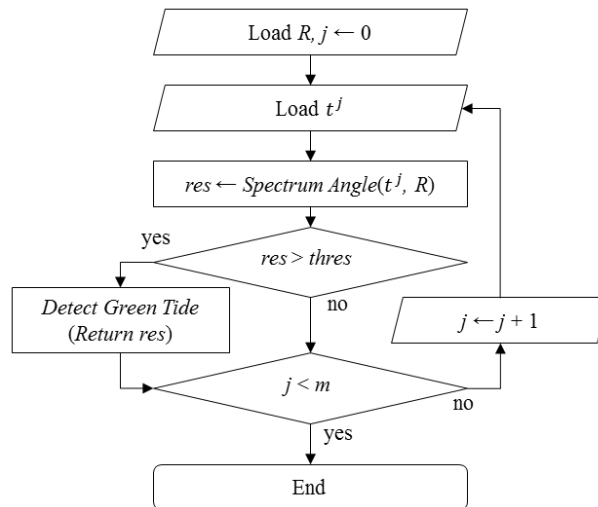
SAM(Spectral Angle Mapping) 기법을 사용하면 녹조로 인한 해석을 일반 해역에 대한 해석으로부터 분리해 낼 수 있다. SAM 결과는 T와 R이 서로 유사할수록 '1', 서로 다를수록 '0'에 가까워진다.

$$Spectrum\ Angle(T, R) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \times R_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i)^2}}$$

where T and R are the test and reference spectrum vectors respectively, and i means the wavelength indices (0, 1, ..., 7) that indicate (412, 443, ..., 865). n is the number of wavelength bands (i.e. 8 for GOCI).

그림 109. SAM 알고리즘

아래 그림은 SAM 알고리즘을 이용하여 일반 해역과 녹조를 구별하기 위한 녹조 가능성 유추 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 관심 해역의 스펙트럼 모양을 미리 설정된 녹조의 스펙트럼 모양과 반복적으로 비교한 후 SAM 결과 값이 임계치(예, 0.9)보다 높을 경우 녹조라고 판단한다.



R : reference spectrum vector
 $T = (t^0, t^1, \dots, t^{m-1})$: a test spectrum vector set
 m : # of elements in T
 $thres$: a threshold for detection

그림 110. SAM 알고리즘을 이용하여 일반 해역과 녹조를 구별하기 위한 녹조 가능성 유추 알고리즘 흐름도

(다) 결과

아래 그림과 같이 GOCI 컬러영상으로는 녹조 패치를 직접 확인하기 어려운 반면, 제안 기법을 활용하면 녹조 패치를 쉽게 파악할 수 있다는 것을 알 수 있다.

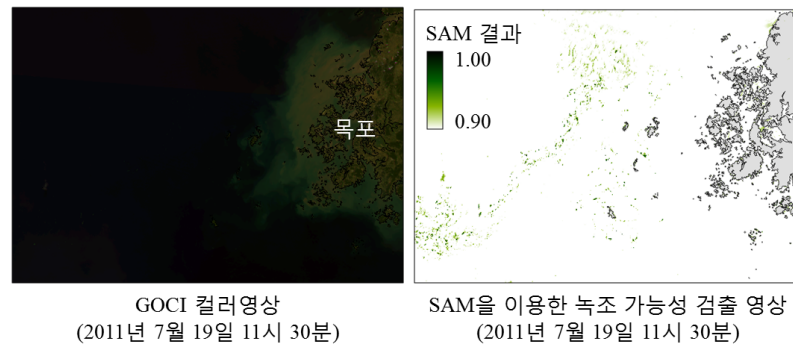


그림 111. GOCI 컬러영상과 GOCI 녹조 가능성 유추 알고리즘 결과 비교

(2) 동북아 조간대 퇴적물의 장기 모니터링 기법 개발

(가) 서론

조간대(갯벌) 지역은 높은 생물 다양성을 가지고 있어 수산 자원의 생산과 밀접한 관련이 있고 각종 오염물질의 정화 및 태풍 및 홍수에 대한 완충지대 역할을 하므로 생태학적, 경제적 가치가 크다. 특히 조간대 퇴적물의 입도(grain size)는 갯벌생태계의 기층이 되는 저서생물의 종류 및 다양성과 깊이 연관되어 있으므로 퇴적물 변동에 대해 장기적이고 광역적인 연구가 필요한데, 이 지역의 특성상 현장 조사에는 한계가 있으므로 넓은 공간을 비교적 자주 관측할 수 있는 인공위성을 이용한 모니터링이 효과적이다. 이에 본 연구에서는 세계 최초의 정지궤도 해양위성인 GOCI의 특성을 활용하여 조간대의 분광반사도로부터 퇴적물의 입도 정보를 추출하는 입도 탐지 기법(Grain size index)을 제안하고 실측 결과와 비교 및 검증하고자 한다.

(나) 본론

본 연구에서는 상술한 한계를 극복하기 위해 임의의 물체에 촬영된 조간대 퇴적물의 반사도 영상으로부터 입도 정보만을 취할 수 있는 기법을 개발하고자 아래와 같은 연구를 수행하였다. 첫째, 조간대 지역의 환경을 조사하고 조위에 따라 변화하는 퇴적물의 분광학적 특성을 파악하였으며 이를 실험실 스케일에서 모사하여 조간대 퇴적물의 반사도-입도-함수율 관계 모델을 수립하였다.

둘째, 조간대 퇴적물의 분광반사도에서 함수율의 영향을 제거하고 입도 정보만을 취할 수 있는 two-step PCA 기법을 개발하였으며 LANDSAT-8 OLI 및 GOCI 센서에 적합한 계수를 각각 산출하였다.

셋째, 개발한 기법을 LANDSAT-8 OLI 및 GOCI 조간대 영상에 적용하여 실측 결과와 비교 및 검증하였으며, 이를 바탕으로 서해안 주요 조간대의 입도 분포 패턴 및 계절 변화 양상에 대한 초기 결과를 얻었다.

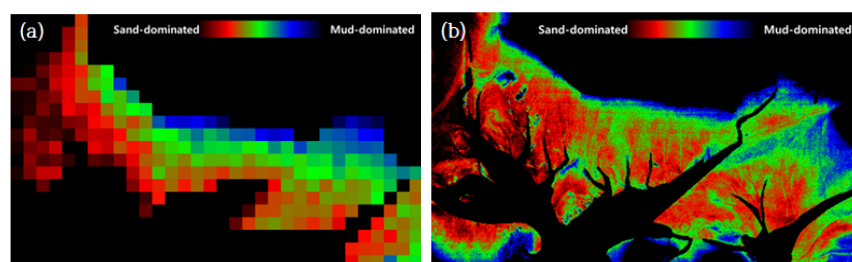


그림 112. Grain size distribution map constructed by applying the modified PCA to (a) GOCI and (b) LANDSAT-8 OLI data acquired on 11/03/2013.

(다) 결론

GOCI의 단파적외선(SWIR) 채널이 없음에도 조간대 퇴적물의 입도를 LANDSAT-8 OLI와 유사한 수준으로 구분할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 GOCI는 공간해상도는 낮으나 관측 범위가 넓고 정지궤도 위성의 특성상 영상획득률이 매우 높으므로 해상도가 높으나 재방문주기가 긴 LANDSAT-8 OLI나 SENTINEL-2와 같은 극궤도 위성과 상호보완적으로 활용할 수 있음을 확인하였다.

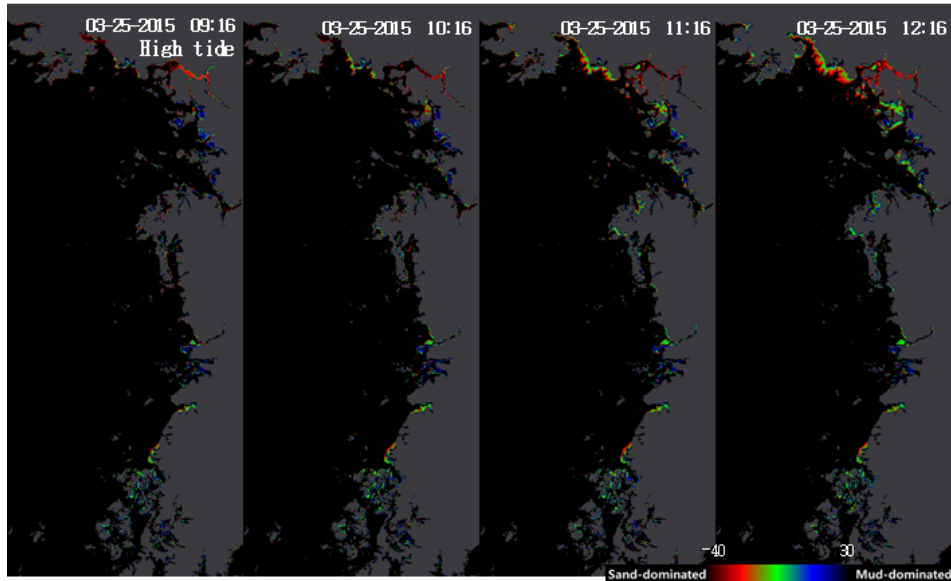


그림 113. Daily GOCI images of intertidal sediment grain size distribution in the west coast of Korea acquired on 03/25/2015 (KST 09:16 ~ 12:16)

강화도 조간대 및 서해안 주요 조간대에 대한 조사 결과 본 연구에서 개발한 Two-step PCA 기법은 조간대 퇴적물의 입도를 상대적으로 구분해 내는 데에는 매우 적합한 것으로 판단된다. 그러나 조간대의 표층잔존수(surface remnant water), 저서미세조류, 대기 보정 등의 영향으로 서로 다른 날짜에 촬영된 영상 간의 입도를 절대적으로 비교하는 데에는 한계가 있었다. 원격탐사로 조간대 퇴적물을 관측할 시 수반되던 문제점을 상당 부분 극복하였고 이를 통해 조간대 표층 퇴적물의 입도 정보를 광역적이고도 장기적으로 제공할 수 있는 가능성을 열었다. 그밖에 세계 최초의 정지궤도 해양 위성인 GOCI 이용한 연안 감시 기법 및 최종 산출물까지 제시한 선례를 남김으로써 향후 미국 및 유럽에서 발사 예정인 정지궤도 해양 관측 위성의 활용 방안에 대한 선도적인 입지를 구축하는 효과도 누릴 수 있을 것이다.

(3) 일차생산력

(가) 개요

광합성과 화학합성에 의해 식물이 무기물을 유기물로 바꾸는 생산을 일차생산 또는 기초생산이라 하며, 단위시간 동안 생성된 총 유기물질의 양을 일차생산(PP, Primary production)이라 부른다. 광합성을 하는 해양생물은 지구 전체 식물 생물량의 약 1% 밖에 차지하지 않지만 해양 생태계의 일차생산력은 지구 전체 생산력의 약 40%를 차지하는 것으로 알려져 있다 (Falkowski 1994). 이들 생산자에 의한 일차생산은 차 상위 단계 소비자의 생산력에 직접적인

영향을 주며 궁극적으로 어류 생산력을 조절할 수 있기 때문에 합리적인 수산자원관리와 보존을 위해서도 일차생산력은 반드시 알아야 할 중요한 기초자료이다. 또한 식물플랑크톤의 광합성은 인간활동의 증가에 의한 대기중에 증가된 이산화탄소 농도를 심해로 격리시키는 ‘탄소펌프’ 라는 기작을 통해 기후변화의 속도를 늦추는 역할을 하고 있다. 따라서 위성을 이용한 일차생산력 추산 알고리즘 개발은 해양생물자원과 기후변화 대응 연구에 있어 매우 중요한 분야 이다.

위성의 해색자료는 중규모 혹은 전 지구적 규모의 일차생산력 의 시공간적 변화를 파악하는데 중요한 기술적 진보를 가능케 하였다. 동해에서 위성을 활용한 일차생산력 연구는 2000년대 들어 본격적으로 진행되었다(Kameda & Ichizaka 2005; Yamada et al., 2005). Yamada et al.(2005)은 1998-2002년사이 위성기반 일차생산성은 러시아 연안, 일본분지 중앙, 남동수역과 남서수역에서 약 170, 161, 191, 222 gC m⁻²y⁻¹ 으로 추정되는 결과를 발표하였다. 2010년 이후에는 한국 학자들에 의한 위성을 이용한 동해의 일차생산력 연구가 활발히 진행되고 있다(Kwak et al., 2013; Joo et al., 2016). Kwak et al.(2013b)은 울릉분지 37° N 동서 관측 라인의 년 일차생산을 270 g C m⁻² year⁻¹ 추산하였다. 최근 2003년~2013년 MODIS 해색자료를 이용 계산된 동해의 일차생산력 연평균 값은 246.8 gCm⁻²y⁻¹로 추정되었다(Joo et al., 2016). 그러나 위성을 활용한 울릉분지의 일차생산력은 지역해 모델이 아닌 Berenf & Falkowski(1997)의 VGPM 모델이나 Kameda & Ichizaka의 KI 모델을 기반으로 추정되었다. 따라서 본 연구에서는 해색 위성자료를 이용하여 동해의 일차생산력을 추정하는 알고리즘을 개발하고자 한다. 특히 GOCI는 정지궤도 위성을 이용 기존의 극궤도 위성에 비해 공간적 해상력 뿐 아니라 시간적 해상력이 크게 향상된 일차생산 알고리즘 개발을 위한 기반연구를 진행하였다.

(나) 재료 및 방법

총일차생산(Gross photosynthesis or Gross Primary Production)은 단위 면적 또는 부피에서 단위시간 동안에 고정되는 탄소량의 속도로 정의 된다(Platt et al., 1988). 광합성은 msec(10-3 초) 단위에서 일어나지만 광합성 과정이 누적되어 생기는 일차생산은 초에서 년에 이르는 광범위한 시간 규모를 가진다. 어떤 해역의 일차생산을 추산하려면 각 점의 광합성 특성을 측정하여 수심별 광합성을 시간과 공간적으로 적분하여야 한다. 우리는 동해의 일차생산모델 개발을 위해 Behrenfeld & Falkowski(1997)의 VGPM 모델을 기반으로 2005년~2016년 사이 동해 울릉분지에 위치한 조사정점들에서 약 320회에 걸쳐 측정된 일차생산 현장자료를 이용 PBopt 알고리즘을 개발하였다(그림 114). 또한 울릉분지의 일차생산 장기변화 파악을 위해 2003년~2014년사이 MODIS 해색자료를 이용하여 월별 일차생산을 추산하였다. 또한 동해에서 이용된 Behrenfeld & Falkowski(1997)의 PBopt 알고리즘(식 15)및 Kameda & Ichizaka(2005)의 PBopt 알고리즘(식 16), 그리고 새로 개발된 울릉분지 알고리즘을 이용 월별 일차생산 추산 결과를 비교 하였다.

Berenfeld & Falkowski (1997)

: Vertically generalized production model(VGPM)

$$PB_{opt} = -3.27 \times 10^{-8} T^7 + 3.4132 \times 10^{-6} T^6 - 1.348 \times 10^{-4} T^5 + 2.462 \times 10^{-3} T^4 - 0.0205 T^3 + 0.0617 T^2 + 0.2749 T + 1.2956 \quad (\text{식15})$$

Kameda & Ishizaka (2005) : KI model

$$PB_{opt} = (0.071xT - 3.2x10^{-3}xT^2 + 3.0x10^{-5}xT^3) / Chl_{total} + (1.0 + 0.17xT - 2.5x10^{-3}xT^2 + 8.0x10^{-5}xT^3) \quad (식16)$$

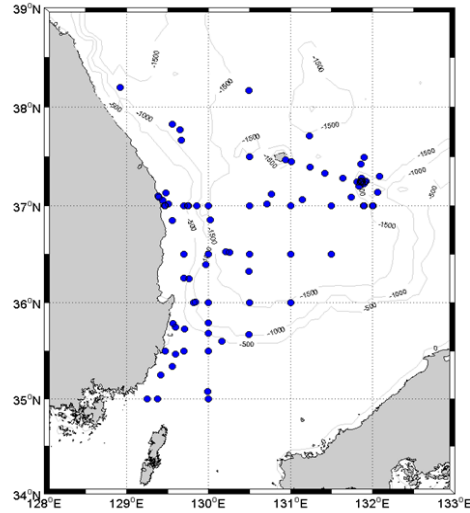


그림 114. 동해의 일차생산력 조사정점

(다) 결과

① 동해 울릉분지의 PB_{opt} 알고리즘 개발

동해 울릉분지에 위치한 일차생산 조사정점의 표층 수온은 8°C ~ 28°C의 범위를 나타냈으며 각 온도구간별 평균 PB_{opt} 값과 표준편차를 그림 115에 나타냈다. 일반적인 특징은 수온이 증가함에 따라 PB_{opt} 값이 증가하다 26°C 이상에서는 낮아졌다.

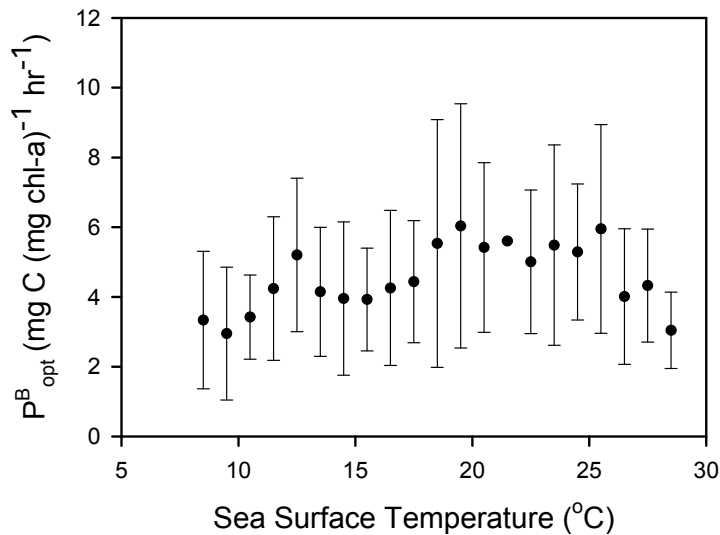


그림 115. 울릉분지에서 측정된 PB_{opt} 값의 평균 및 표준편차

현장 실험값을 이용하여 동해 울릉분지에 적합한 PB_{opt} 알고리즘은 그림 116 과 같으며 식17 을 구하였다.

$$P_{B_{opt}} = -1.90 \times 10^{-8} T^7 + 1.73 \times 10^{-6} T^6 - 6.19 \times 10^{-5} T^5 + 1.03 \times 10^{-3} T^4 - 6.86 \times 10^{-3} T^3 - 5.45 T^2 \times 10^{-3} + 4.17 T \times 10^{-1} + 1.22 \quad (\text{식17})$$

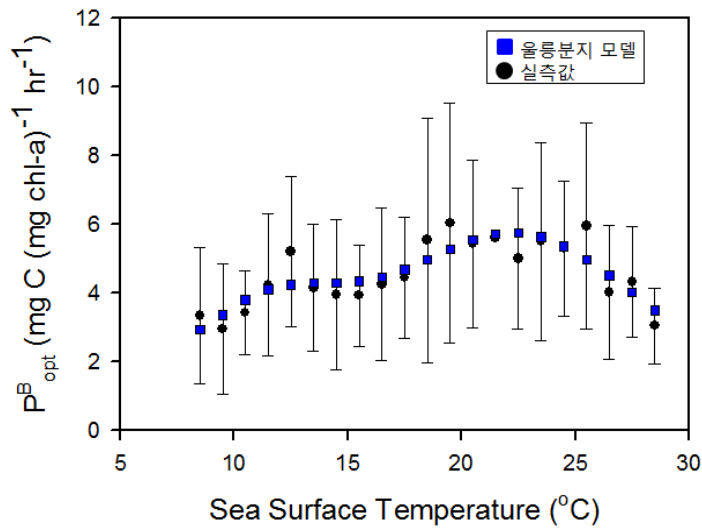


그림 116. 새로운 울릉분지 모델로 구한 P_{opt}^B 값.

현장 실험값을 이용하여 구한 동해 울릉분지의 $P_{B_{opt}}$ 알고리즘은 실측값과 잘 일치하고 있음을 나타냈다. 반면 VGPM 모델의 $P_{B_{opt}}$ 알고리즘 식은 울릉분지의 현장 측정값에 비해 높은 경향을 나타냈다(그림 117). KI 모델의 $P_{B_{opt}}$ 알고리즘 식은 울릉분지의 현장 측정값에 비해 낮은 결과를 보였다(그림 118). 이와 같이 동해의 일차생산 연구에 활용된 $P_{B_{opt}}$ 알고리즘은 실측값에 비해 높거나 낮은 생산력을 추산 할 수 있음을 나타낸다.

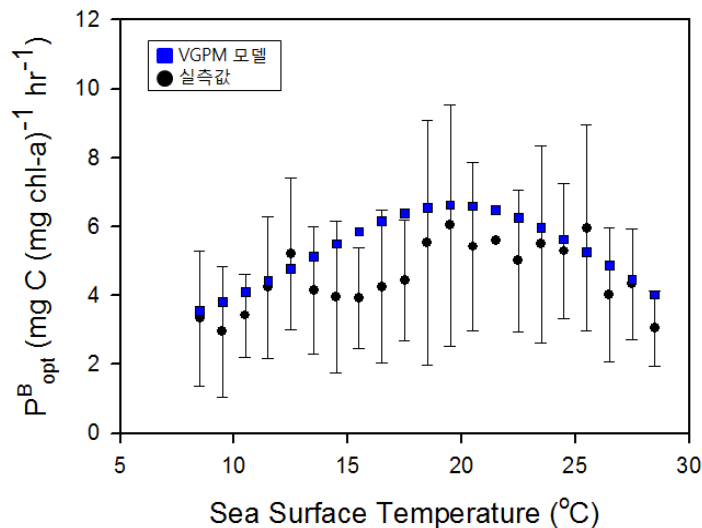


그림 117. 울릉분지의 P_{opt}^B 실측값과 VGPM모델로 구한 값의 차이

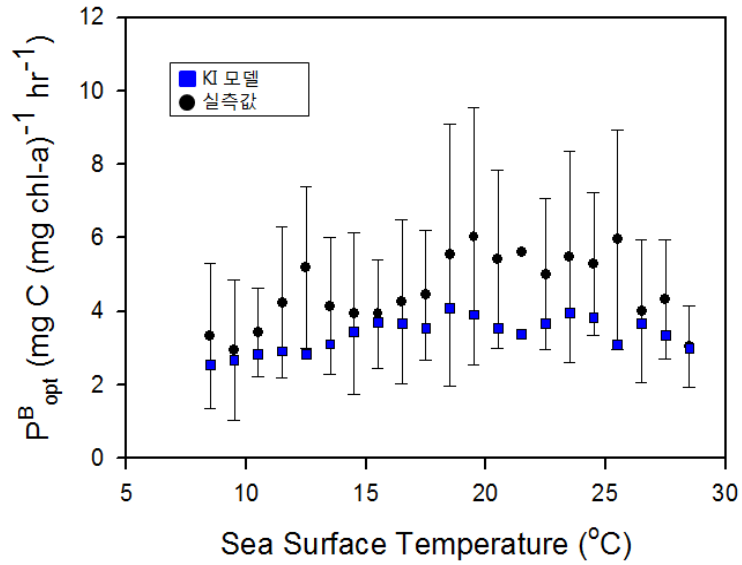


그림 118. 울릉분지의 P_{opt}^B 실측값과 VGPM모델로 구한 값의 차이

새로 개발된 울릉분지 P_{opt}^B 알고리즘을 VGPM모델에 적용하여 구한 2003~2014년 동해의 월별 평균 일차생산량 분포도를 그림 119에 나타냈다. 4월에 식물플랑크톤 증식에 의해 가장 높은 일차생산력을 나타내며 5월까지 유지된다. 하계에 낮은 일차생산은 10월과 11월에 증가하는 양상을 나타낸다.

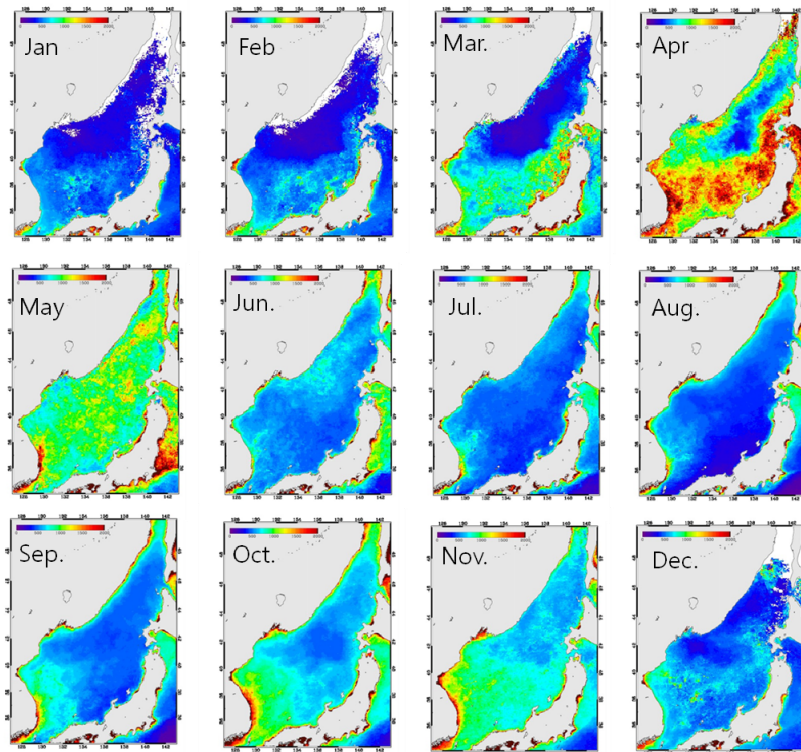


그림 119. 울릉분지 P_{opt}^B 모델을 VGPM모델에 적용시켜 구한 동해의 월별 일차생산 분포도.

새로 개발된 P^Bopt 알고리즘을 VGPM 모델에 적용시켜 구한 울릉분지의 월별 일차생산력은 각기 다른 결과를 나타냈다(그림 120). KI모델로 계산된 울릉분지의 일일 일차생산은 784.8mgC m⁻²d⁻¹로 가장 낮았고, 울릉분지 P^Bopt 알고리즘을 이용하여 구한 일차생산력은 851.7mgC m⁻²d⁻¹로 KI모델에 비해 높은 값을 나타냈다. VGPM 모델의 울릉분지 일차생산력은 957.3mgC m⁻²d⁻¹로서 가장높았다.이러한 차이는 실측값으로 구한 P^Bopt 알고리즘에 비해 KI P^Bopt 알고리즘은 낮고 VGPM P^Bopt 알고리즘은 높은값을 나타낸데 기인한다(그림 117, 118)

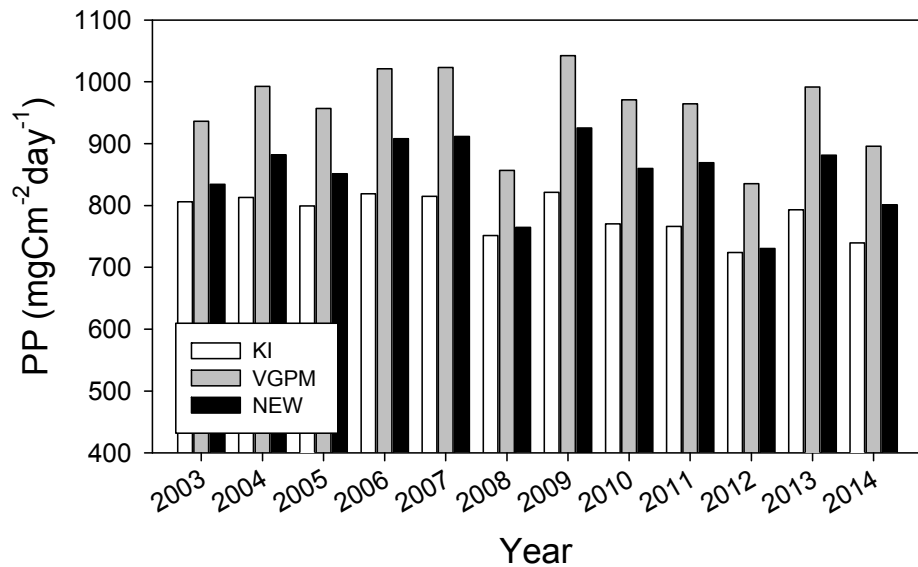


그림 120. 3가지 P^Bopt 알고리즘에 의한 울릉분지의 일차생산력 추산값 비교

(라) 결론

위성 해석자료를 이용한 동해의 일차생산은 주로 VGPM KI모델을 기반으로 추산되어왔다. 그러나 동해의 일차생산력에 대한 현장 실험자료를 이용한 연구가 없어 기존 모델의 적용이 적절한지에 대한 검토는 이루어진 바 없다. 따라서 동해 울릉분지의 표층에서 진행된 320개의 일차생산력 실험자료를 이용 P^Bopt 알고리즘을 개발하였으며 VGPM 모델에 적용하여 2003년~2014년 사이 월별 평균 일차생산력을 추산하였다. 울릉분지의 P^Bopt 알고리즘을 이용한 월별 일차생산력 평균은 851.7mgC m⁻²d⁻¹이며, VGPM모델은 이보다 높은 결과를 보이고 KI모델은 상대적으로 낮았다. 이는 기존모델의 적용이 과대나 과소의 추산값을 나타낼 수 있어 새로 개발된 울릉분지 P^Bopt 알고리즘을 적용한 일차생산력 모델을 이용한 산출물 생산이 필요함을 의미한다. 또한 일차생산력 모델에 필요한 위성자료 산출물인 소광계수인 Kd490 과 울릉분지 현장 산출자료인 KdPAR와의 관계에 기반한 소광계수 모델의 개발이 필요하며 이러한 단계를 거쳐 GOCI 활용에 적합한 울릉분지 모델의 개발이 필요하며 현재 GOCI II 기반의 산출물 생산을 위한 연구가 진행되고 있다.

(4) 고유광특성(IOP)

(가) 서론

해수원격반사도(remote-sensing reflectance: R_{rs})등의 외부광특성(AOP)는 엽록소 농도, 총부유사 농도 등 해수 구성성분의 종류와 농도에 따라 달라지게 된다. 이런 해수 성분의 흡광 및 산란지수를 해수의 고유광특성(IOP)라 부르며 구성 입자의 종류와 농도에 따라 그 값이 변한다. 즉, 해수 구성성분에 의한 R_{rs} 스펙트럼 형성 원리 및 해수 구성성분별 해수 광 환경 기여도 파악 등을 위해서는 IOP의 분석이 선행되어야 한다(그림 121).

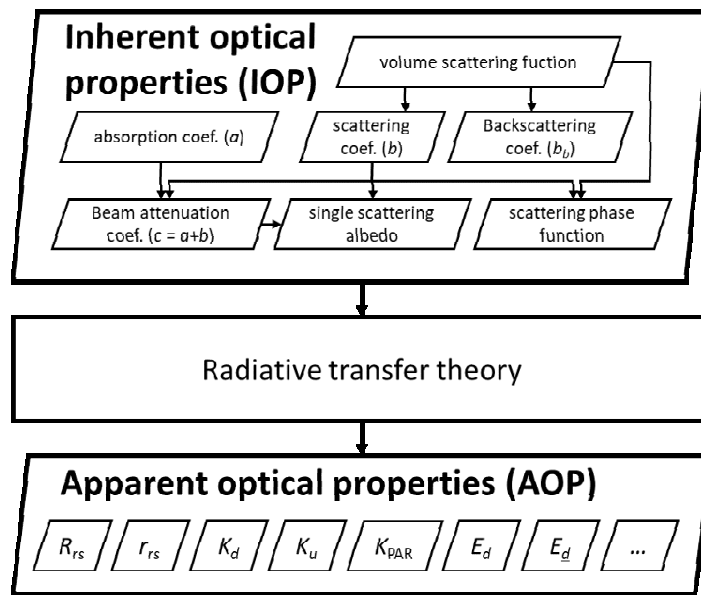


그림 121. IOP와 AOP

IOP 알고리즘을 통해 전체 해수 구성성분들 혹은 주요 구성성분들에 대한 흡광(a), 산란(b), 역산란지수(bb), 감쇄지수(c)를 모든 GOCI 파장대에 대하여 최종적으로 산출하게 된다. IOP는 단위 거리당 흡광/산란/감쇄 되는 정도를 지수로 나타낸 값이며 단위는 m^{-1} 이다.

(나) 방법

본 과제에 사용된 IOP 알고리즘은 반분석적(quasi-analytical algorithm: QAA) IOP 알고리즘의 첫 단계로 식(18), (19)와 같이 R_{rs} 를 해수표면아래 원격반사도 r_{rs} 및 IOP에 관한 모델로 바꿔 주는 과정을 거친다(Lee et al., 2014; 2009; 2002).

$$r_{rs} = R_{rs} (0.52 + 1.7 R_{rs}) \tag{식18}$$

$$\frac{b_b}{a + b_b} = \frac{-0.0895 + \sqrt{0.0895^2 + 0.4988 r_{rs}}}{0.2494} \tag{식19}$$

반분석적 IOP알고리즘은 다음 추가적인 4단계(그림 122)를 통해 r_{rs} 로부터 전체 모든 파장대 흡광지수(a)와 역산란지수(bb)를 산출해 낸다.

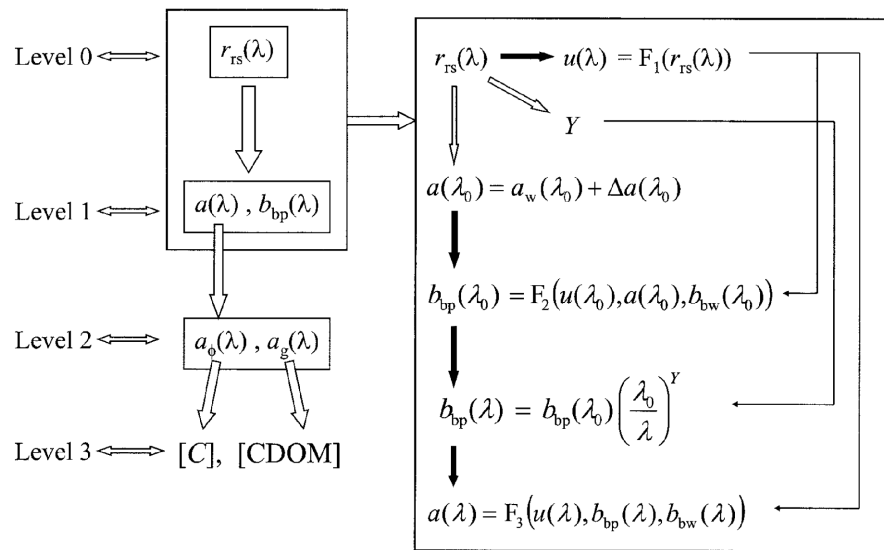


그림 122. QAA IOP 알고리즘의 간략 순서도(Lee et al., 2002).

우선 첫 단계로 탁도에 따라 중심파장(555nm 혹은 660nm)을 선정하여 해당파장대의 총 흡광 계수(total absorption coefficient: a)와 역산란계수(b)를 계산한다. 다음으로 중심파장대 역산란계수는 물에 의한 역산란계수와 부유입자의 역산란계수 (b_{bp})의 합이기 때문에 중심파장대 b_{bp} 를 계산하고 R_{rs} 반사도 비와 통계적인 상관관계를 가지는 부유입자 b_{bp} 스펙트럼 모델을 이용하여 모든 파장대를 b_{bp} 계산해 낸다. 다음으로 청색과 녹색파장대 R_{rs} 비율과 용해유기물 및 수중 쇄설물 입자의 흡광을 계산해 내고, 마지막 단계로 전체 흡광지수 대비 산출된 흡광지수의 잔차에 해당하는 엽록소의 흡광지수를 산출해 낸다.

(5) 탄소성유기입자(POC)

(가) 서론

최근 기후변화로 인해 전지구에 걸쳐 해수면 상승, 이상기후(폭염, 한파, 강력한 태풍 발생 등), 생태계 변화(해양생태계 변화), 산불, 가뭄 등으로 인해 식량과 물 부족의 현상이 나타나고 있다. 지속가능한 인류의 삶을 위해, 장기간의 지구관측 위성 데이터베이스 구축으로 대기-해양-육지 시스템의 변동성을 모니터링하고 이해하는 노력이 필요하다.

산업혁명에 의해 석탄, 석유와 같은 화석 연료 사용의 급증으로 이산화탄소의 배출이 크게 증가되었으며, 이와 함께 전지구 평균온도도 장기적으로 증가하고 있다(그림 123). 이산화탄소는 대표적인 온실가스로 대기권에 존재하는 기체 중에서 지구의 복사열인 적외선을 흡수하여 지구로 다시 방출함으로써 지구 대기의 온도를 증가시키는 역할을 한다.

해양은 대기의 온실가스인 이산화탄소 조절하는 중요한 조절자로 알려졌다. 해양의 식물성 플랑크톤은 광합성을 통해 지구 대기 중의 이산화탄소를 다량으로 흡수하며, 해양 동물들의 풍부한 먹이 역할도 동시에 수행하기 때문에 생태계 유지에도 큰 도움이 된다(그림 124). 일반적으로 식물성 플랑크톤이 번성한다는 뜻은 이산화탄소가 줄어들어 지구온난화 방지에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

해양에서 탄소는 용존 유기 탄소(DOC), 용존 무기 탄소(DIC), 탄소성 유기 입자(POC), 탄소성 무기 입자(PIC) 등 다양한 형태로 변환되어 존재한다. 이 중에서 POC는 입자성 유기물질 내

에 포함된 유기탄소를 일컬으며, 식물성 플랑크톤의 광합성 결과로 생성된 입자를 뜻한다. 광합성의 결과로 생성된 POC는 식물성 플랑크톤이 죽으면 사체 안에 포함되어 해저에 가라앉거나 먹이사슬에 의해 동물성 플랑크톤이나 상위 포식자에게 먹힘으로써 옮겨진다. 해양에 녹은 이산화탄소가 광합성을 통해 해양에 고정되고 심해로 가라앉아 대기로부터 이산화탄소가 격리(생물학적 펌프)되기 때문에 기후변화 모니터링을 위해서, 해양의 POC는 주요 관측 인자이다.

POC는 독립영양생물의 광합성 결과로 생성되고 종속영양생물에 의해 분해되므로 시공간 변이가 매우 크다. 그렇기 때문에 시공간적으로 시시각각 변하는 POC를 원격 탐사를 통해 정확히 파악하는 연구가 필요하다. POC의 변화를 이해하고 이를 토대로 해양의 탄소 수지를 정량화 할 수 있다면 더 나아가 기후 변화에 따른 해양의 탄소 변화를 예측할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 GOCI를 이용하여, 기후변화와 탄소순환에 중요한 POC를 추정하였다. 본 연구에서는 해색위성인 GOCI 자료를 활용하여 기존의 선행연구에서 유도된 알고리즘을 이용해 POC를 계산하고, 계산된 값을 이용해 우리나라 주변 해역에서 현장 측정된 POC 값과 비교, 분석하여 선행 알고리즘의 성능을 평가하였다.

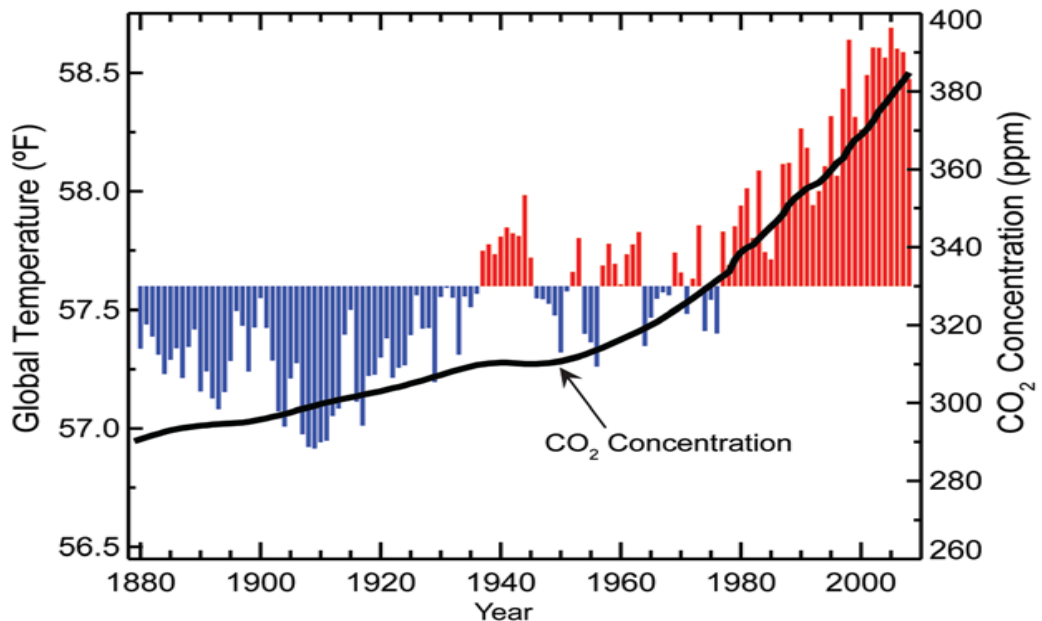


그림 123. 육지와 해양에서 관측된 지구평균온도 변화: 빨강(파랑) 히스토그램은 1901년~2000년 평균온도 이상(이하)의 온도를 나타내며, 검은색 실선은 대기 중의 이산화탄소 농도(ppm)를 나타냄

<https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php>

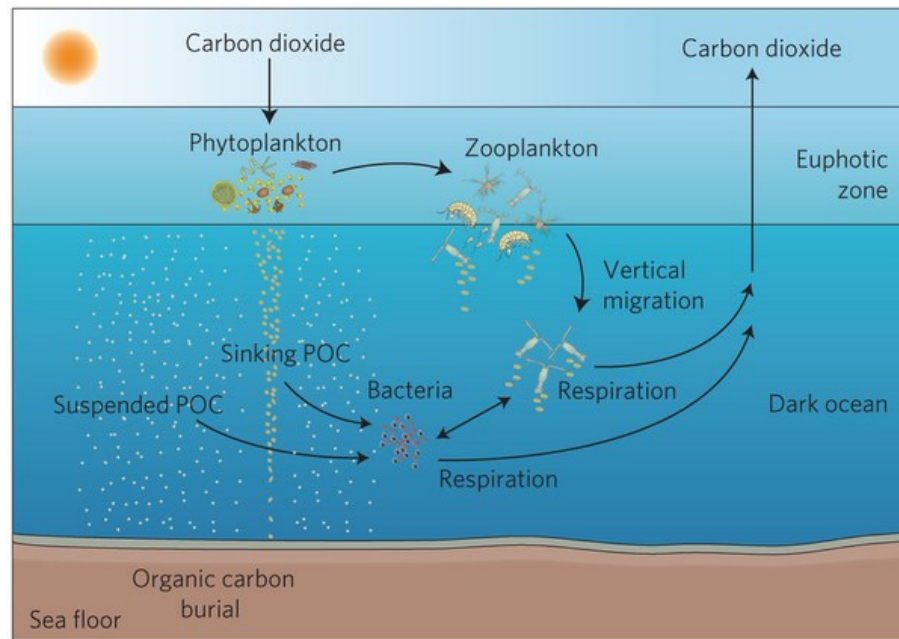


그림 124. 플랑크톤과 박테리아에 의한 해양의 탄소순환과 식물성 플랑크톤에 의한 생물학적 펌프(Herndl et al., 2013)

(나) 자료 및 방법

① POC 알고리즘

본 연구에서는 Stramski et al.(2008)에서 개발된 POC 알고리즘을 사용하였다. Stramski et al.(2008)은 동서태평양과 동대서양에서 현장 측정된 POC 자료와 동시에 측정한 현장 원격반사도를 관련지어 상관관계를 구하였다. 해양의 POC를 원격탐사로 측정하는 방법은 POC를 생산하는 플랑크톤이 광합성을 할 때 청록색 파장대의 빛을 흡수한다는 점을 고려하였을 때 blue-to-green 반사율의 비율로부터 추정할 수 있다. 그림 125에서 볼 수 있듯이 POC를 원격반사도의 blue-to-green 비율인 $Rrs(\lambda)/Rrs(555)$ 와 비교하였다. 비교 파장대는 443nm, 490nm, 510nm과 각 파장대의 최고값인 MBR을 선정하였다. 표 13에서는 그림 125를 바탕으로 오차 통계를 정리한 결과값이다. POC와 원격반사도 비율을 비교하였을 때, 표 13에서 볼 수 있듯이 세 가지 파장대 모두 결정 계수(determination coefficient, R^2)가 0.9에 가까운 값을 가지는 것을 볼 수 있다. POC와 $Rrs(443)/Rrs(555)$ 의 관계 분석을 보면, mean normalized bias(MNB)가 2.26%이고 normalized root mean square error(NRMS)가 21.68%를 가지는 것을 볼 수 있다. $Rrs(490)/Rrs(555)$ 에서도 이와 비슷한 오차를 가지는 것을 볼 수 있다. POC와 $Rrs(510)/Rrs(555)$ 의 관계에서는 root mean square error (RMSE)는 443nm, 490nm 보다는 낮지만 MNB, NRMS 값이 두 파장대보다 큰 것을 확인할 수 있다.

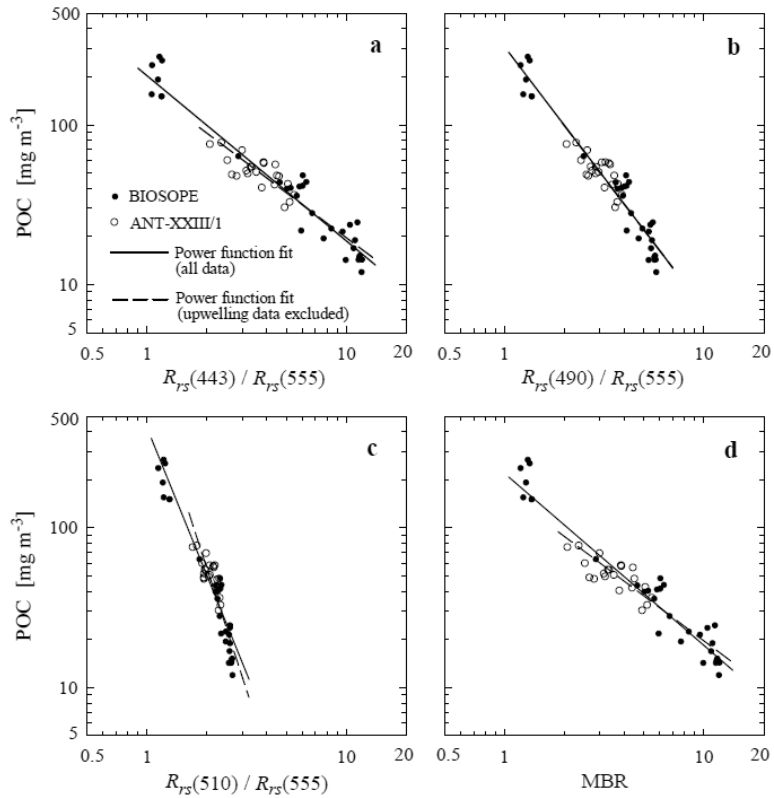


그림 125. 현장 측정된 POC와 현장 측정한 원격반사도의 blue-to-green band 비율 간의 관계. 빛의 파장대는 각각 (a) 443nm, (b) 490nm, (c) 510nm, (d) 세 가지 파장대에서 나타나는 비율의 최대값(maximum band ratio, MBR)이며 실선은 모든 관측 지점 데이터에 대한 power function fit 이고 점선은 관측 지점 중 칠레 용승 지역을 제외한 기울기(Stramski et al., 2008)

표 12. 오차 통계학 계산에 사용된 수식들. P_i 는 regression fit으로부터 예측되는 변수, O_i 는 측정된 값, \bar{o} 는 측정값의 평균, N 은 측정값의 개수, m 은 fit coefficient의 개수. R^2 는 determination coefficient, RMSE는 root mean square error(mg m^{-3}), MNB는 mean normalized bias (%), NRMS는 normalized root mean square error(%), N 은 관측 자료의 개수, m 은 추정값의 개수(Stramski et al., 2008).

Determination coefficient	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$
Root mean square error	$RMSE = \left[\frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$
Mean normalized bias	$MNB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_i - O_i}{O_i} \right) 100$
Normalized root mean square error	$NRMS = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_i - O_i}{O_i} - \frac{MNB}{100} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} 100$

표 13. 그림 124에 제시된 POC와 band 비율을 토대로 개발된 알고리즘의 오차(POC 단위는 mg m^{-3} 이며 A_1 과 B_1 은 regression coefficient임(Stramski et al, 2008))

POC = $A_1[\text{Rrs}(\lambda_B)/\text{Rrs}(555)]^{B_1}$ for all data:

Rrs(λ_B)/Rrs(555)	A_1	B_1	R^2	RMSE [mg m^{-3}]	MNB [%]	NRMS [%]	N
Rrs(443)/Rrs(555)	203.2	-1.034	0.871	21.29	2.26	21.68	53
Rrs(490)/Rrs(555)	308.3	-1.639	0.906	18.38	2.28	21.71	52
Rrs(510)/Rrs(555)	423.0	-3.075	0.900	18.75	3.22	26.72	53
MBR	219.7	-1.076	0.845	23.54	2.51	22.84	52

이를 바탕으로 Rrs(443)/Rrs(555), Rrs(490)/Rrs(555)값이 POC 알고리즘 개발에 적합하다고 보고하였다.

$$POC = 203.2 \times \left(\frac{Rrs(433)}{Rrs(555)} \right)^{-1.034} \quad (\text{식20})$$

$$POC = 203.2 \times \left(\frac{Rrs(490)}{Rrs(555)} \right)^{-1.034} \quad (\text{식21})$$

수식 (20)과 (21)는 Stramski et al.(2008)에서 개발된 POC 알고리즘이다. MODIS에서 배포하는 전지구 POC 생산물은 수식 (20)을 사용하여 계산된 결과이다. 본 연구에서는 이 두 가지의 알고리즘을 사용하여 비교, 분석하였다.

② POC 측정 방법

본 연구에서는 GOCI 위성 자료를 위 POC 알고리즘을 이용하여 GOCI POC를 추정하고, 현장에서 측정한 POC와 비교, 분석하였다. POC 현장 관측은 2012년부터 2015년까지 동해 서남부해역에서 2012년 3월, 7월, 10월, 2013년 1월, 3월, 5월, 6월, 8월, 9월, 2014년 4월부터 11월, 2015년 4월, 5월, 7월, 9월, 10월에 걸쳐 이루어졌다. 현장관측 자료는, 부산대 이상현 교수 연구팀이 제공하였으며, 연도별 조사 위치는 그림 126에 표시하였다. GOCI와 비교 가능한 현장 측정 POC 샘플 수는 2012년 27개, 2013년 19개, 2014년 7개, 2015년 36개이다.

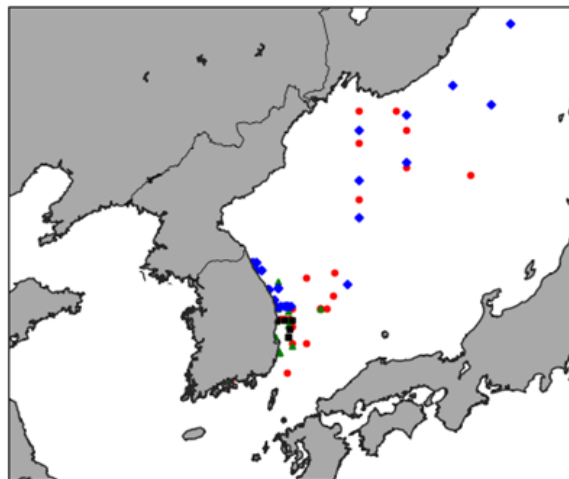


그림 126. POC 현장 측정이 이루어진 위치: 2012년(빨간색), 2013년(녹색), 2014년(검정), 2015년(파랑색)

해수에 존재하는 POC를 측정하는 방법은 다음과 같다. 먼저 Niskin bottle이 달려있는 CTD/Rosette cast로 해수를 채취하고 채취한 해수를 450 °C에서 4~5시간 연소하여 유기물을 제거한 25mm GF/F glass-fiber filters로 여과한다. 이 여과지는 냉동실에 보관 후, 실험실로 옮겨져 오븐에서 55 °C로 건조하였다. 건조된 여과지에 0.25mL 10% HCL를 가하여 무기탄소를 제거하고 다시 오븐에서 건조한 후, CHN 분석기로 유기탄소의 양을 분석하였다. 전 처리는 되었지만 해수를 거르지 않은 필터는 Blank filter로써 거르는 과정을 제외하면 동일하게 처리하여 필터의 유기탄소 양을 측정하는데 사용한다.

(다) 결과 : 현장 측정 POC를 이용한 GOCI POC 추정값 검증

현장 측정 POC와 GOCI 위성 자료를 동시간대 비교하기 위하여 현장 측정 시간에 맞게 GOCI 자료를 선별하였다. 아침 9시 이전, 낮 4시 이후에 현장 측정된 POC는 동시간대 비교를 할 수 없으나, 샘플수가 부족하기 때문에 9시 이전의 관측 값은 같은 일자의 GOCI 오전 9시 자료와 낮 4시 이후의 관측 값은 같은 일자의 GOCI 낮 4시 자료와 비교하였다. 또한, 대기보정을 통해서 정확도가 낮아질 수 있는 픽셀들은 제거하였다. 그런 다음 현장 측정된 위치와 가장 근접한 GOCI 위·경도 좌표를 찾고 그 위치를 중심으로 총 9개의 픽셀값을 평균하였다. 이러한 필터링 과정을 거쳐 유효하게 남은 날짜들을 표 14에 나타내었다. 표 14에서 굵게 표시된 날짜는 동시간은 아니지만 GOCI 9시 관측과 비교한 날짜들이다. 이 날짜의 GOCI 자료를 이용하여 POC 알고리즘으로 GOCI의 POC를 계산하였다.

그림 127은 GOCI에서 관측하는 파장대에 따른 원격반사도를 나타는 그림이다. 2012년 10월 19일 오전 9시, 24일 오전 9시, 26일 오전 11시에 관측된 원격반사도이다. 해당 날짜의 현장 측정 POC와 가장 근접한 GOCI의 위치의 원격반사도를 나타내었다. 그림 안의 POC는 수식 (20)을 이용하여 해당 지점의 GOCI POC를 계산한 값이다. 그림 127에서 볼 수 있듯이 555nm 이후로는 세 지점에서의 원격반사도가 비슷한 값을 가지나 555nm 이하인 파란색 파장대는 편차가 큰 것을 확인할 수 있다. POC값이 큰 지점일수록 파란색 파장대의 빛이 많이 흡수되어 원격반사도값이 적어진다. POC값이 작은 지점은 흡수되는 빛이 적어 파란색 파장대의 원격반사도가 큰 것을 볼 수 있다.

표 14. GOCI 자료와 일치된 현장 측정 POC의 측정 날짜와 시간. 파랑색으로 표시된 부분은 샘플 오전 9시 GOCI자료를 이용함

year	month	day	time	year	month	day	time
2012	7	25	10:10	2014	7	30	10:43
	7	25	14:35		7	31	11:40
	7	25	16:05		2015	4	23
	10	19	8:30	4		30	13:00
	10	24	9:20	5		24	11:20
	10	26	11:30	5		6	12:20
2013	3	11	12:35	7		20	9:15
	5	30	14:00	9		20	12:16
				9	22	10:30	

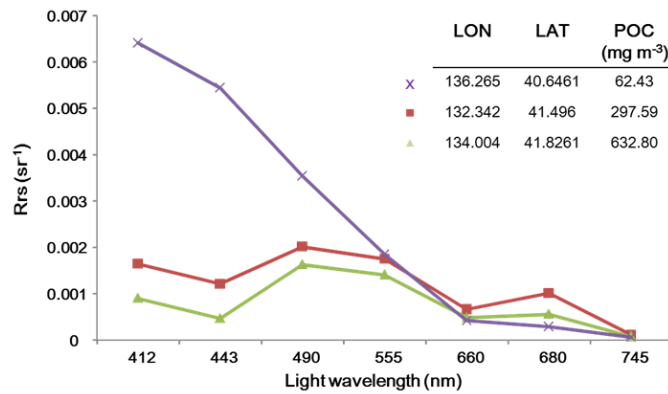


그림 127. GOCI의 관측 파장대에 따른 원격반사도. 차례대로 2012년 10월 26일 오전 11시 (보라색 가위), 19일 오전 9시(빨간색 사각형), 24일 오전 9시(연두색 삼각형)의 관측값. LON, LAT, POC는 해당 날짜의 현장 측정 위치와 가장 근접한 GOCI 위도, 경도, 해당 지점의 GOCI POC.

POC 알고리즘을 사용하여 계산한 GOCI POC와 현장 측정 POC를 비교한 결과를 그림 128에 나타내었다. 그림 129의 왼쪽 그림은 현장 측정 POC와 수식 (20)을 사용하여 계산된 GOCI POC를 비교한 그림이고 오른쪽 그림은 수식 (21)를 사용하여 계산된 GOCI POC를 비교한 그림이다. 그림에 나타나는 빨간색 점은 2012년 10월 19일, 노란색 점은 2015년 4월 23일로써 샘플을 늘리기 위해 GOCI 오전 9시 관측과 비교한 날짜로 10월 19일은 +1 시간, 4월 23일은 +3 시간 된 날짜이다. 두 수식의 오차 통계를 표 15에서 나타내었다.

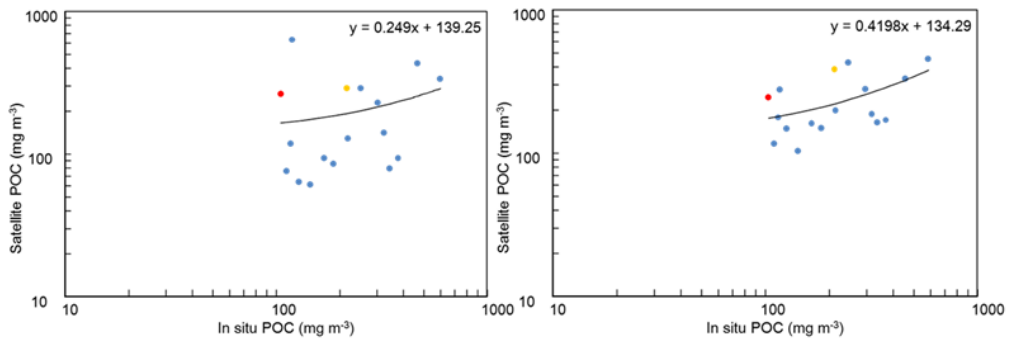


그림 128. 현장 측정 POC와 POC 알고리즘으로 계산된 GOCI POC. 빨간색 점은 2012년 10월 19일, 노란색 점은 2015년 4월 23일로써 측정 시간과 각각 +1h, +3h 차이가 있는 샘플. 왼쪽은 R_{rs}(443)을 사용한 알고리즘 수식, 오른쪽은 R_{rs}(490)을 사용한 알고리즘 계산. 그래프 안의 수식은 각각의 linear regression 수식

표 15. POC 알고리즘에서 R_{rs}(443)과 R_{rs}(490)를 사용하여 나타낸 GOCI POC를 현장 측정 POC와 비교한 오차. 차례대로 correlation, R², RMSE, MNB, NRMS 값.

R _{rs} (λ)/R _{rs} (555)	Corr	R ²	RMSE(mg m ⁻³)	MNB(%)	NRMS(%)
R _{rs} (443)/R _{rs} (555)	0.22	0.32	112.11	-1.1	36.19
R _{rs} (490)/R _{rs} (555)	0.53	0.24	119.29	19.36	54.69

선행연구의 알고리즘으로 계산한 GOCI POC를 현장 측정 POC 값과 비교하여 나타낸 오차가 표 15에 제시되었다. Rrs(490)을 이용한 알고리즘은 위성 POC 추정값과 현장관측 POC의 Correlation이 약 0.53으로 양의 값으로 나타난다. 두 가지 알고리즘으로 계산한 GOCI POC의 오차를 확인하기 위해 현장 측정된 POC와 각각의 회귀식으로 계산되어 구해진 POC를 비교하였다(그림 128). 전반적으로 위성에서 추정된 POC는 현장관측 POC에 비해 과소추정하는 경향이 있으며, Rrs(490)을 사용한 경우 보다 Rrs(443)을 사용한 경우 과소추정 경향이 더 심한 것을 보여준다. 본 연구에서 사용된 많은 관측점들은 연안지역에 위치하고 있어, GOCI의 대기보정과정에서 원격반사도를 계산할 때 불확실성이 있으며, POC의 불확실성을 유도할 수 있다. 특히, 490nm에 비해 443nm 원격반사도를 이용하는 POC 알고리즘이 과소모의하는 경향이 심한데, 이것은 GOCI의 Slot 경계 오른쪽에서 Blue band 값이 높게 나오는 경향과 상관이 있을 것으로 생각된다.

현재 연구에서는 GOCI의 원격반사도 이용 선행 알고리즘을 사용하여 POC를 추정하였다. 선행 알고리즘 Stramski et al.(2008)에서 사용된 현장관측 지점의 경우 동태평양 및 대서양의 원해를 다수 포함하고 있어, 본 연구에서 검증에 이용된 연안 지역과 원격반사도-POC의 관련성이 다를 수 있다. 추후 연구에서는 우리나라 해역의 현장관측 원격반사도와 현장관측 POC를 이용한 우리나라 해역에 고유화된 알고리즘 개발이 필요할 것이다. GOCI에서 GOCI-II 관측 기간동안 장기간의 POC 알고리즘 구축은, 우리나라 영토 내 기후변화에서 해양의 역할, 탄소순환 연구에 중요한 자료 됨으로 지속적인 알고리즘 개발이 필요하다.

(6) 중규모 해양변동특성

(가) 서론

GOCI 이전의 해색위성 자료로는 조석의 영향을 많이 받는 우리나라 서해·남해 연안의 변동과 해수면에서 나타나는 중규모 해양 현상들을 분석하는 것이 가능하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 정지위성 해색자료를 활용하여 동해 중규모소용돌이의 물리적 기작을 분석하고, 한반도 연안 해양환경 모니터링을 통해 한반도 연안 부유사의 농도와 클로로필-a 농도의 공간 분포 및 중·단기 시간적 해양변동성을 분석하여 정량화함으로써 한반도 연안 해양환경의 중·단기 변동과 관련된 물리-생지화학적 과정을 이해하고, 연안 해양환경에 영향을 주는 해양-대기-육상 상호작용을 이해하고자 하였다.

(나) 본론

정지궤도 위성 해색자료와 다양한 해양 실측 자료 및 수치 모델 자료를 활용하여 한반도 남서해안 부유사 농도의 시·공간적인 변동 특성을 분석하고, 동해 중규모 소용돌이에 영향을 미치는 물리-생지화학적 과정을 이해하며, 해색자료의 질 향상을 위하여 스펙클의 특성을 파악하고 제거하기 위해 아래와 같이 연구 개발 내용 및 범위를 정하였다.

- GOCI 영상을 활용한 한반도 남서해안 부유사 농도의 시공간 변동성 파악
- 최대상관계수 기법을 활용한 연안 부유사 농도의 이동 벡터 산출
- 수치조류모델자료를 활용한 부유사 농도 변동성에 조석이 미치는 영향 연구
- 조석 이외에 부유사 농도 변동성에 영향을 주는 물리적 환경 분석
- GOCI 부유사농도 영상에 나타나는 스펙클의 형태와 특성 분석
- 스펙클의 특성에 따른 부유사 스펙클 제거 기법 개발
- 최대상관계수 기법으로 동해 중규모 소용돌이 내부의 해류 벡터를 산출

- 중규모 소용돌이 내부 해류벡터 크기의 방사상 구조 및 일변동 특성 연구

(다) 결론

2011년 4월 28일의 자료에서 부유사는 근해에서 외해로 갈수록 그 값이 작아져 깊이에 따른 함수로 보면 역함수 관계를 나타내었다. 각 위치에서 하루 중 시간에 따라 농도가 변화하였다. 각 시간에 따라 부유사 농도의 전선 영상을 서로 뺀 경우 전선의 위치가 바뀌는 것을 확인할 수 있었는데 이는 부유사 농도가 수평 성분으로 이동을 하는 것을 의미한다.

GOCI 부유사농도 자료에 나타나는 스펙클을 분석하였다. 스펙클의 형태적 특성에 따라, 구름 주변부, 패치타입, 고립된 한 점으로 세가지 경우로 분류하였다. 이런 스펙클을 제거하기 위하여 두 단계의 뉴럴 네트워크 기법으로 이루어진 스펙클 제거법을 개발하였다. 스펙클 제거 기법을 적용한 결과 부유사농도 위성자료의 질이 향상되었다. 각 스펙클의 생성원인은 완전히 제거되지 않은 구름, 태양반사, 위성 밴드별 관측 중 작은 구름의 이동에 의한 것으로 추정된다.

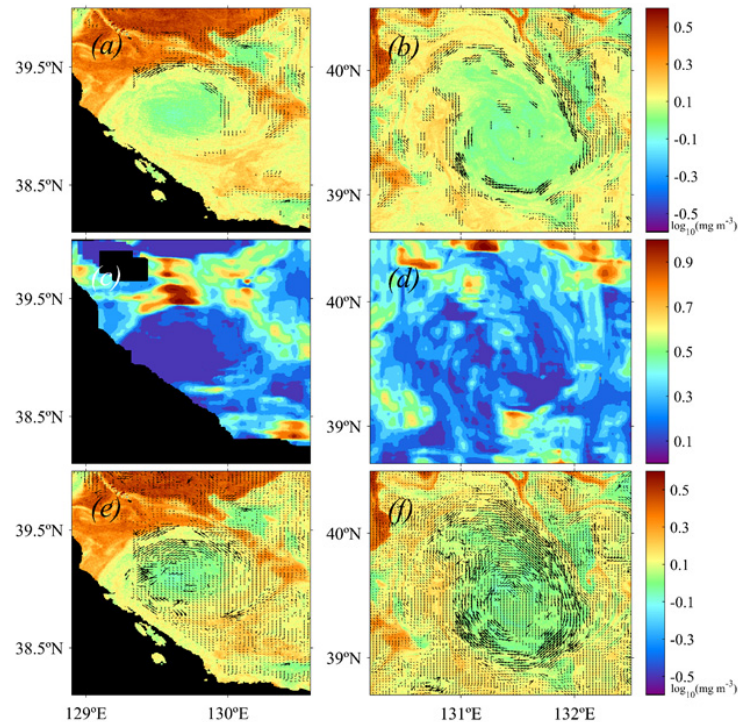


그림 129. 2011년 3월 31일 클로로필-a 영상에 나타난 한 소용돌이에 대하여 (a) 고정된 임계값 조건을 적용한 해류벡터 산출, (c) 각 픽셀에서의 기각역, (e) 동적 한계 조건을 적용한 해류벡터 산출. (b), (d), (f) 같은 날 다른 소용돌이에 대한 벡터 산출 결과.

동해에서 나타나는 중규모 소용돌이(mesoscale eddy)의 내부구조와 물리-생지화학적 작용을 이해하기 위하여 NMCC 방법을 통해 연속적인 GOCI 클로로필-a 농도 영상으로부터 소용돌이 내부의 표층 해류벡터를 계산하였다. 계산된 해류 벡터는 상관계수의 동적 한계를 적용해 소용돌이 내부에서도 산출될 수 있도록 하였다. 이를 통해 타원의 중심 좌표, 회전각, 이심률, 장반경과 단반경, 그리고 타원의 평균반경을 계산하였다. 소용돌이 내부의 표층 해류 속도는

중심에서 가장 약하며 중심으로부터 가장자리로 갈수록 강해지다 다시 약해지는 구조를 보였다. 하루 중 소용돌이 내부의 해류 속도 구조는 시간에 따라 변화하였다.

(7) 한국연근해 정착성 저어류 잠재생산력 평가

(가) 서론

연안지역의 기초 생산력의 경우 지구온난화 뿐만 아니라 육상으로부터의 영양염 유입 변동, 인위적인 구조물 건설 등으로 인한 생지화학적 변화에 동시에 영향을 받음으로써 기초생산력 변동 원인 규명 및 예측에 어려움이 있기 때문에 체계적이고 다각적인 대책 마련이 필요하다. 국내외의 기후변화에 따른 영향, 취약성 및 리스크 관련 연구를 파악하고, 국내 적용성 검토를 하여 우리나라의 기후변화 영향, 취약성 및 리스크 평가에 적합한 해양분야 평가모형을 구축하고자 하였다.

(나) 본론

생체량 크기 스펙트럼(Biomass Size Spectrum: BSS) 모델을 개발하여 GOCI 위성자료의 클로로필 a 농도 자료로 추정된 식물플랑크톤 크기별 생체량 분포로부터 정착성 저어류 잠재생산력을 평가하고 예측하였다. 식물플랑크톤 크기별 생체량 자료를 검증하고 이를 토대로 식물플랑크톤 잠재생산력과 수산생물 저어류 현존량과 잠재생산량을 예측할 수 있는 방법을 개발하고, 주요 해역별로 정착성 저어류 잠재생산량과 어획강도를 평가하였다.

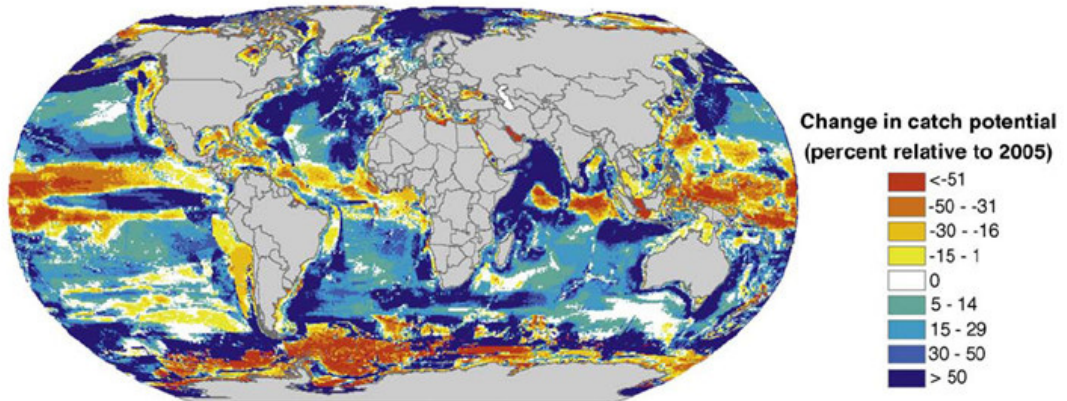


그림 130. 기후 변화가 캘리포니아 해류 일차생산과 해양생태계에 미치는 영향. 연안의 일차생산 증가, 연어 자원의 감소, 오징어류 증가 등이 예측됨(Barange et al., 2010).

(다) 결론

생체량사이즈 모델 수행을 위해서는 먼저 위성영상으로 플랑크톤의 농도를 분석해야한다. 해양위성센터에서 제공하는 GOCI 위성자료의 클로로필 a 농도 자료를 기반으로 식물플랑크톤 사이즈별 생체량 분석하였다. 위성자료로 분석이 가능한 Size-fractionated filtration(SFF) 방법이 적용된 GOCI 데이터 플랑크톤 크기 등급(PSC) 알고리즘 방법론을 이용하여 마이크로(20 μm), 나노(2 μm), 피코(0.2 μm)사이즈 별 식물플랑크톤 생체량 분포 산출했다. 샘플 파라미터 추정을 위해 북서태평양, 인도양 호주 근방의 수심 0~10m에 해당하는 총 1922개 HPLC 데이터 세트를 수집하고, QC 및 통계적인 보정을 처리하였다.

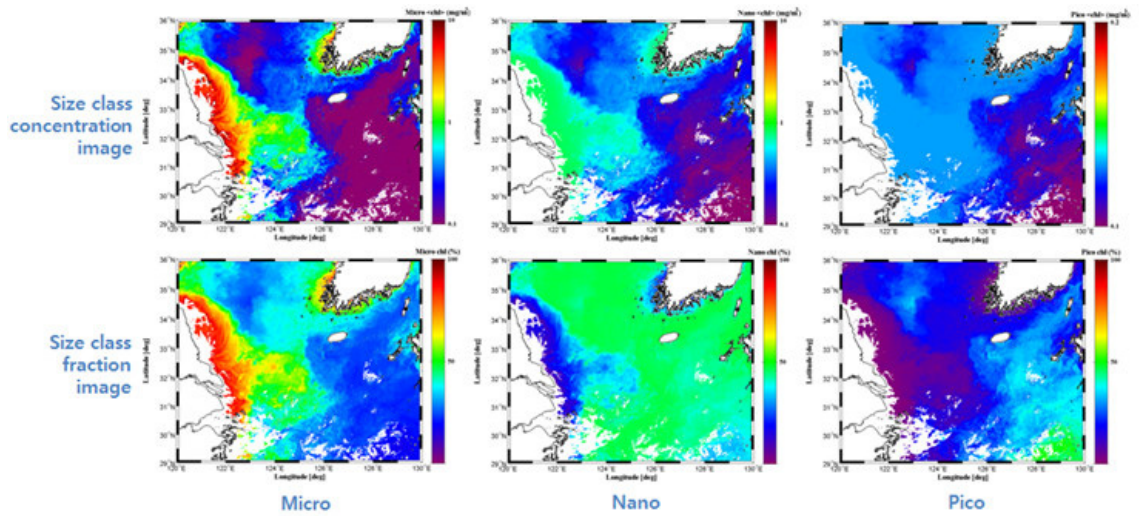


그림 131. 샘플 GOCI 데이터를 이용한 시계열 PSC 분포 산출 결과

샘플 파라미터 추정 및 샘플 GOCI 데이터를 이용한 시계열 PSC 분포 산출하였다. 샘플 추정 결과 Micro phytoplankton이 연안에 우점하고 Pico phytoplankton이 대양에 우점하는 것이 잘 묘사되었다. GOCI 위성자료의 클로로필 a 농도 자료를 기반으로 식물플랑크톤 사이즈별 생체량 분포 산출 과정의 체계화하여 위성자료로부터 결과산출까지의 시간 단축할 수 있었다.

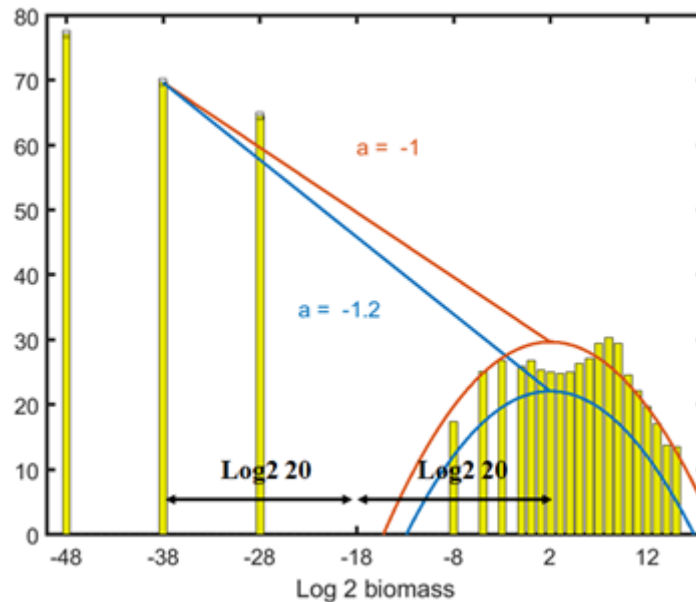


그림 132. BSS 모델로 추정된 어류의 생체량과 관측된 어류의 생체량

어류의 생체량을 추정하기 위한 기울기는 일반적으로 -1 또는 -1.2를 (Thiebaut & Dickie 1992) 사용한다. 실제 수집한 어류의 체장별 생체량 데이터를 산출하였으며 이를 추정된 BSS 모델의 값과 비교하였다. 본 연구에서 수집한 어류의 체장별 생체량 자료는 BSS 모델에서 기울기를 -1로 했을 때와 더 가까운 분포를 보였다.

(8) 에어로졸

(가) 서론

GOCI 에어로졸 광학특성 산출물의 높은 시간 해상도는 대기질 모델의 초기조건 정확도를 개선하여 PM10 과 PM2.5 예보의 정확도를 높이는데 기여하였다. 지상관측자료와 기존 GOCI-I 에어로졸 광학특성 산출 알고리즘 산출물을 비교 한 결과 밝은 지표의 오인 등의 한계점이 드러났다. 이에 지표면 반사도 산출 정확도 개선, 구름 제거 개선, 그리고 준 실시간 산출 적용을 목표를 알고리즘을 고도화 하고자 하였다.

(나) 본론

에어로졸 산출 알고리즘 각 부분마다의 개선을 통해 GOCI AOD의 정확도를 높이기 위한 연구를 수행하였다. 구름 제거와 지면반사도 개선, 사용하는 채널 선택의 변경 등의 수정을 하였다. 기존 구름제거 알고리즘에서 발생하는 높은 반사도의 지표를 구름으로 오인하는 등의 문제점을 해결하기 위해 구름 제거 과정을 수정하였다.

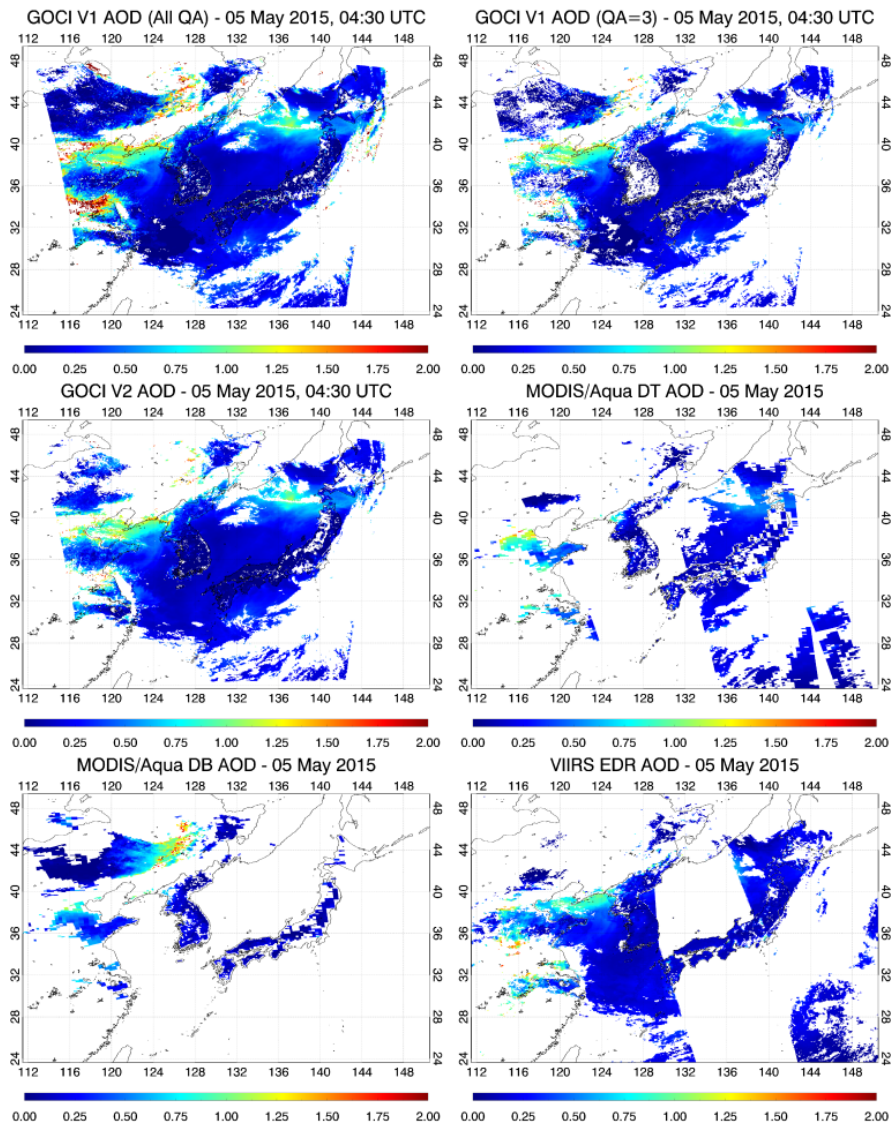


그림 133. 동북아시아 2015년 5월 5일의 AOD 분석영상.(GOCI V1 all QA, GOCI V1 QA3, GOCI V2, MODIS/Aqua DT, MODIS/Aqua DB, VIIRS EDR 알고리즘)

지면반사도 값을 산출하기 위해 연도에 상관없이 지면반사도의 기후 값을 월별/시간별/픽셀별/과장별로 산정하였다. 기존의 매년 매월 30일의 자료에서 5년 동안의 같은 달 자료로 샘플을 늘렸다. 공간해상도도 기존의 6km 해상도가 아닌, 500m 해상도로 만들면서, 지면반사도의 공간적 비균질성을 반영하였다. 해수면 풍속 기후 값을 산정하고 지면의 유형별로 활용할 채널을 설정하여 AOD 값의 개선을 도모하였다. 그리고 기존 알고리즘과 타 위성자료와의 비교를 통해 GOCI AOD의 품질 개선을 분석하였다.

(다) 결론

단순히 AERONET AOD와 GOCI AOD를 1:1로 비교하여서 검증하였을 때 전반적인 검증지수에서 향상됨을 확인할 수 있었다. 기본적으로 GOCI V1 land AOD에 비해 GOCI V2 land AOD에서 지면반사도의 향상되었다. Land AOD의 negative bias와 Ocean AOD의 positive bias가 모두 줄어드는 양상을 볼 수 있으며, AOD별 오차의 median이 0.05를 넘지 않는 것으로 분석되었다.

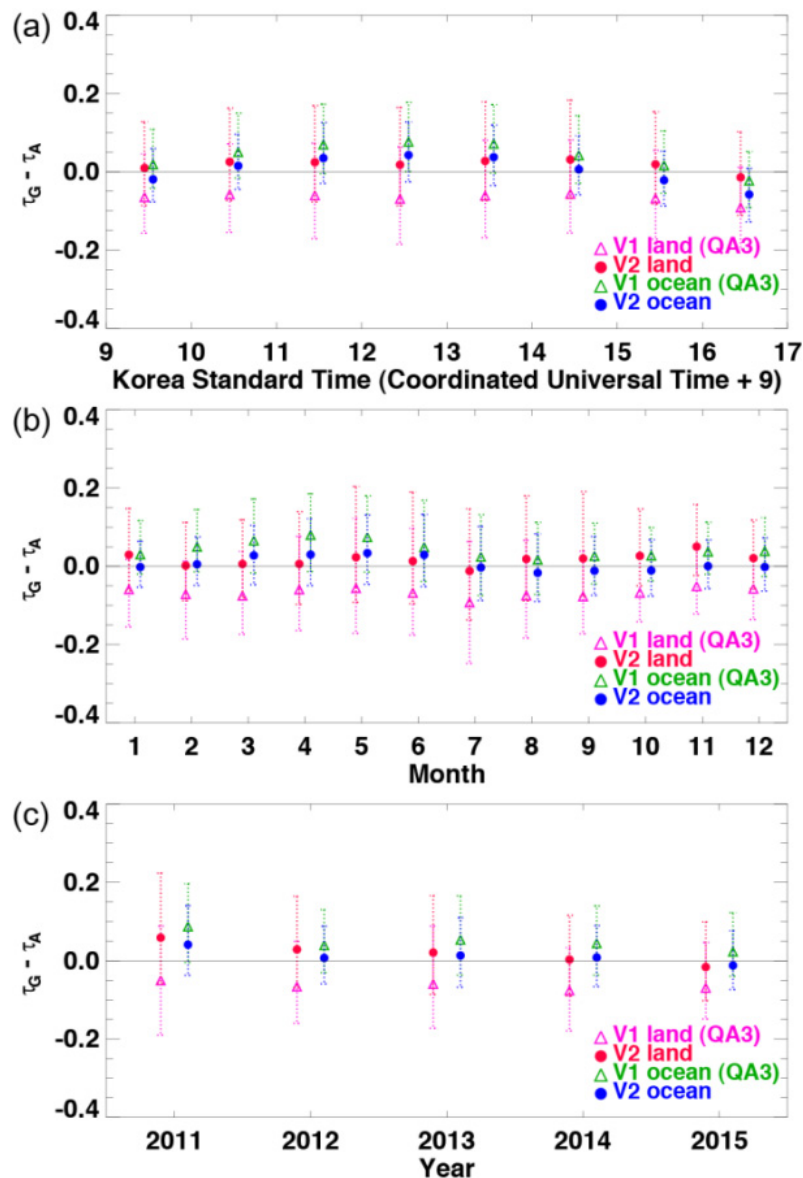


그림 134. GOCI 기반의 V1, V2 AOD 값과 AERONET AOD 값의 차이

AERONET AE에 대해서 분석할 경우, 에어로졸의 크기에 따른 오차를 정량화 할 수 있다. 기본적으로 전반적인 AE 구간에 대해서 68% percentile range가 AOD보다는 좀 더 일정하게 유지가 되지만, 낮은 AE에서 오차의 범위가 커지기도 하고, median 역시 positive bias를 ocean 과 land에서 모두 보이고 있다. 이 경우에도 오차가 0.1을 넘지 않는 것으로 분석되었다.

라. 본 연구과제를 통해 획득한 신규 지식 및 주요 성과

- (1) 대기보정 알고리즘의 개선으로 해수반사도의 추정의 불확도를 감소시켰다.
- (2) 구름과 스펙클 및 알고리즘 부재로 인하여 갱생이 모자반의 분포를 분석하는데 어려움이 있었으나 신규 알고리즘 개발로 동중국해에 광범위하게 분포하는 갱생이 모자반 분포를 파악하여 현업 기관에 활용할 뿐만 아니라 1월~5월 사이 동중국해에 분포하는 모자반의 이동 경향 분석이 가능해졌다.
- (3) 연안에서 탁도가 높을 경우, 엽록소 농도가 과대추정되는 현상을 현장자료와 GOCI영상의 비교분석을 통해 확인하였고, 개선된 알고리즘을 개발하여 오차를 줄였다.
- (4) 동해에서 발생하였던 고농도 적조의 농도 추정이 기존 표준 엽록소 알고리즘 적용 시 부정확하였으나(상당한 과소추정), 신규기술 개발로 적조의 농도 분포를 보다 더 정밀화하였다.
- (5) 구름과의 구별이 어려워 정확한 해무 판독이 어려웠으나, 인공지능 기반 기술개발을 통해 보다 더 정교한 해무탐지 기술을 개발하였다.

제 3절. GOCI 알고리즘 정확도 향상

가. 개요

(1) 서론

(가) 대기보정

대기상층 위성궤도에서 일반적인 맑은 해역을 대상으로 관측된 가시광~근적외과장대 신호 중 90%이상은 대기신호이며, 해수신호의 크기는 10% 미만을 차지한다. 대기신호의 크기가 해수신호의 크기보다 10배 이상 크기 때문에 1%의 대기신호 추정 오차는 10%이상의 해수 광 스펙트럼 추정오류를 일으킨다. 이런 이유로 위성을 통한 해색원격탐사 임무는 높은 대기보정 정밀도를 요구하고 있으며 대기보정의 개발이 해색원격탐사 알고리즘 개발 중 가장 핵심이 된다.

천리안 해양위성 표준 대기보정은 NASA가 해색원격탐사 임무를 위해 개발한 SeaWiFS 표준 대기보정에 이론적인 기반을 두고 있다. SeaWiFS 방법은 우선 두개의 근적외 과장대 관측결과와 복사전달시뮬레이션 결과(조건표)를 서로 비교하여 대기 중 에어로졸 입자의 종류 및 농도 최적값을 추정해 내며 이 추정결과를 바탕으로 모든 가시광 과장대의 에어로졸 반사도 스펙트럼을 다시 조건표를 이용하여 계산한다. 천리안 해양위성의 대기보정도 유사하게 두 근적외과장대 에어로졸 반사도 상관관계를 이용하여 에어로졸 종류 및 농도를 계산하는데, 이 연구를 통하여 SeaWiFS 및 다른 유사 대기보정 방법들과 비교하여 정확도 뿐 아니라 계산 효율 또한 개선하였다. 추가적으로 SeaWiFS에 적용된 수증기 흡광 보정 모델을 천리안 해양위성의 분광특성에 맞게 수정하여 적용하였으며, 탁도가 높은 해역에서 대기보정 오차를 줄이는 방법도 천리안 해양위성 관측영역의 해수 광 특성 및 반사도 정보들을 이용하여 개발하였다. 초기버전의 천리안 해양위성 표준 대기보정의 검보정 결과, 탁도가 높은 연안해역에서는 10% 내외의 만족할 만한 오차수준을 보여주었으나, 탁도가 낮은 해역에서는 50% 이상의 오차를 발생되었다. 이는 대리교정 수행의 부재가 주된 요인이며, 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 SeaWiFS 표준 대리교정 프로세스에 기반을 두고 천리안 해양위성에 맞게 대리교정을 수행하였다. 이 대리교정 방법에서는 특정 해역의 에어로졸 광특성이 항상 해양성 에어로졸이라 가정하고 이를 바탕으로 근적외 과장대 위성 관측 조도를 시뮬레이션 하여 두 근적외 과장대를 먼저 상대교정 한다. 이후, 상대교정된 두 근적외 과장대를 이용하면 맑은 해역에서 복사전달 시뮬레이션을 통하여 가시광 과장대 대기조도를 모의 할 수 있게 되고, 여기에 맑은 해역의 현장 광 측정 자료가 추가되면 가시광과장대 위성관측조도의 시뮬레이션이 가능하다. 이 가시광과장대 모의 결과와 실제 위성관측조도와 비교하면 가시광과장대 대리교정을 완료할 수 있다. 본 대리교정 결과 대리교정 상수가 최대 3.2% 바뀌었으며 (490 nm 밴드) 새 대리교정 상수 적용 시 맑은 해역 대기보정 정확도가 최대 50% 이상 상승하였다.

(나) 엽록소

- ① 해수로부터 방출되는 복사휘도 즉 수출광량 (water-leaving radiance)과 이를 하향복사조도(downwelling irradiance)에 대하여 정규화한 원격반사도 (remote sensing reflectance)는 수중 구성성분의 존재 유무 및 농도에 따라 고유한 스펙트럼을 가지게 된다. 해양 식물성 플랑크톤에 존재하는 엽록소도 고유한 흡광, 산란 및 형광 특성을 지니는데, 이는 농도에

따라 수출광량 및 원격반사도에 영향을 주게 되고 역추산 과정을 통하면 수출광량/원격반사도를 이용하여 해수에 존재하는 엽록소 농도를 추정할 수 있게 된다.

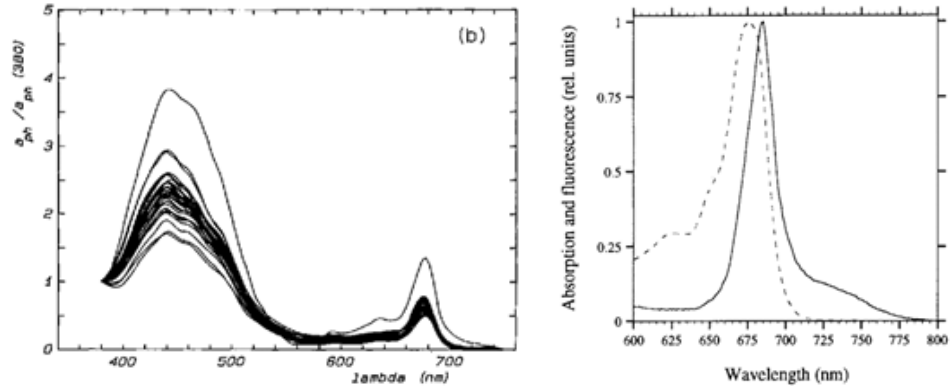


그림 135. (좌) 다양한 엽록소 농도에 대한 엽록소 흡광 스펙트럼 예시 (380nm에 대해 정규화됨) (Bricaud and Stramski 1990) (우) 정규화된 엽록소 흡광(점선)과 형광(실선) 스펙트럼 (Babin, Morel, and Gentili 1996)

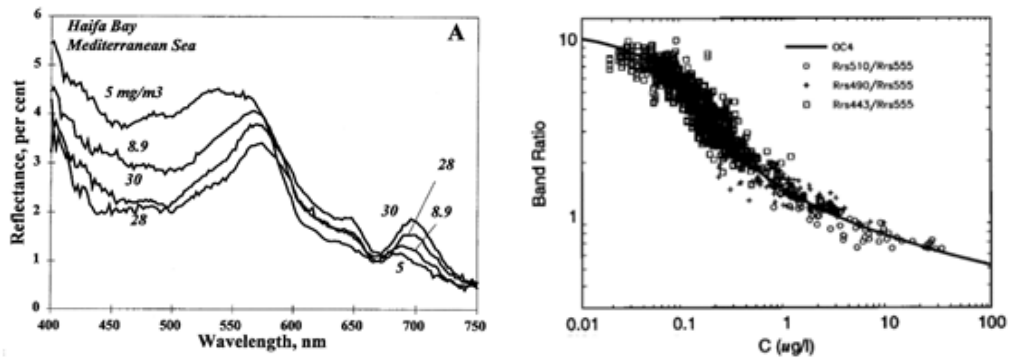


그림 136. (좌) 엽록소 농도에 따른 반사도 (Gitelson et al. 2000) (우) 원격반사도 밴드 비와 엽록소농도와의 관계식 (O'Reilly et al. 1998)

(다) 부유사농도

해수로부터 관측되는 원격반사도 (remote sensing reflectance)는 (1) 해수 구성물질의 광학적 특성 즉 흡광 및 산란 특성과 (2) 태양광 및 대기복사광 등의 광환경에 의해 결정된다.

$$R_{rs} \propto \frac{b_b}{a + b_b}$$

$$a = a_w + a_{NAP} + a_g + a_{phy}$$

$$b_b = b_{b,w} + b_{b,p} \tag{식 22}$$

총부유물 농도가 높아질수록 입자성 물질에 의한 후방산란과 흡광이 커지게 되는데 후방산란의 증가폭이 원격반사도에 미치는 영향이 커서 총부유물의 농도가 증가할수록 원격반사도의 크기가 커지게 된다. (부유물의 광학특성 및 반사도에 대한 보다 자세한 선행연구는 문헌을

참고바람. Doxaran, Froidefond, and Castaing 2003; Doxaran, Ruddick, et al. 2009; Wozniak and Stramski 2004; Stramski, Babin, and Woźniak 2007; Mitchell et al. 2002). 총부유물 알고리즘은 이러한 원리를 이용하여 원격반사도로부터 총부유물의 단위체적에 대한 농도를 추정하는 것으로, 밴드비를 이용하는 경험식의 경우 입자의 굴절지수 (refractive index), 입자 크기 분포 (particle size distribution; PSD), 흡광에 의한 영향, 다중산란 (multiple scattering) 등의 변인 등에 대해 일정한 가정을 설정하여 원격반사도와 밴드비 간의 대략적, 통계적인 상관관계를 통하여 총부유물 농도를 추정하게 된다.

해수에 존재하는 광물입자의 기원과 농도에 따라 흡광 및 산란 특성이 상이하지만, 일반적으로 총부유물 농도가 증가할수록 모든 파장대에서 원격반사도가 증가하게 된다.

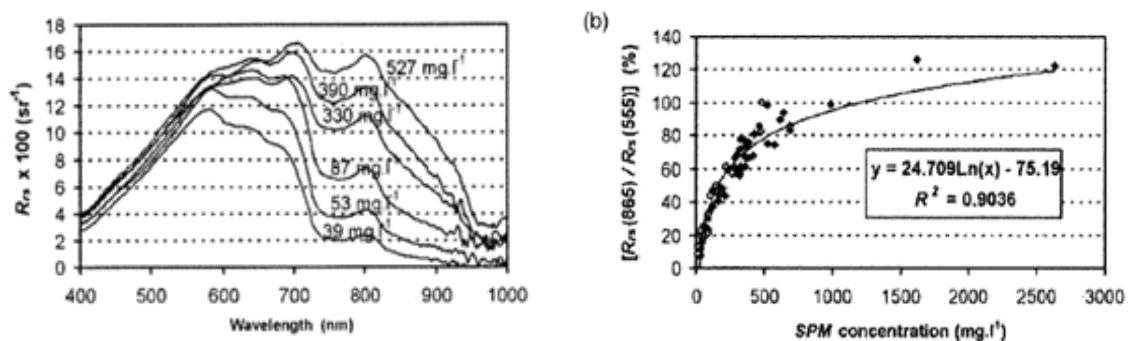


그림 138. (좌) 총부유물농도에 변화에 따른 원격반사도 스펙트럼 변화 (우) 밴드비를 이용한 총부유물 농도 추정

(라) 유색용존유기물

유색용존유기물(Colored Dissolved Organic Matter: CDOM)은 해수에 존재하는 용존유기물질 중 자외 혹은 청색 파장대에서 강한 흡광을 일으키는 물질을 의미한다. CDOM은 연안에서는 주로 육지의 담수, 오수, 퇴적물 등으로부터 공급되며, 외양역에서는 주로 박테리아에 의한 식물플랑크톤의 분해나 동물플랑크톤의 배설물, 동물플랑크톤을 비롯한 동물들의 Sloppy Feeding 등으로 생성되는 것으로 알려져 있다(Urban-Rich, 1999).

CDOM은 주로 태양광에 의해서 약 57~84%가 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 특성은 자외선(UV-A, UV-B)과 청색 파장대의 빛을 흡수하여 유해한 자외선으로부터 수중생태계를 보호하지만, 동시에 광합성 유효광(photosynthetically available light, PAR)을 감소시키기 때문에 해양 생태계의 주요 변수이기도 하다. 또한 해수온도 상승 등 여러 해양환경변수에 큰 영향을 주는 물질이다.

그래서 CDOM 알고리즘을 통해 전체 해수 구성성분들 중 청색파장대에서 CDOM에 의한 흡광지수(aDOM)를 최종적으로 산출하게 된다. CDOM 흡광지수는 400 nm 혹은 440 nm에서 단위 거리당 CDOM에 의해 흡광 정도를 지수로 나타낸 값이며 단위는 m^{-1} 이다.

(2) 추진 방향

GOCI 자료의 품질 관리를 위해서 대기보정 기술 개선, GOCI 산출물 정확도 향상, 영상품질 개선, 산출물 검증용 현장 자료 수집의 4개의 세부목표를 설정하여 추진하였다. GOCI 산출물을 생산하는데 사용되는 대부분의 알고리즘은 대기보정을 통해 산출된 결과물을 입력 자료로 사용하므로 이에 대한 품질 개선을 1차년도와 2차년도(2013 ~ 2014) 2년 동안 먼저 수행하였다. 일정 수준의 정확도를 확보한 대기보정 산출물을 기반으로, 3차년도부터 연구 사업 종결까지(2015 ~ 2017) 3년 동안 GOCI 표준산출물에 대한 알고리즘 개선을 수행하여 그 정확도를 로드맵에 의거하여 순차적으로 향상시켰다. 또한 16장의 슬롯으로 구성된 GOCI 자료에서, 슬롯간 경계 지역에서 발생되고 있는 영상 품질의 저하를 대기보정 기술의 개선 결과를 기반으로 3차년도와 4차년도(2015 ~ 2016) 2년 동안 영상 품질을 개선하였다.

GOCI 산출물 정확도가 향상되었는지 검증하기 위한 현장자료를 1차년도부터 5차년도까지(2013 ~ 2017) 5년 동안 지속적으로 수집하였다. 산출물 검증용 현장자료의 수집은 선박을 이용한 현장조사와 부이 및 해양과학기지 등의 해양 고정 구조물들을 이용한 현장조사로 구분하여 수행하였다. 선박을 이용한 현장조사는 대기보정 기술의 개선에 필요한 자료를 우선적으로 수집하고자 맑은 해역인 동해에서 먼저 시작하여 동중국해 및 연안해역(탁수) - 남해 - 서해 순으로 점차적으로 확대하는 방향으로 수행하였다. 또한 관측장비를 포함한 현장관측 프로토콜의 비교/검증 및 개선을 통해 현장자료의 신뢰도를 향상시키고자 Annual GOCI Validation Campaign이라는 국제공동현장 조사를 매년 개최하였다. 특히 4차년도(2016)는 Annual GOCI Validation Campaign을 한미공동해양 과학조사(KORUS-OC)로 추진하여 동해 - 남해 - 서해의 한반도 주변 해역을 동일한 시기에 현장 조사를 추진하였다. 부이 및 해양과학기지 등의 해양 고정 구조물들을 이용한 현장조사는 이어도 및 소청초, 새만금 해양과학기지, 동해 해양광학부이 등을 활용하여 수행하였으며, 특히 국내외 검보정 협의체를 통해 지속적인 현장자료 수집 활동이 가능하도록 상호 지원과 업무 협의를 수행하였다.



그림 139. GOCI 자료 품질 관리 추진 방향 및 로드맵

(3) 정확도 향상 로드맵

표 16에 설정된 로드맵에 의거하여 연구 사업 기간 순차적으로 GOCI 산출물의 정확도를 향상시켰다. 1차년도(2013년)는 광학적 특성에 의한 해수 타입의 구분 없이 정확도 목표를 설정하여 수행하였는데, 해수 타입을 구분하여 정확도를 향상시키는 것이 효율적이라고 판단하여, 2차년도(2014년)부터 연구사업 종결까지 그 로드맵을 수정하였다. GOCI 자료의 정확도 산출방법은 표 16에 설명된 것과 같다.

표 16. 천리안 해양관측위성(GOCI) 정확도 향상 로드맵

알고리즘	해수 타입	GOCI 정확도				
		2013	2014	2015	2016	2017
R _{rs}	CASE-I	85%	86%	87%	88%	89%
	CASE-II		81%	82%	83%	84%
CHL	CASE-I	55%	60%	65%	66%	67%
	CASE-II		59%	60%	61%	62%
TSS	-	55%	60%	65%	66%	67%
CDOM	-	55%	56%	57%	58%	59%
GOCI 알고리즘 정확도 (총괄평균)		67%	68.5%	70.7%	71.7%	72.7%

※ 천리안 해양관측위성 자료 정확도 산출방법

- CASE-I(맑은 해수): 1번 밴드(412nm) 기준
- CASE-II(탁한 해수): 4번 밴드(555nm) 기준
- 오차율(%): 절대 오차 평균

- 정확도(%) = 100% - 오차율(%)

(정확도 ≤ 0 이면 정확도는 0 으로 표기)

- 2013년 알고리즘 정확도(총괄평균) = (R_{rs} 정확도 × 0.4) + (CHL 정확도 × 0.2)
+ (TSS 정확도 × 0.2) + (CDOM 정확도 × 0.2)

- 2014년 이후 알고리즘 정확도(총괄평균)

$$\begin{aligned}
 &= (\text{CASE-I R}_{rs} \text{ 정확도} \times 0.2) + (\text{CASE-II R}_{rs} \text{ 정확도} \times 0.2) \\
 &+ (\text{CASE-I CHL 정확도} \times 0.1) + (\text{CASE-II CHL 정확도} \times 0.1) \\
 &+ (\text{TSS 정확도} \times 0.2) + (\text{CDOM 정확도} \times 0.2)
 \end{aligned}$$

나. 현장관측자료 획득

Annual GOCI Validation Campaign는 GOCI의 자료 품질 유지 및 향상에 필요한 현장자료를 정기적으로 수집하기 위하여 한반도 주변 해역에서 매년 수행되는 현장조사로서, 한국해양과학기술원 소속 대형 연구조사선을 사용하여 국내외 연구팀과 공동으로 현장조사를 수행하는 캠페인이다. 이러한 공동 현장조사를 기반으로 선박을 이용한 현장관측이 수행되었고, 그 외 부이 및 해양과학기지의 고정 관측지점을 활용하여 현장자료를 수집하였다.

(1) 1차년도

(가) 관측정점도

제 3회 Annual GOCI Validation Campaign을 시작으로 총 12회의 선박을 이용한 현장조사를 수행하였다. 선박을 이용한 현장조사는 연안 해역 및 동중국해를 포함한 한반도 주변 해역에서 폭 넓게 수행되었다. 고정관측은 이어도 해양과학기지와 동해 해양 광학 부이를 활용하여 현장자료를 획득하였다.

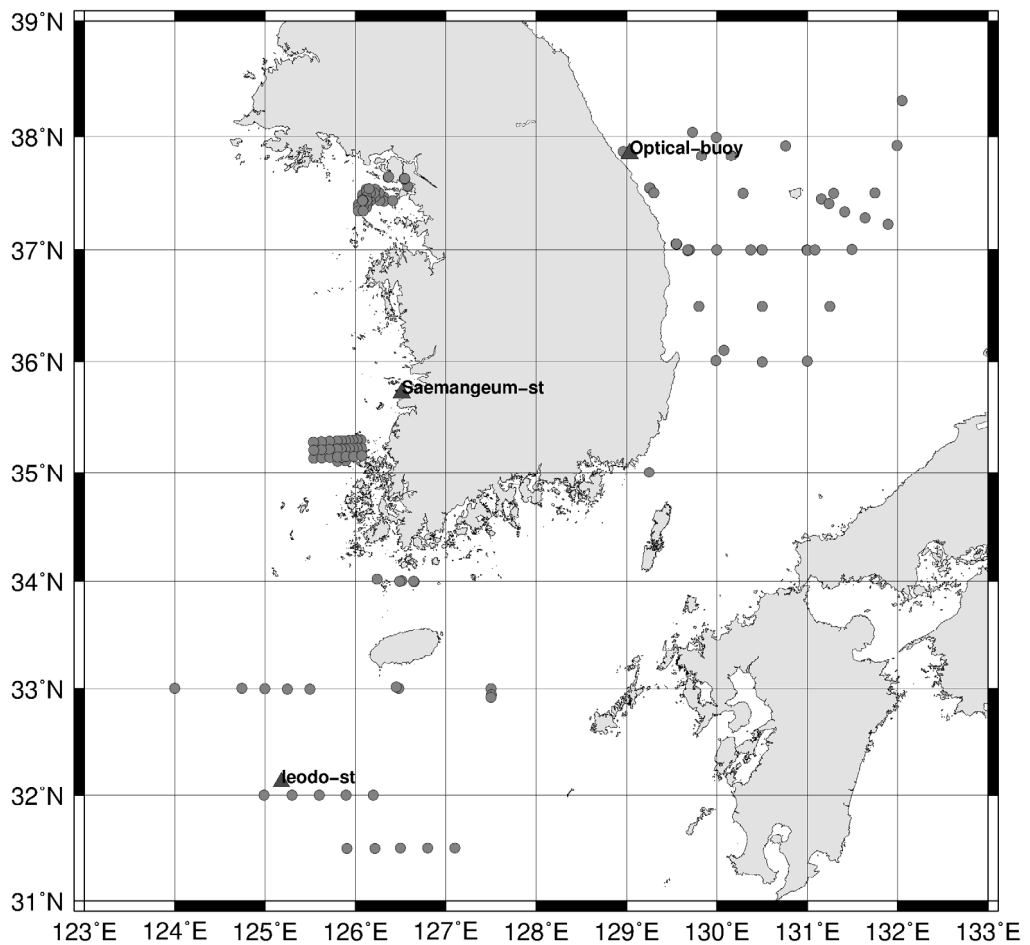


그림 140. 1차년도 현장관측 정점도

(나) 일정별 현장관측 건수

표 17은 1차년도 현장조사 일정별 관측 건수를 정리해 놓은 자료이다. 총 312건의 현장자료를 획득하였고, 선박을 이용한 현장조사와 고정관측이 80:20의 비율로 자료들이 획득되었다.

표 17. 1차년도 선박 및 고정지점을 이용한 현장관측 건수

순번	제 목	관측자료	비고
1	3 rd Annual GOCI Validation Campaign (동중국해 현장조사, 2013.09.25 - 10.03)	20건	선박
2	동해 중부 해역 조사 (2013.10.07 - 10.11)	6건	선박
3	서해 남부 연안해역 조사 (2013.10.20 - 10.31)	40건	선박
4	경기만 주변 해역 조사 (2014.03.04 - 03.07)	13건	선박
5	동해 중부 연안 해역 조사 (2014.03.22 - 03.27)	37건	선박
6	경기만 주변 해역 조사 (2014.03.22 - 03.27)	48건	선박
7	동해 중부 해역 조사 (2014.04.09 - 04.11)	8건	선박
8	동해 중부 해역 조사 (2014.04.29 - 05.02)	8건	선박
9	동중국해 조사 (2014.04.30 - 05.08)	10건	선박
10	동해 중부 해역 조사 (2014.05.13 - 05.15)	13건	선박
11	동해 중부 연안해역 조사 (2014.05.22 - 05.23)	6건	선박
12	경기만 주변 해역 조사 (2014.05.30 - 06.02)	42건	선박
13	이어도해양과학기지 주변 해역 조사 (2014.03.25 - 05.18)	27건	고정 관측
14	동해 해양 광학 부이 (ESOOB) (2014.06.18. - 07.28)	34건	부이

(2) 2차년도

(가) 관측정점도

동해 중부 해역 현장조사를 시작으로 총 8회의 선박을 이용한 현장조사를 수행하였다. 선박을 이용한 현장조사는 동해 및 경기만과 목포 근해, 여수 근해의 연안 해역에서 제한적으로 수행되었다. 고정관측은 이어도와 새만금 해양과학기지, 동해 해양 광학 부이를 활용하여 현장자료를 획득하였다.

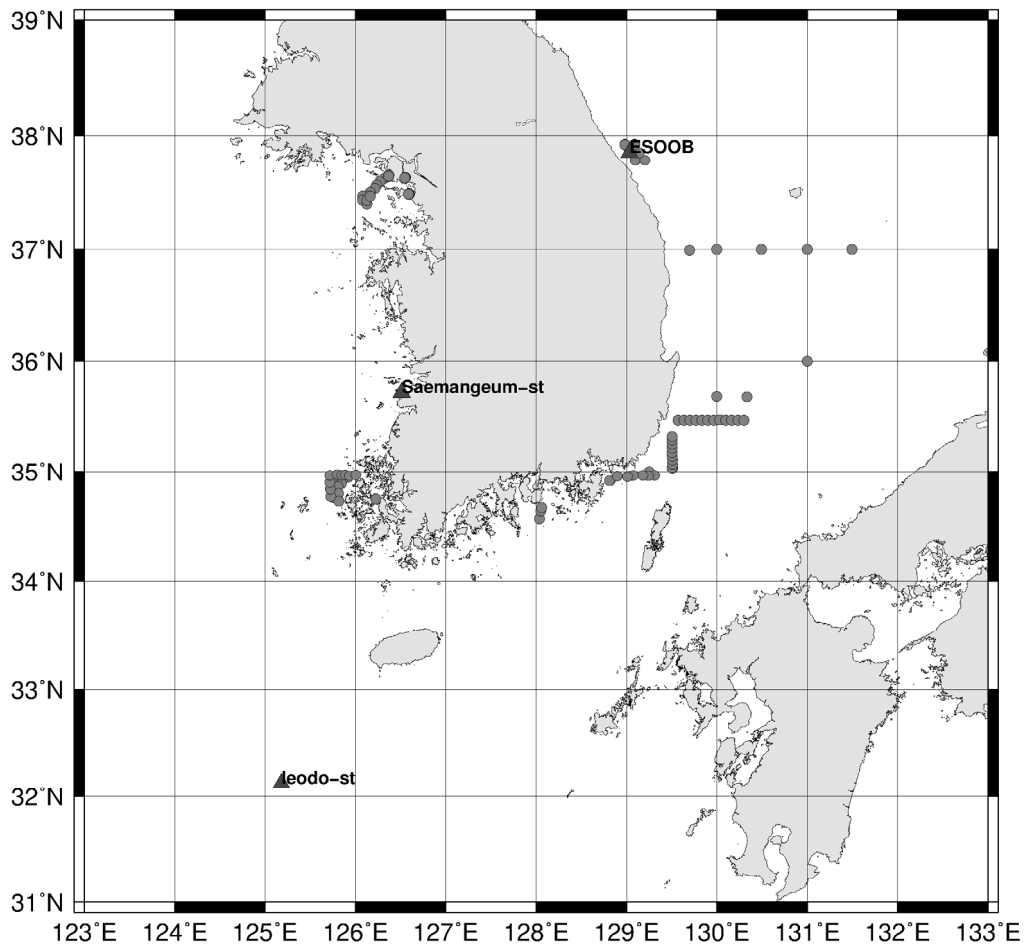


그림 141. 2차년도 현장관측 정점도

(나) 일정별 현장관측 건수

표 18은 2차년도 현장조사 일정별 관측 건수를 정리해 놓은 자료이다. 총 387건의 현장자료를 획득하였고, 선박을 이용한 현장조사와 고정관측이 50:50의 비율로 자료들이 획득되었다.

표 18. 2차년도 선박 및 고정지점을 이용한 현장관측 건수

순번	제 목	관측자료	비고
1	동해 중부 해역 조사 (2014.09.01 - 09.03)	9건	선박
2	남해 연안 적조 발생 해역 조사 (2014.09.11)	3건	선박
3	거제도 주변 적조 발생 해역 조사 (2014.09.16)	3건	선박
4	경기만 주변 해역 조사 (2014.10.06 - 10.09)	42건	선박
5	경기만 주변 해역 조사 (2015.03.05 - 03.11)	53건	선박
6	비금도 근해 조사 (2015.03.22 - 03.26)	19건	선박
7	4 th Annual GOCI Validation Campaign (2015.04.27 - 05.01)	41건	선박
8	동해해양광학부이(ESOOB) 주변 해역 조사 (2015.05.29 - 06.02)	21건	선박
9	동해 해양 광학 부이 (ESOOB)자료 (2014.09.01. - 2015.06.11)	72건	부이
10	이어도 기지 해양 광학 자료 (Aeronet-OC) (2014.11.12. - 2014.12.04)	14건	고정 관측
11	새만금 기지 해양 광학 자료 (TriOS) (2014.10.14. - 2015.04.25)	110건	고정 관측

(3) 3차년도

(가) 관측정점도

동해 남부 연안 해역 현장조사를 시작으로 총 7회의 선박을 이용한 현장조사를 수행하였다. 선박을 이용한 현장조사는 동중국해를 제외한 한반도 주변 해역에서 폭 넓게 수행되었다. 고정관측은 이어도, 소청초, 새만금 해양과학기지과 동해 해양 광학 부이를 활용하여 현장자료를 획득하였다.

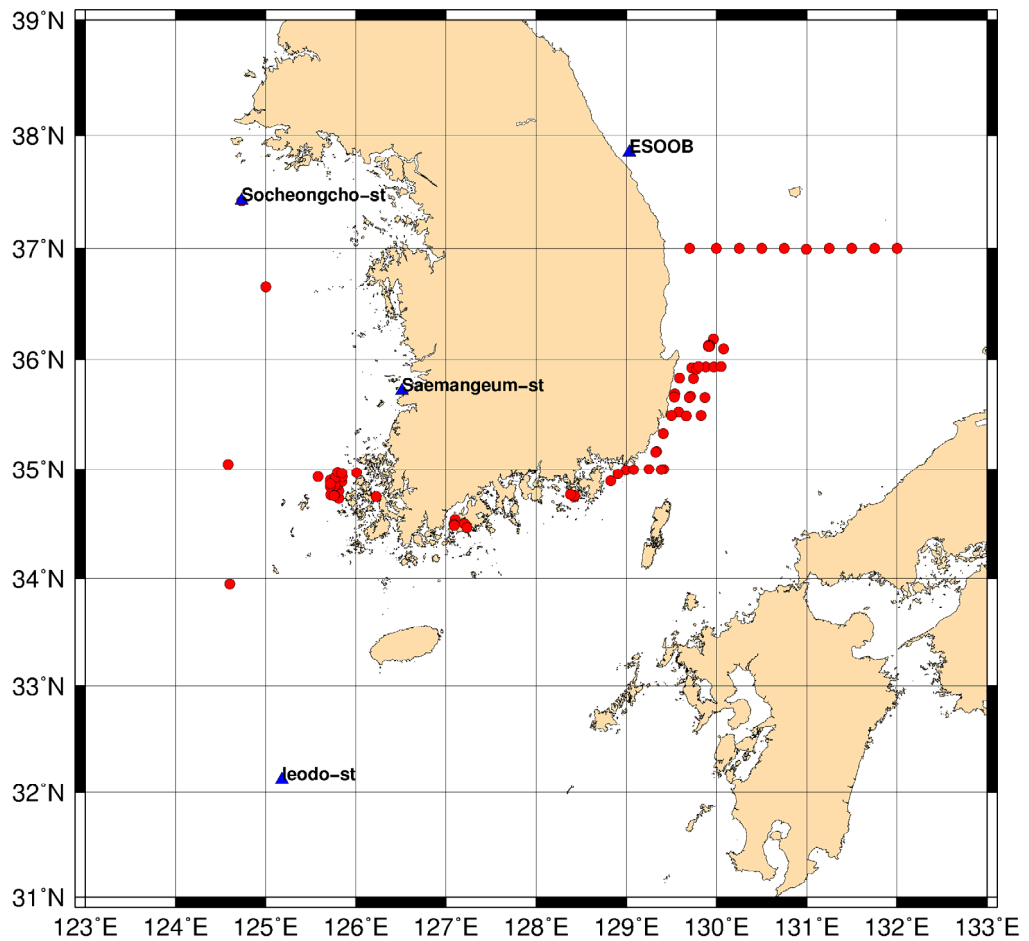


그림 142. 3차년도 현장관측 정점도

(나) 일정별 현장관측 건수

표 19는 3차년도 현장조사 일정별 관측 건수를 정리해 놓은 자료이다. 총 366건의 현장자료를 획득하였고, 선박을 이용한 현장조사와 고정관측이 30:70의 비율로 자료들이 획득되었다.

표 19. 3차년도 선박 및 고정지점을 이용한 현장관측 건수

순번	제 목	관측자료	비고
1	동해 남부 연안 해역 조사 (2015.07.28 ~ 08.03)	21건	선박
2	남해 연안 (통영 연안) 적조 발생 해역 조사 (2015.08.18 ~ 08.19)	6건	선박
3	남해 연안 (고흥 연안) 적조 발생 해역 조사 (2015.09.16 ~ 09.17)	8건	선박
4	서해 해역 조사 (2015.10.21 ~ 10.29)	4건	선박
5	동해 남부 해역 조사 (2015.12.17 ~ 12.23)	14건	선박
6	동해 중부 해역 조사 (2016.03.01. ~ 03.05)	12건	선박
7	서해 남부 연안 (목포-비금도 주변) 해역 조사 (2016.03.16 ~ 03.26)	27건	선박
8	동해 해양광학부이 (ESOOB) 자료 (2015.07.01. ~ 08.24)	55건	부이
9	이어도 기지 해양 광학 자료 (Aeronet-OC) (2015.09.02. ~ 2016.01.03)	30건	고정관측
10	소청초 기지 해양 광학 자료 (Aeronet-OC) (2015.09.09. ~ 2016.03.06)	120건	고정관측
11	새만금 기지 해양 광학 자료 (TriOS) (2015.07.08. ~ 12.03)	69건	고정관측

(4) 4차년도

(가) 관측정점도

2016 KORUS-OC을 시작으로 총 6회의 선박을 이용한 현장조사를 수행하였다. 선박을 이용한 현장조사는 연안 해역 및 동중국해를 포함한 한반도 주변 해역에서 폭 넓게 수행되었다. 고정 관측은 이어도, 소청초 해양과학기지와 동해 해양 광학 부이를 활용하여 현장자료를 획득하였다.

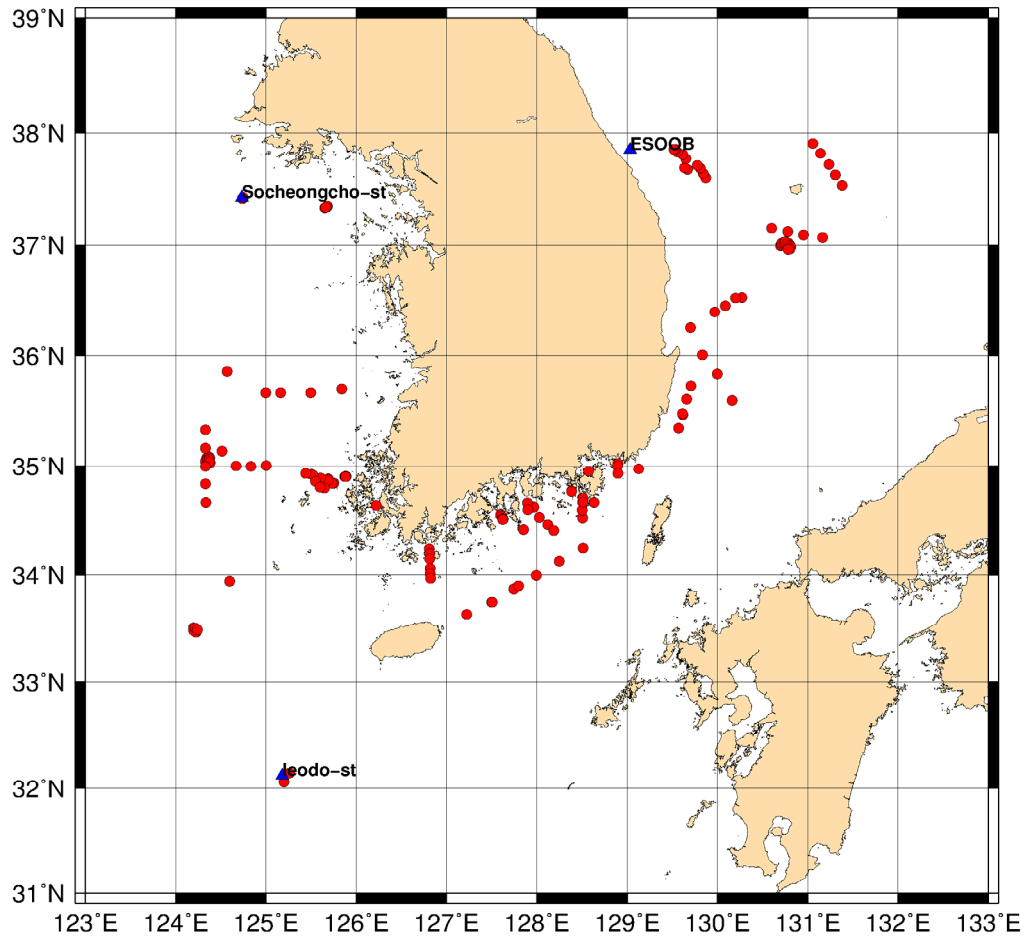


그림 143. 4차년도 현장관측 정점도

(나) 일정별 현장관측 건수

표 20은 4차년도 현장조사 일정별 관측 건수를 정리해 놓은 자료이다. 총 508건의 현장자료를 획득하였고, 선박을 이용한 현장조사와 고정관측이 40:60의 비율로 자료들이 획득되었다.

표 20. 4차년도 선박 및 고정지점을 이용한 현장관측 건수

순번	제 목	관측자료	비고
1	한반도 주변 해역 현장조사 (2016 KORUS-OC) (2016.05.20 ~ 06.06)	88건	선박
2	동해 남부 - 남해 - 서해 남부 연안해역 현장조사 (2016.05.20 ~ 06.05)	65건	선박
3	통영 근해 (2016.08.05 ~ 08.09)	9건	선박
4	여수 근해 (적조 발생 해역) (2016.08.19)	5건	선박
5	서해 - 동중국해 현장조사 (2016.08.18 ~ 08.23)	8건	선박
6	통영 해양과학기지 주변 해역 현장조사 (2016.08.25. ~ 09.09)	29건	선박
7	동해 해양광학부이 (ESOOB) (2016.05.01. ~ 09.28)	121건	부이
8	이어도 기지 해양 광학 관측 시스템 (Aeronet-OC) (2016.05.01. ~ 2017.01.03.)	37건	고정관측
9	소청초 기지 해양 광학 관측 시스템 (Aeronet-OC) (2016.05.01. ~ 2017.01.16.)	146건	고정관측

(5) 5차년도

(가) 관측정점도

제 7회 Annual GOCI Validation Campaign을 시작으로 총 4회의 선박을 이용한 현장조사를 수행하였다. 선박을 이용한 현장조사는 동해 및 남-서해 연안 해역을 중심으로 제한적으로 수행되었다. 고정관측은 이어도, 소청초 해양과학기지와 동해 해양 광학 부이를 활용하여 현장 자료를 획득하였다.

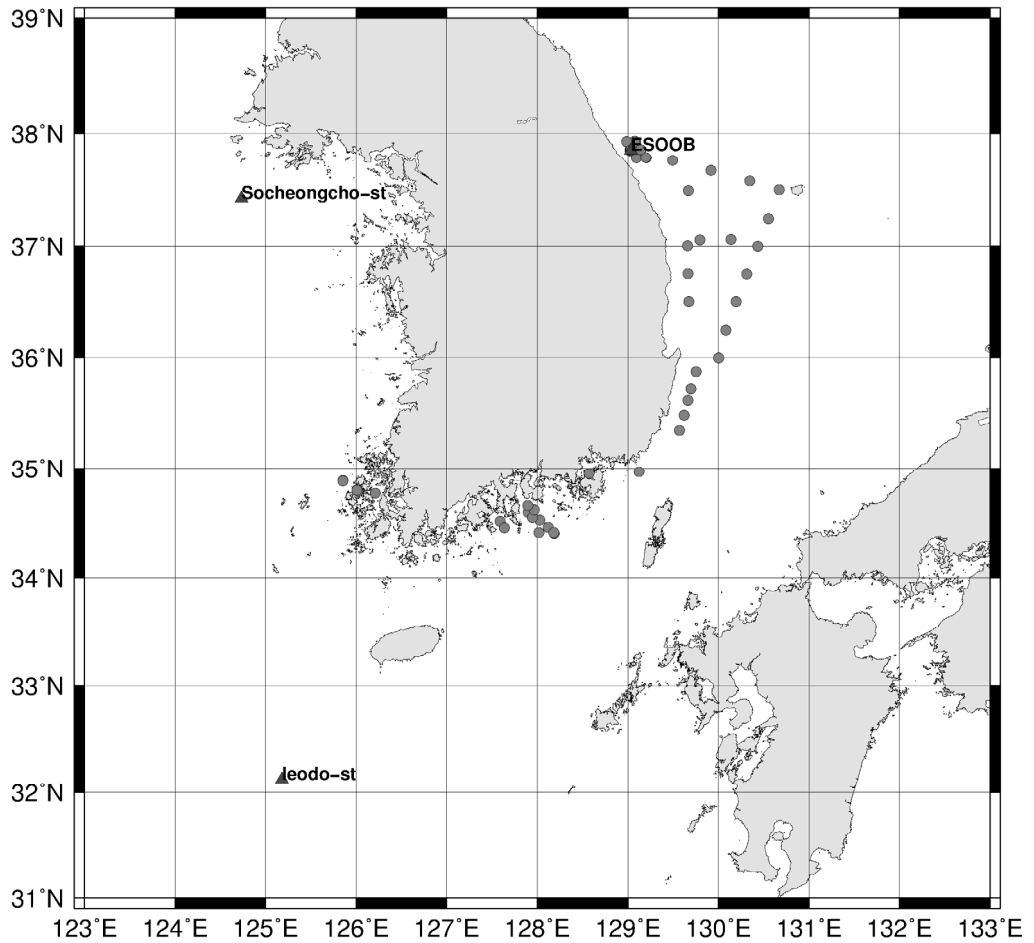


그림 144. 5차년도 현장관측 정점도

(나) 일정별 현장관측 건수

표 21은 5차년도 현장조사 일정별 관측 건수를 정리해 놓은 자료이다. 총 529건의 현장자료를 획득하였고, 선박을 이용한 현장조사와 고정관측이 20:80의 비율로 자료들이 획득되었다.

표 21. 5차년도 선박 및 고정지점을 이용한 현장관측 건수

순번	제 목	관측자료	비고
1	7 th Annual GOCI Validation Campaign (동해 울릉분지 근해, 2017.05.07 - 05.13)	27건	선박
2	여수 근해 (2017.07.29 - 08.04)	12건	선박
3	동해 중부 연안 (2017.08.29 - 09.07)	22건	선박
4	목포-비금도 근해 (2017.10.15 - 10.18)	25건	선박
5	동해 해양 광학 부이(ESOOB) (2017.04.21 - 12.21)	238건	부이
6	이어도 & 소청초 해양과학기지 (Aeronet-OC) (2017.03.01 - 12.31)	205건	고정관측

(6) 현장관측 프로토콜 - 채수/여과 및 시료처리/분석

(가) 해수 채수

[연구조사선 이용 - Water sampler]

해양조사에 특화된 선박들, 예를 들어 한국해양과학기술원 소속 R/V 이사부호, R/V 온누리호, R/V 이어도호, R/V 장목1호, R/V 장목2호 등의 연구조사선과 탐사선, 실습선 등의 선박들은 대부분 Water sampler 라는 수층별 해수 채수기가 장착되어 있다. 이들 채수기는 선박의 크기 및 운용여건에 따라 각기 다른 용량의 채수기를 사용하며 일반적으로 5 리터 혹은 10 리터 채수기를 많이 사용한다. 이러한 채수기를 원형형태로 12개 혹은 24개의 수량으로 설치하여 운용한다.

- ① 선박에 비치되어 있는 채수기의 상/하 마개를 열어서 고정시켜 놓는다. 채수기의 상/하 마개가 닫힌 상태로 해수 중으로 투입되어 깊은 수심까지 하강할 경우, 수압에 의해 채수기가 파손되므로 유념한다.
- ② 선박의 원치에 연결된 Water sampler를 수중으로 투입하여 관측 최대수심까지 먼저 하강시킨다.
- ③ 관측 최대수심에 도달한 후, Water sampler를 상승시키면서 채수하고자 하는 수심에 도착하면 작동하는 원치를 잠시 멈춘다. 오픈된 채수기의 상/하 마개에 전기 신호를 보내어 원격으로 마개를 닫는다. 만약 장착된 채수기의 기본 용량이 10 리터이고 채수할 용량이 30

리터이면 3개의 채수기를 작동시켜서 원하는 해수를 채수한다.

- ④ 표층 해수의 채수 수심은 해수면의 상태가 잔잔하고 파고가 0.5 m 이하이면 표층 해수의 채수 수심은 약 1 m 정도이고, 파고가 1 ~ 1.5 m 이면 약 2 m 정도이고, 파고가 2 m 이상이면 약 3 m 이상이다. 이러한 표층 채수 수심은 선박의 원치 조종자의 운용 능력과 경험에 따라 달라진다. 대부분 해상 기상 상황에 상관없이 평균 수심 3 m 정도에서 채수한다.
- ⑤ 수층별 모든 채수 작업이 종료되면, Water sampler는 선박의 원치 및 크레인에 의해 수중에서 선상으로 옮겨진다. 각 채수기별 채수한 수심을 확인하여 채수기의 상단부에 장착된 노즐을 열어서 공기구멍을 확보한 후, 채수기의 하단부에 장착된 배출구를 통해 미리 준비한 휴대용 채수통에 수심별로 옮겨 담는다. 사용하는 휴대용 채수통은 하단부에 노즐이 장착된 Carboy급 10 리터용 채수통이다.
- ⑥ 휴대용 채수통에 약 20 mL 정도를 먼저 채수하여 휴대용 채수통의 내부를 세척하고 그 물은 폐기한 후, 휴대용 채수통에 해수를 채수한다. 휴대용 채수통의 마개도 반드시 채수한 해수로 세척한 다음 사용한다.
- ⑦ Water sampler의 채수기에서 휴대용 채수통으로 옮겨 담을 때, 작업자는 옮겨 담는 과정에서 채수한 해수의 오염을 최소화하도록 반드시 손에 라텍스 장갑을 착용한다.
- ⑧ 혹시 Water sampler의 채수기에 수층별 채수한 해수들이 남으면, 그 잔량 해수는 다음 조사정점에 도착하기 5분전까지 보관해 둔다. 이것은 여과과정에서 추가로 해수가 필요할 경우 사용되기 때문이다.



그림 145. Water sampler

[임차선박 이용 - Bucket]

임차선박은 각 지역의 어촌계에서 운영하는 조업용 어선을 조사기간 기타선박으로 선박형태를 임시 변경하여 임차하거나 기타선박으로 등록되어 있는 선박들, 예를 들어 낚시선박 등을 임차하여 해양조사에 사용하는 선박이다. 이들 선박에는 해양조사에 필요한 각종 장비들이 부재하므로 대부분 Bucket을 사용하여 표층 해수를 채수한다.

- ① Bucket을 사용할 경우, Bucket 손잡이 혹은 Bucket 상단에 구멍을 만들어서 밧줄을 연결한

다. 밧줄의 길이는 1 ~ 2 m의 길이이면 충분하다.

- ② Bucket을 연결한 밧줄의 반대면 끝을 선상의 고정물에 단단히 연결한 후, 채수하고자 하는 표층 해수가 위치한 해상으로 힘껏 던진다. Bucket의 내부가 해수면에 착지하도록 유의하여 던진다면, 보다 쉽게 표층 해수를 채수할 수 있다.
- ③ Bucket이 목적인 해상의 표면에 잘 안착하면, Bucket의 내부에 해수가 가득 담기도록 밧줄을 당기면서 회수한다. 회수할 때 작업자의 손 및 임차선박의 외부표면에 부착된 생물들에 의해 채수하는 해수가 오염되지 않도록 유의한다.
- ④ 휴대용 채수통에 채수한 해수를 옮겨 담는 과정은 위의 “연구조사선 이용 - Water sampler”⑥ ~ ⑦ 과정과 동일하다.
- ⑤ 원하는 표층 해수의 채수량을 확보하기 위해서, 위의 ② ~ ④ 과정을 여러 차례 수행할 수 있다.

(나) 엽록소 농도 (Chlorophyll concentration, CHL)

[여과 및 시료 보관]

- ① 필터 크기가 47 mm를 사용하는 filter holder set를 여과시스템에 장착한다.
- ② 핀셋을 사용하여 filter holder set의 base 위에 GF/F 47 mm 필터 1장을 base의 중앙에 위치하도록 올려놓는다. 그 위에 filter holder set의 funnel을 살며시 올려놓는다. 이때 먼저 올려놓은 필터가 base의 가장자리로 이동하지 않도록 조심한다. 만약 사용하는 filter holder set가 집게방식이면 그 base와 funnel를 동시에 집어서 고정한다. 만약 사용하는 filter holder set가 자석방식이면 그 base와 funnel이 자력에 의해 고정된다.
- ③ 채수한 해수가 담긴 휴대용 채수통을 흔들어서 가라앉은 수중 입자들을 섞어놓는데, 그 입자가 부서지지 않도록 상하로 뒤집어서 흔든다. 잘 섞인 해수는 계량컵 혹은 메스실린더를 사용하여 2000 mL(동해 기준)를 계량한다.
- ④ 여과량은 해역별로 상이하며, 동해 및 동중국해는 평균 2000 mL, 서해 및 남해는 평균 1000 mL, 연안해역은 평균 800 mL, 특이해역(적조 및 탁한 해역)은 평균 500 mL 이하로 미리 계량한 후 사용한다.
- ⑤ GF/F 47 mm가 삽입된 filter holder set의 funnel 안으로 ③과 ④에서 계량한 해수를 적당량 채운 후, 여과시스템의 진공펌프를 작동시키고 장착된 filter holder set 바로 밑에 있는 밸브를 연다. 이때 진공펌프의 압력은 평균 230 mmHg이고 최대 250 mmHg를 초과하지 않는다. 이것은 강한 압력에 의해 수중 입자들이 필터구멍을 통해 유실되는 것을 방지하기 위함이다.
- ⑥ 1.5 mL Cryogenic vial 겉면에 유성 네임펜으로 채수 및 여과한 해수의 각종 정보들(정점명, 수심, 시료명, 시료번호 등)을 기입한다. 계량한 해수를 전부 여과한 후, 착색된 필터를 핀셋과 라텍스 장갑을 착용한 손 등을 사용하여 4등분으로 접고 원통형으로 말아서 정보들이 기입된 vial에 넣고 밀봉한다.
- ⑦ 착색된 필터가 들어있는 vial을 초저온 냉동고(영하 80 °C) 혹은 액체질소용기에 넣고 보관한다.

[시료 처리]

- ① 초저온 냉동고 및 액체질소용기에 보관 중인 vial을 꺼내어 그 vial 겉면에 기입된 정보들(정점명, 수심, 시료명, 시료번호 등)을 2B 연필로 15 mL conical tube 겉면에 똑같이 기입

한 후, 그 tube에 90 % 아세톤을 10 mL 채운다.

- ② 핀셋으로 vial 내의 필터를 꺼내어 90 % 아세톤 10 mL이 들어있는 tube에 넣고 밀봉한다. 이때 필터가 아세톤에 완전히 잠기도록 한다.
- ③ 아세톤과 필터가 함께 들어있는 tube을 호일로 포장한 후, 4 °C 냉장고에 24시간 보관한다. 이때 포장 겉면에 보관시작일(날짜와 시간)을 기입해 놓는다.
- ④ 24시간 이후, 그 tube를 꺼내어 그 겉면에 기입된 정보들을 모두 새로운 15 mL conical tube 겉면에 똑같이 기입한다.
- ⑤ 25 mm membrane PTFE type syringe filter(pore size 0.2 um)를 50 cc 유리주사기 끝에 장착한 후, 냉장고에서 꺼낸 tube의 내용물들(필터 포함)을 모두 그 유리주사기 안으로 옮긴다. 그 유리주사기 끝에 장착된 syringe filter로 여과되는 아세톤 기반의 색소혼합물(액체)은 ④의 새로운 tube에 직접 들어가도록 한다.

[시료 분석 - 분광법(spectrophotometric method)]

시료분석에 사용되는 spectrophotometer 모델은 Perkin-Elmer사의 Lambda-19 모델, Varian사의 CARY-100 모델과 Agilent사의 CARY-300 모델이다. 이들 모델들은 모두 듀얼모드 방식이 표준으로 장착된 분석장비들로써, 안쪽은 reference part이고 바깥쪽은 sample part로 구분된다. 일반적으로 spectrophotometer 분석장비들은 시료분석에 사용하기 전에 반드시 baseline correction을 먼저 수행하여 현재의 분석장비 상태, 분석시료의 기반 물질들에 대한 분광특성 등을 입력하여 이들 정보를 바탕으로 시료를 분석할 수 있도록 설정한다. 분석시료의 기반 물질들은 90 % 아세톤 혹은 필터 등이다.

- ① 시료분석을 시작하기 전, spectrophotometer 분석장비의 전원을 켜서 최소 30분 이상 예열을 시켜놓는다.
- ② baseline correction을 수행하기 위해서, 10 mm optical cell에 90 % 아세톤을 약 3.5 ~ 4 mL 채우고 광이 통과하는 투명한 부분을 이물질이 없도록 깨끗이 닦은 후, spectrophotometer 내부의 reference part와 sample part에 각각 장착한다.
- ③ 사용하는 spectrophotometer 제조사에 따라 운용 소프트웨어에서 표시하는 명칭 혹은 아이콘이 조금씩 차이가 있으며, 여기서는 Varian/Agilent사의 CARY용 WinUV 소프트웨어를 기준으로 설명한다. Scan 모드의 “baseline”아이콘을 클릭하여 baseline correction을 수행한다. 이때 측정파장범위는 400 ~ 760 nm 이다.
- ④ baseline correction이 완료되면, Scan 모드의 “Start”아이콘을 클릭하여 현재 분석장비 내부에 장착된 baseline correction용 시약(reference 시약, 90% 아세톤)을 측정한다. 이것은 baseline correction이 잘 수행되었는지 확인하기 위한 것으로 측정파장범위 400 ~ 760 nm 에 상관없이 “0”에 수렴하는 값들이 출력되어야 한다. 저장할 파일명의 양식은 “baseline_chl_조사기간_해역명_측정날짜”이다.
- ⑤ sample part에 장착된 optical cell을 회수하여 내부에 들어있는 시약을 폐기하고 90 % 아세톤으로 3회 세척한다.
- ⑥ 세척이 끝난 optical cell에 분석할 시료(90% 아세톤과 색소 혼합물)를 채우고 광이 통과하는 투명한 부분을 이물질이 없도록 깨끗이 닦은 후, spectrophotometer 내부의 sample part에 장착한다.
- ⑦ Scan 모드의 “Start”아이콘을 클릭하여 분석할 시료에 대한 정보들(정점명, 수심, 시료명,

시료번호 등)과 저장할 파일명을 기입한다. 이때 저장할 파일명의 양식은 “chl_정점명_수심_시료번호_조사기간_해역명_측정날짜”이다. “OK”를 클릭하여 시료분석을 수행한다. 측정과장범위는 400 ~ 760 nm이고 한 개의 현장시료에 대하여 총 3번 시료분석을 수행하고 분석횟수의 시간 간격은 3초이다.

- ⑧ 1개의 현장시료에 대해서 총 3회의 시료분석이 완료되면, ⑤ ~ ⑦의 과정을 반복적으로 수행하여 수집한 현장시료들을 연속적/순차적으로 분석한다.

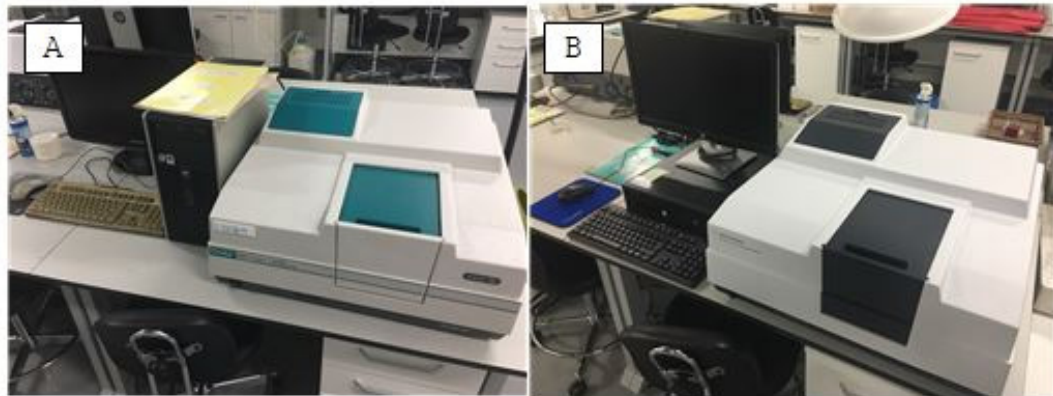


그림 146. A: CARY-100, B: CARY-300

[농도 산출 - 분광법]

Jeffrey and Humphrey (1975)의 식을 사용하여 엽록소 농도를 산출한다. 그 식은 다음과 같다.

$$CHL(mg/m^3) = \frac{C \times v}{V} \quad (\text{식23})$$

여기서, C 는 $11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630}$ 으로 E_{664} , E_{647} , E_{630} 는 각각 spectrophotometer에서 측정된 파장 664 nm, 647 nm, 630 nm에 대한 값이다. v 는 90 % 아세톤의 사용량으로 단위는 mL 이고 본 연구에서는 10 mL로 균일하게 사용하였다. V 는 채수한 해수의 여과량으로 단위는 L 이다.

[시료 분석 - 형광법(Fluorometric method)]

시료분석에 사용되는 fluorometer 모델은 Turner Designs사의 TD-700 Laboratory Fluorometer이다. 형광법에 의거한 시료분석 및 농도 산출은 EPA Method 445.0을 따른다.

- ① 시료분석을 시작하기 전, fluorometer 장비의 전원을 켜서 최소 30분 이상 예열시킨다.
- ② Solid Standard 라는 2차 표준시약을 사용하여 TD-700의 상태를 점검한다. 그 표준시약의 상단부에 “L”표시 부분을 왼쪽으로 향한 상태로 TD-700 내부에 삽입한다. “L”은 표준시약의 낮은 값을 나타낸다.
- ③ “*”를 누르면 화면상에 “DLY”와 값이 표출되고 잠시 후 “AVE”와 값이 표출되고 잠시 후 “END”와 값이 표출된다. “END”와 함께 표출된 값을 지정된 기록지의 양식에 의거하여 기입한다.
- ④ TD-700 내부에 삽입된 2차 표준시약을 살짝 들어올려서 180도 회전하여 “H”표시 부분이 왼쪽으로 향한 상태로 다시 삽입한다. “H”은 표준시약의 높은 값을 나타낸다. ③의 과정을 다시 수행한다. TD-700의 calibration 수행 직후 측정된 두 값(“L”값과 “H”값)과 각각 비교

하여 항목별 그 차가 10을 초과하는지 점검한다. 초과할 경우 분석장비의 검교정(calibration)이 필요하다. 2차 표준시약 측정이 완료되면 TD-700 내부에 삽입되어 있는 2차 표준시약은 회수한다.

- ⑤ TD-700 전용 10 mL glass tube에 90 % 아세톤을 채우고 마개를 닫은 후, 그 tube 끝면을 이물질이 없도록 부드러운 천 혹은 킴와이프 등으로 깨끗이 닦는다. TD-700 내부에 그 glass tube을 삽입하고 “0”을 눌러서 Blank를 측정한다.
- ⑥ Blank 측정이 완료되면, TD-700 내부에 삽입된 glass tube를 회수하고 채워진 시약을 폐기한다. 그 glass tube 내부를 90 % 아세톤으로 3회 세척한다.
- ⑦ 세척이 끝난 glass tube에 분석할 시료(90 % 아세톤과 색소 혼합물) 6 mL를 채우고 마개를 닫은 후, 그 tube 끝면을 이물질이 없도록 깨끗이 닦는다. TD-700 내부에 그 glass tube를 삽입하고 ③의 과정을 총 3회 수행한다. 이때 지정된 기록지 양식의 “before HCL”란에 측정시료의 정보들(정점명, 수심, 시료명, 시료번호 등)과 함께 그 값들을 기록한다.
- ⑧ TD-700 내부에 삽입된 glass tube를 회수하여 0.1N HCL (37 % 염산을 10배 희석한 시약) 0.18 mL을 첨가하고 마개를 닫은 후, 그 tube 끝면을 이물질이 없도록 깨끗이 닦는다. TD-700 내부에 그 glass tube를 삽입하고 ③의 과정을 총 3회 수행한다. 이때 지정된 기록지 양식의 “after HCL”란에 측정시료의 정보들과 함께 그 값들을 기록한다.
- ⑨ TD-700 내부에 삽입된 glass tube를 회수하고 채워진 시약을 폐기한다. 먼저 그 glass tube 내부를 증류수로 2회 세척한 후, 90 % 아세톤으로 3회 세척한다.
- ⑩ ⑦ ~ ⑨의 과정을 반복적으로 수행하여 수집한 현장시료들을 연속적/순차적으로 분석한다.



그림 147. TD-700

[농도 산출 - 형광법]

엽록소 농도를 산출하는 식은 다음과 같다.

$$chl - a(\mu g/L) = \left(\frac{r}{r-1} \right) (F_b - F_a) \left(\frac{v}{V} \right) \quad (\text{식24})$$

여기서, r 은 표준 엽록소 시약에 0.1N HCL을 첨가하기 전과 후의 비 값으로 TD-700을 검교정할 때 산출된다. F_b 는 현장시료에 0.1N HCL을 첨가하기 전에 측정한 값이고, F_a 는 0.1N HCL을 첨가한 후 측정한 값이다. v 는 90 % 아세톤의 사용량으로 단위는 L 이고 본 연구에서는 10 mL(0.01 L)로 균일하게 사용하였다. V 는 채수한 해수의 여과량으로 단위는 L 이다.

(다) 총 부유물 농도 (Total suspended particulate matter concentration, TSM)

[여과 전 필터무게 측정]

- ① 해수를 여과하기 전, 미리 필터의 무게를 측정해 놓아야 한다. 필터의 크기가 47 mm인 polycarbonate membrane (PCMB) filter (pore size 0.4 μm)를 55 mm의 페트리디쉬에 각각 1장씩 넣고 그 페트리디쉬들을 오븐 전용 트레이 안에 개별적으로 교차하도록 잘 배열한 후, 이물질의 침입을 방지하기 위해 호일로 그 트레이를 포장한다.
- ② 건조기에 준비된 그 트레이를 넣고 60 °C의 열기로 4시간 동안 건조시킨다. 건조가 완료되면, 건조기에서 그 트레이를 꺼낸다.
- ③ 건조된 필터들의 무게를 측정하기 위해 사용한 저울은 AND사의 Analytical Semi-Micro Balances GH-202 모델이다. 사용하기 전에 저울에 장착된 수평조정기와 수평기를 이용하여 저울의 수평을 맞춘다. 전원을 켜 후 “CAL”버튼을 눌러서 내장분동에 의한 캘리브레이션을 수행한다. 이러한 일반교정이 완료되면, “MODE”버튼을 눌러서 단위를 “mg”으로 설정하고 “RANGE” 버튼을 눌러서 최소자릿수를 0.01로 설정한다.
- ④ 꺼낸 트레이에서 필터를 한 개 선택하여 핀셋으로 저울 내부의 계량팬 위의 정중앙에 올려놓는다. 저울의 액정에서 왼쪽 상단에 “○”이라는 계량값 안정 마크가 표시되면서 나타나는 값을 지정된 기록지 양식에 기입하고 계량팬 위의 필터를 핀셋으로 집어서 페트리디쉬에 내려놓는다.
- ⑤ 동일한 필터로 ④의 과정을 10번 반복하여 blank filter로 활용할 값의 자료를 획득한다.
- ⑥ 그 외 나머지 필터들은 ④의 과정을 반복적으로 수행하여 각 필터에 대한 무게 값을 획득한다.
- ⑦ 사용한 페트리디쉬의 겉면에 측정날짜와 번호, 필터무게를 기록하는데 번호는 1번부터 순차적으로 기입한다.
- ⑧ 무게 측정이 완료된 필터들은 페트리디쉬에 넣어서 10개 단위로 호일을 사용하여 포장한다. 그 호일 포장지 겉면에 측정날짜와 10개 단위별 번호범위를 기록한다.

[여과 및 시료 보관]

- ① 엽록소 농도의 [여과 및 시료 보관] ① ~ ⑤의 과정과 동일하고 단지 여과량만 다르다.
- ② 여과량은 해역별로 상이하며, 동해 및 동중국해는 평균 1000 mL, 서해 및 남해는 평균 800 mL, 연안해역은 평균 500 mL, 특이해역(적조 및 탁한 해역)은 평균 300 mL 이하로 미리 계량한 후 사용한다.
- ③ PCMB 필터를 보관하던 페트리디쉬 겉면에 채수 및 여과한 해수의 각종 정보들(정점명, 중심, 시료명, 시료번호 등)을 기입한다. 계량한 해수를 전부 여과한 후, 사용했던 funnel의 안쪽 면을 증류수 15 ~ 20 mL 정도를 사용하여 세척하듯이 추가 투입한다. 이것은 염분에 의한 오차를 최소화하기 위한 과정이므로 반드시 수행해야 한다.
- ④ 증류수 세척과정이 종료되면, funnel를 제거하고 핀셋으로 base 위의 착색된 PCMB 필터를 페트리디쉬 안으로 옮겨 놓는다. 페트리디쉬의 뚜껑을 덮고 호일로 개별포장한 후, 지퍼팩에 넣어서 - 20 °C 냉동실에 보관한다.

[시료 처리 및 분석]

- ① 건조하기 전날 오후, 냉동실에서 시료를 미리 꺼내서 상온에 보관한다. 이것은 냉동보관된 시료들을 바로 건조기에 넣고 열기를 가하여 건조시키면 사용된 필터들이 페트리디쉬의 내부에 부착되어 그 필터가 훼손되어 정확한 무게 측정이 불가하기 때문이다.
- ② blank filter용 PCMB 필터 1장을 새로운 페트리디쉬에 넣고, 개별포장된 시료용 페트리디쉬를 개봉한다. 오븐 전용 트레이 안에 blank filter와 시료의 페트리디쉬들을 개별적으로 교차하도록 잘 배열한 후, 이물질의 침입을 방지하기 위해 호일로 그 트레이를 포장한다.
- ③ [여과 전 필터무게 측정] ② ~ ⑥의 과정과 동일하다.

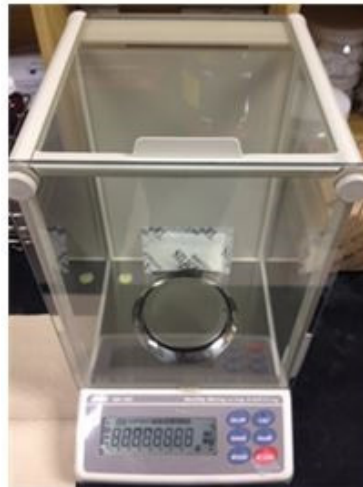


그림. 148. Semi-micro balance

[농도 산출]

총 부유물 농도를 산출하는 식은 다음과 같다.

$$TSM(g/m^3) = \frac{F_a - F_b}{V} \quad (식25)$$

여기서, F_a 와 F_b 는 각각 여과 전 필터무게와 여과 후 필터무게로써, 단위는 mg이다. V 는 채수한 해수의 여과량으로 단위는 L 이다.

(라) 흡광계수 (absorption coefficient, a)

[여과 및 시료 보관]

- ① 엽록소 농도의 [여과 및 시료보관] ① ~ ⑤의 과정과 동일하고 단지 사용된 GF/F 필터의 크기가 25 mm이고 이에 따른 여과량이 다르다.
- ② 여과량은 해역별로 상이하며, 동해 및 동중국해는 평균 1000 mL, 서해 및 남해는 평균 800 mL, 연안해역은 평균 500 mL, 특이해역(적조 및 탁한 해역)은 평균 100 mL 이하로 미리 계량한 후 사용한다.
- ③ 35 mm 페트리디쉬 겉면에 종이테이프를 부착하여 그 테이프 위에 연필로 채수 및 여과한 해수의 각종 정보들(정점명, 수심, 시료명, 시료번호 등)을 기입한다.
- ④ 페트리디쉬 내부에 스포이드로 증류수 2방울 떨어뜨리고 채수한 해수의 여과가 종료되면,

핀셋을 사용하여 페트리디쉬 내의 증류수 방울 위에 착색된 필터를 내려놓는다.

- ⑤ 파라필름으로 착색된 필터가 들어있는 페트리디쉬의 테두리를 포장한 후, 호일을 이용하여 주변 광의 침입을 방지하도록 전체 포장을 한다.
- ⑥ 호일로 전체 포장된 페트리디쉬를 초저온 냉동고(영하 80 °C) 혹은 액체질소용기에 넣고 보관한다.

[시료 처리 및 분석 - absorption coefficient of total particles, a_p]

- ① 염록소 농도의 [시료 분석 - 분광법] ① ~ ④의 과정과 동일하지만, 분석시료의 기반물질이 GF/F 25 mm 필터이므로 spectrophotometer의 예열시간과 동일하게 GF/F 25 mm 필터를 증류수에 담가둔다. 이 필터는 baseline correction을 수행할 때 사용된다.
- ② baseline correction을 수행할 때, 미리 증류수에 담가 둔 그 필터를 핀셋으로 한 장씩 꺼내어 각각 reference와 sample part에 부착한다. 이때 spectrophotometer에서 발산하는 광이 필터의 정중앙을 통과하도록 부착한다. 측정범위는 350 ~ 900 nm 이고 저장할 파일명의 양식은 "baseline_ap_조사기간_해역명_측정날짜"이다.
- ③ sample part에 부착된 필터를 회수하고 분석시료를 부착한다. 이때 시료의 착색된 부분의 정중앙으로 spectrophotometer에서 발산하는 광이 통과하도록 부착한다.
- ④ Scan 모드의 "Start"아이콘을 클릭하여 분석할 시료에 대한 정보들(정점명, 수심, 시료명, 시료번호 등)과 저장할 파일명을 기입한다. 이때 저장할 파일명의 양식은 "ap_정점명_수심_시료번호_조사기간_해역명_측정날짜"이다. "OK"를 클릭하여 시료분석을 수행하고 측정과장범위는 350 ~ 900 nm 이다.
- ⑤ 시료분석이 완료되면, ③ ~ ④의 과정을 반복적으로 수행하여 수집한 현장시료들을 연속적/순차적으로 분석한다. 이때 분석이 완료된 필터들은 페트리디쉬에 다시 넣어서 4 °C 냉장보관 한다.

[시료 처리 - absorption coefficient of suspended sediments, a_{ss}]

- ① 4 °C 냉장보관 중인 ap 분석이 완료된 필터가 들어있는 페트리디쉬들을 냉장실에서 꺼낸다. 그 페트리디쉬들을 흡후드 내부에 배열해 놓고 그 페트리디쉬 안에 피펫으로 메탄올 5 mL를 각각 첨가한다.
- ② 주변 광의 영향을 최소화하기 위해 호일로 그 페트리디쉬들을 살짝 덮은 후, 4시간 동안 흡후드의 상온에 보관한다.
- ③ 25 mm 용 Glass filter holder 세트를 준비하여 여과시스템에 장착한다.
- ④ 4시간 후, 핀셋을 사용하여 filter holder set의 base 위에 페트리디쉬의 메탄올에 담겨있는 필터를 꺼내서 base의 중앙에 위치하도록 올려놓는다. 그 위에 filter holder set의 funnel을 살며시 올려놓는다. 이때 먼저 올려놓은 필터의 착색된 원형 테두리와 funnel 하단면 중앙의 원형 테두리가 일치하도록 올려놓는다. 전용 집게로 그 base와 funnel를 동시에 집어서 고정한다.
- ⑤ 필터가 담겨있던 페트리디쉬의 메탄올을 그 funnel 안에 넣고 5 mL용 피펫과 새로운 메탄올로 그 페트리디쉬 내부를 2회 세척한다. 세척 후의 메탄올들은 모두 그 funnel 안에 넣는다.
- ⑥ 추가로 메탄올 10 mL를 그 funnel에 넣은 후, 여과시스템에 연결된 펌프를 작동시켜서 여과를 수행한다. 펌프의 압력은 염록소 농도의 [여과 및 시료보관] ⑤에 명시된 내용과 동

일하게 설정한다. 그 funnel 안의 메탄올이 모두 여과되면 funnel 안쪽 면에 남아 있는 입자들을 5 mL 피펫을 사용하여 메탄올로 2회 세척하면서 여과한다.

- ⑦ 여과가 종료되면, funnel를 제거하여 base 위에 놓여 있는 필터를 핀셋으로 사용하였던 페트리디쉬에 옮겨 놓는다. 메탄올 처리가 완료된 필터들은 24시간 동안 4 °C 냉장 보관한다.

[시료 분석 - absorption coefficient of suspended sediments, a_{ss}]

- ① a_p 의 [시료 처리 및 분석] ① ~ ⑤의 과정과 동일하다.
 ② baseline correction 측정자료의 파일명 양식은 “baseline_ad_조사기간_해역명_측정날짜”이고, 시료 분석에 따른 저장할 파일명의 양식은 “ad_정점명_수심_시료번호_조사기간_해역명_측정날짜”이다.

[흡광계수 산출]

흡광계수 a_p , a_{ss} 를 산출하는 식은 다음과 같다.

$$a_{p \& ss}(\lambda) = \frac{(OD_f(\lambda) - OD_b(\lambda) - OD_{null}) \times 2.3025}{\left(\frac{V}{S}\right) \times \beta} [m^{-1}] \quad (\text{식26})$$

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_{ss}(\lambda)$$

여기서, $a_p(\lambda)$, $a_{ss}(\lambda)$, $a_{ph}(\lambda)$ 는 각각 파장(λ)에 따른 총 부유입자, 부유퇴적물, 식물플랑크톤의 흡광계수 값이다. $OD(\lambda)$ 는 파장에 따른 현장시료(착색된 필터)의 측정 자료이고, $OD_b(\lambda)$ 는 파장에 따른 baseline correction의 측정 자료이다. OD_{null} 은 현장시료의 측정 자료들 중에서 파장 750 ~ 800 nm의 값을 평균한 값이고, 2.3025는 상용대수 함수인 측정값(optical density, OD)을 자연대수 함수인 흡광계수 값으로 변환하는데 필요한 상수값이다. V 는 채수한 해수의 여과량으로 단위는 L 이고, S 는 입자에 의해 생성된 필터 위의 착색된 면적으로 단위는 m^2 이다. b 는 필터로 측정된 흡광계수와 부유상태로 측정된 흡광계수의 비 값으로 파장에 상관없이 일정한 값 2 을 사용한다(Roesler, 1998). 이것은 multiple absorption 효과 (b effect)에 의해서 발생하는 차이를 보정하기 위한 값이다.

(마) 용존유기물의 흡광계수 (absorption coefficient of DOM, a_{dom})

[염산 세척]

- ① 10 % 염산 용액이 들어있는 용기에 50 mL vial을 넣고 24시간 보관한다.
 ② 3단계의 과정으로 50 mL vial의 염산 용액을 세척한다. 1단계는 10 % 염산 용액에 담겨있는 그 vial을 꺼내서 증류수가 들어있는 용기에 넣고 10분 보관한다. 2단계는 1단계의 증류수에 담겨있는 그 vial을 꺼내서 새로운 증류수가 들어있는 용기에 넣고 10분 보관한다. 3단계는 2단계의 증류수에 담겨있는 그 vial을 꺼내서 새로운 증류수로 약 3분 정도 충분히 세척한다.
 ③ 세척이 완료된 그 vial들은 건조기에 넣고 100 °C에서 1시간 건조시킨다. 건조가 완료되면 건조기 내부 온도가 40 °C 이하로 낮아질 때까지 대기한다.
 ④ 건조가 완료된 그 vial들을 하나씩 꺼내서 새로운 마개로 입구를 닫고 파라필름으로 그 마개와 vial 사이를 포장한다.

[여과 및 시료 보관]

- ① 채수한 해수로 50 cc 주사기를 3회 세척한 후, 그 주사기 내부를 채수한 해수로 가득 채

운다.

- ② 해수로 가득 채워진 주사기의 배출구에 25 mm membrane syringe filter (pore size 0.2 um)를 장착한다.
- ③ 준비된 vial의 마개에 채수한 해수의 각종 정보들(정점명, 수심, 시료명, 시료번호 등)을 네 임펜을 사용하여 기입한다.
- ④ 그 vial의 마개를 열고 준비된 그 주사기로 여과한 해수 5 mL를 vial 안으로 주입한 후, 마개를 닫고 그 여과 해수로 vial 안을 세척한다.
- ⑤ 마개를 열고 vial 안의 여과 해수를 폐기한 후, 그 주사기로 여과한 해수 45 mL를 vial 안으로 주입한다.
- ⑥ 주입이 완료되면 마개를 닫고 파라필름으로 그 마개와 vial 사이를 포장한 후, 주변 광의 침입을 차단하도록 호일로 vial 전체를 포장한다. 그 포장된 vial은 4 °C 냉장실에 넣고 보관한다.

[시료 처리 및 분석]

- ① 엽록소 농도의 [시료 분석 - 분광법] ① ~ ④의 과정과 동일하지만, 원통형태의 100 mm optical cell을 사용하여 baseline correction과 현장시료를 측정한다.
- ② 100 mm optical cell은 반드시 염산 세척 후 사용한다. 세척방법은 용존유기물의 흡광계수의 [염산 세척] ① ~ ③의 과정과 동일하다. 건조기에서 꺼낸 그 optical cell들은 1000 mL 비이커에 전용 마개와 함께 넣고 3차 증류수(Milli-Q water)를 채운 후, 사용하기 전까지 상온에 보관한다. 보관시간은 최소 4시간 이상이다.
- ③ baseline correction을 수행할 때, 그 비이커에서 100 mm optical cell들을 꺼내서 새로운 3차 증류수로 3회 세척한 후, 2개의 그 optical cell에 기포가 들어가지 않도록 증류수를 가득 채우고 전용 마개로 닫는다. 광이 통과하는 양쪽 끝 면을 이물질이 없도록 킴와이프로 먼지 및 수분을 제거한 후, 준비된 spectrophotometer 내부의 reference part와 sample part에 각각 장착한다. 측정범위는 250 ~ 900 nm 이고 저장할 파일명의 양식은 “baseline_adom_조사기간_해역명_측정날짜”이다.
- ④ sample part에 장착된 100 mm optical cell을 회수하여 그 optical cell에 담겨있는 액체는 폐기하고, 3차 증류수로 그 optical cell의 내부를 3회 세척한다. 분석할 시료를 세척된 optical cell에 채우고 전용 마개로 닫은 후, 광이 통과하는 양쪽 끝 면을 이물질이 없도록 킴와이프로 먼지 및 수분을 제거한다.
- ⑤ 준비된 optical cell를 sample part에 장착하고, Scan 모드의 “Start”아이콘을 클릭하여 분석할 시료에 대한 정보들(정점명, 수심, 시료명, 시료번호 등)과 저장할 파일명을 기입한다. 이때 저장할 파일명의 양식은 “adom_정점명_수심_시료번호_조사기간_해역명_측정날짜”이다. “OK”를 클릭하여 시료분석을 수행하고 측정파장범위는 250 ~ 900 nm 이다.
- ⑥ 시료분석이 완료되면, ④ ~ ⑤의 과정을 반복적으로 수행하여 수집한 현장시료들을 연속적/순차적으로 분석한다.

[용존유기물의 흡광계수 산출]

흡광계수 a_{dom} 를 산출하는 식은 다음과 같다.

$$a_{dom}(\lambda) = \frac{(OD_s(\lambda) - OD_b(\lambda) - OD_{null}) \times 2.3025}{0.1} \times 100 [m^{-1}] \quad (\text{식27})$$

여기서, $a_{dom}(\lambda)$ 는 파장(λ)에 따른 용존유기물의 흡광계수 값이다. $OD_s(\lambda)$ 는 파장에 따른 현장시료의 측정 자료이고, $OD_b(\lambda)$ 는 파장에 따른 baseline correction의 측정 자료이다. OD_{null} 은 현장시료의 측정 자료들 중에서 파장 650 ~ 700 nm의 값을 평균한 값이고, 2.3025는 상용대수 함수인 측정값(optical density, OD)을 자연대수 함수인 흡광계수 값으로 변환하는데 필요한 상수값이다. 0.1는 광이 통과한 거리, 광행로(optical path)이고 단위는 m이다.

(7) 현장관측 프로토콜 - 현장관측장비

(가) ASD FieldSpec 3 Spectroradiometer

해수의 원격반사도(remote sensing reflectance, R_{rs})를 산출하기 위해서 ASD사의 휴대용 분광기 FieldSpec 3 Spectroradiometer(이하 ASD라 함)를 사용하여 총 하향광량(downwelling irradiance, E_d), 대기광량(sky radiance, L_{sky}), 총 수출광량(total water-leaving radiance, L_{WT})을 측정하였다. ASD의 측정범위는 350 ~ 2500 nm이고 분광해상도는 3 nm, 측정간격은 1.4 nm이다. 기본적인 FOV(field of view)은 25° 이고 추가 part들을 사용하여 1° 및 8° 로 변경이 가능하다. irradiance 측정을 위해 RCR(remote cosine receptor)라는 광 센서 창을 이용한다.

- ① 조사정점에서 사용하기 전, ASD system의 광학계 장비에 배터리를 연결하여 전원을 켜서 최소 30분 이상 예열시켜 놓는다.
- ② 조사정점에 도착하면, ASD system의 운용 노트북을 구동시켜서 노트북에 설치된 Spanner 프로그램을 실행하여 USB 포트에 연결된 GPS 장비와 연동시킨다. 그 노트북에 설치된 RS3 프로그램을 실행하여 무선랜으로 연결된 ASD system의 광학계 장비와 연동시킨다.
- ③ RS3 프로그램의 control를 클릭하고 그 안의 spectrum save를 클릭하여 측정자료를 저장할 폴더명과 기본 파일명, 그리고 측정자료의 시작번호와 1회당 몇 번의 측정을 수행할 것인지 등을 입력한다. 통상 저장할 폴더명은 측정날짜(yyyymmdd, 년/월/일 순으로), 기본 파일명은 측정날짜를“yyyymmdd_”이라는 형태로 입력하고, 시작번호는 0번부터, 1회당 3번 측정하도록 입력한다.
- ④ downwelling irradiance를 측정하기 위해서, ASD의 광 케이블 끝에 RCR 센서 part를 부착한 후, 삼각대 또는 막대기 등을 사용하여 수평상태로 높게 세운다. 이때 주변 구조물에 의해 태양광 및 주변 광이 RCR 센서로 유입 혹은 영향을 받지 않도록 한다.
- ⑤ RS3 프로그램의 Opt 아이콘을 클릭하여 센서와 관측장비, 주변 광 환경에 대하여 ASD system을 최적화시킨다(optimization 수행). 그러면 주변 광 환경에 맞춰서 최적의 interval time을 찾아서 자동 설정하고, Dark current도 측정하여 system을 최적화한다.
- ⑥ optimization이 완료되면, 측정 대상물에 대한 광 측정을 수행한다. 운용 노트북의 스페이스바를 1회 터치하면 설정값에 의해 3번 측정한다. 측정자료들은 순번에 의거하여 순서대로 저장되므로 그 순번에서 무엇을 측정하였는지 기록해 놓는다.
- ⑦ total water-leaving radiance를 측정하기 위해서, 장착된 RCR 센서 part를 gun-grip과 8° degree FOV part들로 교체한다. 태양을 바라보고 시계방향으로 135° 위치의 해수표면

을 향하여 그 gun-grip를 지향한다. 이때 관측자의 수직 연장선을 기준으로 지향한 센서의 안쪽 각, 입사각이 40° 되도록 지향한다.

- ⑧ 위의 ⑤ ~ ⑥ 과정을 수행한다.
- ⑨ sky radiance를 측정하기 위해서, 해수표면을 지향한 위치에서 그 센서를 들어 올려서 하늘을 지향한다. 이때 관측자의 수직 연장선을 기준으로 지향한 센서의 위쪽 각, 입사각이 40° 되도록 지향한다.
- ⑩ 위의 ⑤ ~ ⑥ 과정을 수행한다.
- ⑪ ViewSpec Pro 프로그램을 사용하여 측정한 자료들을 DN 값에서 radiance 값으로 변환한다. 단위는 radiance이면 $W/m^2/nm/sr$, irradiance이면 $W/m^2/nm$ 이다.



그림 149. ASD FieldSpec 3 spectroradiometer

(나) TriOS RAMSES Hyperspectral Radiometer Above System

해수의 원격반사도(remote sensing reflectance, R_{rs})를 산출하기 위해서 TriOS사의 RAMSES Hyperspectral Radiometer Above System(이하 TriOS라 함)이라고 하여 irradiance 센서 1개, radiance 센서 2개, 총 3개의 센서를 조합한 above 관측 시스템을 사용하여 총 하향광량(downwelling irradiance, E_d), 대기광량(sky radiance, L_{sky}), 총 수출광량(total water-leaving radiance, L_{wT})을 동시 측정하였다. TriOS의 측정범위는 320 ~ 950 nm이고 디텍터 타입은 256개 채널로 형성된 silicon photodiode array이고, 이 중에서 190 채널만 사용한다. 픽셀당 3.3 nm의 분광수집 능력이 있고 그 정확도는 0.3 nm이며, radiance 센서의 FOV는 대기와 수중에서 모두 동일하게 7° 이다.

- ① irradiance 센서는 2 m 이상의 막대기 끝에 장착하고 그 센서에 전용 케이블을 연결한 후, 주변 구조물에 의한 광의 차단 효과가 없는 장소에 그 막대기를 설치한다.
- ② 해수표면과 대기로의 입사각이 각각 40° 로 형성된 “V”형 고정 틀에 radiance 센서 2기를 각각 설치하고 그 센서에 전용 케이블을 연결한다.
- ③ 각 센서별로 연결된 전용 케이블들을 IPS104 data logger 장비에 각각 연결하여 그 장비의 전원을 켜서 조사정점에서 사용하기 전, 최소 30분 이상 센서들을 예열시켜 놓는다.

- ④ IPS104와 운용 노트북을 RS232 케이블로 연결한 후, 그 노트북에 설치된 MSDA_XE 프로그램을 실행한다. 각각의 센서별 background file과 calibration file들과 센서 등록 wizard 기능을 사용하여 설치된 그 센서들을 모두 MSDA_XE 프로그램에 등록시킨다.
- ⑤ NMEA를 지원하는 GPS를 그 운용 노트북에 연결할 경우 MSDA_XE 프로그램을 통해 연동시켜서 사용이 가능하다. 이때 측정할 때마다 그 조사점의 위치정보가 자동으로 기록/저장된다.
- ⑥ 매시 20초 간격으로 연동된 센서들이 동시 측정하도록 MSDA_XE의 Extra 안의 Timer를 클릭하여 환경설정에서 Raster를 선택하고 시간은 20초로 설정한다.
- ⑦ 조사점에서, 태양을 바라보고 시계방향으로 135° 위치의 해수표면과 대기를 동시에 지향하도록 “V”형 고정틀에 radiance 센서 2기가 장착된 막대기를 거치한다.
- ⑧ MSDA_XE의 각 센서별 조작 창에서 Auto 아이콘을 클릭한 후, Timer 창의 Auto 아이콘을 클릭하여 측정을 시작한다. 측정은 3분 동안 수행하고 측정시간 중 거치한 radiance용 막대기 및 고정 설치된 irradiance용 막대기는 절대 움직이지 않도록 한다. 측정과 동시에 DN값과 radiance 값이 자동으로 각각 변환되어 저장된다. 저장은 각 센서별 명과 날짜, 시간 등이 파일명에 자동으로 기입되고 GPS 장비를 연동시켰을 경우 해당 파일 내에 그 정보가 수록된다.



그림 150. TriOS RAMSES above system

(다) Profiler II (Free-Falling Optical Profiler, HyperPRO II)

해수의 확산 감쇠 계수(diffuse attenuation coefficient, K_d), 원격반사도(remote sensing reflectance, R_{rs}), 수출광량(water leaving radiance, L_w) 등을 산출하기 위하여, SATLANTIC사의 Profiler II (HyperPRO II) system을 사용하였다. Profiler II system은 자유낙하방식으로 수층별 downwelling irradiance(E_d)와 upwelling radiance(L_u)를 측정하는 profiler part와 해수면 위에서의 downwelling irradiance(E_s)를 측정하는 reference part로 구성된 hyperspectral radiometer system이다. 광학계의 측정범위는 350 ~ 800 nm이고 픽셀당 3.3 nm의 분광수집 능력이 있고 그 정확도는 0.3 nm이며, 수중에서의 radiance 센서의 FOV는 8.5° 이다.

- ① reference part의 irradiance 센서는 2 m 이상의 막대기 끝에 장착하고 그 센서에 전용 케이블을 연결한 후, 주변 구조물에 의한 광의 차단 효과가 없는 장소에 그 막대기를 설치한다.

- ② profiler part에 전용 케이블을 연결하고 전용 power supply를 통해 reference와 profiler part에 전원을 공급하여 최소 30분 이상 예열시켜 놓는다.
- ③ 조사정점에서 도착하여 운용하기 전, 전용 노트북에 설치되어 있는 SatView 프로그램을 실행하고 수중으로 투입할 profiler part는 수직으로 세운다. SatView 프로그램의 Pressure Tare 아이콘을 클릭하여 현재의 대기압을 설정한다.
- ④ profiler part에 연결된 케이블을 잡고 천천히 해수면을 통해 수중으로 투입한다. 부력에 의해 profiler part가 뜨면, 조금씩 케이블을 풀어주면서 선박으로부터 최소 20 m 이상 떨어지도록 부유시킨다.
- ⑤ 선박으로부터 20 m 이상 떨어졌으면, SatView 프로그램의 저장기능을 실행하고 부유 중인 profiler와 연결된 케이블을 조금씩 풀어주면서 자유낙하방식으로 하강하도록 유도한다.
- ⑥ 연안 해역 등의 탁한 해역에서의 낙하 속도는 0.1 ~ 0.2 m/s, 외해역 등의 맑은 해역에서의 낙하 속도는 0.3 ~ 0.4 m/s가 유지되도록 조절한다.
- ⑦ 연안 해역 등의 탁한 해역에서의 관측 수심은 평균 20 m 미만, 외해역 등의 맑은 해역에서의 관측 수심은 평균 30 m 미만이고 표층과 관측 수심을 최소 3번 이상 왕복하여 연속 관측한다.
- ⑧ 왕복 관측이 종료되면 표층에서 profiler part가 대기 중일 때 자료 저장 기능을 종료하고, 표층에 부유 중인 장비는 회수한다.
- ⑨ Prosoft 프로그램을 이용하여 DN 값을 radiance 값으로 변환하고, 정해진 절차에 따라서 확산 감쇠 계수 등을 산출한다.

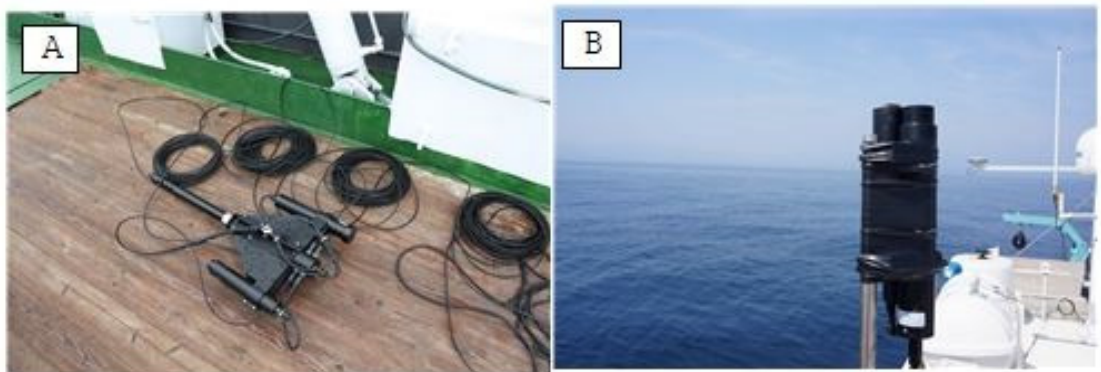


그림 151. A: Profiler II, B: Reference sensor (irradiance sensor)

(라) AC-S In-situ spectrophotometer

수중 입자의 감쇠 계수(attenuation coefficient, d)와 흡광 계수(absorption coefficient, a)를 수층별로 측정하기 위하여, WETLabs사의 AC-S spectrometer system(이하 ac-s라 칭함)을 사용하였다. ac-s의 측정범위는 400 ~ 730 nm, 출력 파장의 수는 80 ± 5 , 해상도는 4 nm, 광행로(pathlength)는 25 cm, 운용 가능한 최대 수심은 500 m이다.

- ① 현장에서 운용하기 전, 킴와이프스와 에탄올을 사용하여 ac-s system의 모든 flow tube와 O-ring들을 모두 세척한다. 에탄올 세척이 끝나면 3차 증류수로 헹군 후 상온에서 건조시킨다.

- ② 건조가 완료된 flow tube와 O-ring들을 ac-s system에 장착하고 12 VDC 전원을 공급하여 10분 이상 예열시킨다.
- ③ 20 L 급 carboy에 3차 증류수를 가득 채우고 그 carboy의 배출구와 ac-s system의 flow tube 흡입구를 호스로 연결하여 그 증류수들이 ac-s system의 flow tube를 통과하여 자연 배출되도록 공급한다. 이때 flow tube 내에 기포가 생성되어 그 tube 내부에 부착되지 않도록 증류수를 적당한 유속(100 mL/min 미만)으로 공급 및 자연 배출 시킨다.
- ④ WETView 프로그램을 실행하여 그 flow tube를 통과하는 증류수에 대한 감쇠 계수 값과 흡광 계수 값을 30초 동안 측정하여 획득한다. 이때 출력되는 모든 파장들의 값들에 대한 각각의 차가 0.002 ~ 0.005 m⁻¹ 범위로 좁혀지도록 반복 측정한다. 확정된 값의 저장 파일명 양식은“baseline_ac-s_시리얼넘버_측정날짜_순번(01,02,03)”이다. 이것은 baseline 자료로 활용되며 총 3회의 자료를 획득한다.
- ⑤ 현장에서 운용할 때, 선박의 윈치에 연결된 ac-s system을 수중으로 투입시켜 수심 10 m 까지 내린 후 5분 동안 시스템 안정화를 시킨다.
- ⑥ 표층까지 올린 후, 초당 0.6 m의 속도로 수심 100 m까지 천천히 내린다. 목적 수심에 도달하면 그 수심에서 3초 동안 대기한 후, 표층으로 올리고 장비를 회수한다.
- ⑦ RS-232 포트를 통해 노트북으로 측정자료를 다운 받은 후, 메뉴얼에 의거하여 수온/염분 보정, 산란 보정을 거쳐 수층별 파장에 따른 수중 입자의 감쇠 계수와 흡광 계수를 산출한다.



그림 152. AC-S

(마) Hydroscat-6 Spectral Backscattering Sensor & Fluorometer

수중 입자의 역산란 계수(backscattering coefficient, b_b)를 수층별로 측정하기 위하여, HOBILabs사의 Hydroscat-6 Spectral Backscattering Sensor & Fluorometer system(이하 hydroscat-6라 칭함)을 사용하였다. hydroscat-6는 420 nm, 442 nm, 510 nm, 550 nm, 620 nm, 676 nm의 총 6개 파장으로 구성되어 있으며 그 중에서 510 nm와 676 nm 파장은 추가로 형광값을 측정한다. 이 파장에 대한 400 ~ 730 nm, 출력 파장의 수는 80 ± 5 , 해상도는 4

nm, 광행로(pathlength)는 25 cm, 운용 가능한 최대 수심은 500 m이다. 광원은 LED를 사용하고, 140°의 산란각에 대한 역산란 값을 측정하고, 최소 2 cm 이상의 optical path를 확보하여 측정한다.

- ① 현장에서 운용하기 전, hydroscat-6 전용 calibration fixture와 무광 검정색 커버, 증류수, spectralon plaque 등을 사용하여 hydroscat-6 system을 calibration 한다. calibration 항목은 dark offset, gain ratio, Mu의 총 3개 항목을 측정한다.
- ② calibration을 수행하기 전, hydroscat-6의 센서면을 증류수와 킴와이프스로 세척한다.
- ③ hydroscat-6의 센서면으로 주변 광이 전혀 침입하지 못하도록 무광 검정색 커버로 덮는다. 노트북에 설치된 Hydrossoft를 실행하여 Instrument의 Calibrate를 클릭한다. Calibration 창의 Dark offsets를 선택하여 start를 클릭, dark offset calibration을 수행한다. 작업이 종료되면 새로운 dark offset 값들을 저장한다.
- ④ spectralon plaque의 표면에 기포가 발생하지 않도록 도료를 충분히 뿌린 후, 그 spectralon을 hydroscat-6 전용 calibration fixture 내부의 정중앙에 내려놓는다. 그 fixture 내부를 증류수로 가득 채운 후, hydroscat-6를 그 fixture 내부에 삽입한다. 이때 hydroscat-6의 센서면에 기포가 생성되어 부착되지 않도록 조심스럽게 삽입한다.
- ⑤ 그 Hydrossoft의 calibration 창에서 Gains를 선택하고 start를 클릭하면 Near 혹은 Far를 선택하라는 메시지가 나온다. Near로 선택하여 손잡이를 움직여서 그 spectralon을 센서면에 근접하도록 움직인다. 이때 적절한 위치에 도달하면 OK를 클릭하라는 메시지가 나오고 클릭하면 gain 값들을 수집한다. 이 과정을 반복하면서 모든 파장에 대한 gain 값들을 수집하고 완료되면 그 새로운 gain ratio 값들을 저장한다.
- ⑥ 그 Hydrossoft의 calibration 창에서 Mu를 선택하고 start를 클릭하면 그 spectralon을 움직여서 적절한 위치의 gain 값을 찾도록 명령한다. 이 명령을 수행하여 완료되면, 그 spectralon을 움직여서 그 hydroscat-6의 센서면과 거의 밀착되도록(spectralon과 센서면의 간격은 0 cm) 시작위치를 확정한다. First Step를 클릭하면 Mu 값을 측정하고 손잡이를 반바퀴 돌려서 그 spectralon을 2.54 mm 내린 후, Next Step를 클릭하면 그 위치에서 Mu 값을 측정한다. 이 과정을 반복하면서 종료 메시지가 표시될 때까지 측정한다. 종료 메시지가 표시되면 Finish를 클릭하여 새로운 Mu 값을 저장한다.
- ⑦ 새로 획득한 calibration 자료들은 hydroscat-6 system 내부에 저장한다.
- ⑧ 현장에서 수중에 투입하기 전, Hydrossoft를 사용하여 hydroscat-6 system 내부의 날짜와 시간을 현재로 설정하고, 자료측정 간격 등을 현장 상황을 고려하여 조정한다.
- ⑨ 현장에서의 운용은 통상적인 형광계 센서와 동일하다.
- ⑩ RS-232 포트를 사용하여 hydroscat-6 내부에 저장된 측정자료들을 Hydrossoft를 사용하여 노트북으로 다운받은 후, 그 Hydrossoft를 사용하여 수심에 따른 파장별 역산란 계수를 산출한다.



그림 153. Hyrdoscat-6

(바) LISST-200X Submersible Particle Size Analyzer

수중 입자의 크기별 분포와 체적에 따른 농도 등을 수층별로 측정하기 위하여, SEQUOIA사의 LISST-200X Submersible Particle Size Analyzer system(이하 LISST-200X라 칭함)을 사용하였다. LISST-200X는 레이저 회절 방식을 사용하여 1.0 ~ 500 μm 의 입자 크기를 총 36개 등급으로 분류/측정한다. CTD system을 운용하는 방식과 유사한 방법으로 현장에서 직접 입자의 크기별 분포를 산출하고, 운용 가능한 최대 수심은 600 m이다.

- ① 현장에서 운용하기 전, LISST-200X 전용 horizontal test chamber와 생수 혹은 0.2 μm filter로 여과한 증류수 등을 사용하여 LISST-200X의 장비 성능 점검 및 background scattering 측정을 수행한다.
- ② LISST-200X의 optical window들을 생수로 세척하여 이물질 등의 오염물질들을 제거한다. 그 optical windows들 사이의 공간에 horizontal test chamber를 삽입하여 장착하고 그 chamber 내부를 생수로 가득 채운다.
- ③ 노트북과 LISST-200X를 시리얼 포트에 연결하고 그 노트북에 설치된 LISST-SOP 프로그램을 실행한다. LISST 메뉴의 Collect Background Scatter Data를 클릭하여 생성된 창에서 BEGIN Collect를 클릭하여 background 측정을 시작한다. background 측정은 3 ~ 5 회 반복 측정한다.
- ④ 현장에서의 운용은 전원을 켜고 수중으로 투입, 수심 10 m에서 3분 동안 시스템 안정화, 표층으로 올렸다가 관측 최대 수심까지 일정한 속도로 하강, 관측 최대 수심에서 3초 대기 후 회수의 일련의 과정은 통상적인 CTD 운용과 동일하다.
- ⑤ 시리얼 포트를 사용하여 LISST-200X 내부에 저장된 측정자료들을 LISST-SOP 프로그램을 사용하여 노트북으로 다운 받은 후, 그 LISST-SOP 프로그램을 사용하여 수심에 따른 수중 입자의 크기 분포 자료를 산출한다.



그림 154. LISST-200X

(사) 2100Q and 2100Qis Portable Turbidimeter

탁도란 수중물질 등에 의하여 물이 혼탁한 정도를 말하며, 해양위성센터에서는 탁도를 현장에서 관측하기 위해 두 가지 모델의 탁도계를 사용하고 있다. Hach 사에서 나온 2100Q와 2100Qis 이다. 이 두 모델은 생김새와 측정 방법이 같으나 사용되는 광원에 차이가 있다. 광원의 차이는 준수하는 규제의 차이에 의한 것이다. 2100Q 모델은 EPA Method 180.1을 충족시키기 위해 텅스텐 필라멘트 광원을 사용한다. 이 조사광은 400~600nm 파장을 갖는다. 반면 2100Qis 모델은 ISO Method 7027을 준수한다. 때문에 LED 광원을 가지며 광원의 파장은 860nm 이다. 측정범위는 0 ~ 1000 NTU(FNU), 분해능은 가장 낮은 범위에서 0.01 NTU(FNU)로서, 두 모델 모두 동일하다.

2100Q 모델은 NTU(Nephelometric Turbidity Unit) 단위를 사용한다. 반면 2100Qis 모델은 FNU(Formazine Nephelometric Units) 단위를 사용한다. 위에서 언급한 규제의 차이에 의해 다른 단위이다. 또한 측정 방식을 부르는 것이기도 하다. 그러나 엄밀히 말해서 샘플을 투과된 빛의 세기와 과 90° 로 산란된 빛의 세기의 비율을 사용하여 탁도를 측정하기 때문에 NTRU(Nephelometric Turbidity Ratio Unit)과 FNRU(Formazine Nephelometric Ratio Units) 이라고 지칭하는 것이 좀 더 명확한 표현이다.



그림 155. 2100Q & 2100Qis portable trubidimeter

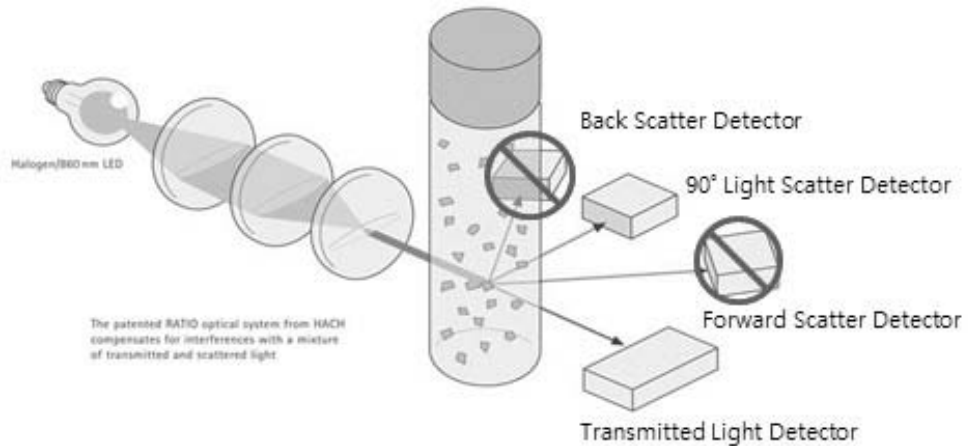


그림 156. 2100Q(is) 장비의 측정 구조

(Launch of NEW Lab Turbidimeter, Environmental Technology, Nov. 10 2009)

휴대용 탁도계 장비의 교정에는 일반적으로 탁도계의 교정에 사용되는 포마진 수용액을 사용하지 않는다. Hach사에서 교정용으로 제공되는 수용액을 사용하는데 이는 포마진 수용액과 같은 Light scatter 특징을 지닌다. 포마진 수용액은 일반적으로 제조 후 10~15일이 지나면 광학적 특성이 변해서 사용할 수 없기 때문에 지속적인 현장관측 교정에 부적합하다. 이 교정용 수용액의 유효기한은 1년이며, 매번 현장에서 측정하기 전에 교정을 수행한다.

- ① 평평하고 안정된 곳에 장비를 비치하고, 탁도계의 전원버튼을 눌러 전원을 켜다.
 - ② 측정기의 샘플병 삽입구를 비워둔 상태로 두고 3회 측정하고 측정값을 야장에 기록한다.
 - ③ 샘플병을 증류수로 깨끗이 씻은 후, 증류수를 채운다.
 - ④ 보푸라기가 없는 부드러운 천으로 실리콘 오일을 그 샘플병 겉면에 얇게 도포한다.
 - ⑤ 샘플병의 겉면에 표시된 화살표가 측정기 삽입구 주변에 표시된 화살표와 일치하도록 유념하여 삽입한다.
 - ⑥ 측정 버튼을 눌러 3회 측정하고 측정값을 야장에 기록한다.
 - ⑦ 샘플병을 비우고 증류수로 깨끗이 씻은 후, 측정할 시료(해수)를 채운다.
 - ⑧ ④ ~ ⑥의 과정을 반복한다.
- (8) 동해 해양 광학 부이 (East Sea Ocean Optical Buoy, ESOOB)

(가) 개요

동해 해양 광학 부이 (East Sea Ocean Optical Buoy, ESOOB)는 2012년 4월 처음 계류 및 운용을 시작하여 현재까지 운용되고 있는 고정관측 시스템이다. GOCI 검보정에 필요한 광학 자료를 생산하는 광학계와 해수의 수온과 염분, 엽록소 농도 등의 환경 자료를 생산하는 수중 센서계와 대기의 온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속 등의 기상 자료를 생산하는 기상 센서계의 3개의 시스템으로 구성된 센서 부분과 자료 수집을 위한 데이터로거와 송신을 위한 모뎀, 부이 흘과 계류라인 등의 부이 구조체로 구성되어 있다. ESOOB은 매년 10개월 이상 운용하고 유지 및 보수를 위해 최소 1개월의 공백시기를 갖고 있으며, 동해상에서 운용되는 부이의 특성상 동절기의 재계류 및 회수는 하지 않고 있다.

(나) 설치 일시 및 설치 좌표

① 설치 일시

㉓ 작업자 : 오토로닉스 김창균, 박경훈, 김태길, 김창훈

㉔ 작업 선박 : 오토로닉스 탐사 2호

표 22. 동해 광학 부이 설치 일시

일시		작업내용
2017년 4월 20일		광학부이 계류준비(부이 조립 및 항구 이동)
2017년 4월 21일	8:30	탐사2호 강원도 묵호항 출발
	10:30	광학부이 계류 위치 도착
	12:00	광학부이 계류 완료, 복귀

② 설치 좌표

㉓ 계류 허가 위치 : 북위 37도 51분 09초, 동경 129도 02분 11초

㉔ 작업 선박 : 계류 설치 위치 : 북위 37도 51분 10.16초, 동경 129도 02분 12.03초

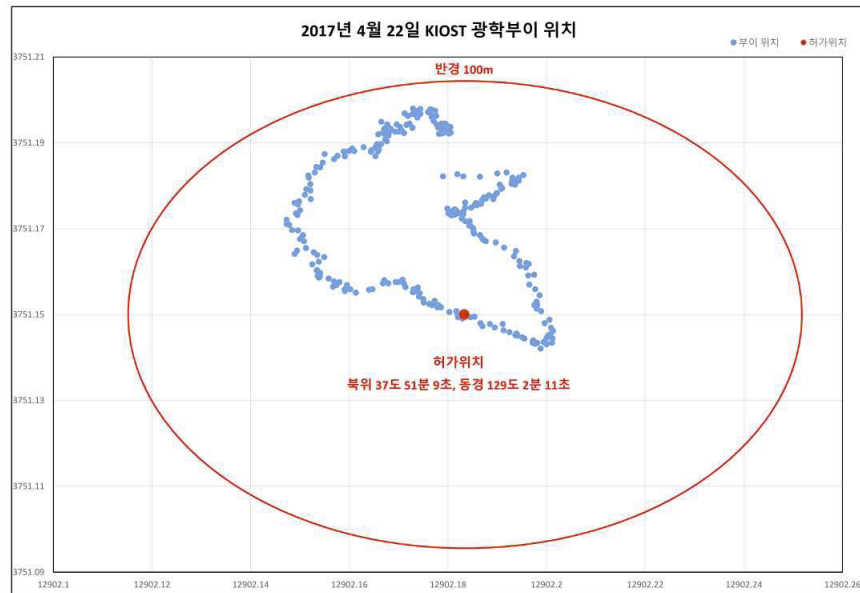


그림 157. 동해 광학 부이 설치 위치

(다) 동해 광학 부이 계류 사진



그림 158. ESOOB 최상단



그림 159. ESOOB 하부 RAMSES 센서



그림 160. ESOOB 계류 준비



그림 161. ESOOB 위치 이동

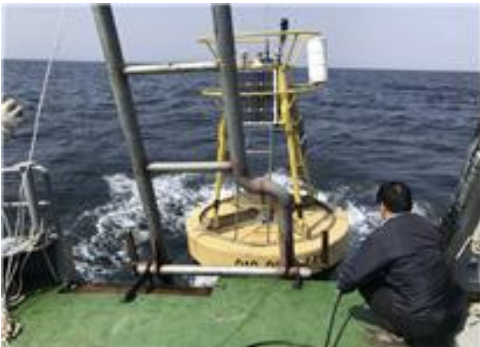


그림 162. ESOOB 투하



그림 163. ESOOB 계류 라인 투하



그림 164. ESOOB 계류 완료



그림 165. 등명기 동작 상태 확인

(라) 동해 광학 부이 변경 사항

① 전원 설계 변경

- ㉓ 기존 55A 4ea에서 1개를 추가하여 55A 5ea로 증설
- ㉔ 50W 4ea에서 40W 솔라 2ea를 추가 설치하여 50W 4ea, 40W 2ea로 증설
- ㉕ 전력 소모량을 줄이기 위하여 등명기를 기존 LED200에서 일체형 등명기로 변경



그림 166. 추가된 동해 광학 부이의 솔라 패널 모습

② 데이터 로거 변경

- ㉖ 기존 오토닉스의 Aquacomm에서 추가 센서로 인한 포트 부족으로 데이터 로거를 같은 제조사의 Aquapro로 변경



그림 167. 교체된 Aquapro 데이터 로거의 모습

③ AirMar 센서 추가

- ㉗ AirMar 센서 추가로 Apparent and Theoretical Wind Speed and Direction, Barometric Pressure, Air and Wind Chill Temperature, Relative Humidity 데이터 수집



그림 168. 동해 광학 부이에 설치된 AirMar 센서의 모습

- ④ SBE37SI 센서 데이터 포맷 변경
- ⑦ Salinity 값 출력

표 23. 염분 값 출력

	Temperature (°C)	Conductivity(S/m)	Salinity
기존	14.4135	4.1951	
변경	14.4135	4.1951	34.6393

(마) TriOS 센서 S/N 및 설치 위치

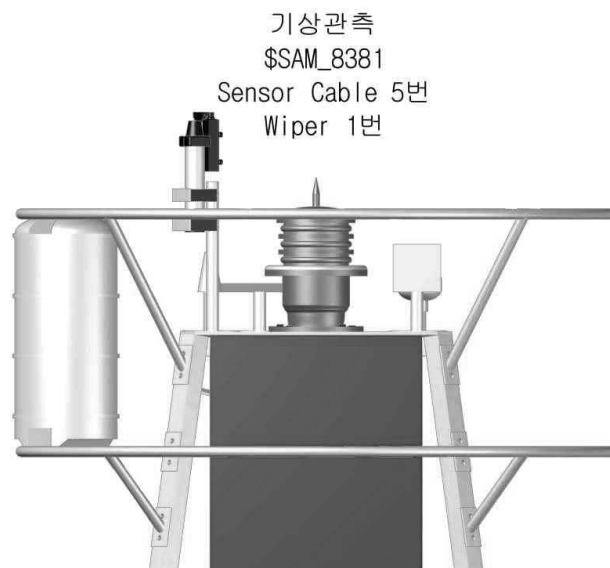


그림 169. 동해 광학 부이 상단에 설치된 TriOS 센서



그림 170. 동해 광학 부이 수심 1m 지점에 설치된 TriOS 센서

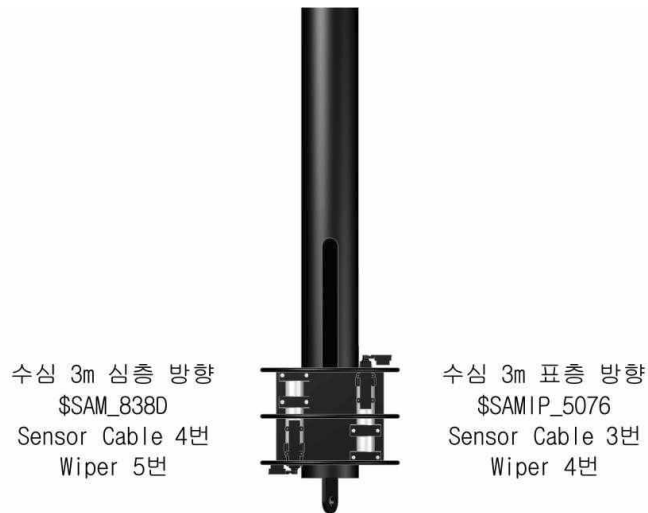


그림 171. 동해 광학 부이 수심 3m 에 설치된 TriOS 센서

(바) 동해 광학 부이 관측 데이터

① 동해 광학 부이 데이터 포맷

- ㉔ TriBox2는 계속 동작하고 있으며, 5분마다 관측하고 있다. 관측된 데이터는 Binary 형식으로 부이 데이터와 TriBox2 데이터를 컨트롤러의 내부 메모리에 저장되며, 서버에 데이터를 전송한다. 서버에서는 전송받은 Binary 데이터를 ASCII로 변환하여 저장하며, 부이 데이터와 TriBox2 데이터는 별도의 파일로 저장된다.

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890									
0	"h",2982,170422000088,8, 18.0, 14.9, 41.0,1021.1,042117,150108, 8751.1822,12902.1790, 0.5,10 5.8, 1, 9, 987.8, 262.7, 19.4, 1012.8, 10.2, 81.2, 0.6, -4.8, 042117, 285229, 700, 8 0, 895, 166, 480, 58, 551, 14.4195, 4.1951, 84.6988									
1번 관측 시 부이 데이터 : 266 Byte (ASCII Format)										


그림 172. 동해 광학 부이 데이터의 예시. 1번 관측 시 266 Byte 용량의 데이터 생성

표 24. 동해 광학 부이 데이터 포맷 상세

시작	ByteSize	데이터	내용		
1	3	h	AquaPro-ID(A~Z)	bid	부이아이디
5	4	2982	AquaPro-DataFileSize	Size	파일사이즈
10	12	1.70422E+11	AquaPro-DATE&TIME	yymmddHHMMSS	날짜및시간
23	1	8	AquaPro-CDMALevel	L	CDMA안테나레벨
25	5	14	AquaPro-BatteryVoltage(Volt)	BVot	배터리전압
32	5	19.9	AquaPro-Temperature(°C)	btemp	캐니스터내부온도
38	5	37	AquaPro-Humidity(%)	bHR	캐니스터내부습도
44	6	1022.3	AquaPro-AirPressure(mber)	bBP	캐니스터내부기압
52	6	42217	GPS-DATE(UTC)	ddmmyy	GPS날짜
59	6	40100	GPS-TIME(UTC)	HHMMSS	GPS시간
66	10	3751.1588	GPS-Latitude(DDMM.MMMM)	Latitude	위도
77	10	12902.154	GPS-Longitude(DDDMM.MMMM)	Longitude	경도
89	5	0.2	GPS-Speed(km/h)	SOG	부이이동속도
96	5	65.7	GPS-Coursedegreesmagnetic(°)	GT	부이이동방향
103	2	1	GPS-GPSQuality	MD	GPS모드
107	3	12	GPS-Numberofsatellitesinuse	No	위성수
112	6	248.9	Airmar-Heading	Head	방향
112	6	275.3	Airmar-windDr	Wind_D	풍향
112	6	8.7	Airmar-windspeed	Wind_S	풍속
112	7	1012.8	Airmar-AirPressure(mber)	BP	기압
112	6	13.1	Airmar-Temperature(°C)	Temp	온도
112	6	70	Airmar-Humidity(%)	Rh	습도
112	6	-5.2	Airmar-Pitch	Pitch	pitch
112	6	3.2	Airmar-Roll	Roll	roll
112	7	42217	Triplet-DATE	ddmmyy	날짜
120	7	125226	Triplet-TIME	HHMMSS	시간
128	4	700	Triplet-WaveLength	TP1	WaveLength
133	5	57	Triplet-Signal(NTU)	TP2	NTU
139	4	695	Triplet-WaveLength	TP3	WaveLength
144	5	76	Triplet-Signal(Chlorophyll)	TP4	Chlorophyll
150	4	460	Triplet-WaveLength	TP5	WaveLength
155	5	56	Triplet-Signal(CDOM)	TP6	CDOM
161	4	550	Triplet-Thermistor	TP7	Thermistor
166	9	14.9518	SBE37SI-Temperature(°C)	S37SI_T	Temperature
166	9	4.2477	SBE37SI-Conductivity(S/m)	S37SI_C	Conductivity
175	9	4.2477	SBE37SI-Salinity(PSU)	S37SI_Sal	Salinity

② Triplet 데이터 변환

㉑ Characterization Sheet

PO Box 518 620 Applegate St. Philomath, OR 97370	WET  Labs	(541) 929-5650 Fax (541) 929-5277 www.wetlabs.com
NTU Characterization Sheet		
Date: 3/20/2015	S/N: BBFL2W-1275	
<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">Nephelometric Turbidity Unit (NTU) Scale Factor</p> <p style="text-align: center;">Turbidity units expressed in NTU can be derived using the equation:</p> <p style="text-align: center;">NTU = Scale Factor x (Output - Dark Counts)</p> </div>		
Dark Counts	50	Digital counts
NTU Solution Value	1680	counts
Scale Factor (SF)	0.0242	NTU/count
Maximum Output	4130	counts
Resolution	1.0	counts
Ambient temperature during calibration	22	°C
<p>Dark Counts: Signal output of the meter in clean water with black tape over detector.</p> <p>SF: Scale factor is determined using the following equation: $SF = xx \div (Output - Dark Counts)$, where xx is the value of a Formazin concentration. For example: $12.2 \div (2011 - 50) = 0.0062$.</p> <p>Maximum Output: Maximum signal output the meter is capable of.</p> <p>Resolution: standard deviation of 1 minute of collected data.</p>		
BBFL2W-1275.xls	Revision S	10/4/07

PO Box 518
620 Applegate St.
Philomath, OR 97370



(541) 929-5650
Fax (541) 929-5277
www.wetlabs.com

ECO Chlorophyll Fluorometer Characterization Sheet

Date: 3/20/2015

S/N: BBFL2W-1275

Chlorophyll concentration expressed in µg/l can be derived using the equation:

$$\text{CHL } (\mu\text{g/l}) = \text{Scale Factor} * (\text{Output} - \text{Dark counts})$$

Dark counts	Digital 49 counts
Scale Factor (SF)	0.0121 µg/l/count
Maximum Output	4130 counts
Resolution	1.3 counts
Ambient temperature during characterization	22.0 °C

Dark Counts: Signal output of the meter in clean water with black tape over detector.

SF: Determined using the following equation: $SF = x + (\text{output} - \text{dark counts})$, where x is the concentration of the solution used during instrument characterization. SF is used to derive instrument output concentration from the raw signal output of the fluorometer.

Maximum Output: Maximum signal output the fluorometer is capable of.

Resolution: Standard deviation of 1 minute of collected data.

The relationship between fluorescence and chlorophyll-a concentrations in-situ is highly variable. The scale factor listed on this document was determined using a mono-culture of phytoplankton (*Thalassiosira weissflogii*). The population was assumed to be reasonably healthy and the concentration was determined by using the absorption method. To accurately determine chlorophyll concentration using a fluorometer, you must perform secondary measurements on the populations of interest. This is typically done using extraction-based measurement techniques on discrete samples. For additional information on determining chlorophyll concentration see "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" part 10200 H, published jointly by the American Public Health Association, American Water Works Association, and the Water Environment Federation.

PO Box 518
620 Applegate St.
Philomath, OR 97370



(541) 929-5650
Fax (541) 929-5277
www.wetlabs.com

ECO CDOM Fluorometer Characterization Sheet

Date: 3/20/2015

S/N: BBFL2W-1275

CDOM concentration expressed in ppb can be derived using the equation:

$$\text{CDOM (ppb)} = \text{Scale Factor} * (\text{Output} - \text{Dark Counts})$$

Dark Counts	Digital
Scale Factor (SF)	43 counts
Maximum Output	0.0907 ppb/count
Resolution	4130 counts
	1.0 counts
Ambient temperature during characterization	22.0 °C

Dark Counts: Signal output of the meter in clean water with black tape over detector.

SF: Determined using the following equation: $SF = x \div (\text{output} - \text{dark counts})$, where x is the concentration of the solution used during instrument characterization. SF is used to derive instrument output concentration from the raw signal output of the fluorometer.

Maximum Output: Maximum signal output the fluorometer is capable of.

Resolution: Standard deviation of 1 minute of collected data.

BBFL2W-1275.xls

Revision S

10/4/07

㉔ 데이터 변환 예

Triplet Data : 050616, 235940, 700, 57, 695, 189, 460, 60, 5

NTU = $0.0242 \times (57 - 50) = 0.0242 \times 7 = 0.1694$ NTU

CHL = $0.0121 \times (189 - 49) = 0.0121 \times 140 = 1.694$ ug/l

CDOM = $0.0907 \times (60 - 43) = 0.0907 \times 17 = 1.5419$ ppb

- ㉓ 동해 광학 부이 TriOS 데이터 포맷(전송 간격 5분)
- ㉔ TriOS 데이터 예시

```

$SAML_838F:D170422T000500I4096S1093S1091S1090S1103S1095S1086S1090S1101S1090S1090S1097S1099S1101S1090S1093S1099S1096S1097
S1102S1100S1099S1103S1097S1097S1096S1102S1094S1096S1101S1100S1099S1096S1093S1099S1096S1099S1095S1102S1095S1096S1096S110
1S1106S1097S1092S1101S1103S1094S1100S1100S1096S1100S1103S1100S1102S1102S1092S1103S1092S1108S1099S1104S1106S1095S1099S11
04S1104S1096S1106S1104S1104S1105S1098S1100S1099S1107S1101S1102S1106S1102S1107S1100S1100S1101S1106S1108S1099S1101S1102S1
105S1101S1102S1104S1101S1108S1104S1106S1097S1106S1097S1102S1100S1094S1106S1103S1106S1096S1107S1100S1110S1106S1111S1102S
1107S1102S1105S1097S1104S1108S1100S1103S1102S1100S1104S1105S1103S1109S1112S1107S1109S1099S1105S1099S1107S1107S1103S1108
S1106S1102S1105S1102S1102S1106S1099S1104S1096S1102S1101S1106S1104S1104S1106S1103S1099S1101S1102S1106S1106S1096S1106S110
0S1107S1106S1099S1106S1104S1114S1106S1102S1101S1109S1102S1102S1101S1095S1105S1100S1103S1095S1100S1097S1106S1094S1103S11
00S1102S1100S1100S1100S1101S1103S1097S1104S1102S1100S1104S1099S1096S1101S1099S1101S1100S1096S1106S1098S1100S1106S1095S1
101S1101S1102S1100S1099S1092S1101S1101S1096S1095S1096S1101S1106S1094S1103S1102S1096S1099S1100S1101S1102S1094S1092S1106S
1097S1110S1106S1093S1097S1101S1100S1102S1103S1102S1106S1096S1093S1096S1094S1100S1099S1101S1100S1107S1096S1107S1171
$SAML_838F:D170422T000500I4096S1353S1356S1374S1368S1348S1358S1363S1377S1366S1373S1366S1370S1362S1364S1356S1364S1373
S1366S1352S1347S1361S1361S1370S1370S1373S1358S1361S1362S1353S1366S1362S1374S1366S1362S1366S1367S1366S1361S1360S1366S134
9S1362S1358S1366S1372S1384S1366S1348S1360S1364S1372S1358S1364S1371S1358S1359S1366S1369S1369S1388S1373S1375S1354S1369S13
72S1380S1367S1388S1373S1378S1350S1363S1371S1378S1369S1379S1381S1364S1360S1360S1376S1366S1376S1368S1373S1376S1365S1378S1
365S1365S1361S1375S1377S1383S1363S1373S1369S1366S1370S1372S1358S1388S1372S1368S1372S1364S1362S1371S1380S1384S1380S1344S
1372S1380S1377S1369S1380S1376S1371S1360S1372S1366S1368S1374S1371S1379S1362S1374S1368S1364S1370S1374S1376S1366S1372S1370
S1366S1379S1368S1367S1366S1371S1373S1367S1364S1381S1374S1372S1369S1371S1369S1361S1381S1379S1354S1372S1364S1377S1367S137
2S1376S1381S1350S1357S1365S1376S1369S1364S1381S1380S1369S1366S1370S1378S1373S1370S1373S1366S1361S1363S1375S1376S1369S13
80S1372S1365S1362S1373S1373S1374S1373S1380S1371S1371S1364S1375S1372S1377S1378S1378S1357S1372S1368S1374S1366S1373S1371S1
377S1370S1362S1357S1371S1364S1378S1376S1360S1347S1366S1364S1367S1368S1380S1360S1361S1363S1374S1366S1370S1382S1381S1353S
1372S1362S1380S1370S1387S1383S1367S1370S1368S1376S1380S1382S1386S1368S1376S1363S1378S1372S1383S1386S1371S1360S1420
$SAML_838F:D170422T000500I4096S1193S1187S1200S1200S1189S1189S1185S1197S1188S1197S1190S1218S1191S1196S1189S1203S1212S1225
S1203S1201S1171S1196S1188S1204S1186S1207S1194S1206S1203S1207S1193S1207S1197S1192S1182S1196S1175S1209S1162S1215S1191S121
2S1204S1222S1215S1203S1206S1196S1192S1196S1211S1206S1211S1206S1200S1211S1206S1218S1206S1201S1196S1192S1178S1203S1180S12
15S1201S1207S1199S1218S1224S1226S1217S1208S1199S1196S1201S1217S1204S1219S1210S1211S1200S1196S1226S1217S1212S1213S1196S1
199S1196S1203S1204S1201S1212S1212S1212S1216S1225S1225S1218S1205S1183S1204S1196S1194S1193S1190S1184S1197S1194S1206S1190S
1209S1196S1192S1207S1192S1201S1193S1190S1191S1198S1224S1213S1183S1191S1193S1200S1192S1210S1200S1205S1199S1205S1212
S1213S1200S1209S1204S1207S1201S1209S1193S1224S1215S1220S1215S1211S1205S1210S1190S1213S1202S1221S1212S1215S1172S1213S12
0S1215S1197S1210S1207S1209S1196S1203S1205S1214S1199S1202S1212S1218S1180S1197S1196S1217S1206S1206S1210S1218S1183S1213S12
00S1207S1203S1213S1206S1195S1186S1207S1202S1210S1195S1206S1202S1163S1193S1205S1194S1203S1211S1224S1203S1200S1191S1206S1
206S1205S1220S1225S1196S1192S1195S1212S1201S1220S1211S1220S1207S1192S1197S1206S1206S1207S1210S1215S1187S1210S1189S1214S
1203S1217S1212S1209S1202S1189S1196S1209S1205S1218S1209S1200S1197S1209S1198S1212S1211S1202S1191S1206S1255
$SAML_P_5075:D170422T000500I4096S1149S1145S1145S1152S1176S1159S1130S1153S1149S1157S1139S1172S1158S1162S1116S1153S1144S11
53S1153S1164S1158S1131S1131S1148S1146S1119S1162S1164S1163S1158S1138S1146S1147S1156S1155S1145S1165S1170S1144S1152S1146S1
148S1149S1172S1156S1142S1124S1153S1152S1157S1151S1160S1164S1132S1141S1149S1159S1117S1157S1172S1170S1136S1129S1148S1152S
1161S1151S1179S1136S1142S1147S1150S1152S1161S1147S1176S1163S1131S1142S1164S1158S1163S1152S1159S1175S1135S1144S1146S1155
S1132S1166S1177S1168S1151S1153S1149S1158S1160S1158S1144S1140S1162S1157S1156S1168S1185S1171S1170S1171S1173S1175S1186S116
4S1146S1131S1152S1149S1152S1149S1178S1166S1126S1162S1159S1164S1149S1168S1169S1146S1147S1145S1147S1158S1174S1185S1172S11
62S1137S1151S1154S1163S1180S1170S1162S1171S1138S1157S1155S1169S1148S1174S1163S1161S1130S1136S1178S1166S1150S1180S1169S1
149S1154S1154S1160S1161S1149S1192S1168S1159S1148S1134S1159S1163S1158S1172S1163S1158S1148S1158S1157S1152S1152S1149S1161S
1143S1125S1146S1155S1142S1165S1175S1167S1152S1126S1157S1160S1143S1167S1168S1156S1144S1147S1150S1162S1148S1172S1157
S1117S1140S1132S1164S1156S1146S1167S1168S1165S1128S1145S1146S1150S1159S1181S1163S1152S1134S1146S1149S1156S1149S1175S116
4S1133S1152S1152S1158S1159S1168S1162S1161S1134S1142S1142S1146S1167S1159S1159S1169S1130S1158S1156S1160S1152S1172S1222
$SAML_P_5075:PO.112713V3.143329
$SAML_P_5076:D170422T000500I4096S1175S1155S1172S1171S1169S1169S1182S1189S1194S1199S1183S1196S1206S1157S1204S1195S1194S11
80S1212S1196S1158S1167S1183S1184S1205S1186S1220S1189S1208S1164S1184S1190S1193S1189S1230S1206S1176S1189S1196S1189S1186S1
220S1201S1207S1198S1192S1190S1181S1211S1188S1214S1211S1189S1194S1199S1204S1192S1182S1206S1206S1146S1199S1192S1210S1197S
1207S1207S1221S1174S1203S1212S1198S1178S1219S1223S1203S1171S1206S1201S1189S1190S1198S1210S1203S1169S1201S1207S1208S1189
S1202S1218S1208S1155S1206S1196S1190S1194S1221S1204S1224S1175S1196S1191S1198S1206S1199S1206S1201S1183S1194S1199S1199S120
0S1229S1206S1174S1193S1197S1200S1214S1231S1227S1203S1208S1188S1179S1194S1210S1219S1214S1204S1215S1164S1213S1206S1210S11
96S1208S1212S1199S1207S1202S1205S1193S1232S1186S1209S1179S1205S1208S1196S1187S1191S1204S1172S1196S1195S1196S1202S1195S1
218S1199S1171S1195S1187S1200S1203S1210S1196S1210S1215S1170S1178S1197S1196S1188S1203S1206S1194S1144S1193S1188S1196S1189S
1200S1212S1178S1212S1192S1185S1168S1174S1183S1164S1189S1193S1186S1188S1204S1204S1196S1205S1193S1206S1193S1211S1166S1199
S1194S1188S1180S1219S1208S1162S1177S1187S1191S1194S1180S1193S1196S1204S1166S1196S1181S1184S1209S1190S1210S1207S1178S119
0S1197S1192S1210S1224S1218S1165S1196S1190S1200S1203S1205S1217S1204S1172S1193S1197S1212S1184S1227S1213S1166S1196S1235
$SAML_P_5076:PO.331739V2.649601
$C347.ZP-1.4R6.4T15.5
    
```

그림 173. TriOS 데이터 예시

- ㉕ 동해 광학 부이 이리듬 데이터
 - ㉖ 이리듬은 위성을 통하여 1시간 마다 Binary 형식으로 GPS 데이터 58Byte를 전송한다.전송되는 데이터는 메일을 통하여 수신하며, 서버에서 ASC II 형식으로 변환하여 저장한다.
 - ㉗ CDMA 데이터가 전송되지 않는 지역에 부이 표류 시 이리듬의 GPS 데이터를 확인하여 부이의 위치를 추적할 수 있다.
 - ㉘ 이리듬 GPS 데이터는 부이 데이터와 TriBOX 데이터와는 별도의 파일로 저장된다.

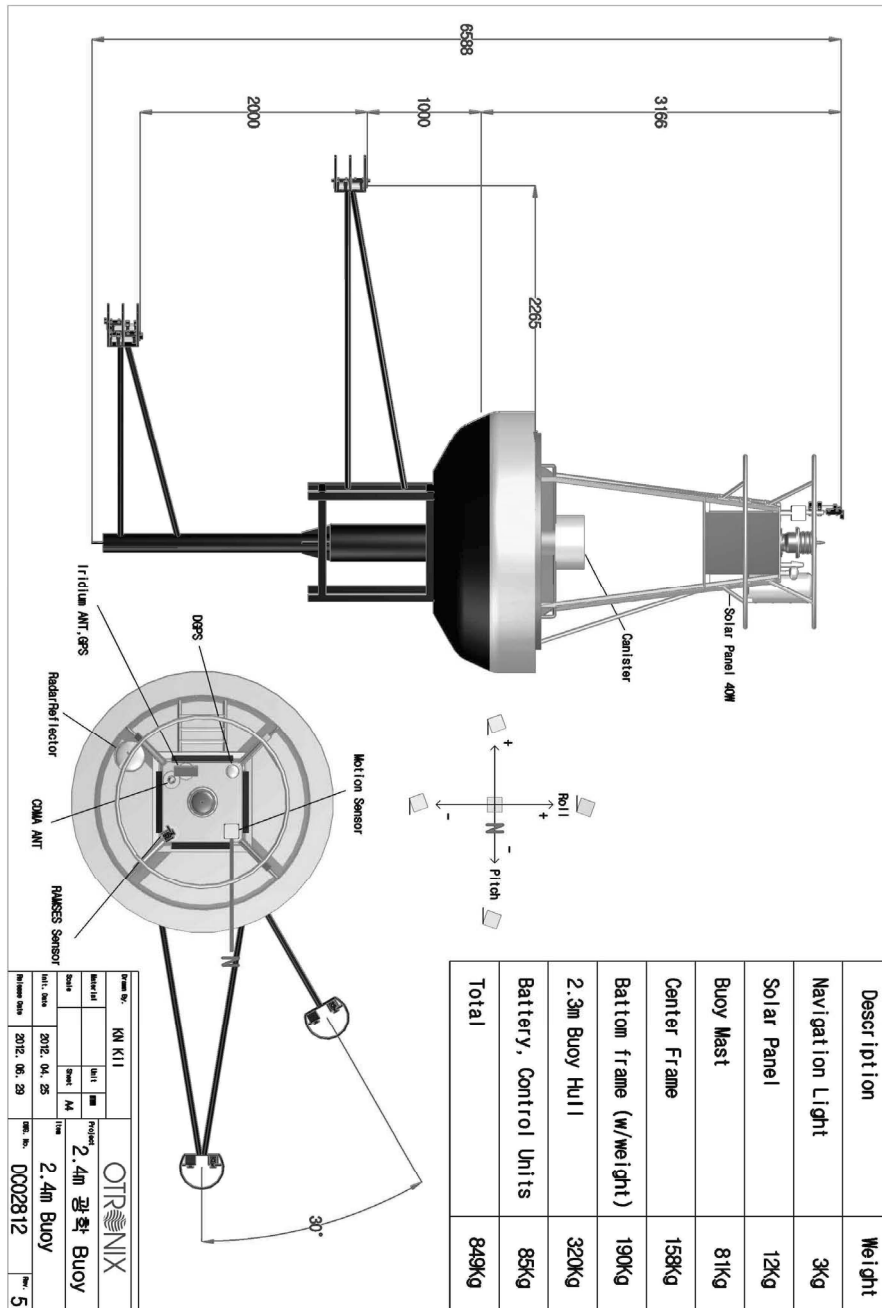
Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890									
0	170422095000, 13.7, 7.2, 3751.1519, 12902.1783, 7, 0.2									
	이리듬 GPS 데이터 : 58 Byte (ASC II Format)									

그림 174. 이리듬 데이터의 예시, 1시간 마다 58 Byte 용량의 데이터 생성

표 25. 이리듐 데이터 포맷 상세

시작	ByteSize	데이터	내용		
1	12	1.70422E+11	DATE&TIME	yymmddHHMMSS	날짜&시간
14	5	13.7	부이전압	BVot	부이전압
20	5	7.2	내부전압	IVot	Iridium Tracker전압
26	10	3751.1519	GPS-Latitude	DDMM.MMM	위도
37	11	12902.1783	GPS-Longitude	DDMM.MMM	경도
49	5	7	GPS-Coursedegreemagnetic	GT	부이이동방향
55	5	0.2	GPS-Speed(km/h)	SOG	부이이동속도

(사) 부이 도면



(아) CT 센서 교정 데이터(SBE37SI)

 <p>SEA-BIRD SCIENTIFIC</p>	<p>SBE Sea-Bird Electronics</p> <p>Sea-Bird Electronics 13431 NE 20th Street Bellevue, Washington 98005 USA</p>	<p>Tel: +1 425-643-9866 seabird@seabird.com www.seabird.com</p>
---	---	---

SBE 37-SI MicroCAT

Instrument Configuration

Instrument Serial Number: 37-13289
 Instrument Firmware Version: 3.1
 Zero Conductivity Frequency: 2669.50
 Communications Format: RS232
 Communications Settings: 9600 baud, 8 Data Bits, No Parity

Installed Devices/Sensors

Data Format	Measurement	Sensor Type	Serial Number	Rating
Count	Temperature	Internal	N/A	N/A
Frequency	Conductivity	Internal	N/A	N/A

Maximum Depth: **350m**

CAUTION - The maximum deployment depth will be limited by the measurement range of the pressure sensor, if installed, an attached sensor, if installed, or the housing.

SBE37SI Calibration Data

INSTRUMENT_TYPE=SBE37	CI=-1.350138e-004	PTCA1= 0.000000e+000
SERIALNO=13289	CJ= 2.969827e-005	PTCA2= 0.000000e+000
TCALDATE=26-Mar-15	CTCOR= 3.250000e-006	PTCB0= 0.000000e+000
TA0=-8.216506e-005	CPCOR=-9.570000e-008	PTCB1= 0.000000e+000
TA1= 2.996095e-004	WBOTC= 9.364524e-008	PTCB2= 0.000000e+000
TA2=-3.852795e-006	PCALDATE=No-Cal	PTEMPA0= 0.000000e+000
TA3= 1.859623e-007	PA0= 1.000000e+000	PTEMPA1= 0.000000e+000
CCALDATE=26-Mar-15	PA1= 0.000000e+000	PTEMPA2= 0.000000e+000
CG=-9.801636e-001	PA2= 0.000000e+000	
CH= 1.376920e-001	PTCA0= 0.000000e+000	

Sea-Bird Electronics, Inc.

13431 NE 20th Street, Bellevue, WA 98005-2010 USA

Phone: (+1) 425-643-9866 Fax (+1) 425-643-9954 Email: seabird@seabird.com

SENSOR SERIAL NUMBER: 13289
CALIBRATION DATE: 26-Mar-15SBE 37 V2 TEMPERATURE CALIBRATION DATA
ITS-90 TEMPERATURE SCALE

COEFFICIENTS:

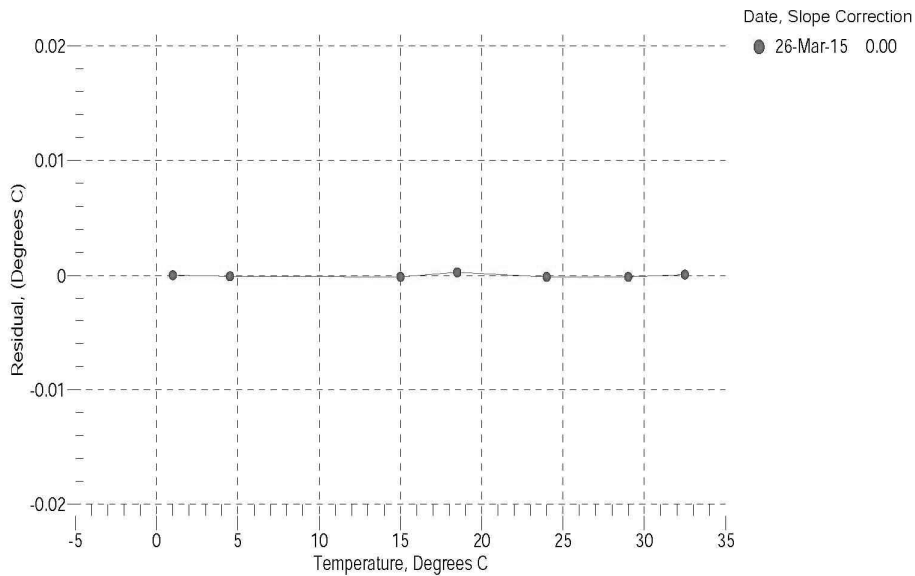
a0 = -8.216506e-005
a1 = 2.996095e-004
a2 = -3.852795e-006
a3 = 1.859623e-007

BATH TEMP (ITS-90)	INSTRUMENT OUTPUT	INST TEMP (ITS-90)	RESIDUAL (ITS-90)
1.0000	575416.8	1.0000	0.0000
4.5000	492369.0	4.4999	-0.0001
15.0000	314572.7	14.9999	-0.0001
18.5000	272622.1	18.5003	0.0003
23.9940	219073.6	23.9939	-0.0001
29.0000	180591.4	28.9999	-0.0001
32.5000	158301.1	32.5001	0.0001

$$\text{Temperature ITS-90} = 1/\{a_0 + a_1 [\ln(n)] + a_2 [\ln^2(n)] + a_3 [\ln^3(n)]\} - 273.15 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Residual = instrument temperature - bath temperature

n = instrument output



Sea-Bird Electronics, Inc.

13431 NE 20th Street, Bellevue, WA 98005-2010 USA

Phone: (+1) 425-643-9866 Fax (+1) 425-643-9954 Email: seabird@seabird.com

SENSOR SERIAL NUMBER: 13289
 CALIBRATION DATE: 26-Mar-15

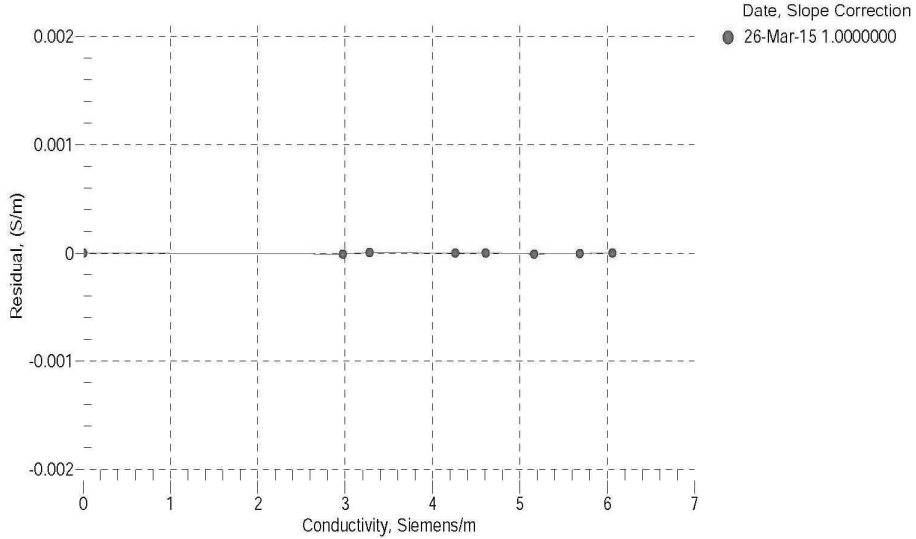
SBE 37 V2 CONDUCTIVITY CALIBRATION DATA
 PSS 1978: C(35,15,0) = 4.2914 Siemens/meter

COEFFICIENTS:

g = -9.801636e-001 CPcor = -9.5700e-008
 h = 1.376920e-001 CTcor = 3.2500e-006
 i = -1.350138e-004 WBOTC = 9.3645e-008
 j = 2.969827e-005

BATH TEMP (ITS-90)	BATH SAL (PSU)	BATH COND (Siemens/m)	INST FREQ (Hz)	INST COND (Siemens/m)	RESIDUAL (Siemens/m)
22.0000	0.0000	0.00000	2669.50	0.00000	0.00000
1.0000	34.7927	2.97414	5356.46	2.97413	-0.00001
4.5000	34.7728	3.28102	5559.68	3.28103	0.00001
15.0000	34.7304	4.26219	6163.83	4.26219	0.00000
18.5000	34.7215	4.60715	6362.34	4.60715	0.00000
23.9940	34.7116	5.16415	6670.12	5.16414	-0.00001
29.0000	34.7057	5.68624	6945.91	5.68624	-0.00000
32.5000	34.7018	6.05828	7135.75	6.05828	0.00000

f = INST FREQ * sqrt(1.0 + WBOTC * t) / 1000.0
 Conductivity = (g + h * f² + i * f³ + j * f⁴) / (1 + δ * t + ε * p) Siemens / meter
 t = temperature [°C]; p = pressure [decibars]; δ = CTcor; ε = CPcor;
 Residual = instrument conductivity - bath conductivity





Sea-Bird Electronics, Inc.

13431 NE 20th St. Bellevue, Washington 98005 USA
www.seabird.com

Phone: (425) 643-9866

Fax: (425) 643-9954

Email: seabird@seabird.com

Pressure Test Certificate

Test Date: 03/13/15

Description: SBE-37 Microcat

Sensor Information:

Model Number: 37

Serial Number: 13289

Pressure Test Protocol:

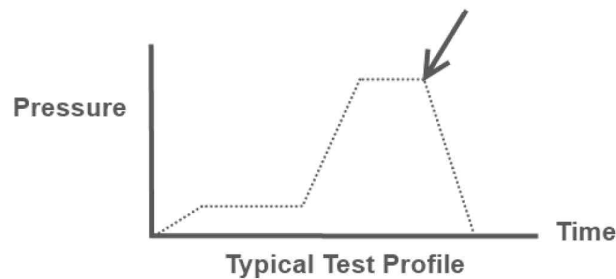
Low Pressure Test: 40 PSI Held For: 15 Minutes

High Pressure Test: 500 PSI Held For: 15 Minutes

Passed Test: Yes

Tested By: nd

High pressure is generally equal to the maximum depth rating of the instrument



(자) 자료 확보 현황

사업기간 ESOOB은 2014년 5월 22일 재계류하여 2017년 12월 21일까지 매년 10개월 정도 운용한 후 회수하고 유지 및 보수를 거쳐서 이듬해 재계류를 수행하는 순환방식으로 총 3회 운영되었다. 1회는 2014년 5월 22일부터 2015년 9월 16일까지 총 483일 운영되었고, 그 중 자료생산일수는 476일로 생산효율은 98.6 %이다. 2회는 2016년 4월 29일부터 2016년 10월 26일까지 총 181일 운영되었고, 그 중 자료생산일수는 134일로 생산효율은 74.0 %이다. 3회는 2017년 4월 21일부터 2017년 12월 21일까지 총 245일 운영되었고, 그 중 자료생산일수는 238일로 생산효율은 97.1 %이다.

(9) 이어도, 소청초 해양과학기지의 Aeronet-OC

(가) Aeronet-OC

① 개요

AERONET (AErosol RObotic NETwork) 프로그램은 NASA와 LOA-PHOTONS (CNRS)에 의해 설립 된 지상 기반의 원격 감지 에어로졸 네트워크의 연합체이다. 최초 설치 이후 여러 국가 기관, 연구소, 대학, 개인 과학자 및 파트너의 협력자들에 의해 확장되어 운영되고 있다. 이 프로젝트는 에어로졸 연구 및 특성화, 위성 검색 유효성 확인 및 다른 데이터베이스와의 시너지 효과를 위한 에어로졸 광학, 전자 순환 및 복사 특성에 대한 장기적이고 연속적인 데이터베이스를 구축하여 웹 사이트를 통해 제공한다.

이러한 AERONET의 기능을 확장하여 해양에 맞게 수정된 것이 AERONET-OCCEAN COLOR(AERONET-OC)이다. 연안의 등대와 해양과학기지 같은 해양 플랫폼에 태양광도계를 설치하여 바다에서 나오는 빛을 측정할 수 있는 기능을 추가하였다.

AERONET-OC에서 사용하는 장비는 Above Water Radiometry 원리(Mobley 1999, Hooker et al. 2002, Zibordi et al. 2002)를 기반으로 프랑스 CIMEL사에서 개발한 Sun-Photometers로 설치 후 자동으로 관측을 수행한다.



그림 175. 이어도 종합해양과학기지에 설치되어 운영 중인 CIMEL사의 Sun Photometer CE-318 Seaprism

② CIMEL CE-318 Sun Photometer Seaprism

2개의 분리된 광학 측정부에는 각각의 Silicon Detector가 달려 있으며, Irradiance와 Radiance를 각각 측정한다. Irradiance 측정 Detector는 Sun과 Aurerole 관측을 수행하기 위해 Low, Medium Gain을 가지며, Radiance 측정 Detector는 Sky와 Sea 관측을 위해 High Gain을 가진다. Radiance Calibration은 주기적으로 수행되며 이때에는 NASA의 GSFC(Goddard Space Flight Center)에 있는 Integrating Sphere를 사용한다.

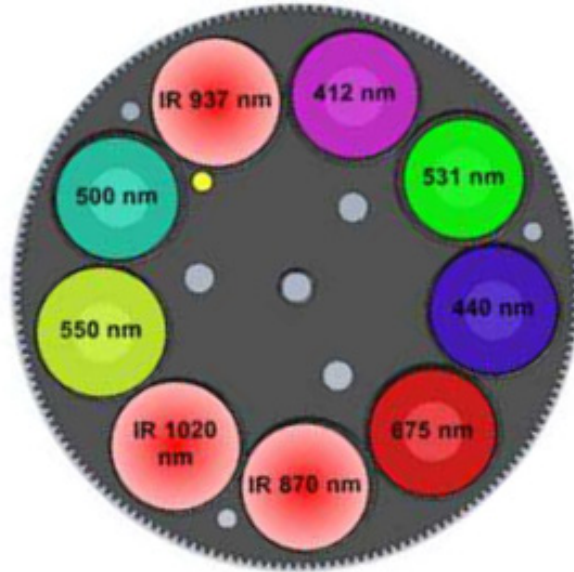


그림 176. CIMEL CE-318 SeaPrism 장비의 필터 휠

AERONET-OC는 대기 광학관측을 위한 기본 모델과는 다른, 그림 176과 같은 별도의 필터 휠을 사용한다. 412, 440, 500, 531, 550, 675 nm의 파장대는 Ocean Color 측정을 위해 사용하고 870, 1020 nm 는 Quality Control을 위해, 937 nm 파장대는 Atmospheric aerosol, water vapor monitoring, Validation ocean color EO system을 위해 사용된다.

이 파장대는 천리안 해양관측위성(GOCI-I)에서 사용되는 파장대인 412, 443, 490, 555, 660, 680, 745, 865 nm와 매우 흡사하며, 천리안 해양관측위성의 검·보정 및 정확도 향상을 위해 매우 적합하다.

③ 자료의 획득 및 전송

AERONET은 효율적인 관측 수행을 위해 관측 그룹을 구분하였으며, 해양 관측을 위한 SeaPrism 장비는 그룹 P에 속한다. 그룹 P 해가 떠있는 사루의 반을 30분 간격으로 관측을 수행하여 Seaprism 장비도 Standard 장비처럼 Sun Irradiance와 Sky Radiance 측정을 수행한다. 해양관측을 수행하는 OC sequence는 Direct Solar Triplet 이라 불리는 Sequence 수행 이후 진행되며, 이때 얻어진 AOD 데이터는 데이터의 컴퓨팅 과정에서 Ocean Color 데이터의 Quality Control과 Process에 사용된다. OC sequence는 11번의 Sea 측정과 3번의 sky 측정을 연속적으로 진행하여 수행된다.

Group name	Measures
Group A	3 SUN;
Group B	3 SUN; HYB; 3 SUN; HYBP ; 3 SUN; ALMU; 3 SUN; ALMUP
Group C	3 SUN; HYB; 3 SUN; HYBP ; 3 SUN; ALMU; 3 SUN; ALMUP ; 3 SUN; PP; 3 SUN; PPP
Group D	3 SUN; CRO; BLACK
Group E	3 SUN; ALMU; 3 SUN; ALMUP
Group L	3 MOON;
Group P	3 SUN; SPR
Group S	3 SUN; ALMU; PP; BRDF; BLACK;

그림 177. AERONET의 관측 그룹과 각 그룹의 관측 SEQUENCE

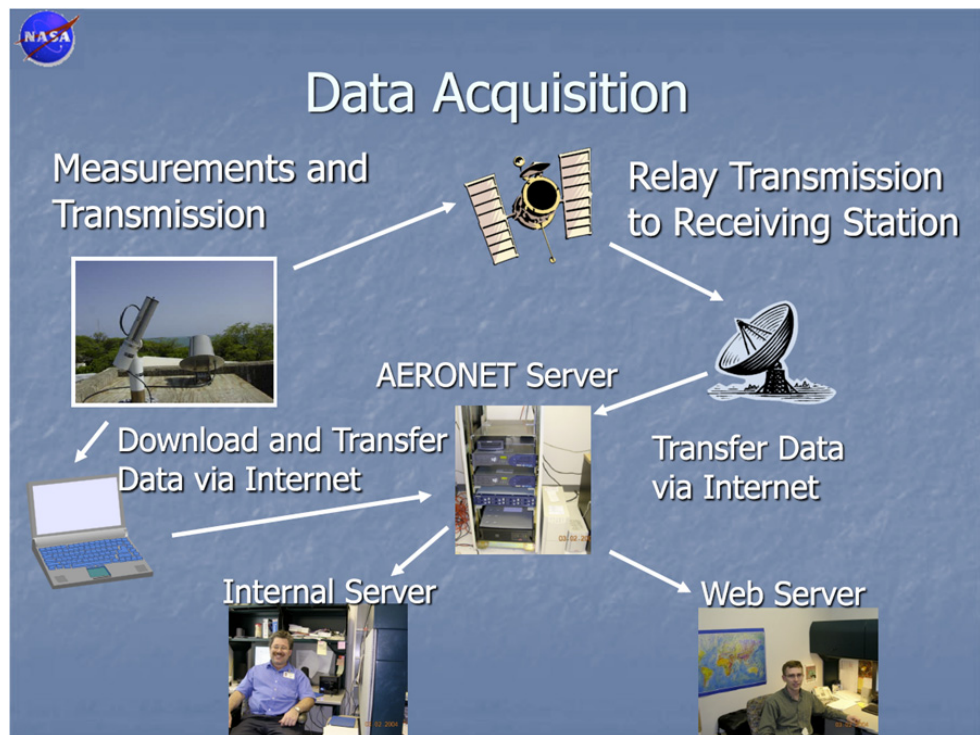


그림 178. AERONET 프로젝트의 자료 전송 모식도

CE-318 장비를 통해 측정된 자료는 인터넷과 위성 전송망을 통해 AERONET 서버로 전송된다. 해양위성센터에서는 해양과학기지에서의 인터넷연결이 어려운 관계로 위성통신망을 이용하여 실시간으로 자료전송을 수행하고 있다. AERONET 서버로 전송된 자료는 실제 사용할 수 있는 자료로 처리되며, 처리된 자료는 NASA 내부 서버와 WEB 서버로 전송되어 공개된다.

④ AERONET-OC 자료의 처리

AERONET-OC 자료는 실시간으로 처리되며 웹사이트를 통해 바로 공개된다. 또한 자료의 처리 단계에 따라 Level 1.0, 1.5, 2.0의 3단계로 구분된다. Level 1.0은 모든 관측 sequence가 수행되었는지의 여부를 판별하여 처리되는 단계이다. Level 1.5는 Level 1.0 데이터에서 Aerosol Optical Thickness 데이터의 존재 유무, Sky와 Sea 관측 수행에서 얻어진 Radiance 데이터의 상관관계, Empirical Threshold의 만족 여부에 따라 처리 수행을 결정하는 단계이다. 마지막 Level 2.0 단계는 Level 1.5 데이터에서 CE-318 관측장비의 설치 전과 설치 후의 Calibration Coefficient 값의 차이가 5%를 넘지 않고 L_{wn} Spectral Shape가

일정한지를 확인하고, Spectrum by Spectrum 스크리닝을 통과 했을 때 수행된다. 따라서 마지막 Level 2.0 단계는 꾸준한 기상비의 교정이 수행되어야 획득될 수 있다.

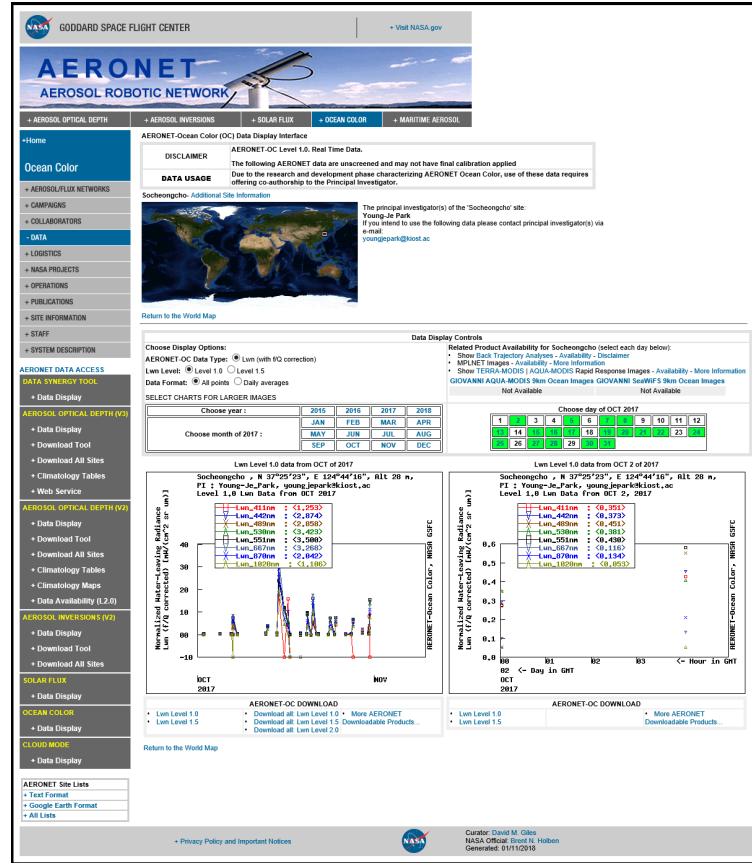


그림 179. AERONET 자료의 실시간 제공 웹 페이지 (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>)

(나) 이어도 해양과학기지

① 설치 위치



그림 180. AERONET-OC 가 설치된 이어도 해양과학기지의 모습(좌)과 기지에 설치된 CIMEL CE-318 Seaprisim Sun photometer 장비의 모습(우)

이어도 해양과학기지는 위도 32.1229 ° 경도 125.1824 ° 에 위치한 종합해양과학기지이다. 해양위성센터에서는 장비의 안전한 설치를 위해 헬기 착륙장이 있는 Roof Deck 아래층의

난간에 설치 되어있다. 보다 정확한 관측을 위해 난간으로부터 1m 길이의 Arm을 내어 균형을 잡아 설치되어 있으며, 관측부가 아닌 처리 및 전송부는 기지의 난간에 부착되어 있다.

② 운영 이력

이어도 해양과학기지에 설치된 CIMEL CE-318 Seaprisim Sun photometer 장비는 2013년 12월에 최초 설치 되었다. 이후 2014년 12월 강풍의 영향으로 회전된 장비를 회수하여 검교정 하였으며, 2015년 6월 재설치되었다. 2016년에는 NASA 엔지니어가 한국에 방문하여 공동 점검을 진행하였으며, 이때 Wet Sensor 및 위성 전송장치인 Satlink-2의 아답터를 교체하였다. 이어 2017년에는 NASA 로부터 대체 장비를 전달 받아 검교정을 실시하고, 검교정된 장비를 설치하여 현재까지 운영되고 있다.

③ 자료 확보 현황

이어도 해양과학기지는 소청초 해양과학기지와 비교하여 낮은 자료 획득율을 보인다. 기지의 특성상 안정적인 전원의 확보가 필수적이거나 기지전체 시스템의 잦은 전원 다운 현상으로 장기간 관측을 수행하지 못하는 경우가 잦기 때문에 풀이된다. 또한 기지의 안개가 많이 끼고 강한 바람이 부는 협해에 위치해 있는 것도 다른 한 가지 원인으로 지목된다. 그러나 2016년 6월 점검 이후로는 안정적인 데이터 제공율을 보이고 있으며, 향후에도 이 형태를 꾸준히 유지해 나갈 수 있을 것으로 보인다.

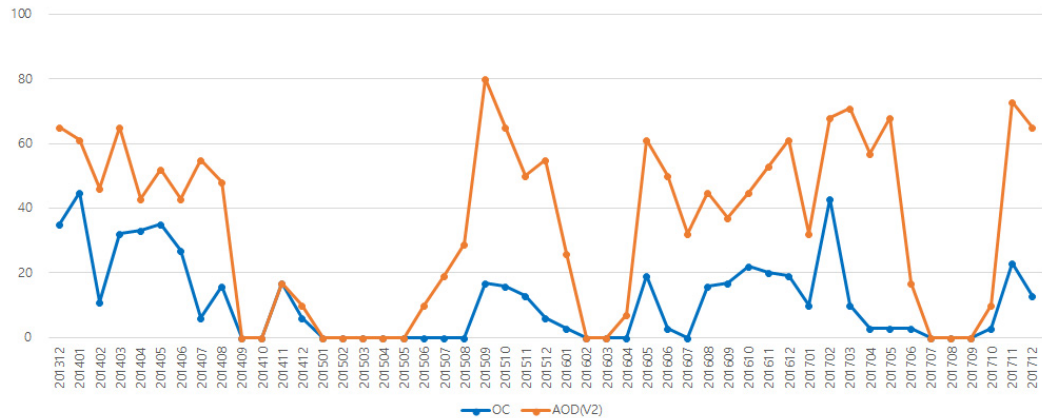


그림 181. 이어도 해양과학기지에 설치된 Aeronet-OC 장비의 월별 Level 1.0 자료 획득률(일일기준, 2013.12~2017.12)

2017년 12월 까지 Level 1.0 OC(Ocean Color) 자료는 일일 기준으로 총 167건 확보되었으며, AOD(V2) 자료도 525건 확보되어 있다. 연간 자료 획득률은 2013년 OC 35%, AOD 65%, 2014년 OC 20%, AOD 39%, 2015년 OC 4%, AOD 26%, 2016년 OC 10%, AOD 35%, 2017년 OC 9%, AOD 38% 이다.

(나) 소청초 해양과학기지

① 설치 위치

소청초 해양과학기지는 위도 124.7380° 경도 34.4231° 에 위치한 종합해양과학기지이다. 장비는 3층 난간 부근에 전용의 Arm을 기지에 설치하여 부착되어 있다. 전용 Arm의 길이는 약 3m로 이어도 해양과학기지보다 기지에서 멀리 나와 있다. 관측부 뿐만 아니라 처리 및 전송부 도 Arm에 달려 있는 형태로 운영되고 있다.



그림 182. AERONET-OC 가 설치된 소청초 해양과학기지의 모습(좌)과 기지에 설치된 CIMEL CE-318 Seaprisim Sun photometer 장비의 모습(우)

② 운영 현황

소청초 해양과학기지에 설치된 CIMEL CE-318 Seaprisim Sun photometer 장비는 2015년 10월에 최초 설치 되었다. 이후 위성송신 장치의 어댑터 이상으로 관측을 수행하지 못하다가 2016년 4월 NASA 엔지니어와의 공동 현장점검을 통해 위성 자료 전송장치인 SatLink-2의 아답터를 교체하고 이후 원활한 관측이 수행되고 있다. 2017년도에는 NASA에서 검교정을 위한 0네비폼을 수령받아 검교정을 진행하였으며, 검교정된 장비를 설치하여 현재까지 운영되고 있다.

③ 자료 확보 현황

소청초 해양과학기지는 매우 높은 자료 획득률을 보인다. 최근에 지어진 기지이니 만큼 전원공급이 안정적이고, 통신환경도 좋은 것이 그 원인으로 풀이된다. 최초 설치 이후 위성 데이터 송수신 장비의 이상 문제가 발생되고 이를 해결한 2016년 6월 점검 이후로는 매우 높고 안정적인 데이터 제공율을 보이고 있으며, 향후에도 이 형태를 꾸준히 유지해 나갈 수 있을 것으로 보인다.

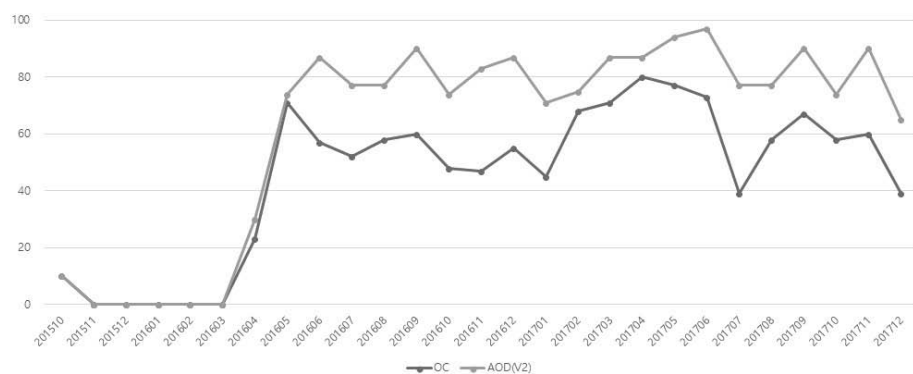


그림 183. 소청초 해양과학기지에 설치된 Aeronet-OC 장비의 월별 Level 1.0 자료 획득률(일일기준, 2015.10~2017.12)

2017년 12월 까지 Level 1.0 OC(Ocean Color) 자료는 일일 기준으로 총 370건 확보되었으며, AOD(V2) 자료도 510건 확보되어 있다. 연간 자료 획득률은 2015년 OC 3%, AOD 3%, 2016년 OC 39%, AOD 57%, 2017년 OC 61%, AOD 82% 이다.

(10) 새만금 해양과학기지의 TriOS RAMSES above system

(가) 개요

새만금 해양과학기지 혹은 새만금 가력해상관측탑에 설치된 TriOS RAMSES Hyperspectral radiometer above system(이하 TriOS RAMSES above system이라 함)의 측정자료들은 대기보정 알고리즘과 해수환경분석 알고리즘 검보정용으로 활용된다. TriOS RAMSES above system은 독일 TriOS사의 ACC-VIS와 ARC-VIS RAMSES 모델들을 혼용하여 장착한 해양/대기 광 측정 장비이다(ACC-VIS 1개, ARC-VIS 2개). ACC-VIS는 irradiance 센서로 방향에 상관없이 모든 광의 양을 측정하고, ARC-VIS는 radiance 센서로 특정 방향의 해수 혹은 대기에서 발산하는 광의 양을 측정한다. 두 센서 모두 320-950 nm의 측정범위와 256개 채널로 구성된 silicon photodiode 타입의 detector와 픽셀당 3.3 nm의 분광해상도 등의 기능이 있다. 특히 RAMSES 모델은 타 제조사의 유사한 관측장비들에 비해 저전력으로 운용되는 장점이 있어 부이, 선박, 해상관측기지 등 전력소모량 조절이 필요한 곳에서 아주 유용하다.

새만금 기지는 전라북도 부안군 새만금 가력배수갑문 외측 1.5 km 해상(북위 35도 43.194분, 동경 126도 30.900분)에 건설된 구조물로 총 높이는 45 m이고 해수면에서 최상갑판까지의 높이는 27 m로 첨단 과학 장비를 이용하여 새만금 해양환경변화를 실시간 모니터링의 기능을 수행한다.

(나) 설치 및 운용

새만금 기지의 TriOS RAMSES above system은 2011년 6월 30일 최초 설치되어 2016년 11월 15일 회수될 때까지 약 5년 5개월 정도 지속적으로 운용되었다. 동절기에는 기지의 전력 공급이 원활하지 못하여 관측임무가 최대 3개월 이상 정지된 경우와 센서의 검교정을 위해 회수 및 재설치의 기간이 3개월 정도 소요된 경우 등 관측임무가 최소 1개월 이상 정지된 경우가 2 ~ 3회 발생하였다.

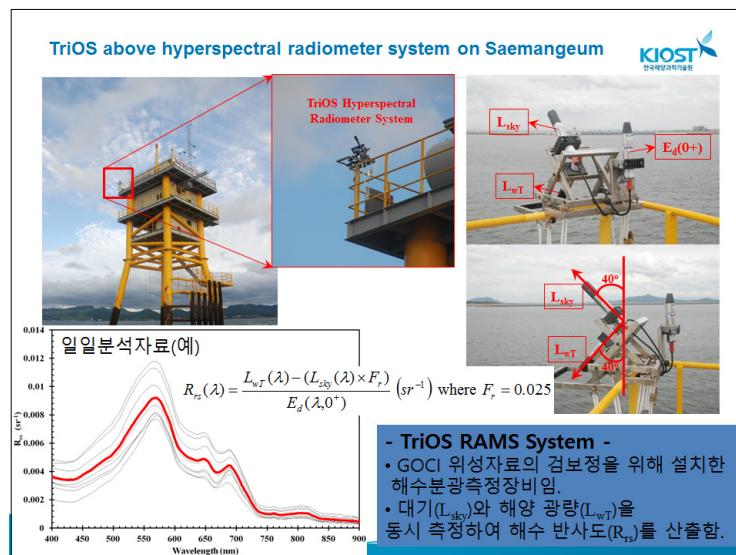


그림 184. TriOS RAMSES above system of Saemangeum St.

(다) 자료 확보 현황

사업기간 새만금 기지의 TriOS RAMSES above system은 2013년 9월 01일부터 2016년 11월 15일까지 총 1172일 운영되었다. 운영기간 자료생산일수는 2013년 71일, 2014년 159일, 2015년

125일, 2016년 34일이며 총 389일이다. 연도별 생산효율은 2013년 58.2 %, 2014년 43.6 %, 2015년 34.2 %, 2016년 10.6 %이고 총 33.2 %이다. 생산효율이 점차 감소한 주된 이유는 기지 노후화에 따른 전력공급 불안정화에 있으며 여러 가지 사유에 의해 현재는 새만금 기지에서 의 자료 확보 시스템은 보류되어 있다.

다. 알고리즘 정확도

(1) 대기보정

(가) 사용 알고리즘

천리안 해양관측위성은 대기상층(top-of-atmosphere: TOA)보다 높은 정지궤도상에서 해양환경을 412~865 nm 파장대로 관측한다. 대기상층휘도 $L_{TOA}(\lambda)$ 는 그림 185와 같이 대기에 의한 광산란 신호와 대기를 투과하는 과정에서 크기가 감소된 해수의 휘도도 포함하고 있다.

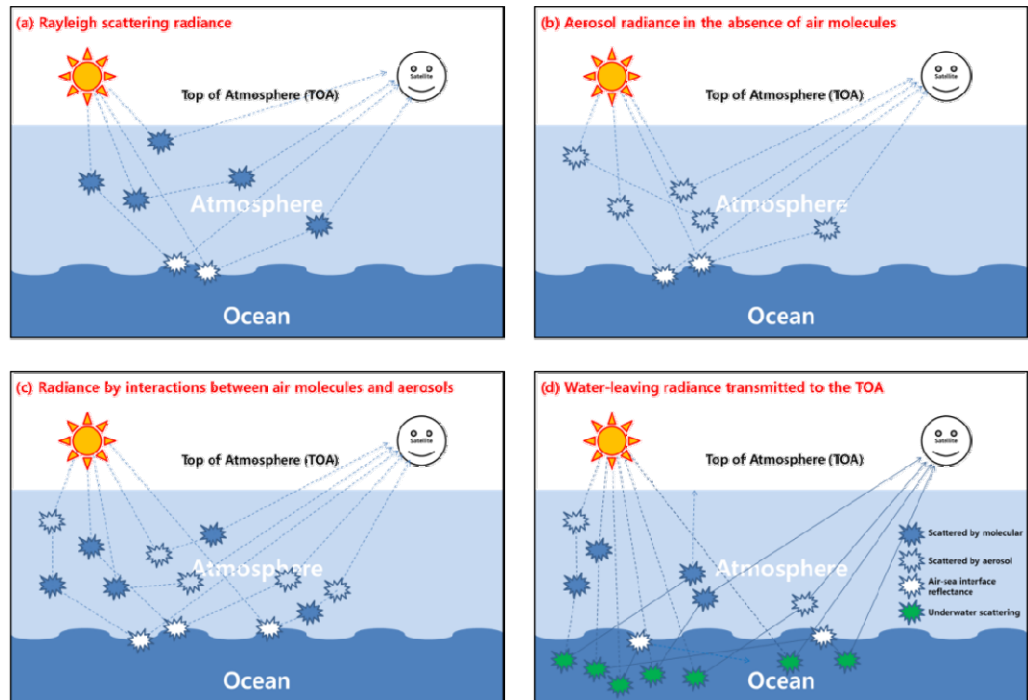


그림 185. 대기상층휘도는 대기투과된 해수의 휘도(d) 뿐 아니라 해수표면 대기의 광산란에 의한 휘도도 (a, b, c) 포함되어 있다 (해수 표면에서 대기광의 Fresnel 반사 포함). 대기의 광산란 휘도는 (a) 대기분자입자에 의한 광산란, (b) 에어로졸에 의한 광산란, (c) 분자입자-에어로졸의 상호작용에 의한 광산란 휘도로 구성된다.

대기보정은 첫 단계로 식(28)과 같이 각각의 파장 λ 에 대한 대기상층 휘도(L_{TOA})를 가스 흡광 및 대리교정 상수(gvc)가 적용된 대기상층 반사도(ρ_{TOA}^{corr})로 변환하는 과정을 거치며,

$$\rho_{TOA}^{corr}(\lambda) = \frac{\pi L_{TOA}(\lambda) g_{vc}(\lambda)}{f_s F_0(\lambda) \cos(\theta_s) t g_s(\lambda) t g_v(\lambda)} \quad (식28)$$

여기서 f_s 는 평균 지구-태양 거리 대비 현재 지구-태양 거리 비, F_0 는 지구 대기 밖 태양 복사 휘도이다. 또, tgs 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 반사도는 식(29)와 같이 해수반사도와 대기 반사도 신호로 구성되며,

$$\rho_{TOA}^{corr}(\lambda) = \rho_r(\lambda) + \rho_{am}(\lambda) + td_v \rho_w(\lambda) \tag{식29}$$

여기에서 대기 중 분자입자 광 산란(Rayleigh산란) 반사도(ρ_r), 대기 중 에어로졸 다중 광산란 반사도(ρ_{am}), 해수표면-위성 대기 확산 투과도(td_v)를 알면 대기의 영향이 제거된 해수반사도 분광 스펙트럼 $\rho_w(\lambda)$ 을 구할 수 있다.

$\rho_r(\lambda)$ 의 경우 $\rho_{TOA}(\lambda)$ 에서 가장 큰 비중을 차지하기 때문에 정확도를 기존보다 향상시키려는 연구가 이후에도 계속 진행되었으며, 바람장에 의한 영향을 고려한 정확도 향상(Wang, 2002a) 및 대기압 변화에 대한 보정(Wang, 2005) 또한 적용되었다.

에어로졸 광산란 신호인 $\rho_{am}(\lambda)$ 의 보정은 대기보정 과정의 가장 핵심이 되는 과정이다. 에어로졸 다중 광 산란 반사도를 보정하기 위해서는 에어로졸 광두께와 에어로졸 유형구분 정보가 필요하다. GOCI를 포함한 일반적인 해상 대기보정 알고리즘의 경우 해수반사도가 0에 가까운 두 NIR파장대의 관측을 통하여 에어로졸 유형과 광두께를 추정한다. GOCI에서는 에어로졸 산출 알고리즘을 기존 Gordon and Wang (1994)와 Wang and Gordon (1994) 방법에서 Ahn et al.(2016)방법으로 변경하였다.

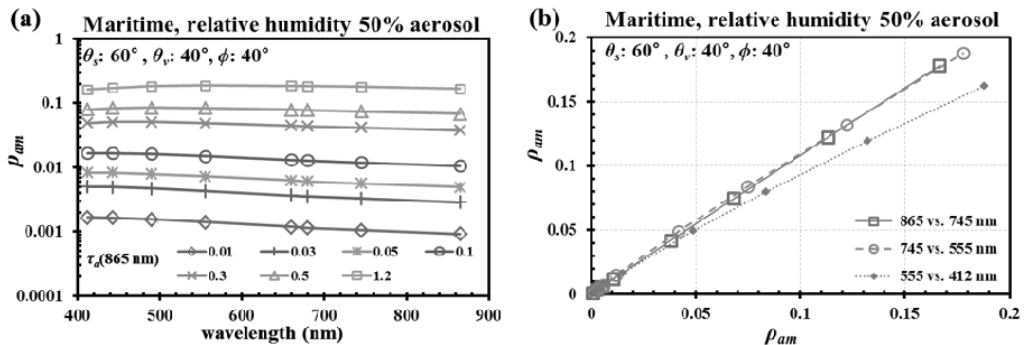


그림 186. 865 nm 에어로졸 광두께 범위 0.01~1.2에서의 해양성 에어로졸 다중 광 산란 반사도 스펙트럼 (a)와 파장 별 상관관계 (b).

Ahn et al. (2016) 방법에서는 그림 186과 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 식(30) 및 표 26과 같은 다항식 차수로 구축되었으며,

$$\rho_{am}^{Mod}(\lambda_2) = \sum_{n=1}^D c_n(M_i, \lambda_1, \lambda_2, \theta_s, \theta_v, \phi_{sv}) \rho_{am}(\lambda_1)^n \tag{식30}$$

표 26. 구축된 에어로졸 다중 광산란 반사도 상관관계 모델의 파장 별 다항식 차수

λ_1 (nm)	865	745	745	745	555	490	555
λ_2 (nm)	745	680	660	555	490	443	412
차수	2	3	3	4	4	4	4
R^2 최소값	0.99998	0.99995	0.99996	0.99999	0.99994	0.99996	0.99998

여기에서 M_i 는 i 번째 에어로졸 모델, D 는 차수, cn 은 기상수값이다.

위의 원리를 이용하면 두 근적외 파장대에서 관측된 에어로졸 반사도를 식(31)과 같이 후보 에어로졸 모델들의 반사도 분광기율기 값과 비교하여 가장 가까운 두 에어로졸 모델을 찾을 수 있다.

$$\rho_{am}^{Mod}(M_L, 745 \text{ nm}) \leq \rho_{am}(745 \text{ nm}) < \rho_{am}^{Mod}(M_H, 745 \text{ nm}), \quad (\text{식31})$$

가장 가까운 두 에어로졸 모델에 대하여 식(30)의 반사도 상관관계를 이용하여 파장 별로 각각의 모델에 대한 반사도의 양을 계산 할 수 있으며, 이 방법을 적용하여 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 보여주었다 (Ahn et al., 2016).

해수 반사도는 태양-위성 기하각에 따라 그 크기와 스펙트럼 모양이 바뀌기 때문에 식(32)과 같이 현재 위성-태양 관측기하각 대비 $\theta_s=0$, $\theta_v=0$ 관측기하각 방향성 보정 계수(fb)와 태양-해수표면 대기 확산 투과도(tdv)를 적용하여 해수원격반사도 R_{rs} 를 계산해낸다.

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{f_b \rho_w(\lambda)}{\pi t d_s(\lambda)}, \quad (\text{식32})$$

여기에서 fb 는 양방향 반사율 분포 함수(BRDF) 보정계수이며, 해수 입자의 광산란 위성함수 뿐 아니라 해수표면의 Fresnel투과 특성을 모두 고려하였다 (Ahn et al., 2015).

탁한 해역에서의 근적외파장 해수반사도 영향 보정을 위하여 660 nm와 745, 865 nm 해수반사도 상관관계 모델을 이용하였으며 상관관계에는 다항식 상관관계를 사용하였다 (Ahn et al., 2012; Ahn et al., 2015).

마지막으로 천리안 해양위성 대기보정 시스템을 실제 관측시스템에 맞추는 과정인 시스템 대리교정을 적용하였으며(Ahn et al., 2015) 이를 통해 412, 443, 490, 555, 660, 680, 745, 865 nm에 대하여 순서대로 1.0053 0.9911 0.9681 0.9694 0.9739 0.9776 0.9893 1.0 값의 대리교정 상수를 도출하였다. 본 대리교정 상수를 적용시키는 경우 기존 보다 대기보정 정확도가 약 25% 가량 향상되었다.

(나) 검증 결과

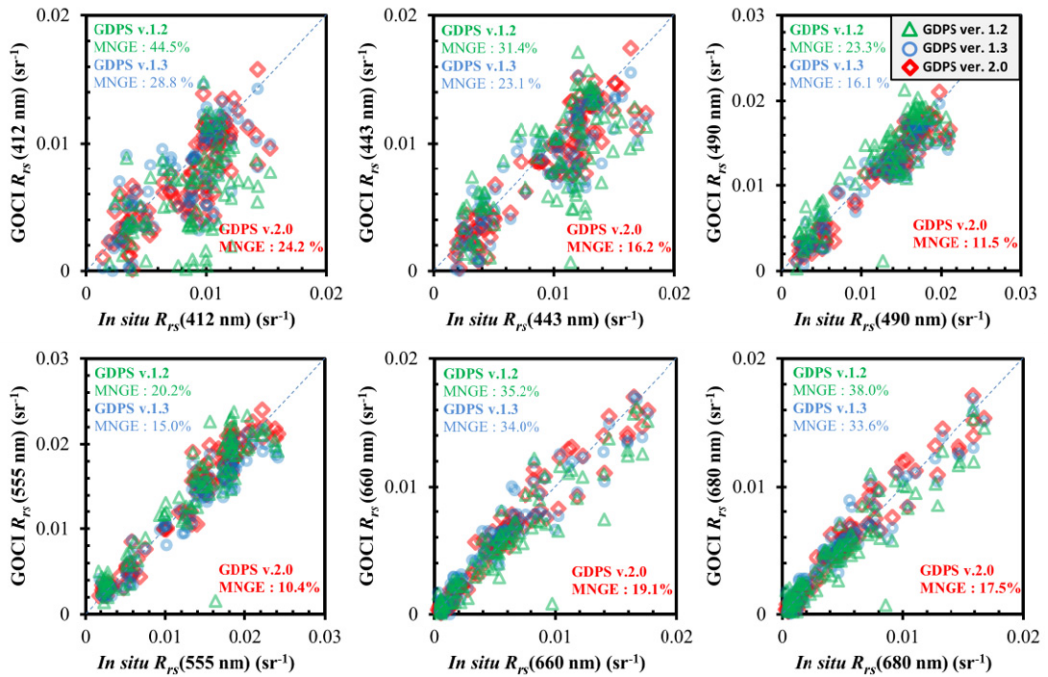


그림 187. Case-1&2 해역에서의 대기보정 버전별로 산출물인 Rrs 검증 결과. 알고리즘을 개선함에 따라서 Rrs 산출 오차율이 약 32.1, 25.1, 16.5%로 감소하였다.

그림 187과 같이 과제기간동안 대기보정 알고리즘은 약 3차례 (GDPS v.1.2, GDPS v.1.3, GDPS v.2.0) 성능향상이 있었으며 (Ahn et al., 2012; Ahn et al., 2015, Ahn et al., 2016) 각 버전 별 평균 오차율(MNGE)이 순서대로 32.1, 25.1, 16.5%로 감소하였다 (정확도는 순서대로 67.9, 75.1, 83.5%).

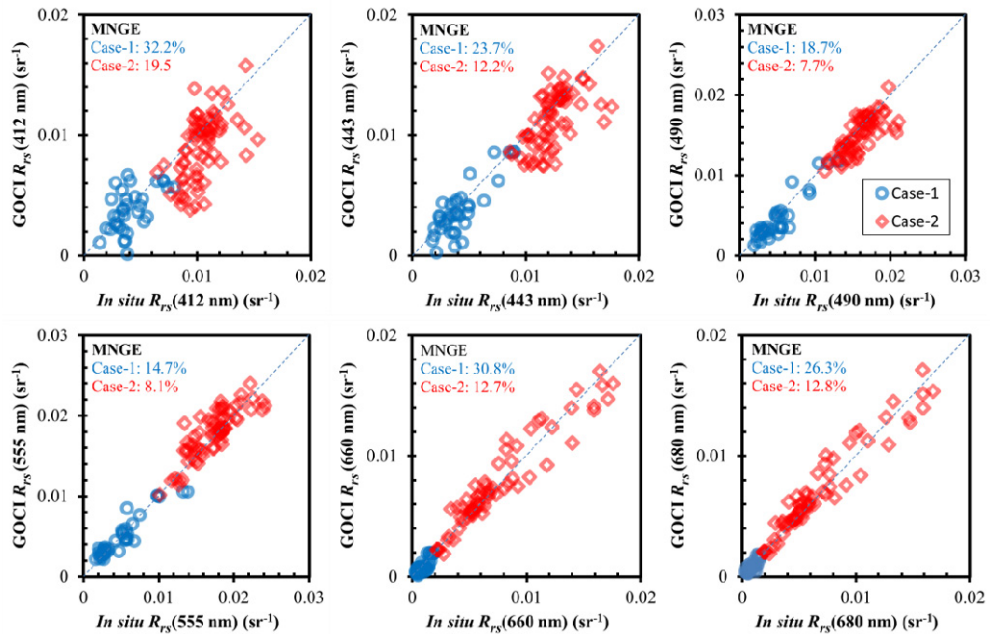


그림 188. 과제기간 최종버전(GDPS v.2.0)의 대기보정 Rrs 산출물을 Case-1, Case-2 해역 별로 검증한 결과 Case-1 해역에서는 평균 약 24.5%의 오차율(정확도 75.5%), Case-2 해역에서는 평균 약 22.2%의 오차율(정확도 87.8%)로 Rrs를 산출한다.

표 27. 대기보정 정확도 검증 결과

λ (nm)		412	443	490	555	660	680
정 확 도 (%)	전체	75.8	83.8	88.4	89.6	80.9	82.4
	Case-1	67.2	76.3	81.3	85.3	69.2	73.7
	Case-2	80.5	87.8	92.3	91.9	87.3	87.2

Case-1 및 Case-2 해역 별 검증결과는(그림 188, 표 27) $R_{rs}(660 \text{ nm})$ 가 0.002 sr^{-1} 이하인 Case-1해역에서 가시광 밴드인 412, 443, 490, 555, 660, 680 nm에서 순서대로 약 32.8, 23.7, 18.7, 14.7, 30.8, 26.3%의 오차율을 보여주고 있으며(평균 24.5%), 정확도로 환산할 경우 평균 75.5% 정확도로 R_{rs} 를 산출하였다. $R_{rs}(660 \text{ nm})$ 가 0.002 sr^{-1} 이상인 Case-2해역에서 412, 443, 490, 555, 660, 680 nm에서 순서대로 약 19.5, 12.2, 7.7, 8.1, 12.7, 12.8%의 오차율을 보여주고 있으며(평균 12.2%), 정확도로 환산할 경우 평균 87.8% 정확도로 R_{rs} 를 산출하였다.

(2) 엽록소 추정 방법

(가) 사용 알고리즘

$$X_{OC3} = \max(R_{rs}(443), R_{rs}(490)) / R_{rs}(555)$$

$$\log_{10} C = m_0 + m_1 X + m_2 X^2 + m_3 X^3 + m_4 X^4$$

OC3 알고리즘은 청색-녹색의 원격반사도 밴드비를 이용하여 (O'Reilly et al. 1998) 기본적으로 555 nm의 녹색대역 원격반사도와 청색밴드에서 가장 큰 값을 가지는 원격반사도의 비율을 4차 다항식을 통해 변환하여 엽록소 농도를 추정한다. 밴드비 계산에 사용되는 원격반사도가 음의 값을 가질 경우 추정값이 산출되지 않는다(flag 처리). 4차 다항식에 사용되는 다항식 계수는 현장 엽록소 농도와 원격반사도를 이용하여 센서별로 고유하게 도출되고, GOCI-II를 위한 OC3는 한반도 주변에서 획득한 현장자료를 이용하여 계산되었다.

(나) 검증 결과

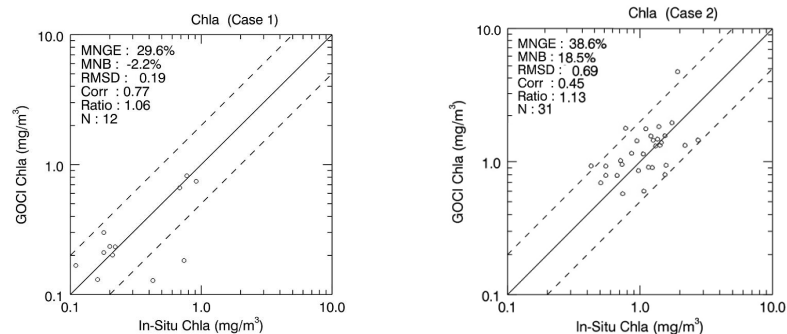


그림 191. Case-1 해역과(좌) Case-2 해역(우)에서의 엽록소 추정 알고리즘 검증 결과

검증결과 TSM 0.5 g/m^3 이하의 Case-1해역에서 약 30%의 불확도를 보였고, Case-2해역에서 40%가량의 불확도를 나타내었다. 단, Case-2해역의 경우 엽록소 외의 다른 광학 구성성분의 영향으로 인하여 상관계수가 0.5를 넘지 못하였고, 20%가량의 편차를 나타내었다.

(3) 부유사농도 추정 방법
(가) 추정기법

$$X = k_0 + k_1(R_{rs}(\lambda_2) + R_{rs}(\lambda_3)) + k_2 \left(\frac{R_{rs}(\lambda_1)}{R_{rs}(\lambda_2)} \right)$$

$$TSM = 10^X \tag{식33}$$

Tassan기법(Tassan 1994)을 이용하여 세 파장을 차례로, 490, 555, 660 nm를 이용하여 부유퇴적물의 농도를 추정하였다.

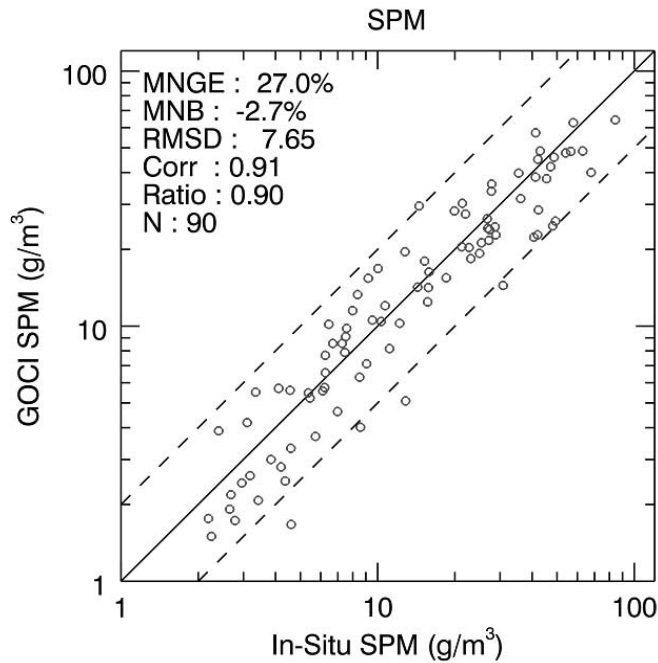


그림 192. 모든 해역(Case-1 & Case-2)에서 측정된 현장자료를 바탕으로 부유사 농도 추정 알고리즘 검증 결과

GOCI를 이용한 부유사 추정은 약 30%의 불확도를 나타내었고 총부유물 100 g/m³에 이르는 고농도범위까지 안정적으로 추정됨을 확인하였다 (상관계수 : 약 0.9).

(4) 용존유기물 추정 방법
(가) 추정기법

Tassan 기법(Tassan 1994)에서는 해수반사도의 비율을 이용하여 아래와 같은 식으로 용존유기물의 양을 추정하였다. 부유물에 의한 영향이 비교적 적은 (TSM < 0.5 g/m³) 해수에 대하여 0.82의 상관관계와 약 30%의 추정 불확도를 나타내었다.

$$a_{DOM}(440 \text{ nm}) = 10^{\sum_{n=0}^2 C_n \text{Log}_{10}^n(R)}$$

$$R = \frac{R_{rs}(490 \text{ nm})R_{rs}(443 \text{ nm})^3}{R_{rs}(555 \text{ nm})} \tag{식34}$$

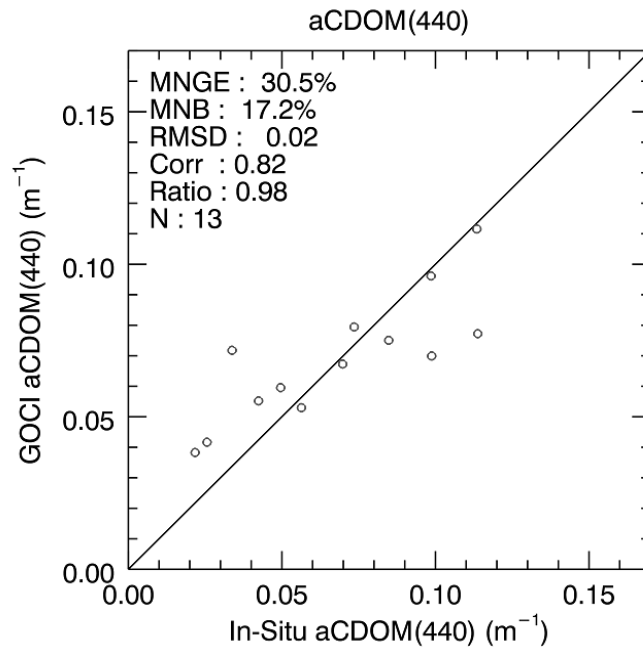


그림 193. 모든 해역(Case-1 & Case-2)에서 측정된 현장자료를 바탕으로 440 nm 유색용존유기물 흡광 추정 알고리즘 검증 결과

(4) 최종 알고리즘 정확도

과제기간동안 선박 및 AERONET-OC 측정 현장자료를 바탕으로 GOCI 알고리즘들을 검증한 결과 표 28과 같이 정리 될 수 있다. 과제의 정확도 계산표에 의하면 R_{rs} , 엽록소 a , CDOM, TSS의 정확도 계산 가중치가 각각 순서대로 0.4, 0.2, 0.2, 0.2이며, 이를 적용하였을 때 최종 알고리즘 정확도는 73.7%로 과제의 목표치를 만족하고 있다.

표 28. 천리안 해양위성 알고리즘 정확도 검증 결과 요약

	Band	Case-1	Case-2
원격 해수 반사도 (R_{rs})	Band 1	67.2	80.5
	Band 2	76.3	87.8
	Band 3	81.3	92.3
	Band 4	85.3	91.9
	Band 5	69.2	87.3
	Band 6	73.7	87.2
	6개 밴드 평균	75.5	87.8
엽록소 농도 (Chl-a)		68.4	61.40
용존유기물 흡광 (aCDOM@440nm)		69.5	
총부유물 농도 (TSS)		73.0	

라. 한미공동해양과학조사 (KORUS-OC)

(1) 서론

위성자료의 품질 검증 및 품질향상을 위해서는 신뢰성 높은 현장자료의 획득이 필수적이며, KIOST는 GOCI의 운영과 더불어 지속적으로 한반도 연안 해역에서 현장자료를 확보해왔다. NASA 또한 GOCI와 유사한 정지궤도 해색임무인 GEO-CAPE 해색센서를 기획중이며 이에 대한 사전 연구를 위해 GOCI 자료를 활용해왔다. 이에 따라 NASA와 KIOST는 해양수산부로부터의 공동조사 동의하에('16. 1.) 서해와 동해에서 총 2-3주의 공동 현장 조사를 시행하기로 합의하였다('15. 8.).

(2) 현장조사 내용

(가) 조사 목적

본 현장조사의 주 목적은 위성에서 추정되는 해양환경 변수, 즉 엽록소 농도, 해수 탁도, 용존 유기물 등의 총 10여개 이상의 산출물에 대한 정확도를 검증하고 보다 정밀한 알고리즘을 개발하기 위한 것으로, 한반도 주변의 해수가 해역별로 각각 고유한 해색 특성을 가지고 있기 때문에, 다양한 해역에서의 조사가 필요하다. 즉, 동해의 깊은 수심에 기인한 비교적 맑은 해수와 서해의 얕은 수심의 탁도가 높은 해수, 동중국해과 인접하여 양자강 유출수의 영향을 받는 남해의 해수는 각각 고유한 물리, 생물 해양학적인 특성을 가지고 있으며, 이 해수에 대한 해양 환경 변수를 위성으로 추정할 시 해수 특성에 따라 고유한 문제점과 성능을 나타내게 된다.

(나) 조사 세부내용

① 조사 기간 별 승선과학자 명단

이번 한-미 공동조사에는 한국 측 11명 미국 측 12명 총 23명의 과학자가 승선하였다.

* 한국측 연구사업 일정의 변동에 따라 가용인원 축소 (14명 승선계획->12명 승선) 변경됨
- 5/20 ~ 5/26 (총 23명)

표 29. 온누리호 최초 승선 명단

국가	번호	이름	소속
한국측	1	김원국	해양과학기술원
	2	문정언	해양과학기술원
	3	안재현	해양과학기술원
	4	김광석	해양과학기술원
	5	김나은	해양과학기술원
	6	오준석	해양과학기술원
	7	안성민	해양과학기술원
	8	이호원	해양과학기술원
	9	이혜련	해양과학기술원
	10	노태근	해양과학기술원
	11	손푸르나	해양과학기술원

국가	번호	이름	소속
미국측	1	Jianwei Wei	University of Massachusetts Boston
	2	Zhehai Shang	University of Massachusetts Boston
	3	Brian Lamb	City University of New York
	4	Ryan Stauffer	Pennsylvania State University
	5	Steve Ackleson	Naval Research Laboratory
	6	Deric Gray	Naval Research Laboratory
	7	Joseph Edwards Salisbury	University of New Hampshire
	8	Melissa Melendez Oyola	University of New Hampshire
	9	Shawn Murray Shellito	University of New Hampshire
	10	Joaquim I. Goes	Columbia University
	11	Michael G. Novak	NASA/Goddard Space Flight Center
	12	Scott A Freeman	NASA/Goddard Space Flight Center
총 23명			

- 5/27 ~ 6/6 (총 23명, 한국측 과학자 3명 교체*)

표 30. 온누리호 탑승자 변경

국가	번호	이름	소속
한국측	1	노태근	해양과학기술원
	2	안재현	해양과학기술원
	3	김광석	해양과학기술원
	4	최우창	해양과학기술원
	5	오준석	해양과학기술원
	6	박동민	해양과학기술원
	7	이호원	해양과학기술원
	8	이혜련	해양과학기술원
	9	문정언	해양과학기술원
	10	손푸르나	해양과학기술원
	11	강나연	해양과학기술원
미국측	변경 없음		
총 23명			

* 김원국, 김나은, 안성민 (이상 KIOST) 하선, 최우창, 강나연, 박동민 (이상 KIOST) 승선 (5,27)

② 조사항목 및 관측장비

위성 검보정 현장조사의 특성상 광학 측정이 중점적으로 측정하였고, 위성에서 산출되는 변수인 엽록소 농도, 탁도, 생산성, 용존 유기물 등에 대한 검증을 위해 해당 현장 값을 취득하였다.

표 31. 조사항목 및 관측장비

조사항목	사용장비 (기가설비포함)	사용방법
수온, 염분, 용존산소	CTD	정점 관측
해수 광량	Hyper-spectral radiometer	정점 관측
흡광, 감쇠, 역산란 계수	Portable multi-spectrometer, ECO bb2fl	정점 관측
해수시료 채취	Rosette, Niskin bottles	정점 채취
해수시료 여과	Filtration system	정점 채취
부유입자	Machine vision floc camera	정점 및 연속 관측
식물플랑크톤	플랑크톤 네트	정점 채취
식물플랑크톤	FlowCAM, Flow cytometer, Imaging Cytobot, AlgaeOnlineAnalyzer, 현미경	정점 관측
광합성효율	Deck incubator	정점 관측
용존 유기물 형광	CDOM fluorometer	정점 관측
일차생산력 및 엽록소 형광특성	FRRF, FiRE, In situ FiRE	정점 및 연속관측
엽록소	Turner 10AU	정점 관측
용존산소 분석	DOT-05	정점 채취
영양염 분석	Seal-Analytical, QuAAtro	정점 채취
에어로졸 광학 두께 및 감쇠/흡광	Microtops Sunphotometer, SpEx, CAPS PMex, TAP	정점 채취
오존	Microtops Ozonometer	
오존, 이산화질소	Pandora spectrometer, Thermo 49i	정점 및 연속관측
표층 대기질 (오존, 일산화질소, 산화질소, 이산화황, 일산화탄소)	UV absorption (49i), Chemiluminescence (42C-Y), Infrared (48C), and fluorescence (43C) Thermo Scientific closed-path spectrometers; Datalogger (ESC 8842); Desktop Computer, Thermo 42i-TL, BLC,	정점 및 연속관측
용존 유기탄소, 입자성 유기탄소 및 질소, 식물성 플랑크톤 색소, 용존 및 입자성 흡광, 블랙 카본	Vacuum pumps, peristaltic pump, and seawater filtration equipment	정점 및 연속관측
해수 고유광특성	Wetlabs IOP package (two ac-s, WETStar CDOM and chlorophyll fluorometers, bb3, ECO-VSF), Seabird SBE-45 thermosalinograph, HOBI Labs a-sphere, Sequoia flow switch, pump	연속관측
수중 광량	Biospherical C-Ops or Satlantic Hyperpro	정점 관측
수중 고유 광특성	SBE-49 CTD Sequoia LISST 100X, Turner ICAM, Hydroscat-6, pumps, DH4 data handler	정점 관측
태양광 복사량 및 반사도	Biospherical or Satlantic Hyper-OCR solar reference sensor	연속 관측
이산화물	Two Li-cor 840 CO ₂ Detector	연속 관측
산소포화도	5 Aanderaa 4835 oxygen optodes	정점 관측
해수 물리량 (전도도, 탁도, 이산화탄소 분압)	Aanderaa conductivity-temperature 4319B sensors, 3 Seapoint turbidity meters, Turner Cyclops-7 fluorometer, K30 carbon dioxide gas fraction and Persistor data logger	연속 관측
입체 산란 함수	MVSM/LISST	정점 관측
입자 크기 분포	LISST	정점 관측
해수 반사도	HyperPro modified by skylight-blocked approach (SBA), ASD, Tri	정점

③ 관측정점 및 항적

표 32. 관측정점의 위치 및 관측일자

정점번호	위도	경도	날짜
K003	34.96996	129.1196	2016-05-20
K011-1~12	36.99627	130.6993	2016-05-22~23
K012	37.52884	131.3815	2016-05-23
K013	37.62559	131.3091	2016-05-23
K014	37.71881	131.2352	2016-05-23
K015	37.81706	131.1434	2016-05-23
K016	37.90937	131.0593	2016-05-23
K017	37.0664	131.1645	2016-05-24
K018	37.0918	130.9554	2016-05-24
K019	37.1217	130.7781	2016-05-24
K020	37.15211	130.6007	2016-05-24
K021-1~4	37.59896	129.873	2016-05-25
K022-1~2	37.67106	129.6683	2016-05-25
K021-5~9	37.85519	129.5185	2016-05-25
K023	36.52999	130.2718	2016-05-26
K024	36.52852	130.2032	2016-05-26
K025	36.4544	130.0881	2016-05-26
K026	36.39683	129.9709	2016-05-26
K027	36.25302	129.7021	2016-05-26
K028	36.00815	129.8339	2016-05-27
K029	35.8357	130.0004	2016-05-27
K030	35.60093	130.1647	2016-05-27
K031	34.24904	128.5153	2016-05-28
K032	34.12548	128.2493	2016-05-28
K033	33.99676	127.9963	2016-05-28
K034	33.87133	127.7476	2016-05-28
K035	33.74962	127.4998	2016-05-28
K036	35.00444	125.0041	2016-05-29
K037	34.99861	124.834	2016-05-29
K038	35.00013	124.6688	2016-05-29
K039	35.14097	124.5156	2016-05-29
K040-1~11	34.99959	124.3333	2016-05-29~30
K041	35.66755	124.9979	2016-05-31
K042	35.66742	125.1663	2016-05-31
K043	35.6668	125.4993	2016-05-31
K044	35.70152	125.8426	2016-05-31
K045-1~6	37.3406	125.6748	2016-06-01
K046	35.33275	124.3298	2016-06-02
K047	35.1675	124.3328	2016-06-02
K048	34.99968	124.3326	2016-06-02
K049	34.83386	124.3321	2016-06-02
K050	34.6646	124.3338	2016-06-02
K051-1~11	33.48769	124.2421	2016-06-03~04
K052	33.63662	127.2265	2016-06-05
K053	33.74844	127.5071	2016-06-05
K054	33.89714	127.7959	2016-06-05

본 조사에서는 총 조사기간 18일을 동해 7일, 서해 7일, 남해 4일로 할당하고, 정점관측과 드리프터 관측의 두 가지 조사 방식을 혼합하여 조사를 수행하였다. 드리프터를 이용한 정점의 경우, 조사선 근처에 수심 표층에서부터 10 미터까지의 평균 해수 흐름을 따르는 드리프터를 띄움으로써 같은 수괴에 대하여 지속적으로 (보통 24시간) 관측하는 방식이고, 정점 관측의 경우, 정해진 위치에서 머물면서 평균 2시간의 조사 주기를 가지고 관측을 수행한 후 다음 정점으로 이동하는 형식이다.

(3) 비고 및 향후 개선 사항

(가) 출항지연

5월 20일 미국 승선인원 Steve Ackleson 박사(미해군연구소; NRL)가 출항 직전 계단 위 구조물에 머리를 부딪혀 열상을 입음. 선상에서 치료를 하기에는 무리가 있어 보인다는 판단 하에 Ackleson 박사를 인근 병원으로 보내어 부상 부위를 꿰뚫 후 부산항에서 재승선하였다.

(나) CTD 오작동

출항 후 관측장비 (CTD) 오작동으로 인하여 5월 20일 정점 조사 수행 후 저녁에 부산항에 입항 하여 장비 수리 실시. 정비를 마치고 5월 21일 출항하였으나, CTD 오작동이 재발하여 온산항 근처에서 선박 관측장비 기술자 승선. 이후 5월 22일 이후로는 CTD에 큰 문제없이 정상 작동함. 향후 중요한 현장조사의 경우, 사전에 장비기술자와 협의하여 전 조사기간 승선을 추진해야 할 것으로 보인다.

(다) 동해에서 일부 정점 위치 조정

위성자료 검보정 현장조사라는 특수성으로 인하여, 구름에 가리어 위성에서 관측이 되지 않은 곳에서의 조사를 최대한 피해야하기 때문에, 동해상의 계획이 되어 있던 정점 중 해당 정점이 구름에 가리고, 주변에 가까운 위치에 구름이 끼지 않았을 경우 소폭의 위치 수정을 하여 조사를 수행하였다. 향후 조사 정점 신청시 이러한 특수한 조사 목적이 있을 경우, 정점 수정에 대한 고려가 있으면 보다 더 조사 목적에 부합하는 조사를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

(라) 관측장비 망실

5월 26일 수중광량 측정장비(Satlantic Hyperpro)를 망실하였다 (약 5천만원 상당의 장비). 선미에서 해당 장비를 투하 작업 중 선체방향으로 해류가 유입되고, 클러치가 해제되어 있지 않아 터빈이 계속 돌고 있는 중, 해당 장비가 선체 밑으로 들어가 터빈에 걸려 장비를 지탱하는 연결선이 끊어졌다. 이후 온누리호 선장이 잠수하여 해당 장비를 수색하였으나, 터빈에 걸려 있지 않았고 따라서 해류 및 중력에 의하여 유실된 것으로 판단하였다. 향후, 선미에서 투하하는 장비의 경우 브릿지와 보다 면밀한 협의가 필요하고, 이에 대해 선장 및 3명의 항해사와 모두 공유가 되어야 할 것이다.

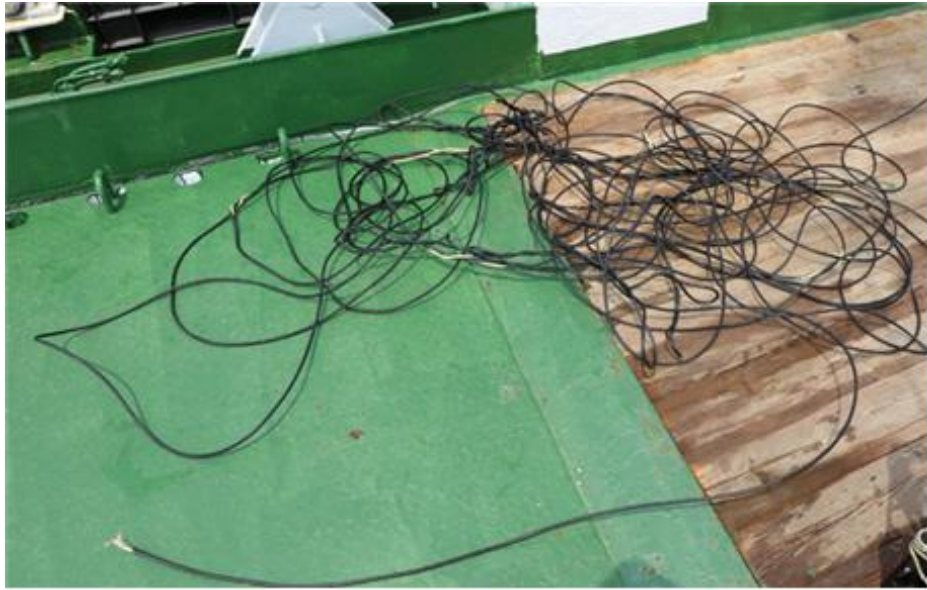


그림 194. 망실된 Profiler의 케이블

(마) 연구인력 교대

5월 27일 포항 입항 후 국내 연구인력 3명이 교대 승선하였다 (국내 과학자 총원 동일). 국내 과학자의 업무 일정상 총 18일간의 지속적인 조사가 불가능한 인원 3명이 하선하고, 보충하기 위하여 새로운 인원 3명이 탑승하였다.

(바) 기상악화로 인한 피항

6월 4일 제주 서부의 기상악화(높은 파고와 풍랑)로 제주항으로 피항 후 6월 5일 오전 관측 재개하였다.



그림 195. 2016년 6월 4일 기상악화로 인한 피항

제 4절. 정지궤도해양위성 기반 현업지원

가. 개요

2010년 6월 위성 발사 후 현재까지, 일 평균 8회 GOCI에서 관측한 13종의 해양현안 분석정보를 33개의 국내외 연구자 및 관련 유관기관에 실시간으로 제공하여 해양위성 분야의 인프라 구축 및 현업지원을 강화하고 있다. 이를 위하여 천리안 해양관측위성 자료 웹 배포 서비스를 개선하여 홈페이지를 통한 자료 배포를 원활하게 하였으며, 천리안 해양관측위성자료 웹 기반 분석 도구를 개발하고 대형 포털사이트에 실시간으로 GOCI의 기본 산출물들을 표출하는 등 연구자의 편의성을 증대하고 대국민 서비스를 실시하고 있다. 그리고 활용실무협의체의 구축/운영을 통하여 현업기관의 요청사항을 수렴하고 반영하여 효율적인 활용이 가능하도록 지원하고 있다.

그 결과 총 31기의 과학 목적을 포함한 우리나라 위성관측기기의 연구성과 중 약 55% 이상 (SCI/Scopus급 기준)을 천리안 해양위성이 차지함으로써, 활용성과가 가장 우수한 것으로 평가되고 있다 (KISTEP, 2018). 양적인 성과뿐만 아니라 질적으로도 우수하여 10회 이상 피인용된 논문 61편 중 33편, 50회 이상 피인용된 논문 3편 중 3편 모두 GOCI 자료를 활용한 논문이다.

활용실무협의체를 통하여 국가 주요 현안발생을 대비한 국내 현업기관의 효율적인 업무 지원체계를 확립하였다. 본 과제에서 개발한 11종의 현업활용 기술을 활용한 실시간 위성영상 모니터링 및 분석을 통해 최근 우리나라에 직접 피해가 발생하고 있는 팽생이 모자반(갈조)의 분포현황을 전라남도, 제주특별자치도, 국립수산물과학원 등 유관기관에 제공하는 등 해양 현안에 대해 조기 대응을 할 수 있도록 지원하였다. 또한, “인공지능 기반 천리안 해양위성 해무탐지기술”을 개발하여 해무탐지 성공률을 획기적으로 개선하였으며, 이는 천리안 해양위성 발사 이후 최초로 국내 산업체에 기술 이전하는 최초의 실용화 성과를 달성하였다. 이러한 지원체계 확립을 통하여 제주특별자치도로부터 팽생이 모자반 TF팀에 소속되어 정책결정 지원을 해 줄 것을 요청(2017.03) 받았으며 전남도청으로부터 지속적인 팽생이 모자반 분석 결과의 제공을 요청 받아 수행 한 바 있다.

또한, 해양수산부 종합상황실로부터 2017년에 3월 31일에 남대서양에서 발생한 스텔라데이지호 침몰 사고 수색지원을 요청받아 수행 중에 있다. 이에 천리안 해양위성의 해상 부유조류(갈조, 녹조 등) 분석기술을 기반으로 고해상도 위성자료를 분석하여 해양수산부 종합상황실에 매일 제공하고 있다. 그 후속조치로 행정안전부의 ‘해양 선박사고 위기관리 표준매뉴얼’과 해양수산부의 ‘여객선 해양사고 위기대응 실무매뉴얼’에서 해양 사고 발생 시 위성영상 분석 전문기관으로 해양위성센터가 지정되었으며, 현재 해양수산부의 ‘원양어선 해양사고 위기대응 실무매뉴얼’이 개정 중에 있다.

나. 위성자료 DB 및 서비스 개발

(1) 천리안 해양관측위성자료 실시간 배포 서비스

(가) 해양위성센터는 천리안 해양관측위성 자료 실시간 배포 서비스를 개발하여 주요 국가 현안에 대응할 의무가 있는 현업기관이나 주요 공공기관들과 많은 국민들이 이용하는 대형포털사이트에 제공하고 있다. 2017년에 국정원이 추가되어 총 33개의 기관에 실시간 자료서비스를 제공하고 있다. 서비스의 품질을 지속적으로 유지하고 관리하기 위해 연 1회 이상 유관기관에 연락하여 고충사항에 대한 의견을 받고 있다.

표 33. 실시간 자료를 제공하는 유관기관 명단(누적)

No	기관명	제공 영상	No	기관명	제공 영상
1	국립수산과학원	L1B영상, L2영상	18	여수엑스포	RGB합성영상
2	국립수산과학원	L1B영상	19	질병관리본부	L2영상
3	한국해양과학기술원	L1B영상, KML파일	20	강릉원주대학교	L1B영상
4	극지연구소	L1B영상, L2영상	21	단국대학교(천안) 멀티미디어공학과	RGB영상, L2합성영상
5	국립해양조사원	L2,TSS,BMP파일2종	22	고려대학교 (환경생태공학부)	L1B영상
6	해양경찰청	분석 정보 제공	23	인천대학교(해양학과)	L1B영상
7	안산시	RGB위성영상	24	국립환경과학원	L1B영상
8	서울대학교 (해양연구소)	L1B영상	25	해양교란유해 생물연구센터	L1B영상
9	기상청 (국가기상위성센터)	L1B RGB L2	26	한국에너지 기술연구원	L1B영상
10	국토교통부 (공간정보센터)	RGB영상	27	해양생명자원 통합정보시스템	RGB 영상, 해색 분석 영상 3종
11	(주)HMT	RGB영상, L1B영상	28	성균관대학교	L1B영상
12	공군(기상단)	RGB영상	29	한국항공우주연구원	RGB 영상, 해색 분석 영상 3종
13	환경과학기술 (국립해양조사원)	RGB영상, L1B영상	30	연세대학교 (대기학과)	L1B영상
14	(주)NHN	RGB영상, 해색분석영상	31	제주도 해양수산연구원	CHL 분석 영상
15	국립 재난안전연구원	L1B영상, RGB영상	32	NASA	L1B영상
16	해군	L1B영상, L2영상	33	국정원	L1B영상
17	국립해양박물관	RGB합성영상			

(나) 대형포털사이트(네이버)는 실시간으로 다양한 위성영상 산출물들을 확인할 수 있도록 표출하고 있어, 전문적인 위성기반의 해양 정보를 국민들이 쉽게 이해하고, 실생활에 활용할 수 있도록 돕고 있다.

(2) 천리안 해양관측위성자료 웹 배포 서비스

(가) 웹 배포 서비스는 해양위성센터 홈페이지(<http://kosc.kiost.ac.kr>)를 통해 제공하며 지속적인 업데이트가 이루어지고 있다. 2016년 배포서비스 개선 이후로 전과 비교해 데이터 제공량이 10배 이상 증가하였으며 매년 꾸준히 증가하고 있다.

(3) 천리안 해양관측위성자료 웹 기반 분석 도구

(가) GOCI Viewer(<http://view.goci.kr>)는 해양위성센터에서 개발한 웹 기반 위성 영상 분석 도구이다. 이 프로그램은 해양환경 및 해수 광특성을 분석하기 위해 산출된 2차 결과물(엽록소 농도, 용존유기물 분포, 부유퇴적물 농도)에 대한 진입장벽을 낮추기 위해 개발하였다.

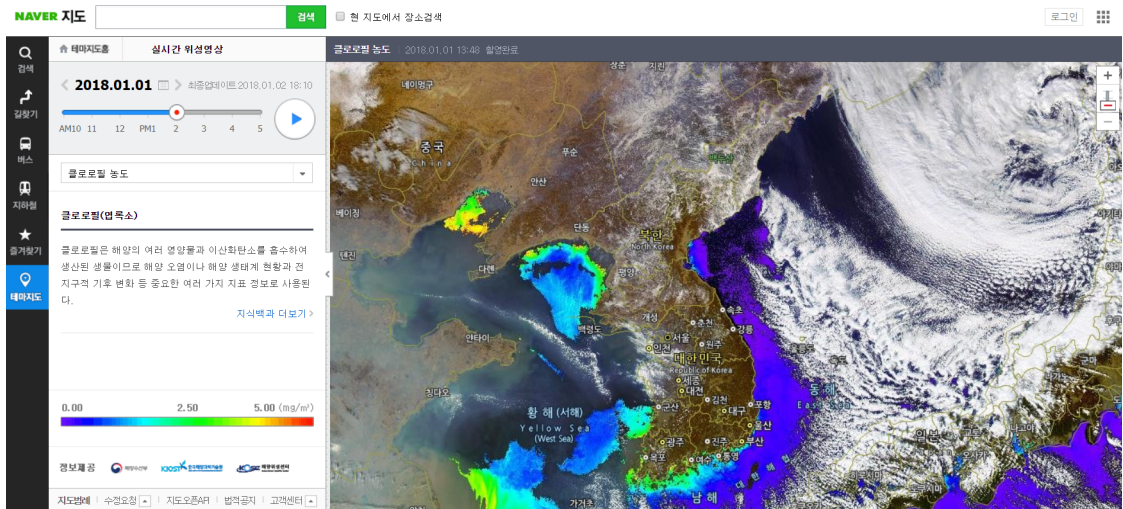


그림 196. 네이버 자료제공 화면 예시

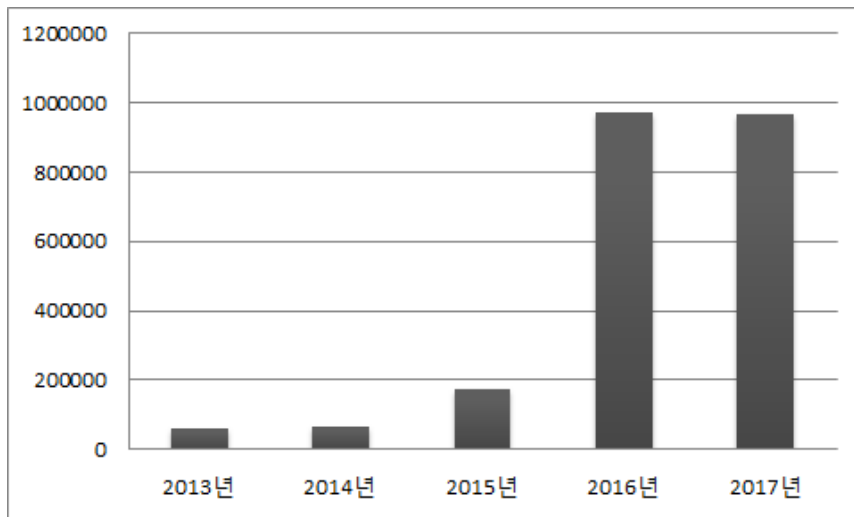


그림 197. 연도별 홈페이지를 통한 자료 배포 현황

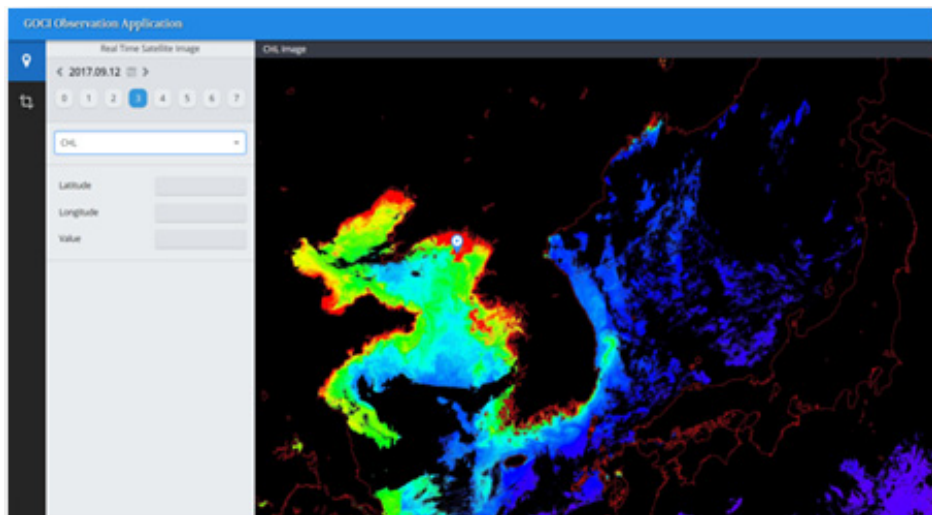


그림 198. GOCI Viewer 화면 예시

- (나) 로컬에 특정 응용프로그램을 설치하고 위성영상을 다운로드 해야 하는 복잡한 기존 과정을 생략하고, 인터넷 접속만으로 2차 결과물에 접근할 수 있도록 하였으며 또한 연구 목적에 따라 특정 데이터를 손쉽게 추출할 수 있도록 설계되었다.

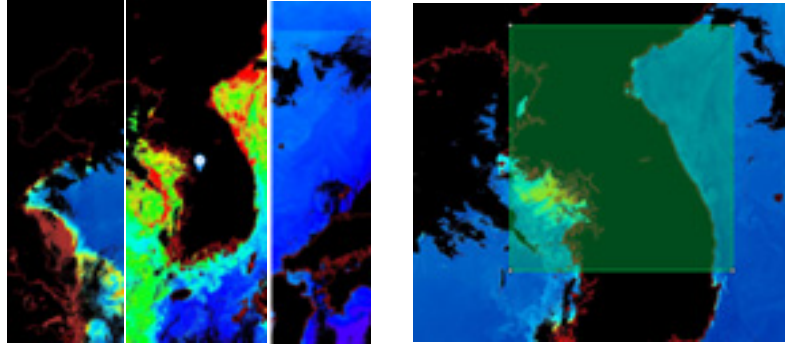


그림 199. GOCI Viewer 산출물과 데이터 추출 예시

다. 활용실무협약체

(1) 구축 배경

- (가) 해양위성센터는 해양수산부 훈령 제64호에 의거하여 천리안 해양 관측위성의 활용 및 지원하고 있다.
- (나) 천리안 해양관측위성 발사 이후 활용에 대한 기대 증가하였다.
- (다) 적조, 녹조, 갈조 등 해양 기인 현안발생 뿐만 아니라 미세먼지, 황사, 해무, 폭설 등 대기/기상 분야의 현안에 대한 현업활용 수요가 증대되었다.

(2) 운영 목적

- (가) 국가 주요 현안발생을 대비하여, 한국해양과학기술원 해양위성센터(천리안 해양관측위성 주 관운영기관)와 국내 현업기관의 효율적인 업무 지원체계를 확립
- (나) 수산업, 기상, 군 등 현업기관과의 연계망을 구성하여, 정지궤도 해양위성 분석자료를 현업기관에 제공-현업기관의 현장 관측자료를 공유하는 자료 협력기반을 마련함으로써 국민의 복합적 요구에 원활히 대응

(3) 대상 기관

- (가) 대한민국 재난/재해 등의 업무에 위성자료를 사용하거나 계획이 있는 현업기관

(4) 운영 체계

- (가) (기본) 사전에 협의된 위성 자료를 생산과 동시에 실시간으로 전달
- (나) (현안 발생시)
- ① 운영주체 : 주관 부처 및 담당 현업기관에 위성분석자료 전달
 - ② 현업기관 : 현장 자료/정보 전달

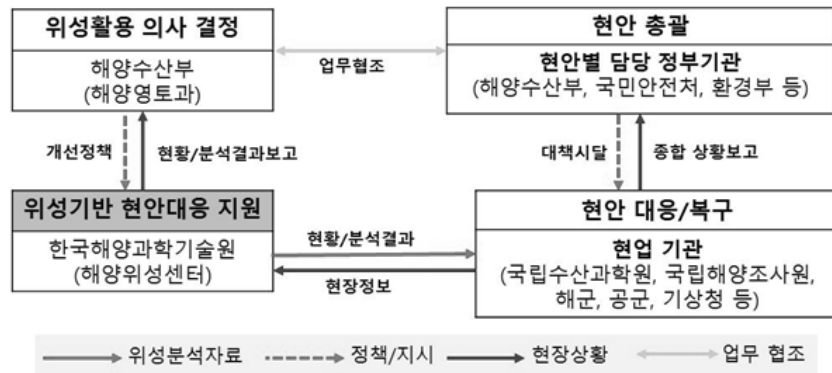


그림 200. 활용실무협의체 운영체계

(1) 활용실무협의체 참여 기관

순번	참여 기관명	순번	참여 기관명
1	국립수산과학원	6	국가기상위성센터
2	국립해양조사원	7	국립환경과학원
3	해양환경관리공단	8	공군
4	국립재난안전연구원	9	수요처
5	해군		

(2) 활용실무협의체 개최

순번	개최일	참여기관	비고
1	2014. 02. ~2014. 03.	사전회의 (직접 방문/ 유선)	현업기관들과의 사전 회의
2	2014. 06.	국립수산과학원, 국립해양조사원, 해양환경관리공단, 국립재난 안전연구원, 해군, 국가기상위성센터, 국립환경과학원, 공군	제1차 정기회의
3	2015. 08.	국립수산과학원, 국립해양조사원	현업기관 현장 방문 및 업무협의
4	2015. 11.	국립수산과학원, 국립재난안전연구원, 해군, 공군, 국가기상위 성센터, 국립환경과학원	제2차 정기회의
5	2016. 06.	국립수산과학원	현업기관 현장 방문 및 업무협의
6	2016. 08.	공군	현업기관 현장 방문 및 업무협의
7	2016. 08.	해군	현업기관 현장 방문 및 업무협의
8	2016. 09.	국립해양조사원	현업기관 현장 방문 및 업무협의
9	2016. 11.	해양환경관리공단	현업기관 현장 방문 및 업무협의
10	2016. 11.	국립수산과학원, 해군, 해양환경관리공단	제3차 정기회의
11	2017. 06	국립수산과학원	현업기관 현장 방문 및 업무협의
12	2017. 07.	수요처	현업기관 현장 방문 및 업무협의
13	2017. 09.	환경과학원	현업기관 현장 방문 및 업무협의

라. 현업지원

정지궤도 해양위성 활용연구 (2단계) 연구개발 목표의 세부 내용 중 하나가 해양환경 분석자료 산출을 통한 해양위성의 현업활용 지원이다. 정지궤도 해양관측위성의 장점인 1일 8회 관측된 영상을 분석하여 갈조, 저염수, 녹조 등 해양 현안뿐만 아니라 미세먼지, 해무 등 대기/기상 현안의 분석결과를 관련 지자체 및 유관기관에 전파하고 있다. 유관기관은 위성 분석 결과를 참고하여 관련 산업 종사자에게 전파함으로써 피해 저감을 하고 있다. 예를 들어, 팽생이 모자반, 저염수, 녹조 등은 중국으로부터 한반도 주변으로 유입되기 전부터 관측하여 유관기관을 통하여 수산업 종사자들에게 전파하여 충분히 대비 할 수 있도록 하고 있다.

(1) 1차년도

순번	제 목	수신처	비고
1	해양 이상현상 (녹조 의심지역) 관측 알림	해양환경관리공단, 국립해양조사원, 국립수산과학원, 인천광역시, 인천해양경찰서	
2	국립환경과학원 실시간 전송 (현업 활용)	국립환경과학원	
3	국립수산과학원 적조관측 정보 제공	국립수산과학원	
4	공군기상전대 군 작전 활용	공군기상전대	
5	해양교란유해생물연구센터 실시간 전송	전남대학교	
6	천리안 해양관측위성 데이터 실시간 자료 이용	국가기상위성센터	
7	천리안 해양관측위성 데이터 실시간 자료 이용	한국에너지기술연구원	

(2) 2차년도

순번	제 목	수신처	비고
1	해양 이상현상 (적조 의심지역) 관측 알림	국립수산과학원	6회
2	적조 모니터링용 위성자료 제공	경상남도	
3	육상 활용을 위한 위성영상 협조	한국항공우주연구원	
4	위성활용 홍보 동영상 제작 관련 위성영상 협조	한국항공우주연구원	
5	해도수로 및 동해의 우리말 해양지명 홍보 협조	국립해양조사원	
6	한반도 인근 팽생이 모자반 관측 결과	국립해양조사원, 국립수산과학원, 제주특별자치도, 아열대수산연구센터, 신안군, 진도군, 국민안전처,	7회
7	대기오염 예보를 위한 천리안 해양위성 자료 활용	국립환경과학원	

(3) 3차년도

순번	제 목	수신처	비고
1	천리안 해양관측위성 영상을 이용한 적조분포 정보	국립수산과학원, 국립재난안전연구원, 국립해양조사원	17회
2	팽생이 모자반 의심지역 정보	제주특별자치도	

(4) 4차년도

순번	제 목	수신처	비고
1	해양 이상현상 (녹조 의심 지역) 관측 알림	국립수산과학원, 해양수산부, 신안군, 국립해양조사원, 인천광역시, 태안군	2회
2	해양 이상현상 (무해성 적조 지역) 관측 알림	국립수산과학원, 해양수산부, 국립해양조사원	2회
3	천리안 해양관측 위성을 활용한 저염수 추정 분석 결과 제공	제주특별자치도, JIBS, 해양수산연구원	3회
4	천리안 해양관측위성을 활용한 2016년 미세먼지 발생 정보 제공	공군 기상단, 국가기상위성센터	
5	천리안 해양관측위성을 활용한 2016년 해빙 발생 정보 제공	해군작전사령부	
6	천리안 해양관측위성을 활용한 2016년 해사채취 발생 정보 제공	해양환경관리공단	
7	천리안 해양관측위성을 활용한 2016년 적조 발생 정보 제공	국립수산과학원	
8	천리안 해양관측위성을 활용한 2016년 해무 발생 정보 제공	국립해양조사원, 해군작전사령부	

(5) 5차년도

순번	제 목	수신처	비고
1	해양 이상현상 (괭생이 모자반 의심 지역) 관측결과 알림	국립수산과학원, 제주수산연구소, 해양수산연구원, 제주특별자치도	6회
2	천리안 해양관측 위성을 활용한 저염수 추정 분석 결과 제공	제주특별자치도	
3	천리안 해양관측 위성을 활용한 2017년 괭생이 모자반 발생 정보 제공	제주특별자치도, 제주수산연구소	
4	천리안 해양관측 위성을 활용한 2017년 녹조 발생 정보 제공	제주수산연구소	
5	천리안 해양관측 위성을 활용한 2017년 미세먼지 발생 정보 제공	공군기상단, 국가기상위성센터	
6	천리안 해양관측 위성을 활용한 2017년 저염수 발생 정보 제공	해양수산연구원	
7	천리안 해양관측 위성을 활용한 2017년 해무 발생 정보 제공	국립해양조사원	
8	천리안 해양관측 위성을 활용한 2017년 해빙 발생 정보 제공	해군작전사령부	
9	천리안 해양관측 위성을 활용한 2017년 적조 발생 정보 제공	국립수산과학원	

마. 연구 주제 별 활용 형태

표 34. 연구 주제 별 활용 형태

연구 주제	수행형태	수행기관	활용형태	활용(수요) 기관	비고
해류벡터	주관	한국해양과학기술원	현업	국립해양조사원	
해양진진	주관	한국해양과학기술원	현업	국립수산과학원	
갈조	주관	한국해양과학기술원	현업	국립수산과학원, 제주특별자치도, 진라남도, 해양환경관리공단	제주특별자치도의 “팽생이모자반 유입관련 신제적 대응을 위한 전문 TF팀”에 속하여 정책 지원
적조	주관	한국해양과학기술원	현업	국립수산과학원, 진라남도, 경상도	수과원 예보/예찰 활용
수중가시거리	주관	한국해양과학기술원	현업	국립해양조사원, 해경, 해군	세월호 수색 시 수중시계거리 참고자료 제공
유해생물 추적	위탁	부산대학교	현업	국립수산과학원	
수직방향감쇄계수	주관	한국해양과학기술원	현업	국립해양조사원, 해경, 해군	세월호 수색 시 수중시계거리 참고자료 제공
해무	주관	한국해양과학기술원	현업	국립해양조사원, 항만청	
수질등급	위탁	울산과학기술대학교	현업	해양환경관리공단	항계안전시스템 적용 후 서비스 중
해빙	위탁	인하대학교	현업	해군	
저염수	주관	한국해양과학기술원	현업	국립수산과학원, 제주특별자치도	
녹조	주관	한국해양과학기술원	연구	국립수산과학원, 해양환경관리공단	
동북아 조간대 퇴적물의 장기 모니터링	위탁	연세대학교	연구		갯벌
일차생산력	주관	한국해양과학기술원	연구	국립수산과학원	기후변화, 탄소순환
고유광특성	주관	한국해양과학기술원	연구		기초 산출물
탄소성유기입자	주관	한국해양과학기술원	연구		기후변화, 탄소순환
중규모 해양변동특성	위탁	서울대학교	연구		기후변화, 탄소순환
저어류 잠재생산력 평가	위탁	제주대학교	연구	국립수산과학원	어장정보
에어로졸	위탁	연세대학교	연구	기상청, 국립환경과학원	미세먼지
대기보정	주관	한국해양과학기술원	연구	기상청, 국립환경과학원	기초 산출물

제 5절. 기타 연구수행 결과

가. 국가연구개발사업 우수성과 100선 선정

- (1) 성과명 : 천리안 위성영상을 활용한 해양현안 분석정보 서비스
- (2) 내용 : 세계 최초의 정지궤도 해양위성을 활용하여 일 8회 한반도 주변 해양환경변화를 모니터링 하고, 현업기관을 대상으로 해양현안 분석 정보서비스로 광역적 조기대응에 대응
- (3) 성과의 활용 : 유관기관에 지속적인 정보 지원을 통하여 해양 및 대기 현안으로 인한 피해 저감 및 정책 결정에 활용
- (4) 의의
 - (가) 2016년도 기준 해수부 국가 R&D 과제 중 유일
 - (나) 전체 53,000개 과제 중 상위 0.18% 이내



그림 201. <국가연구개발사업 우수성과 2016> 수록내용

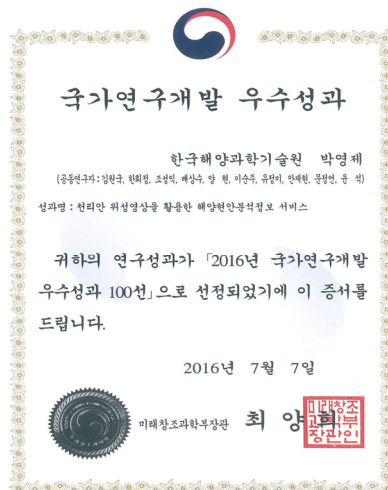


그림 202. 국가연구개발 우수성과 인증서

나. 글로벌 협력체계 및 저변 확대

(1) 학회 개최

(가) KJWOC(한-일 해색원격탐사 워크숍)

한-일 해색원격탐사 워크숍은 한국과 일본을 포함한 아시아 국가들의 해색원격탐사 연구 결과 발표 및 정보를 교류하기 위한 워크숍으로 2003년부터 한국과 일본이 번갈아 가면서 개최하였으나, 2013년 대만, 중국 등을 포함하는 아시아 지역으로 확대되었다. (KJWOC → AWOC(아시아 해색원격탐사 워크숍))

- ① 제 10회 KJWOC : 대만 타이난 (국립 성공대학교)
- ② 제 11회 KJWOC : 한국 안산 (한국해양과학기술원)
- ③ 제 12회 KJWOC : 일본 JAMSTEC
- ④ 제 13회 KJWOC : 태국 춘부리 (Burapha 대학)
- ⑤ 제 14회 KJWOC : 한국 부산 (부산대학교)

(나) GOCI PI Workshop

- ① 제3회 국제 GOCI PI 워크숍 (2014. 4.)

(다) IGS (International GOCI Symposium 2016)

- ① 12개 세션 28개 구두발표 14개 포스터 발표
- ② 정지궤도 지구관측위성 국제 동향 및 국내 위성개발 계획 발표
- ③ 한미 국제공동현장조사 (KORUS-OC) 결과 발표 및 논의
- ④ 위성 활용 연구 사례 발표 및 활용 확대 방안 토의
- ⑤ 해양관측위성 2호(GOCI-II) 및 지상국 개발 현황 발표

(2) 특별세션 개최

(가) ISRS (국제원격탐사학회) 특별세션

- ① 2014. 4. : 부경대학교
- ② 2015. 4. : 대만 성공대학교
- ③ 2016. 4. : 제주 ICC
- ④ 2017. 4. : 일본 나고야대학교

(3) 국제 검·보정 협의체 구축

(가) GOCI 자료 품질 향상을 위한 다국적 검·보정 협력체계 마련

(나) GOCI 자료 사용자 요구사항 수립

(다) 한국, 일본, 중국, 러시아, 대만 5개국 참여

(라) Annual GOCI validation campaign (2013. 12.)

(마) GOCI 표준 검·보정 방안 수립

(4) KORUS-OC

(가) 조사 목적 : 위성에서 추정되는 해양환경 변수, 즉 엽록소 농도, 해수 탁도, 용존 유기물 등의 총 10여개 이상의 산출물에 대한 정확도를 검증하고 보다 정밀한 알고리즘을 개발하기 위함

(나) 조사 기간 : 2016년 5월 20 ~ 6월 6일

(다) KORUS-OC 워크숍 개최

① 기간 : 2017. 4. 18 ~ 4. 21

② 목적 : 한미 공동해양과학조사에 대한 후속 워크숍으로 현재까지 진행된 분석 결과 발표 및 향후 연구 방향 논의

(5) MOU

(가) 일본 Nagoya 대학교 대기물순환연구센터 (HyARC)

① 일시 : 2014. 4. 17

② 목적 : 공동 검보정 활동 및 자료 공유를 통한 GOCI 검보정 정확도 향상
동북아 해역 해색원격탐사 활용연구 확대
협력 연구 및 기술 공유를 통한 해색 원격탐사 기반 기술 발전
세미나 및 워크샵 개최를 통한 GOCI 홍보



(나) 미국 NASA

① 일시 : 2016. 04. 22

② 목적 : 2016년 실시된 한미 해양공동조사의 계획 수립 및 비용 분담
획득된 자료의 분석 및 공유

천리안 해양위성 영상의 처리 기술과 검보정 협력

MEMORANDUM OF UNDERSTANDING BETWEEN THE KOREA INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY AND TECHNOLOGY OF THE REPUBLIC OF KOREA AND THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION OF THE UNITED STATES OF AMERICA FOR COOPERATION ON THE KOREA-UNITED STATES OCEAN FIELD STUDY		TABLE OF CONTENTS	PREAMBLE	ARTICLE 1 - DEFINITIONS
MEMORANDUM OF UNDERSTANDING BETWEEN THE KOREA INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY AND TECHNOLOGY OF THE REPUBLIC OF KOREA AND THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION OF THE UNITED STATES OF AMERICA FOR COOPERATION ON THE KOREA-UNITED STATES OCEAN FIELD STUDY		1. PURPOSE OF COOPERATION 2. DEFINITIONS 3. RESPONSIBILITIES 4. POINTS OF CONTACT 5. FINANCIAL ARRANGEMENTS 6. LIABILITY AND RISK OF LOSS 7. TRANSFER OF GOODS AND TECHNICAL DATA 8. PROTECTIVE PROPERTY RIGHTS 9. RELEASE OF RESULTS AND ACCESS TO FACILITIES 10. EXCHANGE OF PERSONNEL AND ACCESS TO FACILITIES 11. CLEARANCE AND MOVEMENT OF GOODS 12. OWNERSHIP OF EQUIPMENT 13. INVESTIGATION OF HUMAN AND COSMIC CALLS 14. CHECKS OF LAW 15. AMENDMENTS 16. FINAL PROVISIONS	The Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST), of the Republic of Korea (ROK), and the National Aeronautics and Space Administration (NASA), of the United States of America (USA) have entered into an agreement for cooperation on the Korea-United States Ocean Field Study (KOUS). The purpose of this agreement is to provide a framework for the exchange of information, personnel, and equipment between the two Parties for the purpose of conducting the Korea-United States Ocean Field Study (KOUS). The Parties agree to cooperate in the following areas: 1. Exchange of information, personnel, and equipment; 2. Exchange of personnel and access to facilities; 3. Clearance and movement of goods; 4. Ownership of equipment; 5. Investigation of human and cosmic calls; 6. Checks of law; 7. Amendments; 8. Final provisions.	1. The term "United States" shall mean the United States of America, its territories and possessions, and any other area over which the United States exercises jurisdiction or control. 2. The term "Korea" shall mean the Republic of Korea. 3. The term "Party" shall mean either the United States or Korea. 4. The term "Parties" shall mean the United States and Korea. 5. The term "agreement" shall mean this Memorandum of Understanding. 6. The term "KOUS" shall mean the Korea-United States Ocean Field Study. 7. The term "KOUS Agreement" shall mean this Memorandum of Understanding. 8. The term "KOUS Parties" shall mean the United States and Korea. 9. The term "KOUS Agreement Parties" shall mean the United States and Korea. 10. The term "KOUS Agreement Parties" shall mean the United States and Korea.
16. Purpose and Objectives of the Study 17. Exchange of Information, Personnel, and Equipment 18. Exchange of Personnel and Access to Facilities 19. Clearance and Movement of Goods 20. Ownership of Equipment 21. Investigation of Human and Cosmic Calls 22. Checks of Law 23. Amendments 24. Final Provisions		17. EXCHANGE OF INFORMATION, PERSONNEL, AND EQUIPMENT 18. EXCHANGE OF PERSONNEL AND ACCESS TO FACILITIES 19. CLEARANCE AND MOVEMENT OF GOODS 20. OWNERSHIP OF EQUIPMENT 21. INVESTIGATION OF HUMAN AND COSMIC CALLS 22. CHECKS OF LAW 23. AMENDMENTS 24. FINAL PROVISIONS	17. EXCHANGE OF INFORMATION, PERSONNEL, AND EQUIPMENT 18. EXCHANGE OF PERSONNEL AND ACCESS TO FACILITIES 19. CLEARANCE AND MOVEMENT OF GOODS 20. OWNERSHIP OF EQUIPMENT 21. INVESTIGATION OF HUMAN AND COSMIC CALLS 22. CHECKS OF LAW 23. AMENDMENTS 24. FINAL PROVISIONS	17. EXCHANGE OF INFORMATION, PERSONNEL, AND EQUIPMENT 18. EXCHANGE OF PERSONNEL AND ACCESS TO FACILITIES 19. CLEARANCE AND MOVEMENT OF GOODS 20. OWNERSHIP OF EQUIPMENT 21. INVESTIGATION OF HUMAN AND COSMIC CALLS 22. CHECKS OF LAW 23. AMENDMENTS 24. FINAL PROVISIONS

(6) 공동연구

(가) 미국 NOAA: 대기보정 기술개발 및 공동연구

(나) 미국 NASA : 위성 및 지상국 운영 기술 협력

(다) 프랑스 LOV : GOCI 검보정 기술 공유 및 연안환경 모니터링

(라) 프랑스 Astrium : 위성탑재체 개발 협력

(마) 유럽 ESA : 위성자료 교환 및 해석 공동연구

다. 홍보 활동

(1) 홍보 활동 개요

해양위성센터 홍보활동의 궁극적인 목적은 천리안 해양관측위성의 활용 증대에 있다. 세계 최초로 정지궤도에서 운영 되는 해양관측 위성인 GOCI를 유관기관, 국내외 대학 및 연구기관, 언론 등에 홍보하였다. 홍보 부스 및 학술대회 특별세션 개최를 통하여 GOCI의 학술 활용을 독려했으며 언론 보도 및 대형 포털 사이트의 테마지도를 통하여 국민에게 생소한 위성이라는 매체를 친숙하게 하는 한편 실생활에 도움이 된다는 인식을 심어주었다. 뿐만 아니라 영상 분석 결과를 현업 기관에 전파함으로써 현업 활용 증진에 힘썼다.

(2) 홍보 활동 내용

(가) 해양위성센터 방문 및 홍보부스 운영

- ① 국내외 주요 기관 인사 및 일반인 해양위성센터 방문 (약 200회 1230명)
- ② IGS (International GOCI Symposium), AWOC (Asia Workshop on Ocean Color), GOCI PI workshop 등 국외 학술제 개최 7건
- ③ 국제 원격탐사학회(ISRS), 대한 원격탐사학회, 한국해양학회 등 특별세션 9회
- ④ AOGS (Asia Oceania Geosciences Society), 대한 원격탐사학회, 한국해양 학회 등 홍보부스 9회



그림 203. 해양위성센터 방문, 홍보 부스 운영 및 국제 학술제 개최

(나) 언론보도

- ① KBS, SBS 등 주요 언론매체 200회
- ② 천리안 해양관측위성을 활용한 주요 현안 (괘생이 모자반, 저염수, 해무 등)

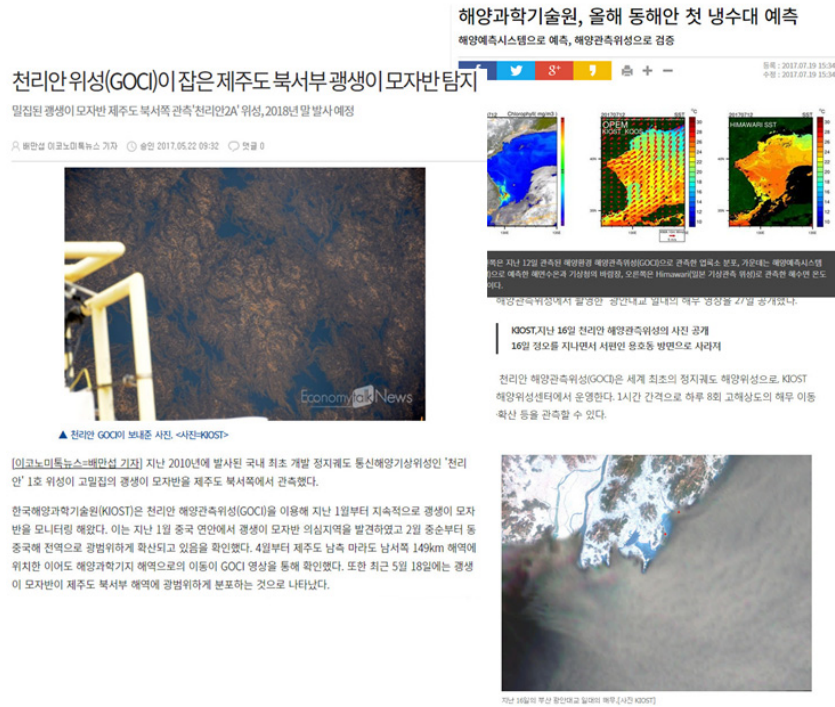


그림 204. 언론보도 자료

(다) 홍보물품 제작

해양위성센터 방문 및 홍보부스, 기타 행사 개최 시 배포



그림 205. 브로슈어

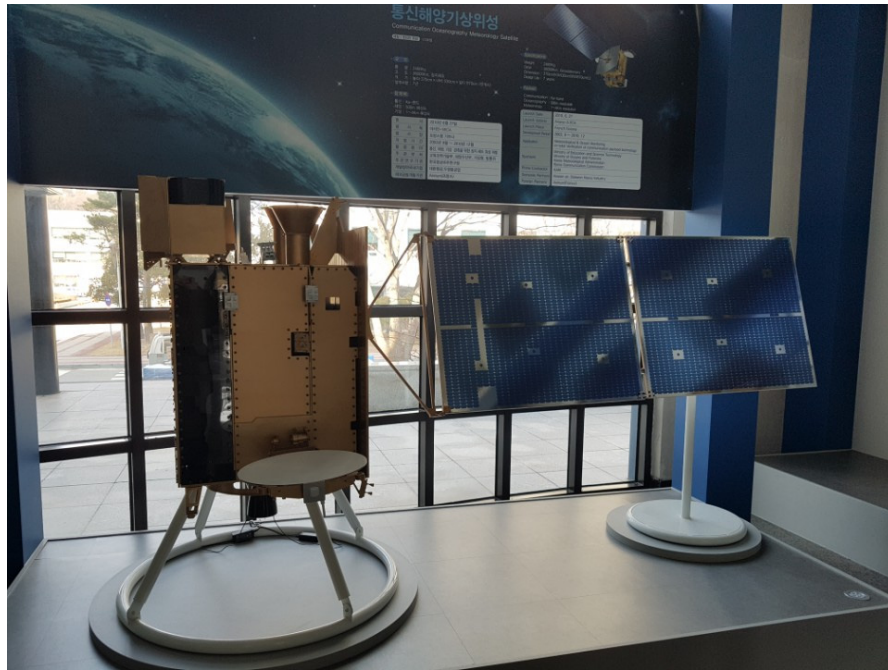


그림 206. 천리안 모형



앞면



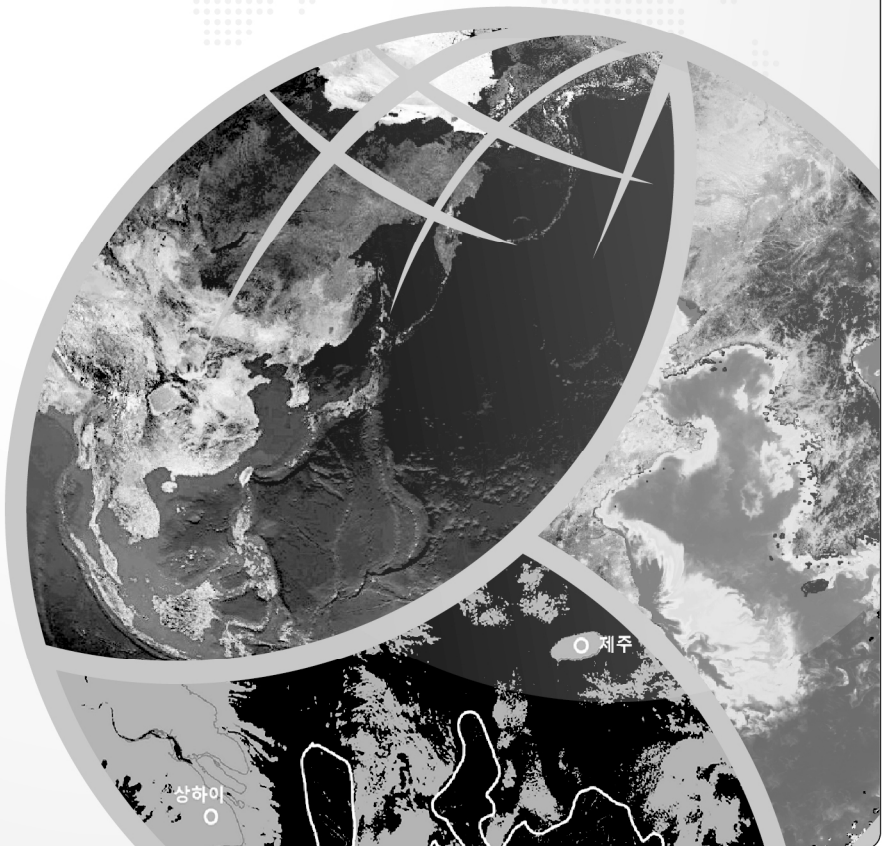
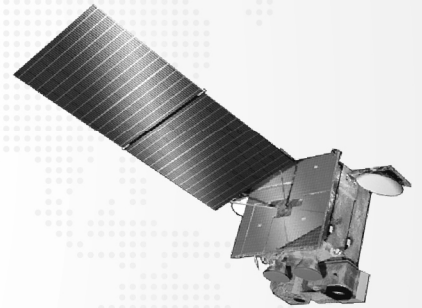
뒷면



그림 207. 기타 홍보물품



목표 달성도 및 관련 분야 기여도



제4장

목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1절. 목표 달성도

구분	목표	추진실적	진도(%)
1차년도 (2013년)	<p>맑은 해역 중심의 검보정과 녹조, 적조 중심의 현업활용/운영 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • 위성 해양 환경 분야 활용 연구 • GOCI 자료의 품질 향상을 위한 현장 조사 및 검보정 • GOCI 기반 현업지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경 분석기술(I) <ul style="list-style-type: none"> - 해양환경 분석 알고리즘 개발/검증 : 해류벡터, 해양전선, 녹조, 적조, 식생지수, 수질등급, 구름지역 복원 - 현업활용 기술 개발 : 녹조, 적조 - 글로벌 협력체계 및 저변 확대 • 동해에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측 자료 확보(I) • GOCI와 현장관측자료의 매칭을 통한 위성자료 검·보정 및 알고리즘 개선(I) • 국내/외 검·보정 협의체를 활용한 현장자료의 신뢰도 향상 연구(I) • 정규 위성운영 및 인프라 개선(I) <ul style="list-style-type: none"> - 주관 운영기관 업무 수행 - 지상국 인프라 강화(재처리 및 자동화, S/W 개선) • SCI 논문 8건, 비SCI 논문 5건, 국제발표 15건, 국내발표 24건 	100%
2차년도 (2014년)	<p>지속적인 검보정/운영과 해류벡터, 수질등급의 현업활용 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • 위성 해양 환경 분야 활용 연구 • GOCI 자료의 품질 향상을 위한 현장 조사 및 검보정 <ul style="list-style-type: none"> - 맑은 해역 및 연안 해역 중심 • GOCI 기반 현업지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경 분석기술(II) <ul style="list-style-type: none"> - 해양환경 분석 알고리즘 개발/검증 : PFT, 어장지수, 일차생산, 해류벡터, 해양전선, 수질등급, 적조, 해양변동특성, 구름지역 복원, 식생지수, 육상활용, 부어류 생산력 - 현업활용 기술 개발 : 해류벡터, 해양전선, 수질등급 • 고해상도 위성 연계 활용 기초연구(I) • 글로벌 협력체계 및 저변 확대 <ul style="list-style-type: none"> - GOCI PI 워크숍 등 국제 회의 개최, 기술교육 지원 등 - 글로벌 배포 시스템 구축 • 동해에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측 자료 확보(II) • 탁수 및 연안해역에서 고정관측 및 선박을 활용 	100%

구분	목표	추진실적	진도(%)
		<ul style="list-style-type: none"> 한 지속적인 현장관측자료 확보(I) • GOCI와 현장관측자료의 매칭을 통한 위성자료 검·보정 및 알고리즘 개선(II) • 국내/외 검·보정 협의체를 활용한 현장자료의 신뢰도 향상 연구(II) • 정규 위성운영 및 인프라 개선(II) <ul style="list-style-type: none"> - 주관 운영기관 업무 수행 - 지상국 인프라 강화 : 안정성 강화, SW 개선 • SCI 논문 6건, 비SCI 논문 1건, 국제발표 19건, 국내발표 20건 	
<p>3차년도 (2015년)</p>	<p>국제 수준의 자료 품질 확보 및 갈조/어장지수 등 현업활용 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • 위성 해양 환경 분야 활용 연구 • GOCI 자료의 품질 향상을 위한 현장 조사 및 검보정 <ul style="list-style-type: none"> - NASA 표준 알고리즘 수준 정확도 달성 • GOCI 기반 현업지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경 분석기술(III) <ul style="list-style-type: none"> - 해양환경 분석 알고리즘 개발/검증 : Kd, 수중가시거리, 갈조, 어장지수, 에어로졸 (미세먼지), 일차생산, 부어류 생산력, 해양환경 변동 특성, 식생지수, 육상활용, 유해생물/해류장 - 현업활용 기술 개발 : 갈조, 어장지수 - 국가 재해 대응 중점 연구 : 적조 • 고해상도 위성 연계 활용 기초연구(II) • 글로벌 협력체계 및 저변 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 국제회의 개최/참석, 사용자워크숍 등 - 글로벌 배포 시스템 시범 서비스 • 동해에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측 자료 확보(III) • 탁수 및 연안해역에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측자료 확보(II) • GOCI와 현장관측자료의 매칭을 통한 위성자료 검·보정 및 알고리즘 개선(III) • 국내/외 검·보정 협의체를 활용한 현장자료의 신뢰도 향상 연구(III) • 위성자료 DB 및 서비스 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 위성자료 서비스 DB 설계/구축(I) • 실무협의체 운영 및 현업기관 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 실무협의체 회의 개최 - 현업기관별 맞춤형 지원 - 일일영상 모니터링 • SCI 논문 10건, 비SCI 논문 4건, 국제발표 33건, 국내발표 14건 	<p>100%</p>
<p>4차년도 (2016년)</p>	<p>수중가시거리, 미세먼지 등 현업활용 기술 개발 및 현안분석정보 서비스 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경 분석기술(IV) <ul style="list-style-type: none"> - 해양환경 분석 알고리즘 개발/검증 	<p>100%</p>

구분	목표	추진실적	진도(%)
	<ul style="list-style-type: none"> • 위성 해양 환경 분야 활용 연구 • GOCI 자료의 품질 향상을 위한 현장 조사 및 검보정 <ul style="list-style-type: none"> - 한반도 특화 통합 알고리즘 개발 • GOCI 기반 현업지원 	<p>: 저염수, 에어로졸, Kd, 수중가시거리, 일차생산, 유해생물/해류장, 해양변동특성, 육상활용, 난류특성, 신생산성, 시계열 영상처리 S/W, 가뭄</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현업활용 기술 개발 : 수중가시거리, 유해생물 추적 - 국가 재해 대응 중점 연구 : 적조 • 고해상도 위성 연계 활용 실용화 연구 <ul style="list-style-type: none"> - GOCI와 고해상도 영상의 융합을 통한 연안 주제도 생성 - 고해상도 영상을 이용한 적조 탐지 및 GOCI 분석으로의 연계 연구 • 모델 및 기타위성 연계 해양 환경 변화 기초 연구 • 글로벌 협력체계 및 저변 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 선진기관과 협력연구 추진, 기술 지도 등 - GOCI 국제 사용자 워크숍 개최 • 동해에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측 자료 확보(Ⅳ) • 탁수 및 연안해역에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측자료 확보(Ⅲ) • 서해에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측자료 확보 • GOCI와 현장관측자료의 매칭을 통한 위성자료 검·보정 및 알고리즘 개선(Ⅳ) • 국내/외 검·보정 협의체를 활용한 현장자료의 신뢰도 향상 연구(Ⅳ) • 위성자료 DB 및 서비스 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 축적된 분석정보와 배포시스템 연계 - 현업지원웹사이트 개설 • 실무협의체 운영 및 현업기관 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 실무협의체 회의 개최 - 현업기관별 맞춤형 지원 - 일일영상 모니터링 • SCI 논문 9건, 비SCI 논문 3건, 국제발표 20건, 국내발표 21건 	
5차년도 (2017년)	<p>해무, 저염수 등 현업활용 기술 개발 및 현업지원 서비스 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> • 위성 해양 환경 분야 활용 연구 • GOCI 자료의 품질 향상을 위한 현장 조사 및 검보정 <ul style="list-style-type: none"> - 통합 알고리즘 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경 분석기술(Ⅴ) <ul style="list-style-type: none"> - 해양환경 분석 알고리즘 개발/검증 : IOP, 일차생산 알고리즘 개발, POC, 저염수 - 현업활용 기술 개발 : 해무, POC, 저염수 - 국가 재해 대응 중점 연구 : 적조 • 고해상도 위성 연계 활용 실용화 연구 	100%

구분	목표	추진실적	진도(%)
	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI 기반 현업지원 	<ul style="list-style-type: none"> - GOCI 보완을 위한 고해상도 위성 활용(녹조, 적조 등) • 해양 환경 단기 변동성 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 시계열 자료의 검증, 품질향상 (GOCI L3 자료 생성, MODIS 등 타 위성과 비교) • 글로벌 협력체계 및 저변 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 사용자 교육, 기술지원 - 글로벌 배포 시스템 구축 기관 확대 • 한반도 주변 해역에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측자료 확보(I) • 탁수 및 연안해역에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측자료 확보(IV) • 서해에서 고정관측 및 선박을 활용한 지속적인 현장관측자료 확보(II) • GOCI 검보정 시뮬레이션 시스템을 활용한 위성 자료 검보정 및 알고리즘 개선 • 국내/외 검보정 협의체를 활용한 현장자료의 신뢰도 향상 연구(V) • 위성자료 DB 및 서비스 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 위성자료 서비스 안정화 및 개선 - 현업지원웹사이트 개선 및 시험운영 • 실무협의체 운영 및 현업기관 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 실무협의체 회의 개최 - 현업지원 웹사이트 시범 운영 - 일일영상 모니터링 • SCI 논문 8건, 비SCI 논문 3건, 국제발표 19건, 국내발표 9건 	

제 2절. 관련 분야 기여도

가. 국내 해양위성 연구기반 확충

구분	기관	과제명	참여연구원수	비고
협동	한국항공우주연구원	천리안위성 해양업무지원	23	
위탁	울산과학기술대학교	GOCI 자료를 활용한 연안 해수표층 수질등급도 개발	5	
위탁	부산대학교	구름지역 복원과 복합원격 탐사를 활용한 GOCI 자료 응용 및 분석 기법 개발	7	
위탁	인하대학교	GOCI 육상 활용 산물 제작을 위한 알고리즘 개발	3	
위탁	연세대학교	GOCI 자료를 활용한 조간대 및 육상 건조지역 환경변화 장기 모니터링 기법 개발	7	
위탁	국립수산과학원	엽록소 현장 관측 자료를 통한 위성 자료 검·보정 연구	13	
위탁	제주대학교	해양위성 자료를 활용한 한국 연근해 부어류 잠재생산력 평가	5	
위탁	서울대학교	정지궤도 해상자료를 활용한 중규모 해양 현상의 변동 특성 및 물리적 과정 연구	8	
위탁	서울대학교	해양부이를 이용한 정지궤도 해양위성 자료 검·보정 및 동해 연안 엽록소 농도 시·공간 변동 연구	5	
위탁	(주) 오토로닉스	GOCI 자료를 활용한 연안 해수표층 수질등급도 개발	5	
위탁	연세대학교	GOCI 에어로졸 광학특성 산출 알고리즘 고도화 연구	5	
위탁	부산대학교 제주대학교	GOCI와 해류 합성자료를 활용한 유해생물의 이동경로추적 및 예측시스템 개발	9	
위탁	KAIST	GOCI 자료를 이용한 아중규모 해양유체의 난류특성 연구	6	
위탁	부산대학교	GOCI 활용 통해 식물플랑크톤 신생산성(New Production) 시계열 분석	6	
위탁	서울대학교	GOCI 자료를 활용한 해양-대기 상호 작용 및 중규모 해양 현상의 시공간 변동성 연구	10	
위탁	가천대학교	GOCI 자료 활용을 위한 영상처리 프로그램 개발 및 software 구현	2	
위탁	인하대학교	GOCI 육상 산출물 제작 알고리즘의 고도화 및 활용 연구	3	
위탁	성균관대학교	다중 위성 자료 융합을 통한 위성데이터의 시공간 해상도 향상 및 한반도내 육상에서의 가뭄 대비/대응을 위한 활용 연구	4	
위탁	부경대학교	GOCI를 이용한 한반도 동해남부 냉수대 탐지법 개발	6	
합계			132	

나. 위성영상 활용/분석 전문가 양성

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
23	4	13	6		16	7	14	1	8

다. 천리안 해양위성 관제 지원을 통한 연구기반 확보

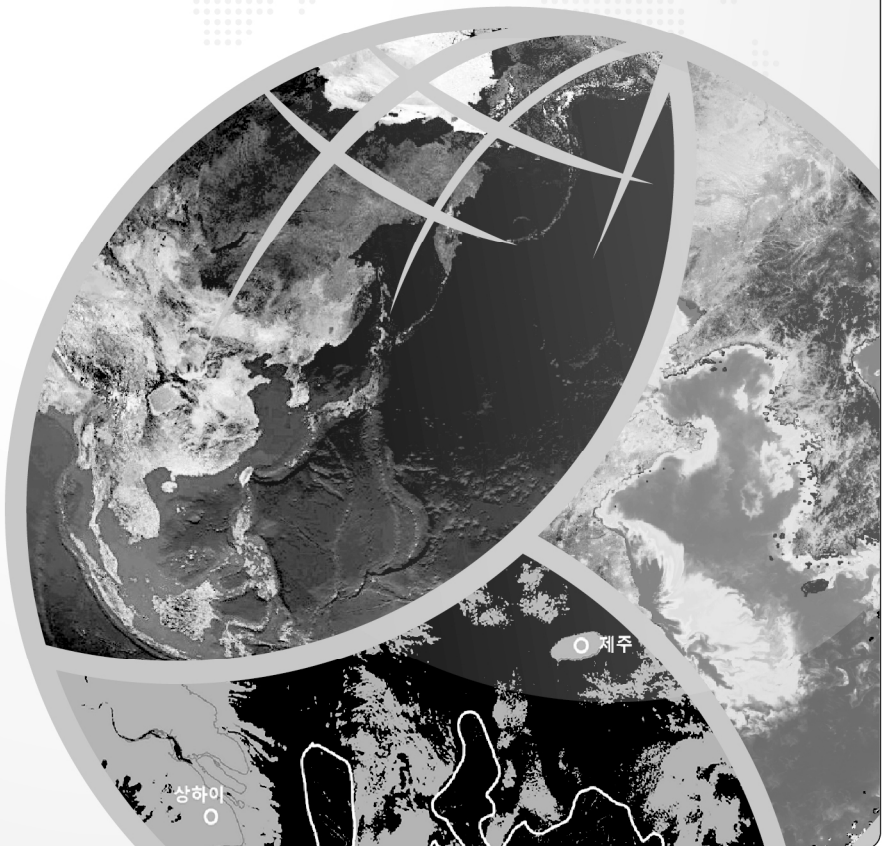
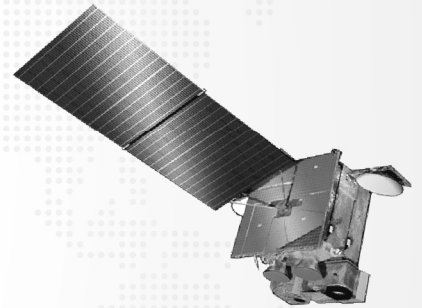
	과제명	수행기관	예산(천원)	비고
1차년도	천리안 위성 해양업무 지원	한국항공우주연구원	300,000	위탁으로 수행
2차년도			480,000	협동으로 수행
3차년도			400,000	
4차년도			480,000	
5차년도			380,000	

※ 관제비 : 3억원/년, 궤도보험료 : 0.8억원/년, 노후장비 교체비 : 3억원/3년

※ 천리안 위성 공동운영위원회에서 결의된 부처별 임무분담비율에 따라 관제기관인 한국항공우주연구원에 위성관제비용 및 궤도보험료 지원



연구개발성과의 활용계획



제5장

연구개발성과의 활용계획

제 1절. 활용계획

- 가. 세계 최초의 정지궤도 해양위성인 천리안 해양관측위성을 운영함으로써, 상시 한반도 주변 해양환경을 모니터링하는 관측체계를 마련하였으며, 해양 주요 현안발생시 현업기관의 조기대응과 대책수립을 위한 광역 위성 정보를 지속적으로 제공할 계획이다.
- 나. 적조, 녹조, 갈조(괭생이 모자반) 등 해양기인 현안발생 뿐만 아니라 미세먼지, 황사, 해무, 폭설 등 대기/기상분야의 현안에 대한 현업활용 수요가 증대됨에 따라 신속한 현안대응 체계 구축을 위하여 2014년에 구성된 ‘정지궤도 해양위성 활용실무협의체’ (기상청, 국립수산물품질관리원, 국립환경과학원, 국립재난안전연구원, 공군, 해군 등이 참여)를 지속적으로 지원할 계획이다.
- 다. 특히 해양기인 현안은 전 해역을 선박예찰을 통해 대응하는 것이 일반적인데, 2015년의 경우 위성자료에서 분석된 적조와 갈조의 광역분포 정보를 제공함으로써, 현업기관의 해양조사비용을 절감하는데 기여한 것으로 추정된다.
- 라. 해양위성활용 저변확대를 위해 해양위성센터 홈페이지를 지속적으로 개선하고 사용자 맞춤형 영상 활용 편의성을 제공하는 대국민서비스를 지속할 계획이며, 보다 적극적인 공공데이터 개방을 위한 국내 대형 포털사이트(네이버)의 지도서비스를 계속 지원할 계획이다. 또한 후속 과제에서 다양한 사용자 지원 사업을 수행 할 예정이다.
- 마. GOCI용으로 개발된 알고리즘 또는 소프트웨어는 후속의 GOCI-II에도 적용할 예정이다.
- 바. 개발된 현업활용 기술은 독점적 사용권을 배제하여 천리안 해양위성의 공공/대중적 활용도를 증진시킬 예정이다.
- 사. 후속 과제 1차년도에 활용 활성화를 위한 기획 연구를 추진하여 본 과제를 통해서 만들어진 성과의 활용도 증진을 도모할 예정이다. 또한 국내외 유력 학술대회에서 천리안 해양위성의 활용성과를 적극 홍보할 예정이다.
(주관연구기관인 한국해양과학기술원 해양위성센터는 PORSEC 2018과 IOCS 2019 국제 학술대회의 유치를 확정하였음)
- 아. GOCI-II 활용을 위한 신규과제 추진 시 검보정, 활용기술개발, 현업지원을 사업을 구분하여 수행하며, 위성영상 활용 및 현업활용 지원, 해양위성영상 활용 극대화를 위한 보다 상세한 활용계획을 수립할 예정이다.
- 자. 개발된 현업활용 기술은 후속 과제에서 고도화하여 현업기관에서 직접 활용/운영 가능하도록 하여 관련 종사자들이 직접 활용할 수 있는 방안을 마련하도록 할 예정이다.

제 2절. 기대효과

가. 기술적 기대성과

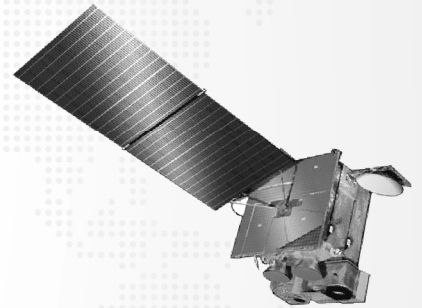
- (1) 우리나라 연근해에 적합한 적조 검출 알고리즘을 개발하여 적조 발생해역의 해황특성을 파악하고 적조분포 해역의 감시에 활용될 것으로 기대되며, 이를 이용하여 적조 유발 기상·해양 인자를 파악하고 RS/GIS 기술과 연계하여 적조에 대한 통합 관리 및 예보 시스템 구축에 활용될 것으로 기대된다.
- (2) GOCI 기반 적조, 녹조 갈조 등의 검출기술은 한반도 해역 재해감시시스템(체계) 구축에 기여 가능하다.
- (3) 검보정 및 대기보정 분야의 연구 경험은 유사한 타 위성 자료에 적용될 수 있으며 이를 통하여 품질이 확보된 해색자료는 한반도 주변 해양환경의 장단기 변화를 연구하는데 기여할 수 있다.
- (4) 홈페이지 및 GDPS 개선으로 국내외 이용자들이 GOCI 자료의 획득 및 처리 등을 보다 효율적으로 수행할 수 있다.
- (5) 본 사업을 통해서 확보되는 선진화된 위성 검·보정, 활용, 운영 기술은 차세대 위성의 요구사항, 자료처리기술개발, 지상운영시스템 개발에 활용될 수 있다.
- (6) 일 8회의 위성 자료는 해양분야 외에 식생지수의 장단기 변화 등 육상 활용 분야, 황사 해무 등 기상 분야, 재해·재난 시 신속한 정보제공 및 군작전 관련 정보 제공에도 기여할 수 있다.
- (7) 해양위성자료 활용 전문가 양성을 통해 국내 해양원격탐사분야 저변을 확대 및 선진화를 촉진할 수 있을 것으로 기대된다.
- (8) 기상이나 대기분야의 위성들은 주로 수 Km 해상도이기 때문에 해당 현업기관들은 정확한 예보 분석을 위해서 국외의 극궤도 위성자료들을 참고하는 것이 일반적이었으나, 이제는 매일 한반도만을 정지해서 관측하는 천리안 해양관측위성자료를 해양위성센터로부터 실시간 전송받아 대국민 예보서비스에 활용함으로써 예보 정확도 및 업무 효율성을 증대시킬 것으로 기대된다.

나. 사회·경제적 파급효과

- (1) 위성영상 및 해양분석 자료를 적조, 저염분수 등 해양 재난 발생 시 조기 대처 및 사전예방을 위한 지원 자료로 활용함으로써 국민의 이익보호에 기여할 것으로 기대된다.
- (2) 위성자료에 바탕을 둔 장단기적인 해양환경의 변동성 또는 변화 예측은 생태계관점의 해양자원 관리 등 과학적 해양정책 의사결정에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.
- (3) 한반도 주변해역, 특히 접근이 쉽지 않은 해양 영토에 대한 장단기 환경자료를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.
- (4) 세계 유일의 정지궤도 해색위성의 운영을 통하여 주도적인 국제협력이 가능하고 이는 인공위성 기술 및 원격탐사분야에서 국가적 위상을 증대된다.



연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보



제 6 장

연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제 1절. 해외 과학기술 정보

가. 미국 스티븐스 공과대학

(1) 구각대기 기반 복사전달 시뮬레이션 코드 (AccuRT)

(가) 목적

일반적으로 복사전달모의 S/W를 통한 대기반사도 추정과정은 매우 긴 처리시간을 필요로 하며, 대기보정에 사용되는 복사전달모의 코드는 지구와 대기가 평편하고 평행하다고 가정하여 처리속도의 효율 향상을 꾀한다. GOCI의 경우 하루 동안의 해양환경 일변화를 관측하고 있으며, 특히 아침과 저녁 시간의 경우 낮은 태양고도로 인한 지구 구각대기의 영향이 크게 나타나게 된다. 아침과 저녁시간의 대기보정 정확도를 향상시키기 위하여 구각대기의 영향을 고려함과 동시에 처리속도의 효율성 또한 확보된 복사전달모의 코드가 필요하다. 스티븐스 공대의 Knut Stamnes는 가장 널리 사용되는 복사전달 모의 solver 중 하나인 DISORT를 개발하였으며 구각대기를 고려한 해양-대기 접합 복사전달 코드의 개발 노하우를 가지고 있어서 GOCI를 위한 구각대기 S/W 개발을 수행 중이다.

(나) 확보자료

구각대기가 고려된 해양-대기 접합 복사전달 모의 코드(AccuRT) 및 기술문서를 스티븐스 공대측으로부터 전달 받았으며, 해당 코드를 통해 생성된 대기분자입자 광산란 결과 조건표(look-up table) 및 대기상층반사도 모의자료를 확보하였다.

(2) 다층(multi-layer)기계학습 기반 대기보정

(가) 목적

기존의 두 근적외 파장을 사용하여 대기광특성을 추정하는 대기보정 방법은 해양과 대기의 반사도를 각 구성입자 요소별로 분리하여 요소별 반사도를 추정하였다. 하지만 실제로 각 해양/대기입자에 의한 광산란은 서로 복잡하고 유기적으로 얽혀있어 각각의 요소들을 분리하는 과정에서 오차가 발생할 수 있다. 스티븐스 공대에서는 AccuRT기반 복사전달모의 결과들을 다층기계학습을 통해 학습시켜 대기보정하는 코드를 구현하였다. 해당코드는 GOCI 자료처리시스템에 시험적으로 적용하여 테스트를 거친 후 배포 될 예정이다.

나. 일본 SGLI 해색센서 대기보정 연구팀

(1) 해수원격반사도(Rrs) 품질분석 코드(GOSPEC)

(가) 목적

GOCI는 밴드별 촬영시간 차이가 존재하며 이에 의해 빠르게 이동하는 에어로졸 및 구름 주변부에서 대기픽셀 위치 차이가 발생하여 비정상적인 대기보정 결과가 (Rrs) 발생하였으며 해당 문제는 기존의 산출물 품질 분석 방법으로 판별되지 않았다. 이와 같이 대기보정 산출물의 품질에 문제가 되는 경우를 좀 더 정확하게 판별하기 위한 Rrs 품질분석 알고리즘을 개발하여 GOCI에 적용하였으며 구름 주변부의 비정상적인 Rrs산출물들을 기존보다 효과적으로 마스킹하는 것이 가능하였다.

(나) 확보자료

우선 Rrs 품질분석 알고리즘의(GOSPEC)의 c++코드 및 기술문서를 확보하였으며, GOCI 대기보정이 업데이트 될 경우 알고리즘에 사용되는 계수 및 임계치 등을 재조정 할 수 있는 S/W 또한 확보하였다.

(2) SGLI 해색센서 대기분자 보정

(가) 목적

해양을 대상으로 한 관측에서 대기 상층 반사도의 약 90%가량은 대기분자입자에 대한 광산란 신호이며 해당 광산란 반사도 추정 과정에서 약 1%가량의 오차가 발생할 경우 10% 정도의 대기보정 오차(Rrs 오차)가 발생한다. 때문에 대기분자입자에 의한 광산란 신호의 정확한 추정은 대기보정의 품질을 결정하는 주요 과정 중 하나이며, 이를 위하여 기관별 대기분자 광산란 반사도 산출 코드의 결과를 비교분석 할 필요가 있다.

(나) 내용

대기분자산란반사도 추정 결과는 기관 및 사용 코드별로 차이가 발생하였다. 해수표면-센서 사이에 존재하는 대기입자들에 대한 반사도는 추정 코드별로 0.1% 이하의 차이를 보여주었으나, 해수표면에 반사된 대기광산란까지 고려할 경우 겨울철 고위도 해역에 대하여 최대 7~8% 정도의 차이를 보였다. 추가로 편광을 고려하지 않은 대기반사도 모델은 단일산란을 가정 한 대기반사도 모델보다 고위도를 제외하고 일반적으로 더 큰 오차를 발생시켰다.

(다) 확보자료

기관별 대기분자산란반사도 산출 코드를 우선 확보하고 비교분석 통계자료 또한 확보하였다.

다. NOAA의 VIIRS 해색센서 연구팀

(1) NOAA의 위성자료처리코드(MSL-12)를 통해 처리된 GOCI의 산출물 자료

(가) 목적

NOAA의 VIIRS 연구팀은 NASA의 표준대기보정기술을 개발하는 등 해색센서 자료처리에 대한 가장 많은 노하우를 확보하고 있는 연구팀 중 하나이다. 해당 기관에서 개발한 알고리즘으로 처리한 GOCI 자료와 해양위성센터의 GOCI 자료시스템 산출결과의 비교는 위성센터 산출 해양자료의 품질 검증에 많은 참고가 된다.

(나) 확보자료

NOAA의 MSL-12 자료처리 S/W로 처리한 2010-2014년 GOCI level-2 산출물 및 GOCI를 위하여 업데이트 된 MSL-12 코드를 확보하였다.

(2) 고위도에서 중력을 고려하여 대기분자광산란 추정 정확도 향상 방안 공유

(가) 목적

기 설명한바와 같이 해색원격탐사에서 대기분자산란반사도 추정 정확도 향상은 매우 중요하다. 해양위성센터측에서 대기 분자산란 반사도 보정 시 중력변화에 의한 영향 보정 필요성에 대하여 제안하였으며 그동안의 각 연구팀 검토결과를 공유하였다. 최종적으로 양측 모두 대기 분자산란보정시 중력에 의한 영향 보정하는 것으로 결정하였다. 중력의 경우 아래 그림과 같이 위도에 대한 함수이며 위도변화에 의한 중력보정을 해 줄 경우 극궤도 위성의 경우 극지방에서 해수 원격반사도 산출 정확도가 5% 정도 더 향상될 것을 기대된다.

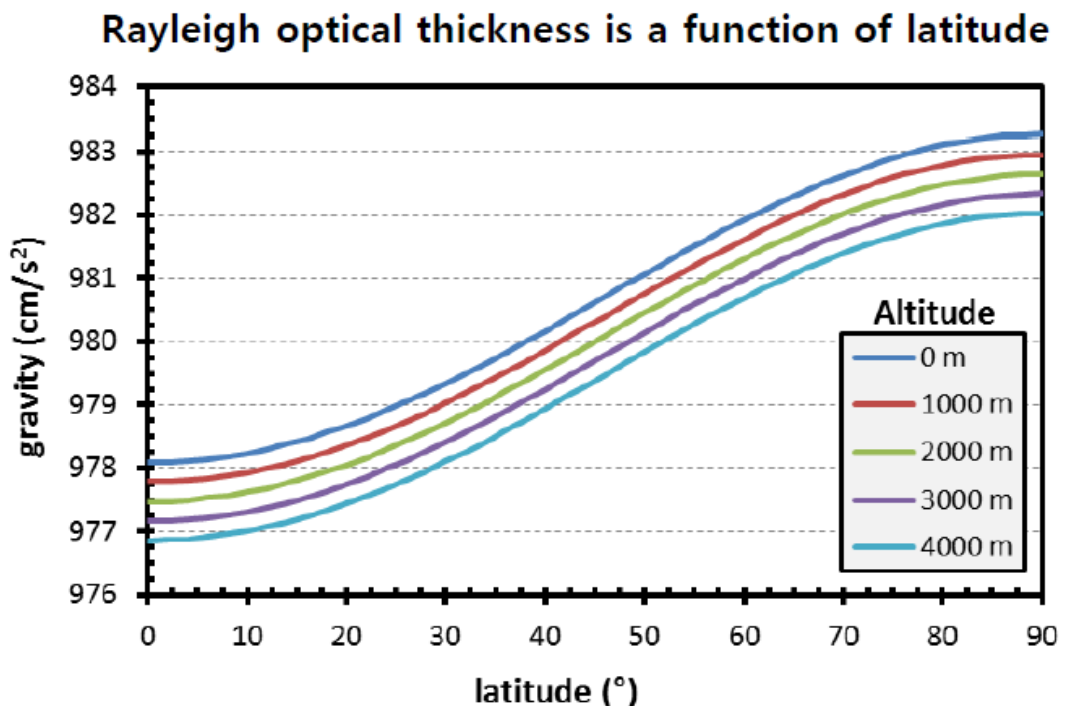


그림 208. 위도 및 해발고도 변화에 따른 중력가속도 변화 그래프

라. 기타 국외출장 면담을 통한 정보 수집

(1) 컬럼비아 대학교 Lamont-Doherty Earth Observatory 캠퍼스

- (가) GOCI 위성을 통한 야광충(noctiluca 중)관측사례를 national geographic에 제보에 관한 이슈 논의하였다.
- (나) Columbia대 Lamont-Doherty Earth Observatory 캠퍼스 해석원격탐사 lab에서 현재 연구 중인 연구주제 및 이슈에 관하여 공유하였다.
- (다) Multi-angle & multi-band polarization 센서를 사용할 경우 같은 알고리즘으로 육상 및 해양 대기보정이 가능하며, 기존 원격탐사의 난제였던 에어로졸의 흡광도 또한 정확하게 추정 가능하다. 에어로졸입자의 크기분포는 1 nm 분해능으로 추정 가능하다.
- (라) 차세대 GOCI의 경우 정지궤도이기 때문에 multi-angle은 어렵지만, multi-band만을 활용해서도 기존 원격탐사 난제들의 많은 부분 해결이 가능하다. 개발 비용상 모든 band의 polarization탐지가 어려울 경우 UV, blue파장대의 polarization만 측정해도 세계최초의 UV 파장대 환경관측센서가 되며, 기존의 해결하지 못했던 많은 난제들을 최초로 해결 가능하다.

(2) 뉴욕 시립대학교

- (가) AERONET-OC 등 지상 관측자료를 기반으로 해석위성 대리교정시 발생하는 이슈에 관하여 논의하였다.
 - ① 현장관측 광특성 자료를 기반으로 위성관측 조도 스펙트럼을 시뮬레이션 하여 MODIS 대리교정을 할 경우 blue, green, red 파장대는 거의 1에 가까운 대리교정 gain 상수가 도출되나, NIR파장대에서는 0.8에 가까운 대리교정 상수가 도출된다.
 - ② 도출된 대리교정 상수를 MODIS 영상에 적용하고 대리교정 수행시 완전히 틀린 대기교정 결과가 발생하였다.
 - ③ 현재 대리교정 및 대기보정 실패에 관하여 원인 파악 중이다.
- (나) 편광(polarization)을 이용한 in-situ radiometry에 관하여 논의하였다.
 - ① Polarization을 고려한 해석&대기 원격탐사에 관하여 논의하였다.
 - ② 검보정을 위한 현장 polarization 측정 방법에 관하여 논의하였다.
 - ③ 원격탐사 불확도를 줄이기 위한 polarization 요구 정확도에 관하여 논의하였다.

(3) NASA 고다드 우주비행센터

(가) 양측 대기보정/대리교정 이슈 및 현 연구 진행상황에 관한 공유하였다.

- ① NIR과장대 대리교정이 대기보정 정확도에 미치는 영향에 관한 논의하였다.
- ② 대리교정에 사용되는 에어로졸 모델과 실제 에어로졸 모델 차이에 의해 발생하는 대리교정 오차에 관한 논의하였다.
- ③ 대기보정에 가장 적합한 NIR/SWIR 과장대에 관하여 논의하였다.
- ④ SWIR과장대 사용 대기보정의 정확도에 관한 논의하였다.
- ⑤ 탁수 대기보정에서 SWIR사용 대기보정이 기존의 해수 광 모델 사용대기보정보다 신뢰도가 높은 탁도범위에 관하여 논의하였다.
- ⑥ 현재까지 개발된 탁한 해역 대기보정 방법의 한계성에 대하여 논의하였다. 특히 양자강 하구와 같이 탁도가 매우 높은 해역에 대한 대기보정 결과 및 문제점 논의하였다.
- ⑦ 기존의 Shettle & Fenn 기반의 12개 에어로졸 모델을 사용할 경우 선택된 두 에어로졸 모델 간 청색과장대와 녹색과장대 대기반사도 크기가 역전되는 현상으로 대기보정 결과 영상에서 불연속 경계면이 발생할 수 있다.
- ⑧ 현 NASA 표준 대기보정에 적용된 에어로졸 모델은 미리 주어진 상대습도 안에서 에어로졸 모델이 바뀌기 때문에 불연속 경계면이 발생하지 않는다.
- ⑨ GOCI에 해당모델을 적용 할 수 있도록 NASA 대기보정의 에어로졸 모델 구축을 담당한 Dr. Ahmad의 도움을 받을 것을 제안하였다.

(나) 기타 자료배포 관련 이슈 공유

- ① GOCI ISRD 보정 (CIDUM) Level-1B 자료 공식 배포 시기 및 KORUS-OC 기간 자료 조기 배포에 관하여 논의하였다.

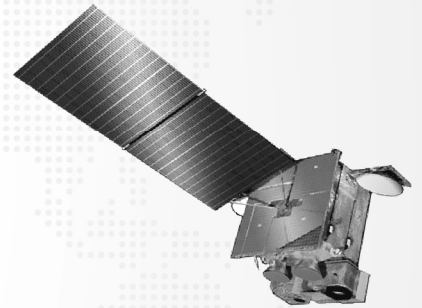
(4) NOAA 연안 조사부서

(가) NOAA 연안조사부서의 Dr. Richard Stumpf, Dr. Michelle Tomlinson, Karen Kavanaugh 등과 현재 시행되고 있는 미국의 적조모니터링시스템에 대한 발표와 자문 진행하였다.

- ① 멕시코만에서 자주 발생하는 *Karenia Brevis*종에 대하여 탐지 및 경로 예측을 수행하고 있으며, 위성자료 (주로 MERIS)와 비교적 간단한 해류유동 모델(ROMS)를 이용하여 탐지된 적조의 이동경로를 예보하는 bulletin을 운영중이다.
- ② Florida주 연안의 예보를 시작으로 Texas주 연안까지 확대하였고, Texas주 연안의 경우 강물유입으로 인한 탁도를 보정하기 위하여 알고리즘 개선을 수행하였다.
- ③ 현재는 Lake Erie에서 식수 공급중단 사태를 빚게 하였던 녹조를 모니터링하고 이동경로를 예측하는 연구를 수행하고 있다.



연구개발성과의 보안등급



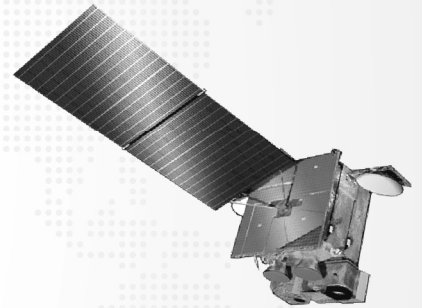
제 7 장

연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
결정 사유	<p>천리안 해양관측위성(GOCI)은 500m 공간해상도의 중해상도 해색전문 지구관측 위성으로 「국가지리정보체계의 구축 및 활용 등에 관한 법률」 제22조 및 「위성자료 보안관리 규정」의 위성자료 분류체계의 “공개”자료로 분류되기 때문에 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」의 제24조의 4에 해당되지 않으므로 일반 과제로 진행하고 대외적인 연구 성과의 확산에 노력해야 할 것으로 판단됨.</p>	



국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황



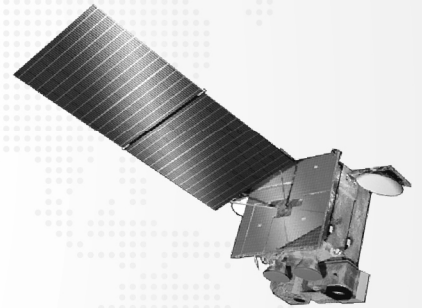
제 8 장

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치장소)	NTIS장비 등록 번호
한국해양과학기술원	해양위성센터 /10Gi중화백본스 위치	Catalyst6807XL	1	2017-02-24	79,70.5천원	텔타시스템(주) (010-8737-0495)	한국해양과학기술원 4연구동3층전 산실	NFEC-2017-02 -236407
한국해양과학기술원	해양위성센터 /파장역산란측정기	ECO BB-9	1	2013-11-13	44,550천원	주식회사 삼양 씨스페이스 (02-3677-1735)	한국해양과학기술원 4연구동321	NFEC-2014-01 -184900
한국해양과학기술원	해양위성센터 /천리안 해양관측위성 영상 저장용 스토리지 설치	Usable 240TB	1	2014-08-27	222,000천원	(주)인피니티 (070-7706-7770)	한국해양과학기술원 4연구동3층전 산실	NFEC-2014-08 -191072
한국해양과학기술원	해양위성센터 /해상계류부이용 해색분광복사량 관측장비	HyperSpectral Ocean Optic System for Buoy	1	2016-07-07	103,524천원	태광상역(02 479 2703)	한국해양과학기술원 4연구동	NFEC-2016-07 -210715
한국해양과학기술원	해양위성센터 /휴대용 초분광 적분구 흡광계	OSCAR	1	2017-11-14	49,506천원	태광상역(02 479 2703)	한국해양과학기술원 4연구동	NFEC-2017-11 -240961



연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적



제 9 장

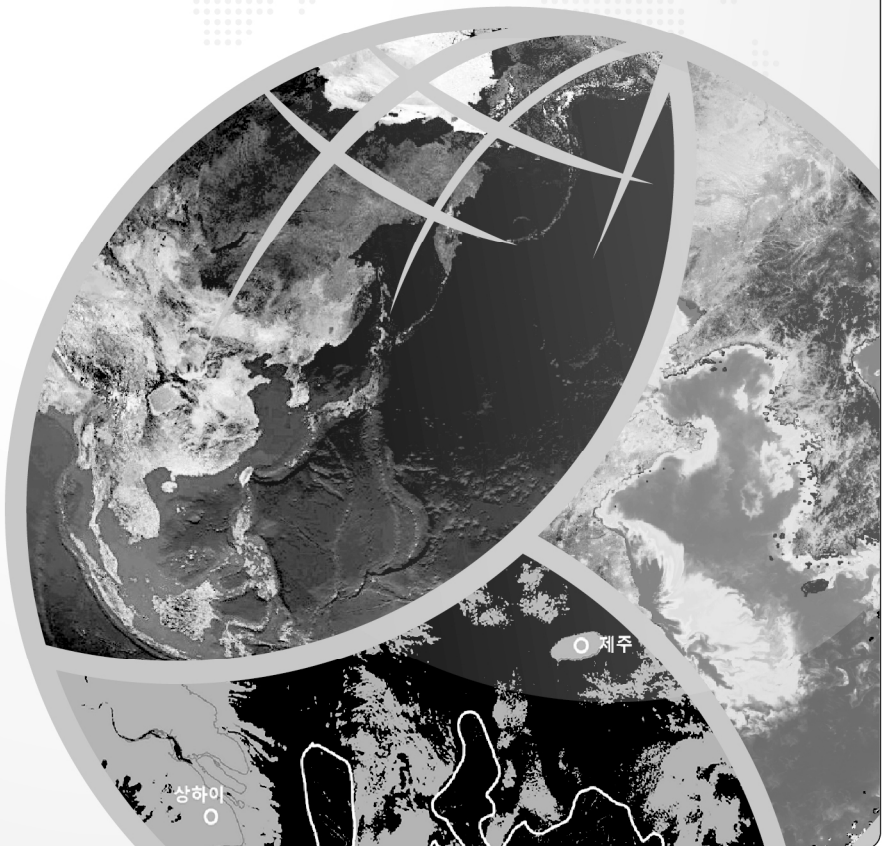
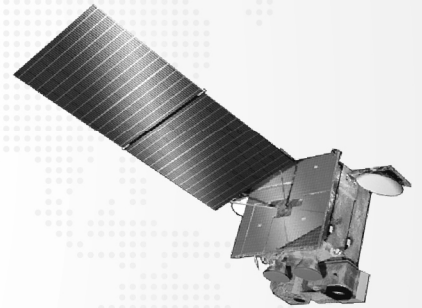
연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

주관연구기관인 한국해양과학기술원 해양위성센터는 아래와 같이 보안 및 안전을 위한 기본 시설 및 제도 등을 구비하여 활용하고 있음.

- 제도구비 : 한국해양과학기술원 부원장 산하 보안안전관리단을 별도 운영
- 원내출입 : 정문 경비실 경유(1차), 보안키를 이용한 각 건물의 외부인 출입제한(2차), 해양위성센터 내 전산실은 별도의 제한구역으로 지정하여 운영 중(3차)
- 네트워크 : KIOST 통합 전산실의 IPS/방화벽과 해양위성센터 내 IPS/방화벽을 이용하여 네트워크 침입에 대한 이중보안
- CCTV : KIOST 원내 건물 주요 시설 상시 CCTV 녹화 (해양위성센터 10개 CCTV 설치/녹화)
- 해양위성센터를 한국해양과학기술원 KIOST 내에서도 특별 보안안전구역으로 지정하여 별도 관리 중



연구개발과제의 대표적 연구 실적



제10장

연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
01	논문	Application of the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) to estimates of ocean surface currents	KIOST	주저자	JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH	2.939	2014-06-26	중복사사	SCI
02	논문	Application of geospatial models to map potential Ruditapes philippinarum habitat using remote sensing and GIS	KIOST	공저자	International Journal of Remote Sensing	1.724	2014-05-23	중복사사	SCI
03	논문	Application of the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) to mapping the temporal dynamics of coastal water turbidity	KIOST	주저자	Remote Sensing of Environment	6.265	2014-04-25	중복사사	SCI
04	논문	Monitoring changes in suspended sediment concentration on the southwestern coast of Korea	KIOST	주저자	JOURNAL OF COASTAL RESEARCH	0.915	2014-04-14	중복사사	SCI
05	논문	Assessment of Long-term Sensor Radiometric Degradation Using Time Series Analysis (누락 논문 추가)	KIOST	주저자	IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING	4.942	2014-06-01	중복사사	SCI
06	논문	Correction of Stray-Light-Driven Interslot Radiometric Discrepancy (ISRD) Present in Radiometric Products of Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)	KIOST	주저자	IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING	4.942	2015-10-01	중복사사	SCI
07	논문	Observation of typhoon-induced seagrass die-off using remote sensing	KIOST	공저자	ESTUARINE COASTAL AND SHELF SCIENCE	2.176	2015-01-23	중복사사	SCI
08	논문	GOCI image enhancement using an MTF compensation technique for coastal water application	KIOST	주저자	Optics Express	3.307	2014-10-27	중복사사	SCI
09	논문	An analysis of the evolution of Meddies in the North Atlantic using floats and multisensor satellite data	부산대학교	주저자	JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH	2.939	2015-02-12	중복사사	SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
10	논문	Application of Geostationary Ocean Color Imager Data to the extraction of ocean fronts	KIOST	주저자	Remote Sensing Letters	1.532	2016.02.22	중복사사	SCI
11	논문	Evaluation of VIIRS, GOCI, and MODIS Collection 6 AOD retrievals against ground sunphotometer observations over East Asia	KIOST	공저자	Atmospheric Chemistry and Physics	5.318	2016.02.03	중복사사	SCI
12	논문	Vicarious calibration of the Geostationary Ocean Color Imager	KIOST	주저자	Optics Express	3.307	2015.08.26	중복사사	SCI
13	논문	GOCI Yonsei Aerosol Retrieval (YAER) algorithm and validation during DRAGON-NE Asia 2012 campaign	연세대학교	주저자	Atmospheric Measurement Techniques	3.089	2016.04.01	중복사사	SCI
14	논문	Evaluation of Stray Light Correction for GOCI Remote Sensing Reflectance Using In Situ Measurements	KIOST	주저자	Remote Sensing (MPDI)	3.244	2016.05.04	중복사사	SCI
15	논문	Evaluation of Chlorophyll algorithms for Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) using in-situ measurements	KIOST	주저자	Remote Sensing of Environment	6.265	2016.08.02	중복사사	SCI
16	논문	Evaluation of chlorophyll retrievals from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) for the North-East Asian region	KIOST	주저자	REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT	6.265	2016.08.02	중복사사	SCI
17	논문	Observation of diurnal variations in mesoscale eddy sea-surface currents using GOCI data	서울대학교	주저자	Remote Sensing Letters	1.532	2016.08.19	중복사사	SCI
18	논문	Quantitative Estimation and Validation of the Effects of the Convergence, Bisector Elevation, and Asymmetry Angles on the Positioning Accuracies of Satellite Stereo Pairs	KIOST	주저자	PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING	2.493	2016.08.31	중복사사	SCI
19	논문	A simple aerosol correction technique based on the spectral relationships of the aerosol multiple-scattering reflectances for atmospheric correction over the oceans	KIOST	주저자	OPTICS EXPRESS	3.307	2016.12.26	중복사사	SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
20	논문	An assessment of thin cloud detection by applying bidirectional reflectance distribution function model-based background surface reflectance using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI): A case study for South Korea	한국항공우주연구원	주저자	Journal of Geophysical Research: Atmospheres	3.454	2017-08-10	중복사사	SCI
21	논문	A non-interpolated estimate of horizontal spatial covariance from non-orthogonally and irregularly sampled scalar velocities	KAIST	주저자	Journal of Atmospheric and Oceanic Technology	2.233	2017-11	중복사사	SCI
22	논문	Surface currents from hourly variations of suspended particulate matter from geostationary ocean colour imager data	서울대학교	주저자	INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING	1.724	2017-11-29	중복사사	SCI
23	논문	Small phytoplankton contribution to the total primary production in the highly productive Ulleung Basin in the East/Japan Sea	부산대학교	주저자	Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography	1.713	2017-06-17	중복사사	SCI
24	논문	Remote quantification of <i>Cochlodinium polykrikoides</i> blooms occurring in the East Sea using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)	KIOST	주저자	Harmful Algae	3.087	게재 예정	-	SCI
25	논문	Use of weighted least squares for geo-positioning using dual-satellite image pairs	KIOST	주저자	International Journal of Remote Sensing	1.724	20170214	중복사사	SCI
26	논문	Inter-annual variation of the annual new production of phytoplankton in the southwestern East/Japan Sea estimated from satellite-derived surface nitrate concentration	부산대학교	주저자	Journal of Coastal Research	0.915	accepted	-	SCI
27	논문	Potential of remote sensing in management of tidal flats: a case study of thematic mapping in the Korean tidal flats	KIOST	주저자	OCEAN & COASTAL MANAGEMENT	1.861	2014.-03-26	중복사사	SCI(E)

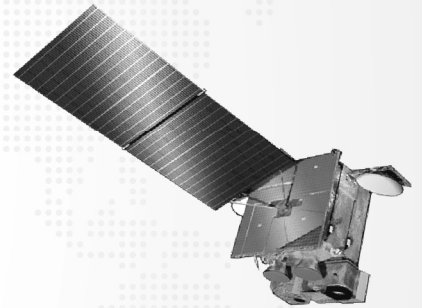
번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
28	논문	Assessment of Radiometric Degradation of FY-3A MERSI Reflective Solar Bands Using TOA Reflectance of Pseudo invariant Calibration Sites	KIOST	주저자	IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS	2.761	2014-04-01	중복사사	SCI(E)
29	논문	Harmful algal bloom (HAB) in the East Sea identified by the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)	KIOST	주저자	Harmful algae	3.087	2014-09-18	중복사사	SCI(E)
30	논문	Capability of Geostationary satellite imagery for sea ice monitoring in the Bohai and Yelliw Seas	인하대학교	주저자	Journal of Marine Science and Technology	0.838	2016-10-14	단독사사	SCI(E)
31	논문	Cloud filling of ocean color by artificial neural network	부산대학교	주저자	Journal of Marine Science and Technology	0.838	게재 예정	-	SCI(E)
32	논문	Capability of Geostationary Satellite Imagery for sea ice monitoring in the Bohai and Yellow seas	인하대학교	주저자	Journal of Marine Science and Technology	0.838	2016.10.14	중복사사	SCI(E)
33	논문	Computationally efficient air quality forecasting tool: implementation of STOPS v1.5 model into CMAQ v5.0.2 for a prediction of Asian dust	연세대학교	공동 저자	Geosci. Model Dev.	3.458	2016.10.17	중복사사	SCI(E)
34	논문	An increased remote sensing observation by GOCI daily composite image	KIOST	주저자	Journal of Marine Science and Technology	0.838	2016.12.01	중복사사	SCI(E)
35	논문	Comparisons of SEVIRI-Derived cloud occurrence frequency and cloud-top height with A-train data	연세대학교	공동 저자	Remote Sensing	3.244	2016.12.30	중복사사	SCI(E)
36	논문	COMS/GOCI 및 Landsat ETM+ 영상을 활용한 경기만 지역의 부유퇴적물 농도 변화 모니터링	KIOST	주저자	자원환경지질학회		2014-02-26	중복사사	비 SCI
37	논문	천리안 해양관측위성의 배포 서비스 향상을 위한 자료 처리 효율화 방안 연구	KIOST	주저자	대한원격탐사학회		2014-02-28	중복사사	비 SCI
38	논문	정지궤도 천리안위성 해양관측센서 GOCI의 Tasseled Cap 변환계수 산출연구	KIOST	주저자	항공우주기술		2014-04-12	단독사사	비 SCI
39	논문	천리안위성 정규 운영에 대한 임무계획 특성	한국항공우주연구원	주저자	항공우주기술		2013-11-01	중복사사	비 SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
40	논문	현장 관측용 분광 광도계의 상대 검교정 시스템 개발	KIOST	주저자	대한원격탐 사학회지		2014-08-31	중복사사	비 SCI
41	논문	지역 해양순환예측시스템에 대한 OSTIA 해수면온도 자 료동화 효과에 관한 연구	KIOST	주저자	The Sea		2015-02-16	중복사사	비 SCI
42	논문	Satellite-based observations of unexpected coastal changes due to the Saemangeum dyke construction, Korea	KIOST	주저자	Marine Pollution Bulletin		Accepted	중복사사	비 SCI
43	논문	Marine disaster detection using the Geostationary Ocean Color Imager	KIOST	주저자	International Journal of u- and e- Service, Science and Technology		2016.01.31	중복사사	비SCI
44	논문	GOCI 영상의 육상 활용을 위한 구름 탐지 기법 개발	인하대학교	주저자	대한원격탐사학회		2015.10	단독사사	비SCI
45	논문	Improvement of temporal resolution for Land surface monitoring by the Geostationary Ocean Color Imager data	인하대학교	주저자	대한원격탐사학회		2016.02	중복사사	비SCI
46	논문	조간대 갯벌에서 무인항공기 활용 가능성에 관한 연구	KIOST	주저자	대한원격탐사학회		2015.10	중복사사	비SCI
47	논문	서버가상화 및 분산처리를 이용한 천리안해양관측위성 산출물 재처리 시스템	KIOST	주저자	Korean Journal of Remote Sensing		20170321	중복사사	비 SCI
48	논문	천리안해양관측위성을 위한 자료 처리 시스템	KIOST	주저자	KIISE Transactions on Computing Practices		201701	중복사사	비 SCI
49	논문	한반도 토양수분 상태 모니터링을 위한 천리안 정지궤도 위성 기반 건조 지수 산정	성균관 대학교	주저자	한국수자원학회		게재 예정	중복사사	비 SCI
50	특허	해수면 흐름 모니터링 장치	KIOST	주저자	대한민국		2014-05-09	중복사사	출원
51	특허	해양정보분석장치 및 그 동 작 방법	KIOST	주저자	대한민국		2015-06-04	중복사사	출원
52	특허	위성 또는 항공기에서 촬영 된 영상의 인위적인 복사 휘 도 편차 보정 방법	KIOST	주저자	대한민국		2015-04-08	중복사사	출원
53	특허	위성 또는 항공기에서 촬영 된 영상의 인위적인 복사 휘 도 편차 보정 방법	KIOST	주저자	대한민국		2016-02-04	중복사사	출원

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
54	특허	최소 잡음 비율 변환기법을 이용한 위성 또는 항공기에 서 촬영된 영상의 인위적인 잡음신호 보정 방법	KIOST	주저자	대한민국		2016-02-04	중복사사	출원
55	특허	인공위성 영상에서 해수 표 면에 부유하는 조류를 탐지 하는 기법	KIOST	주저자	대한민국		2016-04-11	중복사사	출원
56	특허	구름 영역 검출 방법 및 구름 영역 검출 장치	KIOST	주저자	대한민국		2017-06-09	중복사사	출원
57	특허	기계학습 기반 위성 해무 탐지 장치 및 해무 탐지 방법	KIOST	주저자	대한민국		2017-11-15	중복사사	출원
58	특허	대기 에어로졸입자에 의한 광 산란 반사도 보정 장치 및 방법	KIOST	주저자	대한민국		2017-12-22	중복사사	출원
59	S/W 등록	천리안해양위성(GOCI) 하향 확산 감쇠계수 계산 프로그램	KIOST	주저자	대한민국		2017.01.20	단독사사	소프트웨어 등록
60	S/W 등록	천리안해양위성(GOCI) 수증가시거리 계산 프로그램	KIOST	주저자	대한민국		2017.01.20	단독사사	소프트웨어 등록
61	S/W 등록	입자 추적 모의기	부산대학교	주저자	대한민국		2017.01.20	단독사사	소프트웨어 등록
62	S/W 등록	기계학습(Decision Tree) 기반 천리안 해양위성(GOCI) 해무 탐지/표출 시스템	KIOST	주저자	대한민국		20171211	단독사사	소프트웨어 등록
63	S/W 등록	염분추정 프로그램	KIOST	주저자	대한민국		20171226	단독사사	소프트웨어 등록



기타 사항



제11장 기타 사항

가. 기술 이전

- (1) 기술명 : 기계학습 기반 인공위성 해무탐지 기술
- (2) 계약기간 : ~2022. 12. 31.
- (3) 기술료 : 선급기술료 : 40,000,000원 (부가세 별도)
- (4) 실시권자 : (주)유에스티21

기술이전계약서(안)

(기술명 : 기계학습 기반 인공위성 해무탐지 기술)

한국해양과학기술원(이하 "해양과기원"이라 한다)과 (주)유에스티21 (이하 "실시권자"라 한다)는(은) 해양과기원이 연구개발사업을 수행하여 보유하고 있는 아래 기술에 관하여 다음과 같이 합의하고 기술이전계약("이하 "본 계약"이라 한다")을 체결한다.

[계약 주요 조건]

1. 기술명	'기계학습 기반 인공위성 해무탐지 기술'	
2. 계약기간	계약일 ~ 2022. 12. 31.	
3. 기술료	선급기술료 : 40,000,000원 (부가세 별도)	
4. 자료제공 및 기술지도 등	자료제공 및 기술지도 저작권	계약일로부터 3개월 이내 (기술지도는 2회/월 이내)
	기술이전완료확인서 제출기간	자료제공 및 기술지도 완료 후 1개월 이내
5. 선급기술료 납부	납부액 : 40,000,000원 (부가세 별도) 납부일 : 계약일로부터 일주일 이내	
6. 상용화 실태조사표 제출 및 경상기술료 납부	매년 3월말까지 이행	
7. 기술료 납부계좌	거래은행 : 농협중앙회 계좌번호 : 197-01-244972 예금주 : 한국해양과학기술원	

그림 209. 기술이전계약서

나. 우주용 관측기기들 중에서 최고의 활용 성과 달성 (한국과학기술기획평가원 제공)

- (1) 지난 20년간 과학 목적의 우주용 관측기기는 꾸준히 개발되었으나, 과학적 성과의 질적, 양적 성과는 일부 기기를 제외하고는 큰 진전을 보이지 않았다.
- (2) 질적 성과(고피인용도 논문)에서 누적인용횟수가 50회 이상 논문 3건은 모두 GOCI 활용 논문이다.
- (3) 우주 관측기기 관련 SCI/SCOPUS급 논문 총 302편 중 GOCI 활용 논문이 166 (약 55%)편이다.

5 과학적 성과 DB 구축 결과(구축 진행 중)

구분	기기명	개발 논문편수			종 논문수	인용횟수			논문당 평균 인용횟수		
		KCI	SCI + SCOPUS	기타		KCI	Large(Sci, Scopus)	기타	KCI	SCI, Scopus	기타
우리별 1호	우주영상선측정기(KRE)	11	13	0	22	0	102	0.50	4.64		
	CCD 지구영상선측정기(KRE)	1	0	0	1	0	0	1.00	0.00		
	우주영상선측정기	0	1	0	1	0	0	0.00	0.00		
KSR-1 1호 2호		1	1	0	2	0	7	0.00	7.00		
우리별 2호	지구표면촬영 카메라	0	1	0	1	0	0	-	0.00		
	지대나리 및 자 관측기	2	1	0	3	0	0	0.00	0.00		
	지대나리 및 자기 및 열 및 자	0	0	0	0	0	0	-	-		
KSR-1 2호기		1	1	0	2	0	7	0.00	7.00		
우리별 3호	오존측정기	1	0	0	1	0	0	0.00	0.00		
	오존 관측시스템(XDR)	1	0	0	1	0	0	0.00	0.00		
	광역 촬영기, 적외선 오존측정기(ET)	2	0	0	2	0	0	0.00	-		
다목적 1호 위성	원격탐사 탑재체(MES)	2	1	0	3	0	0	0.00	0.00		
	원시영상촬영장치(MSI)	1	0	0	1	0	0	0.00	0.00		
	우주내지자기관측기(MFG)	0	0	0	0	0	0	-	-		
	원시지구자기관측장치(MMAG)	0	0	0	0	0	0	-	-		
총합		1	0	0	1	0	7	0.00	7.00		
다목적 2호 위성	천지관측 카메라(COC)	2	0	0	2	0	0	0.00	-		
	해양관측 카메라(OAM)	16	5	1	22	1	0	0.00	1.60	0	
	극지방탐색 탑재체(SPS-IMS)	5	22	1	28	0	232	0.00	10.51	0	
총합		23	27	1	51	1	232	0.00	4.55	0	
KSR-1	오존측정기(LAMP)	2	2	0	4	0	12	0.00	4.00		
	천지음향측정기(LEP)	0	0	0	0	0	0	-	-		
	대기광도계(AGP)	2	0	0	2	0	0	0.00	-		
	저적계(MAG)	1	0	0	1	0	0	0.00	-		
총합		5	2	0	7	0	12	0.00	1.71		
국립기상연구소	원시영상 우주영상관측기(MS)	4	27	1	32	1	266	0	9.85	0	
	우주용의 탑재체(SFP)	2	8	0	10	0	106	0.00	13.25		
총합		6	35	1	42	1	372	0.00	8.80	0	
천리안 1호	기상탐색체(MM)	17	26	0	43	0	50	0.00	1.92		
	통신탐색체	0	0	0	0	0	0	-	-		
	해양탐색체(GOCI)	45	169	0	214	0	899	0.00	5.32		
총합		62	195	0	257	0	949	0.00	3.71		
나로과학위성	이온층 관측기	0	0	0	0	-	-	-	-		
	우주 방사선 측정기	0	0	0	0	-	-	-	-		
	원거리 레이저 탐지기	0	0	0	0	-	-	-	-		
	레이저 분사관	1	1	0	2	1	2	1.00	2.00		
	적외선 영상 센서(MRS)	0	0	0	0	-	-	-	-		
총합		1	1	0	2	1	2	1.00	2.00		

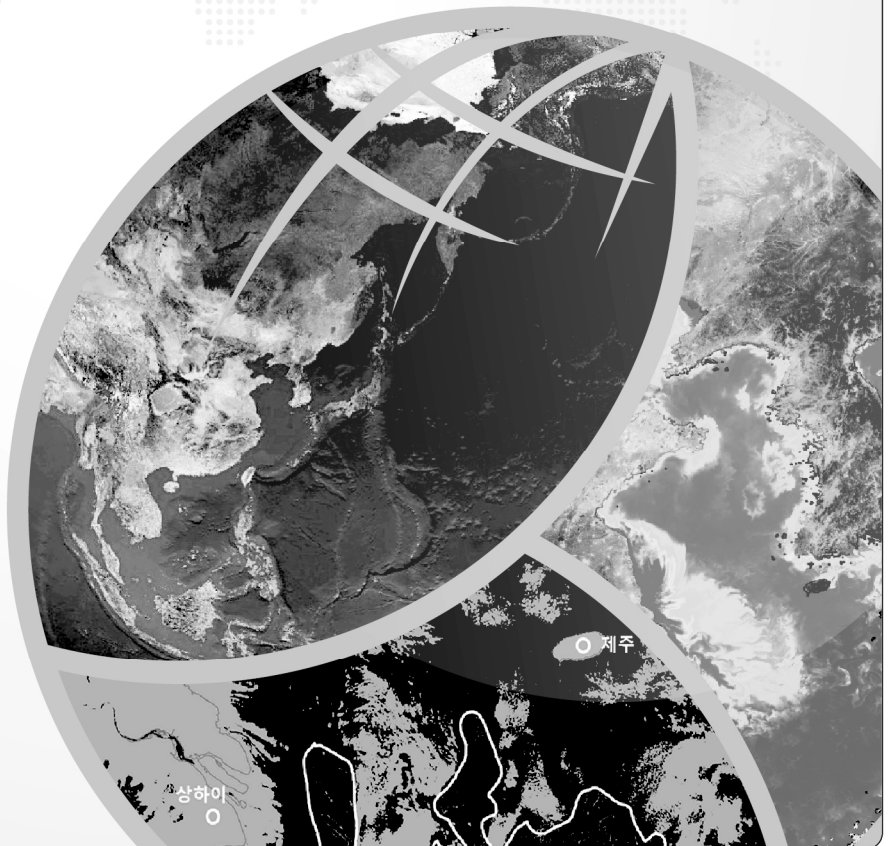
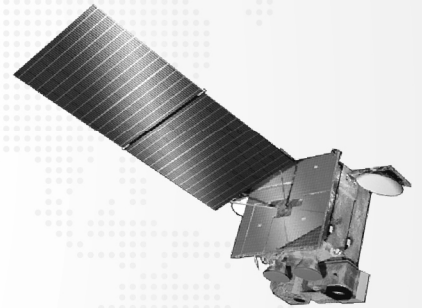
9 성과 분석 중간 결론(안)

- ▶ (중간 결론) 20년간 과학 목적의 우주용 관측기기는 꾸준히 개발되었으나, 과학적 성과의 질적, 양적 성과는 일부 기기를 제외하고는 큰 진전을 보이지 않음
 - ▶ SCI/SCOPUS급 논문수가 KCI논문에 비해 다수. 양적 성과 뿐만 아니라 질적 성과에서도 SCI/SCOPUS급 논문이 높게 나타남
 - ▶ 질적 성과(고피인용도 논문)에서 누적인용횟수가 50회 이상 논문은 GOCI 활용 논문 3건이 전부. 50% 이상의 논문이 5회 이하로 인용
 - ▶ 학문 분야에서는 고층대기의 고/저에너지 측정 등 우주환경 분야에서 타 분야에 비해 지속적인 기기개발이 이루어졌으며 성과가 지속적으로 창출. 반면, 광학을 이용한 지구/우주 관측 분야는 천리안 위성을 제외하고는 성과가 미흡
 - ▶ (천리안 위성, 과학기술위성1호) 타 관측기기보다 양적, 질적 성과가 뛰어난
 - ▶ (이유 1) 기기 개발 및 활용에서 국제 협력을 적극적으로 이끌어 내었음
 - ▶ (이유 2) 도전적 과학 목적 및 기술 개발을 수립하고 추진
 - ▶ 최초의 관측기기보다 최근 개발된 기기의 과학적 성과가 양적, 질적으로 향상되었다고 볼 수 있는 근거가 부족 (한계: 과학 목적의 관측기기 개수가 많지 않음)
 - ▶ 과학적 성과보다 기술적 성과에 초점이 맞추어져 있었고, 뛰어난 과학적 성과를 확보할 수 있는 도전적 목적을 가진 기기 개발 미흡
 - ▶ (인터뷰 결과를 바탕으로) 임무 중심의 위성개발보다 미션의 성공과 기술 확보에 중점을 두고 사업이 진행된 것으로 판단

그림 210. "수요 중심의 우주개발 프로세스 고찰을 통한 우주 분야 정부 R&D 투자전략 도출 연구 - 2차 전문가 회의" 발표 자료 인용



참고 문헌



제12장

참고 문헌

- Ac meter Protocol Document (acprot). Revision Q, April 2011. Printed in WET Labs, Inc.
- Ahmad Fairuz Bin Omar, Mohd Zubir Bin MatJafri, 2009. Turbidimeter Design and Analysis: A Review on Optical Fiber Sensors for the Measurement of Water Turbidity, *Sensors* 2009, 9(10), pp.9311-8335.
- Ahn, J.H., Park, Y.J., Ryu, J.H. and Lee, B., 2012. Development of atmospheric correction algorithm for Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Ocean Science Journal*, 47(3), pp.247-259.
- Ahn, J.H., Park, Y.J., Kim, W. and Lee, B., 2015. Vicarious calibration of the Geostationary Ocean Color Imager. *Optics express*, 23(18), pp.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..
- Ahn, Y. H., Shanmugam, P., Moon, J. E., and Ryu, J. H. 2008. Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. *Ann. Geophys.* 26, 2019-2035.
- Allison, D. B., Stramski, D., & Mitchell, B. G. 2010. Empirical ocean color algorithms for estimating particulate organic carbon in the Southern Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C10).
- Anderson C. W., 2005. Turbidity 6.7. In USGS National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. U S Geological Survey.
- Antoine, D., 2010. Atmospheric corrections over Case 1 waters (CWAC). *OLCI Level 2 ATBD, v.2.2 S3-L2-SD-03-C07-LOV-ATBD*.
- Arar, E. J. AND G. B. COLLINS. Method 445.0 In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin ain Marine and Freshwater Algae by Fluorescence. U.S. *Environmental Protection Agency*, Washington, DC, 1997.
- Babin, M., Morel, A., Fournier-Sicre, V., Fell, F., & Stramski, D. (2003). Light scattering properties of marine particles in coastal and open ocean waters as related to the particle mass concentration. *Limnology and Oceanography*, 48(2), 843-859.
- Backscattering Sensor Calibration Manual. Revision K, June 2006. Printed in HOBILabs, Inc.
- Bai, Y., D. Pan, W.-J. Cai, X. He, D. Wang, B. Tao, and Q. Zhu (2013), Remote sensing of salinity from satellite-derived CDOM in the Chang jiang River dominated East China Sea, *J. Geophys. Res. Oceans*, 118, 227-243, doi:10.1029/2012JC008467.
- Bai, Y., He, X., Pan, D., Chen, C.-T. A., Kang, Y., Chen, X., and Cai, W.-J. Summertime Changjiang River plume variation during 1998-2010. *Journal of Geophysical Research: Oceans*.
- Bailey, S. W., Franz, B. A., & Werdell, P. J. (2010). Estimation of near-infrared water-leaving reflectance for satellite ocean color data processing. *Optics Express*, 18(7), 7521-7527.

- Beardsely, R. C., Limeburner, R., Yu, H., and Cannon, G. A.: Dis charge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea, *Cont. Shelf Res.*, 4, 57-76, 1985.
- Behrenfeld, M. J., and P. G. Falkowski, 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol Oceanogr* 42(1):1-20
- Bendix, J. and Bachmann, M., 1991. A method for detection of fog using AVHRR-imagery of NOAA satellites suitable for operational purposes (in German). *Meteorol. Rundsch.* 43:169-178.
- Bendix, J., 1995. A case study on the determination of fog optical depth and liquid water path using AVHRR data and relations to fog liquid water content and horizontal visibility. *Int. J. Remote Sens.* 16: 515-530.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.J., 1984. Classification and regression trees. Monterey, CA: *Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software.*
- Carder, KL, and RG Steward. 1985. 'A remote-sensing reflectance model of a red-tide dinoflagellate off West Florida', *Limnology and Oceanography*, 30: 286-98.
- Cary WinUV Software Manual. Part Number 8510162500. Ninth edition, September 2011, Printed in Australia, Agilent Technologies, Inc.
- Chang, P.-H., Isobe, A., 2003. A numerical study on the Changjiang diluted water in the Yellow and East China Seas. *Journal of Geophysical Research*, 108 (C9), 3299.
- Chang, P.-H., Isobe, A., 2005. Interannual variation of freshwater in the Yellow and East China Seas: Roles of the Changjiang Discharge and wind forcing. *Journal of Oceanography*, 61, 817-834.
- CIMEL, 2012. SeaPrism 1.0 Manual.
- CIMEL, 2015. CE318-T Manual.
- Cox, C. and Munk, W., 1954. Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter. *JOSA*, 44(11), pp.838-850.
- Doron, M., Babin, M., Mangin, A., & Hembise, O. (2007). Estimation of light penetration, and horizontal and vertical visibility in oceanic and coastal waters from surface reflectance. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(C6).
- Doron, M., Babin, M., Hembise, O., Mangin, A., & Garnesson, P. (2011). Ocean transparency from space: Validation of algorithms estimating Secchi depth using MERIS, MODIS and SeaWiFS data. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 2986-3001.
- Drüe, C., and G. Heinemann (2004). High-resolution maps of the sea-ice concentration from MODIS satellite data. *Geophysical Research Letters* 31, L20403.
- Dybbroe, A., 1993. Automatic detection of fog at night using AVHRR data. Proc. 6th AVHRR Data Users' Meeting 1993, Belgirate, Italy. *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*, 245-252.
- Ellrod, G. P., 1995. Advances in the detection and analysis of fog at night using GOES multispectral infrared imagery. *Weather Forecast.* 10: 606-619.
- EPA, 2012. 5.5 Turbidity. In *Water: Monitoring & Assessment.*
- Eplee, R.E., Robinson, W.D., Bailey, S.W., Clark, D.K., Werdell, P.J., Wang, M., Barnes, R.A. and McClain, C.R., 2001. Calibration of SeaWiFS. II. Vicarious techniques. *Applied Optics*, 40(36),

- pp.6701-6718.
- Falkowski, P. G., 1994. The role of phytoplankton photosynthesis in global biogeochemical cycles, *Photosynthesis Research*, 39: pp. 235-258.
- Fensholt, R., A. Anyamba, S. Stisen, I. Sandholt, E. Pak, and J. Small (2007). Comparisons of compositing period length for vegetation index data from polar-orbiting and geostationary satellites for the cloud-prone region of West Africa. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73, 297-309.
- Franz, B.A., Bailey, S.W., Werdell, P.J. and McClain, C.R., 2007. Sensor-independent approach to the vicarious calibration of satellite ocean color radiometry. *Applied Optics*, 46(22), pp.5068-5082.
- Frouin, R., Schwindling, M. and Deschamps, P.Y., 1996. Spectral reflectance of sea foam in the visible and near-infrared: In situ measurements and remote sensing implications. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 101(C6), pp.14361-14371.
- Fukushima, H., Higurashi, A., Mitomi, Y., Nakajima, T., Noguchi, T., Tanaka, T. and Toratani, M., 1998. Correction of atmospheric effect on ADEOS/OCTS ocean color data: Algorithm description and evaluation of its performance. *Journal of Oceanography*, 54(5), pp.417-430.
- Fukushima, H., Toratani, M., Ahn, J.H, Kim, W. and Park Y., 2015. Cloud-Affected Pixel Identification on COMS/GOCI Ocean Color Imagery in Consideration to Fast-moving Cloud Fragments. In Proceedings of the International Symposium on *Remote Sensing (ISRS)*, Tainan, April 22-24.
- Gong, G.-C., Wen, Y.-H., Wang, B.-W., Liu, G.-J., 2003. Seasonal variation of chlorophyll a concentration, primary production and environmental conditions in the subtropical East China Sea. *Deep-Sea Research II* 50, 1219-1236.
- Gordon, H. R., & McCluney, W. R. (1975). Estimation of the depth of sunlight penetration in the sea for remote sensing. *Applied optics*, 14(2), 413-416.
- Gordon, H.R., 1978. Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans. *Applied Optics*, 17(10), pp.1631-1636..
- Gordon, H.R. and Wang, M., 1994. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. *Applied optics*, 33(3), pp.443-452.
- Gordon, H.R., 1998. In-orbit calibration strategy for ocean color sensors. *Remote sensing of Environment*, 63(3), pp.265-278.
- Goyens, C., Jamet, C. and Ruddick, K.G., 2013a. Spectral relationships for atmospheric correction. I. Validation of red and near infra-red marine reflectance relationships. *Optics express*, 21(18), pp.21162-21175.
- Goyens, C., Jamet, C. and Ruddick, K.G., 2013b. Spectral relationships for atmospheric correction. II. Improving NASA's standard and MUMM near infra-red modeling schemes. *Optics express*, 21(18), pp.21176-21187.
- Hach, 2017. Hach 2100Q and 2100Qis User Manual, Edition 4.
- Herndl, G. J., & Reinthaler, T. (2013). Microbial control of the dark end of the biological pump. *Nature geoscience*, 6(9), 718-724.
- Holben B.N.㉠, 2001. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from

- AERONET, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 106, NO. D11, pp.12,067-12,097.
- Hu, C., Carder, K.L. and Muller-Karger, F.E., 2000. Atmospheric correction of SeaWiFS imagery over turbid coastal waters: a practical method. *Remote sensing of Environment*, 74(2), pp.195-206.
- Hu, C. (2009). A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2118-2129.
- Hydroscat-6 Spectral Backscattering Sensor User's Manual. Revision E, October 2004. Printed in HOBILabs, Inc.
- Jeffrey, S.W. and Humphrey, G.F., 1975. New spectrophotometric equation for determining chlorophyll a, b, c1 and c2. *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 167, pp.194-204.
- Jiang, L., & Wang, M. (2014). Improved near-infrared ocean reflectance correction algorithm for satellite ocean color data processing. *Optics express*, 22(18), 21657-21678.
- Joo HT., S. Son, J. Park, J. J. Kang, J. Y. Jeong, J. J. Lee, C. Kang and S. H. Lee., 2016. Long-Term Pattern of Primary Productivity in the East/Japan Sea Based on Ocean Color Data Derived from MODIS-Aqua. *Remote sensing* doi:10.3390/rs8010025
- Kameda T., and J. Ishizaka, 2005. Size-fractionated primary production estimated by a two-phytoplankton community model applicable to ocean color remote sensing. *J Oceanogr* 61(4):663-672
- Kim, Wonkook, Jeong-Eon Moon, Young-Je Park, and Joji Ishizaka. 2016. 'Evaluation of chlorophyll retrievals from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) for the North-East Asian region', *Remote Sensing of Environment*, 184: 482-95.
- Kim, Yeseul, Sinjae Yoo, and Young Baek Son. 2016. 'Optical discrimination of harmful *Cochlodinium polykrikoides* blooms in Korean coastal waters', *Optics Express*, 24: A1471-A88.
- Kwak JH., S. H. Lee and H. J. Park et al., 2013. Monthly measured primary and new productivities in the Ulleung Basin as a biological "hot spot" in the East/Japan Sea. *Biogeosci* 10:4405-4417
- Lang, W., Q. Wu, X. Zhang, J. Meng, N. Wang, and Y. Cao (2014). Sea ice drift tracking in the Bohai Sea using geostationary ocean color imagery. *Journal of Applied Remote Sensing* 8, 083650-083650.
- Lee, C. K., T. G. Park, Y. T. Park, and W. A. Lim. 2013. 'Monitoring and trends in harmful algal blooms and red tides in Korean coastal waters, with emphasis on *Cochlodinium polykrikoides*', *Harmful Algae*, 30: S3-S14.
- 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. P., Du, K. P., & Arnone, R. (2005). A model for the diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C2).
- 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., Shang, S., Hu, C., Du, K., Weidemann, A., Hou, W., ... & Lin, G. (2015). Secchi disk depth: A new theory and mechanistic model for underwater visibility. *Remote sensing of environment*, 169, 139-149.
- Lerebourg, C., Mazeran, C., Huot, J. and Antoine, D., 2011. Vicarious adjustment of the MERIS ocean

- colour radiometry. *ESA/MERIS Algorithm Theoretical Basis Document, 2*.
- Lie, H.-J., Cho, C.-H., Lee, J.-H., Lee, S., 2003. Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea. *Journal of Geophysical Research* 108, 3077. <http://dx.doi.org/10.1029/2001JC001194>.
- LISST-200X Particle Size Analyzer User's Manual. Version 1.3, May 2017. Printed in SEQUOIA Scientific, Inc.
- Liu, J., R. Huang, Z. Jin, K. Wu, and C. Sun (2000). Bohai sea ice monitoring using satellite images. *Journal of Cold Regions Engineering* 14, 93-100.
- Liu, W., H. Sheng, and X. Zhang, 2016. Sea ice thickness estimation in the Bohai Sea using geostationary ocean color imager data, *Acta Oceanologica Sinica* 35, 105-112.
- Miller, R. L., Belz, M., Castillo, C. D., and Trzaska, R.: Determining CDOM absorption spectra in diverse coastal environments using a multiple pathlength, liquid core waveguide system, *Cont. Shelf Res.*, 22, 1301-1310, 2002.
- Mishonov, A. V., Gardner, W. D., & Richardson, M. J. (2003). Remote sensing and surface POC concentration in the South Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 50(22), 2997-3015.
- Moon, J.E., Park, Y.J., Ryu, J.H., Choi, J.K., Ahn, J.H., Min, J.E., Son, Y.B., Lee, S.J., Han, H.J. and Ahn, Y.H., 2012. Initial validation of GOCI water products against in situ data collected around Korean Peninsula for 2010-2011. *Ocean Science Journal*, 47(3), pp.261-277.
- Moore, G.F., Aiken, J. and Lavender, S.J., 1999. The atmospheric correction of water colour and the quantitative retrieval of suspended particulate matter in Case II waters: application to MERIS. *International Journal of Remote Sensing*, 20(9), pp.1713-1733.
- Morel, A. (1988). Optical modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (case I waters). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93(C9), 10749-10768.
- Morel, A., Antoine, D. and Gentili, B., 2002. Bidirectional reflectance of oceanic waters: accounting for Raman emission and varying particle scattering phase function. *Applied Optics*, 41(30), pp.6289-6306.
- Morel, A., Gentili, B., Claustre, H., Babin, M., Bricaud, A., Ras, J., & Tieche, F. (2007). Optical properties of the "clearest" natural waters. *Limnology and oceanography*, 52(1), 217-229.
- Mueller, J. L. (2000). SeaWiFS algorithm for the diffuse attenuation coefficient, K (490), using water-leaving radiances at 490 and 555 nm. *SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses*, part, 3(11), 24-27.
- Murakami, H., Yoshida, M., Tanaka, K., Fukushima, H., Toratani, M., Tanaka, A. and Senga, Y., 2005. Vicarious calibration of ADEOS-2 GLI visible to shortwave infrared bands using global datasets. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 43(7), pp.1571-1584.
- Ning, X., Liu, Z., Cai, Y., Fang, M., Chai, F., 1998. Physicobiological oceanographic remote sensing of the East China Sea: satellite and in situ observations. *Journal of Geophysical Research* 103, 21623-21636
- Ning, L., F. Xie, W. Gu, Y. Xu, S. Huang, S. Yuan, W. Cui, and J. Levy (2009). Using remote sensing to estimate sea ice thickness in the Bohai Sea, China based on ice type, *International Journal of*

- Remote Sensing* 30, 4539–4552.
- O'Reilly, J. E., S. Maritorena, B. G. Mitchell, D. A. Siegel, K. L. Carder, S. A. Garver, M. Kahru, and C. McClain. 1998. 'Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS', *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 103: 24937–53.
- Ouyang, L., F. Hui, L. Zhu, X. Cheng, B. Cheng, M. Shokr, J. Zhao, M. Ding, and T. Zeng, 2017. The spatiotemporal patterns of sea ice in the Bohai Sea during the winter seasons of 2000–2016, *International Journal of Digital Earth* 2017, 1–17.
- Park, T. G., W. A. Lim, Y. T. Park, C. K. Lee, and H. J. Jeong. 2013. 'Economic impact, management and mitigation of red tides in Korea', *Harmful Algae*, 30: S131–S43.
- Platt, T., S. Sathyendranath, C. M. Caverhill and C. M. Lewis, 1988. Ocean primary production and available light: Further algorithms for remote sensing, *Deep Sea Research*, 35: pp. 855–879
- Platt, T., & Sathyendranath, S. (1988). Oceanic primary production: estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science*, 241(4873), 1613–1620.
- Roesler, C.S., 1998. Theoretical and experimental approaches to improve the accuracy of particulate absorption coefficients derived from the quantitative filter technique. *Limnol. Oceanogr.*, 43(7), pp.1649–1660.
- Ruddick, K.G., Ovidio, F. and Rijkeboer, M., 2000. Atmospheric correction of SeaWiFS imagery for turbid coastal and inland waters. *Applied optics*, 39(6), pp.897–912.
- Ryu, J.H. and Ishizaka, J., 2012. GOCI data processing and ocean applications. *Ocean Science Journal*, 47(3), pp.221–221.
- Sasaki, H., Siswanto, S., Nishiuchi, K., Tanaka, K., Hasegawa, T., and Ishizaka, J.: Mapping the low salinity Changjiang diluted water using satellite-retrieved coloured dissolved organic matter (CDOM) in the East China Sea during high river flow season, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L04604, doi:10.1029/2007GL032637, 2008.
- Sasaki, H., Gomi, Y., Asai, T., Shibata, M., Kiyomoto, Y., Okamura, K., Nishiuchi, T., and Yamada, H. 2014. Unique dispersal of the Changjiang–Diluted Water Plume in the East China Sea revealed from Satellite monitoring of Colored Dissolved Organic Matter (CDOM), *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 25, 279–287.
- Sathyendranath, S., Platt, T., Caverhill, C. M., Warnock, R. E., & Lewis, M. R. (1989). Remote sensing of oceanic primary production: computations using a spectral model. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 36(3), 431–453.
- Shettle, E.P. and 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*.
- Shi, W. and Wang, M., 2009. An assessment of the black ocean pixel assumption for MODIS SWIR bands. *Remote Sensing of Environment*, 113(8), pp.1587–1597.
- Shi, W., and M. Wang (2012a). Sea ice properties in the Bohai Sea measured by MODIS-Aqua: 1. Satellite algorithm development. *Journal of Marine Systems* 95, 32–40.
- Shi, W., and M. Wang (2012b). Sea ice properties in the Bohai Sea measured by MODIS-Aqua: 2. Study

- of sea ice seasonal and interannual variability. *Journal of Marine Systems* 95, 41-49.
- Siegel, D.A., Wang, M., Maritorena, S. and Robinson, W., 2000. Atmospheric correction of satellite ocean color imagery: the black pixel assumption. *Applied optics*, 39(21), pp.3582-3591.
- Smirnov, A., Holben, B.N., Lyapustin A., Slutsker, I. and Eck, T.F., 2004. AERONET processing algorithms refinement, AERONET Workshop, May 10 - 14, El Arenosillo, Spain.
- Spectral Absorption and Attenuation Sensor ac-s User's Guide (ac-s). Revision M, September 2013. Printed in WET LABs, Inc.
- Stramski, D., Reynolds, R. A., Babin, M., Kaczmarek, S., Lewis, M. R., Röttgers, R., ... & Claustre, H. (2008). Relationships between the surface concentration of particulate organic carbon and optical properties in the eastern South Pacific and eastern Atlantic Oceans. *Biogeosciences*, 5(1), 171-201.
- Stumpf, R.P., Arnone, R.A., Gould, R.W., Martinolich, P.M. and Ransibrahmanakul, V., 2003. A partially coupled ocean-atmosphere model for retrieval of water-leaving radiance from SeaWiFS in coastal waters. *NASA Tech. Memo*, 206892, pp.51-59.
- Stumpf, R. P., M. E. Culver, P. A. Tester, M. Tomlinson, G. J. Kirkpatrick, B. A. Pederson, E. Truby, V. Ransibrahmanakul, and M. Soracco. 2003. 'Monitoring *Karenia brevis* blooms in the Gulf of Mexico using satellite ocean color imagery and other data', *Harmful Algae*, 2: 147-60.
- Su, H., Y. Wang, and J. Yang (2012). Monitoring the spatiotemporal evolution of sea ice in the Bohai Sea in the 2009-2010 winter combining MODIS and meteorological data. *Estuaries and coasts* 35, 281-291.
- Suh M.S., Lee S.J., Ki, S.H., Han J.H. and Seo E.K., 2017. Development of Land fog Detection Algorithm based on the Optical and Textural Properties of Fog using COMS Data. *Korean Journal of Remote Sensing*. 33: 359-375.
- Sun, S., Wang, F., Li, C., Qin, S., Zhou, M., Ding, L., ... & Yu, R. (2008). *Emerging challenges*. Massive green algae blooms in the Yellow Sea.
- 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: 2369-78.
- TD-700 Laboratory Fluorometer Operating Manual. Part Number 7000-998. Version 2.0, May 2002, Printed in Turner Designs.
- Tomlinson, M. C., R. P. Stumpf, V. Ransibrahmanakul, E. W. Truby, G. J. Kirkpatrick, B. A. Pederson, G. A. Vargo, and C. A. Heil. 2004. 'Evaluation of the use of SeaWiFS imagery for detecting *Karenia brevis* harmful algal blooms in the eastern Gulf of Mexico', *Remote Sensing of Environment*, 91: 293-303
- Toratani, M., Fukushima, H., Murakami, H. and Tanaka, A., 2007. Atmospheric correction scheme for GLI with absorptive aerosol correction. *Journal of oceanography*, 63(3), pp.525-532.
- Tschudi, M.A., J.A. Maslanik, and D.K. Perovich (2008). Derivation of melt pond coverage on Arctic sea ice using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment* 112, 2605-2614.
- Turner, J., Allam, R. J. and Maine, D. R., 1986. A case study of the detection of fog at night using channel 3 and 4 on the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). *Meteorol. Mag.* 115: 285-290.

- Tyler, J. E. (1968). The secchi disc. *Limnology and oceanography*, 13(1), 1-6.
- USGS Office of Water Quality, 2013. Turbidity — Units of Measurement. In USGS Oregon Water Science Center
- Vermote, E., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M., Morcrette, J.J. and Kotchenova, S.Y., 2006. Second simulation of a satellite signal in the solar spectrum-vector (6SV). *6S User Guide Version, 3*, pp.1-55.
- Wang, M. and Gordon, H.R., 1994. A simple, moderately accurate, atmospheric correction algorithm for SeaWiFS. *Remote Sensing of Environment*, 50(3), pp.231-239.
- Wang, M., 1999. Atmospheric correction of ocean color sensors: computing atmospheric diffuse transmittance. *Applied optics*, 38(3), pp.451-455.
- Wang, M., 2002. The Rayleigh lookup tables for the SeaWiFS data processing: Accounting for the effects of ocean surface roughness. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), pp.2693-2702.
- Wang, M. and Gordon, H.R., 2002. Calibration of ocean color scanners: how much error is acceptable in the near infrared?. *Remote Sensing of Environment*, 82(2), pp.497-504.
- Wang, M., 2003. An efficient method for multiple radiative transfer computations and the lookup table generation. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 78(3), pp.471-480.
- Wang, M., 2005. A refinement for the Rayleigh radiance computation with variation of the atmospheric pressure. *International journal of remote sensing*, 26(24), pp.5651-5663.
- Wang, M., 2006. Effects of ocean surface reflectance variation with solar elevation on normalized water-leaving radiance. *Applied optics*, 45(17), pp.4122-4128.
- Wang, M. and Shi, W., 2007. The NIR-SWIR combined atmospheric correction approach for MODIS ocean color data processing. *Optics Express*, 15(24), pp.15722-15733.
- Wang, M., & Shi, W. (2008). Satellite-observed algae blooms in China's Lake Taihu. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89(22), 201-202.
- Wang, M., Son, S., & Harding, L. W. (2009). Retrieval of diffuse attenuation coefficient in the Chesapeake Bay and turbid ocean regions for satellite ocean color applications. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C10).
- Wang, M., 2010. Atmospheric correction for remotely-sensed ocean-colour products. *Reports and Monographs of the International Ocean-Colour Coordinating Group (IOCCG)*.
- Wang, M., Shi, W. and Jiang, L., 2012. Atmospheric correction using near-infrared bands for satellite ocean color data processing in the turbid western Pacific region. *Optics Express*, 20(2), pp.741-753.
- Wang, M., 2016. Rayleigh radiance computations for satellite remote sensing: accounting for the effect of sensor spectral response function. *Optics Express*, 24(11), pp.12414-12429.
- Werdell, P.J., Bailey, S.W., Franz, B.A., Morel, A. and McClain, C.R., 2007. On-orbit vicarious calibration of ocean color sensors using an ocean surface reflectance model. *Applied optics*, 46(23), pp.5649-5666.
- Yamada K., J. Ishizaka and H. Nagata, 2005. Spatial and temporal variability of satellite primary production in the Japan Sea from 1998 to 2002. *J Oceanogr* 61(5):857-869
- Yuan Y., Qiu Z., Sun D., Wang S. and Yue X., 2016. Daytime sea fog retrieval based on GOCI data: a case study over the Yellow Sea. *Optics Express*. 24: 787-801

- Zhang, G., Zhang, J., Liu, S., 2007a. Characterization of nutrients in the atmospheric wet and dry deposition observed at the two monitoring sites over Yellow Sea and East China Sea. *Journal of Atmospheric Chemistry* 57, 41-57.
- Zhang, M., Tang, J., Dong, Q., Song, Q., & Ding, J. (2010). Retrieval of total suspended matter concentration in the Yellow and East China Seas from MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment*, 114(2), 392-403.
- Zibordi, G., Holben, B., Hooker, S., Mélin, F., Berthon, J.F., Slutsker, I., Giles, D., Vandemark, D., Feng, H., Rutledge, K. and Schuster, G., 2006. A network for standardized ocean color validation measurements.
- Zibordi G. 외, 2008. AERONET-OC: A Network for the Validation of Ocean Color Primary Products. *JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY*, VOLUME 26, pp.1634~1651.
- Zibordi, G., Mélin, F., Berthon, J.F., Holben, B., Slutsker, I., Giles, D., D'Alimonte, D., Vandemark, D., Feng, H., Schuster, G. and Fabbri, B.E., 2009. AERONET-OC: a network for the validation of ocean color primary products. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(8), pp.1634-1651.
- 김소형, 한지혜, 서명석., 2016. 안개의 광학적/조직적 특성을 기반한 안개 탐지 기법 개발. 한국기상학회 학술대회 논문집. 4: 233-234
- 박훈 등, 2016. 천리안기상위성 분석자료 품질검증 보고서, 기상청 국가기성위성센터 연구보고서.
- 이재민 외 2018. 수요 중심의 우주개발 프로세스 고찰을 통한 우주분야 정부 R&D 투자전략 도출 연구 (관측기기를 중심으로), 한국과학기술기획평가원 연구보고서.
- 허기영, 민세윤, 하경자, 김재환., 2008. MODIS 구름 영상의 표면 특성을 이용한 해무와 하층운의 구별. *Korean Journal of Remote Sensing*. 6: 571-581
- 홍기훈, 안유환, 손영백, 유주형, 김창준, 양동범, 김영일, 정창수. (2011). MODIS 를 이용한 춘· 하계 동해 서남부 해역의 해수 중 입자성 유기탄소 함량 추정 알고리즘 개선. *대한원격탐사학회지*, 27(2), 107-120.
- http://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/Data_Transfer_Logs/GMS/status.html