

천리안 해양관측위성 2호 활용기술 개발
기획 연구

2020. 02.

한 국 해 양 과 학 기 술 원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “천리안 해양관측위성 2호 활용기술 개발 기획 연구”과제의 최종
보고서로 제출합니다.

2020. 02.

총괄연구책임자 : 박 명 숙

참 여 연 구 원 : 유 주 형
최 종 국
손 영 백
안 재 현
이 순 주
문 정 언
한 태 현
한 희 정
김 광 석
김 근 용
장 덕 희
강 현 우
노 재 훈
박 영 규

보고서 초록

과제고유 번호	PE9978A	해당단계 연구기간	2019.5.1- 2019.12.31(8개월)	단계 구분	기획
연구사업명	중사업명	KIOST 미래선도사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	천리안 해양관측위성 2호 활용기술 개발 기획 연구			
	세부과제명				
연구책임자	박명숙	해당단계 참여연구원 수	총 : 18 명 내부: 10 명 외부: 8 명	해당 단계 연구비	정부: 60,000 천원 기업: 천원 계 : 60,000 천원
		총연구기간 참여연구원 수	총 : 18 명 내부: 10 명 외부: 8 명	총 연구비	정부: 60,000 천원 기업: 천원 계 : 60,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	KIOST 해양위성센터		참여기업명		
국제공동 연구					
위탁연구	(주)지인컨설팅				
요약				보고서 면수	
<ul style="list-style-type: none"> • 본 기획연구에서는 천리안 해양관측 위성 2호(GOCI-II) 위성 자료 품질 관리와 GOCI-II의 개선된 스펙(공간분해능, 20년 장기관측, 관측영역 확장)의 장점을 활용할 수 있는 기술 개발 계획을 수립함. GOCI-II는 2020년 2월 Geo-Kompsat-B(GK-2B) 위성에 탑재되어 발사될 예정으로, 향후 20년간 한반도 해역의 정지궤도 해색위성 관측 자료가 누적될 예정이며, 관측영역도 대양으로 확대될 예정임. 현재 GOCI-II 지상국 및 자료처리 시스템(G2GS)이 성공적으로 개발되어 마무리 단계나, 위성 발사 후 실제 GOCI-II 위성자료를 이용한 G2GS 적용 및 개선, 현안 활용 기술 개발 포함한 GOCI-II 위성만을 위한 활용 과제의 추진이 반드시 필요함. • 국내외 정책적 적합성 및 동향(PEST) 분석을 통해, 다음과 같은 주요 타당성 분석을 수행함 <ul style="list-style-type: none"> - (P)신남방정책에 따른 아세안 국가 지원 프로그램 개발 필요 - (E) 수산자원을 위한 위성영상 분석 사업화 시장 - (S) 해양환경 변화, 미세먼지, 기후변화에 민감한 세대 - (T) 4차 산업혁명 시대의 데이터 처리기술 활성화 • GOCI-II 위성자료의 품질 관리와 위성의 강점을 적극 활용한 국민의 삶과 국제 사회 기여를 위해, 다음과 같은 3가지 대분류 키워드를 가진 사업을 구성하여 10년간의 로드맵, 예산, 인력 등 사업 추진계획을 수립하였음: i) GOCI-II 위성을 이용한 실시간 					

한반도 해역 정밀 탐지 및 스마트 해양영토 관리; ii) 천리안 해양위성 시리즈를 활용한 기후변화 정량화 및 포용적 과학기술 외교; iii) 세계 최초 동일 정지궤도상 3개 탑재체(해양-기상-환경위성) 융복합 활용 기술 개발

- 세가지 파트의 본 과제는 GOCI-II 운영 기간 동안 위성품질 관리 및 개선, 실시간 한반도 주변해역 이상해황 징후 탐지 및 수산자원 추정 기술 개발, 20년 한반도 해역 특화 연속 관측 기술 확보, 국제 협력을 통한 검보정 네트워크 수립 및 해양 현안 국제 공동 대응을 포함하는 총 10개 중분류 기술 개발을 포함함. “GOC-II 실증화 및 활용기술 개발 사업”과 “GOCI-II 위성 활용 기술 고도화 사업”으로 각각 5년씩 총 10년간 기술 개발을 추진하도록 장기 로드맵을 수립하였음. 소요 예산은 약 580억, 소요 인원은 약 355명으로 도출되었음
- 경제성 평가 제반 사항을 검토하고 비용-편익(B/C) 항목 분석 결과, 여러 3가지 세부 과제 10가지 중분류 기술 중, 지역해 특화 수산 지원 변화 및 지원 부분이 어획량 증가 편익을 제공하여 부의가치 증가 편익을 제공하는 것으로 분석됨. 사업의 현금흐름표를 계산하여 편익/비용비율을 연도별로 산출한 결과 B/C ratio는 1.44 로 도출되었고 민감도 분석결과, 경제사정이 악화 된 것을 가정하여도 1.31으로 도출됨

색인어 (각 5개 이상)	한 글	GOCI-II, 검보정, 기후변화, 미세먼지, 융복합 활용, 국제협력
	영 어	Ocean Color, Cal/Val, Aerosol, GK-2, Climate Change, International cooperation

요 약 문

I. 제 목

천리안 해양관측위성 2호(GOCI-II) 활용 기술 개발 기획 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- (목적) 본 기획연구에서는 천리안 해양관측 위성 2호(GOCI-II)의 위성자료 개선과 GOCI-II의 활용확대를 위한 목적으로 세가지 키워드의 대분류 기술(한반도, 기후/대양, 해양-기상-환경위성 융합)을 구성하여, 위성 운영 10년 동안 상세 기술 활용 개발 계획을 수립함
- (GOCI-II 활용과제 추진 필요성) 2020년 2월 GOCI-II가 Geo-Kompsat-B(GK-2B) 위성에 탑재되어 발사됨에 따라, 위성 발사 후 위성자료 품질 관리 및 개선 계획 수립의 필요성이 대두되고 있음. 현재 GOCI-II 지상국 및 자료처리 시스템(G2GS)이 성공적으로 개발되어 마무리 단계임. 개발된 G2GS 시스템을 실제 GOCI-II 위성관측에 적용하여 정확도를 개선하며, 한반도 및 국제 현안 활용 기술 개발 포함한 GOCI-II 위성만을 위한 활용 과제가 반드시 필요함
- (한반도 정밀 관측 기술 필요성) 최근 주변국의 산업화, 가속화로 인한 한반도 해역의 외래기원 해양오염원의 유입이 증대되고 있고 있음. 또한, 선진국 뿐 아니라 중국, 일본 등 인접국도 수산 및 양식 산업의 규모화, 첨단화가 진행 중이나, 국내 양식 수산물 생산량은 소폭 감소하고 있음. 해양오염 취약 해역을 탐지하고 수산사업에 기여하기 위한, 시공간 해상도와 정확도가 개선된 고정밀 GOCI-II 산출물을 가공한 한반도 해역의 단기 변화 탐지 기술 개발이 필요함
- (해양위성 기후자료 필요성) 최근 기후변화에 따라 한반도 해양환경과 생태계가 급변하고 있으나, 시공간적으로 제한된 현장 관측으로 기후변화를 정량화하기에는 한계점이 많음. GOCI-II가 발사되어 약 10년간 운영될 경우, 한반도 해역에서는 2010년 GOCI에 이어 정지궤도 해양위성 시리즈 위성을 약 20년간 보유하게 됨. GOCI와 GOCI-II는 별도의 센서를 이용한 자료로, 천리안 위성간 연속성과 국외위성과 일관성이 보장된, 한반도 해역 특화 천리안 해양위성자료 구축 기술이 필요함
- (국제 협력 필요성) 최근 정부의 신남방정책 기조는 아세안 국가 등과 협력을 통한 과학기술 외교의 중요성도 강조하고 있음. 세계최초 정지궤도 해양위성 GOCI위성의 기술의 노하우와 경험을 바탕으로 해양위성 강국으로 나아가기 위해서, GOCI-II의 발사 후에는 선진국과 지속적인 협력을 통해 관

- 측영역인 태평양의 검보정을 수행하며, 비 위성 부유국과의 협력으로 포용적 과학기술외교를 실현해 나가기 위한 계획을 수립해야 함
- (해양-기상-환경위성 융합 필요성) 천리안 2호 GOCI-II는 세계최초로 환경 위성(GEMS), 기상위성(AMI)과 동일 정지궤도 궤도에서 세계수준의 최첨단 지구관측을 수행하는 한반도 해역 및 태평양의 해양환경 변화 감시의 중요한 도구로, 미세먼지의 연속적인 탐지기술 개발이 가능함. GEMS와 AMI에서 관측 가능한 대기가스, 수증기 효과를 고려한 GOCI-II 자료 정확도 개선의 기술 혁신의 가능성이 국제적으로 제기됨

III. 연구개발의 내용 및 범위

- GOCI-II 위성자료의 정확도 개선과 GOCI-II 위성의 강점을 적극 활용하여 국민의 삶과 국제 사회 기여를 위해, 다음과 같은 3개의 대분류 키워드를 가지고 10년 계획을 구성함
 1. GOCI-II를 이용한 실시간 한반도 해역 정밀 탐지 및 스마트 해양 영토 관리
 2. 천리안 해양위성 시리즈 기반 기후변화 정량화 및 포용적 과학기술 외교
 3. 세계 최초 동일 정지궤도상 해양-기상-환경위성 융복합 활용 기술 개발
- 본 기획 연구에서는 각 대분류 연구 영역에 대해 국내외 연구동향/전망 분석을 실시, 연구범위 설정, 연구개발 추진 계획을 수립하며, 연구 타당성, 경제성 분석을 실시하였음

IV. 연구개발결과

- GOCI-II 임무 설계 수명 10년 동안, 3개의 대분류 기술 아래 총 10개의 중분류 기술 개발을 통한, 위성 자료 성능 개선 및 활용 기술 개발의 세부 계획을 수립하였음. “GOCI-II 실증화 및 활용기술 개발 사업”과 “GOCI-II 위성 활용 기술 고도화 사업”로 각각 5년, 총 10년간 기술개발을 추진하도록 장기 로드맵을 수립하였음

(세부과제 1) 한반도 해역 해양 분석 기술 개발

1-1. GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발

일주변동 분석 기술 개발

- 고탁도 해역 대기보정 기술 및 총 부유입자를 이용한 조석변화 분석 기술 등 GOCI-II 일주변동 분석 기술을 개발함

- GOCI-II 산출물 실증 및 고도화 기술 개발
 - GOCI-II 궤도상 시험 이후, 실증 현장자료를 수집하며, 정확도 분석 및 오차발생요인을 분석, 각 산출물별 고도화 기술 개발

1-2. 이상징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지

- 외래기원 해양오염원 자동 탐지 기술 개발
 - GOCI-II를 중심으로 원격탐사기술을 활용하여, 해양쓰레기, 해파리, 갈조, 녹조, 적조, 저염분수 등의 탐지기술을 개발/고도화
- 해양환경위협 요소 자동 탐지 기술 개발
 - GOCI-II를 중심으로 원격탐사기술을 활용하여 해사채취, 원전배출수, 유류탐지 기술을 개발
- 북한 환경 정보 분석 기술 개발
 - GOCI-II를 중심으로 한 수증가시거리, 육상 피복 분류 등 원격탐사를 활용한 북한 환경 탐지 및 자동 분류 기술

1-3. 지역해 특화 수산자원 변화 및 지원

- 주요 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발
 - 어장 형성에 중요한 역할을 하는 여러 환경조건을 파악하여 대상 어종의 어장 분포를 추정
- 연근해 및 원양 어업 지원 서비스 체계 구축
 - 지역해 및 원양 수산활동에 유익한 과학적 기초자료를 제공하기 위한 서비스 체계 구축

(세부과제 2) 기후/대양 활용 연구

2-1. 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 구축

- GOCI/GOCI-II 연속자료 생산 영상처리 기술 개발
 - 슬롯 경계차 보정 기술, 대리 교정, 관측 중첩기간 간 상호검증을 통한 GOCI, GOCI-II 연속 20년 자료 구축
- 국외위성과 상호 검증 기술 개발
 - 국외 위성과 상호 검증, 장기 현장관측 자료를 이용한 품질 개선된 영상으로 천리안 해양위성 시리즈 Level 3 생성 기술 개발 및 개선
- 천리안 해양위성 시리즈 재처리 기술 개발
 - 천리안 자료(20년) 재처리 및 준실시간으로 국외위성과 상호 검증 결과, 현장 관측 자료 통한 품질 모니터링 결과 공개

2-2. 기후 변화 관련 산출물 개발

- 해양 탄소 배출량 추정 분석 알고리즘 개발
 - 기후변화에 따른 해양의 피드백 역할을 정량화하는데 필수적인

- 위성 산출물을 추정하는 알고리즘을 개발 및 고도화
- 해양 기후 변화 요소 기술 개발
 - 기후 변화에 따른 식물성 플랑크톤의 사이즈 변화 추적 기술 및 생물학적 탄소 변화량 추정 알고리즘 개발

2-3. 기후변화에 따른 해양 생태계 변화 연구

- 한반도 해양환경 장기 변동성 분석
 - 평균해수면 온도 상승 및 해양이상고온(고수온) 발생 빈도 증가에 따른, 한반도 해양환경의 장기 변화를 해색위성 정량화 하는 기술
- 대양 기후 변동성과 생산성 상관 연구
 - ENSO, PDO, 태풍 등 대기-해양 시스템의 변동에 따른 해양생태계 변화를 정량화하고 기작을 이해하는 기술

2-4. 관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력

- 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발
 - 국제적 수요 중심의 GOCI-II 위성영상 분석 기술 개발(매콩강 하류 모니터링, 해양쓰레기 탐지, 육상 수자원 모니터링 등)
- 국제 검보정 네트워크 구축
 - GOCI-II의 전구 관측영상의 정확도 향상을 위한, 태평양 해양과 학기지, 호수 및 아세안 회원국에 국제적인 검보정 네트워크를 구성

(세부과제 3) GK-2 융복합 차세대 해양관측 기술 개발

3-1. GK-2 융합 대기보정 성능 개선

- GOCI-II와 AMI/GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발
 - GEMS 이산화질소, 오존, AMI 수증기 자료를 이용한 GOCI-II 대기 투과 모델 개발 및 고도화

3-2. 향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발

- GK-2 센서별 에어로졸 산출물 검증 및 특성 분석 기술
 - GOCI-II, GEMS, AMI 융합 에어로졸 개발 및 해양에서 품질분석 기술 및 성능 검증기술 개발
- 해양 미세먼지 탐지 정확도 향상
 - 해양 에어로졸 농도/유형 추정 정확도 향상을 위한 해수 반사도 모델 개선
- 해양-미세먼지 상호작용 및 이동 연구
 - 기계학습을 이용한 지상미세먼지 농도 추정 기법 및 해양-미세먼지 상호작용 및 황해에서 이동 연구

3-3. GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술 개발

- 해색-표면수온 융합 자료 생산 기술 개발
 - GOCI-II의 해색자료와 AMI의 수온자료를 융합한, 동시 분석 시스템 개발
- 고수온/냉수대에 의한 해양 생태환경 변화
 - 고수온/냉수대 장기변화에 따른 클로로필 농도 등 해양생태계 변화 연구

- 기술개발 계획 수립 결과, 소요 예산은 약 580억로 소요 인원은 약 355명으로 도출되었음. 경제성 평가 제반 사항을 검토하고 비용-편익(B/C) 항목 분석한 결과, 여러 3가지 대분류, 10가지 중분류 기술 중, 지역해 특화 수산 자원 변화 및 지원 부분이 어획량 증가 편익을 제공하여 부의가치 증가 편익을 제공하는 것으로 분석됨. 사업의 현금흐름표를 계산하여 편익/비용비율을 연도별로 산출한 결과 B/C ratio는 1.44 로 도출되었고 민감도 분석결과, 경제사정이 악화 된 것을 가정하여도 1.31으로 도출됨

V. 연구개발결과의 활용계획

- 테스트자료를 이용한 천리안 해양위성 2호 통합처리시스템 개발이 완료된 후, 개발된 시스템을 개선하는 2022년부터 GOCI-II 산출물 검증 및 고도화 방안 마련함으로써, 위성 운영 기간 동안 국내외에 자료 제공시 대외적으로 위성자료 품질에 신뢰도를 확보할 것으로 기대됨. 더불어 세계 최초로 정지궤도 동일 플랫폼에 탑재된 환경-해양 센서의 융합을 통한 해양위성 정확도 향상 및 해양 미세먼지 탐지 분석 기술을 향상으로 국민에 삶에 기여할 것으로 기대함
- 한반도, 태평양, 남반구 관측이 가능한 GOCI-II 해색위성을 활용하여 수준 높은 과학연구에 활용이 가능하게 하며, 동아시아 국가에 대한 환경관측을 수행함으로써 현 정부에서 추진하고 있는 신남방정책에 부합하는 해양위성강국으로써 포용적 과학기술외교를 수행함
- 20년 장기 해색위성 자료 구축으로 우리나라 주변 해양환경 변화 및 기후변화 감시 및 정책결정 지원에 활용가능하며, 국내뿐만 아니라 한-인니, 한-중, 한-일, 태평양 등 국외 검보정 네트워크 구축을 통해 GOCI-II 성능 향상이 가능하고, 공동연구를 통해 국제협력 강화에 기여할 것으로 기대함

S U M M A R Y

To make the best use of GOCI-II satellite for contributing our nation's life, we have established 10 years planning of GOCI-II application with three different aspects: "Korean ocean anomalous phenomenon detection", "Climate/Open Ocean application", and "Geo-Kompsat-2B(GK-2B) ocean-environmental-meteorological satellites combination".

Since the GK-2B satellite loading GOCI-II is launched in February 2020, it is necessary to work on satellite data quality control and algorithm upgrade during the GOCI-II operation period. Until now, development of GOCI-II ground Segment (G2GS), GOCI-II products computation system, has been almost completed based on proxy data sets (GOCI data and RTM simulation). It is thus necessary to diagnose the quality of GOCI-II products, to improve the GOCI-II data accuracy, and to expand its application to contributing Korean and international ocean issues.

Due to the acceleration of industrialization of our adjacent countries, there are more changes to find out ocean pollutant components over Korean and the surrounding oceans. Where the fishery industry becomes high-tech and expanded internationally, Korean domestic fishery output has been slighted decreased. To monitor ocean region vulnerable to external pollutant components and to contribute to fishery industry, 'Korean ocean short-term, precise detection technology' must be developed with the best use of GOCI-II's more improved resolution and accuracy.

Despite the increasing possibility of climate change influences on Korean ocean environment and marine ecosystem, there have been large difficulties to quantify the ocean long-term change due to the absence of regular network of ocean observations. As the GOCI-II will be operated for 10 years, we will have Chollian ocean color satellites series for 20 years over Korean and adjacent seas. Since GOCI and GOCI-II are two distinct sensors, it is necessary to develop a technique to construct Chollian ocean color satellite series data to confirm the continuity from GOCI to GOCI-II and consistency with international ocean color data.

The current Korean government emphasizes cooperation with Asian countries. As our country has operated the world's first geostationary ocean color satellite, we have accumulated interactional network with advanced countries. To make a step forward toward a nation with ocean satellite, it is also necessary to build up broad, international cooperation with satellite non-holding, developing countries within GOCI-II observational coverage, as well as the advanced countries.

The GK-2B is a valuable tool for observing ocean, environmental, and meteorological environments over East Asian and Pacific region, with three different sensors on the same geostationary orbit. The GOCI-II has the advantages in considering more-realistic atmospheric condition using observations by GEMS and AMI.

We have thus investigated international and domestic research status and established the detailed technology development plans of 10 technology sections (Roadmap) with three broad categories.

(Category I) Short-term precise detection of Korean and adjacent ocean

1-1. GOCI-II precise technology development

- Diurnal variation analysis technique
- GOCI-II products validation and algorithm improvement

1-2. Anomalous ocean phenomena detection

- External ocean pollutant detection technique
- Automatic detection of anomalous ocean condition
- North Korean environmental investigation technique

1-3. Application for fishery support

- GOCI-II fishery indices and primary production algorithm improvement
- Support system for fishery

(Category II) Climate/Ocean ocean application

2-1. Construction of continuous Chollian ocean color series data

- GOCI, GOCI-II continuous data production and image correction
- Inter-satellite comparison technique

- Reprocessing of Chollian ocean color data

2-2. Production of climate change-related variables

- Ocean carbon cycle analysis technique development
- Ocean climate component analysis technique development

2-3. Marine ecosystem in response to climate change

- Long-term variation of marine ecosystem
- Primary production related to global climate systems (e.g., ENSO, PDO)

2-4. application to ocean issues over GOCI-II coverage and international cooperation

- Application technique to ocean issues over GOCI-II coverage
- Establishing international validation network

(Category III) GK-2 ocean-environmental-meteorological satellites combination technique

3-1. Atmospheric correction with GK-2 combination

- GOCI-II, AMI, GEMS combined atmospheric correction technique development

3-2. Improved ocean PM10/PM2.5 detection technique

- GOCI-II, GEMS, AMI AOD products validation
- Improvement of PM retrieval over ocean
- Interaction between ocean and PM

3-3. GK-2 SST-ocean color combined monitoring system

- production of ocean color-SST combined data
- Change in marine ecosystem in response to marine heat wave/cold pool

(Budget and required manpower) Our investigation suggests the whole planned research development requires 58 billion won and about 350 persons to obtain the research objectives. We have also investigate economical benefits. It was found out that among 3 categories and 10 technology research section, 'fishery support' is largely beneficial. We have obtained 1.44 of Benefit/count ratio.

(KEYWORDS: Ocean Color, Cal/Val, Aerosol, GK-2, Climate Change, International cooperation)

C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Background and necessity	1
Subsection 1. “Fundamental progress to complete GOCI-II development and base algorithms of application”	1
Subsection 2. “Accurately monitoring the Korean seas and smart management of marine territory & fisheries using GOCI-II”	2
Subsection 3. “The technique of climate change quantification ”	3
Subsection 4. “inclusive science & technology diplomacy with a next-Generation ocean satellite”	5
Subsection 5. “World-first convergence application of GK2 ocean-meteorological- environmentalab satellites located at the same geostationary orbit”	6
Section 2. Differences between the previous research projects	7
Chapter 2. Internal and international research studies for ocean color satellite applications	9
Section 1. International studies	9
Subsection 1. Accurate technique for monitoring the Korean seas	9
Subsection 2. Climate analysis and Ocean color applications in the open ocean	29
Subsection 3. Convergence of GK-2 ocean-meteorological-environmental satellites	45
Section 2. Internal studies	48
Subsection 1. Accurate technique for monitoring the Korean seas	48
Subsection 2. Climate analysis and Ocean color applications in the open ocean	59
Subsection 3. Convergence of GK-2 ocean-meteorological-environmental satellites	68

Section 3. Primary circumstances analysis regarding the ocean satellites	71
Subsection 1. Press statements regarding the ocean satellites	71
Subsection 2. Patents analysis regarding the ocean satellites	79
Subsection 3. PEST analysis	85
Subsection 4. SWOT analysis	89
Chapter 3. Objective and contents of the project	92
Section 1. Objective and scope of the development	92
Subsection 1. Goal and vision of the study	92
Subsection 2. Scope of the study	93
Section 2. Detail contents of the development	95
Subsection 1. Development of an accurate technique for monitoring the Korean seas	95
Subsection 2. Development of a reliable method for climate analysis and ocean color applications in the open ocean	123
Subsection 3. Development for convergence of GK-2 ocean-meteorological-environmental satellites	163
Section 3. Estimated budgets	182
Chapter 4. Feasibility analysis of the project	185
Section 1. Opportune & policy feasibility analysis	185
Subsection 1. Opportune feasibility analysis	185
Subsection 2. Policy feasibility analysis	186
Section 2. Economical feasibility analysis	188
Subsection 1. Benefit analysis	188
Subsection 2. Economic analysis	200
Chapter 5. Application plan and its expected effect	203
Chapter 6. References	204
Appendix	215

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 배경 및 필요성	1
제 1항 “GOCI-II 위성 활용 기술 개발, 위성 개발 완료의 필수 단계”	1
제 2항 “GOCI-II 한반도 정밀 탐지 기술, 스마트 해양 영토 및 수산 관리” ..	2
제 3항 “차세대 해양위성 기후변화 정량화 기술”	3
제 4항 “해양위성 강국의 포용적 과학기술외교”	5
제 5항 “세계최초 동일 정지궤도 상의 해양-기상-환경 위성 GK-2 융복합” ..	6
제 2 절 기존 연구사업과의 차별성	7
제 2 장 해색위성 활용기술 개발 국내외 동향	9
제 1 절 해외 동향	9
제 1항 한반도 해역 해양 분석 기술	9
제 2항 기후/대양 활용 연구	29
제 3항 GK-2 융복합 차세대 해양관측 기술 개발	45
제 2 절 국내 동향	48
제 1항 한반도 해역 해양 분석 기술 개발	48
제 2항 기후/대양 활용 연구	59
제 3항 GK-2 융복합 차세대 해양관측 기술	68
제 3 절 해양위성 관련 주요 환경 분석	71
제 1항 해양위성 관련 언론 분석	71
제 2항 해양위성 관련 특허 분석	79
제 3항 PEST 분석	85
제 4항 SWOT 분석	89
제 3 장 연구개발 목표 및 내용	92
제 1 절 연구개발 목표 및 범위	92
제 1항 연구 비전 및 목표	92
제 2항 연구 범위	93
제 2 절 연구개발 상세내용	95

제 1항 한반도 해역 해양 분석 기술 개발	95
제 2항 기후/대양 활용기술 개발	123
제 3항 GK-2 융복합 활용을 통한 차세대 해양분석 기술개발	163
제 3 절 소요 예산	182
제 1항 예산 산정 기준	182
제 2항 총 소요예산	182
제 4 장 연구개발의 타당성 조사	185
제 1 절 시의적·정책적 타당성 검토	185
제 1항 시의적 타당성	185
제 2항 정책적 타당성	186
제 2 절 경제적 타당성 분석	188
제 1항 편익 분석	188
제 2항 경제성 분석	200
제 5 장 활용방안 및 기대효과	203
제 6 장 참고문헌	204
[부록] 경제성 분석 관련 자료	215

그림 차례

그림 1. GOCI와 GOCI-II spec 비교 표	1
그림 2. 극궤도 해양위성 Sentinel을 이용한 양식장 관리	2
그림 3. 미래 기후변화에 대응한 천리안 해양위성 데이터 구축의 필요성	4
그림 4. 위성자료의 수산 및 현업 이용 체계	5
그림 5. GOCI-II 활용기술 개발사업과 관련된 기존 연구사업과의 차별성 분석	8
그림 6. SEVIRI와 SmartBuoy에서 얻은 탁도 시계열 (Neukermans et al., 2012).	9
그림 7. SEVIRI와 SmartBuoy에서 얻은 KPAR 시계열(Neukermans et al., 2012).	10
그림 8. 2011년 5월 29일 중국 저장성 연안에서 시간별 GOCI의 RI (적조지수) 영상과 RGB 영상 분석자료 (Lou and Hu, 2014).	11
그림 9. 2013년 8월 6일부터 9일까지 매시간 촬영된 GOCI 영상자료를 분석한 장쑤성 타이 호의 엽록소 농도 분포도와 RGB 영상자료	12
그림 10. 2015년 5월 12일 GOCI TSM 영상자료로부터 추출된 시간별 전선 패턴들 ·	13
그림 11. GOCI 부유물 농도 영상자료를 이용하여 분석한 양자강 하구 주변 저층의 퇴적물 침식에 대한 응력 임계값 추정 분포도 (Ge et al., 2015)	14
그림 12. MCC 기법을 적용하여 GOCI 영상으로부터 얻은 표층 흐름 벡터와 HF 레이더 실측값 비교 (Warren et al., 2016).	15
그림 13. 줄무늬 고등어의 어장 정보 결과 (Suhartono et al. (2015))	21
그림 14. VIIRS 야간 영상을 활용한 어장 정보 확인을 위한 흐름도 (Rollan et al. (2018)	22
그림 15. JFIC의 어장 예측을 위한 데이터 수집과 분석 전개도(FAO, 1988)	23
그림 16. 일본 주변해역의 어장 예측정보(front) 제공 예시(FAO, 1988)	24
그림 17. 1999년에 Ocean Imaging 사에서 제공된 어장정보 (Ocean Imaging, 2018)	25
그림 18. 현재 Ocean Imaging 사에서 서비스 하고 있는 Seaview 소프트웨어 화면 (Ocean Imaging, 2018)	26
그림 19. ESA에서 구성한 iFishesat 서비스 체계도	26
그림 20. I-Fishesat에서 제공하고 있는 해황 정보 화면(Salinity)	28
그림 21. 국외 해색위성 운영 기간 timeline 및 위성 운영/ 기관 현황	29
그림 22. NASA에서 분석중인 지난 17년간 다중위성기반 Chl-a의 장기변동성: SeaWiFS(검정선), MODISA(파랑선), VIIRS(빨강선) (Franz et al. 2017)	30
그림 23. NASA OBPS에서 수행중인 위성상호간 비교검증을 통한 장기 해색 기후데이터 구축	30
그림 24. SeaWiFS와 MERIS 밴드별 원격반사도의 상호 비교(NASA OBPG 제공) ·	31
그림 25. 고정 관측소 자료를 이용한 여러 해색위성간 장기자료 비교 (Zibrodi et al., 2006)	32
그림 26. SeaBASS와 AERONET-OC 현장관측 클로로필 농도 자료를 이용한, SeaWiFS, MODIS/Aqua, VIIRS/NPP 자료 상호 검증 예시(NASA OBPG) 33	

그림 27. 국외 해양위성 알고리즘 업그레이드 및 재처리 현황	34
그림 28. 미국 CDIAC 사이트	35
그림 29. GLODAP의 해양 이산화탄소 지도	35
그림 30. 연간 순일차생산($g\ C\ m^{-2}\ y^{-1}$) 지도. 해양지역은 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)를 활용. 육상지역은 AVHRR(Advanced Very High-Resolution Radiometer) 활용. Field et al. 1998	36
그림 31. 해양지역에 대한 일간 순일차생산($mg\ C\ m^{-2}\ y^{-1}$) 지도. SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor) 활용. Behrenfeld et al. 2006.	36
그림 32. 기후자료와 위성자료를 이용하여 도출된 캐나다 허드슨베이의 월간 이산화탄소 교환량. 붉은색은 대기로의 이산화탄소 배출을, 그리고 푸른색은 바다속으로의 이산화탄소 흡수를 나타냄 (Else et al., 2008)	37
그림 33. 2018년 3월 ESA CCI 제공 monthly 클로로필 농도 맵 (v.4.0)	38
그림 34. 빙퇴적 코어에서 추출된 대기 기원 샘플과 최근의 측정자료 비교를 통해 분석 및 도시된 산업혁명 이후 대기 이산화탄소량 그래프	39
그림 35. 대서양의 8개 지역에 대해 SeaWiFS 기반으로 추정된 1998년부터 2005년까 지의 월 평균 일차생산력 변동성 및 AVHRR 기반으로 추정된 1985년부터 2005년까지의 해수면온도 변화량	40
그림 36. 영국 PML에서 운영하는 연안 및 외해의 고정관측점	41
그림 37. 기후변화에 따른 해양 생산성 조절은 SST의 변화에 역비례하여 NPP가 변함	42
그림 38. Sentinel Asia의 긴급 위성 관측 및 WINDS(Wideband Inter-Networking ..	44
그림 39. 오존 1 DU오차에 의한 대기보정 오차 민감도를 다양한 태양고도각에 대하여 분석한 결과 (Tzortziou et al., 2014)	45
그림 40. 산소흡광밴드가 있는 EPIC/DSCOVER 센서를 이용하여 추정한 에어로졸 고도와 CALIOP 산출 에어로졸 고도 비교 결과 (Remer et al., 2019)	46
그림 41. 현재의 두 NIR과장 기반 에어로졸 추정시 같은 에어로졸에서도 추정 방법에 따라 산출된 에어로졸 광특성 차이가 크게 발생함 (Yan et al., 2002)	46
그림 42. GOCI와 현장자료의 밴드별 Rrs 비교 (Moon. et al., 2012)	49
그림 43. 해파리 모니터링 네트워크 참여 어업인 조업위치	51
그림 44. 갯벌이모자반 모니터링 추진 체계 (해양수산부)	52
그림 45. 국립수산과학원의 적조정보시스템에서 제공하는 2019년 9월 13일 적조속보(코클로디니움)	53
그림 46. 국립수산과학원의 정선 해양관측점 위치도	54
그림 47. 국가방제기본계획 체계도 (김, 2008)	55
그림 48. 월별 고등어 어장 정보	57
그림 49. 국립수산과학원의 어장정보서비스 홈페이지	58
그림 50. 국외 해색위성 운영 기간 timeline 및 위성 운영/ 기관 현황	59
그림 51. NASA에서 분석중인 지난 17년간 다중위성기반 Chl-a의 장기변동성:	

	SeaWiFS(검정선), MODISA(파랑선), VIIRS(빨강선) (Franz et al. 2017) …	60
그림 52.	NASA OBPS에서 수행중인 위성상호간 비교검증을 통한 장기 해색 기후데이터 구축	60
그림 53.	SeaWiFS와 MERIS 밴드별 원격반사도의 상호 비교(NASA OBPG 제공) ..	61
그림 54.	고정 관측소 자료를 이용한 여러 해색위성간 장기자료 비교 (Zibrodi et al., 2006)	62
그림 55.	SeaBASS와 AERONET-OC 현장관측 클로로필 농도 자료를 이용한, SeaWiFS, MODIS/Aqua, VIIRS/NPP 자료 상고 검증 예시(NASA OBPG) ..	63
그림 56.	국의 해양위성 알고리즘 업그레이드 및 재처리 현황	64
그림 57.	2015년 동해의 월별 해양이산화탄소 분압 (μatm)	64
그림 58.	2013년 8월 적조발생 해역의 GOCI 기반 식물플랑크톤 크기별 군집 분포 ..	65
그림 59.	2015년 7월25일, 8월13일, 8월25일 동해의 해양일차생산량 지도	66
그림 60.	2015년 동해의 월별 해양이산화탄소 분압 (μatm)	66
그림 61.	2003년부터 2012년까지 월별 평균 일차생산력	67
그림 62.	2003년부터 2010년까지 연중 클로로필 최댓값 시기의 변화	67
그림 63.	대기보정 입력 이산화질소오차에 따른 대기보정 오차민감도 분석연구 (Ahn and Pahlevan, 2018)	69
그림 64.	위성 산출 에어로졸 광두께와 다양한 모델을 융합한 미세먼지 산출 방법의 검증 결과 (Kim et al, 2016)	69
그림 65.	위성과 모델 융합을 통한 표면 미세먼지 농도 추정 흐름도	70
그림 66.	데이터 수집 및 정제 프로세스	71
그림 67.	해양위성활용연구 관련 키워드들의 연결정도 네트워크	77
그림 68.	해양위성활용연구 관련 담론분석	79
그림 69.	해양 & 위성 키워드로 등록된 최근 20년간의 특허(한국)	81
그림 70.	해양 & 위성 키워드 분석의 시계열분석(184개: 국내특허)	81
그림 71.	국내 2개 이상 특허 출원 기관(해양 & 위성 키워드포함)	82
그림 72.	위성 & 해양 키워드 특허 세부 내용 분류	82
그림 73.	13개 특허의 유지상태 분석	83
그림 74.	위성 & 해양 & 미국 포함 특허의 상세내역	84
그림 75.	특허 등록을 유지하고 있는 미국특허 (해양과 위성 중 영상처리 소프트웨어 특허분석 결과)	84
그림 76.	위성 & 해양 & 유럽 포함 특허의 상세내역	85
그림 77.	위성 & 해양 & 일본 포함 특허의 상세내역	85
그림 78.	PEST 분석 결과	89
그림 79.	SWOT 분석 및 추진전략 도출	91
그림 80.	환경 분석을 통한 연구개발 중점추진 내용 및 키워드 도출	91
그림 81.	연구 개발의 비전 및 목표	93
그림 82.	Spatio-temporal distributions of chlorophyll a concentration in the CWoCSS. (윤양호, 2017)	96

그림 83. Map of SSC generated by GOCI band 5 based on the SS algorithm in equation (1). (a) SS distributions obtained from the GOCI image acquired at 10:30 local time on 26 October 2011 with the locations where SSC variation was examined (V1-V9) marked. SS distributions obtained from the GOCI image acquired at (b) 11:30, (c) 12:30, (d) 13:30, and (e) 14:30 local time on 26 October 2011. (f) Tidal status at the Mokpo station on 26 October 2011 (www.khoa.go.kr). (Chol. et. al., 2012)	97
그림 84. GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발 분야 연구개발 로드맵	103
그림 85. 한국의 해양쓰레기 발생량과 현존량 추정치	105
그림 86. 동중국해에서 관측된 대형 해파리(Nemopilema nomurai) (https://www.sisain.co.kr/)	106
그림 87. 동중국해에서 관측된 갈조(왼쪽) (Byeon et al., 2019), 한국 제주연안에 유입된 갈조(오른쪽) (http://www.jejudomin.co.kr)	107
그림 88. 중국 칭다오 해역의 녹조(왼쪽) (http://www.news.cn), 한국 제주연안의 녹조(오른쪽) (http://www.headlinejeju.co.kr)	107
그림 89. 적조에 의해 폐사한 경북 포항 가두리 양식장의 어류 (https://www.yna.co.kr/)	108
그림 90. 2016년 7월 6일 GOCI로 탐지한 저염분수 (http://www.donga.com/).	109
그림 91. 서해 EEZ 해사채취 현장 (https://www.yna.co.kr/)	112
그림 92. 허베이스피리트호 유류유출 (http://www.hdhy.co.kr/)	113
그림 93. 잠수함 개념도 (http://kookbang.dema.kr/newsWeb/main.do)	115
그림 94. MODIS 영상을 이용한 북한의 피복분류도 (박과 유, 2009)	116
그림 95. 이상징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지기술 분야 연구개발 로드맵	118
그림 96. 지역해 특화 수산자원 변화 및 지원 분야 연구개발 로드맵	122
그림 97. 신뢰도 있는 GOCI, GOCI-II 위성 연속 자료 구축을 위한 필요 사항 (여러 극궤도 해색위성 시리즈 운용을 해온 NASA OBPG 및 EUMETSAT의 기술개발 단계를 벤치마킹 함)	123
그림 98. CIDUM에 의한 GOCI 영상 슬롯 경계차 보정 전(좌), 후(우) (Kim et al. 2015)	125
그림 99. 슬롯편차 보정 기술 개발 및 자료 제공	126
그림 100. IOCCG report에 정리된 여러 해양위성의 공간일원화 혹은 L3 구성을 위한 binning의 공간 해상도 및 binning 사이즈	126
그림 101. NASA에서 제시한 두 해양위성간 일관성을 위해서 필요한 요소들	127
그림 102. SeaWiFS 자료를 이용한 MODIS의 연속성 보정 예시	128
그림 103. 2011년 4월 11일, GOCI와 MODIS 관측값의 상호 비교 (Doxaran et al. 2014)	130
그림 104. NASA에서 수행중인 전구영역에서 해색위성 L3 trend 분석: 여러 광학환경에서 MODIS L3 자료의 트렌드를 분석	131

그림 105. MODIS 임무 후기 재분석을 통해서 자료 개선 예시	132
그림 106. NASA에서 수행중인 여러 해색위성 시리즈의 재처리 과정 예시	133
그림 107. GOCI 운용기간 동안 알고리즘 업그레이드 현황(위), GOCI-II 자료의 성공적인 활용을 위해서는 GOCI-II 알고리즘 업그레이드 및 사용자 지원 품질정보 제공이 필수적으로 필요함	134
그림 108. 천리안 해색위성 20년 자료 구축을 위한 GOCI DQES 구축 개요	134
그림 109. 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료구축 분야 연구개발 로드맵	136
그림 110. 현장조사 자료를 기반으로 작성된 동중국해 해양-대기 이산화탄소 분압 차이 및 관련 생지화학 인자 모니터링(김동선, [2013])	138
그림 111. 해양과학기술원에서 위성자료를 기반으로 작성된 동해 해양이산화탄소 분압 지도	138
그림 112. 현장관측과 위성기반으로 계산된 지난 10년(2006-2015) 간 해양-대기 이산화탄소 교환량 비교	139
그림 113. PAR 모델의 개념도 (김 등, 2016) (Θ_s : sun zenith angle, E_o : extraterrestrial solar irradiance, T_d : the clear-sky diffuse transmittance (due to scattering by molecules and aerosols), T_g : the gaseous transmittance (due to absorption by ozone), p^* : GOCI reflectance)	141
그림 114. 적조발생 시기 얻어진 HPLC 및 엽록소농도 자료로부터 얻어진 분석자료 예	142
그림 115. VGPM 모델을 적용하여 계산한 동해의 월별 일차생산력 (Joo et al., 2014)	143
그림 116. 2013년 8월 13일 12시 GOCI RGB 영상(좌) 및 해당 일에 계산된 daily PAR 예시(우)	144
그림 117. 현장조사 수행결과 얻어진 POC 값과 blue-to-green 원격반사도 간 관계 (Stramski et al, 2008)	145
그림 118. 기후 변화 관련 산출물 개발 분야 연구개발 로드맵	147
그림 119. 10년간(1998-2007) 전지구 해양의 엽록소 변성의 시작, 끝, 최대 농도값, 지속기간 등 관측결과(Racault et al., 2012)	148
그림 120. 8년간(2003-2010) 우리나라 주변해역을 대상으로 분석한, 연중 엽록소 변성 빈도수 변화 연구 예시 (하늘색: 1회, 연두색: 2회, 자주색: 3회)	149
그림 121. 기후변화와 생태계 관련성 연구를 위한 장단기 시계열 자료 구축을 위해 다양한 센서의 위성자료를 통합하고 레퍼런스 센서와 통합자료 간 불확실성을 계산한 결과 (Groom et al., 2019)	150
그림 122. 일차생산량과 관련된 식물플랑크톤 생체량, diatom 비율, 해수면 온도 및 기타 일차생산 매개변수(assimilation number, initial slope 등)의 년중 변화량 연구 결과 (Zhai et al., 2008)	151
그림 123. 태평양과 인접 해안의 엽록소농도와 ENSO (El Nino Southern Oscillation) 결과로서 장기간 기후변화와 식물플랑크톤의 관계를 볼 수 있음. (MEI: monthly multivariate ENSO index) (von Schuckmann et al., 2016)	152

그림 124. 기후변화에 따른 해양생태계 변화 연구 분야 연구개발 로드맵	154
그림 125. GOCI-II 전구 관측영역(녹색선) 및 RCEP 체결국(남색)	156
그림 126. 위성영상으로 분석된 Mangrove 분석 지도(2006, Chandra at al.)	157
그림 127. 관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력 분야 연구개발 로드맵	162
그림 128. 해색원격탐사를 위한 전체적인 대기보정 프로세스. AMI 산출자료 융합을 통해서 첫 단계인 가스흡광 보정 정확도를 크게 향상시킬 수 있음.	163
그림 129. GOCI 밴드의 분광응답 특성(점선)과 파장별 수증기 흡광 정도(붉은 실선).	164
그림 130. AMI 산출자료 융합활용 전/후 대기 가스흡광보정 프로세스 비교	165
그림 131. 온도에 따른 이산화질소의 색(흡광)변화	166
그림 132. GEMS 산출자료 융합활용 전/후 대기 가스흡광보정 프로세스 비교	167
그림 133. GK-2 융합 대기보정 성능 개선 분야 연구개발 로드맵	169
그림 134. 서로 다른 시공간해상도를 가진 GOCI-II, GEMS, AMI 산출 에어로졸광두께(AOD) 각각의 성능을 실측자료를 통해 검증	170
그림 135. 높은 공간/분광 해상도를 가진 GOCI와 높은 시간해상도를 가진 Himawari-8 에어로졸 산출물의 장점을 융합하여 시너지 자료 생산 (Tang et al., 2019)	171
그림 136. GOCI-II, GEMS, AMI 시너지 에어로졸 산출물의 생산	172
그림 137. 이상적인 미세먼지 모니터링 시스템. 하지만 해양 미세먼지의 경우 지상 관측소의 부재로 해수표면 미세먼지 실측자료의 충분한 확보가 어려움 ...	173
그림 138. GK-2 탑재체들의 장점을 이용한 미세먼지 농도 산출 융합활용 예시	173
그림 139. 향상된 해양 미세먼지 분석 기술개발 분야 연구개발 로드맵	176
그림 140. 분석적 수온모델 기반 고수온 발생예측 및 생태환경 영향성 분석 시스템 ...	179
그림 141. GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술개발 분야 연구개발 로드맵	181
그림 142. 세부 분야별 소요 예산 규모	182
그림 143. GOCI 활용 결과와 비교한 GOCI-II 활용 연구개발 사업의 시의적 타당성 모식도	185
그림 144. 편익의 구성	200
그림 145. 비용의 구성	201

표 차 례

표 1. GOCI/GOCI-II 관련 기존 연구사업들	7
표 2. 부유해조류 탐지 알고리즘 (민, 2019)	17
표 3. 적조 탐지 알고리즘 (신, 2017)	18
표 4. 해양위성활용연구 상위50개 키워드 출현빈도, TF-IDF	73
표 5. 해양위성활용연구 기간별 상위 키워드 출현빈도	74
표 6. 해양위성활용연구 기간별 상위 키워드 TF-IDF	75
표 7. 해양위성활용연구 관련 키워드들의 연결정도 순위	76
표 8. 해양위성활용연구 관련 키워드의 중심성	78
표 9. 특허분석의 방법론	80
표 10. 아세안 회원국의 예상 수요 기술	157
표 11. 검보정 사이트 구축 요구조건	159
표 12. 상세 소요금액(안)	183
표 13. 편익의 분류	188
표 14. 연도별 어업별 품종별 어업생산액	189
표 15. 예비타당성 조사 대상 유사 기술개발사업 주기	190
표 16. 해양오염 및 해양환경위험 감시 관련 정부 예산안	193
표 17. 기후변화 감시 및 서비스 비용 관련 정부 예산안	194
표 18. 해양환경 관련 국제협력 비용 관련 정부 예산안	196
표 19. 해양기상 관측 비용 관련 정부 예산안	197
표 20. 해양생태계 조사 비용 관련 정부 예산안	198
표 21. 편익 집계표	199
표 22. GOCI-II 활용 기술개발 사업 현금 흐름표	200
표 23. B/C 값 계산 결과	201
표 24. 민감도 분석	202

제 1 장 서론

제 1 절 배경 및 필요성

제 1항 “GOCI-II 위성 활용 기술 개발, 위성 개발 완료의 필수 단계”

2020년 천리안 해양관측위성 2호(GOCI-II)가 Geo-Kompsat-B(GK-2B) 위성에 탑재되어 발사됨에 따라, 위성 발사 후 위성 자료 품질 관리 및 개선 계획 수립의 필요성이 대두됨. 또한, GOCI-II가 원래 목적인 해양환경/수산 관리, 유해 조류 탐지, 기후변화 반응 탐지, 미세먼지 문제 등 해양현안에 기여하는 성공적인 위성이 되기 위해서는, GOCI-II의 개선된 스펙(공간분해능, 장기관측, 영역확장)의 장점을 활용할 수 있는 활용 기술 개발에 대한 계획이 필수적으로 수립되어야 함

- GOCI-II 개발에 현재까지 총 1,033억원의 개발 및 발사 비용이 투입되어, GOCI-II 하드웨어가 성공적으로 개발되었으며, 테스트 자료(GOCI 및 복사모델 자료)를 이용하여 알고리즘 및 시스템(G2GS) 개발이 완료 단계임. 위성 발사 후 센서 감쇄 등의 가능성이 충분히 있으므로, G2GS 시스템 업데이트 및 고도화 없이 지속적으로 이용할 경우, GOCI-II 위성 자료의 정확도가 점차 감소될 가능성이 큼
- 위성 발사 후, 실제 GOCI-II 위성관측 자료 영역내의 다양한 환경에서 검보정을 수행하여 자료 품질을 진단하고, 기존 알고리즘을 개선하며, 자료의 정확도 정보를 사용자에게 공개하여 신뢰도를 확보하기 위한 기술 개발은 성공한 위성 사업을 위한 위성 발주 부처의 필수 의무임
- 위성 개발은 “위성발사체/탑재체 개발”-“알고리즘 및 시스템 개발”-“위성운영”-“위성활용기술 개발” 이어지는 선순환을 통해서 이뤄지며, 특히 “위성활용 기술 개발”을 통해서, 국민의 삶에 기여하는 성공적인 위성 연구개발 사업이 실현될 수 있음. 특히, 위성 개발의 선진국일수록 위성활용 연구에 많은 예산을 투자하고 있음. 현재, GOCI-II의 G2GS 시스템 사업이 완성 단계이며, 그 다음 단계로 GOCI-II 위성 자체의 활용 확대를 위한 기술개발 계획이 필요함

항목	GOCI	GOCI-II	지역관측	전구관측
분광 해상도	8 bands	13 bands		
공간 해상도	500m	250m (적도 기준)	(영역변경가능)	(영역은 붉은선내)
관측 횟수	8 times/day	10 times/day		
관측 영역	지역적	지역적 + 전지구적		

그림 1. GOCI와 GOCI-II spec 비교 표

제 2항 “GOCI-II 한반도 정밀 탐지 기술, 스마트 해양 영토 및 수산 관리”

GOCI-II는 13개의 가시-근적외 채널을 보유하여 산출물의 정확도가 GOCI에 비해 향상되며, 하루에 10회 한시간 간격 250 m 급 해상도로, 클로로필 농도, 탁도, 일차생산력, 에어로졸 등의 영상이 제공될 예정임. 보다 정확하고 해상도가 개선된 고정밀 GOCI-II 영상을 활용하여, 한반도 해역을 정밀하게 탐지, 분석하여 해양현안 대응 및 해양 산업에 기여할 가능성이 큼

- 최근 주변국의 산업화 가속화로 인한 한반도 해역의 외래기원 해양 오염원(녹조, 해양미세먼지, 원전배출수, 유류유출 등)의 유입이 증대되고 있어 종합적인 관리와 적극적 대응이 필요한 상황임. 해양오염 취약 해역을 탐지하고 종합적인 대응을 위해, 정지궤도 해양위성 GOCI-II의 기본산출물을 가공한 새로운 단기변화 탐지 기술 개발이 필요함
- 북유럽 국가 뿐 아니라 중국, 일본 등 인접국도 수산 및 양식 산업의 규모화, 첨단화가 진행 중이나, 국내 양식 수산물 생산량은 소폭 감소하고 있으며 대양의 원양어업의 경쟁력 강화되고 있음. 특히, 어선들은 어업활동에 소요되는 시간 중 80% 이상을 어군을 찾는데 사용(이병기, 1989). 일반적으로 어종의 분포는 위성에서 관측가능한 플랑크톤 분포, 수온과 밀접한 관련이 있다고 알려져 있음. 첨단 해양위성 GOCI-II의 장점(일차생산량, 어장지수)을 적극 활용하여 어군 탐지에 소모되는 시간 및 비용을 절감할 수 있는 스마트 수산 기반 수립을 위한 위성 활용 기술 개발이 필요함



그림 2. 극궤도 해양위성 Sentinel을 이용한 양식장 관리

제 3항 “차세대 해양위성 기후변화 정량화 기술”

GOCI-II가 발사되어 약 10년간 운영될 경우, 한반도 해역에서는 2010년 GOCI에 이어 정지궤도 해양위성 시리즈 위성을 약 20년간 운영되게 됨. 한반도 해역만 관측하던 GOCI와는 달리, GOCI-II에서 새롭게 도입된 Full Disk 관측 모드는 기후변화에 중요한 태평양, 인도양, 남반구 해역을 포함하고 있어, 대양 연구에 유용하게 활용될 수 있음

- 이산화탄소는 대표적인 온실가스로 대기권에 존재하는 기체 중에서 지구의 복사열인 적외선을 흡수하여 지구로 다시 방출하여, 지구의 대기를 덥히는 역할을 함. 산업혁명에 의해 화석연료 사용의 급증으로 이산화탄소의 배출이 크게 증가되었으며, 지구의 온도도 장기적으로 증가하고 있음
- 해양은 대기의 온실가스인 이산화탄소를 조절하는 중요한 조절자로 알려짐. 해양의 식물성 플랑크톤은 광합성을 통해 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 다량으로 흡수하며, 해양 동물들의 풍부한 먹이 역할도 동시에 수행하기 때문에 생태계 유지에도 큰 도움이 됨. 일반적으로 식물성 플랑크톤이 번성은 대기 중 이산화탄소의 감소로 이어져, 지구온난화 미칠 수 있다는 것을 의미함. 따라서, 해양위성 기본 산출물인 클로로필 농도(Chl-a)은 주요한 기후 변화 추적 변수임
- 기후변화로 인한 전구 해역에서의 해수면온도 상승, 빈번한 이상해황 발생, 해양 생태계 변화로, 해양환경 변화를 정량적으로 탐지하는 장기 해상위성 데이터 구축 및 기후변화 정량적 분석 기술 개발 필요함. 특히, 한반도 해역은 전구 해역 중 기후변화에 가장 민감하게 반응하는 지역 중의 하나이며, 중국의 산업화와 함께 인위적인 해양환경 및 생태계 변화도 빈번하게 일어나는 지역임
- 국외의 극궤도 해양위성은 전구 해역 및 미국 연안의 해양 환경 변화 탐지를 주타겟으로 하여, 광학적으로 복잡하고 지역적인 변화가 큰 동아시아 및 한반도 해역의 위성 자료 정확도 검증에 위한 노력이 절대적으로 부족함. 따라서, 기후변화에 따른 해양환경 및 해양생태계 변화 연구를 위해 한반도 해역 특화 천리안 해양위성자료 구축을 위한 계획이 필요함
- GOCI(2010~)와 GOCI-II(2020~2030년)는 별도의 센서를 이용한 자료로, 추가적인 기술 개발 없이 두 자료를 단순히 연속적으로 사용하여 20년 자료를 구축하는 것은 불가능함. 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 구축을 위해서, GOCI, GOCI-II 중첩 관측 기간 동안 센서 보정, GOCI, GOCI-II 자료의 연속성, 국외 위성과의 일관성 등을 위한 기술 개발이 반드시 필요함
- 대기의 이산화탄소 증가가 해양에 미치는 영향에 관한 우려가 증대되고 있음. 해양이 대기 중의 과도한 이산화탄소를 흡수하면서 일차적으로 바닷속의 용존 이산화탄소량이 증가하게 되고 이차적으로는 바닷물의 수소이온농도 감소 현상인 일명 ‘해양 산성화’가 일어나게 됨. 또한, 해양에서 플랑크톤 사이즈에 따른 기후변화

의 피드백이 다른 것으로 알려짐. 해양산성화, 해양의 탄소 순환의 변화를 정량화 하기 위해서, 현재 GOCI-II의 기본 산출물을 가공한 이산화탄소 분압(PCO2)과 해양탄소(POC 등),플랑크톤사이즈 변수(PFT) 추출 기술 개발이 추가로 필요함

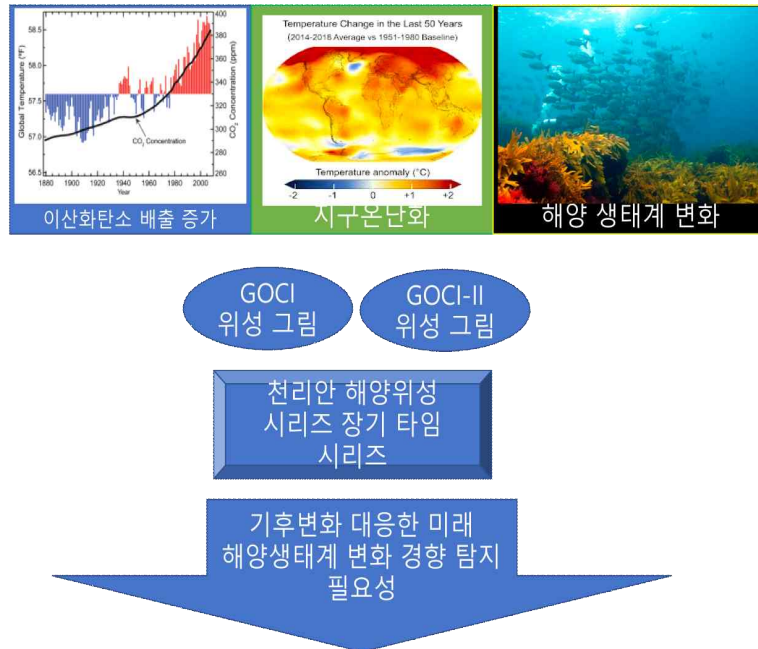


그림 3. 미래 기후변화에 대응한 천리안 해양위성 데이터 구축의 필요성

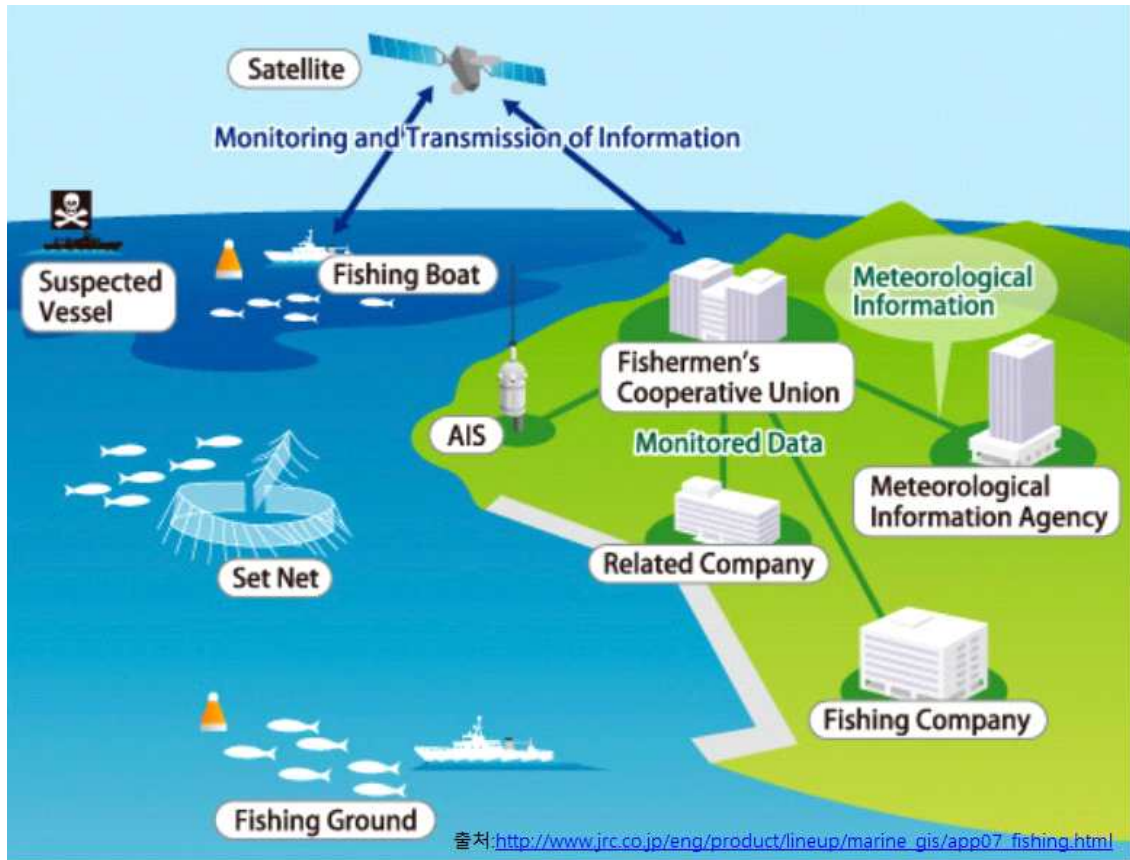


그림 4. 위성자료의 수산 및 현업 이용 체계

제 4항 “해양위성 강국의 포용적 과학기술외교”

2010년 세계최초 정지궤도 위성의 해양활용 기술을 개발하면서, 우리나라는 관련 기술 개발에서 전세계 기술을 선도하는 유리한 입지에 서게 되었으며, 선진 해양위성 Agency와 동등한 관계로 협력이 가능했음. 해양위성 강국으로 나아가기 위해서, GOCI-II의 발사후 선진국과 지속적인 협력을 계속 수행하며, 관측영역 내의 비 위성 부유국과의 협력으로 포용적 과학기술외교를 실현해 나가기 위한 계획을 수립해야 함

- GOCI-II의 Full Disk 관측 모드는, 동아시아 뿐 아니라 태평양, 동남아시아, 호주 해역 등 전구 촬영 모드의 기능을 보유하여, 국제협력을 통한 대양 연구에 활용 및 동남아시아 개발국의 연안의 변화 탐지에 활용 가능성이 존재. 또한, GOCI-II 자료의 Full Disk 관측 영상의 품질 관리를 위해서, 국제협력을 통한 사이트 구축 계획이 반드시 필요함
- GOCI 활용 기술의 일환으로, 한국해양과학기술원은 NASA와 공동으로 온누리호

등의 연구선을 이용하여 KORUS-OC를 수행하였음. 기존 협력관계를 기반으로, GOCI-II의 경우 이사부호 등의 인프라를 이용한 NASA, PML 등과의 공동관측을 수행할 수 있음

제 5항 “세계최초 동일 정지궤도 상의 해양-기상-환경 위성 GK-2 융복합”

천리안2호(GK-2)는 세계최초 동일 정지궤도 상의 실시간으로 동아시아, 태평양, 호주 지역까지 포함하는 해양, 대기, 환경 동시 관측을 실시할 예정. GOCI-II는 GEMS, AMI와 동일궤도 위성에서 세계수준의 최첨단 지구관측 위성의 스펙으로 한반도 해역 및 태평양의 해양환경 변화 감시의 중요한 도구로, 해양위성의 정확도를 높이며 미세먼지의 연속적인 탐지기술 개발이 가능함

- 천리안 2호 환경위성(Geostationary Environment Monitoring Spectrometer, GEMS), 기상위성(Advanced Meteorological Imager, AMI)에서 관측 가능한 대기 배출 가스, 수증기 효과를 고려한 GOCI-II 대기보정 알고리즘에 대한 국제적인 기대 증대되고 있음 (2019 국제해석회의, IOCS2019)
- 현재 동아시아 산업화와 인간의 활동으로 인한 대기오염원 배출 및 미세먼지 등 문제는 우리 국민의 보건에 심각한 영향을 주고 있음. GK-2의 GOCI-II, AMI, GEMS는 미세먼지 연속자료 생산에 중요한 자료인 에어로졸광학두께 자료를 제공하는데, 서로 다른 시공간 분해능을 가진 각각의 탑재체들의 장점을 살린 시너지 산출물의 생산이 가능함또한, 최근에는 대기오염이 해양환경에 미치는 부정적 영향에 대한 관심이 증대함. 육상대기 오염물질이 해양에 미치는 영향에 대한 연구가 필요함

제 2 절 기존 연구사업과의 차별성

표 1. GOCI/GOCI-II 관련 기존 연구사업들

연구기관	과제명 (연구책임자)	주요 사업내용 및 유사성	본 과제의 차별성
KIOST	다중위성 기반 해양 현안 대응 실용화 기술 개발 (KIOST 박영제)	- 해양 관련 위성 자료를 이용한 실용화 기술 개발 - GOCI-II도 하나의 입력자료로 사용 가능	- 실제 GOCI-II 위성 자료를 이용한 자료 검보정을 수행 - GOCI-II 통합자료처리시스템 알고리즘 개선
KIOST	정지궤도해양위성 활용 연구 (1&2 단계) (KIOST 박영제)	- 해색위성(GOCI) 자료를 이용한 연구 - 해색위성(GOCI) 자료의 검보정 및 활용 기술 개발	- GOCI-II 검보정을 위한 국제협력 강화 - GK2 위성 융합연구를 통한 GOCI-II 자료 정확도 향상
KIOST	GOCI-II 통합자료처리 시스템 개발 (KIOST 박영제)	- GOCI-II 실시간 처리를 위한 지상 시스템 및 알고리즘 개발 연구	- GOCI/GOCI-II 장기 자료구축을 통한 기후변화 연구

- GOCI활용 및 검보정과 관련된 연구는 한국해양과학기술원에서 수행한 “정지궤도해양위성 활용연구” 1&2 단계와 “다중위성 기반 해양 현안 대응 실용화 기술 개발” 이 있음
- “정지궤도해양위성 활용연구”는 해색위성 자료의 활용 및 검보정을 포함하고 있어 기술적으로는 유사한 부분이 있으나 검보정 대상이 GOCI(천리안위성 1호 해양탐재체) 임
- “다중위성 기반 해양 현안 대응 실용화 기술 개발”연구의 경우 GOCI-II를 일부 활용하는 측면에서 유사성이 있으나, 주요 해양현안을 해결하기 위한 실용화 기술 개발 사업으로써 다양한 위성자료를 사용함. GOCI-II의 검보정 및 해색위성의 가장 기본적인 목적인 장기 자료 구축을 통한 기후변화 연구를 고려하지 않음
- “GOCI-II 통합자료처리시스템 개발”연구의 경우 GOCI-II 자료를 이용하는 측면에서 유사성이 있으나, GK-2B 발사 후 GOCI-II의 실시간 처리를 위한 지상시스템 및 알고리즘 개발을 목표로 함. 이때 개발된 알고리즘은 모의 자료를 이용하여 개발된 초기버전의 기술이며, 실제 지상국에 수신된 GOCI-II 자료에 대한 검보정, 장기 자료구축을 통한 기후변화 연구, GK2B 위성 융합 활용 등은 포함되어 있지 않음
- 따라서 GOCI-II의 검보정 및 장기 기후변화 연구 자료 구축, GK-2A/B의 세 개 탐재체를 이용한 융합 활용 기술 개발 연구는 기수행된 다른 과제와 차별성 및 독창성을 확보하고 있다고 판단됨

		과제			성능 개선 요소			
		G2GS	다중위성	GOCI-II 활용	정확도 (품질정보제공)	데이터 기간/영역 확장	활용도 향상	해양위성 강국 (국가 신뢰도)
한반도 해역 해양분석 기술 개발	GOCI-II 실증 및 알고리즘 개선	✗	✗	◎	✓			✓
	외래기원, 위험요소(유류유출), 북한환경분석	✗	⚠	◎			✓	✓
	위성기반 원양, 지역해 어장정보	⚠	✗	◎		✓	✓	
기후/ 대양 활용 연구	천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 및 품질 향상 시스템	✗	✗	◎	✓	✓		✓
	기후변화 관련 산출물 (pCO ₂ , PFT) 추가	✗	✗	◎		✓	✓	
	기후변화에 따른 해양 생태계 변화 정량화	✗	✗	◎			✓	
	국제 검보정 자료 수집 및 관측 영역 국가 해양 활용	✗	✗	◎	✓	✓	✓	✓
GK-2 융복합 활용	GK-2 위성 융합 대기 보정 기술	✗	✗	◎	✓			✓
	해양 미세먼지 산출 및 상호 작용	✗	⚠	◎	✓		✓	
	수온-해양 생태 융합활용	✗	⚠	◎			✓	

그림 5. GOCI-II 활용기술 개발사업과 관련된 기존 연구사업과의 차별성 분석

제 2 장 해색위성 활용기술 개발 국내외 동향

제 1 절 해외 동향

제 1항 한반도 해역 해양 분석 기술

가. GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발

(1) 일주변동

- Neukermans et al.(2012)는 정지궤도의 기상위성 METEOSAT에 탑재된 SEVIRI 센서의 영상자료와 SmartBuoy의 현장자료를 활용하여 북해 남부해역에서 탁도와 K_{PAR} (PAR의 확산 감쇠 계수)의 일주변화를 연구하였음.

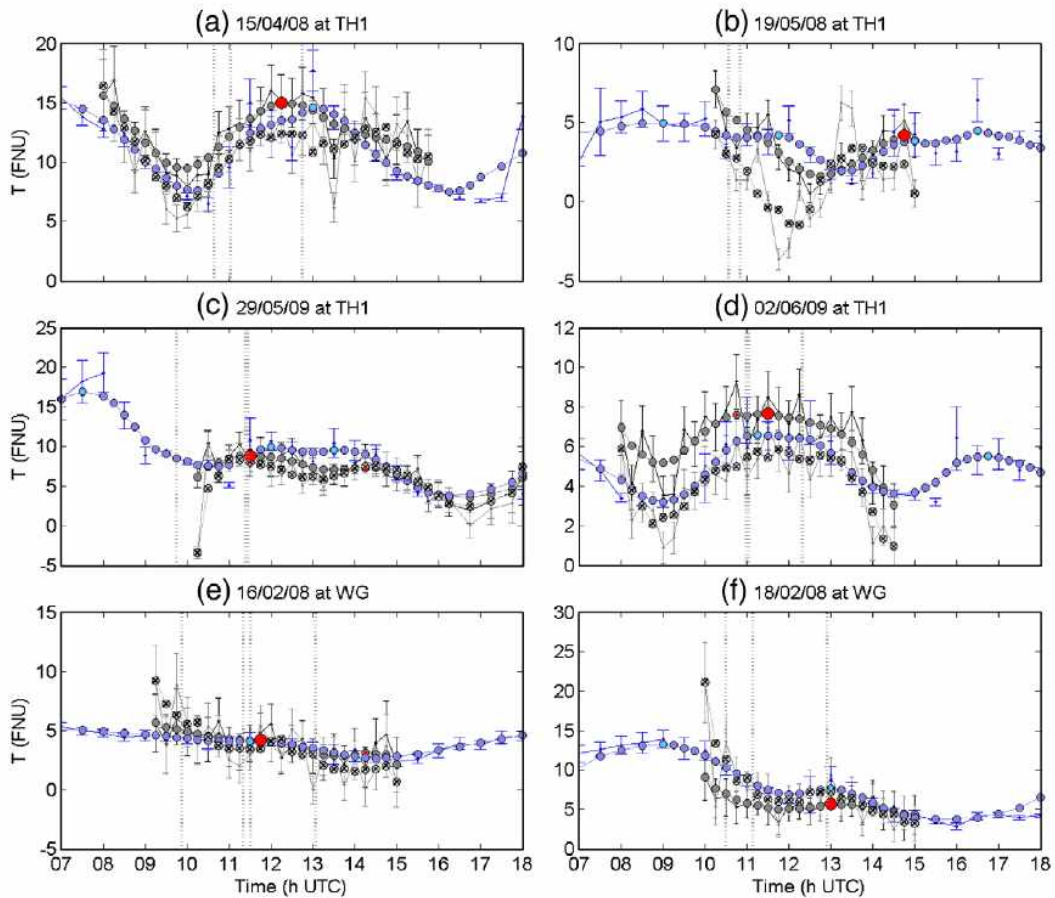


그림 6. SEVIRI와 SmartBuoy에서 얻은 탁도 시계열 (Neukermans et al., 2012).

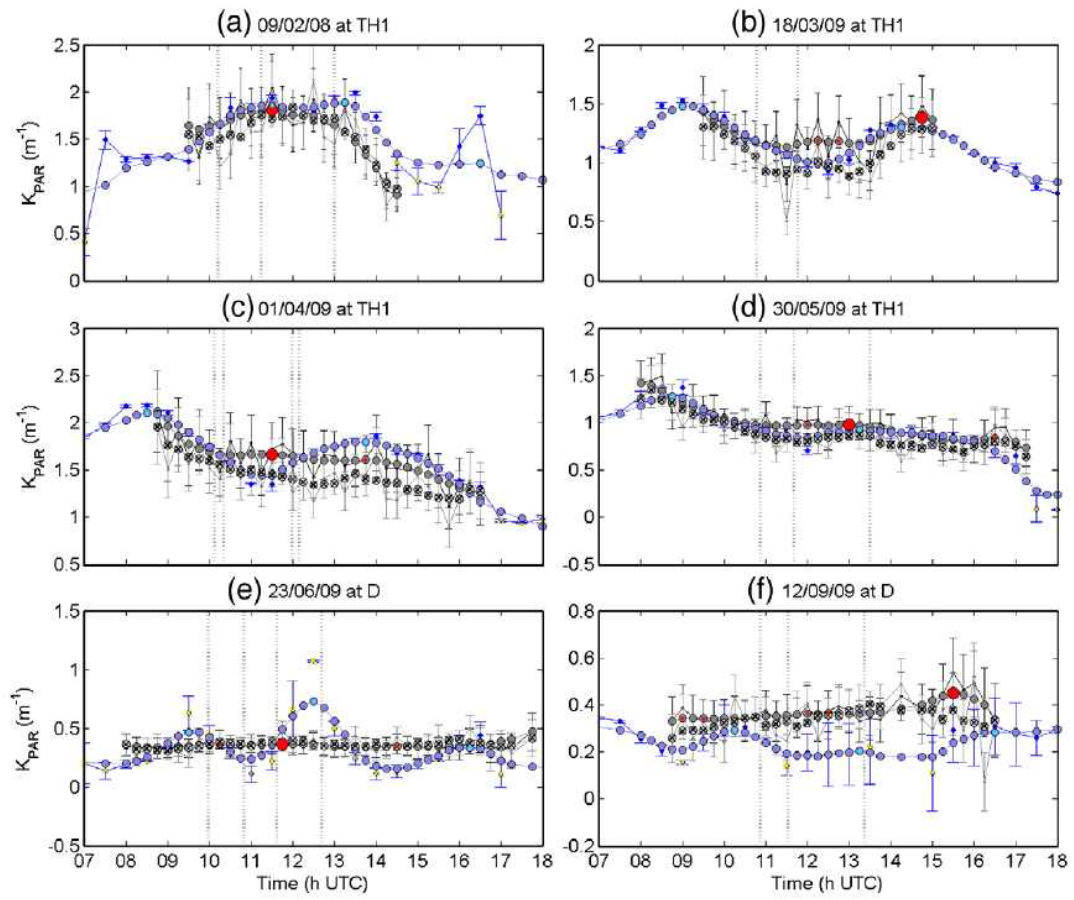


그림 7. SEVIRI와 SmartBuoy에서 얻은 K_{PAR} 시계열(Neukermans et al., 2012).

- Lou and Hu (2014)는 세계 최초의 정지궤도 해상색센서 GOCI를 이용하여 동중국해의 저장성 연안에서 발생하는 유해 적조의 일주변동을 분석하였음.

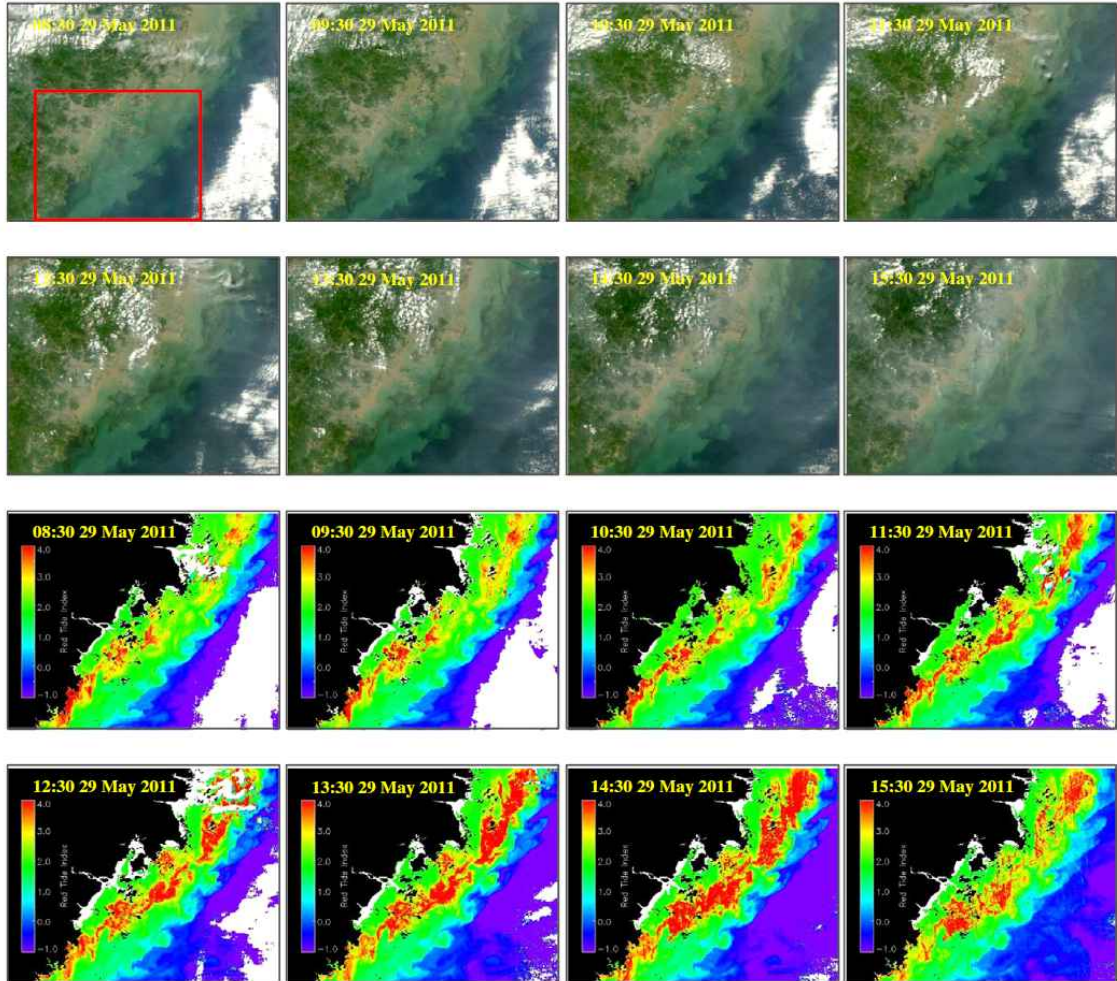


그림 8. 2011년 5월 29일 중국 저장성 연안에서 시간별 GOCI의 RI (적조지수) 영상과 RGB 영상 분석자료 (Lou and Hu, 2014).

- Huang et al. (2015)는 시간해상도가 높은 정지궤도 해상색센서 GOCI를 이용하여 장쑤성의 타이 호(Taihu Lake)에서 발생하는 식물플랑크톤의 대증식에 따른 엽록소 농도를 시간별로 분석하였음.

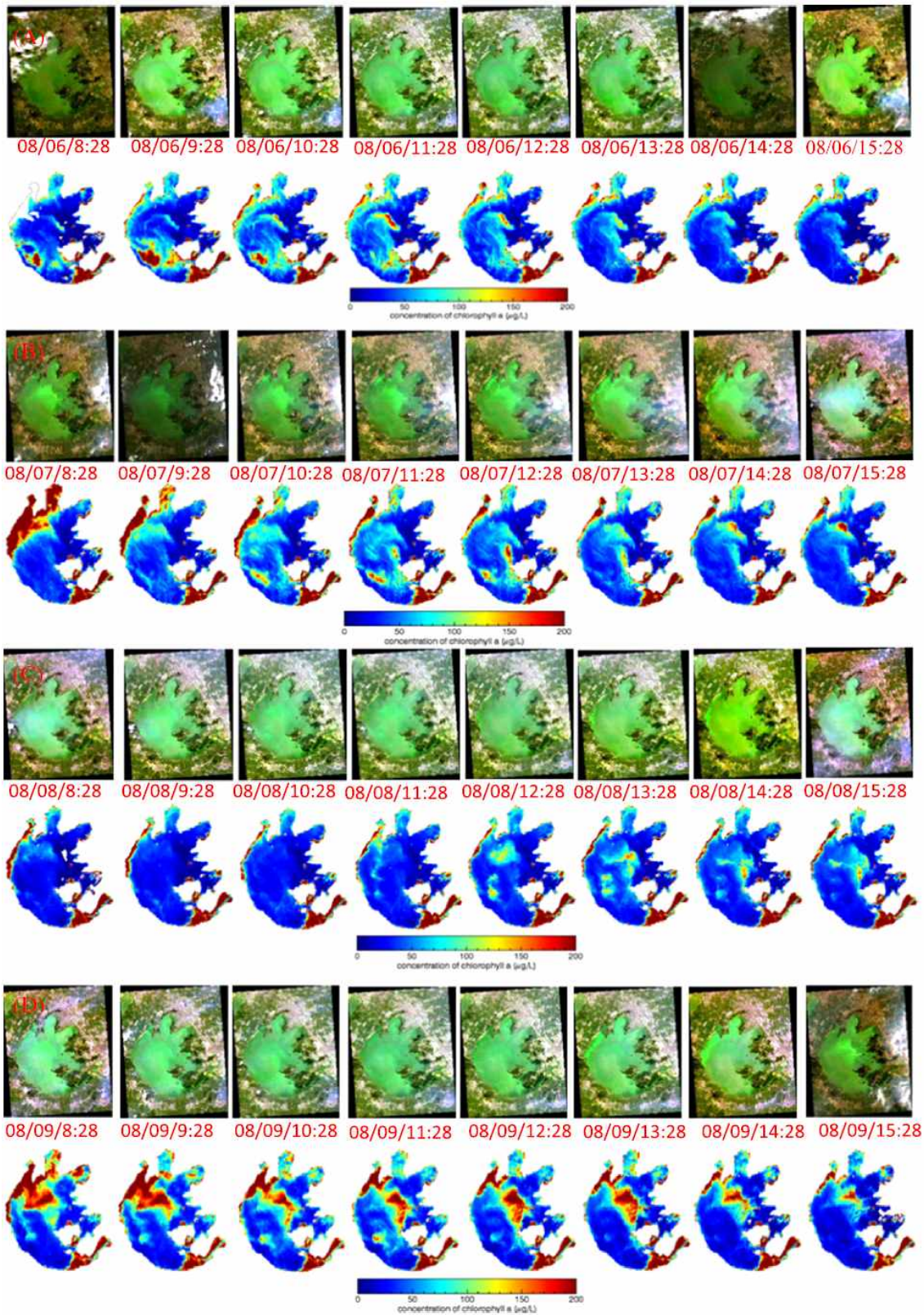


그림 9. 2013년 8월 6일부터 9일까지 매시간 촬영된 GOCI 영상자료를 분석한 장쭈성 타이호의 엽록소 농도 분포도와 RGB 영상자료 (Huang et al., 2015).

- Hu et al. (2016)는 공간해상도 500m의 정지궤도 해색센서 GOCI로부터 생산되는 시간별 위성영상자료를 이용하여 황해에서 northern Jiangsu shoal water (NJSW)와 southwestern Korean coastal water (SKCW) 사이에 존재하는 탁도전선의 일 변화를 분석하였음.

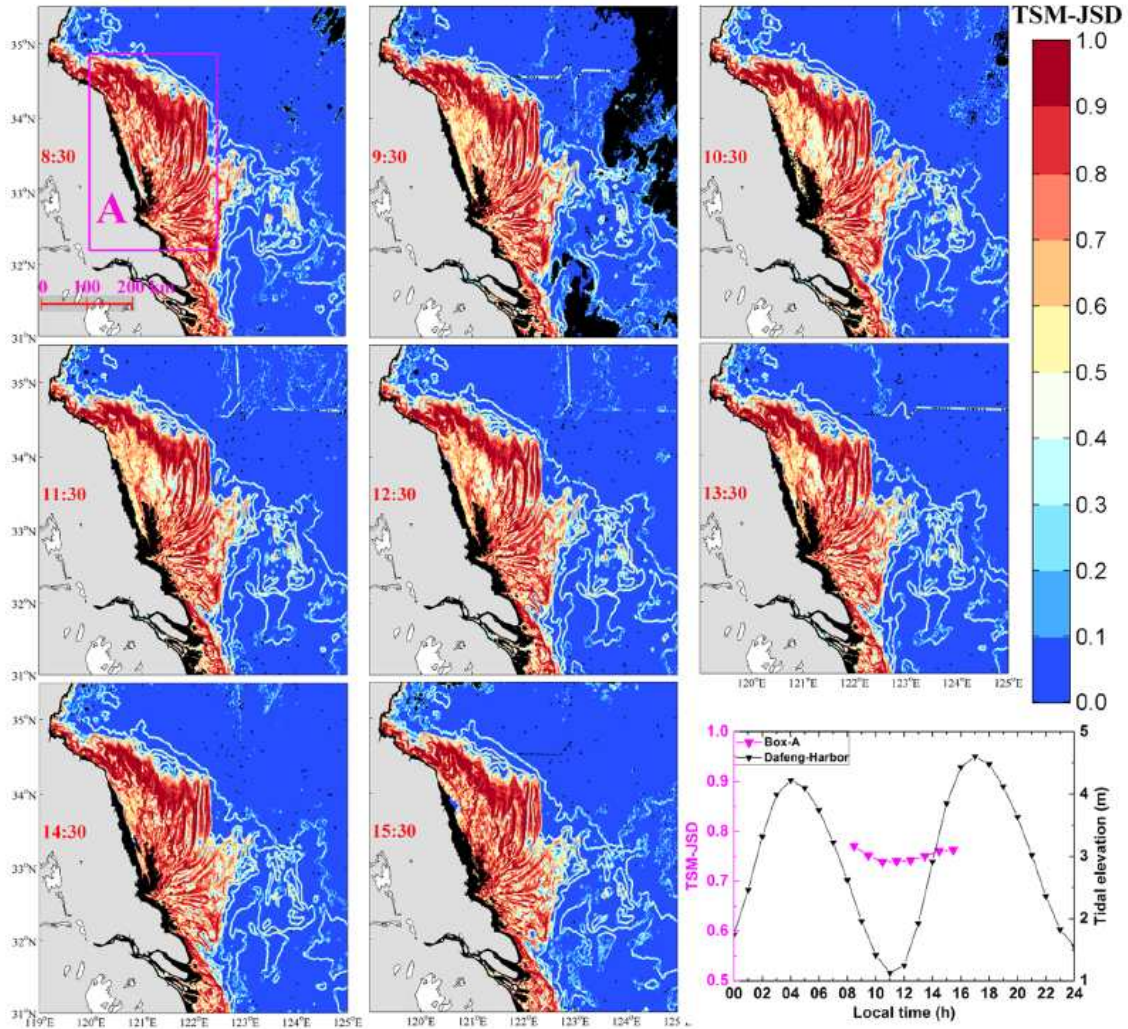


그림 10. 2015년 5월 12일 GOCI TSM 영상자료로부터 추출된 시간별 전선 패턴들 (Hu et al., 2016).

(2) 산출물 실증 및 고도화

- Ge et al. (2015)는 매일 8시간 동안 촬영하는 정지궤도 해색센서 GOCI의 위성영상자료와 CE Finite-Volume Community Ocean Model (CEFVCOM)를 이용하여 양자강 하구에서 퇴적물 침식에 대한 응력을 추정하는 연구를 수행하였음.

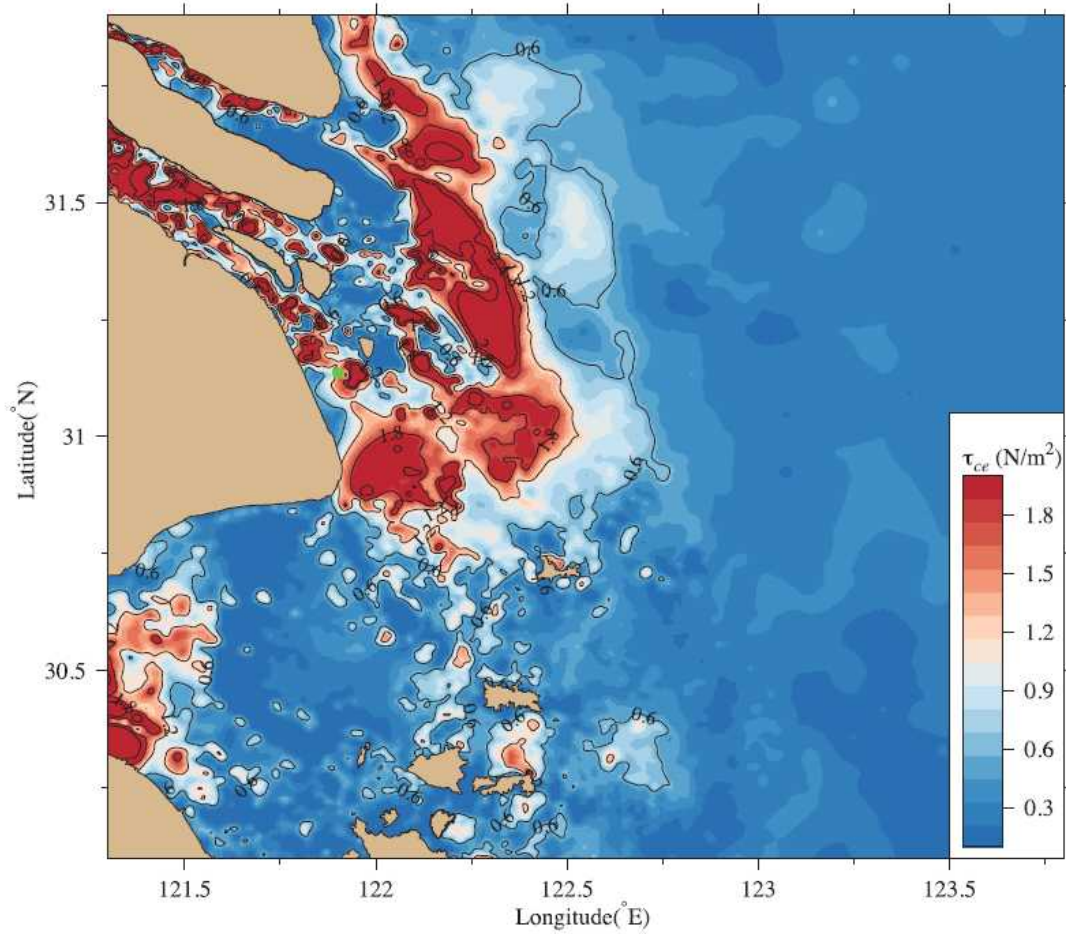


그림 11. GOCI 부유물 농도 영상자료를 이용하여 분석한 양자강 하구 주변 저층의 퇴적물 침식에 대한 응력 임계값 추정 분포도 (Ge et al., 2015)

- Warren et al. (2016)는 다년간 저장되어 있는 정지궤도 해상센서 GOCI의 위성영상자료에 Maximum Cross Correlation (MCC) 기법을 적용하여 해양 표층 흐름을 추정하고 HF 레이더를 사용하여 검증하는 연구를 수행하였음.

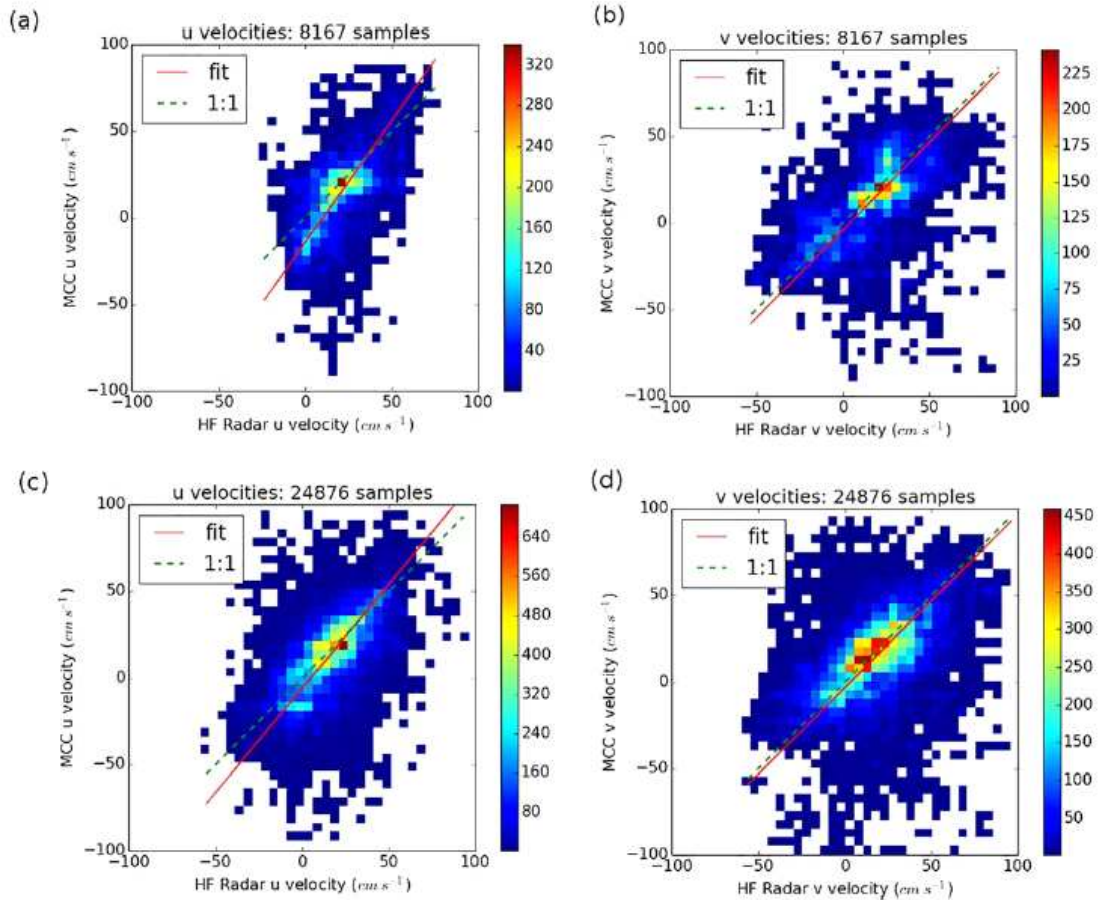


그림 12. MCC 기법을 적용하여 GOCI 영상으로부터 얻은 표층 흐름 벡터와 HF 레이더 실측값 비교 (Warren et al., 2016).

나. 이상징후(해황) 및 해양 환경 취약 해역 탐지 기술

(1) 해양쓰레기

- UN에서는 해양쓰레기가 인류를 위협하는 중대한 요소 중 하나라고 언급함, 2005년 UN 총회에서 세계적으로 해양쓰레기에 관한 정보가 부족함을 지적.
- UNEP와 IOC가 공통으로 국제 해양쓰레기 모니터링 프로토콜을 개발 (UNEP/IOC, 2009).
- FAO에서는 버려지거나 손실된 그물에 관한 보고서 제출 (FAO, 2009).
- 일본의 경우 2002년부터 환경성을 중심으로 「표류·표착쓰레기 정책에 관한 관계성청 연락회」를 설치하고 정보교환을 실시하고 있음. 여기서, 관계성청의 참가범위는 내각부, 총무성, 외무성, 수산청, 경제산업성, 국토교통성, 기상청, 해상보안청, 환경성이 포함됨 (한국해양수산개발

발원, 2004).

- 미국은 senate bill 362에 의해서 해양쓰레기 연구, 보존과 감축헌장이 2006년에 발효됨. 2010년까지 5년간 최대 150억 규모로 사업을 진행하였으며, NOAA와 US Coast가 주관이 되어 여러 프로그램들을 실시함.
- 오스트레일리아는 동남아시아와 접한 북쪽 해안을 대상으로 해안에 밀려오는 쓰레기에 대한 해양쓰레기 정책의 기초자료 확보를 위한 모니터링 실시 (정, 2009).

(2) 해파리

- Barrado et al. (2014)는 지중해에서 항공 촬영으로 해파리를 탐지함. 고도 100 m 이하, 해상도 1 cm 이하일 때 대형 해파리가 효과적으로 탐지됨.

(3) 갈조

- 중국에서는 갈조 피해를 줄이기 위해 2017년부터 갈조 모니터링을 시작함. 이에 따라 중국 국가해양환경모니터링센터 (NMEMC)에서는 위성 원격탐사 모니터링을 수행함.
- Qi et al.,(2017)은 MODIS 영상을 이용하여 2015년과 2017년 동중국해의 모자반 분포를 모니터링 함.
- Xing et al.,(2017)은 GF위성 영상을 이용하여 2016년 10월 산둥반도 동쪽 에서 나타난 모자반이 남하하여 저장성 연안으로 이동하는 것을 관측함.

(4) 녹조

- Hu et al.,(2010)는 MODIS와 Landsat 영상을 이용하여 2008년 이전에 있었던 황해와 동중국해의 부유해조류를 탐지함.
- Keesing et al.,(2011)은 MODIS 영상을 이용하여 2007년부터 2009년까지 황해의 녹조면적을 산출하고 이 해역의 환경과 비교하여 녹조의 증가는 Porphyra 양식장의 증가와 높은 상관성이 있음을 주장함.
- Shen et al.,(2014)은 SAR 영상을 이용한 녹조 탐지법을 제시함.
- Qi et al.,(2016)은 MODIS 영상과 통계 분석법을 이용하여 2007년부터 2015년까지 황해의 녹조 변화를 분석함.
- Hu et al.,(2017)는 가시파래의 생체량에 따른 반사도 변화를 측정하였고, MODIS FAI 영상에 적용하여 2008년에서 2015년까지 황해 녹조 발생량을 추정함.
- Xiao et al.,(2017)는 부유해조류의 면적 추정에 일반적으로 사용되는

linear unmixing 방법과 새롭게 제안하는 spectral unmixing 방법을 비교하여 spectral unmixing 이 실제 면적과 유사함을 보여주었고 MODIS 영상에 적용하여 황해의 녹조 면적을 산출함.

- 부유해조류 탐지를 위한 원격탐사 알고리즘.

표 2. 부유해조류 탐지 알고리즘 (민, 2019)

Method	Description	Reference
NDVI	$(R_{NIR}-R_{Red})/(R_{NIR}+R_{Red})$	Rouse <i>et al.</i> , 1973
DVI	$R_{NIR}-R_{Red}$	Richardson and Wiegand, 1977
EVI	$G \times (R_{NIR}-R_{Red})/(R_{NIR}+C1 \times R_{Red}-C2 \times R_{Blue}+C3)$	Huete and Justice, 1999
MCI	$L_{709}-L_{661}-0.389(L_{753}-L_{661})$	Gower <i>et al.</i> , 2005
FAI	$(R_{rcNIR}-R_{rcRed})+(R_{rcRed}-R_{rcSWIR}) \times (\lambda_{NIR}-\lambda_{Red}) / (\lambda_{SWIR}-\lambda_{Red})$	Hu <i>et al.</i> , 2009
SABI	$(R_{NIR}-R_{Red})/(R_{Blue}+R_{Green})$	Alawadi, 2010
IGAG	$(R_{555}+R_{rc660})/(R_{745}-R_{600})+(R_{745}/R_{660})$	Son <i>et al.</i> , 2012
SAI	$(SAI_{Algae\ pixel}-SAI_{Threshold} / \max(SAI_{Algae\ pixel}, SAI_{Threshold})) \times (0.25\ km)^2$	Gracia <i>et al.</i> , 2013
AFAI	$R_{rc, \lambda 2}-R_{rc, \lambda 1} / R_{rc, \lambda 2}=R_{rc, \lambda 1}+(R_{rc, \lambda 3}-R_{rc, \lambda 1})(\lambda_{2}-\lambda_{1})/(\lambda_{3}-\lambda_{1})$	Wang and Hu, 2016
VB-FAH	$(R_{NIR}-R_{Green})+(R_{Green}-R_{Red}) \times (\lambda_{NIR}-\lambda_{Green}) / (2\lambda_{NIR}-\lambda_{Red}-\lambda_{Green})$	Xing and Hu, 2016

(5) 적조

- 미국에서는 세포측정기(flow cytometer)와 현미경 시스템과 연결된 무인 카메라를 이용하여 유해 해조류를 감지 기술 개발하였고, 시간 시료 자동 채집기(AUV, ESP)를 개발하여 연안 적조 발생 이전 탐지를 위한 모니터링 연구 수행하고 있음.
- 유럽에서는 유해적조 모니터링 및 Mapping 사업을 추진함으로써 정기적인 감시 및 조기경보시스템을 운영 중임.
- 일본에서는 동경대학 및 토호쿠대학에서 세계 최초의 적조 데이터베이스

스를 구축함.

- 적조 탐지를 위한 원격탐사 알고리즘.

표 3. 적조 탐지 알고리즘 (신, 2017)

Method	Description	Threshold	Sensor	Red tide species
$b_{bp}/b_{bp} \text{ morel}$	$b_{bp}(555) = -0.00182 + 2.058 \times R_{rs}(555)$ $b_{bp}(555) \text{ morel} = 0.3(chl)0.62 \times \{0.002 + 0.02 \times [0.5 - 0.25 \times \log_{10}(chl)]\}$ (where <i>chl</i> is MODIS OC2 chlorophyll)	2<	SeaWiFS MODIS	<i>K. brevis</i>
Feasibility of red tide detection (FRTD)	Suspended solid considering particles of red tide bloom $= -11.51 \times \ln\{[{}_nL_w(488)/{}_nL_w(555)]\} + 14.38$	15<	MODIS	<i>C. polykrikoides</i>
Spectral shape at 490 nm (SS)	$SS(490) = {}_nL_w(490) - {}_nL_w(443)$ $- [{}_nL_w(510) - {}_nL_w(443)] \times \frac{(490) - (443)}{(510) - (443)}$	<0	SeaWiFS	<i>K. brevis</i>
Red tide Index (RI)	$RI(DII) = 10^{-\frac{0.1069 \times [L_w(443)]^3 + 0.6259 \times [L_w(443)]^2 - 1.3936 \times L_w(443) + 0.919}{RCA}}$ $RCA \text{ RI} = 0.316 e^{(0.61 \times RI(DII))}$ RCA: Red tide index Chlorophyll Algorithm	-	SeaWiFS	<i>C. polykrikoides</i>
Modified Red tide Index (MRI) method	$MRI = \frac{R_{rs}(555) - R_{rs}(443)}{R_{rs}(490) - R_{rs}(443)}$	4<	GOCI	<i>P. donghaiense</i>
Chlorophyll anomaly technique	Using increase in chlorophyll concentration from the mean of the previous 60 days	<1 μg^{-1}	SeaWiFS	<i>K. brevis</i>
FLH method	$chl = 1.255(FLH \times 10) \times 0.86$ FLH: Fluorescence Line Height	-	MODIS	<i>K. brevis</i>
Analysis of optical characteristics	Analysis of bio-optical data such as $R_{rs}(\lambda)$, $b_b(\lambda)$, chlorophyll <i>a</i> (high-chlorophyll, low-backscattering)	-	SeaWiFS MODIS	<i>K. brevis</i>
Two-stage filtering method	Two-stage filtering processes(SST, 667 nm wavelength filtering) based on MODIS Red tide Index(MRI)	-	MODIS	<i>C. polykrikoides</i>
Spectral classification method	Red tide classification (4 stage) considering fluorescence peak and detritus/CDOM	-	GOCI	<i>C. polykrikoides</i>

(6) 저염분수

- 중국 근해 해양종합조사와 평가 프로젝트(908프로젝트)는 중국 내 연구기관과 연구원이 총 동원되어 중국 최대의 해양조사로 6년 간 (2004-2009) 20억 위안(약, 2500억 원)의 예산으로 중국 연근해를 종합적으로 조사함.
- 일본은 기후변화에 대한 해양생태계 변화 연구에 있어 Odate Project를 통하여 1950년대부터 지금까지 일본 주변 해역에 대한 시계열 해양조사 자료를 확보하고 있음.
- Binding et al.(2003)은 SeaWiFS의 해색자료를 이용하여 CDOM의 광흡수율을 계산, 이를 염분으로 환산하는 알고리즘을 구축하고, 이를 스코틀랜드 인근 Clyde Sea에서 검증 실시.
- Sasaki et al.(2008)은 MODIS의 해색자료를 이용하여 Chl-a와 CDOM에 대한 변수를 계산, 이를 염분으로 환산하는 알고리즘을 구축하고, 이를 동중국해 북부에서 검증함.
- Bai et al.(2013)은 MODIS 해색자료를 이용하여 CDOM에 대한 변수를 계산, 이를 염분으로 환산하는 알고리즘을 구축하고, 이를 한반도 인근 해역에서 검증함.
- Sun et al.(2019)은 선박조사를 통해 황해에서 염분을 관측하였고 황해에 특화된 염분 탐지 알고리즘을 개발하여 GOCI에 적용하였음.

(7) 해사채취

- 해사채취 시 발생하는 부유물 흡입에 의한 굴 유생의 사망률 추정 연구 (Reine and Clarke, 1998).
- 해사 채취 시 발생하는 부유물 흡입에 의한 태평양 연어의 사망률 추정 연구 (Arsenault, 1981).

(8) 원전배출수

- Tang et al., (2003)은 중국의 Daya Bay 원전배출수를 NOAA/AVHRR 수온 영상으로 시계열 별동을 연구함.

(9) 유류유출

- IMO에서는 ‘유출유 대응 매뉴얼’을 개발하였으며, 사고이후 유출의 현황정보수집을 가장 우선시 하고 있음 (IMO, 1988).
- 국제유조선선주오염방지연맹(ITOPF)에서는 인공위성 원격탐사 기술 적용을 통한 유류 모니터링을 권장함 (ITOPF, 2008).
- 유럽에서는 CleanSeaNet (<http://cleanseanet.emsa.europa.eu/>) 서비스 체계를 통하여, SAR를 이용한 상시 유출유 모니터링을 실시하고 있음.

(10) 수중가시거리

- Kirk (1986)는 클로로필이 거의 없는 맑은 해양, 클로로필 농도가 높은 용 승해역 그리고 육상 담수에서의 $K_d(\lambda)$ 값의 비교 연구 수행.
- Zaneveld et al., (1981)은 $K_d(\lambda)$ 와 상층 해양에서의 열전달 연구 수행.
- Lewis et al. (1990)은 적도 근처의 태평양을 대상으로 위성으로부터 얻어진 투명도 값과 상층부 열에너지를 비교함으로써 가시광 영역의 태양 에너지가 상층부의 혼합층으로 다량 침투됨을 알아냄.
- Morel and Antonie (1994)는 대양 상층부에서 태양 에너지의 흡수와 열전달 효율이 클로로필 농도와 높은 상관관계가 있음을 발견.
- Chang and Dickey (2004)는 연안 상층부의 태양에너지 전달이 클로로필과 용존유기물 농도에 영향을 받는 것을 발견.
- Platt et al., (1998), Sathyendranath et al., (1989), Marra et al., (1995), McClain et al., (1996)은 수심에 따른 수직적 클로로필의 생체량을 추정하는 데에 $K_d(\lambda)$ 를 이용함.
- NASA에서는 SeaWiFS 센서에 맞는 $K_d(\lambda)$ 알고리즘을 개발하여 사 용함.
- Museler (2003)는 멕시코만의 $K_d(\lambda)$ 계수와 수중에서의 수직, 수평적 가시거리, 그리고 흡광 및 소산 계수를 연구함.
- Mishra et al., (2005)는 혼두라스 Roatan 섬 주변의 $K_d(\lambda)$ 특성 연구.

(11) 육상산출물

- Shao and Zhao (1998)는 Landsat 영상을 이용하여 중국과 북한에 있는 창바이 산맥의 식생변화를 연구함.

다. 지역해 특화 수산자원 변화 및 지원

(1) 어장 정보 기술 개발

- Chen 등(2009)은 표층수온, 엽록소a 농도, 해수면고도, 표층염분 자료를 이용하여 동중국해 인근 해역에서의 참고등어의 서식적합지수(HSI) 모델을 산출하였음
- Suhartono 등(2015)는 해수면온도와 클로로필 자료와 GIS 정보를 이용하여 인도네시아 주변 해역에서의 줄무늬고등어의 어장 정보를 파악 하였음.

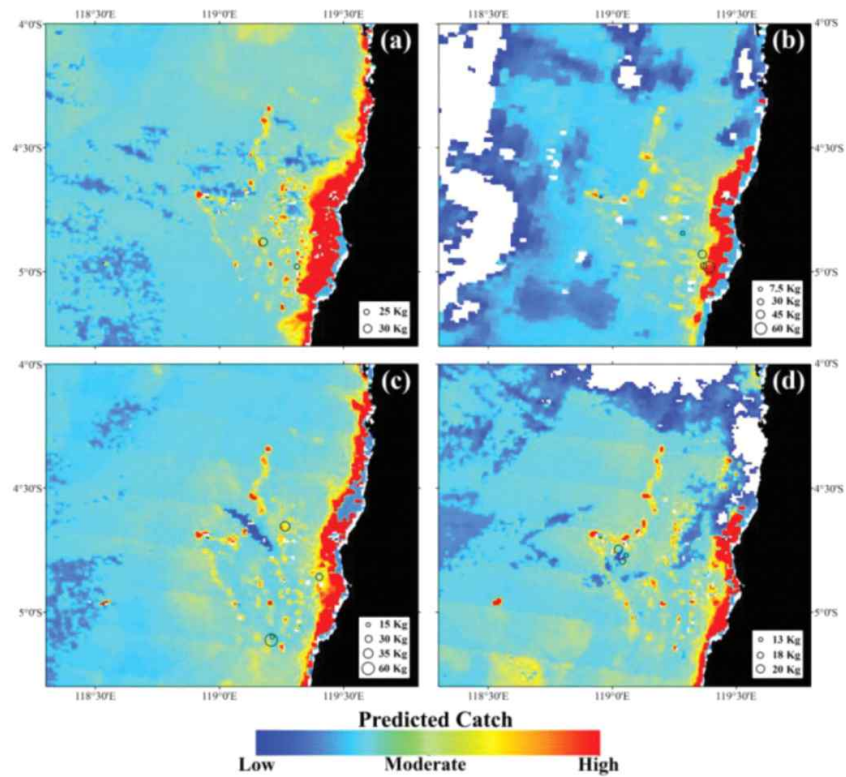


FIGURE 6. Fishing potential maps of (a) 14 April 2008, (b) 4 May 2008, (c) 16 June 2009 and (d) 25 June 2009.

All prediction maps showed the potential fishing grounds which occurred along the coast

그림 13. 줄무늬 고등어의 어장 정보 결과 (Suhartono et al. (2015))

- Muslim (2018)은 MODIS Aqua의 해수면 온도를 이용하여 인도네시아 주변 해역의 가다랑어의 어장을 추적함
- Rollan 등(2018)은 VIIRS의 야간영상을 이용하여 필리핀 근해의 해역 중 134개의 핵심 어장 지역(core fishing areas, CFAs)를 확인함. CFAs는 계절적으로 다른 경향을 보이며 강도 또한 다른 경향을 보이는 것을 파악함

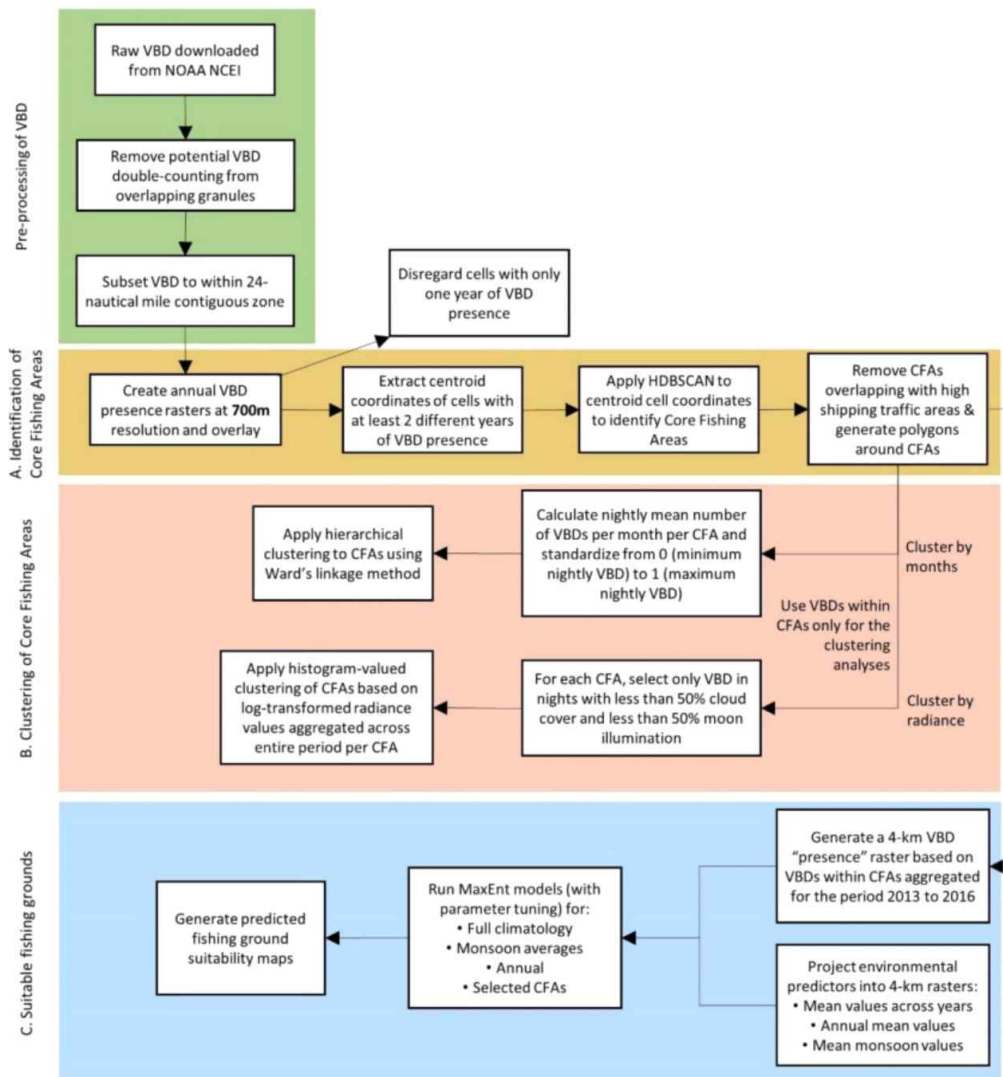


Figure 1. Flow of application of VIIRS boat detection data to map out potential fishing grounds for small pelagic fishes in the Philippines. VBD: VIIRS boat detection; CFA: core fishing area; HDBSCAN: hierarchical density-based spatial clustering of applications with noise.

그림 14. VIIRS 야간 영상을 활용한 어장 정보 확인을 위한 흐름도
(Rollan et al. (2018))

(2) 어장정보 서비스

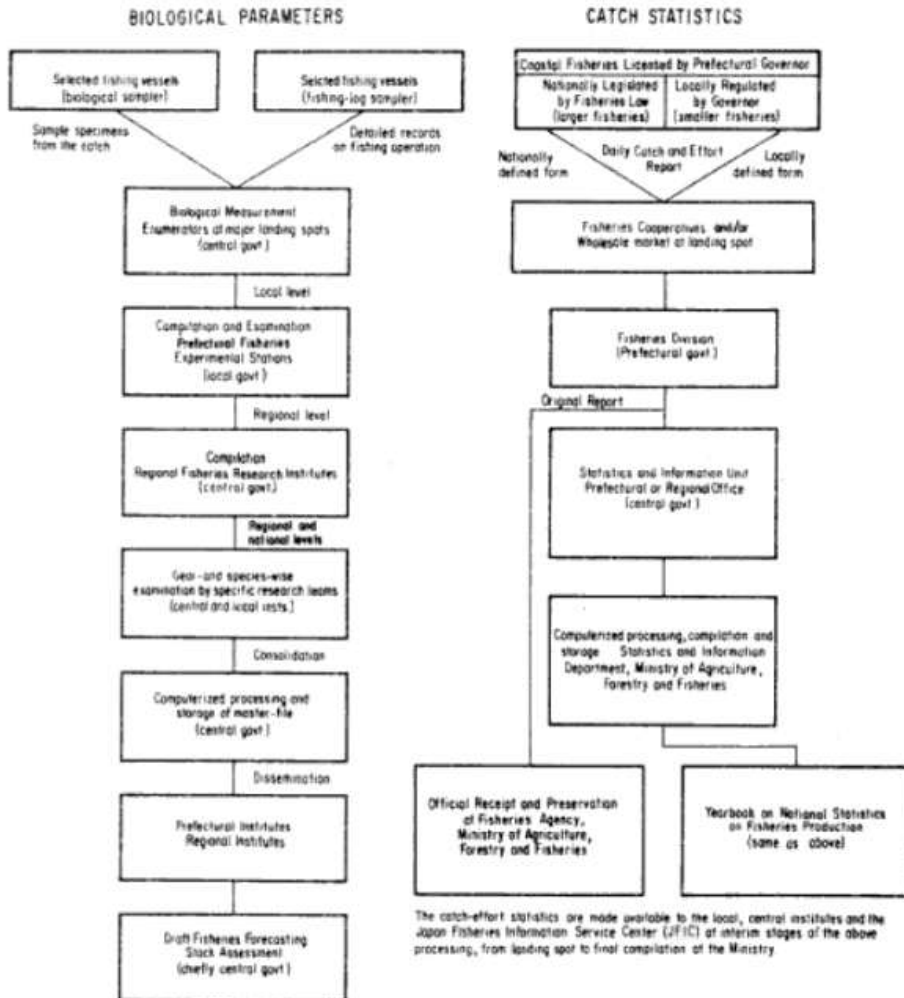


그림 15. JFIC의 어장 예측을 위한 데이터 수집과 분석 전개도(FAO, 1988)

- 일본은 1963년 이상 저온현상에 의한 어업피해가 발생한 것을 계기로 해황 예보 사업을 시작하고, Japan Fisheries Information service Center(JFIC; JAFIC)를 통해 1988년부터 NOAA의 AVHRR 자료를 분석한 어장 예측 정보를 제공해 왔으며, 2013년에는 JAFIC을 사단법인으로 변경하고 어황 및 해황 정보를 유료로 제공하고 있음.
- JFIC에서는 위성영상을 분석한 어황/해황 정보뿐만 아니라 다양한 정보를 수집하고 체계화하여 제공하고 있으며, 정보 수집 및 처리 기술 개발, 어업정보의 효과에 대한 조사 및 연구, 어업자원의 해양에 대한 지식의 보급 등의 역할을 수행함.

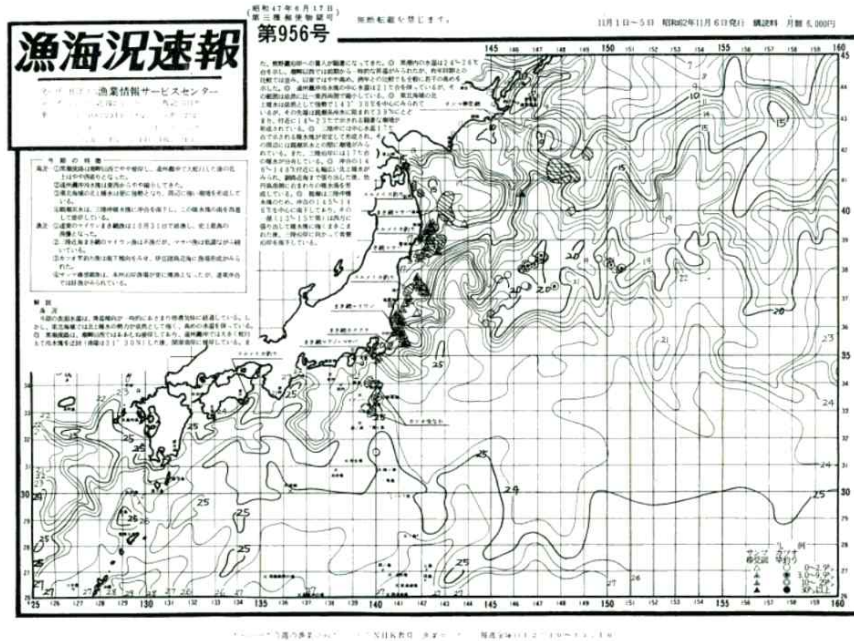


그림 16. 일본 주변해역의 어장 예측정보(front) 제공 예시(FAO, 1988)

- 미국은 1984년에 설립된 Ocean imaging 사에서 제작한 Seaview 소프트웨어를 통해 어장을 예측할 수 있는 기본 정보인 해수면온도(SST), 클로로필(CHL) 은 물론 해류, 폐수 유출, 해안 유출수, 해안 탁도, 적조, 켈프 및 다시마 층의 성장 등을 위성영상으로 분석하여 제공하고 있으며, 유료로 운영되고 있음.
- Ocean Imaging 사는 미국의 National Aeronautics and Space Administration (NASA), Environmental Protection Agency (EPA), National Science Foundation (NSF), Bureau of Safety and Environmental Enforcement (BSEE), International Boundary and Water Commission, United States Navy, United States Coast Guard, USDA U.S. Forest Service, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)등의 다양한 기관과 협력관계를 유지하고 있으며, 이를 통해 정보를 수집 분석하고 있음.
- Ocean Imaging 사는 위성분석 영상의 제공을 위해 HRPT(High Resolution Picture Transmission System) AVHRR 위성 다운 링크를 운영하여 정보를 전송하고 있으며, 인터넷 또한 이용이 가능함. 제공하는 영상은 MODIS, VIIRS, Landsat 7, Landsat 8, RapidEye, Sentinel 2A & 2B, ERS-1 SAR 등의 여러 지구관측위성의 영상이며, 제공되는 정보는 일반적인 알고리즘 분석뿐만 아니라 합성영상, 시계열 분석 등 다양한 분석을 통해 얻어진 데이터를 제공하고 있음.

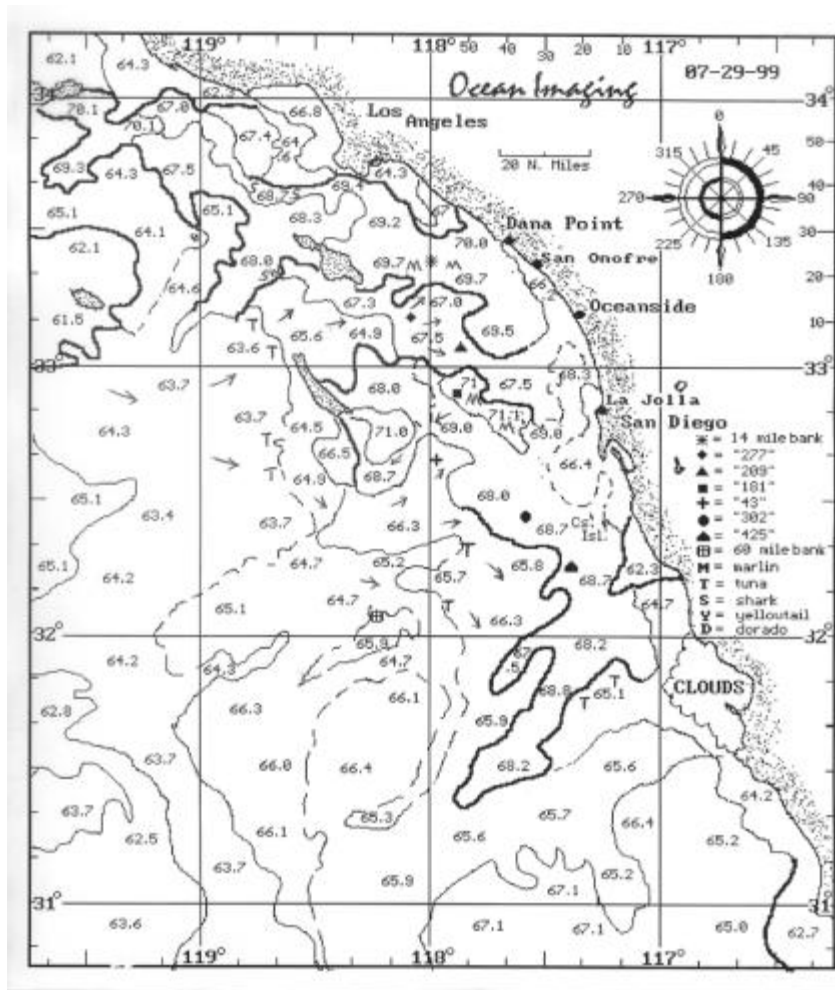


그림 17. 1999년에 Ocean Imaging 사에서 제공된 어장정보
(Ocean Imaging, 2018)

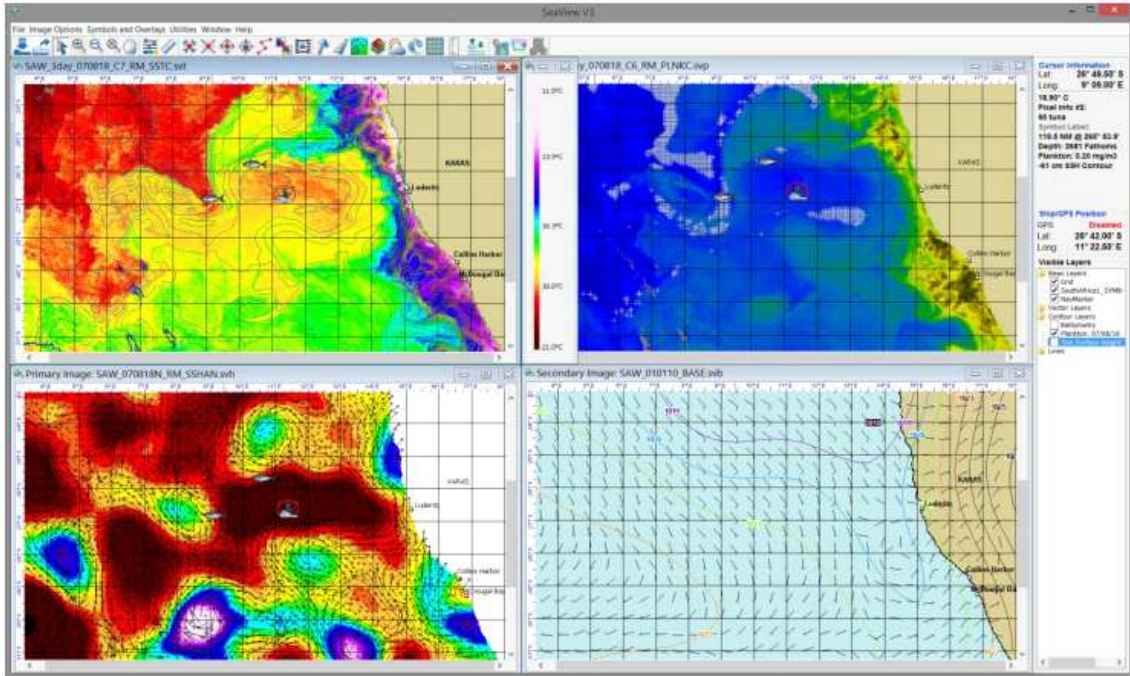


그림 18. 현재 Ocean Imaging 사에서 서비스 하고 있는 Seaview 소프트웨어 화면 (Ocean Imaging, 2018)

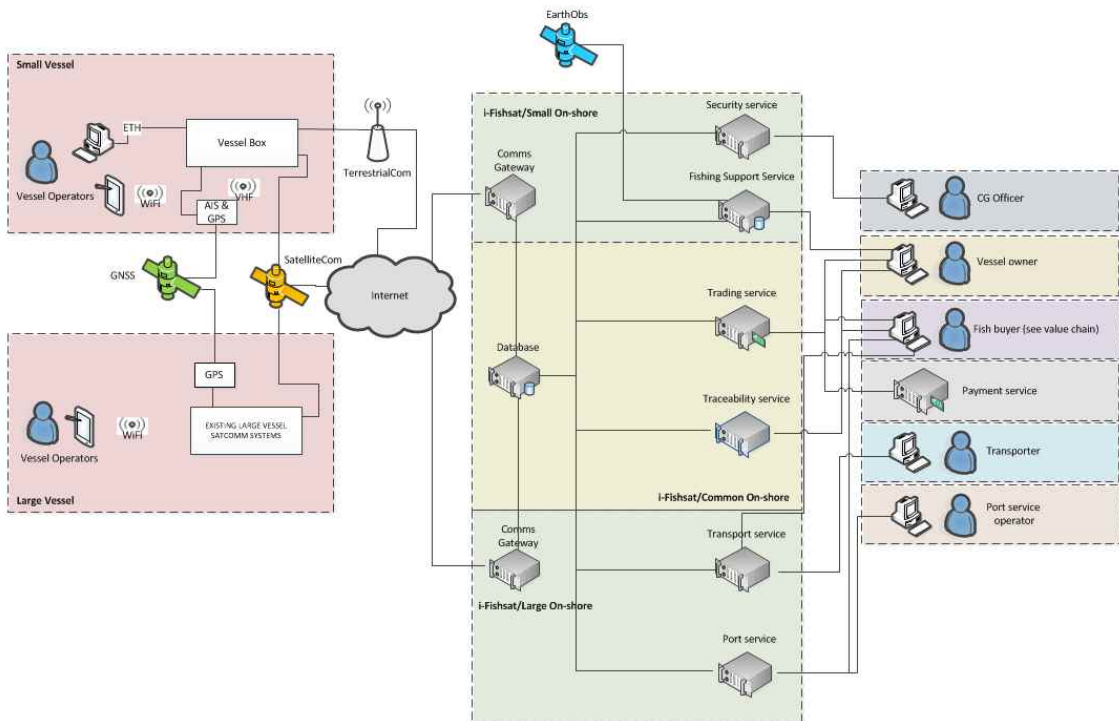


그림 19. ESA에서 구성한 iFisat 서비스 체계도

- 유럽에서는 European Space Agency(ESA)의 지구관측위성 정보의 제공을 통해 어업 활동의 효율성을 증가시키고 시장 수요에 맞는 어업 활동을 가능하게 하기 위해 Fishsat 프로젝트를 진행함. 일방적인 정보 제공을 통한 어획량 증가가 목표가 아니며, 어업 활동의 효율성을 증가시키고 제한된 어업활동을 막아 지속적인 어업활동을 가능하게끔 하는 것이 목표임.
- Fishsat 프로젝트 이후에는 I-Fishsat 프로젝트를 통해 전자 상거래 플랫폼의 영역까지 그 범위를 확장함. 지구관측위성을 통해 확인된 어장 정보를 제공하고, 불법어업을 막으며, 전자 상거래 플랫폼을 통해 배위에서 어획물을 즉시 판매하여, 수요와 공급을 조절하고, 보다 질 좋은 어획물 제공이 가능토록 하고 있음. 또한 이를 통해 정확한 어획 정보를 확보하고 다시 이를 분석해 보다 질 높은 정보를 제공하고 있음.
- 영국의 AVATI와 SATOC, 이탈리아의 Flyby와 PXL이 I-Fishsat 사업의 계약자로 되어있으며, 어업인에게로의 정보제공과 어획정보 입력을 위한 도구로 태블릿 PC를 사용함. 지구관측 정보는 가용가능한 모든 위성 정보를 기본으로 하며 여기에는 Altimeter 위성인 Envisat(RA-2), Jason-1, Jason-2, GFO, ERS-2, Scatterometer 위성인 Quikscat, Metop (ASCAT), ERS-2, SAR(Synthetic Aperture Radars) 위성인 Envisat (ASAR), Radarsat, TerraSAR-X, Radiometer 위성인 Envisat (AATSR), NOAA (AVHRR), Spectral sensor 위성인 Envisat (MERIS), Aqua (MODIS), Proba (CHRIS), Quickbird 가 포함됨.

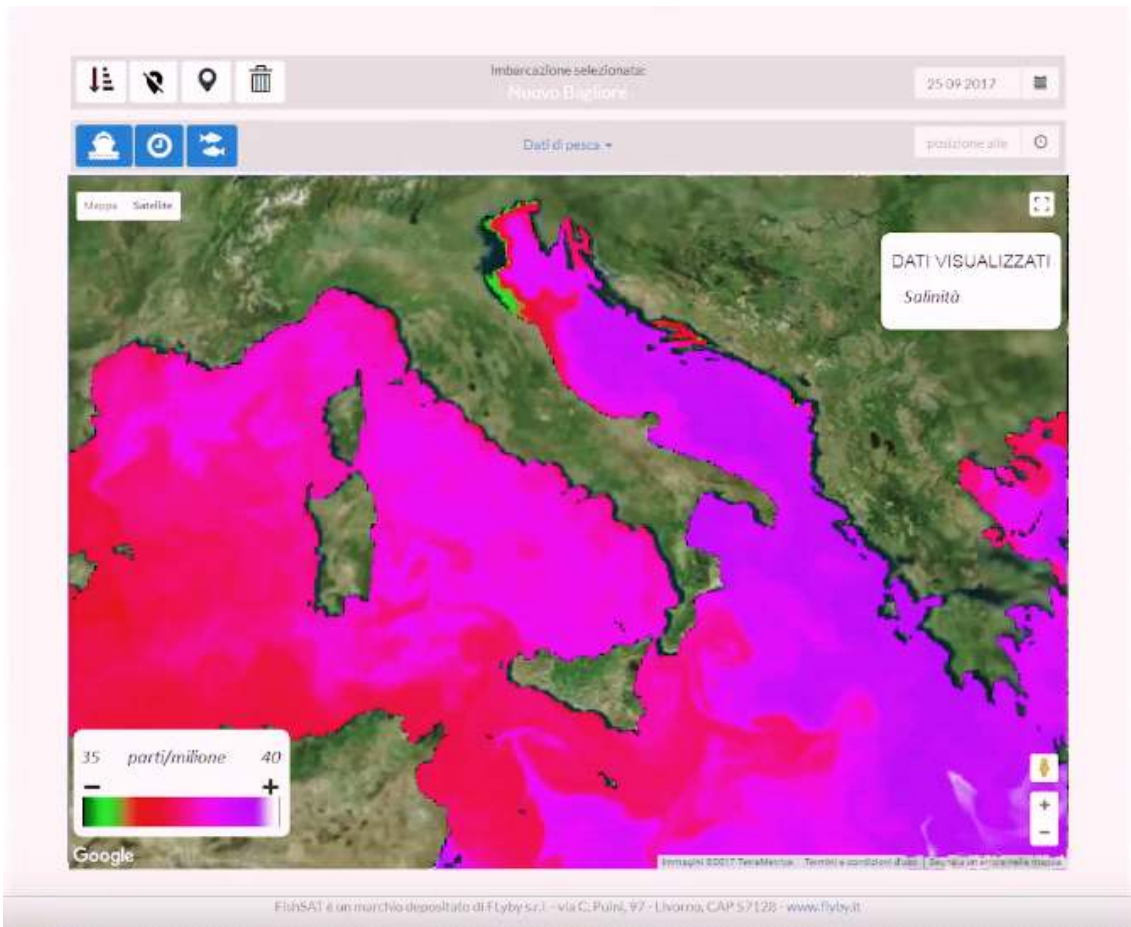


그림 20. I-Fishsat에서 제공하고 있는 해황 정보 화면(Salinity)

제 2항 기후/해양 활용 연구

가. 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 구축

(1) 국외 위성 연속자료 구축 현황

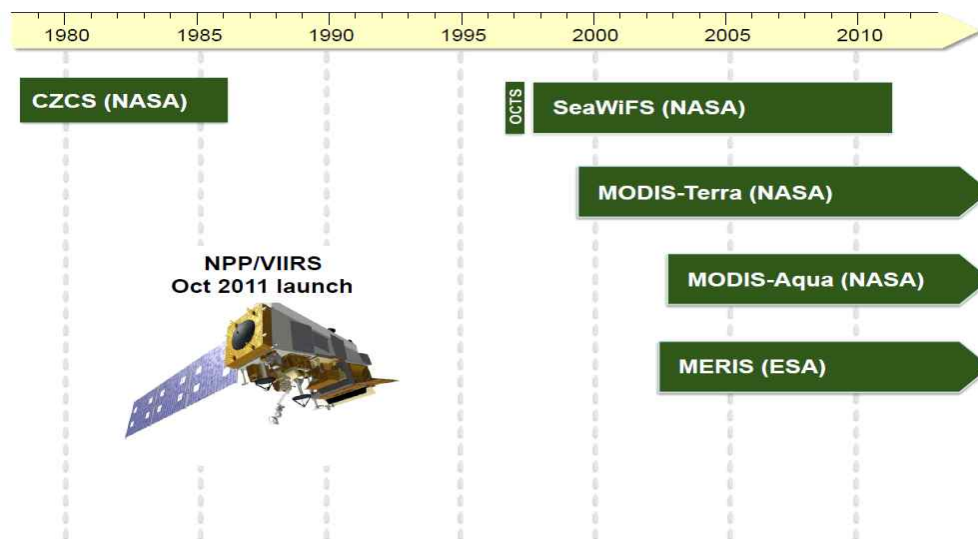


그림 21. 국외 해색위성 운영 기간 timeline 및 위성 운영/ 기관 현황

- 미국은 SeaWiFS(1997-2010), MODIS/Terra(2000-현재), MODIS/Aqua(2002-현재), VIIRS(2011-현재) 등 여러 극궤도 해색위성 시리즈를 운용해 왔음
- NASA Goddard Ocean Biology Processing Group(OBPG)는 향후 기후변화 연구와 활용을 위해서, 1998년부터 제공된 여러 해색위성산출물의 연속된 장기 타임시리즈 자료를 제공함
- 이를 위해서 각 센서 복사보정, 운영 중첩 기간 동안 위성자료 상호비교, 각 센서 복사보정, 대리 교정을 지속적으로 수행하여, 해색위성 시리즈 자료를 재처리(reprocessing)하여 자료를 개선하여 사용자들에게 제공함
- 특히, 두 개 이상 해색위성이 동시에 운용되는 기간 (2003-2010년: MODIS와 SeaWiFS, 2013-2016년: MODIS와 VIIRS) 동안의 복사관측 및 해색산출물 타임시리즈를 비교하여 상호검증을 수행함
- ✓ 그 결과 2003-2010년에는 MODIS와 SeaWiFS가 대부분 잘 일치되는 결과를 보여, 독립적으로 얻어진 두 해색위성자료의 일관성은 이들 해색위성산출물 정확도의 신뢰성을 반증함
- ✓ 2013년 이후 MODIS 후반기 임무 수행동안, 산출물 품질 저하를 발견하여, 위성 데이터 사용자에게 자료 품질에 관한 주요 이슈를 공지함

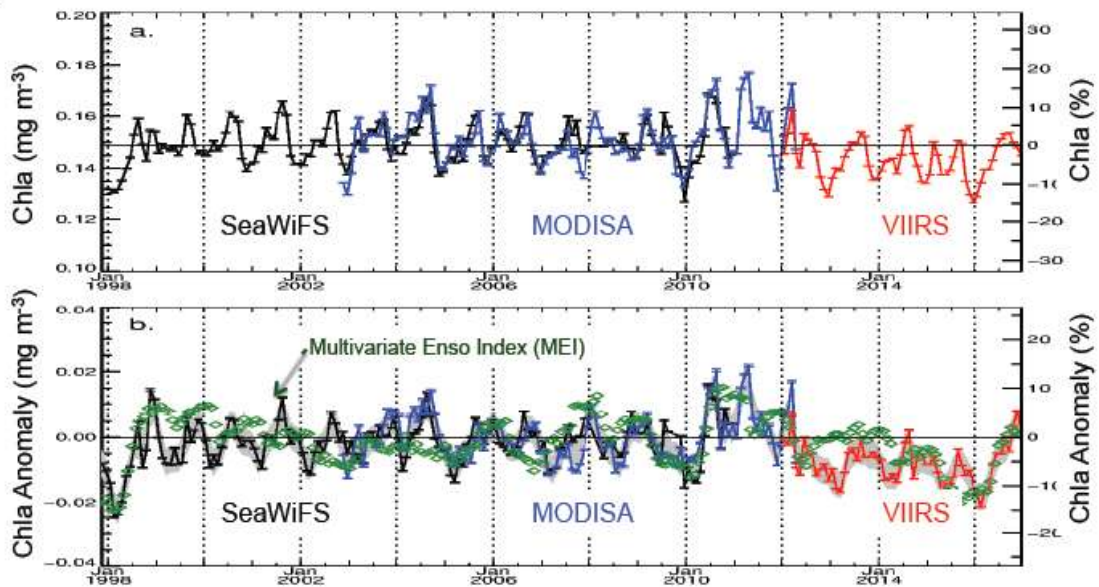


그림 22. NASA에서 분석중인 지난 17년간 다중위성기반 Chl-a의 장기변동성: SeaWiFS(검정선), MODISA(파랑선), VIIRS(빨강선) (Franz et al. 2017)

MODISA and VIIRS R2014.0 Chlorophyll Deep-Water Time-Series

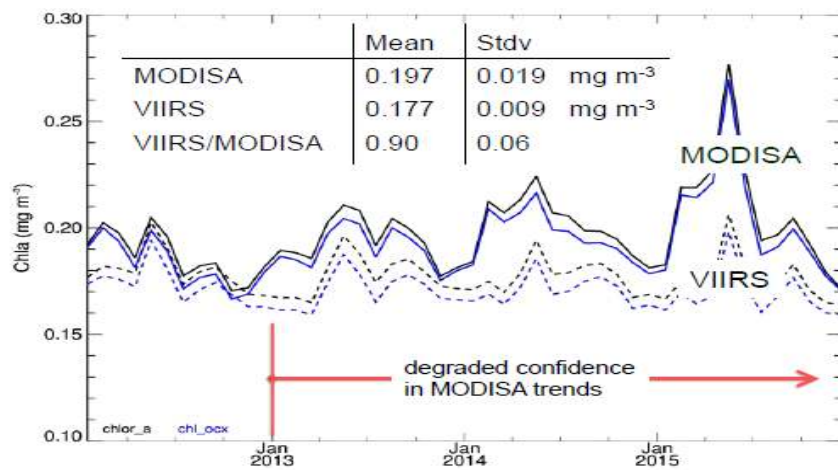


그림 23. NASA OBPS에서 수행중인 위성상호간 비교검증을 통한 장기 해석 기후데이터 구축

(2) 해색위성간 상호 검증 분석

- NASA OBPG에서는 최종 산출물 뿐 아니라 여러 위성의 원격반사도 (Remote sensing reflectance)도 상호 비교 분석을 수행하여 장기적인 위성 자료의 품질 평가 자료로 이용함
 - ✓ 2003-2010년 기간동안 MERIS와 SeaWiFS의 상호 비교 결과 센서 복사보정과 대리 교정을 통한 재처리가 필요성을 알게 됨
- NASA와 NOAA는 위성자료 비교 분석뿐 아니라 고정관측소, 선박관측 자료를 이용하여, 해색위성 간 상호 검증을 수행하고 있음
 - ✓ NASA OBPG (B. Franz 박사 그룹)은 SeaBASS와 AERONET-OC 현장관측 클로로필 농도 자료를 검증 reference 자료로 이용하여, 위성간 교차 분석을 수행하고 있음
 - ✓ Zibordi et al.(2005)는 고정관측소 복사 관측자료를 이용하여 SeaWiFS, MODIS, MERIS 위성 자료의 품질 관리를 수행함
 - ✓ 태평양에 MOBY 광학부이를 설치하여 현재 운용중인 모든 해색위성의 검보정을 수행
 - ✓

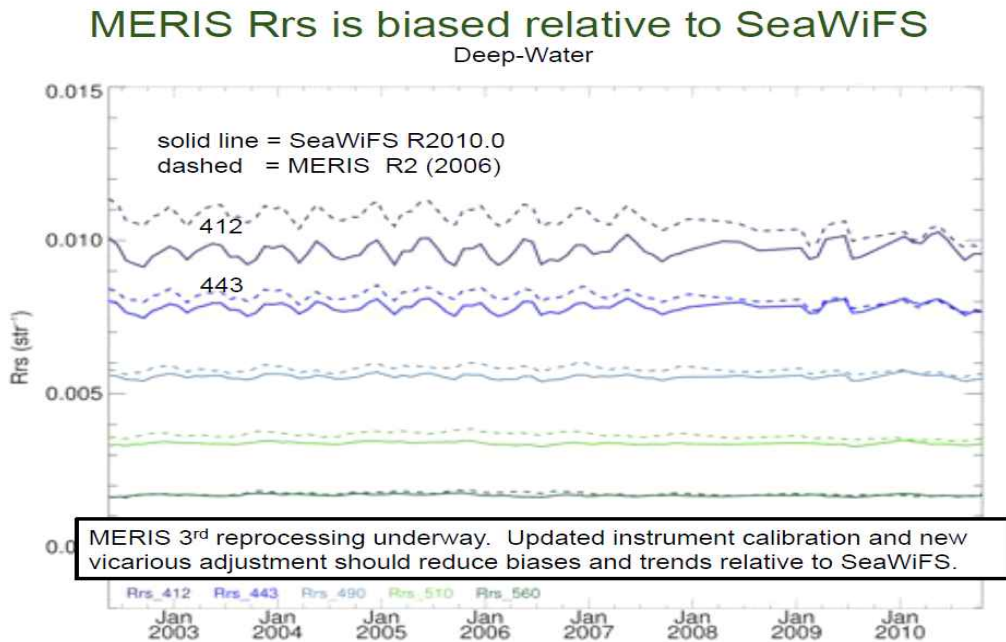


그림 24. SeaWiFS와 MERIS 밴드별 원격반사도의 상호 비교(NASA OBPG 제공)

SeaWiFS vs. SeaPRISM (현장관측)

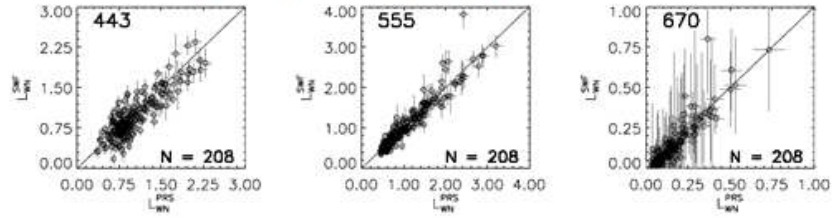


Figure 1. SeaWiFS $L_{WN}^{SWF}(\lambda)$ versus SeaPRISM $L_{WN}^{PRS}(\lambda)$ normalized water-leaving radiances in units of $\text{mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$. The horizontal error bars indicate uncertainties estimated for the spectral SeaPRISM data, while the vertical error bars indicate the standard deviation across the 3×3 SeaWiFS pixels centered at the AAOT.

MODIS vs. SeaPRISM (현장관측)

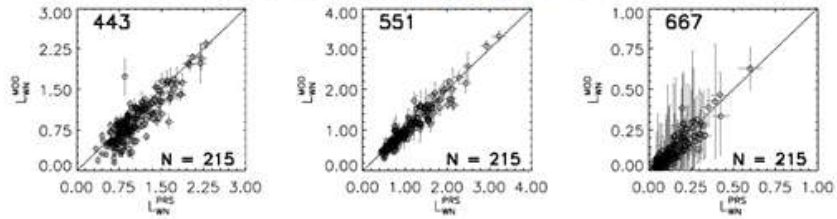


Figure 2. Equivalent to Figure 1 but for MODIS $L_{WN}^{MOD}(\lambda)$ normalized water-leaving radiances.

MERIS vs. SeaPRISM (현장관측)

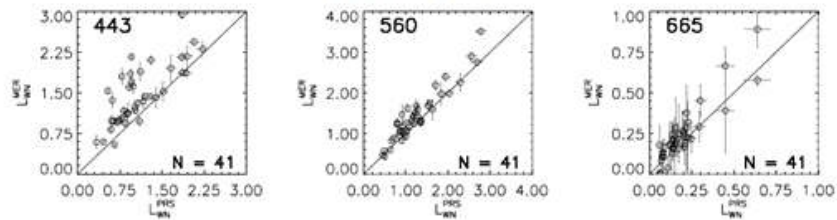
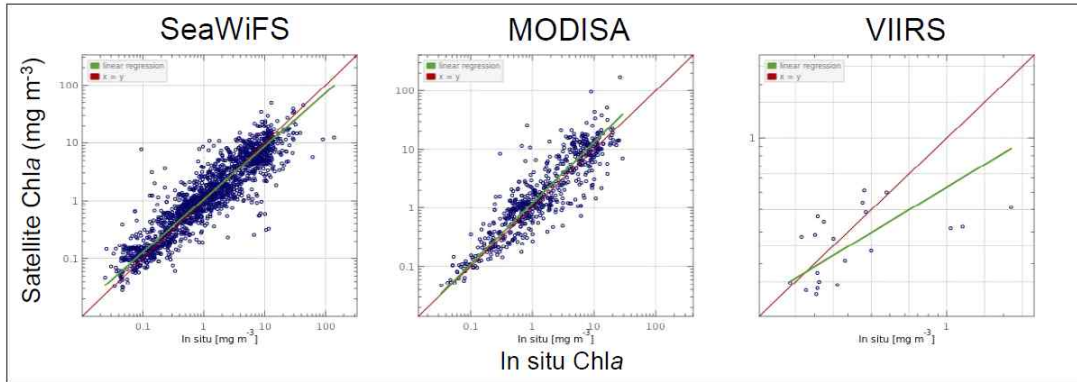


Figure 3. Equivalent to Figure 1 but for MERIS $L_{WN}^{MER}(\lambda)$ normalized water-leaving radiances.

그림 25. 고정 관측소 자료를 이용한 여러 해상위성간 장기자료 비교 (Zibrodi et al., 2006)



		PRODUCT	COUNT	SLOPE	INT (mg m ⁻³)	R ²	MED RATIO	APD (%)	RMSE (mg m ⁻³)
Chlorophyll a	All	SeaWiFS	1739	0.92	0.02513	0.83	1.07	37.3	0.29030
		MODISA	653	1.04	0.07814	0.80	1.19	40.7	0.30814
		VIIRS	21	0.63	-0.27375	0.27	0.86	34.9	0.27166
	Deep	SeaWiFS	363	0.83	-0.09787	0.74	1.01	32.4	0.24365
		MODISA	113	0.87	-0.10674	0.85	0.97	22.5	0.19605
		VIIRS	17	0.50	-0.37107	0.30	0.79	40.9	0.29676

그림 26. SeaBASS와 AERONET-OC 현장관측 클로로필 농도 자료를 이용한, SeaWiFS, MODIS/Aqua, VIIRS/NPP 자료 상고 검증 예시(NASA OBPG)

(3) 국외위성의 재처리 현황

- NASS와 NOAA에서 운용하는 해양위성은 위성 발사 이후 (위성 임무 종료 이후에도) 자료 품질 관리를 위해서 지속적인 알고리즘 업데이트 및 자료 재처리를 수행하고 있음
- ✓ SeaWiFS: 1998년부터 2018년까지 총 15회 알고리즘의 업데이트 및 재처리
- ✓ MODIS-A: 2022년부터 총 11회의 알고리즘 업데이트 및 자료 재처리

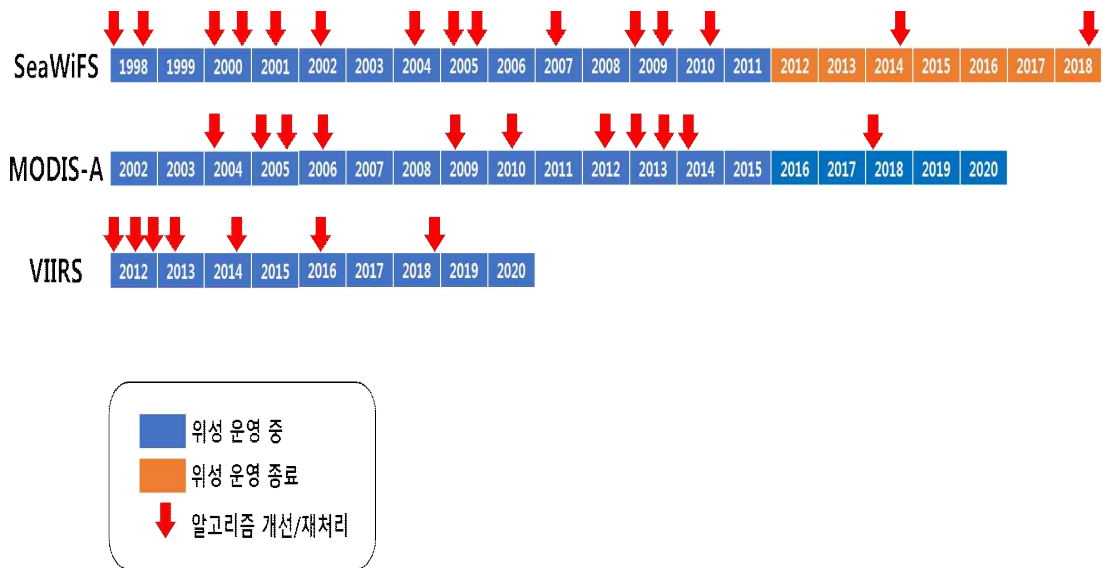


그림 27. 국외 해양위성 알고리즘 업그레이드 및 재처리 현황

나. 기후 변화 관련 산출물 개발

- 미국 NASA에서는 SeaWiFS, MODIS, altimeter, SAR 등 다양한 위성자료를 활용하여 생물량과 표층수온, 해수면고도 등 산출물을 개발하고, 이를 생물/물리적인 해양환경 변화 추적 및 예측 모델 개발의 기초 자료 등 다양한 연구에 활용하고 있다.
- 미국에서는 에너지부 산하 Carbon Dioxide Information Analysis Center(CDIAC) 연구소를 운영 중이며 기후, 탄소순환 등의 데이터와 해양 이산화탄소, SPRUCE(Spruce and Peatland Responses Under Climatic and Environmental Change) 등의 관측 프로그램 정보를 제공하고 있음(그림 6). 특히 해양분야에 있어서는 탄소순환 관련한 GLODAP(Global Ocean Data Analysis Project)를 운영하고 있음



Background & Mission of the Carbon Dioxide Information Analysis Center



그림 28. 미국 CDIAC 사이트

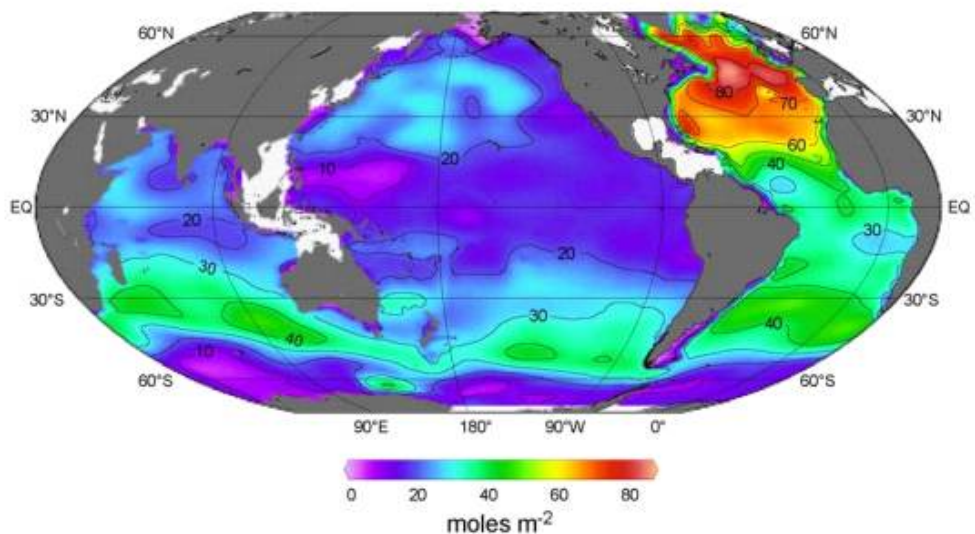


그림 29. GLODAP의 해양 이산화탄소 지도

- 해양의 일차생산에는 총 일차생산(Gross Primary Production)과 순일차생산(Net Primary Production)이 있으며 총일차생산은 독립영양 생물인 일차 생산자가 동화시킨 유기물의 총량으로써, 육상 생태계나 해양의 투광대에서는 총 광합성량과 거의 같은 값으로 나타남. 또한, 순일차생산은 총 일차생산에서 독립영양생물의 호흡량을 뺀 값으로, 이는 실제로 생산자의 생체량으로 축적된 양을 나타냄.
- Field et al. (1998)은 육상 및 해양 지역의 연간 탄소량을 분석하기 위해 순일차생산 지도를 제시하였음(그림 8).

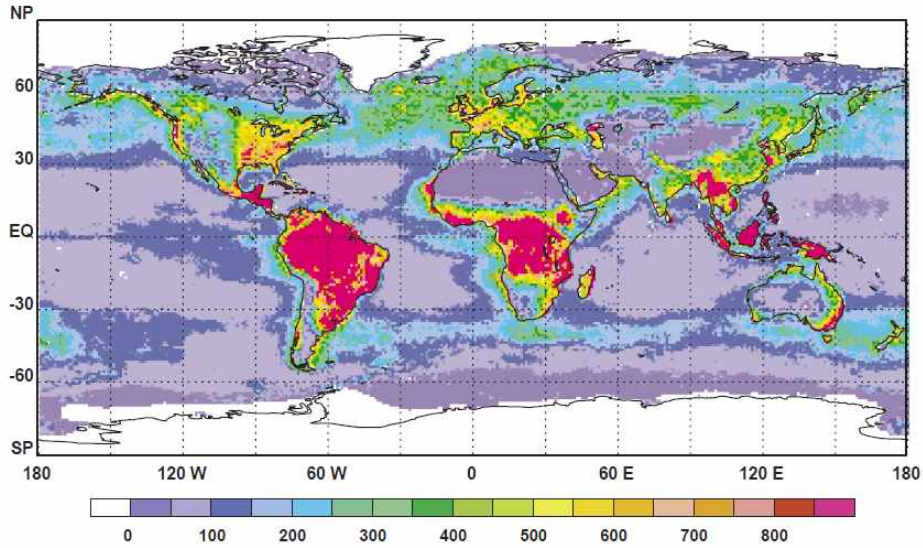


그림 30. 연간 순일차생산($\text{g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$) 지도. 해양지역은 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)를 활용. 육상지역은 AVHRR(Advanced Very High-Resolution Radiometer) 활용. Field et al. 1998

- Behrenfeld et al. (2006)은 해양지역에 대한 탄소배출량과 연관성이 깊은 순일차생산 지도를 제시하였음.

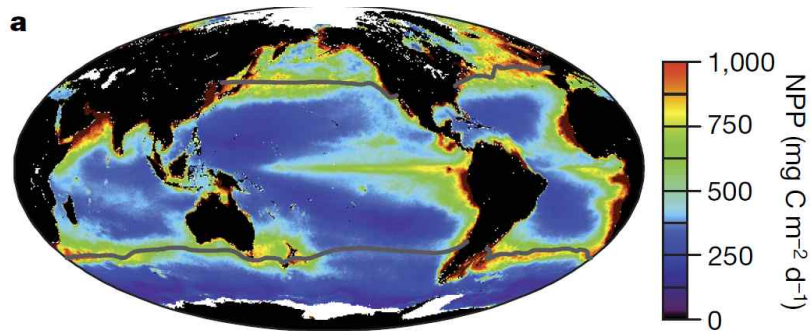


그림 31. 해양지역에 대한 일간 순일차생산($\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) 지도. SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor) 활용. Behrenfeld et al. 2006.

- 국제 해양학계에서는 현장 관측자료의 단점을 보완하기 위해 이미 90년대 중반부터 위성자료를 바탕으로 대기-해양간 탄소 교환량 추정에 대한 연구를 해왔음.
- QuickSCAT과 같은 microwave 위성자료를 이용하여 해수면 근처의 풍향과 풍속을 추정하고, SeaWiFS 및 MODIS 등 해색위성을 이용하여 도출해낼

수 있는 해수면온도, 클로로필 농도, 용존 유기물 자료를 이용하여 대기-해양간 탄소 교환량을 추정해내는 연구가 진행되어왔음 (Else et al., 2008, 그림 10)

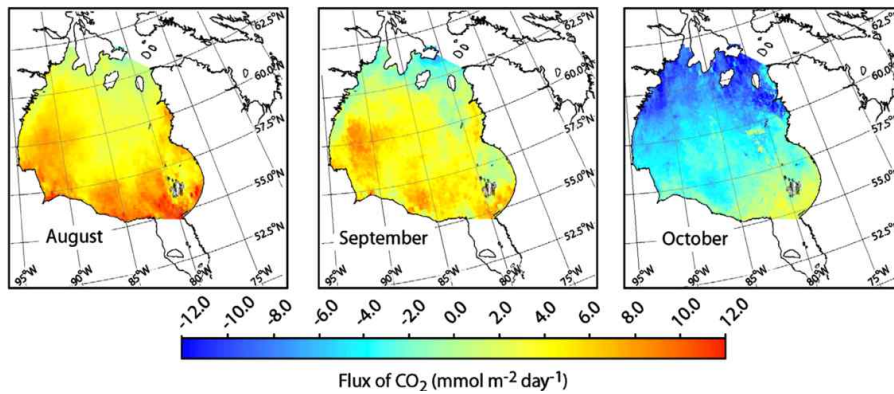


그림 32. 기후자료와 위성자료를 이용하여 도출된 캐나다 허드슨베이의 월간 이산화탄소 교환량. 붉은색은 대기로의 이산화탄소 배출을, 그리고 푸른색은 바다속으로의 이산화탄소 흡수를 나타냄 (Else et al., 2008)

- European Space Agency (ESA)에서는 2010년대 초중반 Ocean Colour Climate Change Initiative (OC-CCI) 프로젝트를 수행하고 장기간 기후변화 연구를 위한 지속적이고 신뢰할만한 위성자료를 제공하였음. 이 프로젝트의 세부 목표는 다중센서 자료로부터 산출되는 위성자료를 Ocean Colour Global Climate Observing System (GCOS) Essential Climate Variables (ECV)의 요구조건에 충족시키기 위한 알고리즘의 개발 및 검증, 국제적인 지구 관측과 기후 연구 및 모델링 커뮤니티의 학제 간 협력을 강화하는 것임.
- 세부적으로는 전지구적 범위의 해상 자료들을 제공하기 위한 위성 자료 재처리, 대기보정 및 해상 알고리즘 개발, 자료 융합 등의 작업을 수행하였으며, 이를 통해 기후 시스템 관련 연구에 정보 제공이 가능한 지속적이고 전지구적 범위의 특징을 갖는 위성 자료를 제공함으로써 기후변화에 대한 대응 전략 능력을 향상시켰다.
- OC-CCI에서 제공하는 재처리 위성자료는 현재 OceanColour-CCI 사이트에서 자료를 검색하거나 다운로드가 가능한데(<http://www.oceancolour.org/>), Composite browser나 web GIS portal을 통해 원하는 자료를 검색할 수 있으며, FTP 서버나 Opendap를 통해 자료를 쉽게 다운로드 받을 수 있음. 현재 ESA의 MERIS 자료, NASA의 SeaWiFS, Aqua-MODIS, VIIRS, CZCS 자료를 활용하여 생성된 총 흡광계수 (atot), 식물성 플랑크톤 흡광계수 (aph), 클로로필-a 농도 (chlor_a), 확산 감쇠 계수 (kd), 해수 반사도 (Rrs) 등 자료를 제공함.

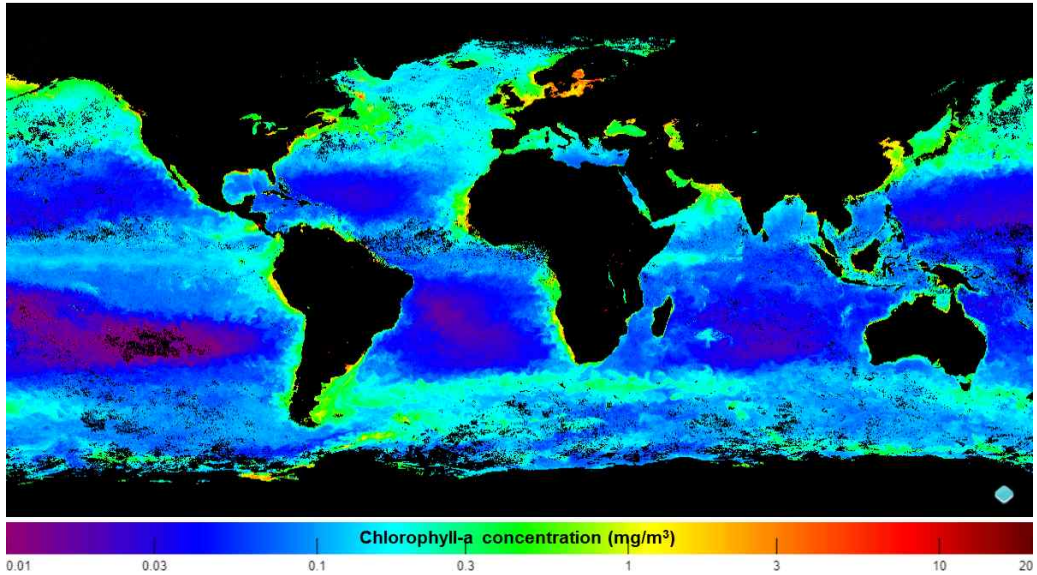


그림 33. 2018년 3월 ESA CCI 제공 monthly 클로로필 농도 맵 (v.4.0)

다. 기후변화에 따른 해양 생태계 변화 연구

- 미국 NASA에서는 “Global Climate Change: Vital Signs of the Planet”이라는 주제의 홈페이지 운영을 통해, 전지구적 기후변화 관련 이슈를 제공하고, 관련 최신 연구결과를 시각화하여 제공하고 있음
- 해당 웹사이트(<https://climate.nasa.gov/>)는 현재 전지구가 겪고 있는 갑작스런 기후변화의 증거가 되는 관측결과, 기후변화의 주된 원인, 그것이 가져오게 될 영향 등을 시각화하여 제공하며, 대기 중 이산화탄소, 전지구 온도, 빙하면적, 빙상 체적 등 실시간 기후변화 인자의 시계열 분석자료를 그래프 또는 애니메이션으로 보여준다. 또한 기후변화를 포함한 주요 지구과학 주제에 대해 제작한 영상자료를 제공함.

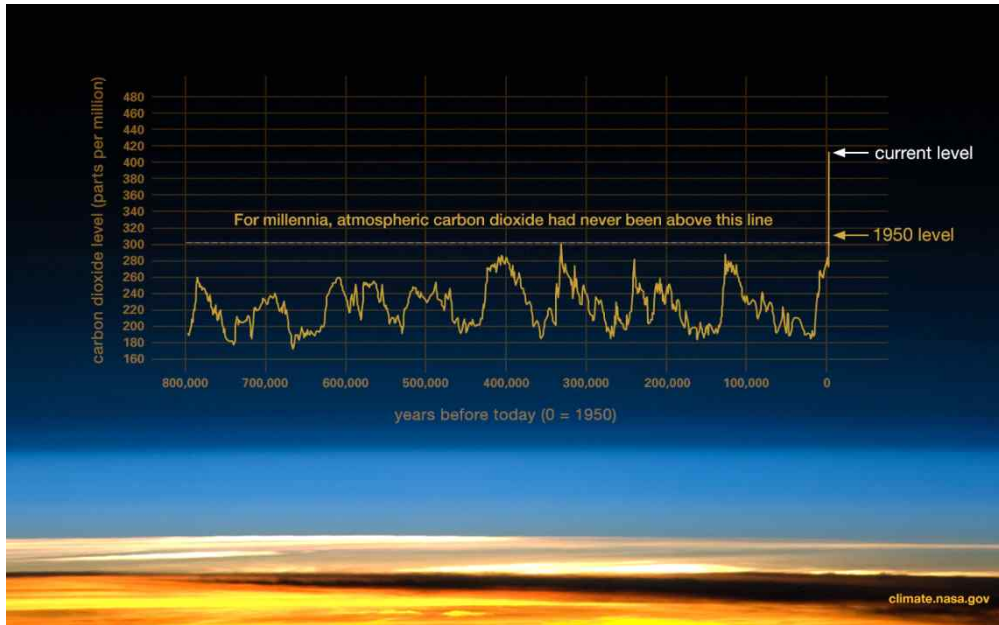


그림 34. 빙퇴적 코어에서 추출된 대기 기원 샘플과 최근의 측정자료 비교를 통해 분석 및 도시된 산업혁명 이후 대기 이산화탄소량 그래프

- 유럽에서는 영국 플리머스해양연구소(Plymouth Marine Laboratory, PML) 주도로 1995년부터 매년 대서양을 종단하는 해양조사를 수행하고 있으며 (Atlantic Meridional Transect, AMT), 여기서 얻어지는 자료를 분석하여 전지구 탄소순환모델에 대한 검증 또는 기초자료로 활용하고 있음. 현재까지 26회의 선상조사를 통해 22개국 256명의 과학자가 조사에 참여하였으며, 300편 이상의 논문이 출판되고 75명의 박사학위자가 배출되었음.
- 주된 조사 항목은 수괴의 수층별 CTD 프로파일 및 지속적인 관측 데이터, 수괴의 광학적 특성, 해수샘플에 의한 영양염류, 색소, 용존기체, 탄소, 질소 등의 생지화학적 특성, 일차생산력과 재생산력 등임. 식물플랑크톤 생태 뿐 아니라 동물플랑크톤의 생태를 함께 연구하고 있으며, 해양의 특성 외에도 과거 일부 프로그램에서는 대기 중 에어로졸 농도, 강우성분, 위성영상, 플랑크톤 군집 구조 등의 요소를 관측한 내용이 포함됨. 위 프로그램을 통해 획득한 자료들은 British Oceanographic Data Center(BODC) 홈페이지를 통해 다운로드 받을 수 있음.
- 이 조사의 결과들을 활용한 주된 연구들은, 해양 일차생산력의 장기변화, High Performance Liquid Chromatography(HPLC) 자료에 기반을 둔 식물 플랑크톤 크기별 군집 분포 변화, 해양 동물플랑크톤의 이동 확산 및 해양 산성화 연구 등임.

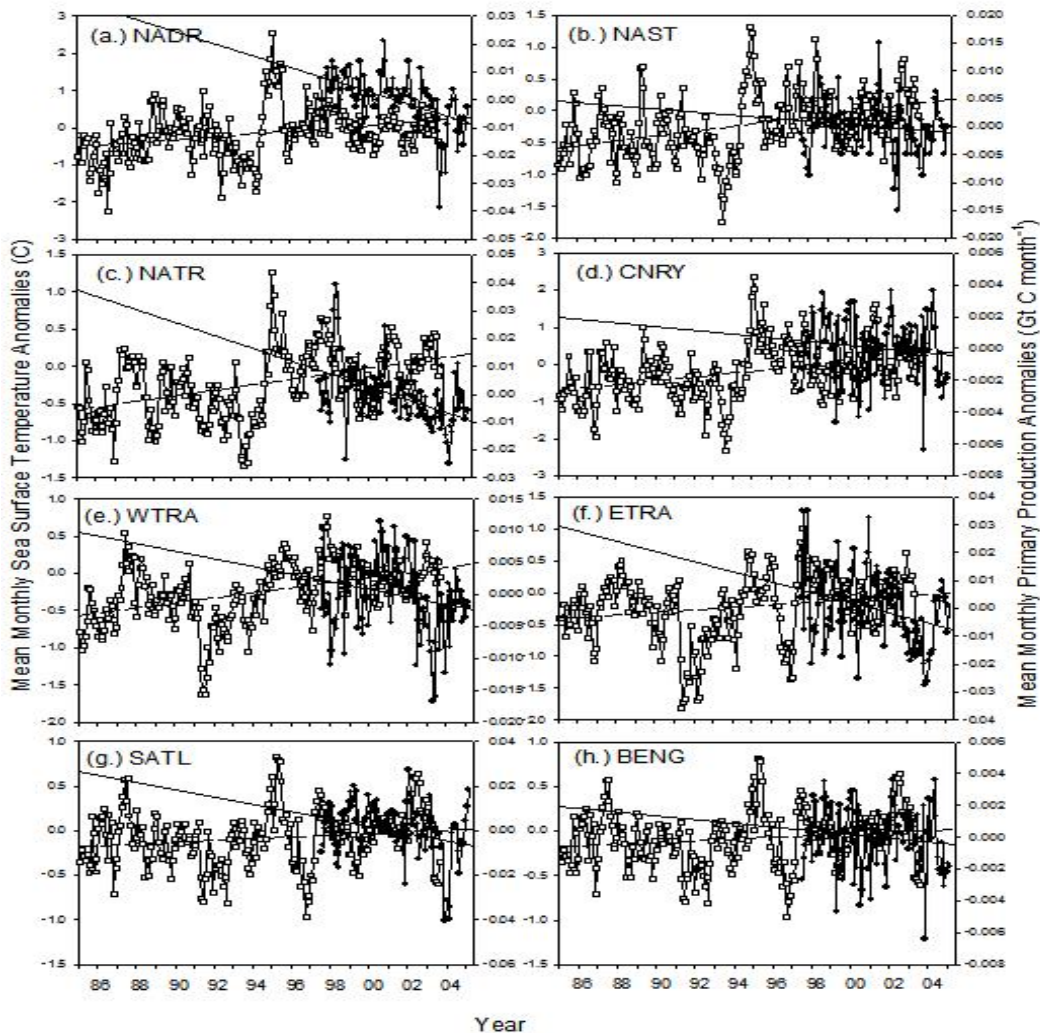


그림 35. 대서양의 8개 지역에 대해 SeaWiFS 기반으로 추정된 1998년부터 2005년까지의 월 평균 일차생산력 변동성 및 AVHRR 기반으로 추정된 1985년부터 2005년까지의 해수면온도 변화량

- 영국에서는 해양생물협회(Marine Biological Association, MBA) 주관으로 PML이 Western Channel Observatory(WCO)를 운영하면서 영국서남부 해협에 해양의 시계열 변화와 생물 다양성을 관측하는 고정점을 두고, 이를 통해 나오는 현장자료를 이용한 장단기 변화를 모니터링하고 있음.
- 연안에 위치한 L4에서는 매주, 외해에 위치한 E1에서는 2주에 한 번 관측이 수행되며, 관측결과는 PML의 생태계모델링 및 원격탐사 기반의 기후연구에 적용됨. WCO는 광특성, 수온, 염분, 영양염 등 해양생태계 기능에 중요한 인자들을 관측하는데, L4에서는 동/식물 플랑크톤과 트롤 어획량 등 지난 백년간의 장기 관측 자료가 축적되어 있으며, E1 또한 1903년부터의 해양자료가 관리되고 있음.

- 또한, PML은 L4와 E1에서 두 개의 부이를 운용하고 있으며, 매시간 자료를 수집한다. L4에서는 저서생태 또한 관측하고 있으며, 최근 해안에 대기 화학 관측점을 설치하고 미량가스 및 플럭스를 산출하고 있음.
- 이제까지 축적된 자료의 분석 결과들로, 현재는 해당 연안은 물론 먼 바다의 장기적인 느린 변화에 대한 이해가 가능하게 되었고, 플랑크톤의 정기적인 모니터링을 통해 상세한 해양 생태계 변화를 분석하고 있음.



그림 36. 영국 PML에서 운영하는 연안 및 외해의 고정 관측점

- Behrenfeld et al. (2006)은 기후변화에 대한 해양생산성의 관련성을 조사하기 위해서 해수면온도와 SeaWiFS 위성의 클로로필 농도 자료의 상관성을 조사하였으며, 2006년 Nature지에 출판됨
- ✓ SeaWiFS 위성 자료를 이용해서 약 10년간의 클로로필 농도와 NPP의 변화 양상을 조사한 결과, 1999년 이전에는 클로로필 농도와 해양생산성이 급격하게 증가하다가 1999년 이후에는 지속적으로 감소하는 추세를 보임
- ✓ 자연적인 기후변동성과 인위적인 요소를 구분하기 어려운 점도 있으나, 관측자료와 모델링을 통한 노력으로 해수면온도의 최근 상승 경향은 인위적인 forcing에 의해 강하게 조절 되는 것을 알았음
- ✓ 결론적으로, 엘니뇨로 전이할 때 평년인 해보다 해양탄소 흡수가 감소함을 보였으며, 이는 해수면 온도 증가에 따른 플랑크톤 감소 및 해양생산성 감소를 의미함
- ✓

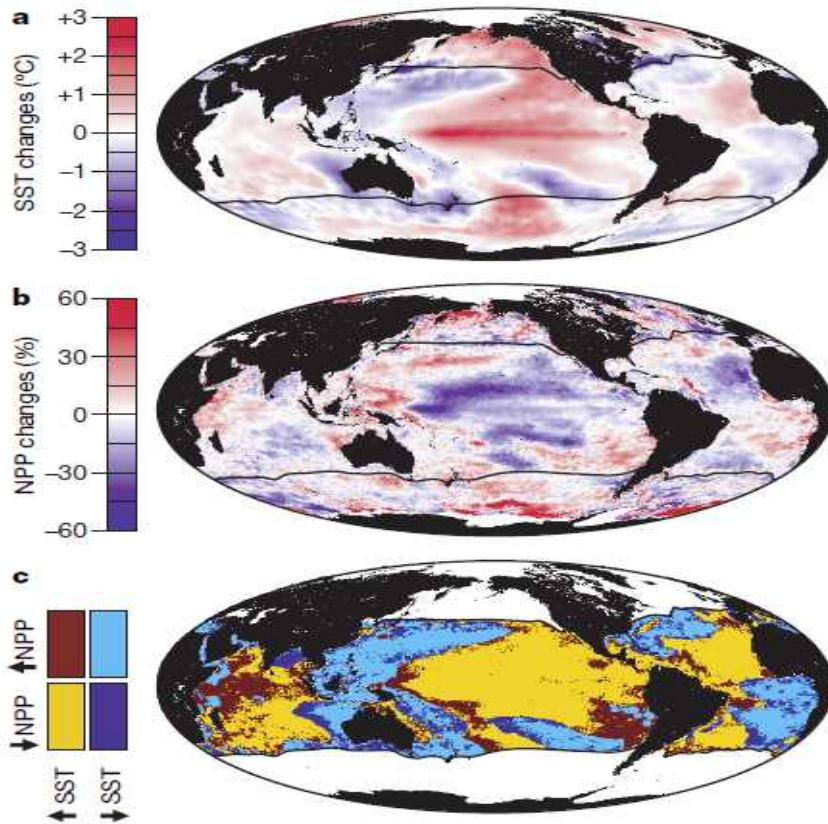


그림 37. 기후변화에 따른 해양 생산성 조절은 SST의 변화에 역비례하여 NPP가 변함

라. 관측 영역 국가 해양 현안 및 국제 협력

- 일본은 50년 전부터 동남아 시장에 진출하여 다양한 활동을 통해 아세안 국가들과 협력관계를 유지하고 있으며, 이에 아세안 지역의 위성 기술 국제 기술 개발과 협력 분야는 일본을 위주로 구성되어 있음.
- 일본은 위성 기술을 활용하여 아시아 태평양 지역에 다양한 문제를 해결하기 위한 목적으로 ASRSAF(Asia-Pacific Regional Space Agency Forum)를 1993년에 구성하고 지속적인 지원을 해 왔으며 2019년에는 나고야에서 26회째 행사를 진행함.
- 2006년 베트남 하노이에서 열린 ASRAF에서는 Sentinel Asia 프로그램을 통하여 ALOS(일본) 위성자료를 이용한 자연재해 모니터링을 주창함.
- 위 Sentinel Asia 프로그램에는 한국의 Kompsat 위성이 포함되어 있으며, 태국의 THEOS, 인도의 IRS, 싱가포르의 XSAT, 대만의 FORMOSAT 위성도 포함되어 있음
- 또한 ASRSAF 에서는 소형위성을 사용한 아시아-태평양 지역 환경 및 재해 감시 프로그램인 STAR(Satellite Technology for the Asia-Pacific Region) 프로젝트를 기획하였으며, 2009 년 4 월에 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 사가 미하라 캠퍼스 STAR 계획 사무소를 오픈하고 동년 6 월 1 일부터 본격적으로 프로젝트를 진행함.
- 아세안 과기장관회의(ASEAN Ministerial Meeting on Science and Technology; AMMST)에서 발간한 주요문서인 ‘과학기술혁신에 대한 아세안 행동계획’(APASTI 2016-2025, ASEAN Plan of Action on Science, Technology and Innovation)에서는 8대 우선순위에 물 관리, 환경기후변화가 포함되어 있고, 9대 주요 세부분야에 ‘해양과학과 기술’이 포함되는 등 큰 관심을 보이고 있음.

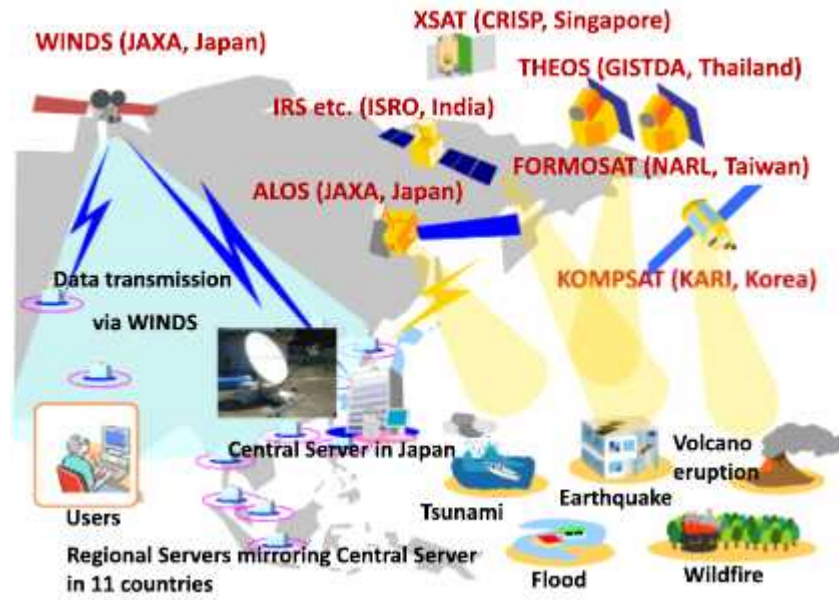


그림 38. Sentinel Asia의 긴급 위성 관측 및 WINDS(Wideband Inter-Networking engineering test and Demonstration Satellite)를 통한 자료 전송 컨셉 이미지

제 3항 GK-2 융복합 차세대 해양관측 기술 개발

가. GK2 융합 대기보정 성능개선

- OMI 및 TOMS 위성 산출 흡광성 미세가스 농도 자료를 GOCI 대기보정을 위해 활용 중. 하지만 GOCI 대기보정에 적용하기에 시공간 해상도가 상대적으로 많이 부족함. 특히 NO₂의 경우 시공간적 변화가 매우 큰 편이며 이점이 반영된 매우 높은 시공간 해상도의 자료가 사용되지 않을 경우 GOCI & GOCI-II와 같은 정지궤도 위성에서는 하루동안의 대기보정 오차 안정성이 크게 변할 수 있음

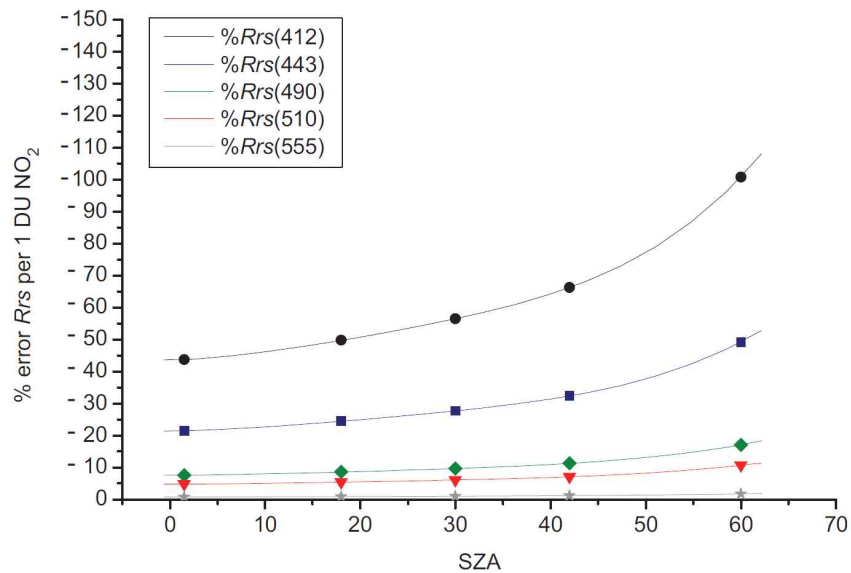


그림 39. 오존 1 DU 오차에 의한 대기보정 오차 민감도를 다양한 태양고도각에 대하여 분석한 결과 (Tzortziou et al., 2014)

- 일본 해상센서인 SGLI/GCOM-C의 대기보정 정확도를 향상시키기 위해 비슷한 궤도상의 GCOM-W 위성 AMSR-2 microwave 센서 산출 바람장 자료를 사용

나. 향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발

- 미세먼지는 대기 전체 연직 미세 에어로졸 농도의 총 합이 아닌 지표면에서의 농도를 의미하나 일반적인 대기 광학 위성에서는 대기 연직 농도 총량(광두께)을 관측함.

- 이를 극복하기 위해 PACE, SGLI 등의 해상/대기 관측 센서에서는 산소 흡광 파장대(682, 765 nm 등) 활용하여 에어로졸의 높이를 추정하는 연구를 수행 (GOCI-II에는 산소 흡광 밴드가 없지만 GEMS의 477 nm 파장을 대신 활용 가능)

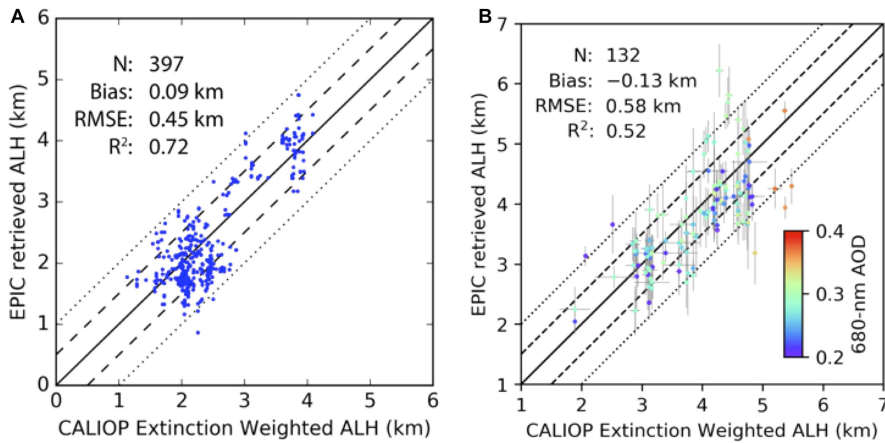


그림 40. 산소흡광밴드가 있는 EPIC/DSCOVER 센서를 이용하여 추정된 에어로졸 고도와 CALIOP 산출 에어로졸 고도 비교 결과 (Remer et al., 2019)

- 미국 Stevens 공대에서는 현재 해상 센서 NIR 밴드만을 이용한 에어로졸 추정 방법의 오차민감도 및 한계에 대한 분석을 수행하고 추가적인 파장대의 필요성을 제시

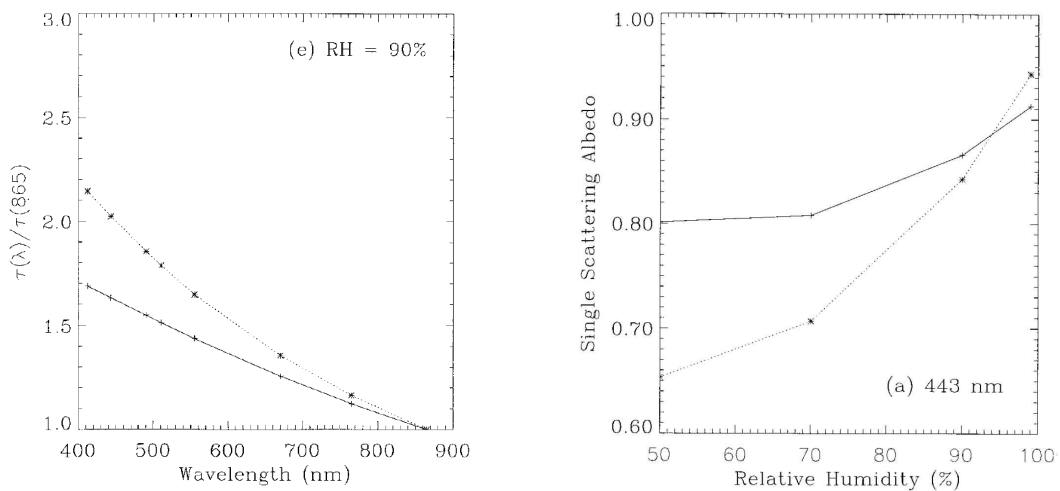


그림 41. 현재의 두 NIR 파장 기반 에어로졸 추정시 같은 에어로졸에서도 추정 방법에 따라 산출된 에어로졸 광특성 차이가 크게 발생함 (Yan et al., 2002)

- 일본 GLI 및 SGLI 해색센서 또는 미국 PACE 해색/대기센서의 다분광/초분광 UV과장대 자료를 활용하여 에어로졸의 흡광성(single-scattering albedo) 추정 정확도를 향상시키는 연구를 수행

다. GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술 개발

- ADEOS위성에 탑재된 해양센서인 OCTS와 바람장센서인 NSCAT 자료를 융합활용하여 엘니뇨와 해양환경의 상호작용에 관한 연구를 수행하였으며, 이후 ADEOS-2에는 해색센서인 GLI와 바람장센서인 SeaWinds 뿐 아니라 습도/수증기 및 강우센서 AMSR과 TRMM을 추가하여 연구를 더욱 발전시킴
- 유럽 Sentinel-3위성에 탑재된 Ocean & Land Color Instrument (OLCI) 탑재체와 Sea & Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) 탑재체 자료를 융합하여 육상반사도, 가뭄지수, 운정고도 등의 자료 산출
- 2012년부터 운용중인 Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) 위성의 해색탑재체인 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 해색산출물과 2018년 부터 운용중인 Joint Polar Satellite System (JPSS) 위성의 VIIRS 해색탑재체 자료의 융합, 서로 다른 두 VIIRS 탑재체는 한 지점을 각각 다른 시간대에 관측하게 되며 이를 활용하여 해양환경의 하루 동안의 변화 연구에 활용
- 높은 분광/복사/공간 해상도를 가진 극궤도 해색센서인 MODIS-Aqua와 분광/복사/공간 해상도는 낮지만 시간해상도는 높은 유럽 정지궤도 기상위성인 SEVIRI의 적색과장대 자료를 합성하여 벨기에 북부 해역의 하루 동안의 부유사 이동 모니터링을 수행

제 2 절 국내 동향

제 1항 한반도 해역 해양 분석 기술 개발

가. GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발

- 2008년부터 2017년까지 약 10년 동안 GOCI 활용 연구 사업을 통해 산출물의 실증과 그에 따른 활용 연구가 수행되었음.
- 대기보정과 해수환경분석 알고리즘 개발, 표층유속 추정 연구, 일차생산력 추정 연구, GOCI 자료 검정을 위한 사전 연구 등의 연구결과들을 2010년 4월호 대한원격탐사학회지(Vol.26 No.2)에 정지궤도 해석탑재체 개발 관련 연구 논문 특별호에 수록하여 발간하였음.
- 2012년 9월 Ocean Science Journal (Vol.47 No.3)에는 GOCI 자료처리 및 해양활용의 주제로 12편의 연구논문과 1편의 노트를 수록하여 발간하였음.
- 1일 8시간을 촬영하는 GOCI의 위성영상자료를 활용하여 일주변동을 연구한 사례는 Choi et al.(2012)의 목포 근해에서 탁도 분포의 일 변화와 조석주기와의 비교/분석이 있음.

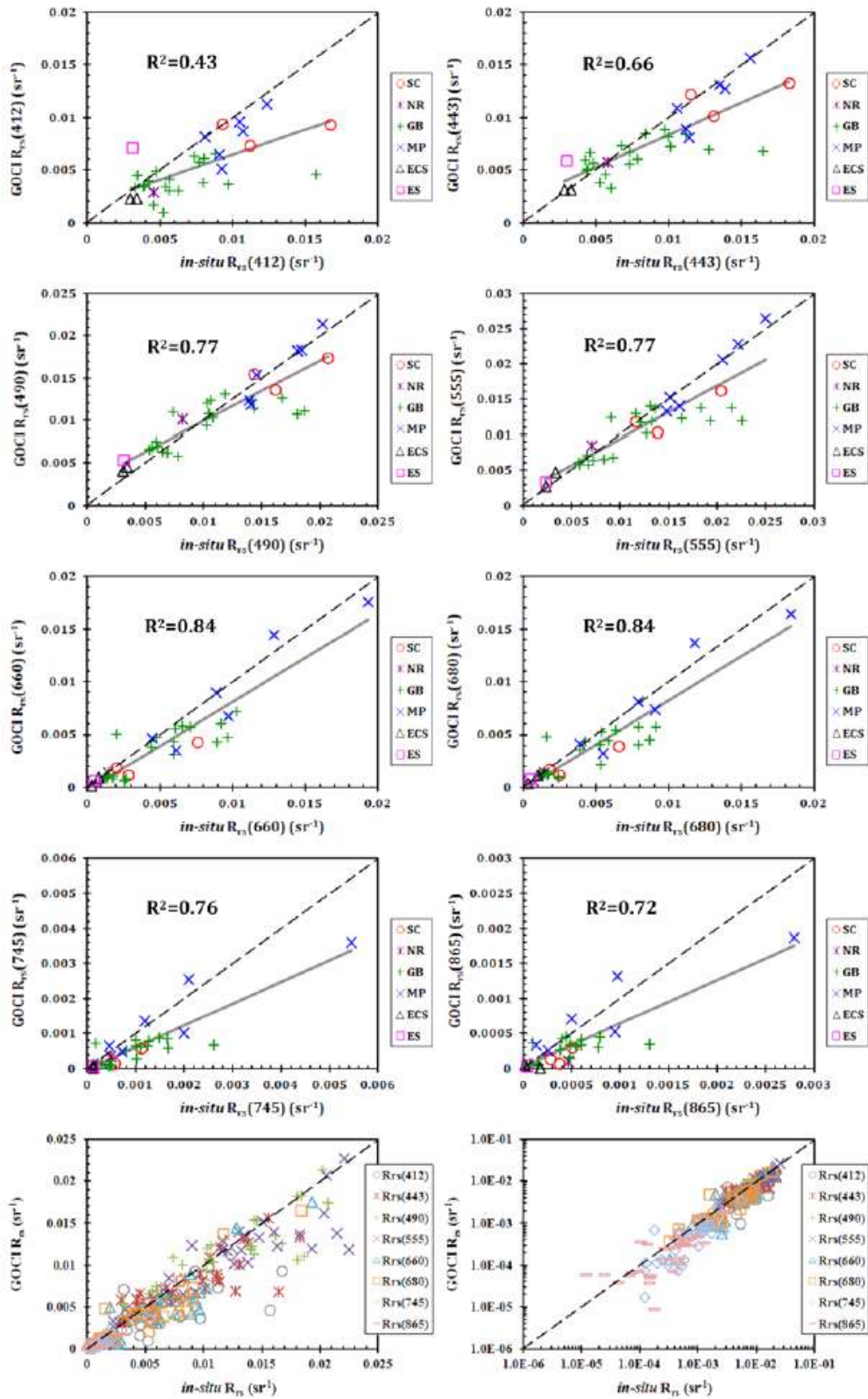


그림 42. GOCI와 현장자료의 밴드별 Rrs 비교 (Moon, et al., 2012)

나. 이상징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지

(1) 해양쓰레기

- 해양수산부가 2000년부터 전국 해안을 중심으로 해양폐기물 모니터링 수행.
- 2003년부터 신안군 연안을 중심으로 외국기인 해양폐기물 모니터링 수행.
- 모니터링 결과에 따르면 해류 등의 영향으로 중국기인 폐기물이 상당량 유입되고 있음이 확인됨 (조, 2004).
- 신안군 비금도 명사십리 해수욕장 해안에서 해양수산부가 조사한 자료에 따르면 외국 기인 쓰레기 발생 비율이 중량 기준 2%, 수량 기준 12%, 부피 기준 9%를 차지한다고 보고함 (해양수산부, 2003).
- 장 등(2012)은 2008년부터 설정된 서해안 일대의 국가 해양쓰레기 모니터링 구역 8곳을 조사지역으로 선정하여 외국기인 해양쓰레기의 정량적·정성적 분석 및 해양환경에 대한 분석을 실시하여 외국기인 해양쓰레기의 시기별 변화와 발생 특성 파악.

(2) 해파리

- 국립수산과학원에서는 2004년부터 해파리 출현 및 이동경로를 모니터링해왔으며, 해파리 정보센터의 운영을 통하여 국민과 정부 기관이 협력하는 모니터링 체계를 구축하고 정보를 연계·공유하는 종합적인 대응체계를 구축함.
- 해파리로 인한 문제가 심각해짐에 따라 국립수산과학원에서는 2005년부터 “해파리 대량 발생원인과 피해대책 연구”라는 과제를 수행중임. 이 연구를 통해 대량 발생의 원인 및 해파리의 생리·생태적 특성을 밝히고, 해파리의 출현 및 이동을 예측할 수 있는 기술은 물론, 어업 피해를 최소화하기 위한 어구별 해파리 배출장치를 개발 중임.
- 해파리 모니터링 네트워크는 전국 연근해 조업어민 271명, 11개 지자체 및 관련 공무원 86명, 국립수산과학원 소속 동·서·남서해·남동해수산연구소 및 본원의 연구원 20명 등 총 387명으로 구성됨 (그림 1). 이들이 수집한 자료 및 정보는 국립수산과학원 해파리정보센터에서 취합·분석하여 매주 인터넷과 전화 및 팩스 등으로 일반시민에게 제공되며, 해파리 이동예측모델 구축과 독성해파리 경보발령, 조업지역 선정 등에 활용됨.

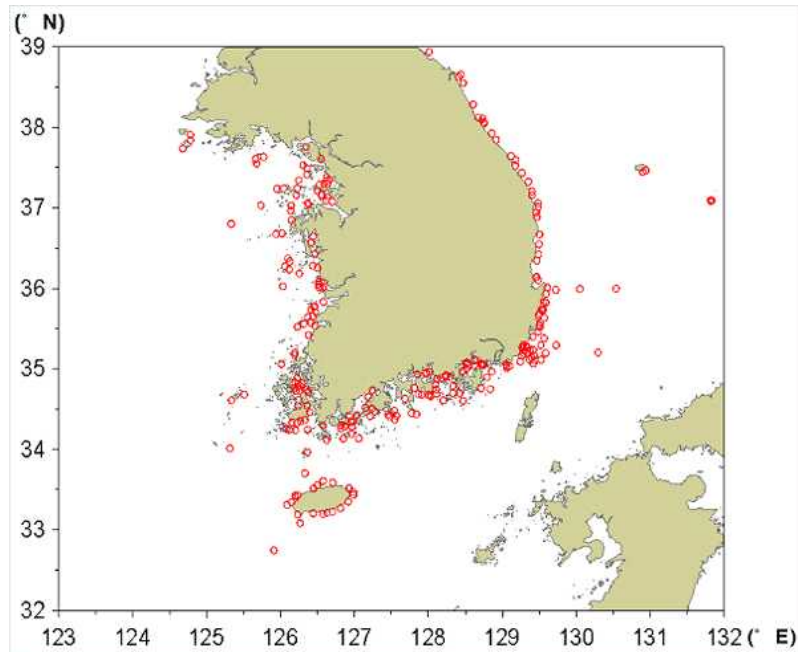


그림 43. 해파리 모니터링 네트워크 참여 어업인 조업위치

- 전과 이(2018)는 무인선에 수중 카메라를 설치하여 Yolo 모델을 이용하여 해파리를 검출하는 시스템을 제시함.

(3) 갈조

- 2015년 제주도와 남해안 일대에 대규모의 팽생이모자반(갈조) 유입이 있었음. 팽생이모자반의 피해를 줄이기 위해 유입경로 및 이동상황을 예측 할 수 있도록 6개 기관(해양수산부, 국립수산물과학원, 해양 경찰청, 선박안전기술공단, 해양환경안전관리공단, 지자체)을 주축으로 팽생이모자반 모니터링 시스템을 구축함 (그림 2).
- Min et al.,(2019)은 황해와 동중국해에서 발생하는 녹조와 갈조의 대표종인 가시파래와 팽생이모자반의 반사도를 측정하였고, 그 특징을 이용하여 녹조와 갈조 구분 알고리즘(slope of red-green; SRG)을 제시함. 이것을 MODIS, GOCI, OLCI, ETM+, OLI, MSI에 각각 적용하여 녹조와 갈조가 구분 가능함을 보였음.

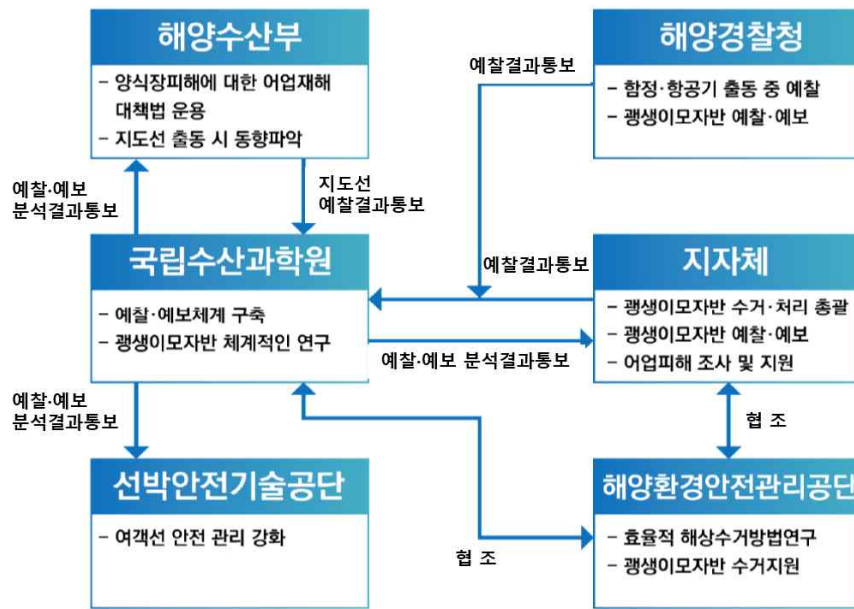


그림 44. 괘생이모자반 모니터링 추진 체계 (해양수산부)

(4) 녹조

- 최 등(2010)이 2008년 중국 연안에서 발생한 대규모 녹조의 일부가 동중국해 및 한반도 연안에 유입된 것을 위성 및 현장관측을 통해 탐지하였고 그 중을 확인함.
- Son et al.,(2012)은 2011년 중국에서 발생한 녹조를 동중국해에서 채집하여 다양한 환경에서 녹조 반사도 실험을 수행하였고, GOCI에 특화된 녹조 탐지 알고리즘(Index of floating Green Algae for GOCI; IGAG)을 개발함. 그리고 NDVI, EVI, KOSC 알고리즘과 비교하여 성능을 검증함.
- Son et al., (2015)은 2011년 황해 녹조의 이동을 GOCI와 라그랑지안 수송 모델을 이용하여 분석. 6, 7월 각각 태풍 메아리와 마온이 황해를 통과하면서 중국 연안의 녹조를 서쪽으로 이동시켰고, 태풍이 지나간 후 표층의 수온과 영양염이 높아져서 한반도 서해안에서 대규모 녹조가 출현하였음을 밝힘.
- Min et al.,(2017)은 GOCI와 Landsat 영상을 이용하여 2015년 황해에서 발생한 녹조를 모니터링 함. 태풍이 지나간 직후 녹조가 크게 감소하였고, 연안의 탁한 해수와 외양의 맑은 해수의 경계에서 녹조가 쌓이는 것을 관측함.
- 김 등(2018)은 ETM+, MODIS, GOCI에 NDVI 알고리즘을 사용하여 녹조로 분류된 픽셀에 Linear Spectral Unmixing (LSU) 기법을 적용하여 각 픽셀에서 녹조가 차지하는 비율을 추정.
- 국립수산과학원과 한국해양과학기술원에서는 GOCI, Landsat, MODIS 영상 등을 이용한 탐지 결과를 홈페이지에서 제공하고 있음.

(5) 적조

- 국내의 적조 연구는 1967년부터 학문적 접근을 시작하였고 1980년대까지는 적조생물의 분류와 생태학적 기초연구를 수행함. 1990년대 이후에는 적조생물의 환경생리, 이동확산, 적조방제 기술개발, 적조예보와 제어기술개발을 위한 연구가 진행되었고, 적조 발생 기작, 생물 상호관계, 휴면포자연구, 적조 발생모델 등으로 다양화 되었음.
- 한국해양과학기술원에서는 1999-2012년 간 ‘위성에 의한 적조 및 해수탁도 원격탐사 기술개발’ 사업 수행함.
- 해수부와 미래부는 적조대응 기초 원천기술 개발에 13년(2000-2012) 동안 88개의 과제에 약 225억 원을 지원. 주요 연구 사업으로는 모니터링, 예보, 황토살포에 의한 방제 및 살조제제의 개발이 있었음.
- 2013년 정부는 관계부처 합동으로 “적조 대응 중장기 종합대책”을 수립하고 3가지 목표와 5개 항을 내세움.
- 국립수산과학원에서 1997년부터 정기적으로 적조 조사를 실시하고 있으며 해당 해역의 수온을 NOAA/AVHRR SST로 제공하고 있음.

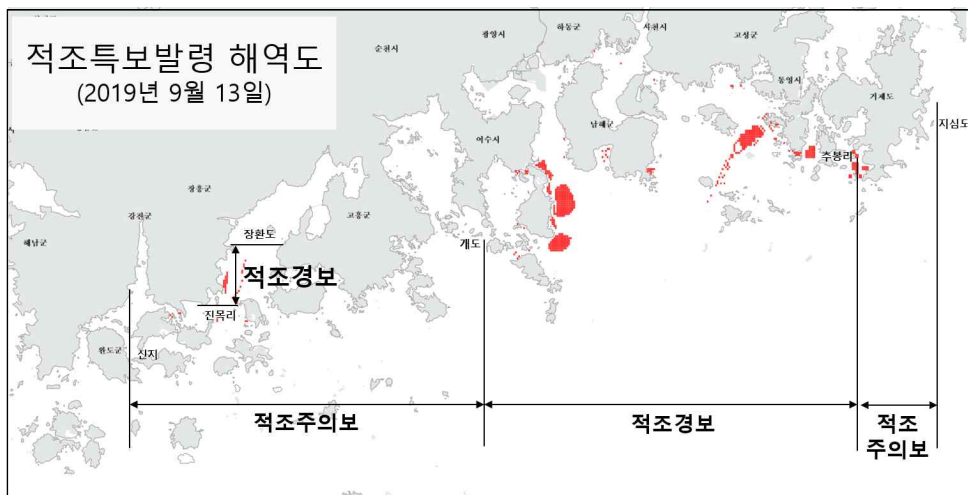


그림 45. 국립수산과학원의 적조정보시스템에서 제공하는 2019년 9월 13일 적조속보(코클로디니움)

- 한국해양과학기술원 해양위성센터에서는 세계 최초 정지궤도 위성인 GOCI 기반으로 한반도에서 발생하는 적조 연구를 수행 중임.
- Shin et al.,(2019)은 한반도 남해안의 *Margalefidinium polykrikoides* 적조 탐지에 다중센서를 이용하는 것이 더 효과적임을 보여주었음.

(6) 저염분수

- 국립수산과학원에서는 동중국해 정선조사를 년 4회 실시하고 있으며 표준 수증을 기준으로 염분을 비롯하여 수온, 용존산소, 영양염류, 동식물플랑크톤 등 17개 항목을 조사하고 있음.

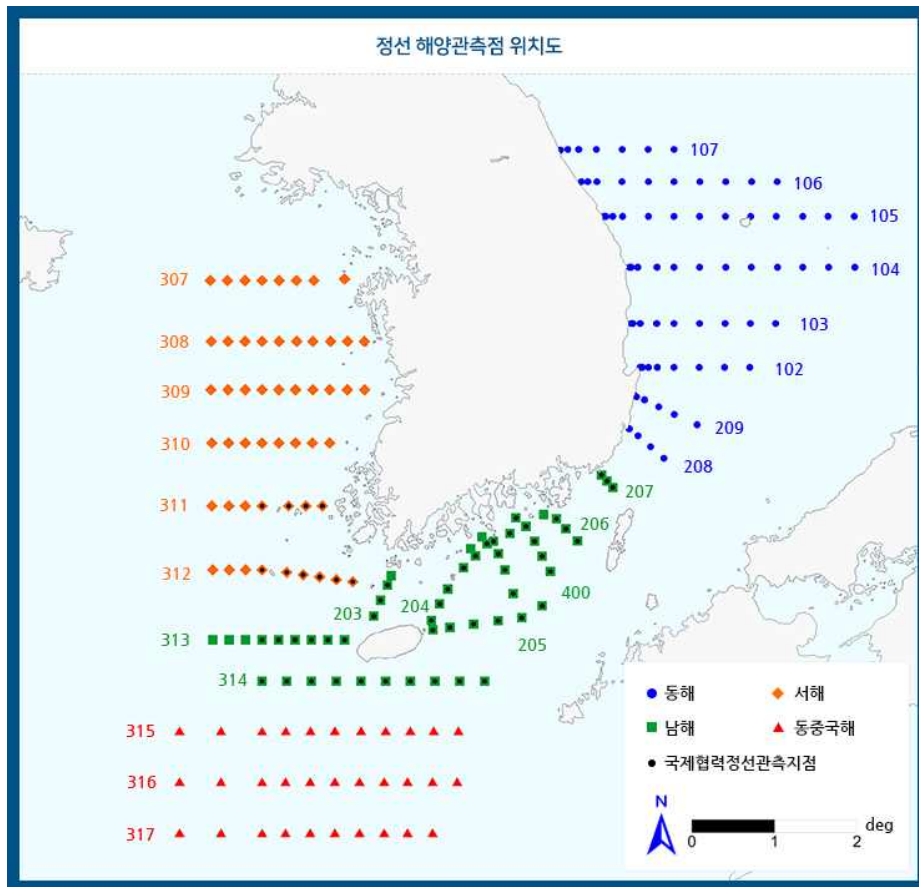


그림 46. 국립수산과학원의 정선 해양관측점 위치도

(7) 해사채취

- 한국수자원공사 (2014)에서는 골재채취로 인한 해양환경 및 어업피해영향을 과학적으로 증명하기 위해 남해 EEZ 골재채취단지의 해양생태계 구조 및 부유사거동을 현장조사, 위성, 모델을 이용하여 연구함.
- 손과 한 (2007)은 대규모 해사채취가 이루어지는 경기만의 덕적도 해역의 생물군집을 조사하여 해사채취에 따른 수산자원 군집구조 변동을 알아봄.

(8) 원전배출수

- 한국원자력연구원은 1959년 설립된 국내 유일의 원자력 종합 연구개발 기관

으로, 중수로 및 경수로 핵연료 국산화, 울진 원전 3, 4호기 등에 적용된 첫 국산 원자력 발전소인 한국표준형원전 핵증기공급계통 설계, 연구용 원자로 하나로 자력 설계·건설 등을 수행함.

(9) 유류유출

- 시프린스호 원유유출사고 이후 정부는 국가방제기본계획과 지역방제실행계획을 수립하고 GIS를 기반으로 작성된 방제정보지도와 유출유확산예측시스템을 보완함.
- 국가방제능력을 20,000톤으로 설정하고 300톤급 방제정 및 유회수기를 확보하여 배치. 또한 민간방제능력을 확충하고 방제전문기술을 향상시키기 위하여 방제조합을 설립하고, 민관방제훈련을 실시함.
- 해양경찰청은 미국 일본 등 선진국과 같이 범국가적인 차원에서 해양오염사고에 대한 방제 체계를 마련하기 위하여 ‘국가방제기본계획(National Contingency Plan)’을 작성함.

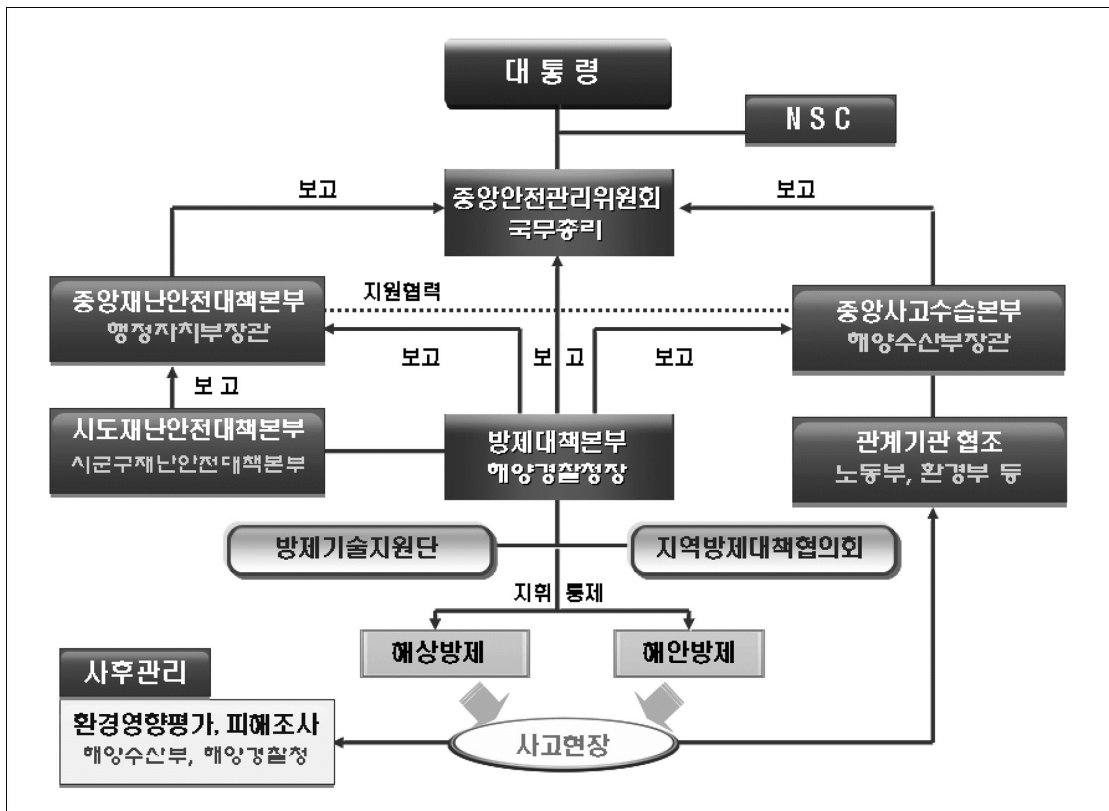


그림 47. 국가방제기본계획 체계도 (김, 2008)

(10) 수중가시거리

- 서 등 (1993)은 서해에서 관측된 secchi disk 자료와 NOAA 위성자료와의 상관관계를 분석함.
- 민 등 (2007)은 황해 중부해역의 $K_d(\lambda)$ 와 수중가시거리를 측정하여 SeaWiFS에 적용할 수 있는 $K_d(\lambda)$ 및 수중가시거리 알고리즘을 개발함.

(11) 육상산출물

- 박과 유 (2009)는 2008년도 월별 MODIS NDVI 영상을 이용하여 북한의 지 피유형을 분류하고, 산림황폐지를 알아본 후 산림의 황폐화 추세를 조사함
- 인스페이스에서는 2015년 원격탐사를 활용한 북한 벼 재배면적 시험 조사 (평안남도·남포특별시) 사업을 수행함.
- 한국환경정책·평가연구원에서는 2015년 ‘북한 환경정보 구축 및 활용 방안 연구 (I): 토지피복지도 구축을 중심으로’, 이어서 2016년에는 ‘북한 환경정보 구축 및 활용방안 연구(II): 원격탐사를 이용한 자연환경성 우수지역 평가’ 사업을 수행함.

다. 지역해 특화 수산자원 변화 및 지원

(1) 어장 정보 기술 개발

- 양 등(1999)은 어획자료와 위성에서 관측된 표층수온자료로부터 구한 표층수온 전선과의 관계를 분석하여 남해 및 동중국해 북부 해역 어장 정보를 확인함
- 김 등(2005)은 야간 빛감지를 할 수 있는 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)와 MCSST 자료를 이용하여 계절별 오징어 야간조업어선의 분포 특성을 파악함
- 김 등(2007)은 NOAA 해양 표면수온 자료와 SeaWiFS 클로로필 월평균 료와 현장에서 조사된 고등어 어획량 자료를 이용하여 고등어 어장형성 가능 해역을 추정하기 위하여 고등어 어장의 월별 분포를 확인함

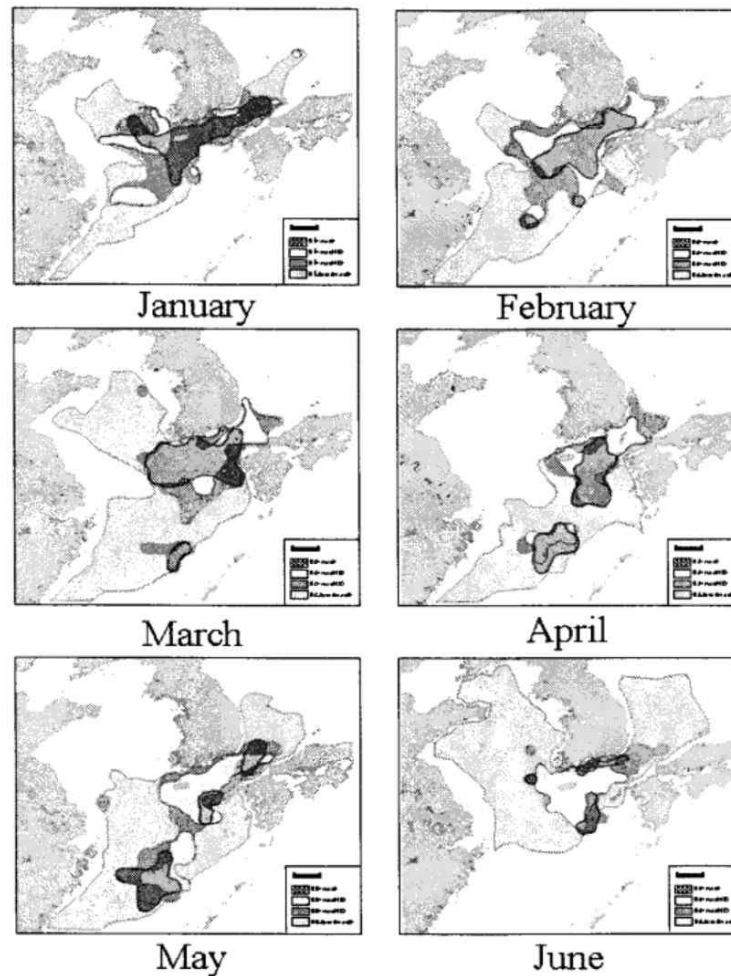


그림 1. Estimation of the mackerel fishing grounds by the multi-linear regression analysis at each grade from January to June.

그림 48. 월별 고등어 어장 정보

- 이 등(2016)은 엘리뇨/라니냐의 다랑어 어획에 미치는 영향을 파악하기 위하여 ONI(Oceanic Nino Index)와 MEI(Multivariate ENSO Index)를 이용하여 엘리뇨가 강할수록 어장이 동부로 확대되었고 중심어장 또한 동부로 이동하였음을 밝힘
- 이 등(2018)은 수온, 엽록소a 농도, 일차생산성 위성자료를 이용하여 남해 및 동해에서 참고등어 어획시기의 환경조건을 파악하고, 경험적 관계식을 통해 서식적합지수(Habitat Suitability Index)를 산정함
- 오 등(2019)은 Day/Night Band (DNB)과 해색 영상을 이용하여 동해에서 해양 전선과 살오징어 어업활동의 상관관계를 살펴보고, 어업활동의 약 21%는 해안 용승 지역, 44%는 에디 전선에서 이루어짐을 확인함
- 이 등(2019)은 수온, 엽록소a, 일차생산성, 해수면고도 위성자료를 이용하여

한국 연근해역에서 살오징어 어획시기의 환경조건을 파악하였고, 환경인자와 어획간의 경험적 관계식을 이용하여 살오징어 서식적합지수(Habitat Suitability Index)를 산출함

- 국내에 위성영상 분석정보를 활용한 어장정보 제공시스템은 존재하지 않음. 국립수산과학원에서 부이 데이터를 활용한 어장정보를 제공하는 시스템은 존재하며, 표층 수온, 표층 용존산소, 표층 염분 등의 정보를 SMS 및 웹사이트를 통해서 제공함.

(2) 어장정보 서비스



그림 49. 국립수산과학원의 어장정보서비스 홈페이지

제 2항 기후/해양 활용 연구

가. 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 구축

(1) 국외 위성 연속자료 구축 현황

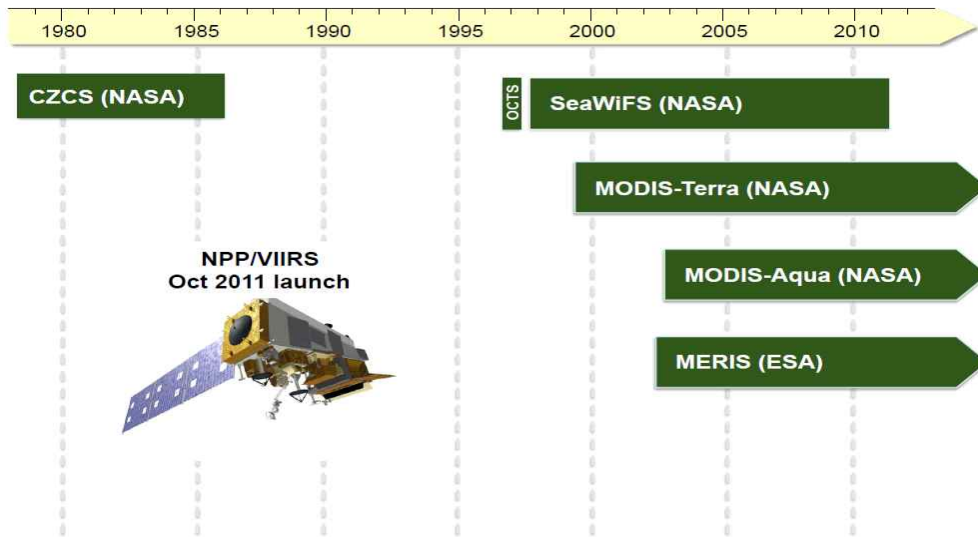


그림 50. 국외 해색위성 운영 기간 timeline 및 위성 운영/ 기관 현황

- 미국은 SeaWiFS(1997-2010), MODIS/Terra(2000-현재), MODIS/Aqua(2002-현재), VIIRS(2011-현재) 등 여러 극궤도 해색위성 시리즈를 운용해 왔음
- NASA Goddard Ocean Biology Processing Group(OBPG)는 향후 기후변화 연구와 활용을 위해서, 1998년부터 제공된 여러 해색위성산출물의 연속된 장기 타임시리즈 자료를 제공함
- 이를 위해서 각 센서 복사보정, 운영 중첩 기간 동안 위성자료 상호비교, 각 센서 복사보정, 대리 교정을 지속적으로 수행하여, 해색위성 시리즈 자료를 재처리(reprocessing)하여 자료를 개선하여 사용자들에게 제공함
- 특히, 두 개 이상 해색위성이 동시에 운용되는 기간 (2003-2010년: MODIS와 SeaWiFS, 2013-2016년: MODIS와 VIIRS) 동안의 복사관측 및 해색산출물 타임시리즈를 비교하여 상호검증을 수행함
- ✓ 그 결과 2003-2010년에는 MODIS와 SeaWiFS가 대부분 잘 일치되는 결과를 보여, 독립적으로 얻어진 두 해색위성자료의 일관성은 이들 해색위성산출물 정확도의 신뢰성을 반증함
- ✓ 2013년 이후 MODIS 후반기 임무 수행동안, 산출물 품질 저하를 발견하여, 위성 데이터 사용자에게 자료 품질에 관한 주요 이슈를 공지함

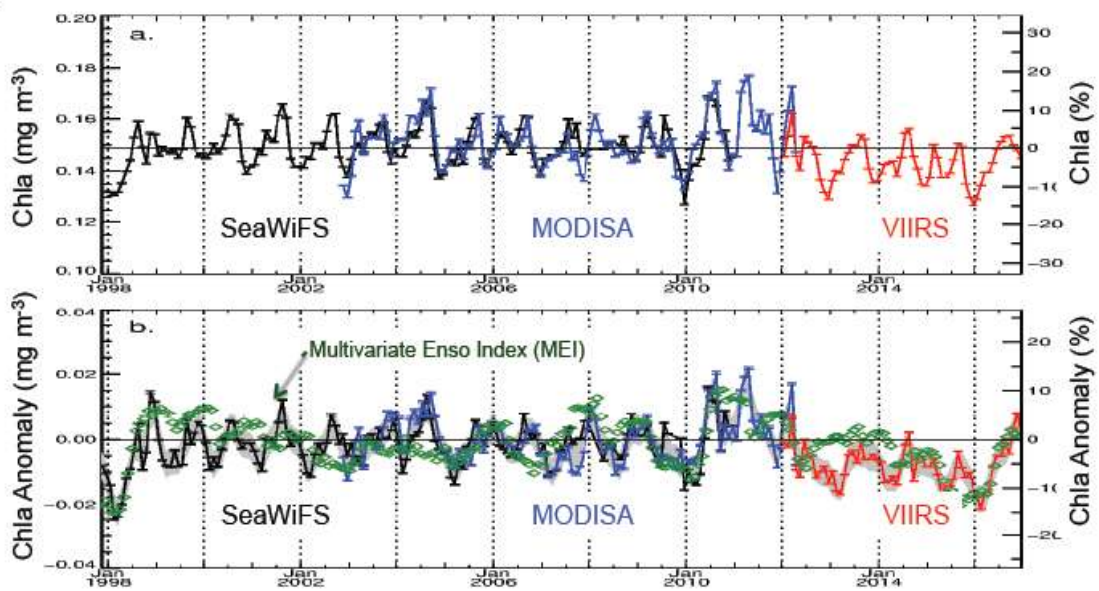


그림 51. NASA에서 분석중인 지난 17년간 다중위성기반 Chl-a의 장기변동성: SeaWiFS(검정선), MODISA(파랑선), VIIRS(빨강선) (Franz et al. 2017)

MODISA and VIIRS R2014.0 Chlorophyll Deep-Water Time-Series

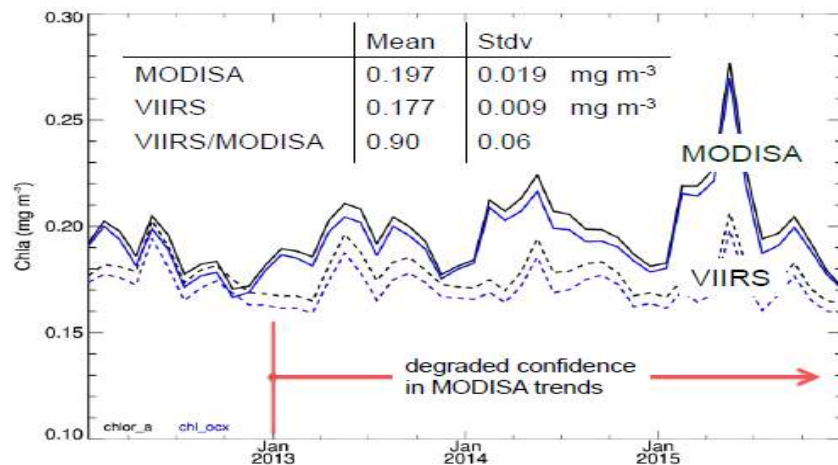


그림 52. NASA OBPS에서 수행중인 위성상호간 비교검증을 통한 장기 해석 기후데이터 구축

(2) 해색위성간 상호 검증 분석

- NASA OBPG에서는 최종 산출물 뿐 아니라 여러 위성의 원격반사도 (Remote sensing reflectance)도 상호 비교 분석을 수행하여 장기적인 위성 자료의 품질 평가 자료로 이용함
- ✓ 2003-2010년 기간 동안 MERIS와 SeaWiFS의 상호 비교 결과 센서 복사보정과 대리 교정을 통한 재처리가 필요성을 알게 됨
- NASA와 NOAA는 위성자료 비교 분석뿐 아니라 고정관측소, 선박관측 자료를 이용하여, 해색위성 간 상호 검증을 수행하고 있음
- ✓ NASA OBPG (B. Franz 박사 그룹)은 SeaBASS와 AERONET-OC 현장관측 클로로필 농도 자료를 검증 reference 자료로 이용하여, 위성간 교차 분석을 수행하고 있음
- ✓ Zibordi et al.(2005)는 고정관측소 복사 관측 자료를 이용하여 SeaWiFS, MODIS, MERIS 위성 자료의 품질 관리를 수행함
- ✓ 태평양에 MOBY 광학부이를 설치하여 현재 운용중인 모든 해색위성의 검보정을 수행

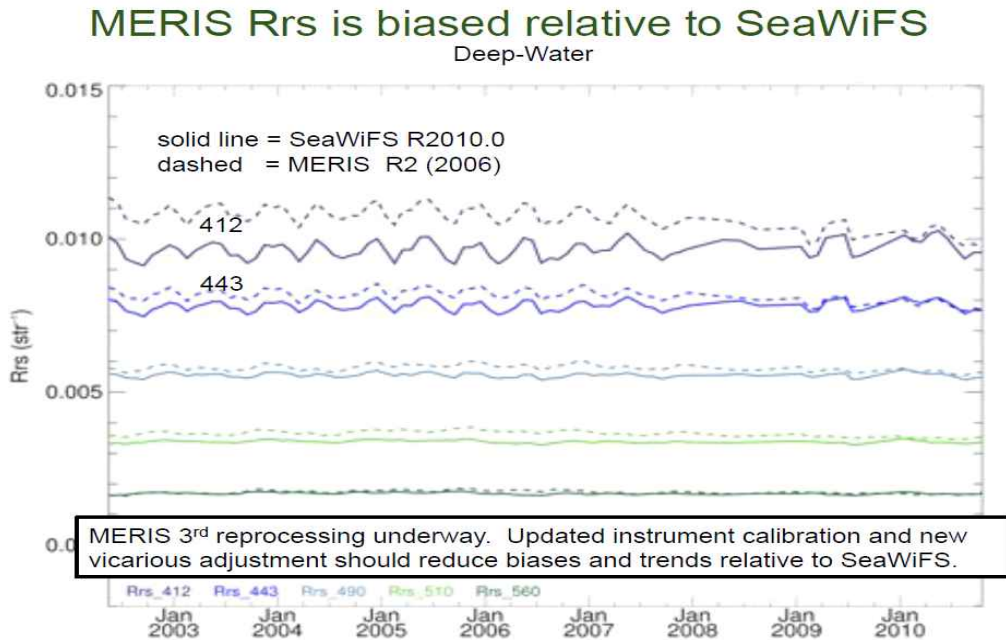


그림 53. SeaWiFS와 MERIS 밴드별 원격반사도의 상호 비교(NASA OBPG 제공)

SeaWiFS vs. SeaPRISM (현장관측)

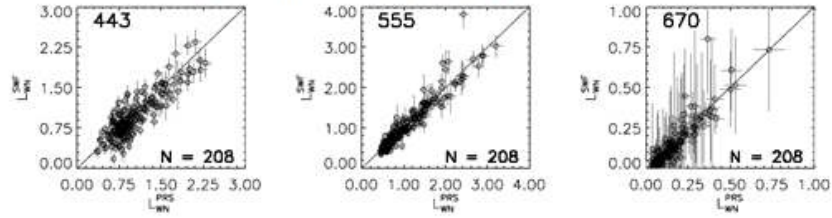


Figure 1. SeaWiFS $L_{WN}^{SWF}(\lambda)$ versus SeaPRISM $L_{WN}^{PRS}(\lambda)$ normalized water-leaving radiances in units of $\text{mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$. The horizontal error bars indicate uncertainties estimated for the spectral SeaPRISM data, while the vertical error bars indicate the standard deviation across the 3×3 SeaWiFS pixels centered at the AAOT.

MODIS vs. SeaPRISM (현장관측)

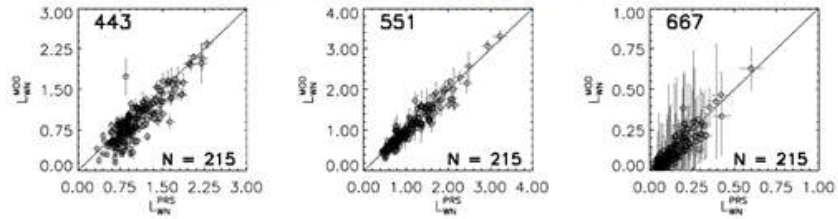


Figure 2. Equivalent to Figure 1 but for MODIS $L_{WN}^{MOD}(\lambda)$ normalized water-leaving radiances.

MERIS vs. SeaPRISM (현장관측)

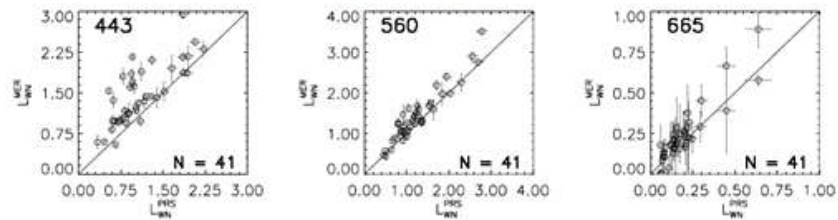
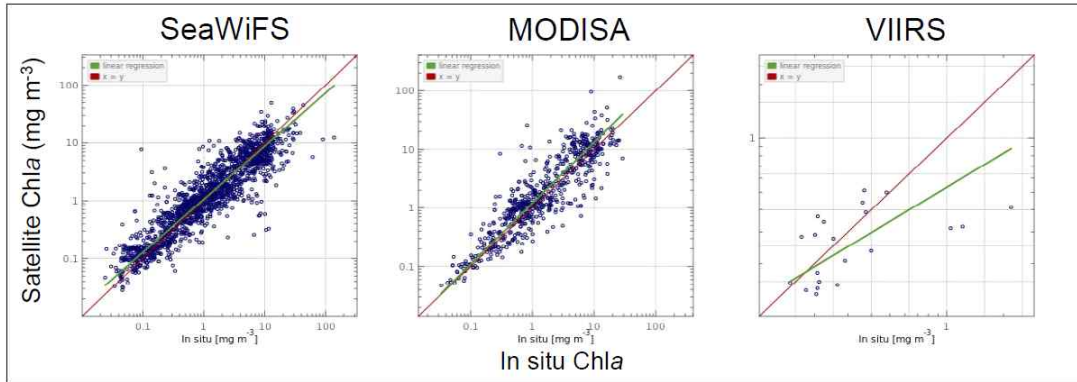


Figure 3. Equivalent to Figure 1 but for MERIS $L_{WN}^{MER}(\lambda)$ normalized water-leaving radiances.

그림 54. 고정 관측소 자료를 이용한 여러 해상위성간 장기자료 비교 (Zibrodi et al., 2006)



		PRODUCT	COUNT	SLOPE	INT (mg m ⁻³)	R ²	MED RATIO	APD (%)	RMSE (mg m ⁻³)
Chlorophyll a	All	SeaWiFS	1739	0.92	0.02513	0.83	1.07	37.3	0.29030
		MODISA	653	1.04	0.07814	0.80	1.19	40.7	0.30814
		VIIRS	21	0.63	-0.27375	0.27	0.86	34.9	0.27166
	Deep	SeaWiFS	363	0.83	-0.09787	0.74	1.01	32.4	0.24365
		MODISA	113	0.87	-0.10674	0.85	0.97	22.5	0.19605
		VIIRS	17	0.50	-0.37107	0.30	0.79	40.9	0.29676

그림 55. SeaBASS와 AERONET-OC 현장관측 클로로필 농도 자료를 이용한, SeaWiFS, MODIS/Aqua, VIIRS/NPP 자료 상고 검증 예시(NASA OBPG)

(3) 국외위성의 재처리 현황

- NASS와 NOAA에서 운용하는 해양위성은 위성 발사 이후 (위성 임무 종료 이후에도) 자료 품질 관리를 위해서 지속적인 알고리즘 업데이트 및 자료 재처리를 수행하고 있음
- ✓ SeaWiFS: 1998년부터 2018년까지 총 15회 알고리즘의 업데이트 및 재처리
- ✓ MODIS-A: 2022년부터 총 11회의 알고리즘 업데이트 및 자료 재처리

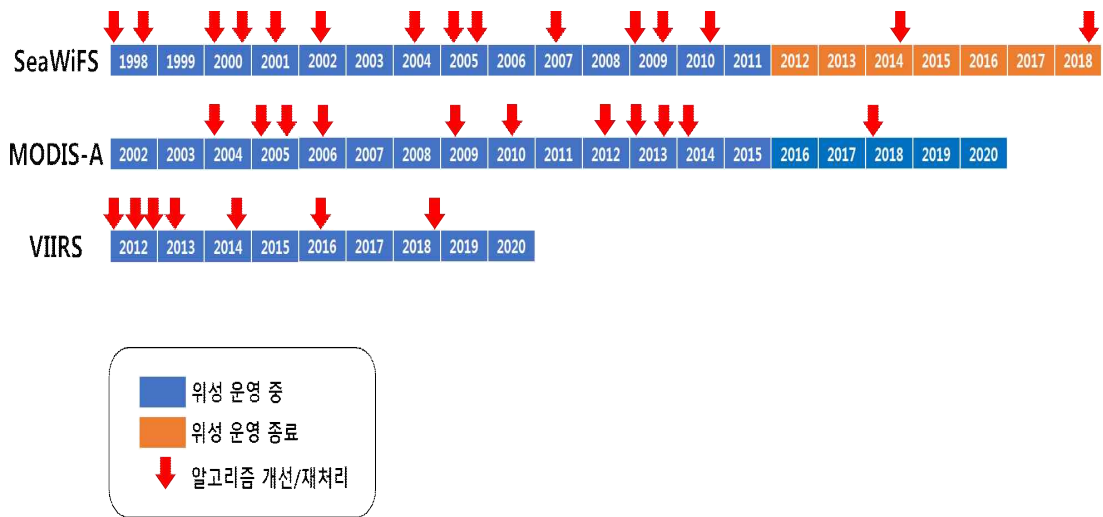


그림 56. 국외 해양위성 알고리즘 업그레이드 및 재처리 현황

나. 기후 변화 관련 산출물 개발

- 한국해양과학기술원에서는 수온, 염분 및 해양 이산화탄소분압 등 현장조사 자료와 위성자료로부터 경험적 알고리즘을 개발하고, 동해지역의 이산화탄소 분압지도를 작성한 바 있음.

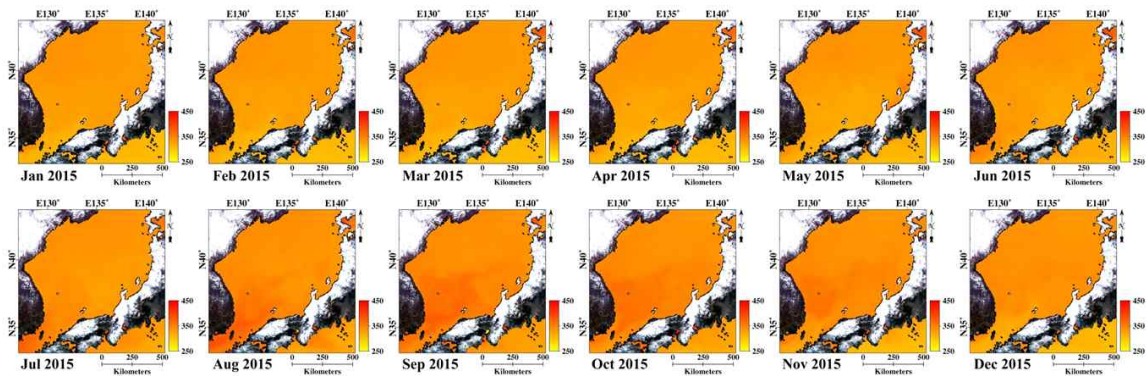


그림 57. 2015년 동해의 월별 해양이산화탄소 분압 (μatm)

- 한국해양과학기술원에서는 영국 플리머스해양연구소 (Plymouth Marine Laboratory, PML)과 협력연구를 통해, HPLC 자료로부터 진단색소분석법으로 계산된 사이즈별 농도 값과 전체 클로로필 농도 값을 이용하여 식물 플랑크톤 크기별 분석(phytoplankton size class, PSC) 알고리즘 개발하고, 이를 GOCI 영상에 적용한 바 있음.

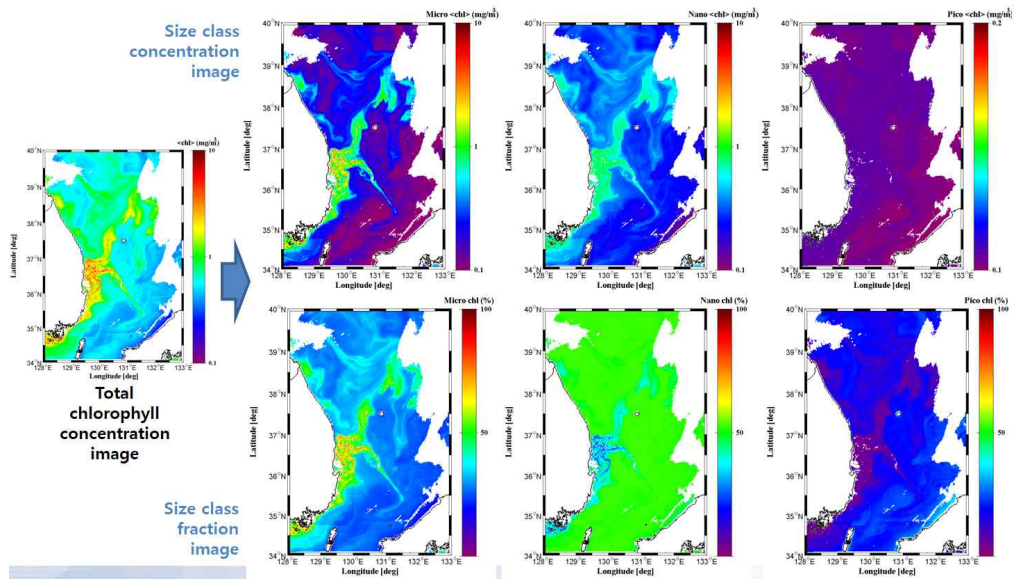


그림 58. 2013년 8월 적조발생 해역의 GOCI 기반 식물플랑크톤 크기별 군집 분포

- 국내에서는 원격탐사를 이용하여 적조, 녹조, 갯벌생태, 수질변동, 태풍감시 등 기후변화와 관련된 단기적인 변화 뿐만아니라 탄소순환 모니터링, 엘니뇨, 라니냐 등 장기변화 추적을 위한 엽록소, 탁도, 염분 등 산출물을 개발하고 있으며, 위성 개발 선진국들과 공동연구 및 협력체계를 구축하고 있음 (손과 유, 2012; Son et al., 2011; Choi et al., 2012; Choi et al., 2014)
- 한국해양과학기술원에서는 우리나라 동해안 지역을 대상으로 GOCI 자료로부터 취득된 클로로필 농도자료(CHL), 광합성유효복사량(PAR), 진광층 깊이(Euphotic depth) 자료와 해수면 온도자료 GHRSSST를 이용하여 해양의 일차생산력 지도를 작성한 바 있으며, 일차생산력 계산에 사용된 각 입력변수인 CHL, PAR, KD490 및 SST 값에 변화를 주면서 각 입력변수의 민감도를 분석한 결과, SST 값이 일차생산력 계산에 가장 중요한 변수인 것으로 분석한 바 있음.

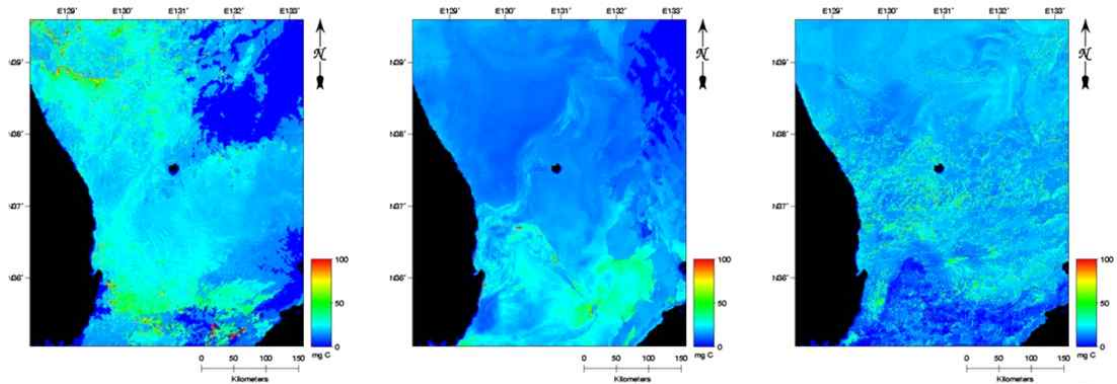


그림 59. 2015년 7월25일, 8월13일, 8월25일 동해의 해양일차생산량 지도

다. 기후변화에 따른 해양 생태계 변화 연구

- 한국해양과학기술원에서는 위성자료를 이용하여 해양과 대기 간 이산화탄소 교환량 지도를 작성하고, 월별/계절별 이산화탄소 교환량 변화와 최근 10년 간 이산화탄소 교환량을 계산한 바 있음.

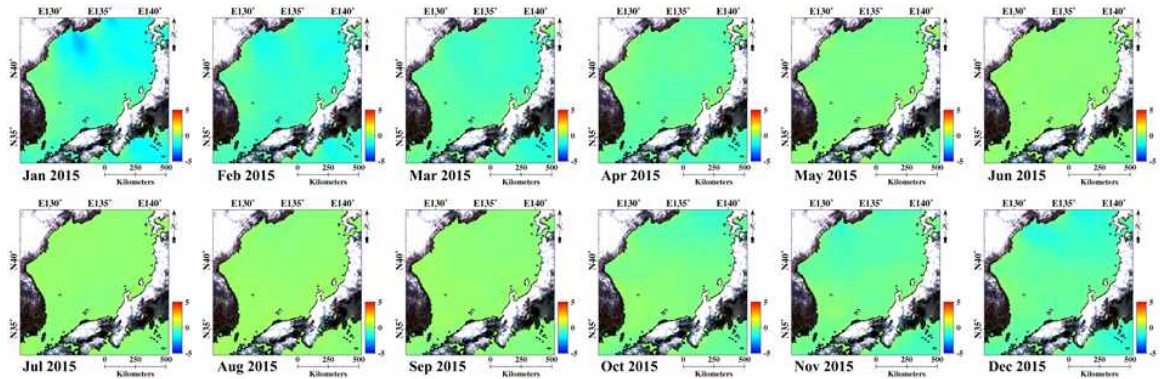


그림 60. 2015년 동해의 월별 해양이산화탄소 분압 (μatm)

- Joo et al.(2104)은 동해 울릉분지를 대상으로 MODIS 위성을 이용하여, Behrenfeld and Falkowski(1997)에 의해 개발된 VGPM 모델을 기반으로 Yamada et al.(2005)이 정리한 동해지역의 일간 해양 일차생산력 추정 모델에 의해 위성기반 일차생산력 지도를 작성하고, 2003년부터 2012년까지 월별 평균 일차생산력 값을 계산한 바 있음.

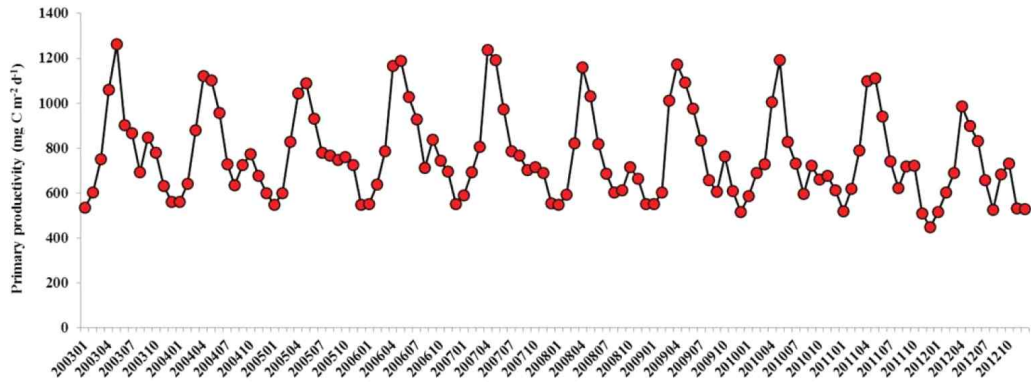


그림 61. 2003년부터 2012년까지 월별 평균 일차생산력

- 한국해양과학기술원에서는 유럽의 OC-CCI 연구결과를 바탕으로, GOCI 영상으로부터 생성된 클로로필 농도 분포도를 활용하여, 클로로필 장기 변동성 (phenology) 연구를 수행한 바 있음.

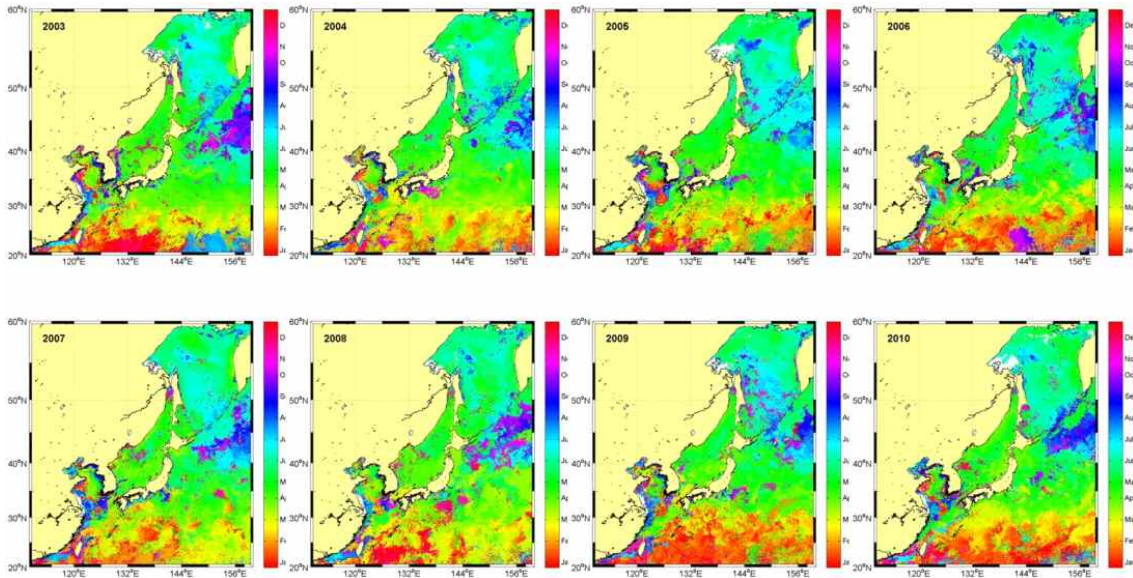


그림 62. 2003년부터 2010년까지 연중 클로로필 최댓값 시기의 변화

라. 관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력

- 한국항공우주연구원은 2003년부터 2007년까지 ‘ASEAN’ 인공위성 영상자료 공동 활용사업을 추진한 바 있음.
- 위 사업은 과학기술부 소관 사업으로서 환경연구를 위한 ASEAN+3 국가 간 위성영상자료 공동 활용을 위하여 실시되어 왔으며, 아세안 국가의 환경 문제와 관련한 위성영상 정보의 공유와 지구환경 정보 시스템 구축을 주된 목적으로 함.
- 한국수자원공사(K-water)는 미국의 NASA(National Aeronautics and Space Administration), USACE(U.S. Army Corps of Engineers)와 협력하여 통해 메콩지역 수자원데이터 활용 역량강화 사업을 진행 중에 있음.
- 우리나라는 제4차 한-아세안 과학기술공동위원회 개최(2019. 6)에 이어 한-아세안 과학기술협력센터 설립을 추진 중에 있음.
- 한-아세안 협력을 강화할 수 있는 사업을 발굴하여 이행할 수 있도록 돕는 한-아세안 협력기금 사업이 2015년부터 진행되고 있으며, 2019년에는 협력기금이 1,400만 불로 기존보다 2배로 증액됨.
- 한국해양과학기술원은 한·인니 간 해양과학기술 협력 플랫폼 구축과 실질적인 해양과학기술 협력을 추진하기 위해 ‘한·인니 해양과학기술 협력사업’을 수행중임.

제 3항 GK-2 융복합 차세대 해양관측 기술

가. GK-2 융합 대기보정 성능 개선

- 해양위성센터, 국가기상위성센터, 환경위성센터에서 공동으로 GK-2위성 탑재체들간의 융합활용 가능성에 관해 기획연구를 진행한바 있음. 이를 바탕으로 GK-2B의 GOCI-II 대기보정 정확도 향상을 위해 기존 NCEP이나 ECMWF보다 고해상도 자료인 GEMS/GK2-B와 AMI/GK2-A산출 오존, 이산화질소, 수증기 흡광 정보를 융합 활용 가능함.
- GOCI 밴드를 기준으로 대기 흡광성 가스 입력 오차에 의한 하루 동안의 대기보정 오차 정도 분석을 수행한바 있으며, 현재 GOCI 대기보정을 위해 사용 중인 NCEP혹은 ECMWF 대기흡광 자료보다 더욱 정확도가 높은 고해상도 자료의 필요성을 제시함.

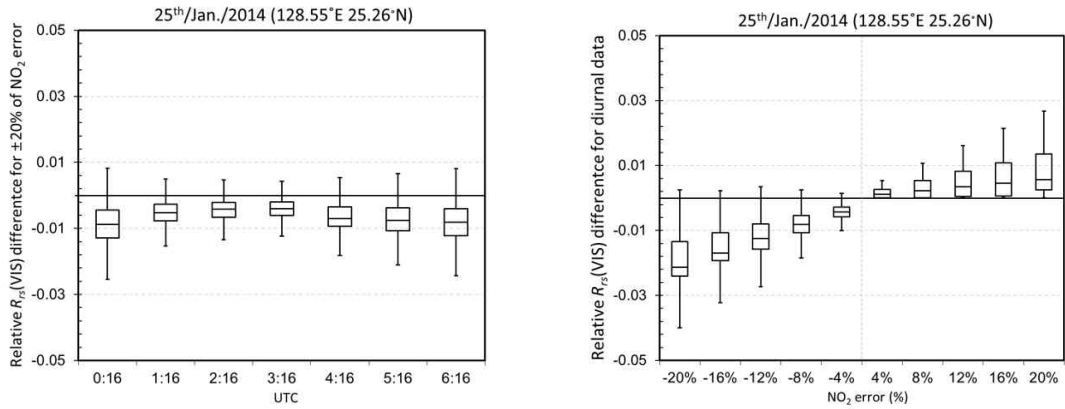


그림 63. 대기보정 입력 이산화질소오차에 따른 대기보정 오차민감도 분석연구 (Ahn and Pahlevan, 2018)

나. 향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발

- 현재 GOCI 및 MI를 이용한 에어로졸 농도 및 유형 추정 알고리즘이 개발되었지만, 위성을 통해 에어로졸층의 고도추정에는 한계가 있음을 보여주고 위성자료와 화학수송모델과의 자료동화를 통해 지표면 미세먼지 농도를 추정하고 있음. 추후 위성을 통해 에어로졸층의 고도를 추정하기 위해서 산소흡광밴드 혹은 multi-angle 편광 센서가 필요함을 제안함

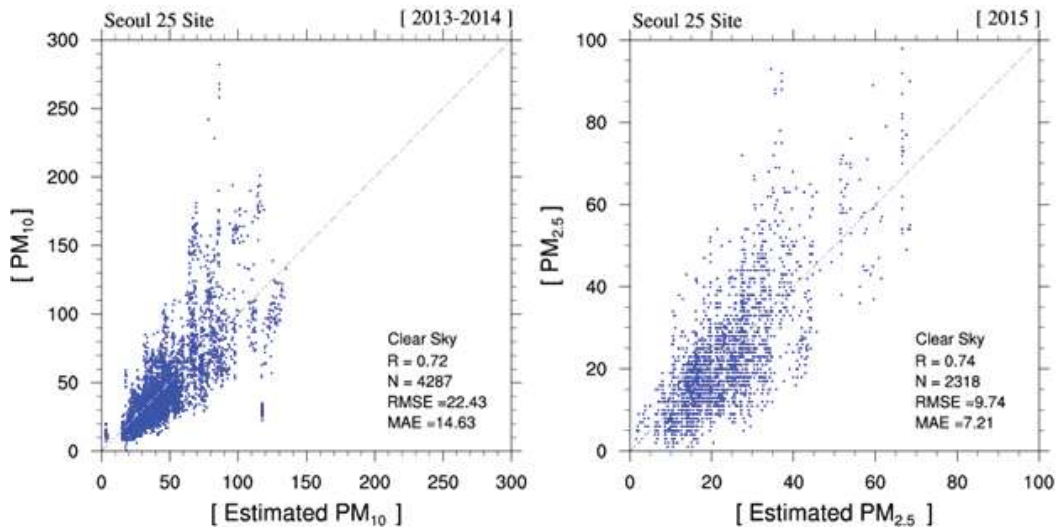


그림 64. 위성 산출 에어로졸 광두께와 다양한 모델을 융합한 미세먼지 산출 방법의 검증 결과 (Kim et al, 2016)

- 상대습도에 의해 에어로졸에 대한 광산란 특성이 크게 달라지기도 하며, 위성을 통한 미세먼지 농도 추정오차를 줄이기 위해서는 AMI 등의 센서에서 산출하는 습도연직분포 정보 등의 추가 융합이 필요함을 주장함

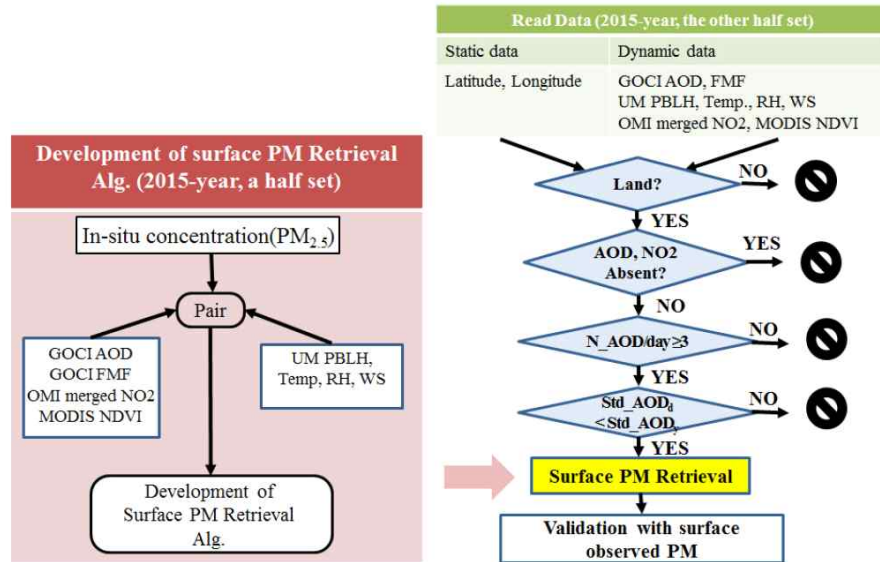


Fig. 3 Flow chart for surface PM retrieval.

그림 65. 위성과 모델 융합을 통한 표면 미세먼지 농도 추정 흐름도 (Cho et al, 2017)

다. GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술 개발

- 양자강 하구 기원 저염수 탐지를 위해 GOCI 자료만 사용하는 것 보다 AMI나 Himawari-8 등이 산출하는 해수표면온도 자료를 함께 사용해 줄 경우 저염수 탐지 정확도가 더욱 향상됨을 보여줌
- GOCI 등의 해석산출물 뿐 아니라 적외센서의 해수표면온도 및 microwave센서 산출 해류정보를 융합할 경우 보다 다양한 어종에 대하여 기존보다 정확한 어장지수를 산출 할 수 있음

제 3 절 해양위성 관련 주요 환경 분석

제 1항 해양위성 관련 언론 분석

가. 배경 및 필요성

최근 해양수산 분야와 관련된 빅데이터의 생산이 증가함에 따라 기존의 방법과 기술로 전체적인 흐름과 동향을 파악하는데 한계가 있음

- 위성활용을 포함한 대부분의 정부 및 R&D 정책문제들이 온라인과 SNS등을 통해 여론이 형성되고 국민들의 요구 수준이 증대됨
- 온라인과 SNS에서 생산되는 빅데이터의 경우 그 증가세가 가파르며 축적되는 데이터의 양이 점차 거대화됨
- 또한, 해양 수산 분야의 관련 연구와 기술 등이 점차 고도화 되고 다양화됨에 따라 이를 파악하는 것이 점차 어려워짐

해양위성활용분야와 관련된 정책 및 과학기술적 연구이슈를 도출함에 있어 효율적이면서 객관적인 방법인 언론 빅데이터를 활용하여 이슈파악과 해양수산분야의 과학기술적 수요를 파악하고자 함.

다음과 같은 방식으로 데이터 수집 및 정제가 이뤄짐

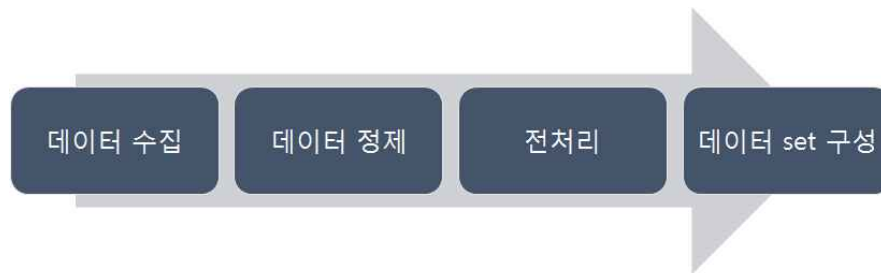


그림 66. 데이터 수집 및 정제 프로세스

(1) 기사식별 키워드

- 해양관측위성, 위성, 해양위성, 천리안, GOCI, GOCI-II, 정지궤도 해양위성, 정지궤도 복합위성, COMS, GK-2B, 해양위성센터 다중플랫폼, 광역감시망, 무인항공기, 다중위성 + (해양, 바다, 연안, 해역, 동해, 서해, 남해, 태평양, 대서양, 인도양, 북극해, 남극해)

(2) 분석대상 및 기간, 데이터 량

- 분석대상 언론 : 조선일보, 중앙일보, 동아일보, 한국일보, 경향신문, 한겨레신문 (1997년 1월 1일 ~ 2018년 7월 31일)
- 특정기간에 대해 수집이 어려운 부분은 bigkinds를 통해 수집함. (기간 : 경향신문(1997년 1월 1일 ~ 2000년 12월 31일), 한겨레신문(1997년 1월 1일 ~ 2004년 12월 31일))
- 분석도구: Textom, UCINET6, Python, Excel, R
- 분석대상 기사 : 해양위성 활용연구로 식별된 217,059건의 기사 가운데, 노이즈를 제거한 125,599건의 기사

나. 분석 결과

(1) 해양위성활용 키워드 분석

해양위성활용연구는 해양관측위성(GOCI)의 활용 극대화를 위한 활용연구를 의미하며 주요 키워드로는 ‘해양관측위성’, ‘위성’, ‘해양위성’, ‘천리안’, ‘GOCI’, ‘GOCI-II’, ‘정지궤도 해양위성’, ‘정지궤도 복합위성’, ‘COMS’, ‘GK-2B’, ‘해양위성센터 다중플랫폼’, ‘광역감시망’, ‘무인항공기’, ‘다중위성’ 등이 있음

해양위성활용 연구 관련 데이터의 상위 키워드를 확인한 결과, ‘정부’가 가장 높게 나타났으며, 다음으로 ‘중국’, ‘북한’, ‘산업’, ‘연구’ 순으로 나타났음. 해양위성은 군사용에 대한 관심이 높은 것을 확인할 수 있음

- ‘태풍’, ‘기상청’, ‘예보’, ‘고기압’ 등 기상관측을 위한 위성 활용에 대한 단어들 나타나고 있으며, ‘함정’, ‘잠수함’, ‘감시’, ‘영토’, ‘경계’ 등 군사적으로 활용되는 단어들 많이 나타나고 있음
- TF-IDF 값으로 확인한 결과, ‘적조’, ‘엘니뇨’, ‘갯녹음’ 등 자연현상에 관한 단어들 출현하고 있음
- TF-IDF값으로 확인한 결과, ‘엘니뇨’, ‘북한’, ‘중국’, ‘태풍’ 순으로 나타나고 있으며, 자연재해와 위성을 활용하는 국가 관련 단어들 출현함

표 4. 해양위성활용연구 상위50개 키워드 출현빈도, TF-IDF

순위	키워드	빈도수	TF-IDF	순위	키워드	빈도수	TF-IDF
1	정부	113,350	0.01179	26	경계	6,244	0.00663
2	중국	105,216	0.01947	27	전투기	5,516	0.01023
3	북한	76,966	0.02375	28	궤도	4,764	0.00825
4	산업	57,002	0.00979	29	조류	4,419	0.00842
5	연구	49,366	0.01046	30	남중국해	4,402	0.01315
6	안전	48,992	0.01064	31	예보	4,341	0.01039
7	기술	48,090	0.00940	32	수송	4,088	0.00749
8	해군	18,767	0.01298	33	핵실험	3,883	0.01054
9	위성	18,571	0.01403	34	고도	3,779	0.00541
10	한반도	18,087	0.00864	35	함대	3,563	0.00875
11	우주	14,411	0.01482	36	해군기지	3,554	0.01492
12	항공기	14,176	0.00996	37	순환	3,491	0.00505
13	태풍	11,472	0.01939	38	인공위성	3,475	0.00861
14	미군	11,314	0.00988	39	한계선	2,976	0.00673
15	현상	10,721	0.00779	40	화산	2,493	0.01153
16	기상청	10,574	0.01608	41	고기압	2,492	0.0128
17	대북	8,749	0.00805	42	후쿠시마	2,488	0.01387
18	국방	8,617	0.00645	43	엘니뇨	2,328	0.02479
19	함정	8,537	0.01042	44	온난화	1,731	0.00755
20	비행	8,446	0.01070	45	천리안	794	0.01264
21	잠수함	7,325	0.01349	46	기내	539	0.00687
22	감시	7,244	0.00714	47	과학기술위성	288	0.01240
23	통제	6,948	0.00630	48	위성체	100	0.00691
24	영토	6,570	0.00845	49	해양위성센터	29	0.00461
25	상공	6,397	0.00716	50	COMS	15	0.00759

해양위성활용과 관련된 5개년의 연도별 상위 키워드 분석 결과, ‘안전’, ‘중국’, ‘정부’, ‘북한’ 등이 꾸준히 상위에 나타나는 것을 볼 수 있음

- ‘항공기’의 경우 2014년에 빈도수가 급증하였고, ‘한반도’의 경우 2016~2018년에 급상승한 것을 볼 수 있음

표 5. 해양위성활용연구 기간별 상위 키워드 출현빈도

순위	2014년		2015년		2016년		2017년		2018년(7월)	
	단어	빈도	단어	빈도	단어	빈도	단어	빈도	단어	빈도
1	안전	11087	중국	7602	중국	10363	정부	9903	정부	5258
2	정부	10349	정부	6636	정부	9940	북한	8182	북한	4502
3	중국	8245	안전	5737	산업	7383	중국	8094	중국	3972
4	북한	4711	산업	4570	북한	5571	산업	6138	산업	3670
5	산업	4035	기술	3898	안전	5193	안전	5188	연구	3009
6	기술	3613	북한	3663	기술	4220	기술	4318	기술	2528
7	연구	3201	연구	3604	연구	4167	연구	4052	안전	2353
8	항공기	1850	위성	1209	한반도	1274	한반도	2083	한반도	1406
9	한반도	1087	위성	1209	위성	1152	미군	1405	위성	1033
10	함정	962	우주	1008	위성	1152	대북	1155	위성	1033
11	태풍	905	잠수함	1004	남중국해	1015	항공기	934	미군	800
12	위성	840	한반도	950	우주	931	위성	884	우주	790
13	위성	840	항공기	780	미군	873	위성	884	기상청	698
14	비행	819	기상청	752	잠수함	829	비행	849	대북	646
15	조류	700	함정	732	항공기	748	잠수함	822	태풍	633
16	기상청	641	남중국해	685	현상	744	현상	750	항공기	631
17	미군	627	비행	663	비행	716	우주	716	현상	524
18	통제	550	현상	627	함정	706	국방	656	국방	367
19	영토	539	태풍	608	대북	666	기상청	651	함정	347
20	우주	526	국방	473	핵실험	666	함정	638	통제	342
21	현상	515	감시	467	기상청	552	상공	617	비행	336
22	국방	503	미군	433	감시	548	핵실험	577	감시	328
23	상공	501	전투기	387	태풍	536	고도	523	과학기술 위성	288
24	잠수함	475	상공	361	통제	453	감시	507	남중국해	268
25	감시	457	통제	336	국방	448	전투기	459	예보	266
26	남중국해	402	경계	331	상공	413	통제	436	상공	264
27	대북	392	영토	304	궤도	399	태풍	401	경계	255
28	전투기	392	대북	272	고도	389	순환	396	고기압	255
29	고도	334	조류	261	순환	309	궤도	383	고도	239
30	경계	253	함대	256	전투기	305	조류	377	엘니뇨	228

TF-IDF의 경우 빈도수 상위권에 자주 등장하는 단어를 제외하고 2014년에 ‘태풍’이 급상승하였으며, ‘잠수함’의 경우 2014~2015년, 2017년에 급증한 것을 보임

표 6. 해양위성활용연구 기간별 상위 키워드 TF-IDF

순위	2014년		2015년		2016년		2017년		2018년(7월)	
	단어	TF-IDF	단어	TF-IDF	단어	TF-IDF	단어	TF-IDF	단어	TF-IDF
1	안전	0.01473	중국	0.01774	중국	0.02197	정부	0.01061	정부	0.00951
2	정부	0.01145	정부	0.01033	정부	0.01122	북한	0.02560	북한	0.02132
3	중국	0.01963	안전	0.01489	산업	0.01072	중국	0.01628	중국	0.01629
4	북한	0.02605	산업	0.01011	북한	0.02672	산업	0.01054	산업	0.01003
5	산업	0.01050	기술	0.00992	안전	0.01245	안전	0.01059	연구	0.01007
6	기술	0.00992	북한	0.02228	기술	0.00983	기술	0.00902	기술	0.00830
7	연구	0.01015	연구	0.00983	연구	0.00941	연구	0.00978	안전	0.00830
8	항공기	0.01137	위성	0.01268	한반도	0.00838	한반도	0.00855	한반도	0.00832
9	한반도	0.00942	위성	0.01268	위성	0.01166	미군	0.01043	위성	0.01431
10	함정	0.00941	우주	0.01278	위성	0.01166	대북	0.00847	위성	0.01431
11	태풍	0.02392	잠수함	0.01940	남중국해	0.01654	항공기	0.00896	미군	0.01081
12	위성	0.01327	한반도	0.00758	우주	0.01174	위성	0.01068	우주	0.01335
13	위성	0.01327	항공기	0.00914	미군	0.00886	위성	0.01068	기상청	0.01393
14	비행	0.01066	기상청	0.01552	잠수함	0.01343	비행	0.00968	대북	0.00701
15	조류	0.00832	함정	0.01053	항공기	0.00879	잠수함	0.01201	태풍	0.01924
16	기상청	0.01761	남중국해	0.01582	현상	0.00683	현상	0.00620	항공기	0.00904
17	미군	0.01107	비행	0.01099	비행	0.01015	우주	0.00900	현상	0.00740
18	통제	0.00611	현상	0.00652	함정	0.01026	국방	0.00563	국방	0.00518
19	영토	0.00746	태풍	0.01854	대북	0.00842	기상청	0.01420	함정	0.01119
20	우주	0.01160	국방	0.00653	핵실험	0.01035	함정	0.01085	통제	0.00583
21	현상	0.00631	감시	0.00643	기상청	0.01309	상공	0.00690	비행	0.00927
22	국방	0.00654	미군	0.00721	감시	0.00583	핵실험	0.00939	감시	0.00629
23	상공	0.00722	전투기	0.00963	태풍	0.01336	고도	0.00544	과학기술 위성	0.01241
24	잠수함	0.01470	상공	0.00568	통제	0.00539	감시	0.00622	남중국해	0.01522
25	감시	0.00666	통제	0.00542	국방	0.00587	전투기	0.00871	예보	0.00804
26	남중국해	0.01132	경계	0.00625	상공	0.00644	통제	0.00525	상공	0.00569
27	대북	0.00820	영토	0.00768	궤도	0.00858	태풍	0.01263	경계	0.00541
28	전투기	0.01094	대북	0.00739	고도	0.00540	순환	0.00490	고기압	0.01185
29	고도	0.00582	조류	0.00753	순환	0.00505	궤도	0.00593	고도	0.00523
30	경계	0.00512	함대	0.00793	전투기	0.00867	조류	0.00709	엘니뇨	0.03432

(2) 해양위성활용연구 네트워크 분석

해양위성활용연구의 키워드간 네트워크 연결정도를 살펴보면 ‘정부’, ‘연구’, ‘중국’, ‘북한’, ‘국방’, ‘한반도’ 등과 같은 동북아 국가안보에 관한 일반적인 키워드가 타 키워드로의 연결정도가 높은 것으로 나타남

- 해양위성 활용연구와 직접적으로 관련 있는 ‘천리안’, ‘과학기술위성’, ‘위성체’, ‘해양위성센터’, ‘COMS’, 등의 키워드들은 상위 50개의 연결정도 중에서 상대적으로 낮은 연결정도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 7. 해양위성활용연구 관련 키워드들의 연결정도 순위

순위	키워드	Degree	순위	키워드	Degree
1	정부	118,921	26	영토	15,572
2	연구	85,651	27	궤도	15,279
3	중국	84,024	28	기상청	14,931
4	기술	73,090	29	수송	13,399
5	산업	67,109	30	인공위성	12,747
6	북한	65,881	31	한계선	11,675
7	안전	63,749	32	함대	11,650
8	국방	51,283	33	순환	10,811
9	위성	44,976	34	핵실험	10,766
10	한반도	41,844	35	태풍	10,683
11	해군	38,927	36	예보	9,626
12	고도	37,000	37	남중국해	8,510
13	항공기	35,295	38	조류	8,479
14	비행	32,435	39	온난화	7,068
15	감시	26,482	40	화산	6,853
16	상공	25,286	41	해군기지	5,213
17	미군	24,524	42	고기압	4,670
18	현상	23,919	43	후쿠시마	2,883
19	우주	23,426	44	엘니뇨	2,315
20	통제	23,005	45	기내	2,309
21	대북	22,662	46	천리안	1,453
22	경계	22,625	47	과학기술위성	893
23	함정	20,615	48	위성체	614
24	전투기	15,946	49	해양위성센터	235
25	잠수함	15,578	50	COMS	97

해양위성활용 연구 데이터의 네트워크 분석 결과, ‘정부’, ‘연구’, ‘중국’, ‘기술’, ‘산업’ 등이 높은 연결정도를 가진 것으로 나타남

- 또한 ‘위성’, ‘산업’, ‘북한’, ‘고도’, ‘우주’ 등에 대한 단어들이 나타나고 있어 국방과 우주 및 기술개발 등과 같은 연관성을 지니고 있음

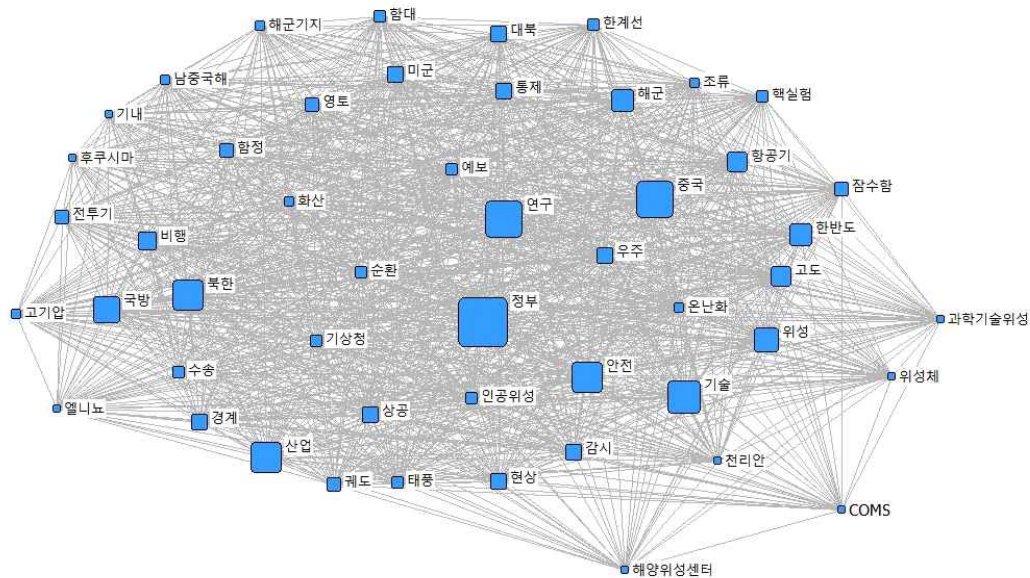


그림 67. 해양위성활용연구 관련 키워드들의 연결정도 네트워크

해양위성활용연구에 대한 키워드별 중심성을 살펴보면 해양위성활용과 직접적인 관련이 있는 ‘위성체’, ‘COMS’, ‘해양위성센터’, ‘과학기술위성’ 등 관련 있는 키워드들의 매개 중심성 및 근접중심성이 낮게 나타나고 있음

- 근접중심성의 키워드 들은 매개의 역할에서는 약하지만 모든 키워드들의 관계를 고려했을 때 모든 키워드에게 영향을 미치며 매개중심성이 높은 키워드와 다른 키워드간의 관련성을 높여주는 연결의 역할을 한다는 점에서 시사하는 바가 크다고 할 수 있음
- 즉, 해양위성활용연구와 관련되어 있는 ‘COMS’, ‘해양위성센터’ 등의 키워드가 매개중심성과 근접중심성이 높은 ‘정부’, ‘연구’, ‘기술’, ‘중국’, ‘국방’ 등의 단어들과 동시출현(공출현) 하고 있다는 것은 과학기술개발과 국방의 교집합적 연결 관계가 존재함을 시사한다고 판단됨

표 8. 해양위성활용연구 관련 키워드의 중심성

번호	키워드	근접 중심성	매개 중심성	번호	키워드	근접 중심성	매개 중심성
1	정부	49	1.95668	26	영토	48	0.81735
2	연구	49	1.95668	27	궤도	49	1.95668
3	중국	49	1.95668	28	기상청	49	1.95668
4	기술	49	1.95668	29	수송	48.5	1.67848
5	산업	49	1.95668	30	인공위성	49	1.95668
6	북한	48.5	1.33688	31	한계선	47	0.41093
7	안전	49	1.95668	32	함대	47	0.41315
8	국방	49	1.95668	33	순환	49	1.95668
9	위성	49	1.95668	34	핵실험	47.5	0.65972
10	한반도	49	1.95668	35	태풍	48.5	1.71338
11	해군	48.5	1.43715	36	예보	49	1.95668
12	고도	49	1.95668	37	남중국해	46.5	0.19704
13	항공기	49	1.95668	38	조류	48.5	1.71338
14	비행	48.5	1.33688	39	온난화	49	1.95668
15	감시	49	1.95668	40	화산	48.5	1.33688
16	상공	49	1.95668	41	해군기지	45.5	0.00000
17	미군	48	0.81735	42	고기압	45.5	0.56349
18	현상	49	1.95668	43	후쿠시마	46.5	0.19704
19	우주	49	1.95668	44	엘니뇨	45	0.14576
20	통제	48	0.81735	45	기내	46.5	0.19704
21	대북	47.5	0.65972	46	천리안	47	1.29388
22	경계	48.5	1.43715	47	과학기술위성	44	0.61988
23	함정	48	0.81735	48	위성체	44.5	0.85398
24	전투기	47	0.41315	49	해양위성센터	41	0.31249
25	잠수함	48	1.55165	50	COMS	40	0.16125

군집분석 기법을 활용하여 담론을 분석한 결과 국방과 안보 담론, 해양위성 담론, 기상, 기후변화 담론, 정부주도 연구개발 담론으로 구성되어 있음

- 단어 수가 가장 많은 국방과 관련된 담론에서는 ‘감시’, ‘경계’, ‘영토’ 등 해양 위성이 한계선 침범 등의 군사적 감시를 위해 활용되는 국방과 안보 담론이 이루어지고 있음이 확인 됨
- 두 번째로 ‘후쿠시마’, ‘현상’, ‘중국’, ‘정부’ 등 국제적인 해양 문제에 대한

키워드들이 등장함에 따라 정부주도의 국제적 해양문제 해결에 대한 담론이 이루어지고 있음

- 그 외에 '엘니뇨', '태풍' 등 해양위성을 활용해 기상 관측을 하는 담론도 나타남

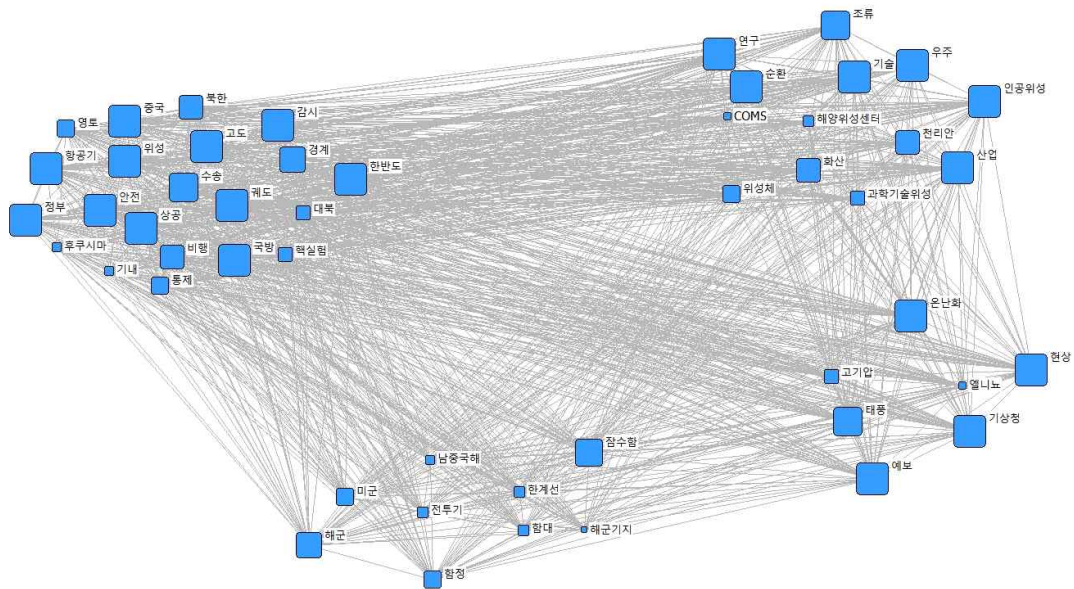


그림 68. 해양위성활용연구 관련 담론분석

제 2항 해양위성 관련 특허 분석

가. 특허분석 방법론

특허분석의 목적은 과제 수행 성과로 얻을 수 있는 3P(논문, 제품, 특허) 중 기존 특허분석을 통해, 본 연구분야의 성과로 얻고자 하는 특허 부분과 연구방향에 있어 선진국과 우리나라의 수준을 파악하기 위한 것이 주된 목적임. 조사방법은 아래의 표에서 메조 수준과 마이크로 수준의 조사방법을 진행함.

표 9. 특허분석의 방법론

프로세스	설명	조사내용	조사방법
매크로 (Macro) 수준조사	동향분석과 비전설정 프로세스에 필요한 조사	<ul style="list-style-type: none"> 연도별, 국가별 특허 추이 산업/기업분석 기술분야별 특허 동향 최근 기술의 특허 동향 등 기술경쟁력 (특허 관련 지표 활용) 	중분류 수준의 특허동향 분석
메조 (Meso) 수준조사	기술 로드맵 전개 및 비전설정에 필요한 조사	<ul style="list-style-type: none"> 연도별, 국가별 특허 추이 경쟁기술, 관련기업 분석 기술분야별 특허 동향 최근 기술의 특허 동향 등 기술경쟁력 (특허 관련 지표 활용) 	소분류 및 이와 연관되는 제품 및 서비스 수준의 특허 동향분석
마이크로 (Micro) 수준조사	기술확보 전략 및 세부 과제도출에 필요한 조사	<ul style="list-style-type: none"> 연도별, 국가별 특허 추이 경쟁기술동향, 연구기관, 연구자 탐색 등 특허맵 작성 원천기술 여부, 국제협력 등 기술 전략설정에 필요한 자료 조사 선행특허의 정밀조사 (유사기술 등) 	요소기술 수준의 특허 동향 분석

나. 국내 특허 분석

조사기간은 2000년~2019년에 걸쳐서 KIPRIS를 통해서 조사를 진행함. 검색 키워드는 중분류에서 위성(satellite)과 해양(ocean)으로 검색한 결과 국내 184건, 미국 908건, 유럽 209건, 일본 188건으로 미국이 우세함. 위성(satellite)과 수산(fishery)로 검색한 결과 국내는 3건, 미국이 327건, 유럽이 42건으로 미국이 가장 많은 특허를 보유한 것을 확인 할 수 있었음. 위성(satellite)과 기후(climate)으로 검색한 결과 국내 21건, 미국 6,461건, 유럽 828건, 일본 22건으로 미국이 가장 많은 특허를 보유하였으나, 유럽도 다른 분야보다 많은 특허를 보유한 것을 확인 할 수 있음.

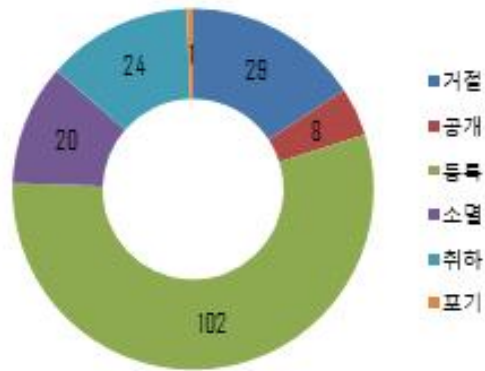


그림 69. 해양 & 위성 키워드로 등록된 최근 20년간의 특허(한국)

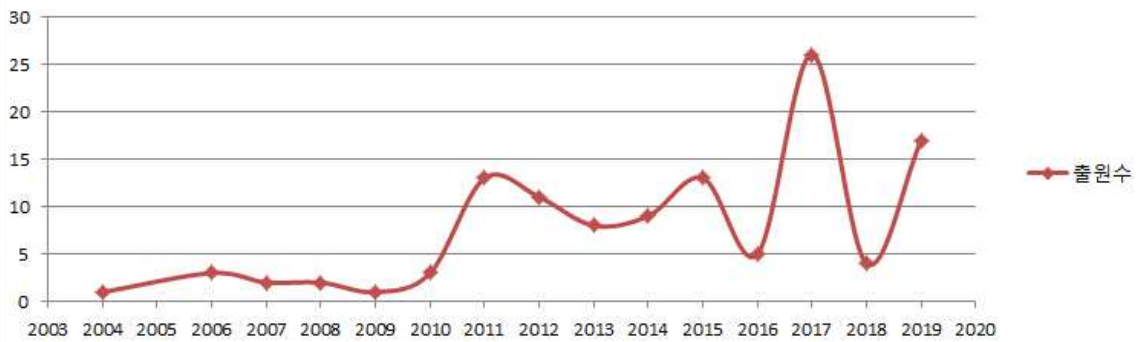


그림 70. 해양 & 위성 키워드 분석의 시계열분석(184개: 국내특허)

위의 <그림 3-2>에 나타난 시계열 분석의 결과는 최근 20년간 특허 출원의 추이를 보면 실제 COMS위성이 발사된 이후에 특허가 10개 내외로 유지되었고 이후에는 매년 출원값에 큰 변화를 보여주고 있음. 다음 그림은 2개 이상의 특허를 출원한 기관을 살펴본 것으로 해양과학기술원이 최대의 비율을 차지하고 있음.



그림 71. 국내 2개 이상 특허 출원 기관(해양 & 위성 키워드포함)

마이크로 한 수준의 키워드를 검색한 결과는 다음과 같음. 정지궤도 (geostationary)와 위성(satellite), 해양(ocean)으로 검색한 결과는 국내 17건이고, 그 중 소멸된 것이 8건, 등록이 9건으로 확인됨. 이에 비해 검색 결과 미국 862건, 유럽 113건 등으로 나타났고, 해양(ocean) 대신 기후(climate)으로 대체하여 검색한 결과 국내는 1건, 미국은 324건, 유럽은 30건으로 나타남. 이는 특허 분석을 할 수 있는 최소한의 단위인 10건 이하로 내려가 마이크로 분석은 수행하지 않았으며, 메조 스케일 분석을 보다 정밀하게 진행하는 방향으로 조사함.

따라서 위성과 해양을 키워드로 한 특허의 내용을 상세하게 나누어 분류한 결과는 다음 그림과 같음. 해양과 영상이라는 키워드를 사용하였음에도 불구하고 실제 위성영상 S/W 또는 알고리즘 개발과 관련된 것은 13%에 불과하며, 대상만 위성 영상이지 시스템과 압축 전송 등에 대한 일반 S/W와 해상 통신 관련 S/W, 관련 장치 등이 그 뒤를 이음.



그림 72. 위성 & 해양 키워드 특허 세부 내용 분류

특허맵의 분석형태로 보았을 때 위성영상분석 관련 S/W나 알고리즘이 차지하는 비중은 10%내외로 취약한 분야로 해석 가능함. 이는 상품화 가능성이 낮아 특허를 중요하게 생각하지 않는 것으로 판단됨. 또는 이 분야에서는 논문에 대한 평가가 더 중요시 여겨지는 분위기로 인한 결과로 사료됨. 그림을 보면 특허 유지가 된 것은 5개에 불과한 것으로 보아 해양과 위성 관련 특허의 의미에 대한 인지도가 낮은 것을 알 수 있음.

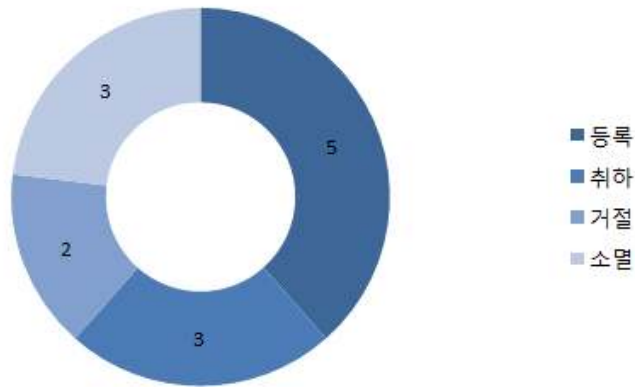


그림 73. 13개 특허의 유지상태 분석

다. 해외 특허 분석

해외 특허는 미국, 유럽, 일본을 중심으로 세부 내용을 분석했다.

(1) 미국 특허 분석

미국 특허 중 해양(ocean)과 위성(satellite)을 키워드로 검색한 결과 908개의 특허가 검색되었음. 세부 내용을 검토한 결과 일반 S/W가 358건, 소재·부품·장비, 위성과 상관없는 해양생물과 제약학적 요소를 포함한 것에 위성이란 용어가 사용된 사례를 기타로 분류한 것이 278건으로 뒤를 이음. 해양 내비게이션 및 측량장비와 같은 소재, 부품 장비관련 특허가 184건으로 우세한 반면, 영상처리 관련 특허는 50건에 불과함.



그림 74. 위성 & 해양 & 미국 포함 특허의 상세내역

또한 영상처리 관련 특허 50건 중 연차별로 특허가 유지되고 있는 항목의 출원년도를 분석한 결과는 다음 그림과 같음. 실제로 2013년도 이전의 특허는 매우 적었으며 이후에도 2013년의 6건 등록 이후 5건 이하를 보여주고 있다. 이는 해양위성분야에서 위성영상처리 관련 특허의 중요성이 크지 않은 것을 알 수 있음.

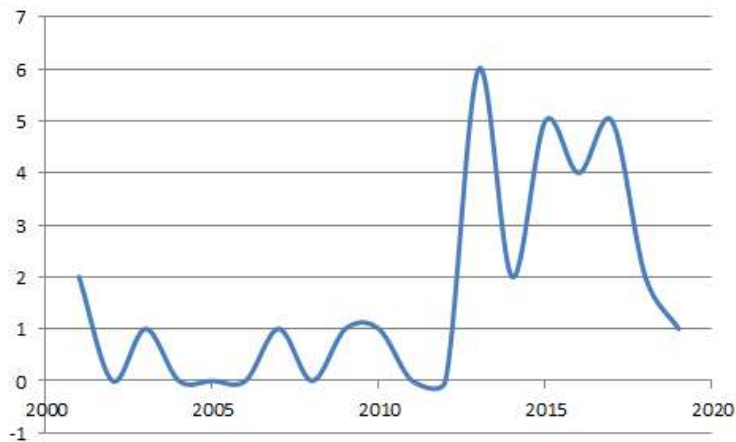


그림 75. 특허 등록을 유지하고 있는 미국특허 (해양과 위성 중 영상처리 소프트웨어 특허분석 결과)

(2) 유럽 특허 분석

유럽의 특허 중에서 해양(ocean)과 위성(satellite)으로 도출된 특허를 보면 총 209건으로 나타났다. 실제로 해양생물과 화학 관련 내용이 기타로 가장 많은 건수를 나타내고 있음. 그 뒤를 이어 해양데이터와 일반S/W 및 알고리즘 부분과 소재, 부품, 장비 관련 부분의 순서로 나타나며 영상처리 부분은 7건으로 가장 적게 나타났다. 7건의 내용 중 특허 등록은 6건으로 2005년, 2009년, 2013년, 2014년, 2016년, 2018년 각 1건에 불과하였음.

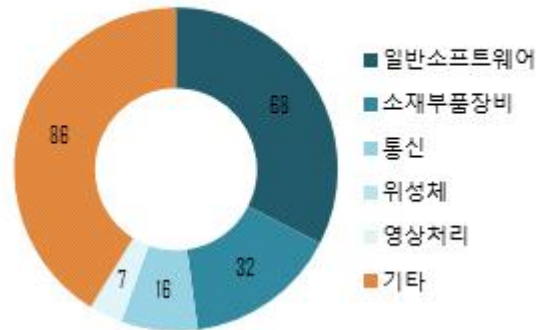


그림 76. 위성 & 해양 & 유럽 포함 특허의 상세내역

(3) 일본 특허 분석

일본의 특허 중 해양(ocean), 위성(satellite), 일본(Japan)을 키워드로 검색한 결과는 아래 그림과 같음. 총 18건의 특허가 검색되었으며, 일반 S/W와 장치 관련, 영상처리 관련 소프트웨어가 검색되었고, 이 중 등록된 것은 2011년, 2012년, 2016년 각 1건에 불과함.



그림 77. 위성 & 해양 & 일본 포함 특허의 상세내역

제 3항 PEST 분석

PEST 분석은 정치적 환경(Political), 경제적 환경(Economic), 사회적 환경(Social), 기술적 환경(Technological)을 중심으로 기술개발 사업 환경의 변화를 일으키는 거시적인 요인을 분석하고, 당면 상황에서의 사업 추진방향 설정을 위한 프레임워크로 활용함.

본 연구에서는 주요 동향 분석 결과 및 문헌 분석 등을 통해 수집한 정보를 바탕으로 PEST 분석을 수행함.

가. 정치적 환경 (Political)

(1) 동아시아 해양에 대한 패권 경쟁 심화

- 동아시아의 해양갈등은 도서영유권과 해양경계획정 문제를 둘러싸고 나타나고 있다. 동해에서는 독도영유권에 대한 일본의 부당한 주장으로 한일 간 긴장이 계속되고 있으며 해양경계획정에도 이견이 있음.
- 남중국해에서의 중국의 간척과 시설물 설치에 남중국해 주변국들과의 갈등을 고조시키고 있으며, 항행의 자유를 주장하며 중국의 세력 확장을 견제하려는 미국과의 긴장도 고조시키고 있음
- 동아시아 지역에서 증가하고 있는 해양갈등 중 독도영유권 문제와 동해 해양경계획정 문제는 한국에 직접적으로 중요한 이해관계를 가지며, 동중국해와 남중국해의 해상통항로는 한국에게도 중요성이 큼.
- 한국은 동아시아의 해양갈등이 한국의 이익에 미치는 다양한 중요성에 대한 인식의 증가와 함께, 해양협력과 해양 거버넌스의 확립 노력, 동아시아의 해양까지 포함하는 확장된 대외정책 전개의 필요성 대두

(2) 신남방정책 확대

- 문재인 정부에서 사람(People), 상생번영(Prosperity), 평화(Peace)를 위한 미래 파트너십을 구축하고자 신남방정책을 적극적으로 추진하고 있고, 아세안·인도와와의 관계를 높이고, 경제 외교, 안보, 전방위적 분야에서 협력을 하고자 함.
- 특히, 우리나라와 신남방지역을 잇는 가장 주요한 연결고리가 해양과 수산, 그리고 해운·항만물류로 손꼽히고 있음. 한국이 가진 해양과학기술과 개발 경험, 해운 및 항만물류의 역량에 대한 상당한 시너지 효과를 기대하며 다양한 정책 추진전략과 협력 방향을 모색하고 있음

나. 경제적 환경 (Economic)

(1) 해양물류, 수산자원 고갈 대응 요구 증대

- 한국 및 주요 국가의 수산업 무역구조와 국제경쟁력을 부가가치기준에서 분석한 결과에 따르면 한국 수산업의 국내총생산 대비 GDP 비중은 2000년 0.38%에서 2014년 0.21%로 감소한 것으로 분석되고, 한국 수산업의 국제경

쟁력과 GDP 기여율이 급격히 하락하는 추세를 보이고 있음

- 수산자원은 공유재로서 항시 남획에 노출되어 관리가 어려움이 있어 통합적 체계적 수산자원 관리가 필요함. 최근 정부차원의 수산자원관리 정책이 수립되고, 주요 수산자원 조성 사업이 진행됨
- 기후변화의 영향으로 한반도 주변의 수온이 상승이 지속됨에 따라, 어획종이 달라지고 있으며, 기후 변화에 민감한 어종의 산란 개체가 줄어들어 어종 다양성이 감소할 수 있음이 보고되고 있음

(2) 위성영상 분석 서비스의 사업화 시장 성장

- 정부, 공공기관 주도로 수행되던 위성 관련 사업들이 최근 민간기업 주도의 새로운 서비스로 변모하고 있음. 위성 선진국인 미국의 경우 이미 'G(Government) to G'서 'B(Business) to C(Consumer)'와 'B to B'로 위성영상 비즈니스가 전개되고 있음
- 위성이 관측한 영상이나 데이터의 분석·해석 기술을 중요하게 여기기 시작하였으며, 이러한 기술이 질병이나 재난예방을 위한 복잡한 현상을 해석하고 분석하는데 유용하게 응용되고 있기 때문임
- 우리나라도 저궤도 위성 중심으로 지구관측위성 활용을 통한 새로운 비즈니스가 민간 기업들에서 확산되고 있음. 단일 위성자료가 아닌 다양한 위성자료들을 이용한 빅데이터 및 인공지능 활용하여 사업 영역을 확대해나가고 있음

다. 사회적 환경 (Social Factors)

(1) 해양환경, 미세먼지, 기후변화 이슈에 민감한 세대

- 국제적으로 각 국의 이익과 관련한 사안에 대해서는 치열한 대립각을 세우지만, 기후변화, 환경문제 등에 대해서는 협력을 강화하고자 하는 움직임이 두드러짐
- 해양은 전 지구적인 환경문제와 기후변화 대응에 있어 1차적으로 고려되는 중요한 요소로, 그 중요성이 점점 더 증대되고 있음
- 최근 위성 모니터링, 대기 이동 예측 모델 등을 이용한 미세먼지 감시 및 이동에 대한 관심이 아주 높음

(2) 국가적 재난재해 대응을 위한 국제협력 필요성 확대

- 2011년 일본 대지진, 2018년 인도네시아 쓰나미, 2019년 호주 초대형 산불

등은 대형 재난재해가 발생하고 있음. 이에 대한 재난관리의 책임은 한 국가를 넘어서 국제적인 협력체제를 요구하고 있음.

- 최근 해양 쓰레기 문제가 전세계의 핫 이슈로 부상하고 있음. 계절에 따라, 해류에 따라 쓰레기가 어떻게 이동하는지 과학적인 조사의 필요성이 대두되고 있으며, 쓰레기가 해양으로 유입되지 않도록 규제 공조, 기술 공유할 국제 협력이 필요함

라. 기술적 환경 (Technological)

(1) 위성기반, 무인조사 기반, In-situ 기반 입체적 해양정보화 추진

- 과거에는 하나의 플랫폼에서 생산되는 자료를 활용한 해양정보들이 많았으나, 무인화 기술의 발달에 따라 해양관측 인프라가 지속적으로 증가하고 있음
- 또한 최근 IT기술의 발전으로 기계학습, 빅데이터, 인공지능 등을 이용한 융복합 활용 기술 개발이 가속화되고 GIS와 연계한 표출 시스템 개발들이 추진됨에 따라, 현업사용이 증가하고 있음

(2) 4차 산업혁명 시대의 데이터 처리 기술 (AI, 빅데이터 등) 활성화

- 전통적인 ICT는 저성장으로 어려움을 겪고 있는 반면 디지털 트랜스 포메이션*(DX)을 이끄는 제3의 플랫폼 기반 기술이 시장을 주도

** (DX) 사물인터넷(IoT), 클라우드, 빅데이터, 인공지능(AI) 등 ICT를 플랫폼으로 구축·활용하여 기존 전통적인 사회구조를 혁신하는 것을 의미*

- IoT, 빅데이터, 인공지능 등 다양한 첨단기술과 서비스가 융합해서 새로운 시장을 창출하고 사회·경제 변화에 대비한 정책* 추진

** (사물인터넷 기본계획, '14.5.), (전자정부 2020기본계획, '16.4.), (지능정보사회 중장기 종합대책, '16.12.), (4차 산업혁명 종합대책, '17.11)*

- 해양수산부는 '해양수산부 지능정보화 기본계획(2018-2022)'를 발표하고, 해양 위성영상과 관련한 주요 추진 사항은 해양관측정보의 체계적 수집 및 품질관리 강화, 연안정책 및 해양영토 수호를 위한 연근해 정보 관리체계 강화 등이 있음

마. 종합분석 결과

- 해양환경 변화에 대한 정확성 상태파악 및 서비스 콘텐츠화 필요
- 대용량 위성자료에 대한 AI 적용 품질개선 알고리즘 개발 필요
- 기후변화 대응 미래 대비 성장기반 조성 기여
- 포용적 과학기술 외교 필요



그림 78. PEST 분석 결과

제 4항 SWOT 분석

수집된 정보를 통해 내부 강점(Strengths), 내부약점(Weaknesses), 외부로부터의 기회(Opportunities), 그리고 외부로부터의 위협(Threats)을 규정하여 포괄적으로 평가하고 분석하는 SWOT 분석을 통해 본 연구의 비전 및 목표 수립을 위한 전략방향 도출을 하고자 함.

가. 기회 및 위협 요인

환경분석을 바탕으로 외부환경(기회요인, 위협요인)을 도출함

(1) 기회 요인

- 신남방정책 추진에 따른 과학기술외교 확대
- 위성자료 기반 현업활용 확대
- 국내 해양관련 기관들의 지속적인 해양관측 인프라 확대
- 세계최초 동일정지궤도상 해양-환경-기상탐재체 동시운영(GK-2A/B)

(2) 위협 요인

- 해양위성 자료에 대한 사용자 이해도 부족
- 빅데이터 융합 활용을 통한 활용기술 개발 트렌드 확대
- 국내의 해석분야 활용 전문가 부족

나. 강점 및 약점 요인

국내외 해양위성 관련 기술 동향, 사업 분석 등을 통해 정리한 시사점을 중심으로 한국해양과학기술원 해양위성센터의 강점 및 약점을 도출함

(1) 강점 요인

- 세계최초 정지궤도 해양위성(GOCI) 운영 경험을 통한 위성 검보정 및 활용 연구 능력 확보
- 동북아 해역 10년 장기 위성자료 축적
- 해외 위성 선도기관과의 국제협력 체계 구축

(2) 약점 요인

- GOCI-II 전구관측 위성자료 검보정을 위한 인프라 부족
- GOCI-II 모의 자료에 의존한 기본 산출물 기술 개발

다. 분석 결과

- (1) SO전략: GK-2A/B 융합 활용 기술 개발, 아세안 국가 활용기술 개발 지원, 장기 위성자료 축적을 통한 기후변화 정량화 기술 개발

- (2) ST전략: 스마트 해양영토 및 수산관리를 위한 활용기술 개발, 해석자료 활용 전문 인력 양성, 위성자료 분석 기술 다각화
- (3) WO전략: 국내외 해양관측 인프라 공동 활용 협력 체계 구성, 현장 실측을 통한 GOCI-II 위성자료 처리 기술 객관적 검증/자료 품질 관리
- (4) WT전략: 위성자료 품질관리 보고서 제공, 정기적 위성자료 처리기술 보완 및 재처리

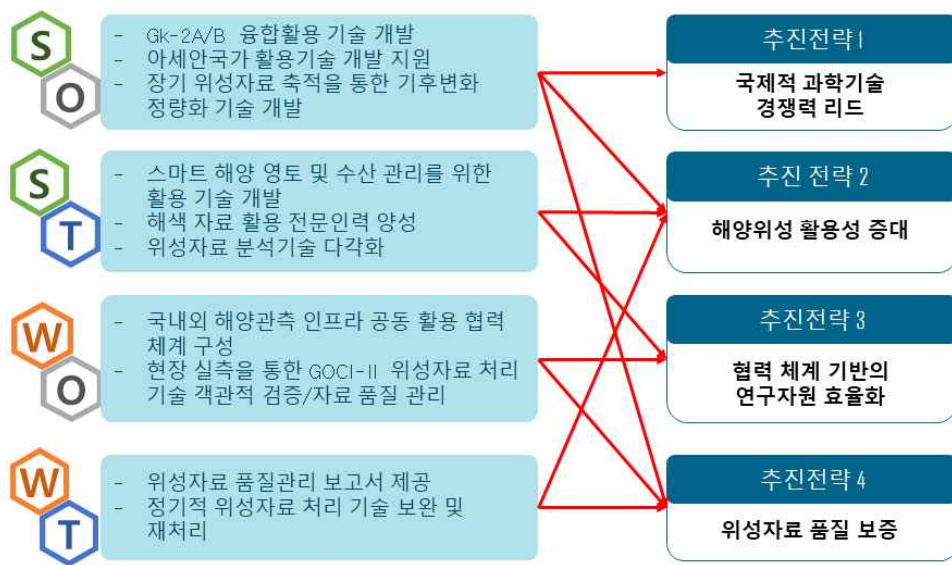


그림 79. SWOT 분석 및 추진전략 도출

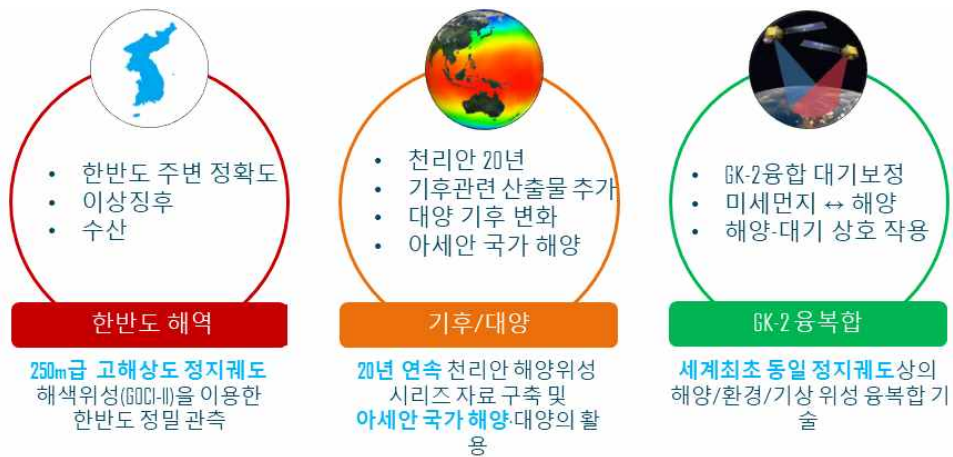


그림 80. 환경 분석을 통한 연구개발 중점추진 내용 및 키워드 도출

제 3 장 연구개발 목표 및 내용

제 1 절 연구개발 목표 및 범위

제 1항 연구 비전 및 목표

가. 비전

깨끗한 바다, 풍요로운 어장을 위한 해양위성강국 실현

나. 목표

세계 최초 정지궤도 해양위성 시리즈를 활용한 차세대 해양 관측·분석 기술 개발

- 천리안 해양관측위성 2호(GOCI-II) 운영기간 동안 위성자료 주요 산출물 검증 및 GK-2 융합을 통한 알고리즘 고도화로, 국제적으로 신뢰도가 있는 GOCI-II 위성 자료 생산함.
- 시공간 해상도 및 정확도가 개선된 GOCI-II 위성 자료를 이용하여, 한반도 연안의 외래오염 취약 해역 및 수산 분석 기술을 개발하며, 동아시아 해역 특화 해색위성 (20년) 장기자료를 구축하여, 해양 기후변화와 산업화 등에 따른 국가 현안 해결에 기여함.
- 세계최초(유일) 정지궤도 해양위성시리즈를 보유한 강점을 이용하여, 선진 해양위성 국가와 협력을 계속하며, 위성 관측 영역 내의 신평방 국가 해양재해 지원 기술 개발을 통해 해양위성분야에서 국제사회 선도에 기여함

깨끗한 바다, 풍요로운 어장을 위한 해양위성 강국 실현



그림 81. 연구 개발의 비전 및 목표

제 2항 연구 범위

(세부과제 1) 한반도 해역 해양 분석 기술 개발	
GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 일주변동 분석 기술 개발 GOCI-II 산출물 실증 및 고도화 기술 개발
이상 징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동 탐지 기술 개발 해양환경위험 요소 자동 탐지 기술 개발 북한 환경 정보 분석 기술 개발
지역해 특화 수산자원 변화 및 지원	<ul style="list-style-type: none"> 주요 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발 연근해 및 원양 어업 지원 서비스 시스템 구축
(세부과제 2) 기후/대양 활용 연구	
천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 구축	<ul style="list-style-type: none"> 천리안 해양위성 시리즈 연속자료 생산처리 기술 개발 국외위성과 상호 검증 기술 개발 천리안 해양위성 시리즈 재처리 기술 개발
기후 변화 관련 산출물 개발	<ul style="list-style-type: none"> 해양 탄소 배출량 분석 알고리즘 개발 해양 기후 변화 요소 기술 개발

기후변화에 따른 해양 생태계 변화 연구	<ul style="list-style-type: none"> • 한반도 해양환경 장기 변동성 분석 • 대양 기후 변동성과 생산성 상관 연구
관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 • 국제 검보정 네트워크 구축
(세부과제 3) GK-2 융복합 차세대 해양관측 기술 개발	
GK-2 융합 대기보정 성능 개선	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II와 AMI/GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발 • GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발
향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • GK-2 센서별 에어로졸 산출물 검증 및 특성 분석 기술 • 해양 미세먼지 탐지 정확도 향상
GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해색-표면수온 융합 자료 생산 기술 개발 • 고수온/냉수대에 의한 해양 생태환경 변화

제 2 절 연구개발 상세내용

제 1항 한반도 해역 해양 분석 기술 개발

가. GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발

(1) 일주변동 분석 기술 개발

○ 기술 정의

- 한반도 영역에서 GOCI-II는 하루 동안 10번(08시~17시)을 촬영하므로, 낮의 10시간 동안 해양에서 발생하는 현상을 연속 관측함.
- 하루의 시간 변화에 따른 주요한 해양 현상은 조석에 의한 탁도 변화, 식물플랑크톤에 의한 일주수직운동 및 엽록소 농도 변화, 적조발생해역에서의 적조 분포의 변화 등이 있음.
- 이러한 일일 해양 변동을 GOCI-II 영상자료를 사용하여 분석하는 기술을 말함.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 지금까지의 해양관측 위성들은 모두 극궤도 상에서 지구를 관측하기 때문에, 특정지역을 정해진 시간대에 1일 1번 혹은 2번 통과하면서 관측함.
- 그러나 GOCI 및 GOCI-II는 극궤도가 아닌 정지궤도 상에서 지구를 관측하기 때문에, 특정지역을 여러 번 관측할 수 있음.
- 조석에 의한 탁도 변화와 관련하여 Choi et al.(2012)은 한반도 서해남부 연안 해역에서 GOCI 부유물 농도 자료를 이용하여 조석에 따른 탁도 변화 양상을 연구하였음.
- 그러나 GOCI는 1일 8번(09시~16시)을 촬영하였기 때문에, 12시간 조석 주기를 훨씬 못 미치는 위성영상 자료를 제공하였음.
- 식물플랑크톤 및 적조 종에 의한 일주변동 연구는 선박 등의 기존 현장조사 방법을 통해 연구가 진행되었고(윤양호, 2017; 한 등, 2018), GOCI 영상자료를 이용한 연구가 없는 것은 한반도 연안 해역에서의 정밀한 대기보정 기술이 개발되지 않았기 때문임.
- 그러나 GOCI-II는 1일 10번(08시~17시)을 촬영하므로 12시간 조석 주기에 가깝게 위성영상 자료를 제공할 수 있고, 공간해상도가 250m로 향상되고 자외선 영역의 단파장 밴드가 추가되므로 한반도 연안 해역에서의 정밀한 대기보정 기술 개발이 가능함.
- 조석에 의한 탁도 변화, 식물플랑크톤 및 적조 종에 의한 일주변동 등

은 광역의 해역에서 동시 다발적으로 발생하므로, 1일 10번 한반도 영역을 상시 관측하는 GOCI-II로부터 생산된 영상자료가 기존의 선박 등의 현장조사 방법의 정점자료들보다 유용함.

- 따라서, 정지궤도위성 GOCI-II의 장점을 극대화하고 일주변동에 의해 발생하는 여러 가지 해양 현상들을 효율적으로 모니터링 하여 관계기관들의 현업지원에 도움을 주기 위해서는 조석에 의한 탁도 변화, 식물플랑크톤 및 적조 종에 의한 일주변동 분석 기술의 개발이 필요함.

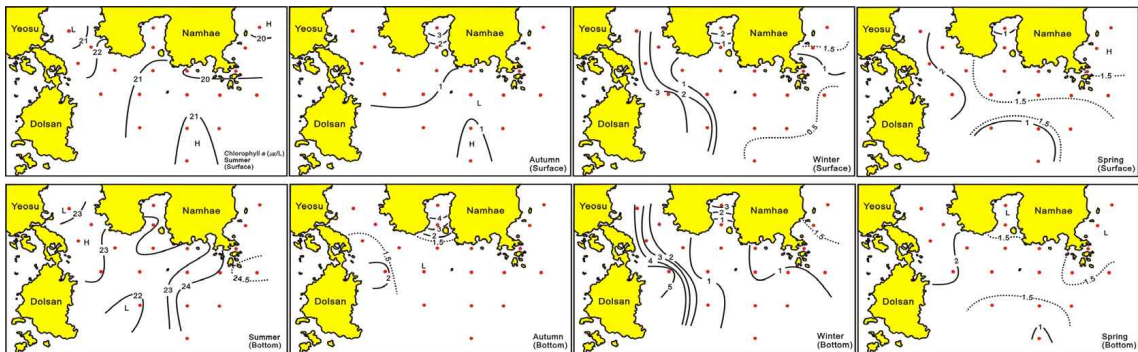


그림 82. Spatio-temporal distributions of chlorophyll a concentration in the CWoCSS.
(윤양호, 2017)

○ 연구 개발 내용

- [고탁도 해역 대기보정 기술 및 TSM를 이용한 조석변화 분석 기술 개발]
- 대기보정에서는 에어로졸 농도 및 유형을 추정하기 위해 두 근적외파장(NIR)에서 관측된 대기반사도를 이용하며, 이를 위해 NIR 파장대에서 해수의 강한 흡광으로 인해 해수의 반사도는 0에 가깝다고 가정함.
 - 하지만 탁도가 높은 해역에서는 수중 부유입자들의 강한 역산란으로 인해 NIR 파장대 반사도가 상대적으로 커지게 되며, 이로 인해 NIR 파장대 해수반사도가 에어로졸로 오해되어 에어로졸 반사도를 과대 추정함.
 - 이를 해결하기 위해 NIR 파장대 해수반사도 모델을 반복적으로 적용하여 NIR 파장대에서 해수신호와 대기신호를 분리해주는 방법이 가장 일반적으로 사용되고 있음.
 - 기존 GOCI 대기보정의 경우 적색파장대(660 nm)와 두 NIR 파장대 해수반사도의 상관관계 모델을 이용하였으며, 이 방법은 기존 다른 방법들보다 우수한 결과를 보여주었지만, 탁도가 매우 높은 해역에서는 광학적 포화현상으로 인해 여전히 오차가 크게 발생하였음.
 - 뿐만 아니라 660 nm와 두 NIR 파장 해수반사도 상관관계는 660 nm 엽록소 흡광의 영향을 받아 생산성이 높은 해역에서 오차를 더 크게

발생시키기도 하며, 부유사의 광특성이 크게 달라지는 해역에서도 추가적으로 오차를 발생시킴.

- GOCI-II에 추가된 620 nm, 709 nm 밴드를 이용하면 기존 660 nm 밴드만 사용한 경우보다 광학적 포화, 엽록소 흡광, 다른 광 특성을 가진 부유사 관련 이슈의 상당부분을 해결 가능할 것으로 기대됨.
- Choi et al.(2012)의 연구방법과 유사하게 GOCI-II TSM 영상자료들을 시간별로 수집/분석하고 이에 따른 연구해역의 조석변동과 비교/분석하여 조석변화에 따른 탁수의 패턴 분석과 조석의 세기에 따른 탁도의 변화 등을 분석하는 기술을 개발할 예정임.
- 또한 GOCI-II은 1호기에 비해 시간별 촬영횟수가 10개로 증가되어 12시간 주기의 조석변화 모니터링을 가능하게 하므로 이에 대한 분석 기술을 개발하고 검증하고자 함.

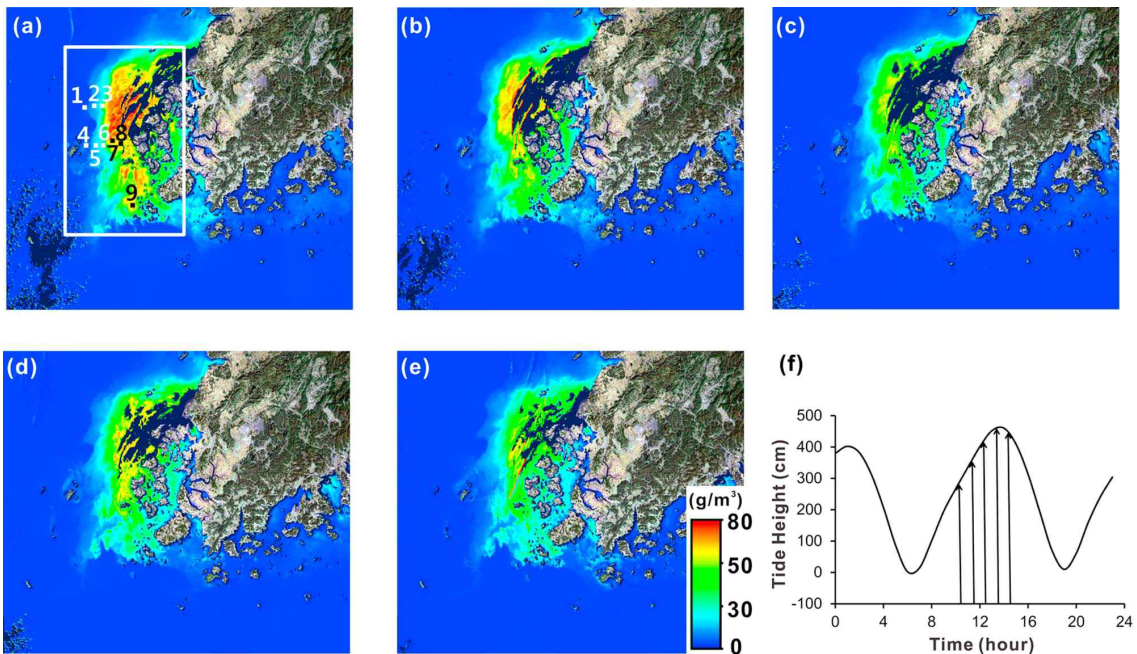


그림 83. Map of SSC generated by GOCI band 5 based on the SS algorithm in equation (1). (a) SS distributions obtained from the GOCI image acquired at 10:30 local time on 26 October 2011 with the locations where SSC variation was examined (V1-V9) marked.

SS distributions obtained from the GOCI image acquired at (b) 11:30, (c) 12:30, (d) 13:30, and (e) 14:30 local time on 26 October 2011. (f) Tidal status at the Mokpo station on 26 October 2011 (www.khoa.go.kr). (Chol. et. al., 2012)

- [적조 해역 대기보정 기술 및 적조발생해역의 일주변동 분석 기술 개발]
- 적조해역 또한 탁도가 높은 해역과 마찬가지로 NIR 파장대 해수반사도가 큰 편이며 이에 대한 영향을 보정해주어야 함.

- 하지만 NIR 과장대 적조의 광특성은 해수의 부유사 입자와는 광특성이 크게 달라서 기존의 어떠한 탁수 보정모델도 적조해역에서 대기보정이 정상적으로 이루어지지 않고 오차를 발생시킴.
- 현재 GOCI-II를 위해 적용할 수 있는 적조해역 대기보정 방법은 주변 적조농도가 낮은 해역으로부터 에어로졸 광특성 정보를 빌려와서 적조농도가 높은 화소(pixel)에 적용함.
- 이를 위해 맑은 해역 및 탁도가 높은 해역 모두에 대해 적조농도가 높은 픽셀을 구분할 수 있는 방법의 개발이 선행되어야 하고, 이를 바탕으로 적조발생 픽셀에 대해 주변 픽셀 에어로졸 정보를 내삽 후 대기보정을 수행해야함.
- 본 대기보정 방법은 적조해역 뿐 아니라 녹/갈조 발생해역 및 해양쓰레기 발생해역에도 동일하게 적용 가능함.
- GOCI-II 적조 영상자료들을 시간별로 수집/분석하고 연구해역의 조석변동에 따른 적조의 농도변화를 비교/분석하여 적조의 일주변동 분석기술을 개발할 예정임.

[에어로졸 흡광성이 고려된 대기보정 기술 및 CHL를 이용한 식물플랑크톤의 일주변동 분석 기술 개발]

- 해석 대기보정에서 에어로졸 유형 및 농도추정은 가장 장파장 밴드인 두 근적외과장대를 이용하여 추정함.
- 에어로졸 흡광에 의한 영향은 주로 단파장대에서 일어나며, 현재의 대기보정 방법은 에어로졸의 흡광이 거의 없다고 가정함.
- 하지만 Aeronet-OC를 통해 한반도 주변 해역 에어로졸의 광특성을 관측한 결과 에어로졸 흡광 특성이 대기보정에 사용되는 에어로졸보다 최소 3배 이상 강한 것으로 확인됨.
- 에어로졸 흡광이 고려되지 않을 경우, 대기보정 시 단파장대 에어로졸 과대추정 현상이 발생하게 되고 이 과대추정은 대기투과거리가 길어질수록 더 증대됨.
- 따라서 흡광성 에어로졸이 존재할 경우 하루 동안 아침과 저녁에 단파장 해수반사도가 정오보다 더 과소 추정되는 이슈가 있으며, 이로 인해 엽록소 농도의 경우 아침과 저녁으로 과대 추정되는 등의 문제가 발생할 수 있음.
- 이러한 대기보정 기술이 개발되고 이와 동반하여 식물플랑크톤의 일주변동을 분석하기 위하여 GOCI-II의 CHL 영상자료를 시간별로 수집/분석하고 공간적으로 농도형태의 변동유무를 파악하여 촬영횟수에 따른 변화 패턴을 분석하는 기술을 개발할 예정임.

(2) 산출물 실증 및 고도화 기술 개발

○ 기술 정의

- GOCI-II 산출물은 대기보정 산출물 2종, 핵심 수질 변수 산출물 3종, 해수 광특성 산출물 4종, 해양 활용 산출물 9종, 대기 산출물 3종, 육상 산출물 5종으로 총 26종임.
- 각각의 산출물에 대한 현장자료를 수집하고 매칭자료를 생산하여 각 산출물 별 비교/분석을 통해 정확도 산출 및 검증하여 오차발생 요인을 분석함.
- 오류분석을 기반으로 각각의 산출물 알고리즘을 개선 및 고도화하여 연안 및 현업활용을 위한 기술 개발을 의미함.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- GOCI 1호기와 2호기는 엄연히 다른 광학계의 특성을 갖는 센서들이므로, GOCI 1호기에 사용되었던 산출물 알고리즘은 2호기의 센서 특성에 맞춰 최적화가 필요함.
- 현재 개발되어 있는 26종의 GOCI-II 알고리즘은 2호기의 센서 특성에 맞게 최적화를 하였지만, 이론적인 배경에 기반하여 최적화가 수행되었고 실제 자료가 생산되어 적용되지 않았으므로 검증 및 실증이 수행되지 않았음.
- 이것은 GOCI 2호기가 정지궤도 상에 올라간 후, 실제 운영되어야만 가능하고 이와 같은 과정이 생략된다면 생산되는 26종에 대한 자료의 품질관리가 불가함.
- 또한 각각 개발된 알고리즘은 엄연히 검증 및 실증을 통해 정확도를 산출하고 오류를 분석하여 개선 및 고도화가 진행되어야 해당 산출물에 대한 알고리즘 개발이 종료되었다고 할 수 있음.
- 따라서 GOCI 2호기가 궤도상에 올라가서 실제 운영이 시작되면, 반드시 각 산출물별 현장자료가 수집되어야 하고 이에 맞춰서 매칭되는 영상자료가 획득되어야 함.
- 현장자료는 위성영상자료를 검증할 수 있는 유일한 참값이므로 검증된 수집방법과 유지/보수 및 검교정이 지속적으로 유지되는 현장관측센서를 통해 획득되어야 함.

○ 연구 개발 내용

- GOCI 2호기의 IOT(궤도상 시험) 종료 이후, 검증 및 실증에 적합한 해역 및 체류가 가능한 해양구조물(예, 해양과학기지)에서 1개월 동안 지속적으로 산출물 검증용 현장자료를 수집함.

- 이에 대한 매칭되는 GOCI 2호기의 산출물별 영상자료를 확보하여 현장자료와 비교/분석하여 정확도를 산출하고, 각 알고리즘 개발 당시 목표하였던 정확도 수치와 비교하여 그 차이점(오차발생요인)을 분석함.
- 오류분석을 통해 각각의 알고리즘을 개선하는 연구를 수행하여 개선/수정된 알고리즘을 개발하고 새로운 현장자료를 수집한 후, 개선된 알고리즘의 정확도 산출을 통해 검증 및 실증을 재 확인함.
- 위의 오류분석을 통해 고도화 가능성을 검토하여 그에 따른 각 산출물별 고도화 기술 개발을 수행하고 지속적인 검증 및 개선을 통해 연안 활용 및 현업활용을 위한 분석 기술 실증화를 수행함.

(3) 세부기술 연차별 목표 및 내용

○ 일주변동 분석 기술 개발

구분	연구개발 목표	연구개발 내용
1차년도	일주변동 분석 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 문헌/사례 분석 및 가능성 검토
2차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 고탁도 해역 대기보정 기술 개발 • TSM를 이용한 조석 변화 분석 기술 개발
3차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 고탁도 해역 대기보정 기술 개발(계속) • TSM를 이용한 조석 변화 분석 기술 개발(계속) • 적조 해역 대기보정 기술 개발 • 적조발생해역의 일주변동 분석 기술 개발
4차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • TSM를 이용한 조석 변화 분석 기술 개발(계속) • 적조 해역 대기보정 기술 개발(계속) • 적조발생해역의 일주변동 분석 기술 개발(계속)
5차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 적조발생해역의 일주변동 분석 기술 개발(계속)
6차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 고탁도/적조 해역 대기보정, 조석 변화 분석, 적조 일주변동 분석 기술들의 검증 및 개선 • 에어로졸 흡광성이 고려된 대기보정 기술 개발 • CHL를 이용한 식물플랑크톤의 일주변동 분석 기술 개발
7차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 조석 변화 및 적조 일주변동 분석 기술들에 대한 현업활용 분석 • 에어로졸 흡광성이 고려된 대기보정 기술 개발 (계속) • CHL를 이용한 식물플랑크톤의 일주변동 분석 기술 개발(계속)

8차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 현업활용을 위한 조석 변화 및 적조 일주변동 분석 기술들의 고도화 및 실증 • 에어로졸 흡광성이 고려된 대기보정 기술 개발 (계속) • CHL를 이용한 식물플랑크톤의 일주변동 분석 기술 개발(계속)
9차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 현업활용을 위한 조석 변화 및 적조 일주변동 분석 기술들의 고도화 및 실증(계속) • 에어로졸 흡광성이 고려된 대기보정 기술 개발 (계속) • CHL를 이용한 식물플랑크톤의 일주변동 분석 기술 개발(계속)
10차년도	일주변동 분석 기술 개발 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 현업활용을 위한 조석 변화 및 적조 일주변동 분석 기술들의 고도화 및 실증(계속) • 에어로졸 흡광성이 고려된 대기보정과 식물플랑크톤 일주변동 분석 기술들의 검증 및 개

○ 산출물 실증 및 고도화 기술 개발

구분	연구개발 목표	연구개발 내용
1차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해수 광특성 산출물 실증 • 해양 활용 산출물 실증
2차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 대기보정 오차발생요인 분석 및 고도화 가능성 검토 • 핵심 수질 변수 오류분석 및 고도화 가능성 검토 • 대기 산출물 실증 • 육상 산출물 실증
3차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 대기보정 오차발생요인 분석 및 고도화 가능성 검토(계속) • 핵심 수질 변수 오류분석 및 고도화 가능성 검토(계속) • 해양, 대기, 육상 산출물 알고리즘 개선
4차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 대기보정 고도화 기술 개발 • 핵심 수질 변수 고도화 기술 개발 • 해양, 대기, 육상 산출물 분석 기술들의 고도화 가능성 검토
5차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 대기보정 고도화 기술 개발(계속) • 핵심 수질 변수 고도화 기술 개발(계속) • 해수 광특성 산출물 고도화 기술 개발 • 해양 활용 산출물 고도화 기술 개발 • 대기 산출물 고도화 기술 개발 • 육상 산출물 고도화 기술 개발
6차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 대기보정 고도화 기술 개발(계속) • 핵심 수질 변수 고도화 기술 개발(계속) • 해수 광특성 산출물 고도화 기술 개발(계속) • 해양 활용 산출물 고도화 기술 개발(계속) • 대기 산출물 고도화 기술 개발(계속) • 육상 산출물 고도화 기술 개발(계속)
7차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 대기보정, 핵심수질변수, 해수광특성, 해양, 대기, 육상 산출물 분석 기술들의 검증 및 개선
8차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 대기보정, 핵심수질변수, 해수광특성 산출물들의 연안활용 분석 • 해양, 대기, 육상 산출물 분석 기술들의 현업 활용 분석
9차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 연안활용을 위한 대기보정, 핵심수질변수, 해수광특성 산출물 분석 기술 실증화 • 현업활용을 위한 해양, 대기, 육상 산출물 분석 기술 실증화
10차년도	산출물 실증 및 고도화 기술 개발(계속)	<ul style="list-style-type: none"> • 연안활용을 위한 대기보정, 핵심수질변수, 해수광특성 산출물 분석 기술 실증화(계속) • 현업활용을 위한 해양, 대기, 육상 산출물 분석 기술 실증화(계속)

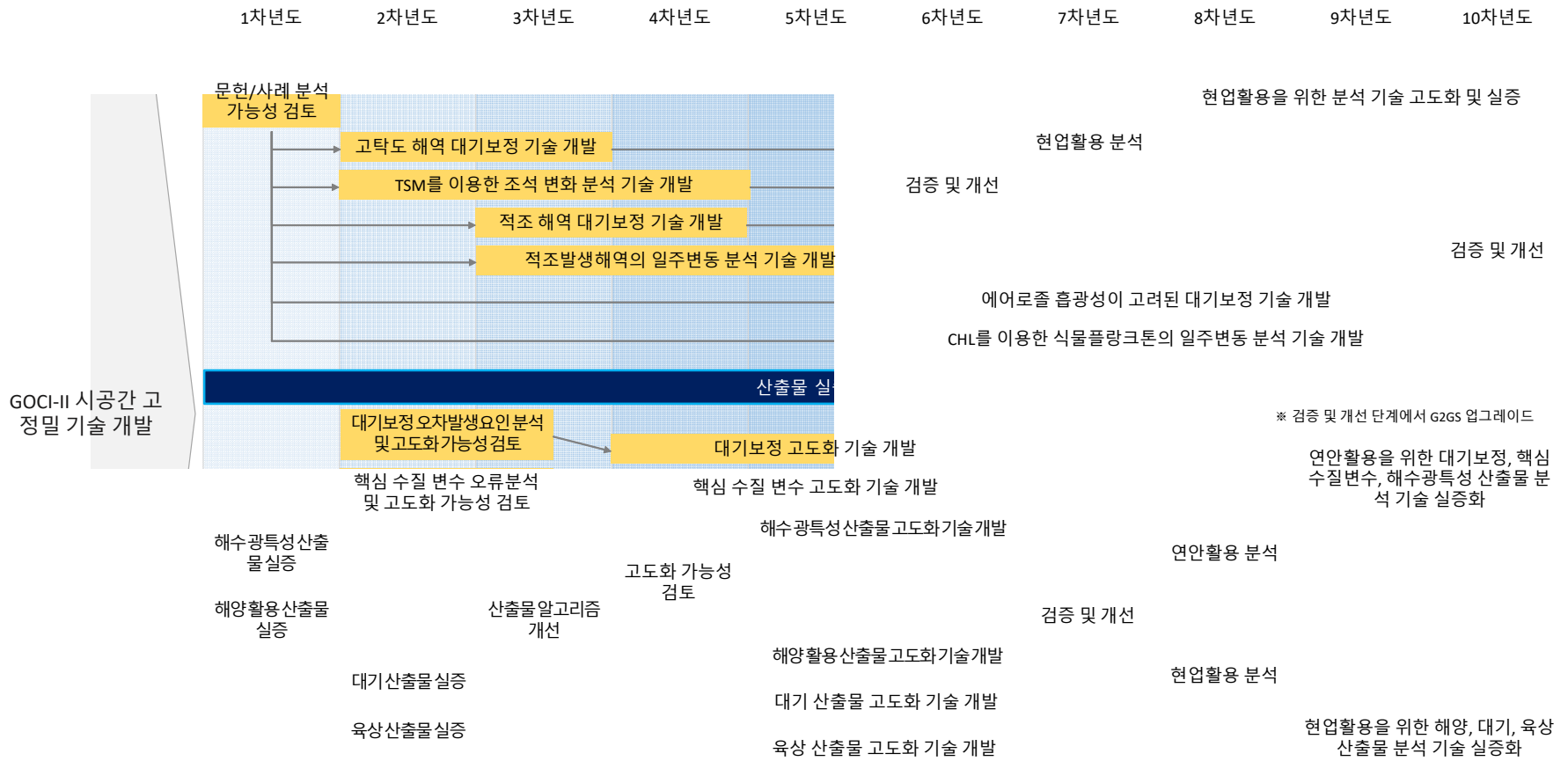


그림 84. GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발 분야 연구개발 로드맵

나. 이상징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지

(1) 외래기원 해양오염원 자동탐지기술 개발

○ 기술 정의

- 외래기원 해양오염원 자동탐지기술'은 해양을 통해 외국으로부터 유입되어 해양생태계의 균형에 교란을 가져오거나 가져올 우려가 있거나 인간의 생명 및 재산에 위해를 가져올 수 있는 요소를 GOCI-II를 중심으로 한 원격탐사기술을 활용하여 탐지 및 자동 분류하는 기술을 의미함. 이를 통해 외래기원 오염물질의 발생 및 이동을 파악함으로써 유입에 대비하고 해상 방재를 통해 피해를 최소화하는데 기여할 것으로 기대함.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 최근 기후변화로 인한 수산자원의 변동, 활발한 국제교류를 통한 외래 생물 유입 등으로 생태계를 교란시키거나 유해성이 있는 생물 출현 가능성이 증가하여 이에 대한 체계적인 관리가 필요하게 됨.
- 그에 발맞추어 「해양생태계 보전 및 관리에 관한 법률」에서 '해양생태계교란생물'과 '유해해양생물'에 관한 내용을 입법화함.
- 이 법에는 식물플랑크톤(적조 생물)이나 자포동물(해파리)은 포함되어 있으나 최근 문제가 되고 있는 부유해조류(녹조, 갈조)는 포함되어 있지 않음.
- 해양쓰레기로 인한 경제적, 생태적 피해를 심각하게 받고 있는 연안국가의 경우 외국 기인 해양쓰레기에 대해 보다 적극적인 대책마련이 요구됨. 우리나라 해역으로 유입되는 쓰레기의 기인국은 중국, 일본, 북한, 대만, 말레이시아, 인도네시아로 추정됨(한국해양수산개발원, 2004).
- 저염분수는 GOCI로 관측되고 있으나 GOCI 이후 GOCI-II에서 지속적인 관측이 필요하고 GOCI-II에 적합한 염분탐지 알고리즘 개발이 요구됨.
- 외래기원 해양오염 물질의 정책은 크게 기획(법정계획), 모니터링(또는 조사), 수거, 처리(재활용포함)로 나눌 수 있는데 지정기준, 절차, 지정 후 관리체계 등 제도가 미비하다는 한계점이 있고, 유입경로에 대한 파악 및 관리방안 마련이 이루어져 있지 않다는 문제점이 있음.

[해양쓰레기]

- 해상과 하천 유입을 통해 발생하는 해양쓰레기는 해양생태계를 파괴하여 어족 자원 감소, 해안 환경 파괴, 관광 경관 훼손에 따른 경제적 피

해를 유발하며 해상 안전사고의 원인이 되고 있음.

- 해양에 유입된 쓰레기의 처리비용은 유입 전 육상에서 처리비용을 2-3 배가량 소요됨 (정, 2009).
- Jang et al., (2014)에 따르면 우리나라에서는 연간 91,195톤의 인공물 쓰레기가 해양으로 유입되는 것으로 추정되었으며, 이는 육상기인쓰레기 32,825톤과 해상기인쓰레기 58,370톤을 합산한 것임. 그리고 이미 해양에 유입된 쓰레기의 현존량은 152,241톤으로 추정되었으며, 이는 해변쓰레기 12,029톤, 부유쓰레기 2,451톤, 침적쓰레기 137,761톤으로 구성되어 있음
- 최근 들어 외국 기인 부유쓰레기 유입으로 인한 피해가 심각해지고 있어 해양쓰레기의 국가 간 이동 문제가 크게 부각되고 있음.

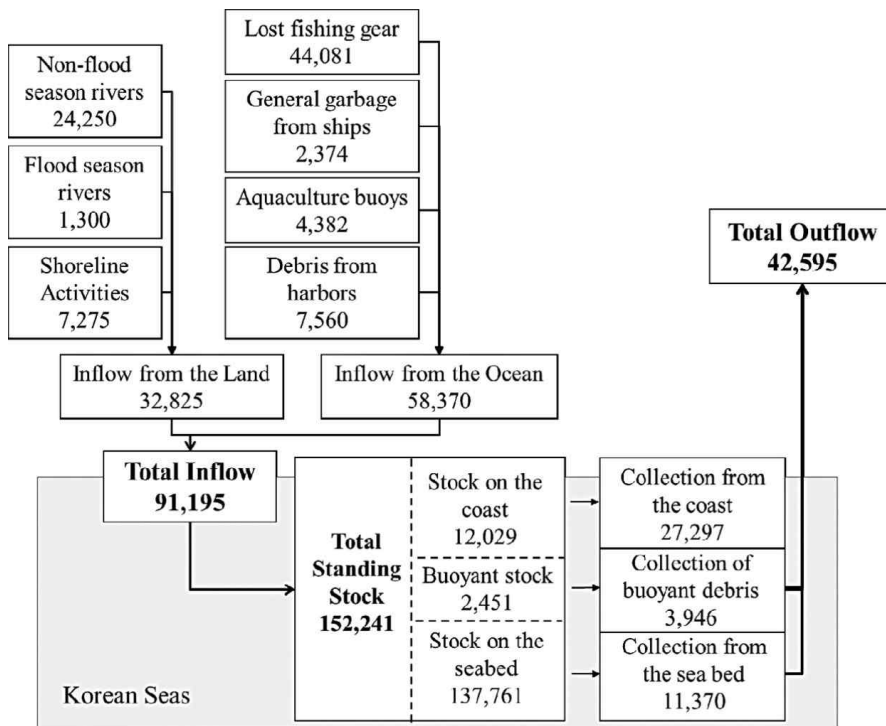


그림 85. 한국의 해양쓰레기 발생량과 현존량 추정치 (Jang et al., 2014, 2012년 기준)

[해파리]

- 해파리는 생식능력과 환경적응 능력이 뛰어나 포식자가 없거나 먹이생물이 풍부한 경우 다른 생물과의 생존경쟁에서 쉽게 우위를 점하여 개체수가 기하급수적으로 증가할 수 있음.
- 최근 지구온난화에 따른 수온 상승으로 동중국해 부근에서 대량 발생한 대형 해파리 (Nemopilema nomurai)가 한국과 일본 연안으로 유입되어 연안 수산업에 큰 피해를 입히고 있음 (그림 2).

- 이렇게 증가한 해파리는 해안가에 있는 발전소의 취수구를 막아서 발전을 중단시키거나, 해양레저를 즐기는 사람들이 해파리에 쏘여서 피해를 받기도 함. 또한 양식장의 물고기와 이매패류를 죽이거나 상품가치를 떨어뜨려 피해가 발생함.
- 현재 수중생물의 분포량 조사에는 트롤에 의한 채집, 목시 조사 등이 주로 이루어지고 있으나 선박을 이용한 조사는 많은 비용과 인력이 요구됨.
- 위성을 이용한 해파리 탐지는 비용과 인력 소요를 크게 줄일 수 있음.



그림 86. 동중국해에서 관측된 대형 해파리(*Nemopilema nomurai*)
(<https://www.sisain.co.kr/>)

[갈조]

- 2012년 동중국해에 대량의 갈조가 출현함, 이후 매년 대규모로 나타나고 있음 (그림 3).
- 이 중 일부는 한반도에 유입됨, 2015년 대규모 갈조의 한반도 유입 이후 관심이 높아짐.
- 부유해조류는 수거 및 처리에 많은 비용을 발생시키고, 소형선박의 운항을 방해하며, 해안에 쌓여 부패하면서 악취와 벌레를 불러와, 관광 감소로 이어짐.
- 부유해조류의 분포 범위는 최대 수만-수십만 km²에 이르므로 위성을 이용하여 탐지하는 것이 효과적임.



그림 87. 동중국해에서 관측된 갈조(왼쪽) (Byeon *et al.*, 2019), 한국 제주연안에 유입된 갈조(오른쪽) (<http://www.jejudomin.co.kr>)

[녹조]

- 2008년 중국 동해안에 세계 최대 규모의 녹조가 발생하였고, 이후 매년 출현하고 있음 (그림 4).
- 이 중 일부는 한반도에 유입되고 있으며, 2011년에는 대규모의 녹조가 유입되어 큰 이슈가 되었음.
- 상대적으로 갈조에 비해 유입량은 적지만 최근 이상기후로 2011년과 같은 대규모 유입 가능성은 항상 존재하므로 지속적인 관측 및 예측이 필요함.
- GOCI-II는 높은 시·공간해상도로 한반도 주변해역을 촬영하므로 부유해조류 탐지에 가장 효과적인 수단임.



그림 88. 중국 칭다오 해역의 녹조(왼쪽) (<http://www.news.cn>), 한국 제주연안의 녹조(오른쪽) (<http://www.headlinejeju.co.kr>)

[적조]

- 한반도 연안역에서 발생하는 적조는 매년 양식업에 수-수백억 원에 이르는 피해를 주고 있으며 이로 인한 어민들의 경제·심리적 충격은 엄청남 (그림 5).

- 이러한 적조 피해를 최소화하기 위하여 적조 분포나 발생 가능성 정보를 적조 발생 초기에 파악하는 것이 중요함.
- 선박을 이용한 감시는 관측범위가 매우 제한적이며 인원과 비용이 많이 듦. 그러므로 넓은 해역을 거의 동시에 관측 가능한 위성을 활용한 적조탐지가 필요함.
- 지금까지 다양한 적조 탐지 알고리즘이 개발되었으나 신뢰성의 문제와 기존 방법을 관성적으로 따르는 경향에 의해 적조 발생 시 직접 이용된 예는 적음.
- 하지만 GOCI-II의 높은 시공간해상도는 적조 탐지에 활용성이 높을 것으로 예상됨.



그림 89. 적조에 의해 폐사한 경북 포항 가두리 양식장의 어류 (<https://www.yna.co.kr/>)

[저염분수]

- 중국 장강에서 유출된 담수가 동중국해로 유입되면서 장강희석수를 형성하게 되고, 특히 하계에는 많은 양의 담수가 유입되면서 제주도를 포함한 광역의 해역으로 이동함 (그림 6).
- 저염분수는 동중국해 및 주변해역에서 해류 시스템 변화 및 생지화학적 원소들의 거동 및 분포 변화로 해양생태계에 심각한 변화를 초래 함.
- 다량의 담수가 제주 연안으로 유입되면서 어장 및 양식 산업에 막대한 피해 유발.
- 광역의 해역에서 유입되는 저염분수를 조기에 관측하여 피해를 최소화하기 위한 해양 관측 연구가 필수적임.

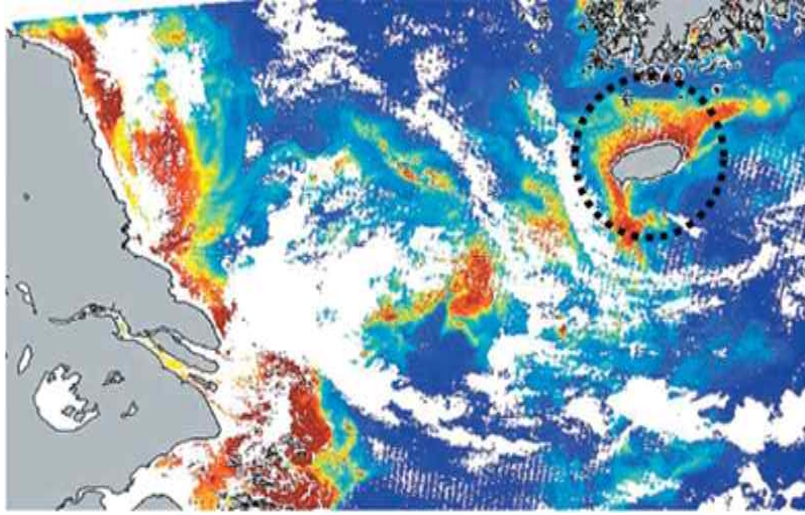


그림 90. 2016년 7월 6일 GOCI로 탐지한 저염분수
(<http://www.donga.com/>).

○ 연구 개발 내용

[해양쓰레기]

- 현장 조사를 통한 연구 적정지 선정 및 환경 분석
- 광특성에 따른 해양쓰레기 분류 체계 구축
- 장기위성자료 기반 해양쓰레기 정량, 정성 분석
- 자동 탐지 기술 개발

[해파리]

- 현장 관측을 통해 해파리 출현 해역 자료 수집 및 환경 분석
- 해파리의 광특성 기반 해파리 탐지 알고리즘 구축
- 위성 영상 기반 해파리 발생 해역 추정 및 분석

[부유해조류]

- 국내에 유입되는 주요 갈조(녹조) 종의 분광특성 분석
- 탐지 정확도 향상 및 정량 분석이 가능한 알고리즘 개발
- 기존의 알고리즘과 비교하여 성능 검증
- 예보 및 자료 제공

[적조]

- 위성영상 및 현장조사를 통하여 한반도 주변 국가의 연안에서 발생하는 적조 조사
- 각 해역의 주요 적조 원인 종과 각 종의 분광특성 조사

- 적조종의 분광 특성을 이용한 적조 탐지 알고리즘 구축
- 각 해역의 적조 발생 시기 및 모델과 위성을 연계한 이동 경로 파악
- 한반도 해역의 유입가능성 조사
- 적조의 자동화 탐지기술 개발

[저염분수]

- 현장 조사 및 국립수산과학원 정선자료 수집
- 해색 산출물과 염분의 상관관계 분석
- GOCI-II 기반 염분탐지 알고리즘 구축
- 위성 영상 기반 저염분수 확산 범위 및 농도 분석

(2) 해양환경 위협요소 자동탐지 기술 개발

○ 기술 정의

- 해양환경 위협요소는 해양에 유입 또는 배출되어 해양에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 물질이거나 일반적인 상태로는 해양 생태계에 직접적으로 영향을 미치는 오염물질이 아니지만 주변 환경과 정도에 따라 중대하게 영향을 미치는 물질을 GOCI-II를 중심으로 한 원격탐사기술을 활용하여 탐지 및 자동 분류하는 기술을 의미함.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 해사채취에 따른 해양생태계 구조 및 부유사 거동 연구는 해양특성에 의한 변화 뿐 아니라 해상기상환경에 따른 부유사 거동에 미치는 영향 인자가 다양하여 분석에 많은 어려움이 따름. 또한 인공위성을 이용한 부유사 확산 모델링 연구에 있어서도 해상 기후변화에 대한 장기적이며 연속적인 조사는 매우 제한적이며, 모델구축 및 보정에 한계가 있었음.
- 지금까지 기본 해양환경 조사자료 외 과학적, 합리적 정책결정을 위한 비교 및 검증 연구는 거의 없으며 향후 초래될 어업피해조사에 대한 적법한 대응과 환경영향을 최소화 할 수 있는 해사채취 관리방안 마련을 위한 과학적 근거 확보가 필요함
- 육상 폐기물의 해양 투기를 금지하기 위해 2006년부터 폐기물 해양투기를 단계적으로 저감하여 2016년에는 폐기물의 해양배출을 금지함. 하지만 불법 해양투기가 보고되고 있음.
- 원전배출수의 경우 향후 에너지 자원으로 활용하기 위해서는 해양환경 영향에 관한 과학적 근거자료 수집, 지역주민의 어업피해보상 문제 해결이 꼭 필요함.

- 2011년 일본 후쿠시마 원자력 발전소의 방사성 물질 해양 유출사고에 따른 우리나라 해역의 위험성 문제가 이슈화되어 국립수산과학원을 통해 동·서·남해 및 동중국해 75개 정점에 대한 수산물의 방사능 안전성 검사를 실시하고 주기적인 모니터링을 수행하고 있음.
- 1995년 씨 프린스(Sea Prince)호 사고 후 해양오염방제를 개선하기 위해 방제선박 확충, 방제업무 책임기관의 일원화, 관련 국제협약의 수용, 방제 전문 인력 양성 및 기술개발 투자 확충 등 방제능력을 강화해 오고 있음. 이와 같은 대응 노력에도 불구하고 선박이나 해양 시설로부터 사고는 지속되고 있는데 해양오염 사고 대응에는 초기 발견과 이동 확산 파악이 가장 중요함.
- 침몰선박이 야기할 수 있는 해양오염 사고를 예방하기 위해 2012년 「해양환경관리법」을 통해 오·폐수, 기름 등 해양오염 원인물질이 해양으로 유출되지 않도록 수거·처리를 통해 관리하고 있음.
- 2013년 부산 태종대 앞바다에서 화학 물질 운반선인 마리타임 메이저(Maritime Maisie)의 화재와 2015년 중국 텐진항 위험물 보관 시설의 폭발 사고로 우리나라도 위험·유해 물질(HNS: Hazardous & Noxious Substance)에 대한 관리 강화가 요구되고 있음. 이에 우리 정부는 해양수산부를 중심으로 종래 기름 중심의 해양오염사고 대응 체계를 나프타, 질산, 등 위험·유해 물질로 확대하고 이에 대한 체계적인 관리와 효과적인 대응을 위한 연구 개발을 2015년부터 추진 중임.

[해사채취]

- 해사 채취는 1992년 1,550만 톤에서 2002년 3,300만 톤으로 급증하였고, 전체골재자원에서 차지하는 비율도 1992년도에 15.3%에서 2002년도에 27.7%로 급증함 (장, 2004), (그림 7).
- 해사의 수요는 우리나라의 건설자재 공급패턴에 큰 변화가 없는 한 상당기간 지속될 것으로 보임. 특히 해사의 수요증대가 육상모래자원의 고갈에 기인하고 있고, 해사채취 요구 또한 증가할 것으로 보임.
- 해사 채취에 따른 부유물 발생, 잉여수 배출 등은 해양생물들의 서식 환경을 변화시켜 자원 감소와 생태계 교란을 일으킴.



그림 91. 서해 EEZ 해사채취 현장 (<https://www.yna.co.kr/>)

[원전배출수]

- 우리나라는 1970년대 이후 사회의 생활수준이 향상되고 산업이 급속도로 발전하면서 편리한 전기에너지를 엄청나게 요구하게 됨. 전력 수요를 충당하기 위하여 필연적으로 우리나라의 발전설비와 발전전력량은 해마다 증가하였으며, 20세기 후반부터 연안 곳곳에 원자력발전소 건설이 추진됨 (김, 2003).
- 원전배출수란 원자력 또는 화력 발전소에서 터빈을 돌리는 증기를 식히기 위한 냉각수를 의미함. 이것은 인근 바닷물을 사용 후 바다로 다시 방류되며 취수시보다 약 6~7°C 정도 수온이 상승하기 때문에 주변 해양생태계에 영향을 미칠 위험성이 농후한 특성을 가지고 있음. 현재 원전배출수에 대한 직접적인 규정을 가진 법률은 존재하지 않음.
- 외국에서는 우리처럼 다양한 해양생물을 식용으로 하지 않으며 연안에 양식장과 어장이 조밀하게 들어서 있지 않으므로, 연안에서 관류냉각 방식으로 원전배출수를 방출하여도 크나큰 문제가 되지 않음.
- 하지만 우리나라는 이와 반대의 상황으로 원전에서 배출수가 생태계에 미치는 영향을 알기위해서는 배출수 확산을 정량·정성적으로 파악해야함.
- 1991년부터 2001년까지 원전 가동과 관련한 민원은 모두 103건이었으며, 원전배출수와 관련된 민원이 주류를 이룸 (산업자원부 한국수력원자력주식회사, 2002).
- 냉각수로 사용되는 원전배출수는 물리화학적 성질이 주변 해수와 다를 것이며 높은 시공간해상도를 가진 GOCI-II를 이용하면 확산 범위 추정이 가능할 것으로 예상됨.

- 특히, 2011년 3월 11일, 일본 도호쿠 앞바다에 9.0의 지진과 대규모의 쓰나미가 발생함. 그로인해 후쿠시마 원자력 발전소가 바닷물에 잠겨 방사성 물질이 외부로 흘러나오면서 주변이 오염됨. 이 물은 태평양으로 흘러들고 있지만, 그 위험이 어느 정도나 되는지 알 수 없음.

[유류유출]

- 해상에서 유류유출 시 기름의 위치, 변화과정, 이동 특성을 신속하게 파악하고 예측하는 것은 방제전략에 필수적임.
- 기름에 의한 해양오염은 고의적인 불법배출, 부주의 그리고 선박의 충돌, 좌초, 침몰 등 해난사고에 의하여 발생.
- 기름유출 탐지에는 주로 SAR가 이용되었으나, SAR는 풍속의 영향을 받고 관측주기가 긴 단점이 있음.
- 위성에서 관측된 자료는 모델과 결합하여 이동예측 가능.



그림 92. 허베이스피리트호 유류유출 (<http://www.hdhy.co.kr/>)

○ 연구 개발 내용

[해사채취]

- 국내 해사채취 현황 파악 및 연구해역 선정
- 해사채취 해역의 분광특성 및 환경 분석
- 위성영상 기반 해사채취에 의한 부유사 확산 농도 및 범위 산출

- 미신고 된 불법 해사채취 및 폐기물 투기 선박 조사
- 해사채취에 따른 해양환경 영향 분석

[원전배출수]

- 현장 조사를 통한 연구 적정지 선정
- 원전배출수와 주변 해수의 광특성 분석
- 해색 산출물과 수온의 상관관계 분석
- 알고리즘 구축 및 위성 영상 적용
- 원전배출수 자동탐지 체계 구축

[유류유출]

- 실험실 연구를 통하여 유류 종류에 따른 광특성 분석
- 유류 종류별 탐지 알고리즘 구축
- 과거 유류 유출 탐지 위성영상에 적용하여 검증
- 사고 선박 및 침몰선박의 유류유출 자동감시 체계 구축

(3) 북한 환경 정보 분석 기술 개발

○ 기술 정의

- 최근 한반도 신뢰 프로세스를 기반으로 한 통일 시대를 준비하기 위해 종합적인 국토발전방향과 발전전략 수립의 필요성이 제기되고 있음. 이를 위해 종합적이고 장기적인 한반도 국토발전 마스터플랜을 수립하여 한반도 국토발전 로드맵을 제시하며, 남북협력사업의 일관성과 지속성을 확보하고 개별사업을 검토할 수 있는 포괄적인 국토발전계획에 따라 GOCI-II를 중심으로 한 원격탐사기술을 활용하여 북한 환경 탐지 및 자동 분류하는 기술을 의미함.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 지속 가능한 국토관리를 위한 한반도 국토개발 마스터플랜 구축을 위해서는 객관적이고 과학적 분석에 활용할 수 있는 접근불능지역의 환경공간정보가 필요함.
- 하지만 현재 북한의 환경공간정보는 매우 부족하며, 그나마 환경부에서 구축한 대분류 토지피복도가 있지만 기 구축된 대분류 토지피복지도는 전 국토를 7개 항목으로 구분하고 있고, 공간 및 속성 해상도가 떨어짐에 따라 정책적으로 활용할 수 있는 분야가 한정적임.
- 북한의 육상 환경에 비해 해양 환경에 대한 정보 및 연구는 더욱 부족한 실정임.

- 국토개발 마스터 플랜에서는 북한의 효율적이고 균형 있는 발전과 난개발을 방지하고 환경을 보호하는 등 개발과 보전이 조화된 국토발전 계획의 추진이 필요함.
- 특히 도시지역과 인근 해안에 대한 개발과 보전을 포함한 통합계획을 수립함으로써, 녹색국토 실현을 위한 통일을 준비하기 위해 각종 개발 계획 수립단계에서 환경가치를 고려한 친환경 계획이 고려되어야 함.
- 북한은 오랜 기간 식량난, 에너지난, 자연재해로 환경 파괴 및 변화가 급격함에 따라 이에 대한 대책 마련으로 북한 해양 및 육상 환경 정보 구축이 요구됨.

[수중가시거리]

- 수중 가시거리는 해수의 광학적 구조를 나타내며 연안 환경의 중요한 지표가 됨.
- 상층 해양의 열전달, 수중 광합성 및 다른 생물학적 과정에 대한 연구, 일차 생산력 추정, 대양 및 연안에서 탁도 추정 연구 등의 보조 자료로 이용됨.
- 잠수정이나 잠수부의 시야 확보 측면에서 수중 가시거리를 결정하는데 기여한다. 특히 군사 전략 수립이나 의사 결정에 중요한 정보가 될 수 있음.

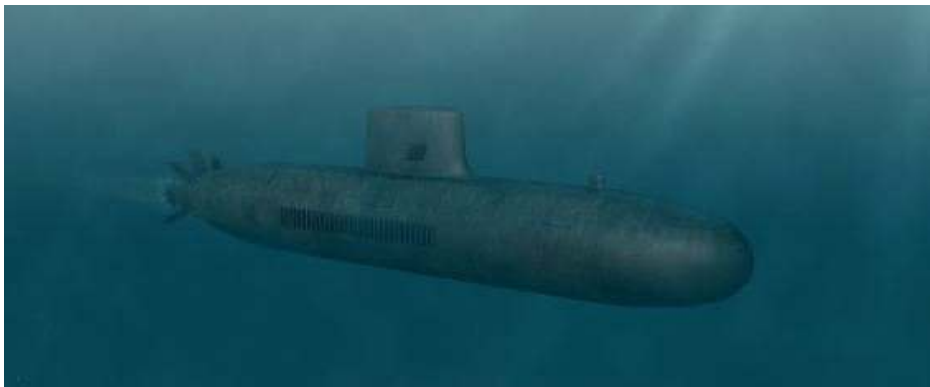


그림 93. 잠수함 개념도 (<http://kookbang.dema.kr/newsWeb/main.do>)

[육상산출물]

- 북한은 오랫동안 지속되어 온 에너지난과 식량난으로 산림이 훼손되어 가뭄과 같은 극한 기후에 의한 자연재해에 취약하여 기후변화에 대한 분석이 필요함.
- 자연재해에 대한 대응방안으로 산림의 정확한 현황 및 변화량을 파악하는 것이 필요함.
- 한반도 전역에 대한 지속적인 국토관리 측면에서도 필요함.

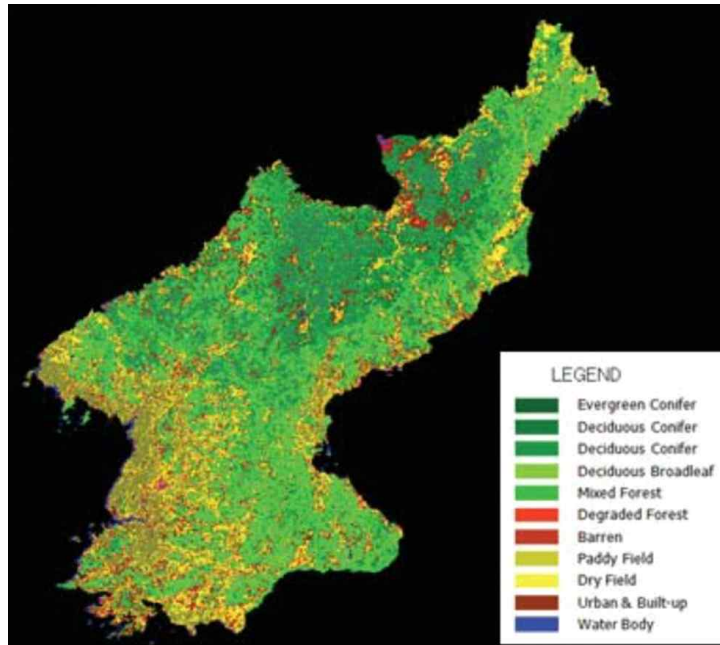


그림 94. MODIS 영상을 이용한 북한의 피복분류도
(박과 유, 2009)

○ 연구 개발 내용

[수중가시거리]

- 우리나라 주변해역의 $K_d(\lambda)$ 계수와 수중에서 수직, 수평 시계, 흡광 및 소산 계수 조사
- 획득된 자료를 이용하여 수중가시거리 알고리즘 개발
- 기존의 알고리즘과 비교 검증

[육상산출물]

- 선행 연구를 통한 관측 항목 선정
- 위성영상 획득 및 분석
- 관측 항목별 장기 자료 구축 및 환경 변화 평가

(4) 세부기술 연차별 목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동탐지 기술 개발 (해양쓰레기, 해파리) 	<ul style="list-style-type: none"> 현장 조사를 통한 연구 적정지 선정 및 환경 분석 연구 대상 (해양쓰레기, 해파리)의 분광특성 분석
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동탐지 기술 개발 (해양쓰레기, 해파리) 해양환경 위협요소 자동탐지 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 해양쓰레기, 해파리 탐지 알고리즘 개발 해양쓰레기, 해파리 장기자료 분석 기반 정량, 정성 분석 현장 조사를 통한 연구 적정지 선정 및 환경 분석 (해양환경 위협요소)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동탐지 기술 개발 해양환경 위협요소 자동탐지 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 현장조사 및 위성영상을 이용한 연구해역 환경 분석 (부유해조류, 적조, 저염분수) 해양환경 위협요소 탐지 알고리즘 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동탐지 기술 개발 해양환경 위협요소 자동탐지 기술 개발 북한 환경 정보 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 알고리즘 개발 원전배출수, 유류유출 분석 체계 알고리즘 구축 북한 접경 해역 현장 조사 및 위성영상 분석
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동탐지 기술 개발 (부유해조류, 적조, 저염분수) 해양환경 위협요소 자동탐지 기술 개발 북한 환경 정보 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 부유해조류, 적조, 저염분수 탐지 알고리즘 개발 해양환경 위협요소 탐지 알고리즘 개발 북한 접경 해역 현장 조사 및 위성영상 분석
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동탐지 기술 개발 북한 환경 정보 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 외래기원 해양오염원 자동탐지 알고리즘 개발 북한 환경 정보 분석 알고리즘 개발
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> 북한 환경 정보 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 북한 환경 정보 분석 알고리즘 개발
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> 북한 환경 정보 분석 기술 개발 요소별 자동 탐지 모듈화 	<ul style="list-style-type: none"> 북한 환경 정보 분석 알고리즘 개발 각 요소별 자동 탐지 체계 구축
9차년도	<ul style="list-style-type: none"> 요소별 자동 탐지 모듈화 	<ul style="list-style-type: none"> 각 요소별 자동 탐지 체계 구축
10차년도	<ul style="list-style-type: none"> 요소별 자동 탐지 모듈화 	<ul style="list-style-type: none"> 각 요소별 자동 탐지 체계 구축



그림 95. 이상징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지기술 분야 연구개발 로드맵

□ 지역해 특화 수산자원 변화 및 지원

(1) 주요 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발

○ 기술 정의

- 어장 형성에 중요한 역할을 하는 여러 환경조건(수온, 염분, 엽록소a, 일차생산성, 해수면 고도 등)을 파악하여 대상 어종의 어장 분포를 추정
- 현존량을 직접적으로 추정할 수는 없으나 대상 어종의 어장 분포를 간접적으로 파악하고 어장이 형성 될 수 있는 해역을 파악

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 한반도 연근해에서 잡히는 고등어, 오징어, 대구 등의 어종 중 2개의 어종을 선정
- 복잡한 한반도 주변 해역에서 어종별로 영향을 주는 요인들을 분석하여 어장지수를 개발하고 이를 검증
- 현재 어장지수 알고리즘 개발 연구는 어획 기록에 매우 의존적이며 대상종의 생태학적 서식 범위(native range)에 대한 고려 또한 필수적임
- 기후 변화에 기인한 해양환경변동에 따른 해양생태계 변화에 의한 각 지역해 주요 어종별 주요 서식 범위 변동에 미치는 주요 조절 요인 파악 시급
- 기 개발된 위성기반 일차생산 산정 모델 중 전지구 해역을 대상으로 하는 VGPM(Vertically Generalized Production Model)은 한국 연근해역에서 정확도가 떨어지며 전반적으로 과대 추정하는 양상을 보임
- 동해에서 주로 사용하는 KI(Kameda & Ishizaka) 모델 또한 VGPM 모델에 비해서 과대 추정하는 양상은 감소되었으나 여전히 높은 값을 보이며 국내 연근해역에서의 정확성에 대한 검증은 다소 미비한 상태임
- 주 등(2014)에 따르면 울릉분지에서의 KI 모델과 현장관측 자료 사이에서 0.7113의 매우 높은 R2가 확인되었고, 1:1에 가까운 선형 상관관계를 보였음
- 지역해의 환경 및 식물 플랑크톤의 생태, 생리 특성이 반영된 지역해에 적합한 독자적인 일차생산 추정 알고리즘의 개발 필요
- 동해연안역의 경우 근해역과는 다른 환경특성을 보이기 때문에 일차생산성 추정 알고리즘 개발 과정에서 별도로 고려해야함
- 현재 한반도 연근해에서의 일차생산 추정 알고리즘은 동해에서 다소 검보정 상태이며 다른 해역인 서해, 남해, 동중국해에서의 현장 관측 자료를 바탕으로 한 일차생산 추정 알고리즘의 개발 필요

○ 연구 개발 내용

- 위성 기반 대양 일차생산력 추정을 통하여 다랑어 등의 어업에 사용 가능한 어장지수 개발

(2) 연근해 및 원양 어업지원 서비스 시스템 구축

○ 기술 정의

- 해역별 어장지수 및 일차생산력 자료의 기술 검증이 수행된 이후, 어선으로의 위성자료 서비스 체계를 마련하여 어업활동에 유익한 과학적 기초자료를 제공하고자 함
- 위성자체 방송기능인 저속정보전송(LRIT; Low Rate Information Transmission)를 통한 어장지수 및 일차생산력 영상자료 재배포

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- GOCI의 경우 CHL, TSS, CDOM이 LRIT로 배포되기는 하였으나, 어선들의 실질적인 수신 활용은 없었음
- 현재 국내 어장정보 서비스는 연안에 집중된 관측소의 지점 정보이기 때문에 공간적 분포를 알기는 어려움

○ 연구 개발 내용

- 어장지수 서비스 정책 마련 및 사용자 수요 조사
- 사용자 대상 수신 시스템 구축 지원
- 어장지수 서비스 시스템 구축을 통한 시범 서비스 실시 및 기술 개선

(3) 세부기술 연차별 목표 및 내용

	연구개발목표	연구개발내용
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 주요 연근해 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 주요 연근해 어종 선정 일차 생산력 현장자료 수집
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 주요 연근해 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> 연근해 어종 1) 어획량 자료 수집 및 어장지수 개발 위성기반 지역해 및 대양 일차생산력 추정 알고리즘 개발
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 주요 연근해 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> 연근해 어종 1) 어획량 자료 수집 및 어장지수 개발 (계속) 연근해 어종 2) 어획량 자료 수집 및 어장지수 개발 위성기반 지역해 및 대양 일차생산력 추정 알고리즘 개발 (계속)
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> 주요 연근해 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발 (계속) 원양 어업 어장지수 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 연근해 어종 2) 어획량 자료 수집 및 어장지수 개발 (계속) 위성기반 지역해 및 대양 일차생산력 추정 알고리즘 개발 (계속) 어장지수 및 일차생산력 알고리즘 G2GS 업그레이드 원양해역 어종 선정
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> 원양 어업 어장지수 기술 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> 원양해역 어장지수 개발
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> 원양 어업 어장지수 기술 개발 (계속) 연근해 및 원양 어업지원 서비스 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 원양해역 어장지수 개발 (계속) 원양 어업 어장지수 G2GS에 업그레이드 어장지수 서비스 체계 개발 및 서비스 사용자 대상 수신 시스템 구축
9차년도	<ul style="list-style-type: none"> 연근해 및 원양 어업지원 서비스 시스템 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> 어장지수 서비스 체계 개발 및 서비스 사용자 대상 수신 시스템 구축 (계속)
10차년도	<ul style="list-style-type: none"> 연근해 및 원양 어업지원 서비스 시스템 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> 시범 서비스 및 기술 개선



그림 96. 지역해 특화 수산자원 변화 및 지원 분야 연구개발 로드맵

제 2항 기후/대양 활용기술 개발

가. 천리안 해양위성 시리즈 연속자료 구축

(1) 천리안 해양위성 시리즈 연속자료 생산처리 기술



그림 97 신뢰도 있는 GOCI, GOCI-II 위성 연속 자료 구축을 위한 필요 사항 (여러 극궤도 해색위성 시리즈 운용을 해온 NASA OBPB 및 EUMETSAT의 기술개발 단계를 벤치마킹 함)

○ 기술 정의

- GOCI, GOCI-II 두 위성자료가 연속적으로 사용될 수 있도록 관측 복사휘도 및 산출물을 복사전달 이론 기반으로 보정하는 기술
- 따라서, 본 기술은 단순히 연속된 타임시리즈 생성이 아니라, 위성 자료의 영상 보정(슬롯편차보정), 복사보정, 대리 교정, 장기현장 자료 수집을 검보정 활동을 반드시 포함해야 함
- 최종적으로 GOCI 자료의 공간, 시간적 에러가 현재보다 감소된 20년 연속 천리안 해양위성 L3 자료 및 시계열 자료를 준실시간 생산하여 국내의 사용자에게 품질에 대한 정보(검보정 및 대리교정, 센서 복사보정)를 함께 제공하여 한반도 해역특화 천리안 해양위성 자료에 대한 신뢰도를 확보하는 기술임

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- GOCI는 2010년부터 약 10년간 관측을 수행할 예정이며, GOCI-II는 2020년부터 약 10년 간 관측을 수행할 예정으로, 우리나라는 약 20년 동안 정지궤도 해색 위성 관측을 수행함
- GOCI와 GOCI-II는 별개의 센서를 이용한 해색 관측 자료로 분광응답 특성이나 센서 감쇄의 경향이 다를 수 있어, 새로운 기술 개발 없이 단순히 두 위성 데이터베이스를 연속적으로 이용 할 수 없음
- GOCI는 16개의 슬롯을 이용하여 전체 영역을 촬영하게 되는데, 센서

요소별 복사보정이 엄밀히 이루어지지 않았을 시에는, 슬롯 간에 생기는 복사휘도의 차이가 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 슬롯 보정 기술이 필요함

- 현재 GOCI의 월평균 및 계절 평균 자료를 분석하면, 전반적으로 동아시아 영역의 중요한 해양생태계 변동의 정성적 변동을 잘 나타내고 있지만, 슬롯간 편차가 눈에 띄게 나타나는 문제점이 있어, 이 자료를 그대로 기후 변화 연구에 이용하는 데는 한계가 있음
- 한반도 지역 기후 연구에서 해양의 역할에 대한 연구의 필요성이 지속적으로 제기되고 있으나, MODIS 등 국외 위성은 태평양 등 맑은 해역과 미국 연안의 해상위성 산출물에 품질 관리에 중점을 두고 있음. 해양 광학특성이 복잡하고 변동이 큰 동아시아 해역에서 특화된 장기 해상위성 자료 구축이 필요함
- 세계최초 정지궤도 위성인 GOCI 자료의 슬롯편차보정 장기자료 제공에 대한, NASA 등 선진 Agency에서 지속적인 수요가 있음

○ 연구 개발 내용

- 슬롯간 경계차 보정기술 개발
 - ✓ GOCI, GOCI-II 연속된 자료를 산출하기에 앞서, 각 센서별 관측 자료의 에러를 보정하는 기술이 전제되어야 함
 - ✓ 기 개발된 GOCI 슬롯 보정 기술(CIDUM)을 장기 자료를 이용하여 정량적 성능 평가 수행함
 - ✓ 1차 GOCI 슬롯경계차 보정자료는 국내외 자료 요구 기관에 우선 제공 필요함(NASA, 미국 학계에서 보정된 GOCI 자료 지속적인 요구 중)
 - ✓ CIDUM을 보완할 수 있는 새로운 슬롯 경계차 보정기술 개발: 두 가지 접근으로 개발이 가능하며 자료 기반(Data-driven), 센서 기반(Sensor-driven) 보정 기술 개발
 - ✓ 새로 개발된 보정 기술을 적용하여 기존보다 슬롯 경계 에러 문제가 개선된 2차 보정 GOCI 및 GOCI-II 자료 생성 및 자료 공식 서비스 가능

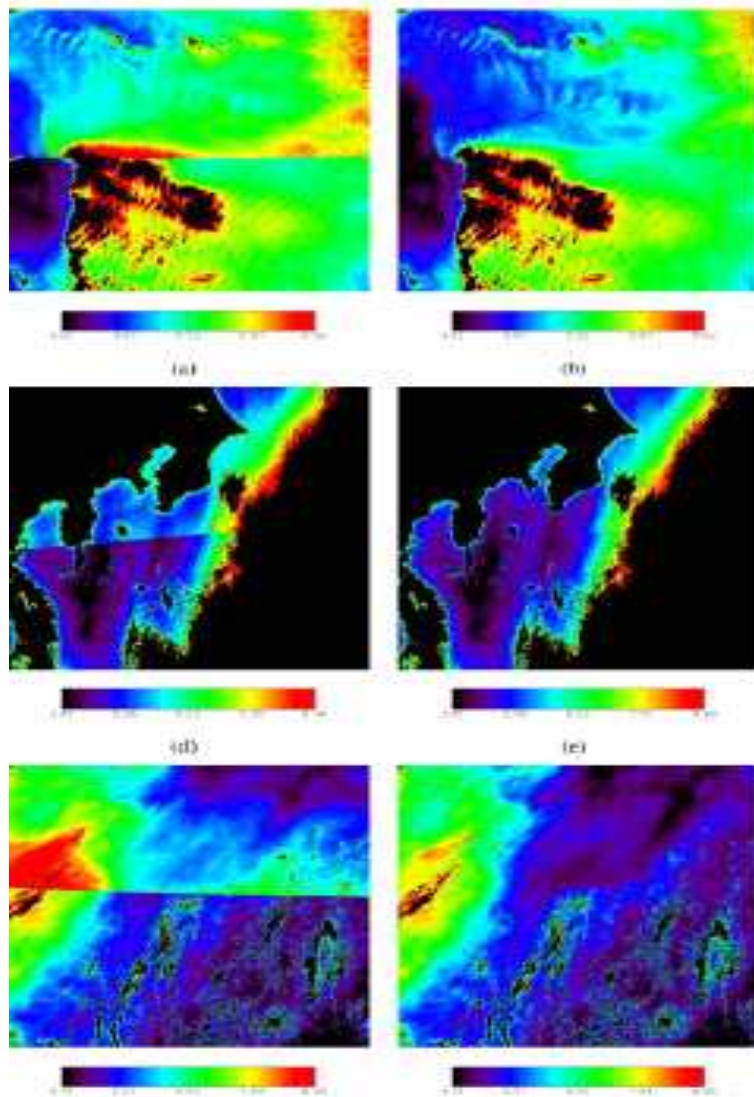


그림 98. CIDUM에 의한 GOCI 영상 슬롯 경계차 보정
전(좌), 후(우) (Kim et al. 2015)

- GOCI, GOCI-II 위성간 해상도 일원화 기술 개발
 - ✓ 수많은 해양위성을 발사하는 중요한 이유 중의 하나는 장기간의, 다양한 해양위성기반, 해색위성 자료를 구축하는 것임
 - ✓ 2004년에 발간된 IOCCG 시공간 해상도가 다른 다양한 위성을 위한 장기 해색위성자료 구축을 위한 해상도 일원화 방법을 정리한 ocean color binning에 관한 기준을 제시한 보고서를 발간하였음 (IOCCG, 2004)
 - ✓ IOCCG의 기준을 따라 binning을 수행하여, 해상도 일원화 기술을

개발할 예정임

- ✓ 최근 해양위성의 binning 방법에 따라, Equal-area binning 방법을 채택할 예정임
- ✓ MODIS는 약 4 km의 해상도로 binning하고 있으나, 천리안 해양위성 시리즈 자료는 GOCI가 500m, GOCI-II가 250m의 해상도를 가지고 있고, 2km와 4km 두 개의 격자로 테스트가 가능함

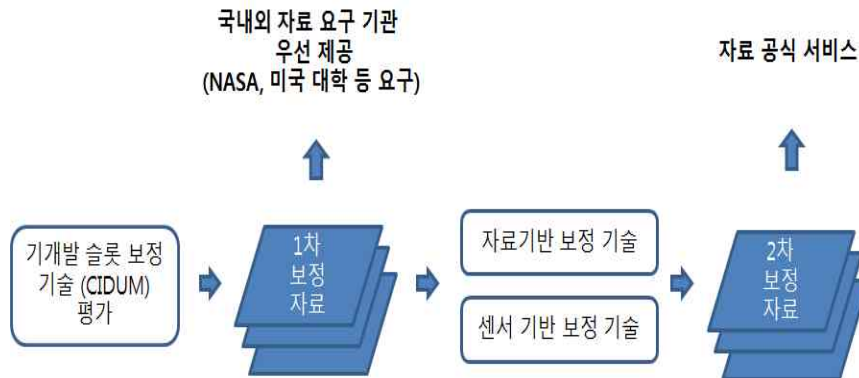


그림 99. 슬롯편차 보정 기술 개발 및 자료 제공

Sensor	Resolution	N° Pixels/tiles/bin
CZCS	No binned products	
SeaWiFS, OCTS, GLI and MERIS	1/12° latitude 1/12° longitude at Equator Approximate size	2160 pole to pole 4320 at Equator, 3 at Poles 9.28 × 9.28 km
POLDER 1 and 2	1/18° latitude 1/18° longitude at Equator Approximate size	3240 pole to pole 6480 at Equator. 6.18 × 6.18 km
MODIS	1/24° latitude 1/24° long. at Equator Approximate size	4320 pole to pole 8640 at Equator 4.63 × 4.63 km

그림 100. IOCCG report에 정리된 여러 해양위성의 공간일원화 혹은 L3 구성을 위한 binning의 공간 해상도 및 binning 사이즈

- 관측 중첩기간 GOCI, GOCI-II 상호 검증
- ✓ 2020년 두 위성의 중첩기간 동안 상호 검증을 수행 가능: 2020년 2월 GOCI-II 발사 후에도 GOCI가 2021년 초까지 1년 정도 추가로 운영할 예정
- ✓ GOCI, GOCI-II의 각 위성의 센서 교정, 슬롯 경계차 보정을 통해서 각 위성 미션별 자료의 안정성을 확보
- ✓ 천리안 해양위성 시리즈 자료의 일관성을 위해서 공통의 L2 알고리즘을 적용함

- ✓ 이상적인 상태의 해수복사량에서 일관성을 유지하기 위해서, 공통의 대리교정을 적용
- ✓ 계절 변동 등의 변동에 대해서 두 위성 mission의 일관성을 테스트함
- ✓ 현장관측 자료를 위성간 검증시 reference 자료로 활용 가능

How do we achieve consistency?

- Focus on instrument calibration
 - establishing temporal stability within each mission
- Apply common algorithms
 - ensuring consistency of processing across missions
- Apply common vicarious calibration approach
 - ensuring spectral and absolute consistency of water-leaving radiance retrievals under idealized conditions
- Perform detailed trend analyses (hypothesis testing)
 - assessing temporal stability & and mission-to-mission consistency

그림 101. NASA에서 제시한 두 해양위성간 일관성을 위해서 필요한 요소들

- GOCI, GOCI-II 센서 감도 저하가 고려된 향상된 대리교정 기술 개발
 - ✓ GOCI와 GOCI-II를 포함해 일반적인 해색위성들의 궤도상 광학시스템 복사보정 정밀도는 해색원격탐사 요구 복사보정 정밀도를 만족시키지 못함
 - ✓ GOCI와 GOCI-II 자료처리에 사용되는 복사전달모델은 여러 가지 요인들로 인해 실제 관측치와 차이가 다소 존재함
 - ✓ GOCI와 GOCI-II는 센서 특성상 시간에 따라 지속적으로 센서 감도 저하가 일어나며 GOCI의 경우 2016년을 기점으로 급격한 센서 감도 저하가 관측됨
 - ✓ 위의 요인들을 고려하여 복사전달 이론을 기반으로 센서의 복사보정 계수의 보완이 가능하며 이 계수는 지속적으로 업데이트해야 함
 - ✓ 이 대리교정 기술은 위성자료 연속성 확보를 위한 기반기술로도 활용 됨
- 위성자료 연속성 보정 기술 개발
 - ✓ NASA의 경우, SeaWiFS와 MODIS 중첩 관측 기간 동안 연속성 검증을 통해, MODIS 임무 중 센서 감도가 떨어진 문제점을 확인하였고, MODIS의 자료를 보정하였음
 - ✓ NASA는 SeaWiFS와 MODIS에 적용된 방법을 이후에 VIIRS 시리

- 즈 등 모든 후속 해색위성들에게도 동일하게 적용
- ✓ GOCI, GOCI-II의 경우에도 두 자료의 연속성을 확인하여, 불일치가 발생하는 경우 원인을 파악하여 자료 보정을 수행할 예정
- ✓ GOCI, GOCI-II 자료간 불일치는 i) GOCI 임무 후기의 센서 감도 저하 또는 ii) GOCI-II 임무 초기의 센서 불안정 등 두가지 요인을 모두 고려하여 원인을 분석해야 함

Global Chlorophyll Timeseries

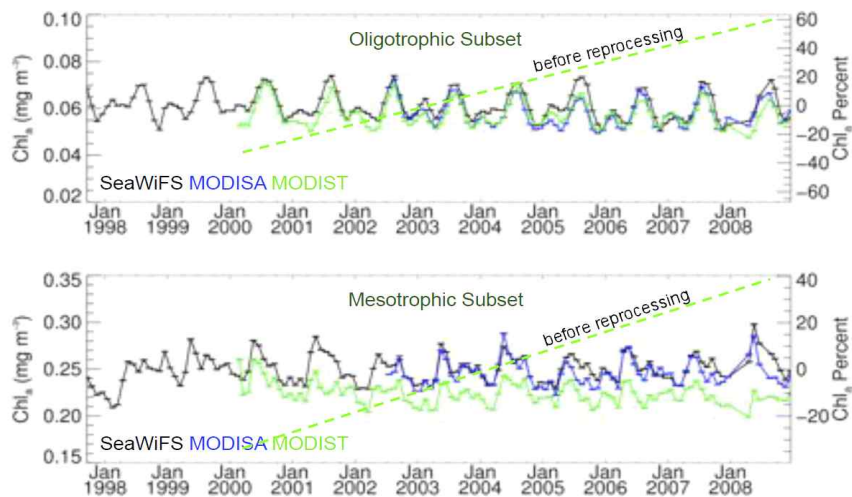


그림 102. SeaWiFS 자료를 이용한 MODIS의 연속성 보정 예시

(2) 국외위성과 상호검증 기술 개발

- 기술 정의
 - GOCI-II 운용 기간동안 GOCI-II 주요 산출물과 국외 위성(MODIS, VIIRS) 관측값을 다양한 해양광학 환경에서 현장관측 자료와 함께 상호 비교하는 기술
- 기존방법 한계점 및 연구 필요성
 - GOCI의 경우 과거의 단기적인 기간 동안 국외 위성과 상호비교 연구를 수행해 왔음(Doxaran et al. 2013)
 - 현재 KIOST 해양위성센터에서는 GOCI와 국외해색위성 상호 검증 기술을 개발하여, MODIS 자료가 GOCI와 VIIRS에 비해 상당히 Chl-a 농도를 과다추정하며 탁도가 높은 해역에서는 해수반사도를 과소 추정하는 것을 보였음.

- 현재 운용 중인 위성 자료의 품질에 대한 신뢰도를 확보하기 위해서는 준실시간으로(예, 자료 배포 1주일, 1달, 1년 후) 국외 위성과의 상호 검증하는 기술 개발이 반드시 필요함

○ 연구 개발 내용

- 천리안-국외위성 해상도 일원화 기술 개발
 - ✓ GOCI, GOCI-II의 일원화 기술 개발과 연계하여 IOCCG 기준에 따른 binning 방법에 기반을 둠
 - ✓ GOCI, GOCI-II, MODIS, VIIRS 위성을 동일한 시공간 해상도로 binning을 수행
 - ✓
- 천리안 해양위성 시리즈 Level 3 생성 기술 개발 및 Level 3 생성 기술 보완 및 개선
- 준 실시간으로 GOCI-II와 국외위성을 상호 검증하여 Bias, RMSE 등을 분석하는 기술 개발
 - ✓ NASA의 경우 다양한 해양환경(Deep-water, Oligotrophic water, Mesotrophic water)에서 L3 자료 트렌드를 분석하여 상호 검증을 수행함
 - ✓ GOCI, GOCI-II, MODIS, VIIRS binning 자료 기반 L3 자료를 구성하여, 다른 광학환경, 해양물리 환경에서 트렌드를 분석할 예정
 - ✓ 위성간 상호 검증을 수행할 때, 위성자료 뿐 아니라 현장관측 자료를 추가적으로 이용하여 Reference 자료로 이용할 수 있음

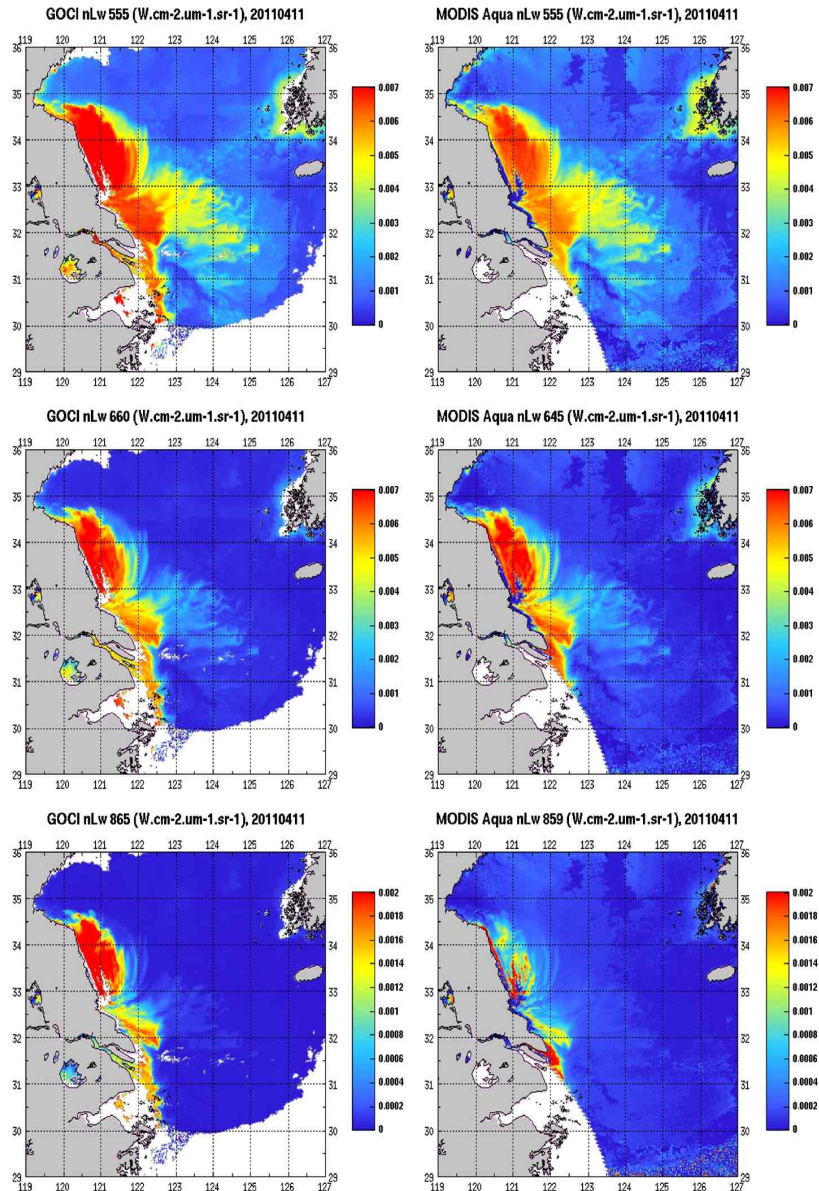


그림 103. 2011년 4월 11일, GOCI와 MODIS 관측값의 상호 비교
(Doxaran et al. 2014)

MODISA-vs-MODISA (ar2018.0m_ar2018.0m)

Global Remote Sensing Reflectance Trends

Derived from Common Level-3 Bins

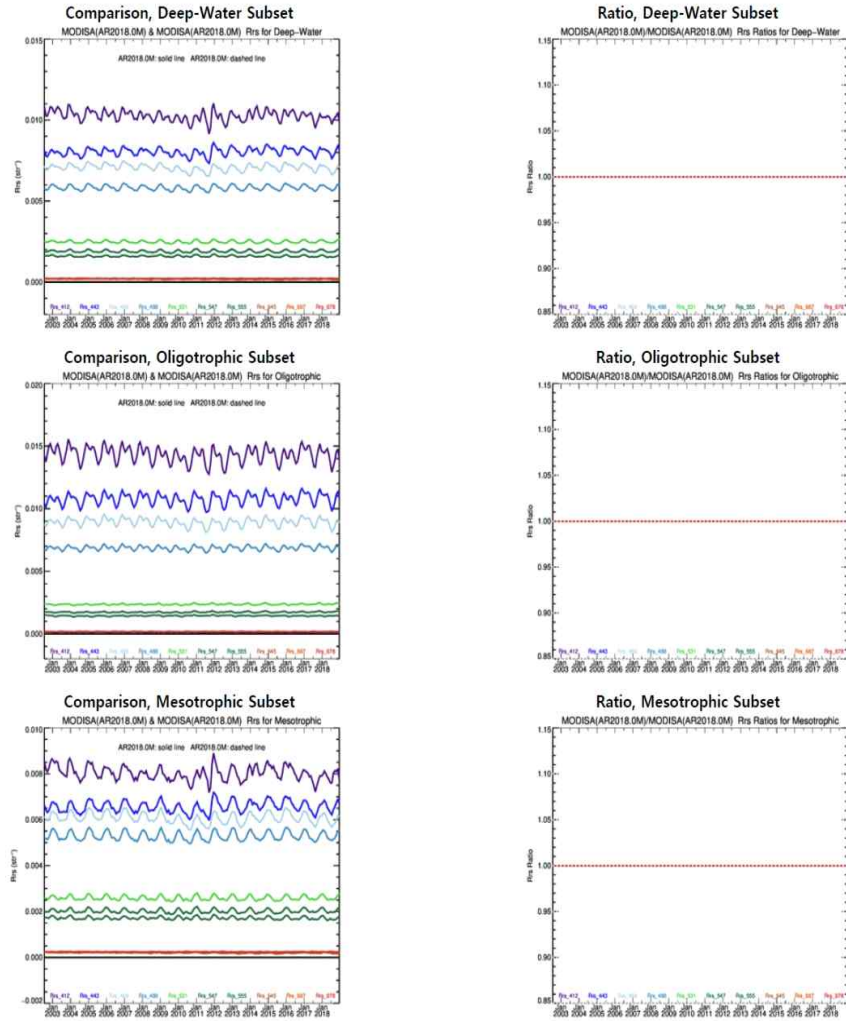


그림 104. NASA에서 수행중인 전구영역에서 해색위성 L3 trend 분석: 여러 광학환경에서 MODIS L3 자료의 트렌드를 분석

(3) 천리안 해양위성 시리즈 재처리 자료 생산

○ 기술 정의

- 준실시간으로 GOCI-II와 국제적인 해색위성과의 일관성을 상호 검증 시스템 구축을 통해서, GOCI-II 위성 품질에 관한 분석 결과를 국내외 사용자들과 공개하며, 연구자 및 사용자 피드백을 통해 위성 자료 품질의 지속적인 개선을 수행

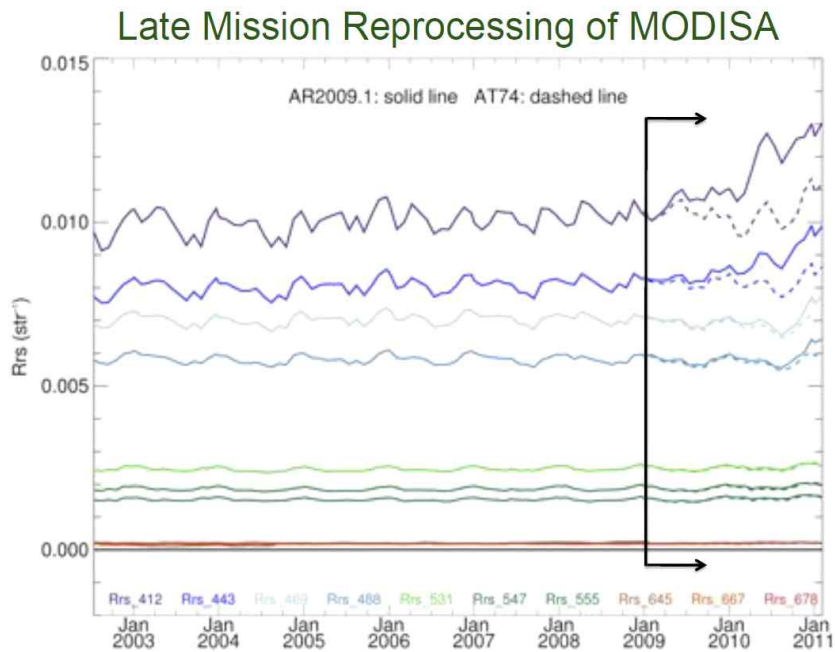


그림 105. MODIS 임무 후기 재분석을 통해서 자료 개선 예시

Sensor-Independent Approach

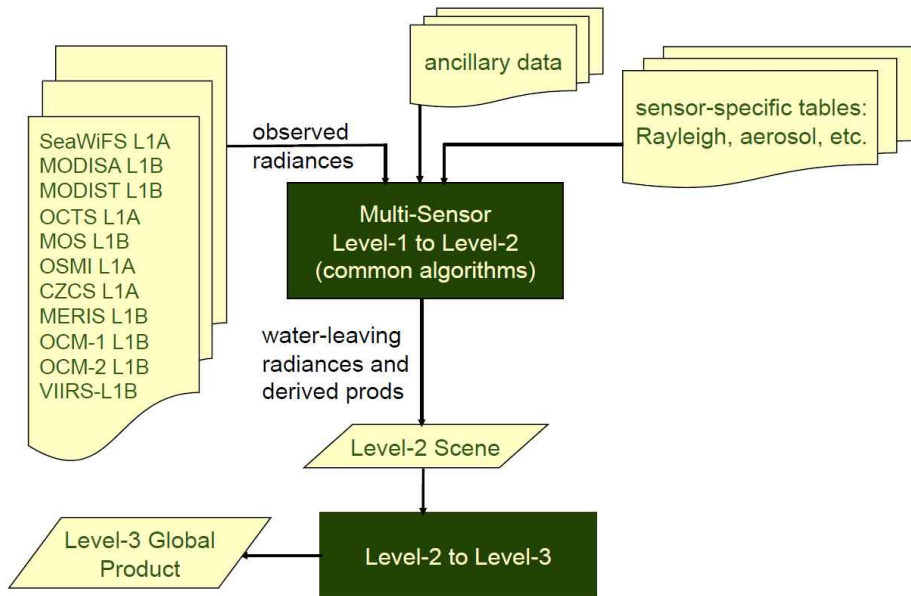


그림 106. NASA에서 수행중인 여러 해색위성 시리즈의 재처리 과정 예시

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 지난 10년간 GOCI의 자료 업그레이드 및 재처리가 수행되어 왔으며, 2017년 이후에는 대기보정이 개선된 GOCI version 2 자료가 제공되고 있음
- GOCI 자료의 경우 자료 제공시에도, 자료 신뢰도 확보를 위한 품질보고서 등은 자료 사용자에게 홈페이지에서 공개되지는 않았음
- GOCI-II 알고리즘 개발은 G2GS 과제를 통해 개발되었으나, 현재까지 GOCI-II 자료가 사용불가하기 때문에 GOCI 자료 기반으로 이뤄졌음
- GOCI-II 발사 이후에는 실제 관측자료를 이용하여 G2GS 시스템에 적용하고 자료에 문제가 있을 경우, 알고리즘 업그레이드, 재처리, 품질을 관리하는 시스템이 필요함

○ 연구 개발 내용

- 본 파트에서는 GOCI-GOCI-II Data Quality Enhancement System (DQES)라 불리는 천리안 해양위성 시리즈 알고리즘 업그레이드, 재처리 시스템을 개발함
- DQES는 자료재처리 뿐 아니라, 재처리 전후 GOCI-GOCI-II의 연속성, 국외위성과 상호 검증, L3 생성 기술, L3 trend 분석 과정을 시각화 하여, 그 결과를 품질보고서로 사용자에게 제공하는 실용화 부분까지 포함함



그림 107. GOCI 운용기간 동안 알고리즘 업그레이드 현황(위), GOCI-II 자료의 성공적인 활용을 위해서는 GOCI-II 알고리즘 업그레이드 및 사용자 지원 품질정보 제공이 필수적으로 필요함

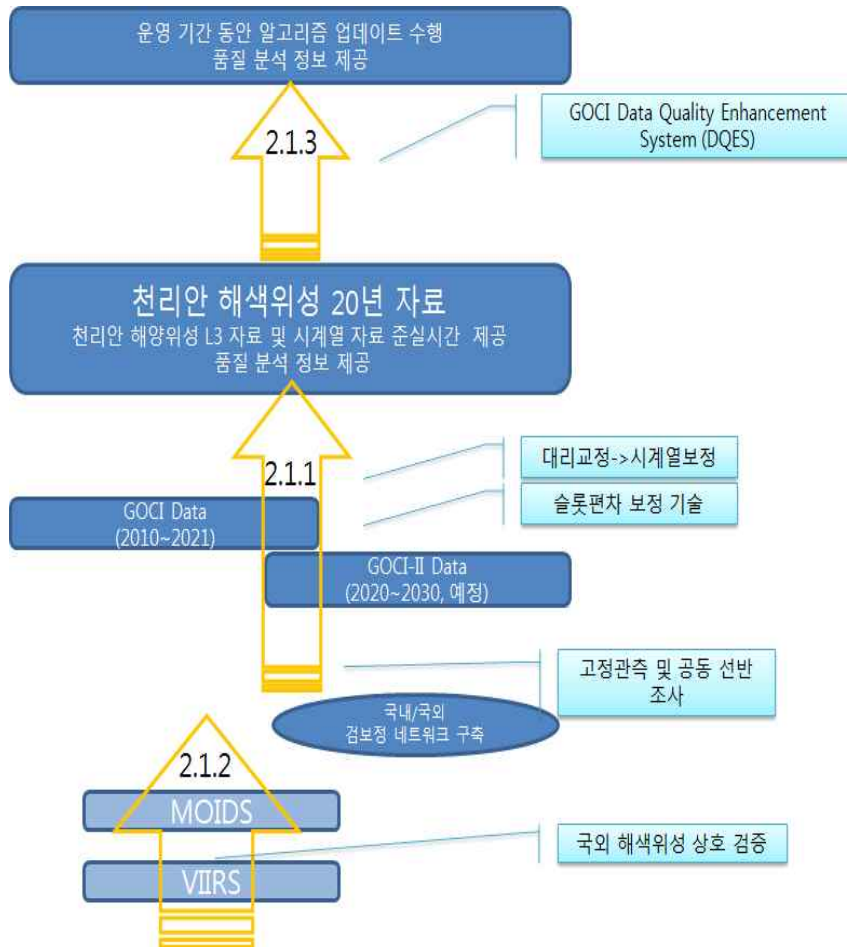


그림 108. 천리안 해색위성 20년 자료 구축을 위한 GOCI DQES 구축 개요

(4) 세부기술 연차별 목표 및 내용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> - 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 생산 기본 기술 개발 - 천리안 해양위성 자료 품질 개선 시스템(Data Quality Enhancement System) 원형 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 기 개발 슬롯 경계차 보정 기술 성능 평가 보완 방법 제시 • GOCI, GOCI-II 위성간 해상도 일원화(binining) 기술 개발 • 향상된 대리 교정 기술 개발
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> - 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 생산 기본 기술 개발 - 국외위성과 상호검증 기반 기술 개발 - DQES 시스템 개발 및 GOCI 10년 자료 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 자료기반, 센서기반 슬롯 경계차 보정 기술 추가 개발 • GOCI, GOCI-II 위성간 해상도 일원화 기술 개발(계속) • 국외 위성과 해상도 일원화 기술 및 천리안 L3 생성 기술 개발
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> - 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 생산 기술 개발 (계속) - 국외위성과 상호검증 기술 개발 - DQES 시스템 실용화 	<ul style="list-style-type: none"> • 자료기반, 센서기반 슬롯 경계차 보정 기술 추가 개발(계속) • GOCI, GOCI-II 상호 검증 및 연속성 보정 기술 개발 • 국외 위성과 일관성이 있는 천리안 해양위성 시리즈 L3 생성 기술 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> - 국외 위성과 상호검증 기술을 적용한, 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI, GOCI-II 상호 검증 및 연속성 보정 기술 개발(계속) • L3 생성 기술 개선
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> -천리안 해양위성 L3 자료 생성 	<ul style="list-style-type: none"> • 고정밀 대리 교차 교정 기술 개발 • L3 생성 기술 보완
6차년도		
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> - 국외위성과 상호검증 기술 고도화 DQES 시스템 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 관측 자료 및 최신 국외위성을 이용한 상호 검증 기술 추가 • DQES 시스템에 추가
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> - 국외위성과 상호검증 기술 고도화(계속) - DQES 시스템 고도화(계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 관측 자료 및 최신 국외위성을 이용한 상호 검증 기술 추가 • DQES 시스템에 추가
9차년도	<ul style="list-style-type: none"> -천리안 해양위성 시리즈 고도화 자료 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 관측 자료 및 최신 국외위성을 이용한 상호 검증 기술 추가 • DQES 시스템에 추가
10차년도	<ul style="list-style-type: none"> -천리안 해양위성 시리즈 고도화 자료 생산 (20년) 	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 관측 자료 및 최신 국외위성을 이용한 상호 검증 기술 추가 • DQES 시스템에 추가



그림 109. 천리안 해양위성 시리즈 연속 자료구축 분야 연구개발 로드맵

나. 기후 변화 관련 산출물 개발

(1) 해양 탄소 배출량 추정 분석 알고리즘 개발

○ 기술 정의

- 기후변화에 따른 해양의 피드백 역할을 정량화하는데 필수적인 해양-대기 간 이산화탄소 교환량 즉, 플럭스를 위성자료로부터 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하기 위한 것으로, 이에 필요한 관련인자(표층 염분, 엽록소농도)를 GOCI와 GOCI-II 관측 자료로부터 추정하기 위한 알고리즘을 개발하고 검증, 고도화하는 기술
- 해양의 탄소 배출량을 추정하기 위해서는 해양 및 대기의 이산화탄소 분압(pCO₂)으로부터 해양-대기 간 이산화탄소 플럭스를 계산해야 하며, 해양의 pCO₂ 계산을 위해 필요한 수온, 염분 및 엽록소 농도 등 자료를 위성자료로부터 구축 활용함
- 현장조사를 통해 얻어진 수온, 염분, 엽록소 농도, 해양 pCO₂ 등의 값으로부터 경험적 방법에 의해 해역별 해양 pCO₂ 추정 알고리즘을 개발하고, 이로부터 수식에 의해 해양-대기 이산화탄소 교환량 지도를 작성함
- 작성된 교환량 지도는 해역별로 이산화탄소의 해양 흡수량 또는 대기로의 방출량을 계산하는데 활용하고, 전지구적 탄소순환과 기후변화의 역할을 연구하는데 활용함

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 국내에서는 이산화탄소 분압 자동 측정 시스템을 선박에 장착하여 해양 및 대기 이산화탄소 분압을 관측하는 방법을 90년대 중반부터 사용하고 있으며, 이를 통해 동해 및 동중국해 표층 이산화탄소 흡수율과 변화에 대한 연구 등이 수행된 바 있음(최상화, 2012; 김동선, 2013). 하지만, 우리나라 주변해역 전체의 이산화탄소 플럭스의 계절 변화나 연평균 변화를 보여주기에는 한계가 있음
- 최근 위성자료를 이용하여 광역적인 이산화탄소 플럭스를 계산하고 그 장기변화를 관측하기 위한 연구가 있었으나, 동해 일부지역에 국한되었으며 위성기반 관련인자(염분, 엽록소) 자료의 정밀도 개선이 필요한 것으로 판단됨
- GOCI는 물론 GOCI-II 위성자료로부터의 정밀도 높은 관련인자를 산출하고, 특히 전지구 관측이 가능한 GOCI-II를 활용하여 대양과 연안에 각각 적용 가능한 이산화탄소 분압 자료를 개발함으로써 우리나라의 해양위성 시리즈를 전지구적 기후변화 연구에 적극 활용할 필요성이 있음

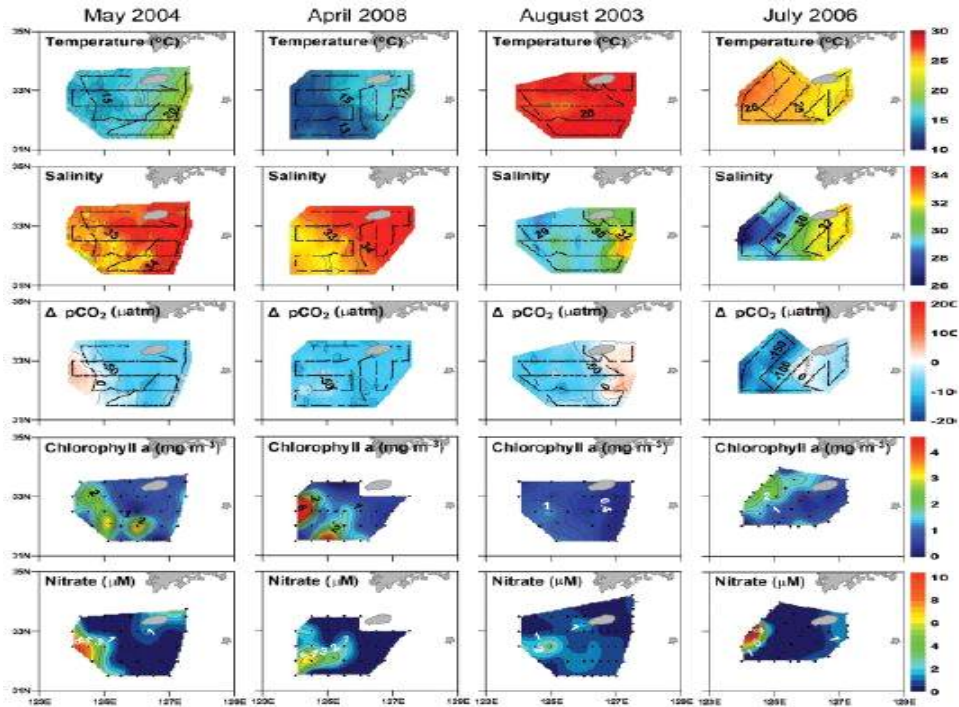


그림 110. 현장조사 자료를 기반으로 작성된 동중국해 해양-대기 이산화탄소 분압 차이 및 관련 생지화학 인자 모니터링(김동선, 2013)

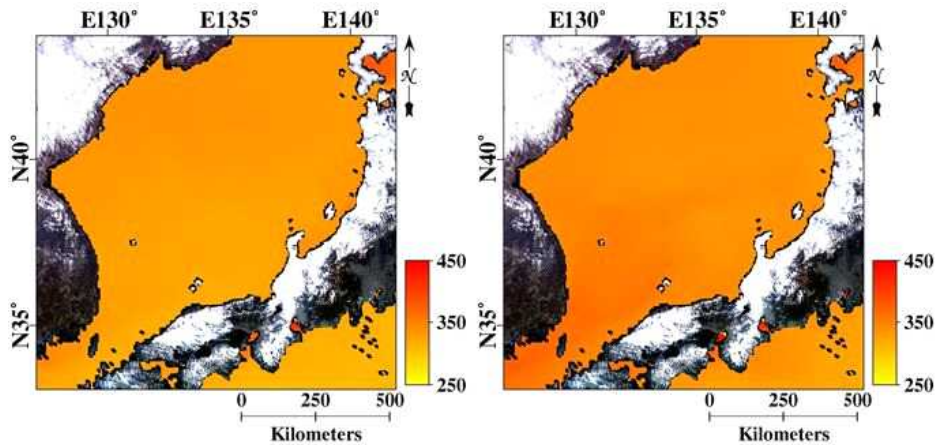


그림 111. 해양과학기술원에서 위성자료를 기반으로 작성된 동해 해양이산화탄소 분압 지도

○ 연구 개발 내용

- 부이에 설치된 센서 또는 선박을 이용한 현장관측을 통해 취득한 해양 pCO₂ 자료를 이용한 경험적 알고리즘을 개발하며, 우리나라 주변해역 및 대양 등 해역 구분과 필요시 계절별로 별도의 알고리즘 개발이 필요할 수 있음
- 현재 한국해양과학기술원은 태평양해양과학기지에서 pCO₂ 측정 센서

를 부이에 설치하여 운용하고 있으며, 연구선을 이용한 현장관측 등 다양한 방법으로 pCO₂ 자료를 취득하고 있음

- 우리나라 주변의 탁한 해역 및 동해 또는 동중국해역 등 필요시 관측 부이 또는 해양과학기지를 활용하여 센서를 설치하고 해양과 대기의 이산화탄소분압 자료를 취득하는 것이 필요함
- 다양한 방법으로 취득된 해양 pCO₂ 자료와 수온, 염분 및 엽록소 자료를 이용하여, 해양 pCO₂ 추정을 위한 경험적 알고리즘을 개발하고 이를 GOCI 및 GOCI-II 등 위성자료에 적용 및 검증을 수행하여 해역별, 계절별 위성자료 기반의 해양 pCO₂를 계산함
- 계산된 해양 pCO₂ 자료는, 기체교환계수 등 기타 위성자료 기반으로 계산된 변수들과 통합하여 해양-대기 이산화탄소 교환량을 추정함으로써 해당 해역이 이산화탄소 흡수지역(carbon sink) 역할을 하는지 또는 배출지역(carbon source) 역할을 하는 지 판단하고, 이를 탄소순환 모델의 기초자료로 활용함

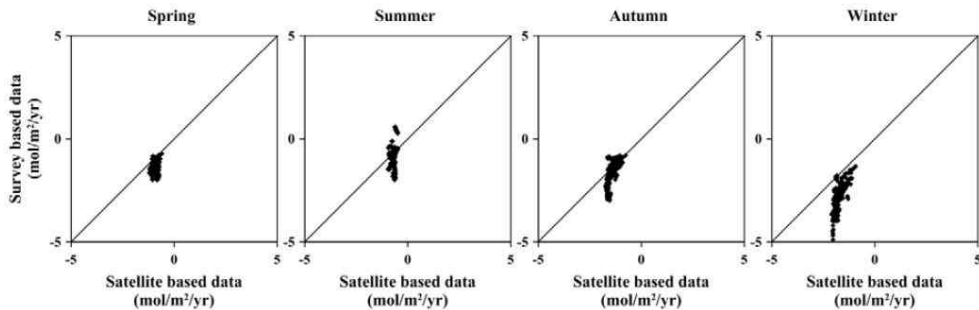


그림 112. 현장관측과 위성기반으로 계산된 지난 10년(2006-2015) 간 해양-대기 이산화탄소 교환량 비교

(2) 해양 기후 변화 요소 기술 개발

○ 기술 정의

- 기후변화를 연구하는데 있어 식물플랑크톤의 거동을 모니터링하는 것이 중요하다. 식물플랑크톤은 광합성을 통해 대기 중 이산화탄소를 이용하여 탄소를 고정하며, 따라서 탄소순환에 중요한 역할을 한다.
- 식물플랑크톤은 유형별로 탄소순환에 미치는 영향이 다르며, 유형을 결정하는 가장 중요한 요소는 입자크기이다. Phytoplankton size class (PSC) 연구는 해색위성을 활용하여 해수표층에 존재하는 식물플랑크톤을 micro-phytoplankton(>20 μm), nano-phytoplankton(2-20 μm) 및 pico-phytoplankton(<2 μm) 등 세 개의 크기별 군집으로 분류하

고, 각 군집별 점유율 변화, 엽록소 농도 변화 또는 일차생산력의 변화를 모니터링하는 것이다.

- 해양의 일차생산력은 식물플랑크톤의 해양 내 활동에 의해 고정되는 탄소량을 결정하는데 중요한 역할을 하며, 해색위성으로부터 산출되는 해수면온도(SST), 엽록소농도(CHL), 광합성유효광량(PAR), 유광층 깊이(euphotic depth) 등 자료를 이용하여 해수 표층의 일차생산력을 계산하기 위한 알고리즘을 개발하며, 그 결과는 단위면적 또는 부피에서 단위시간 동안에 고정되는 탄소량으로 정의된다.
- 입자성 유기탄소(particulate organic carbon, POC)은 식물플랑크톤의 광합성 결과로 생성된 입자성 유기물질 내에 포함된 탄소를 말하며, 식물플랑크톤의 사체 또는 타 생물의 먹이활동에 의해 순환하며 탄소펌프에 있어 중요한 역할을 한다. blue 및 green 영역의 원격탐사반사도(remote sensing reflectance) 자료를 이용하여 경험적 알고리즘에 의해 해수 표층의 POC를 추정한다.
- Photosynthetically available radiation(PAR)는 광합성 유효 복사량으로서 해양의 일차생산력에 영향을 주는 중요 요인이며, 400-700 nm에 해당하는 양자 에너지 플럭스로 정의된다. 위성자료로부터 직접 PAR를 추정 가능하나, GOCI 기반의 PAR 자료는 아직 제공되지 않고 있다. 대기가 해수 표층에 접한 구름층과 그 상부의 맑은 대기 등 두 개의 층으로 분리되어 있다는 평행면 대기(plane-parallel atmosphere) 이론을 바탕으로, 이 두 개의 층을 통과하여 해수면 아래로 진행하는 가시광선 영역의 태양광을 계산한다.

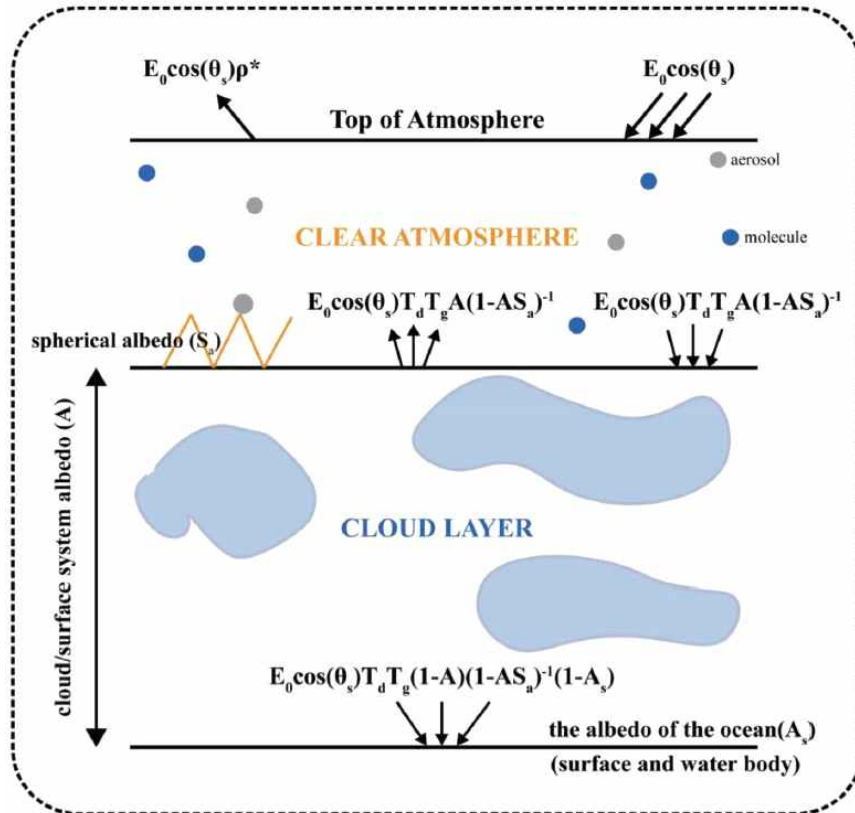


그림 113. PAR 모델의 개념도 (김 등, 2016) (θ_s : sun zenith angle, E_0 : extraterrestrial solar irradiance, T_d : the clear-sky diffuse transmittance (due to scattering by molecules and aerosols), T_g : the gaseous transmittance (due to absorption by ozone), ρ^* : GOCI reflectance)

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- GOCI가 운용되는 동안 얻어진 우리나라 주변의 현장조사 자료를 이용하여 개발된 PSC 알고리즘은 아직까지 없으며, GOCI는 물론 GOCI-II를 활용한 PSC 알고리즘을 개발하고 이를 탄소순환 및 기후변화 연구에 활용할 필요가 있다.
- 우리나라 주변해역에서 진행되고 있는 위성을 활용한 일차생산력 및 POC 연구는, 대양 환경을 대상으로 개발된 알고리즘을 기반으로 주로 MODIS 위성을 활용한 연구이다. 따라서, 우리나라 주변해역 및 GOCI 위성 시리즈에 적합한 알고리즘을 개발 및 적용할 필요가 있다.
- 위성을 활용하여 PAR를 추정하기 위한 기존 연구는 SeaWiFS 및 MODIS 위성의 극궤도 위성이며, 하루 8회 또는 그 이상 영상획득이 가능한 GOCI 위성 시리즈를 이용하여 정확도 높은 일간 PAR 자료를 생성 및 활용할 필요가 있다

○ 연구 개발 내용

[PSC]

- GOCI 및 GOCI-II 촬영 영역의 해역에서 현장관측을 통해 고성능 액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography, HPLC) 분석자료를 확보하고, 진단색소 분석법(diagnostic pigment analysis, DPA)을 통해 micro-, nano-, pico-phytoplankton 별로 조성비 계산
- 선행연구의 식물플랑크톤 크기별 엽록소농도 모델(three component model)에 의거, 샘플별 엽록소농도와 크기별 조성비 자료 간 상관분석을 통해 GOCI 및 GOCI-II에 적용 가능한 PSC 알고리즘 개발

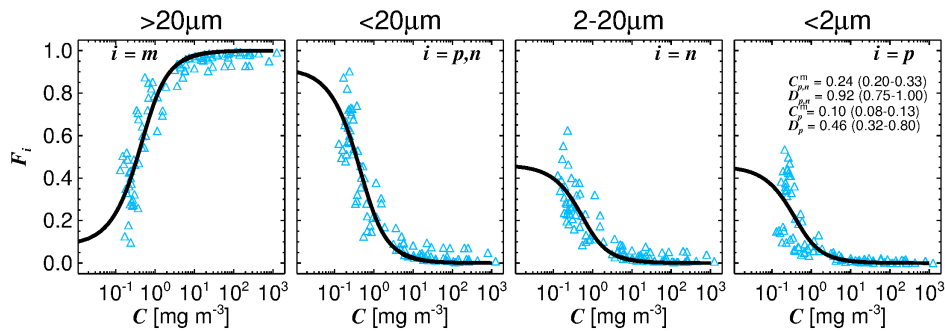


그림 114. 적조발생 시기 얻어진 HPLC 및 엽록소농도 자료로부터 얻어진 분석자료 예

[일차생산력]

- 현장관측 수온자료 및 엽록소농도를 이용하여, GOCI 및 GOCI-II 영역에 적합한 maximum chlorophyll-a specific photosynthetic rate ($P^{B_{opt}}$) 경험적 알고리즘을 구한다.
- 구해진 $P^{B_{opt}}$ 를 Behrenfeld and Falkowski(1997)에 의해 개발된 vertically generalized production model(VGPM)에 적용하여 GOCI 및 GOCI-II를 활용한 해수표층의 일차생산력을 계산한다.
- VGPM 적용에 필요한 엽록소농도, PAR, 유광층 깊이 정보는 GOCI 위성 시리즈로부터 생성하며, 이를 위해 GOCI 기반의 PAR 알고리즘 개발, GOCI 기반의 엽록소농도 알고리즘 개선 및 고도화가 필요하며, 유광층 깊이는 GOCI의 Kd490 산출물로부터 계산한다.

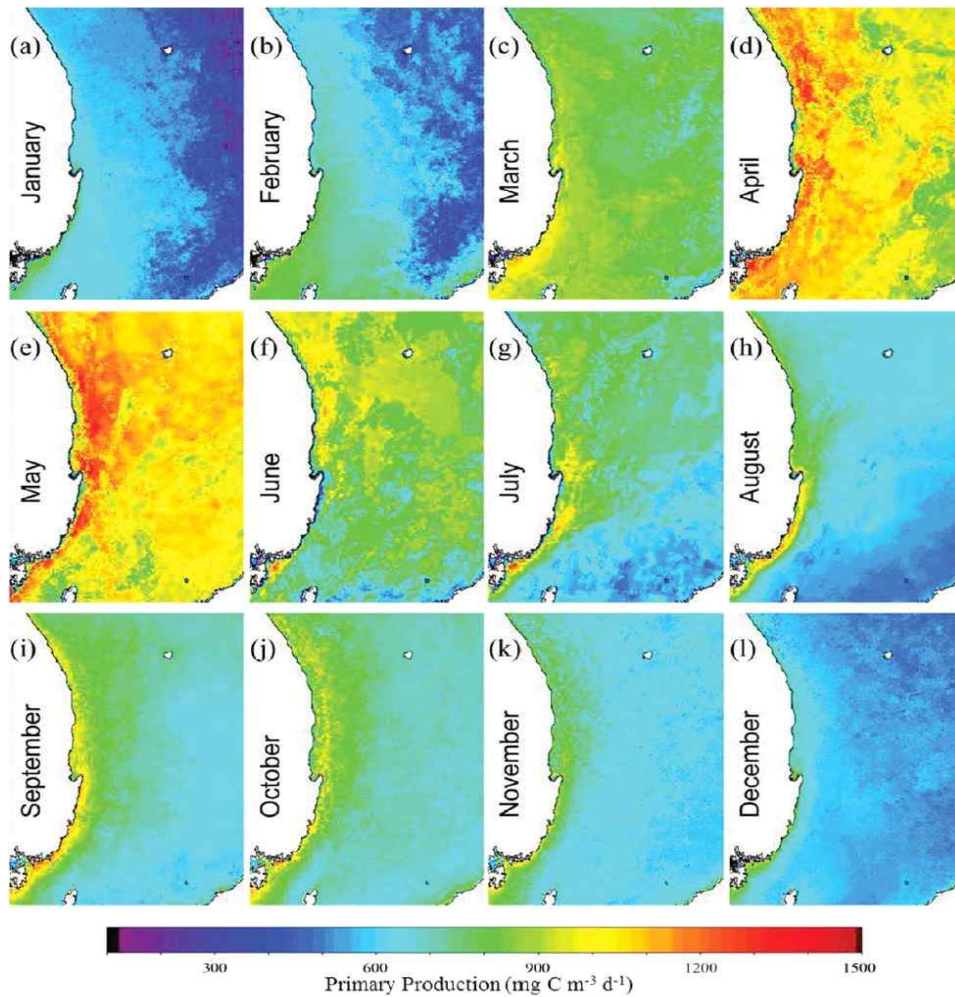


그림 115. VGPM 모델을 적용하여 계산한 동해의 월별 일차생산력 (Joo et al., 2014)

[PAR]

- 평행면 대기 이론을 바탕으로 SeaWiFS 및 MODIS에 적용된 알고리즘을 근거로 GOCI 및 GOCI-II에 적합한 PAR 추정 알고리즘을 개발한다.
- 기존에 설치 및 운용 중인 이어도 해양과학기지와 소청초 해양과학기지의 PAR 센서로부터 얻어지는 현장관측자료를 기본으로 활용하며, 태평양해양과학기지에서 운용되고 있는 부이에 신규 PAR 센서 설치를 추진하고, 필요시 추가로 센서 설치를 고려하여 활용한다.
- MODIS, Himawari 등 기존 PAR 자료를 제공하는 타 위성의 결과물과 비교 분석을 통해 알고리즘의 정밀도를 향상시킨다.

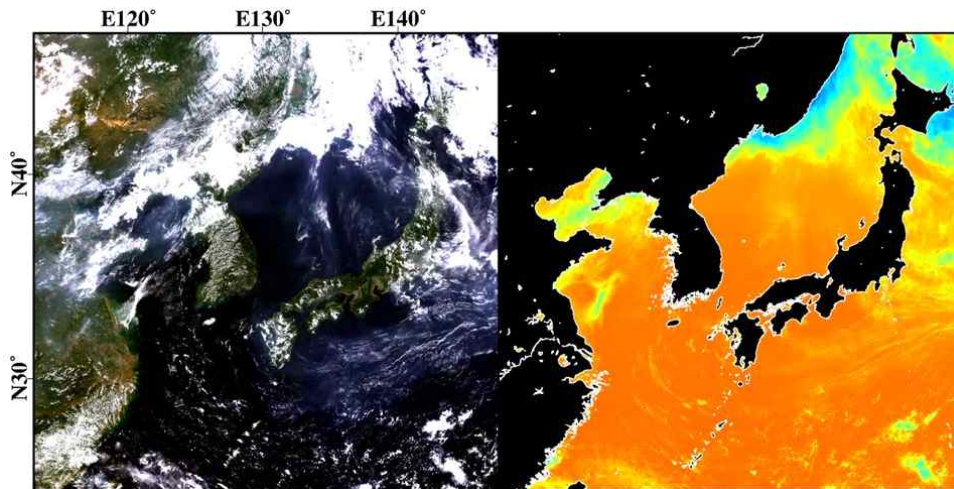


그림 116. 2013년 8월 13일 12시 GOCI RGB 영상(좌) 및 해당일에 계산된 daily PAR 예시(우)

[POC]

- 해양의 식물플랑크톤은 광합성을 하는 과정에서 blue 및 green 파장 영역의 빛을 흡수하는데, 이 특성을 이용하여 POC를 측정할 수 있다 (Stramski et al., 2008).
- 현장관측을 통해 얻어진 GOCI 및 GOCI-II 각 밴드에 해당하는 파장대의 원격반사도(Rrs) 자료와 해수 샘플로부터 측정된 POC 자료를 이용하여 상관분석을 통해 연구해역의 Rrs를 이용한 POC 추정모델을 개발한다.

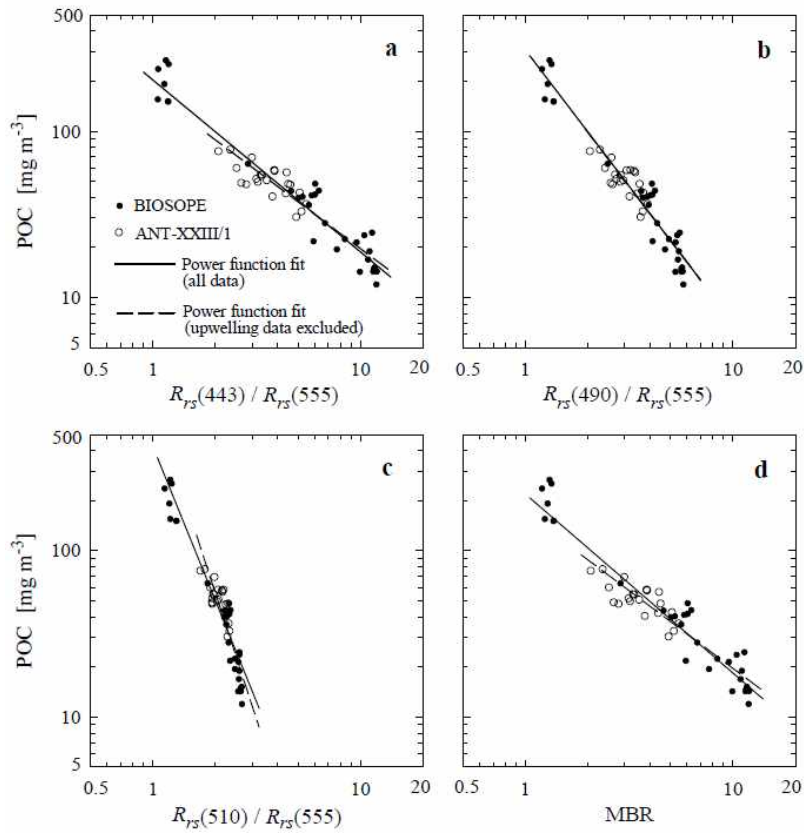


그림 117. 현장조사 수행결과 얻어진 POC 값과 blue-to-green 원격반사도 간 관계 (Stramski et al, 2008)

(3) 세부기술 연차별 목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양탄소배출량 분석 알고리즘 개발을 위한 체계 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 해양 및 대기 이산화탄소 분압 현장관측 자료 사전조사 및 취합, 분석 현장관측자료를 활용한 해역별, 계절별 선행 알고리즘 분석 및 적용성 검토 KIOST 해양과학기지 및 GOCI-II 관측영역의 분원, 해외분소 등을 활용한 현장관측 자료 획득 가능성 검토 해양관측위성을 활용한 이산화탄소 분압 및 플럭스 관측 알고리즘 개발을 현장자료 획득방안 검토
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양탄소배출량 분석 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> GOCI 및 GOCI-II 관측영역 내 현장관측 결과를 활용하여 해양 이산화탄소 분압을 계산하기 위한 경험적 알고리즘 개발 이산화탄소 분압 자료를 이용한

구분	연구개발목표	연구개발내용
		해양-대기 이산화탄소 플릭스 추정 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> 해양탄소배출량 분석 알고리즘의 변수가 되는 GOCI 및 GOCI-II 위성 기반 산출물 정확도 검증 및 개선 (염록소농도, 염분 등)
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양탄소배출량 분석 알고리즘 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> 해양탄소배출량 분석 알고리즘을 위한 위성과의 매칭 자료 확보 위성 기반 이산화탄소 분압 계산 알고리즘 검증 및 개선 위성 기반 해양-대기 이산화탄소 플릭스 추정 알고리즘 검증 및 개선
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양탄소배출량 분석 알고리즘 개발 (계속) 해양탄소배출량 추정 자료 생산 해양기후 변화 요소 기술 개발을 위한 체계 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 해양탄소배출량 분석 알고리즘을 위한 위성과의 매칭 자료 확보(계속) 위성 기반 해양-대기 이산화탄소 플릭스 추정 알고리즘 검증 및 개선(계속) 해역별, 계절별 해양탄소배출량 추정 자료 생산 PSC, 일차생산, PAR, POC 등 관련 지구측된 국외의 위성기반의 추정 알고리즘 검토 및 관련 관측자료 확보
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양기후 변화 요소 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> PSC, PAR 현장관측 자료 분석 및 GOCI, GOCI-II 기반 추정 알고리즘 개발 우리나라 주변해역 및 GOCI-II 관측 영역의 현장관측 자료 확보
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양기후 변화 요소 기술 개발(계속) 	<ul style="list-style-type: none"> GOCI, GOCI-II 기반 PSC, PAR 추정 알고리즘 검증/개선 일차생산, POC 현장관측 자료 분석 및 GOCI, GOCI-II 기반 추정 알고리즘 개발 우리나라 주변해역 및 GOCI-II 관측 영역의 현장관측 자료 확보(계속)
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양기후 변화 요소 기술 개발(계속) 	<ul style="list-style-type: none"> GOCI, GOCI-II 기반 PSC, PAR, 일차생산, POC 추정 알고리즘 검증/개선 우리나라 주변해역 및 GOCI-II 관측 영역의 현장관측 자료 확보(계속) GOCI, GOCI-II 기반 PSC, PAR, 일차생산, POC 자료 생산



그림 118. 기후 변화 관련 산출물 개발 분야 연구개발 로드맵

다. 기후변화에 따른 해양 생태계 변화 연구

(1) 한반도 해양환경 장기 변동성 분석

○ 기술 정의

- 평균해수면 온도 상승 및 해양이상고온(고수온) 발생 빈도 증가에 따른, 한반도 해양환경의 장기 변동이 어떻게 달라졌는지 해색위성 자료를 이용하여 정량화 하는 기술
- 기후 변화 뿐 아니라, ENSO, PDO, 태풍 등 대기-해양 시스템의 변동에 따른 해양생태계 변화를 정량화하고 기작을 이해하는 기술
- 해색위성을 활용한 기후변화에 따른 장단기 해양생태환경 변화 연구는 주로 엽록소농도의 장단기 변동성을 연구하는 식물플랑크톤 변동성(phytoplankton phenology)을 모니터링하여, 이것이 ENSO 등 기후 관련 현상 및 저염수의 확장에 따른 해양생태변화 등과 어떻게 관련되는지에 대한 연구에 활용하고 있음(Racault et al., 2015).

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 국내에서 우리나라 주변해역을 대상으로 엽록소농도 등 해양환경 요인의 장단기 변동성을 기후변화와 연관지어 수행한 연구는 없으며, GOCI-II의 전구 관측영역에서도 국외에서 극궤도위성을 활용하여 대양을 대상으로 수행한 연구외에는 없음

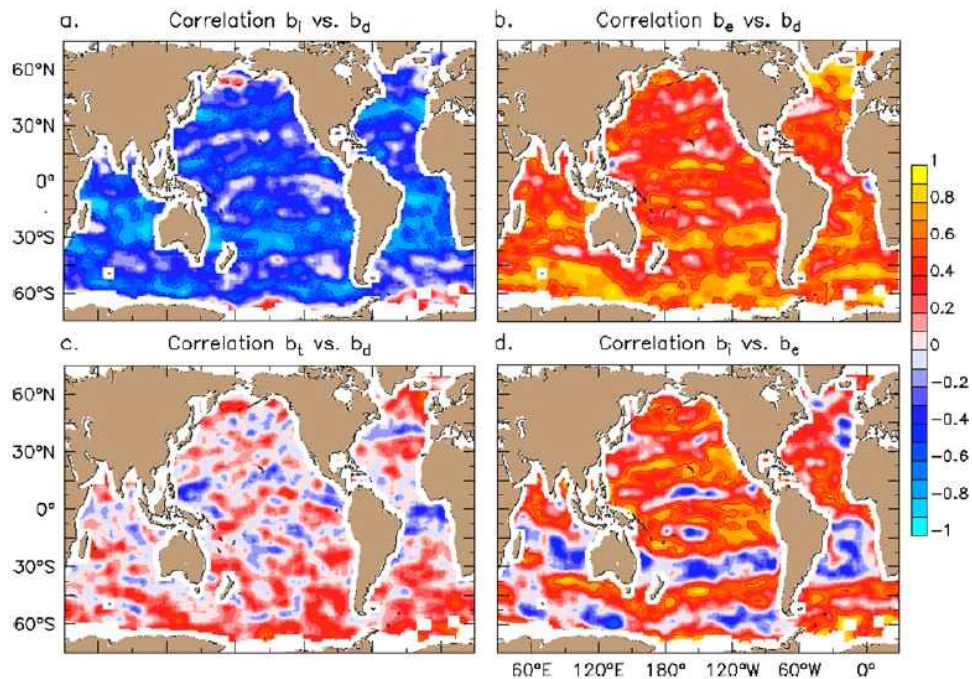


그림 119. 10년간(1998-2007) 전지구 해양의 엽록소 변성의 시작, 끝, 최대 농도값, 지속기간 등 관측결과(Racault et al., 2012)

- 우리나라 주변해역 나아가 GOCI-II 관측영역에 적합한 분석기술을 개발하고, 이를 GOCI 및 GOCI-II 영상에 적용하여 해양생태 환경변화가 역동적으로 일어나는 GOCI 위성시리즈 관측영역 내에서 기후변화 양상을 연구할 필요가 있음
- 또한, 2010년부터 관측된 GOCI 영상을 적극적으로 활용하여 장기 또는 단기간 동안 한반도 주변해역에서, 기후변화와 관련한 해양생태환경의 변화 또는 계절에 따른 양자강 저염수의 영향에 의한 식물플랑크톤 변동성을 관측할 필요가 있음

○ 연구 개발 내용

- 시공간해상도가 높은 GOCI 및 GOCI-II 기반의 시간별(일, 월, 계절, 년도) 엽록소농도 영상자료를 활용하여, 연중 엽록소농도가 최대가 되는 변성 시기의 시작시기, 최대 농도값 및 그 시기, 변성 지속기간, 종료시기 등을 분석하고 그 변화를 관측함으로써 식물플랑크톤 장단기 변동성 연구를 수행함
- 식물플랑크톤 장단기 변동성, 엽록소농도의 변화 경향 분석 등 결과와 기후변화 관련 이벤트와 상호분석을 통해 그 관련성을 분석함
- 양자강 저염수의 변화와 그 영향, 태풍 등 양상에 따른 식물플랑크톤 등 해양생태환경의 변화를 분석함

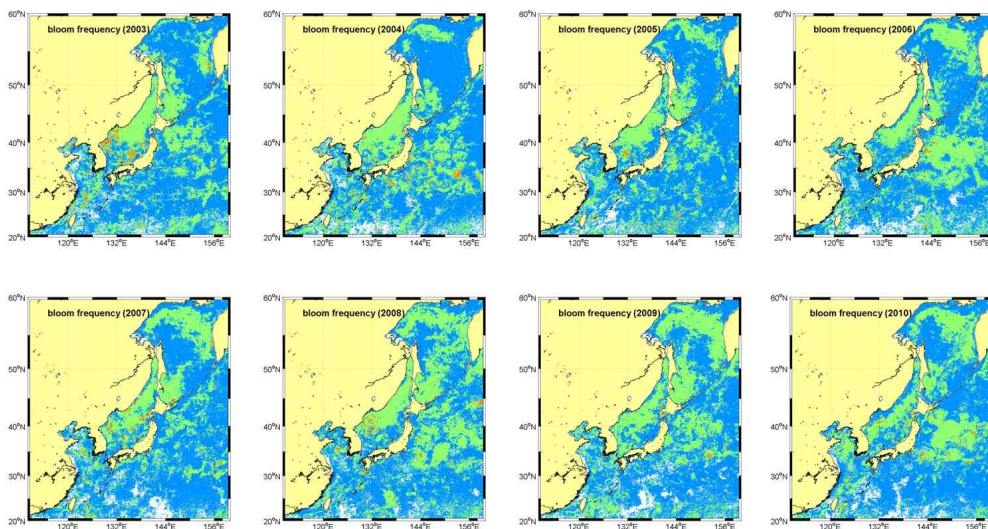


그림 120. 8년간(2003-2010) 우리나라 주변해역을 대상으로 분석한, 연중 엽록소 변성 빈도수 변화 연구 예시 (하늘색: 1회, 연두색: 2회, 자주색: 3회)

(2) 대양 기후 변동성과 생산성 상관 연구

○ 기술 정의

- 기후변화에 따른 해양 생태계 영향을 모니터링하기 위하여 대양 또는 지역해를 대상으로, 일단위로 위성영상 기반의 일차생산력 및 POC를 계산하고 이의 일변화, 주간변화, 월변화 등을 관측하여 식물플랑크톤의 손실율을 계산함
- 식물플랑크톤의 손실율과 장단기 기후변화 경향 및 태풍 등 이벤트 발생과의 비교분석을 통해, 기후변화가 식물플랑크톤, 즉 해양생태환경에 어떤 영향을 주는 지 분석함

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 국내에서는 물론 국외에서 우리나라 주변해역을 대상으로 식물플랑크톤의 손실율을 계산하고 이를 기후변화와 관련지어 연구한 사례는 없음.
- 2010년부터 축적된 GOCI 및 GOCI-II 영상을 적극 활용하고, 이를 SeaWiFS, MODIS, MERIS 및 Sentinel 위성 등 타 센서와 융합하여 장단기 생태량 변화를 관측하고, 기후변화와의 관련성을 규명할 필요가 있음

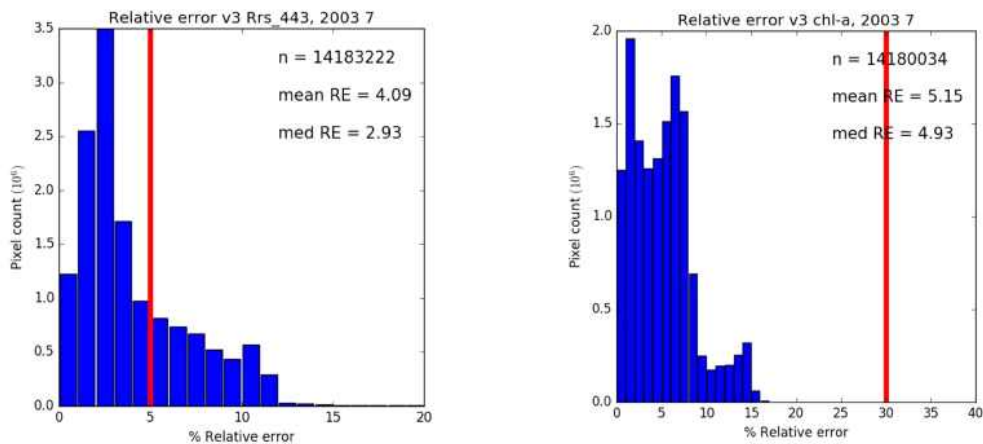


그림 121. 기후변화와 생태계 관련성 연구를 위한 장단기 시계열 자료 구축을 위해 다양한 센서의 위성자료를 통합하고 레퍼런스 센서와 통합자료 간 불확실성을 계산한 결과 (Groom et al., 2019)

○ 연구 개발 내용

- 일차생산량 및 POC 변화율
- ✓ GOCI 및 GOCI-II를 활용하여 일별 일차생산량 및 POC 분포도를 작성하고, 이로부터 일별 변화량을 계산함

- ✓ 일별 변화량을 기반으로 주별, 월별, 년별 등 장단기 변화량을 계산하여 손실율(또는 증가율)을 추정하고, 이를 수온의 변화 등 장단기 기후변화 경향과 비교분석함

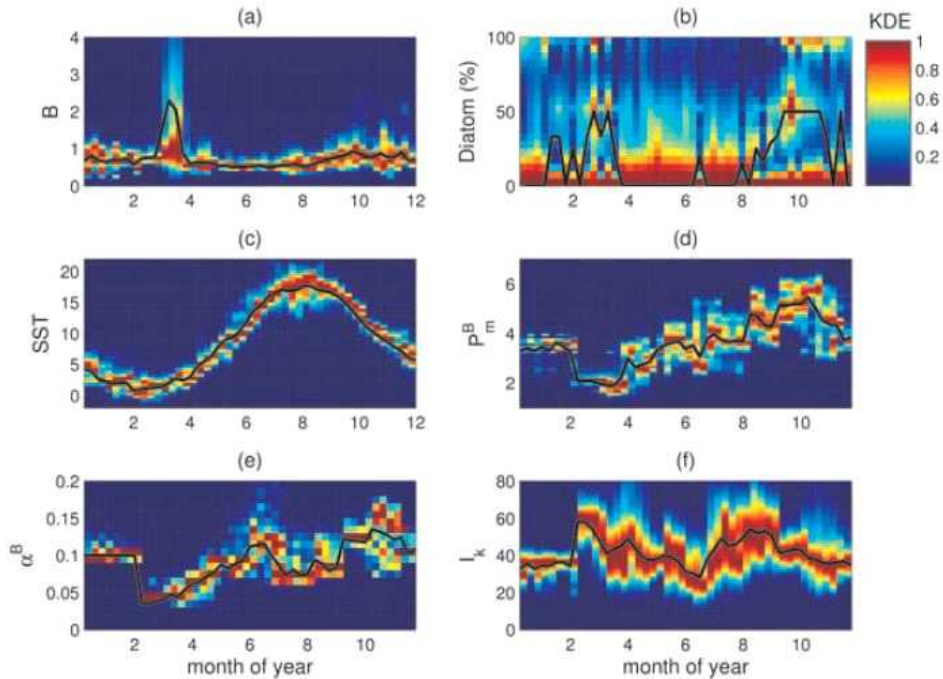


그림 122. 일차생산량과 관련된 식물플랑크톤 생체량, diatom 비율, 해수면 온도 및 기타 일차생산 매개변수(assimilation number, initial slope 등)의 년중 변화량 연구 결과 (Zhai et al., 2008)

- 시계열 해양생태계 자료분석

- ✓ SeaWiFS, MODIS, MERIS, Sentinel 등 국외 해양관측위성과 GOCI 및 GOCI-II 영상으로부터 기후변화 연구를 위한 장단기 시계열자료 구축
- ✓ 다양한 센서의 위성자료 중 레퍼런스 센서를 선정하여 각 위성자료의 원격반사도(Rrs)를 보정과정을 거쳐 통합하고, 이를 기반으로 각 해역 타입별로 레퍼런스 센서와의 편차를 계산 및 적용하여 시계열 자료를 완성함
- ✓ 구축된 시계열 자료를 기반으로 해양생태계 관련 산출물을 생성하고 이의 장단기 변화 및 기후변화와의 관련성을 분석함

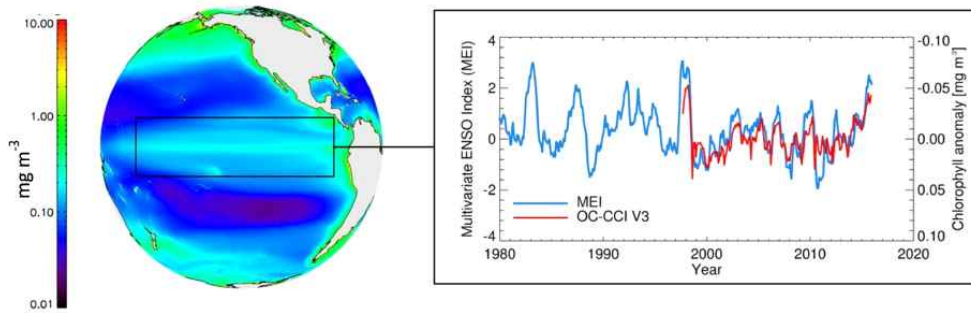


그림 123. 태평양과 인접 해안의 엽록소농도와 ENSO (El Nino Southern Oscillation) 결과로서 장기간 기후변화와 식물플랑크톤의 관계를 볼 수 있음. (MEI: monthly multivariate ENSO index) (von Schuckmann et al., 2016)

(3) 세부기술 연차별 목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양환경 장기 변동성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 식물플랑크톤 계절/경년 변화 모니터링 (phytoplankton phenology) 연구를 위한 기존 연구 분석 및 관련 관측자료 취합, 분석 GOCI 및 GOCI-II 산출물을 활용한 장단기 엽록소농도 변동성 모니터링 기술 개발 해양 식물플랑크톤 손실을 분석을 위한 GOCI 및 GOCI-II 기반의 장단기 일별 일차생산, POC 자료 구축
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양환경 장기 변동성 분석 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> GOCI 및 GOCI-II 산출물을 활용한 장단기 엽록소농도 변동성 모니터링 기술 개발(계속) 해양 식물플랑크톤 손실을 분석을 위한 GOCI 및 GOCI-II 기반의 장단기 일별 일차생산, POC 자료 구축(계속) 일별 일차생산 및 POC 자료를 기반으로 주별, 월별, 계절별, 년별 등 장단기 식물플랑크톤 손실을 추정 기술 개발
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양환경 장기 변동성 분석 (계속) 기후변화와 상관성 연구 	<ul style="list-style-type: none"> GOCI 및 GOCI-II 산출물을 활용한 장단기 엽록소농도 변동성 모니터링 기술 검증 및 개선 장단기 엽록소농도 변동성과 기후변화 관련 이벤트(ENSO, 태풍 등)와 관련성 분석

구분	연구개발목표	연구개발내용
		<ul style="list-style-type: none"> • 일별 일차생산 및 POC 자료를 기반으로 주별, 월별, 계절별, 년별 등 장단기 식물플랑크톤 손실을 추정 기술 개발(계속)
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경 장기 변동성 분석 (계속) • 기후변화와 상관성 연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 장단기 엽록소농도 변동성과 기후변화 관련 이벤트(ENSO, 태풍 등)와 관련성 분석(계속) • 생지화학 모델을 활용한 식물플랑크톤 손실을 추정 및 위성기반 결과와 비교/분석 • 식물플랑크톤 손실을 추정 결과와 해수면 온도 변화 등 장단기 기후변화와의 관련성 분석
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화와 해양생태계 상관성 연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 식물플랑크톤 손실을 추정 결과와 해수면 온도 변화 등 장단기 기후변화와의 관련성 분석(계속) • 기후변화 연구를 위한 GOCI, GOCI-II 및 국외 해양관측위성을 통합 활용한 장단기 시계열 자료 구축
9차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화와 해양생태계 상관성 연구(계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 식물플랑크톤의 장단기 변동성 및 손실을 분석 결과를 활용하여 기후변화가 해양생태계에 미치는 영향 분석/규명 • 국내외 해양관측위성을 통합한 시계열 자료를 활용하여 해양생태환경 관련 인자의 장단기 변화 모니터링
10차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화와 해양생태계 상관성 규명 	<ul style="list-style-type: none"> • 시계열 해양관측위성 통합 자료를 이용하여 기후변화 이벤트 발생 시기별 변화 분석 • 식물플랑크톤의 장단기 변동성 및 손실을 분석 결과, 시계열 위성자료 분석 결과를 통합 분석하여 기후변화가 해양생태계에 미치는 영향 규명



그림 124. 기후변화에 따른 해양생태계 변화 연구 분야 연구개발 로드맵

라. 관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력

(1) 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발

○ 기술 정의

- GOCI-II 전구 관측영상에서 관측되는 아세안 회원국의 다양한 해양을 분석하고 모니터링하기 위한 국제적 수요 중심의 GOCI-II 위성영상 분석 기술 개발을 의미함. 이를 통해 아세안 회원국의 해양 현안에 보다 정확한 정보를 제공함으로써 상호 관계 증진 및 국가 위상 상승을 기대할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 문재인 정부는 2017년부터 신 남방정책을 추진해 왔으며, 최근에는 한·아세안 특별정상회의를 개최하는 등 적극적인 자세를 보임.
- 최근 인도를 제외한 15개국과 보다 높은 수준의 FTA인 역내 포괄적 경제 동반자 협정(Regional Comprehensive Economic Partnership; RCEP)을 체결하여 그 성과를 보이고 있음.
- 이에 RCEP 체결국인 한국, 중국, 일본, 호주, 뉴질랜드, 동남아시아국가연합(ASEAN) 10개국 간의 인적·물적 교류가 활성화 될 것으로 전망됨.
- RCEP 체결국의 총 인구는 약 35억 명이며, 세계 GDP 규모의 1/3을 차지하여 세계 최대 규모의 경제공동체가 결성됨.
- 특히 RCEP 에 ‘경제기술협력’이 별개의 챕터로 구성되어 있어, RCEP 체결국 간의 기술협력의 활발해 질 것으로 보임.
- GOCI-II 는 전구 관측 모드가 있으며, 2020년 발사 이후 궤도상 시험(In-Orbit Test; IOT) 기간을 거쳐 정규 운영이 시작되면, 하루에 한번 전구 관측을 수행할 예정임.
- 전구 관측영역에는 RCEP를 체결한 15개국의 영토 및 해양영토가 거의 모두 포함되어 GOCI-II의 국제적 활용 가능성은 매우 높을 것으로 예상되며, 이에 따른 잠재적 가치 또한 매우 높을 것으로 기대됨.
- GOCI-II 위성 영상의 제공 등을 통해 관측 영역 내 국가 간의 상호 이해 증진될 도움이 될 것임.
- 세계 최초이자 유일한 정지궤도 해양위성 보유국으로서의 대한민국의 위상도 크게 향상 시킬 수 있을 것으로 기대함.

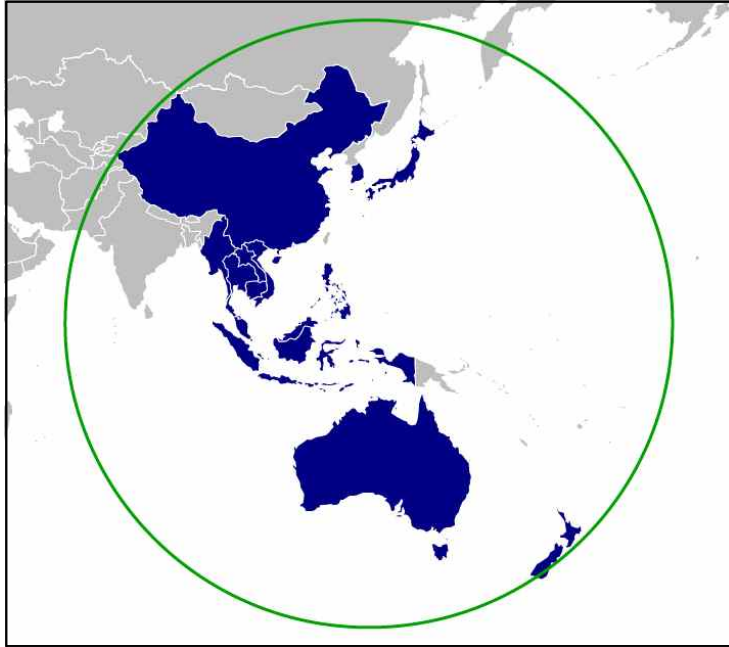


그림 125. GOCI-II 진구 관측영역(녹색선) 및 RCEP 체결국(남색)

- RCEP 체결국에서의 GOCI-II 활용도를 높이기 위해서는 수요를 보다 면밀히 분석하고 신기술을 개발하여 제공하는 것이 당면한 과제가 되었음.
- 이에 '신남방정책'에 발맞추어 적극적으로 아세안 국가에 필요한 해양위성 분석기술을 개발하여 제공할 필요가 있음.

○ 연구 개발 내용

- 아세안 회원국의 해양 현안 조사
- 아세안 회원국의 위성 데이터 해양 활용 기술 수요조사
- 메콩강 유역 국가의 현안 조사(육상 분야)
- 기술 개발 가능성 검토 및 개발 우선순위 검토
- 기술 개발 우선순위에 따른 해양환경 분석 기술 개발

표 10. 아세안 회원국의 예상 수요 기술

- GOCI-II 위성영상을 활용한 아세안 국가 해역의 Mangrove 모니터링 기술
- GOCI-II 위성영상을 활용한 아세안 국가 해역의 Seagrass 모니터링 기술
- GOCI-II 위성영상을 활용한 아세안 국가 해역의 산호초 모니터링 기술
- GOCI-II 위성영상을 활용한 아세안 국가 연안의 Bathymetry 추정 기술
- GOCI-II 위성영상을 활용한 메콩강 하류 모니터링 기술
- GOCI-II 전구 위성영상을 활용한 해양쓰레기 모니터링 기술
- GOCI-II 위성영상을 활용한 육상 수자원 모니터링 기술

- GOCI-II 전구영상 분석 자료 제공을 위한 데이터 베이스 구축 및 자료제공
- 제공된 분석 자료 정확도 평가 및 개선사항 도출
- 전구영상 분석기술 알고리즘 개선 및 고도화
- 위성영상 분석 전문가 양성을 위한 교육프로그램 운영
- GOCI-II 검보정 네트워크 국제 워크숍 개최

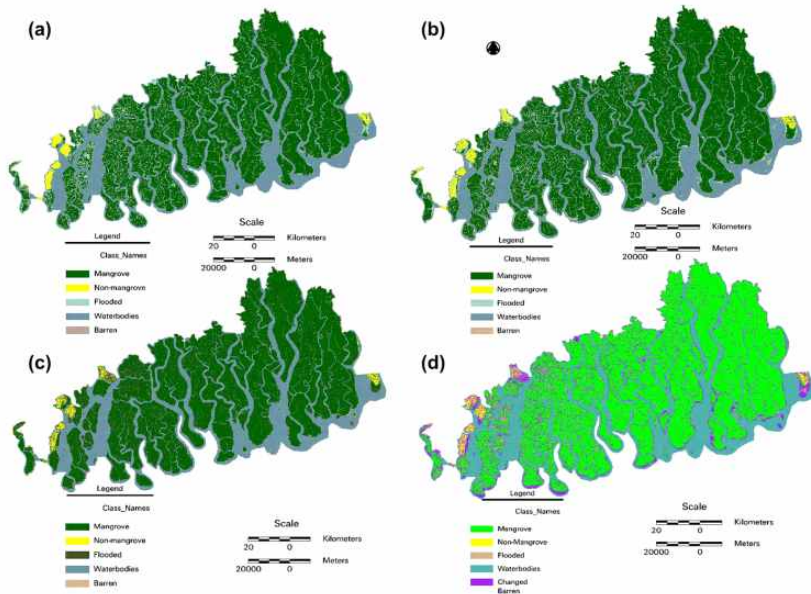


그림 126. 위성영상으로 분석된 Mangrove 분석 지도(2006, Chandra at al.)

(2) 국제 검보정 네트워크 구축

○ 기술 정의

- GOCI-II의 전구 관측영상의 정확도 향상을 위한 검보정을 위해서는 다양한 지역에서의 꾸준한 검보정 자료 획득이 필수적이므로 이를 위한 국제적인 검보정 자료 수집 네트워크의 구성을 의미함. 국가 간의 협력을 통해 해양조사를 수행하여 검보정 자료를 획득하고 GOCI-II의

정확도를 높이는 동시에 정확도가 향상된 GOCI-II 영상 및 분석자료를 국제적으로 제공하는 선순환 구조의 구성이 가능할 것으로 보임. 또한, 공통된 해양현안에 국가 간에 공감대가 보다 쉽게 형성될 것으로 보이며, 이에 공동 대응도 가능할 것으로 기대됨.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- GOCI-II는 전구 관측영상을 생산할 예정이며, 이에 따라 관측영역이 GOCI-I에 비해 약 20배(Slot 기준) 증가되었음.
- 해양위성 영상의 활용성을 높이기 위해서는 정확도 향상을 위한 위성 데이터의 검·보정이 필수적임.
- GOCI-II의 전구 관측영상에는 매우 다양한 해양환경이 존재하며, 이에 전구 관측영상의 검·보정을 위해서는 한반도 주변해역 뿐 아니라 국외 여러 해역의 해양 관측이 필요함.
- 또한 다양한 국가에서 GOCI-II 위성영상이 활용되기 위해서는 한반도 주변해역 뿐 아니라 전구 관측영역 전체의 정확도 향상이 요구됨.
- 따라서 국제 공동 해양조사 및 국제 검보정 사이트 구축을 통해 검보정 데이터 확보가 수행되어야 함.

○ 연구 개발 내용

- 검보정 사이트 구축을 위한 Aeronet-OC, Hyper SAS 등 Above water Radiometer 장비 검토
- 검보정 사이트 구축을 위한 TriOS, C-OPS 등 Under water Radiometer 장비 검토
- 검보정 사이트 구축을 위한 CTD, Backscattering meter, Fluorometer 등 Ancillary 장비 검토
- KIOST 태평양 해양과학기지(미크로네시아)의 검보정 사이트 구축 환경 분석
- 검보정 장비 도입 및 자동 관측을 위한 환경 조성
- 자동 관측 장비 도입을 위한 시설물 설계, 제작, 설치
- 태평양 해양과학기지 검보정 사이트 구축을 통한 검보정 네트워크 기본 설계
- 테스트용 검보정 네트워크 설치 및 운영
- 테스트용 검보정 네트워크 개선사항 도출 및 개선사항 반영을 통한 고도화
- 태평양 해양과학기지 검보정 사이트를 토대로 호주 및 아세안 회원국과의 검보정 네트워크 구축 타당성 검토
- 타당성 검토 결과에 따른 검보정 사이트 구축 또는 국제 공동 현장조사 실시

- 국제 검보정 네트워크 상세 설계, 구축 및 운영
- 지속적인 검보정 방안 도출 및 검보정 네트워크 확대

표 11. 검보정 사이트 구축 요구조건

Requirements for the validation
<ul style="list-style-type: none"> • Distance from land > 10 km • AOD at 865 < 0.2~0.3 • Sky condition: no cloud • Optical depth of water > 50 m for clear waters and >10 m for turbid waters • Solar zenith angle < 56° • Wind speed < 5 m/s without any whitecap • Water type: Oligotrophic Water, clear water (Chll-a < 0.2~0.25 mg/m3) • Optical characteristics of the sea water (Chll-a or TSM concentration) within 5 km should be almost constant • Spatial variability of Rrs(490 nm) < 10~20% in 10~20 km area
Requirements for the calibration
<ul style="list-style-type: none"> • Validation 사이트의 요구사항에 엄격한 측정을 위해 부분적으로 다음과 같이 수정됨 • Distance from land > 40 km • AOD at 865 < 0.1~0.15 • Solar zenith angle < 40~50°

(3) 세부기술 연차별 목표 및 내용

- 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발
 - 아세안 회원국의 수요에 맞는 GOCI-II 활용기술 개발 및 제공
 - GOCI-II를 활용한 가뭄, 홍수 등의 재난 재해 모니터링 및 제공
 - 맹그로브, Seagrass 등 지표생물 모니터링을 통한 환경변화 감지 기술 개발 및 제공
- GOCI-II 검보정을 위한 국제 검보정 네트워크 구축
 - GOCI-II 국외 검보정 사이트 구축 및 국제 공동 해양조사 수행
 - 지속적인 협업을 통한 GOCI-II 기반 해양과학기술 공동체 구축

구분	연구개발목표	연구개발내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 국제 검보정 네트워크 구축 	<ul style="list-style-type: none"> • 지리적 위치에 따른 검보정 방안 마련 • KIOST 태평양해양과학기지(미크로네시아)의 검보정 네트워크 구축 타당성 검토
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 국가의 해양현안 및 GOCI-II 활용방안 조사/분석 • 메콩강 유역 국가(MRC)의 현안 분석 및 GOCI-II 활용 방안 조사/분석 • 지리적 위치에 따른 검보정 방안 마련 • KIOST 태평양해양과학기지(미크로네시아)의 검보정 네트워크 구축 타당성 검토 • 호주와의 검보정 네트워크 구축 타당성 검토 • 아세안 회원국과의 검보정 네트워크 구축 타당성 검토
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 국가의 해양현안 및 GOCI-II 활용방안 조사/분석 • 메콩강 유역 국가(MRC)의 현안 분석 및 GOCI-II 활용 방안 조사/분석 • 지리적 위치에 따른 검보정 방안 마련 • 검보정 네트워크 구축 및 시험운영 • 호주와의 검보정 네트워크 구축 타당성 검토 • 아세안 회원국과의 검보정 네트워크 구축 타당성 검토
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 개발 기술 우선 순위 도출 및 기술 개발/검증 • 검보정 네트워크 구축 및 시험운영 • 국외 검보정 사이트 구축/운영 • 국제 공동 현장조사 • GOCI-II 국제 검보정 네트워크 구축/운영
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 개발 기술 우선 순위 도출 및 기술 개발/검증 • 국외 검보정 사이트 구축/운영 • 국제 공동 현장조사 • GOCI-II 국제 검보정 네트워크 구축/운영

구분	연구개발목표	연구개발내용
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • DB 구축 및 자료제공 • 국외 검보정 사이트 구축/운영 • 국제 공동 현장조사 • GOCI-II 국제 검보정 네트워크 구축/운영
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • DB 구축 및 자료제공 • 국외 검보정 사이트 구축/운영 • 국제 공동 현장조사 • GOCI-II 국제 검보정 네트워크 구축/운영 • 지속적인 검보정 방안 도출/검보정 네트워크 확대
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 알고리즘 개선 및 검증을 통한 기술 고도화 • 국외 검보정 사이트 구축/운영 • 국제 공동 현장조사 • GOCI-II 국제 검보정 네트워크 구축/운영 • 지속적인 검보정 방안 도출/검보정 네트워크 확대
9차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 알고리즘 개선 및 검증을 통한 기술 고도화 • 국외 검보정 사이트 구축/운영 • 국제 공동 현장조사 • GOCI-II 국제 검보정 네트워크 구축/운영 • 지속적인 검보정 방안 도출/검보정 네트워크 확대
10차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 아세안 회원국의 해양 현안 활용 기술 개발 (계속) • 국제 검보정 네트워크 구축 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 알고리즘 개선 및 검증을 통한 기술 고도화 • 국외 검보정 사이트 구축/운영 • 국제 공동 현장조사 • GOCI-II 국제 검보정 네트워크 구축/운영 • 지속적인 검보정 방안 도출/검보정 네트워크 확대

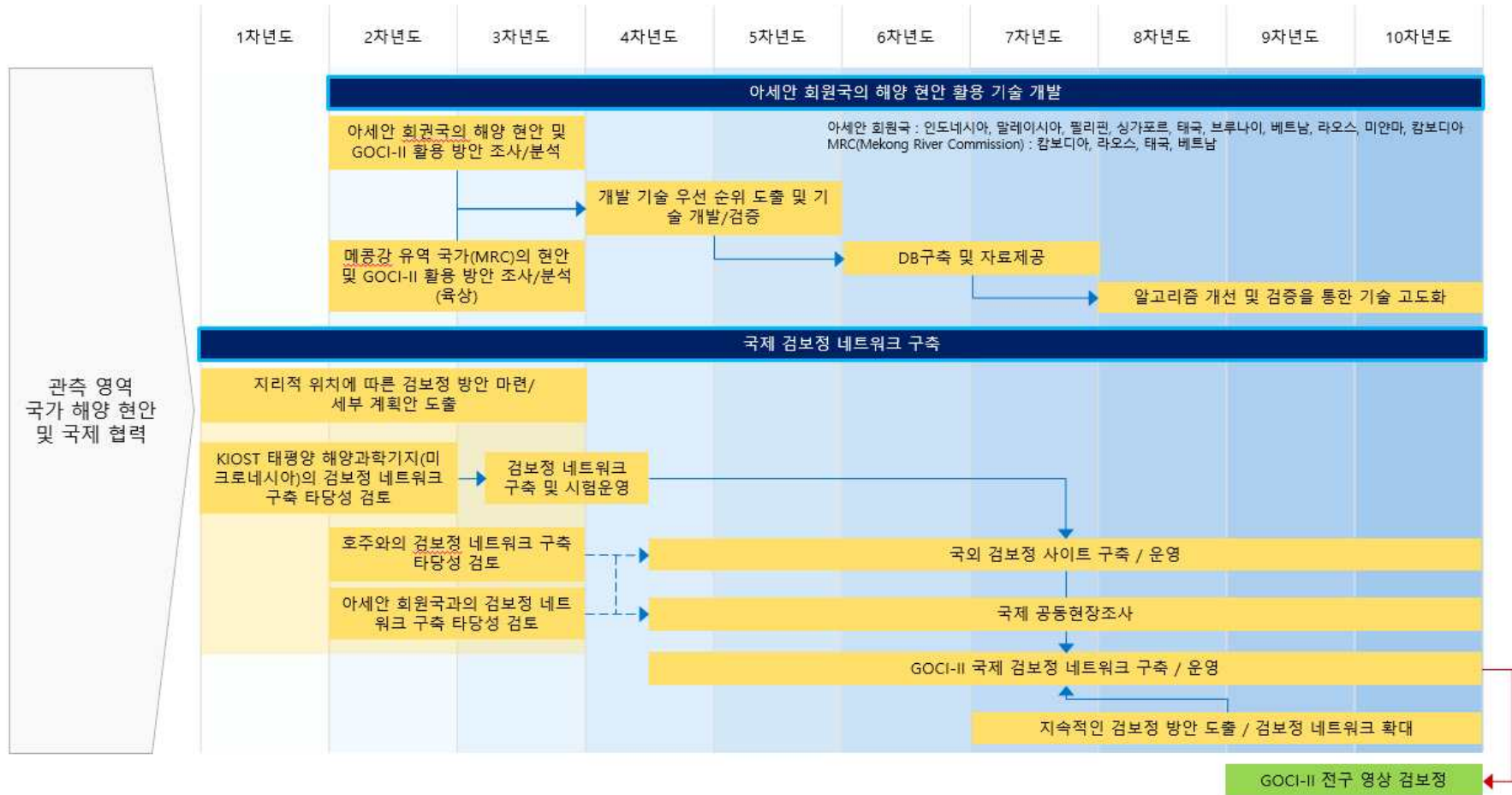


그림 127. 관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력 분야 연구개발 로드맵

제 3항 GK-2 융복합 활용을 통한 차세대 해양분석 기술개발

□ GK-2 융합 대기보정 성능 개선

(1) AMI 산출자료 융합 GOCI-II 대기보정 기술 개발

○ 기술 정의



그림 128. 해색원격탐사를 위한 전체적인 대기보정 프로세스. AMI 산출자료 융합을 통해서 첫 단계인 가스흡광 보정 정확도를 크게 향상시킬 수 있음.

- GOCI 및 GOCI-II 대기보정의 첫 단계에서는 수증기에 의한 흡광 보정 과정을 거치며 이를 위해 이들 수증기 연직 농도 기상장 자료가 필요
- 현재 GOCI & GOCI-II 대기보정에서는 NCEP 혹은 ECMWF 수증기 농도 기상장 자료를 사용하고 있지만, 시공간 해상도가 많이 부족하며, 이를 보완하기 위해 GOCI-II와 동일한 관측궤도를 공유하는 AMI 자료를 활용

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 기존에는 수증기 흡광 보정을 위해 NCEP 및 ECMWF 기상장 자료를 사용하였으나, 해당자료의 시공간 해상도가 위성자료에 적용하기에 부족한편이다. 특히 수증기 연직 농도 분포의 경우 항상 그 profile이 일정하다고 가정하였으며, 이 경우 가정된 연직 profile보다 대기하층에 수증기량이 더 집중될 경우 수증기흡광을 과소추정하는 문제가 발생.
- 대기 상층에서 오존, 이산화질소, 수증기 등의 미세가스에 의한 흡광 투과율은 기본적으로 비어의 법칙으로 근사할 수 있지만, 대부분의 수증기 입자가 분포하는 대기 하층에서는 상대적으로 높은 대기 농도에 의해서 다중산란이 많이 발생하게 되고 비어의 법칙보다 더 많은 흡광이 발생. 기존의 흡광모델들은 대기 다중산란을 고려하더라도 시공간적인 변화 정도가 큰 에어로졸을 제외한 분자입자들에 대한 광산란만

을 고려하고 있으며, 에어로졸 농도가 높을 경우 수증기농도에 의한 흡광투과율을 과소평가하는 문제가 발생.

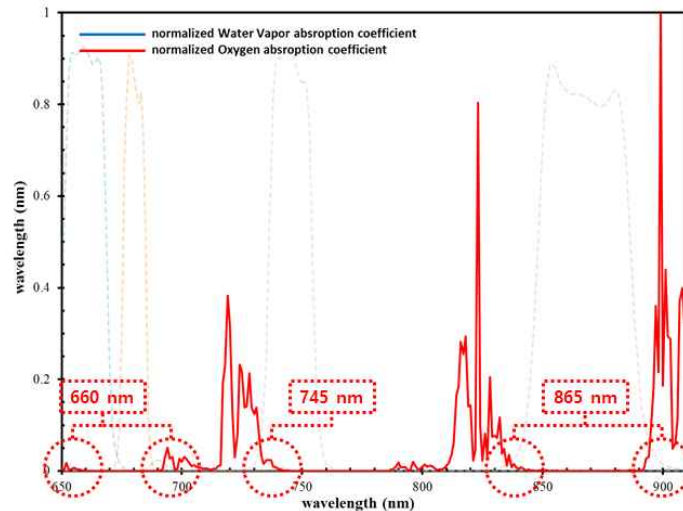


그림 129. GOCI 밴드의 분광응답 특성(점선)과 파장별 수증기 흡광 정도(붉은 실선).

- 수증기 흡광 스펙트럼은 미세한 파장변화에 따라 크게 달라질 수 있으며, 이를 반영하기 위해 정확한 센서의 분광응답특성(spectral response function: SRF)가 필요
 - SRF는 GOCI-II 광학계 배열이 달라짐에 따라(관측 슬롯에 따라) 바뀌며, 각각의 관측 슬롯마다 정확한 SRF 값을 알고 해당 슬롯에 맞는 보정모델을 적용
 - GOCI-II 내부 광학계 미리 배열별로 측정된 SRF값이 필요하며 이를 바탕으로 관측 슬롯별로 미리 배열 모델을 구축하고 이어서 SRF 모델을 구축
 - 이 SRF는 시간에 따라 파장이 이동하는 노후화 현상이 있으며, 위성 운영 5년차 정도에 추가적으로 이 노후화가 고려된 개선된 SRF모델을 구축
- 연구 개발 내용
- GOCI-II 관측슬롯별로 광학계 mirror 배열 변화 모델 구현
 - GOCI-II 각각의 mirror 배열 별로 분광응답특성(SRF) 모델링
 - GOCI-II 노후화에 따른 SRF 파장이동 모델링
 - 다양한 수증기 농도 연직 profile, 태양-위성 기하각, 에어로졸 농도 및 유형에 대하여 복사전달 시뮬레이션 수행

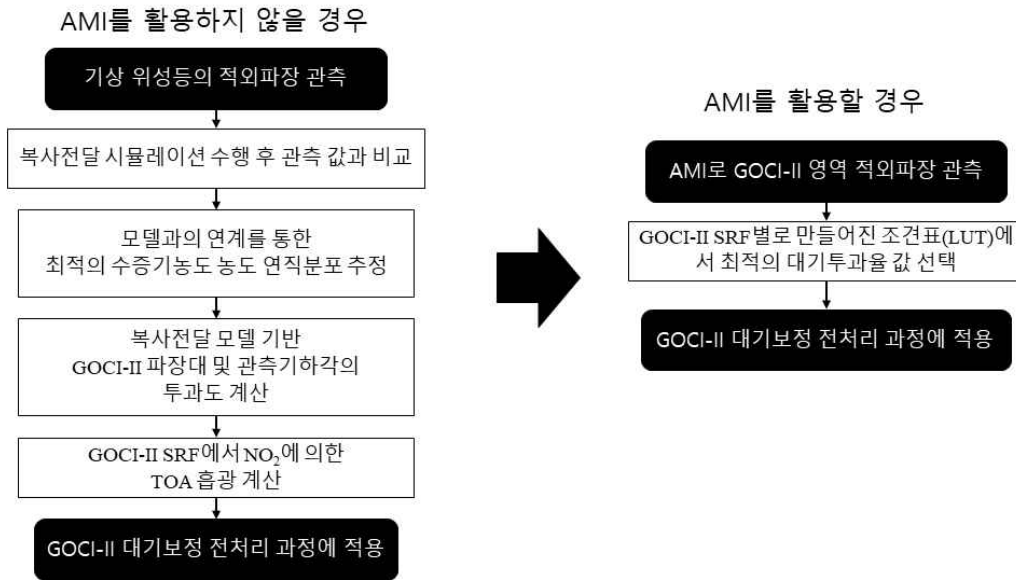


그림 130. AMI 산출자료 융합활용 전/후 대기 가스흡광보정 프로세스 비교

- AMI의 수증기 농도 산출물이 아닌 적외파장 관측자료에서 바로 대기 투과도 산출 가능 모델 개발
- 수증기 연직 profile 실측자료 확보 및 실제 검증

(2) AMI, GEMS 융합 GOCI-II 대기보정 기술 개발

○ 기술 정의

- GOCI 및 GOCI-II 대기보정의 첫 단계에서 수증기 뿐 아니라 오존, 이산화질소에 의한 흡광 보정 또한 수행하며 이를 위해 이들 미세가스 연직 농도 기상장 자료가 필요.
- 현재 GOCI & GOCI-II 대기보정에서는 NCEP 혹은 ECMWF 미세가스 농도 기상장 자료를 사용하고 있지만, 시공간 해상도가 많이 부족하며, 이를 보완하기 위해 GOCI-II와 동일한 관측궤도를 공유하는 GEMS 자료를 활용.

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 기존에는 흡광성 미세가스 영향을 위해 NCEP 및 ECMWF 기상장 자료를 사용하였으나, 해당자료의 시공간 해상도가 위성자료에 적용하기에 부족한편이다. 특히 이산화질소의 경우 그 농도 및 연직 구성이 시공간적으로 크게 변하기 때문에 더욱 높은 시공간 해상도 자료가 필요.
- 대기 상층에서 오존, 이산화질소 등의 미세가스에 의한 흡광 투과율은 기본적으로 비어의 법칙으로 근사할 수 있지만, 대기 하층에서는 상대

적으로 높은 대기 농도에 의해서 다중산란이 많이 발생하게 되고 비어의 법칙보다 더 많은 흡광이 발생해주며 이를 위한 고려를 해주어야 함. 하지만 기존의 흡광모델들은 대기 다중산란을 고려하더라도 시공간적인 변화 정도가 큰 에어로졸을 제외한 분자입자들에 대한 광산란만을 고려하고 있음.

- 파장별 흡광정도를 계산하기 위해서 흡광성 미세가스분자들의 파장별 흡광단면적 정보가 필요하며, 이산화질소의 경우 온도에 따른 흡광단면적 분광스펙트럼(색)이 달라짐. 하지만 기존의 보정 모델들은 이에 대한 고려를 하지 않음.



그림 131. 온도에 따른
이산화질소의 색(흡광)변화

○ 연구 개발 내용

- 다양한 미세가스 농도 연직 profile, 태양-위성 기하각, 에어로졸 농도 및 유형에 대하여 복사전달 시뮬레이션 수행
- GEMS의 이산화질소, 오존 농도 산출물이 아닌 초분광 관측자료에서 바로 대기투과도 산출 가능 모델 개발

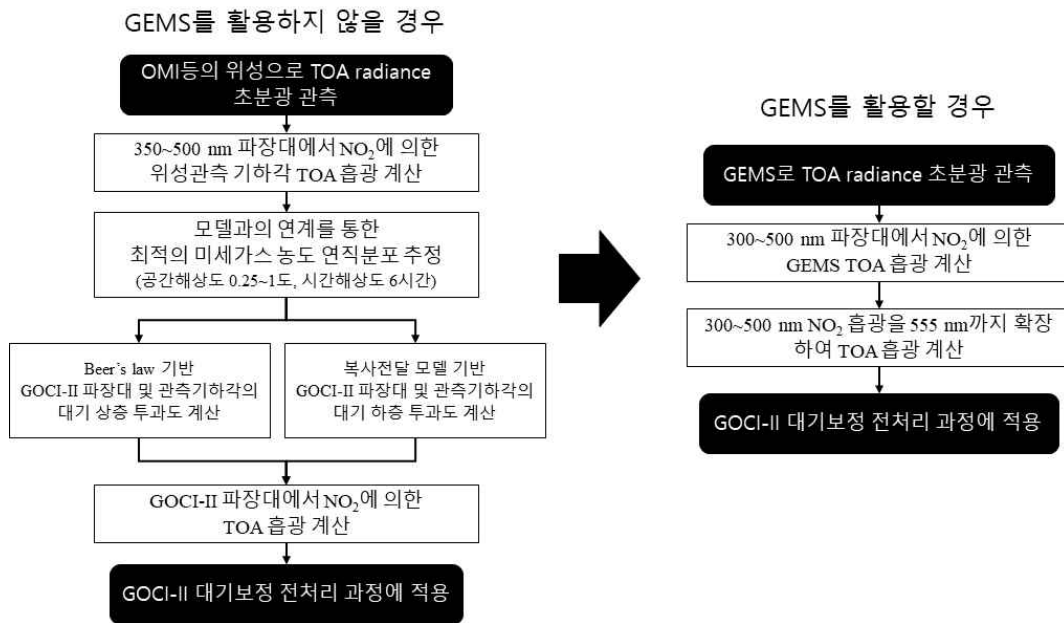


그림 132. GEMS 산출자료 융합활용 전/후 대기 가스흡광보정 프로세스 비교

- GEMS의 오존, 이산화질소 농도 산출물이 아닌 자외/가시광 파장 관측자료에서 바로 대기투과도 산출 가능 모델 개발
- 오존, 이산화질소 연직 profile 실측자료 확보 및 실제 검증

(3) 세부기술 연차별 목표 및 내용

	연구개발목표	연구개발내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II와 AMI 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) • GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II SRF모델 구축 • 다양한 광 조건에 대한 NO₂, O₃ 흡광 복사전달 시뮬레이션 수행
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II와 AMI 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) • GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 광 조건과 SRF에 대한 H₂O 흡광 복사전달 시뮬레이션 수행 • 다양한 광 조건에 대한 NO₂, O₃ 흡광 복사전달 시뮬레이션 수행
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II와 AMI 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) • GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 광 조건과 SRF에 대한 H₂O 흡광 복사전달 시뮬레이션 수행 • H₂O 흡광투과모델 대기보정에

	연구개발목표	연구개발내용
		<ul style="list-style-type: none"> 융합 • NO₂, O₃ 흡광투과모델 대기보정에 융합
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II와 AMI 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) • GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • H₂O 흡광투과모델 대기보정에 융합 • NO₂, O₃ 흡광투과모델 대기보정에 융합
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II와 AMI 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) • GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 복사전달모델 검증자료 생산 및 실측 검증 • G2GS 업그레이드
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> • H₂O 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) • NO₂, O₃ 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II SRF모델 개선 • 대기 온도 연직 변화를 고려한 NO₂ 흡광 보정모델 구축
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> • H₂O 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) • NO₂, O₃ 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2파라미터 연직 H₂O농도 모델 검증 • 에어로졸 산란의 영향을 고려한 H₂O, NO₂ 흡광 모델 구축
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> • H₂O 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) • NO₂, O₃ 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 에어로졸 산란의 영향을 고려한 H₂O, NO₂ 흡광 모델 구축 • 개선된 대기투과 보정모델을 대기보정 처리시스템에 융합
9차년도	<ul style="list-style-type: none"> • H₂O 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) • NO₂, O₃ 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 에어로졸 산란의 영향을 고려한 H₂O, NO₂ 흡광 모델 구축 • 개선된 대기투과 보정모델을 대기보정 처리시스템에 융합
10차년도	<ul style="list-style-type: none"> • H₂O 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) • NO₂, O₃ 투과도 추정 알고리즘 고도화 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 개선된 대기투과 보정모델을 대기보정 처리시스템에 융합 • G2GS 업그레이드



그림 133. GK-2 통합 대기보정 성능 개선 분야 연구개발 로드맵

나. 향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발

(1) GK-2 센서별 에어로졸 산출물 검증 및 특성 분석 기술

○ 기술 정의

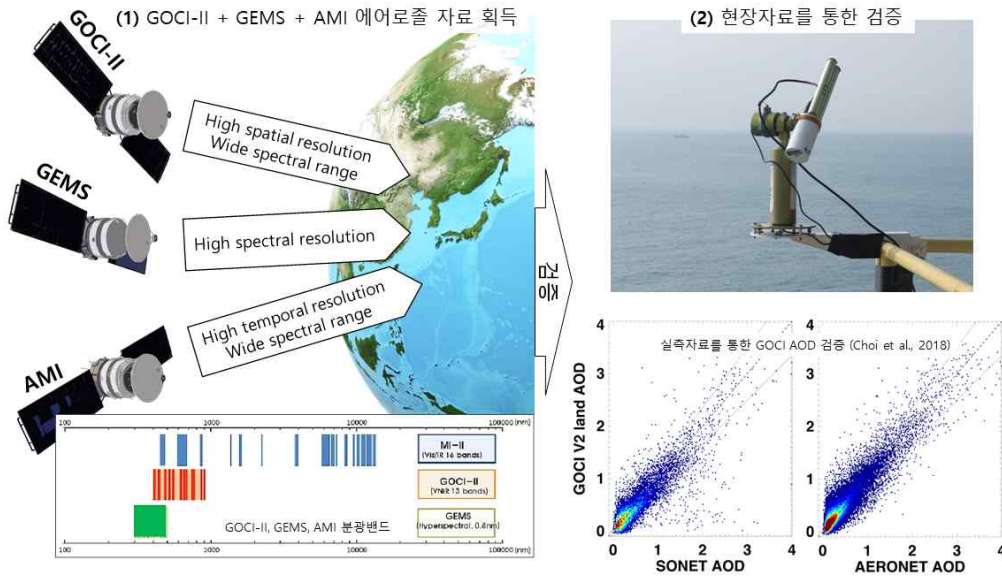


그림 134. 서로 다른 시공간해상도를 가진 GOCI-II, GEMS, AMI 산출 에어로졸광두께(AOD) 각각의 성능을 실측자료를 통해 검증

- GK-2 탑재체들인 GOCI-II, GEMS, AMI 모두 에어로졸 정보를 산출하지만, 각각의 탑재체가 서로 다른 시간, 공간, 분광 해상도를 가지고 있어서 각각의 자료들이 서로 다른 장점을 가지고 있음.
- 뿐만 아니라 각각의 탑재체가 가진 분광특성에 따라 에어로졸 정보를 추정하는 알고리즘이 달라지고, 이에 따라서 각각의 알고리즘이 추가적으로 산출할 수 있는 정보도 존재.
- 탑재체 및 각 알고리즘들이 가지고 있는 장점들이 융합된 시너지 산출물의 생산을 위해 탑재체들 각각의 에어로졸 산출물들을 비교 분석

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

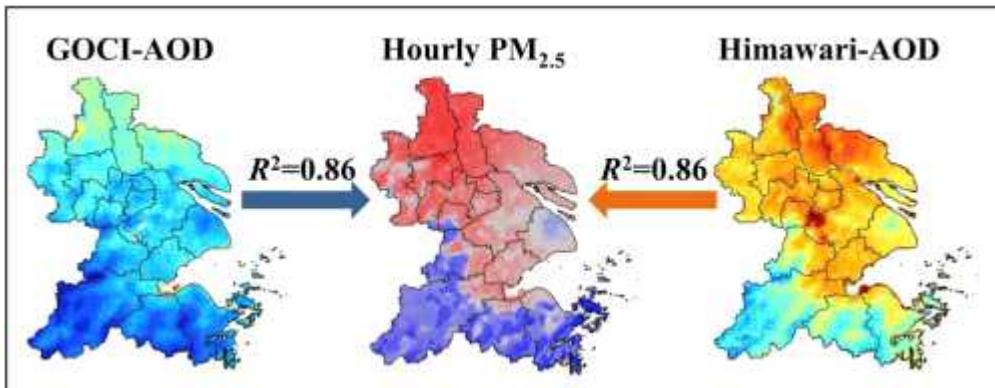


그림 135. 높은 공간/분광 해상도를 가진 GOCI와 높은 시간해상도를 가진 Himawari-8 에어로졸 산출물의 장점을 융합하여 시너지 자료 생산 (Tang et al., 2019)

- GOCI-II, AMI, GEMS 센서 중 공간해상도는 GOCI-II가 가장 높고, 시간해상도는 AMI가 가장 높으며, 분광해상도는 GEMS가 가장 높음
- 추가로 GOCI-II가 에어로졸 산출에 최적화 된 파장대를 가지고 있지만, 에어로졸 흡광 및 고도의 산출에는 GEMS가 더 유리한 관측밴드를 가지고 있음
- 즉, 각각의 센서별 에어로졸(미세먼지) 관측의 강점 및 한계점이 있으며, 이 자료들을 융합할 경우 각 센서들의 한계점이 극복된 시너지 자료의 생산이 가능

○ 연구 개발 내용

- 각 GOCI-II, GEMS, AMI 탑재체 별 에어로졸 산출 알고리즘 및 장단점 비교 정리
- 각 GOCI-II, GEMS, AMI 탑재체 별 에어로졸 산출 알고리즘 성능 개선 가능성 검토
- GK-2 위성 관측 대상 에어로졸 실측자료 수집 및 품질분석기술 개발
- 수집된 실측 에어로졸 자료를 바탕으로 각 GOCI-II, GEMS, AMI 에어로졸 산출물 성능 검증기술 개발 및 결과 정리
- GOCI-II, GEMS, AMI 시너지 에어로졸 산출기술 개발



그림 136. GOCI-II, GEMS, AMI 시너지 에어로졸 산출물의 생산

(2) 해양 미세먼지 탐지 정확도 향상

○ 기술 정의

- 미세먼지 농도는 지표면/해수표면 기준의 건조상태 에어로졸 농도를 의미하지만, 기존 위성을 통한 에어로졸 산출 방법의 경우 위성의 광 관측경로 전체(total slant column)의 광두께를 산출하며, 광두께 정보로 에어로졸의 고도나 건조 상태에서의 농도를 알 수 없음
- GOCI-II, GEMS, AMI 자료의 융합 및 에어로졸 산출 알고리즘의 개선을 통해 0% 상대습도 기준 해수 표면 에어로졸 농도를 위성자료를 통해 산출하고자 함

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 해외에서의 미세먼지 유입과 이에 대한 환경외교 대응자료의 마련을 위해서 해양의 미세먼지 탐지는 매우 중요함
- 미세먼지는 지표면 기준에서의 에어로졸을 의미하지만 GOCI-II 및 AMI 센서를 통한 원격탐사의 경우 에어로졸의 고도를 알 수 없음. 이를 극복하기 위한 가장 이상적인 모니터링 방법은 위성자료에 대기화학수송모델 및 지상실측자료 네트워크를 연동하는 방법이지만, 해양의 경우 지상실측자료의 확보가 매우 어려움
- GOCI 및 GOCI-II를 위해 개발된 기존 에어로졸 산출 알고리즘은 해수 반사도 모델의 부정확함으로 인해 매우 맑은 해역에서 에어로졸 입자 크기를 과소 추정하는 경향이 있음
- 두 NIR과장만 이용한 에어로졸 추정방법의 경우 입자크기 및 농도의 산출이 비교적 정확하지만 에어로졸의 흡광정도는 추정하기 어려우며, 황사가 발생한 경우에도 에어로졸의 농도 및 입자크기 추정이 어려움

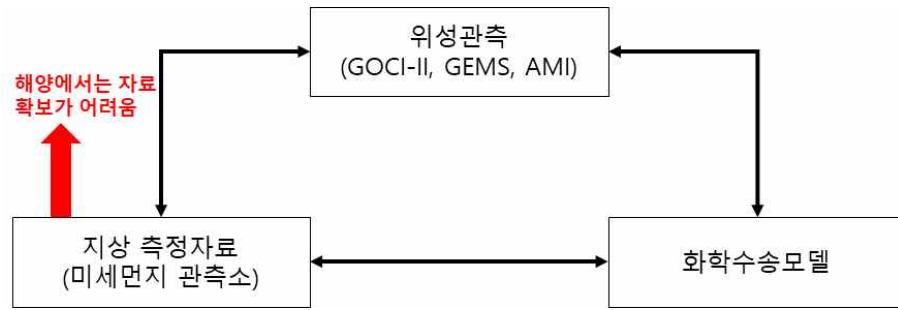


그림 137. 이상적인 미세먼지 모니터링 시스템. 하지만 해양 미세먼지의 경우 지상 관측소의 부재로 해수표면 미세먼지 실측자료의 충분한 확보가 어려움

○ 연구 개발 내용

- 기계학습을 활용하여 미세먼지 탐지 알고리즘 개선
- GEMS 477 nm 산소흡광밴드를 활용하여 지표면 에어로졸 농도 fraction 산출 알고리즘 개발
- 해수 반사도 모델 개선으로 해양 에어로졸 농도/유형 추정 정확도 향상
- GOCI-II & GEMS & AMI 산출자료 융합으로 높은 시/공간 해상도와 정확도가 향상된 미세먼지 농도 산출

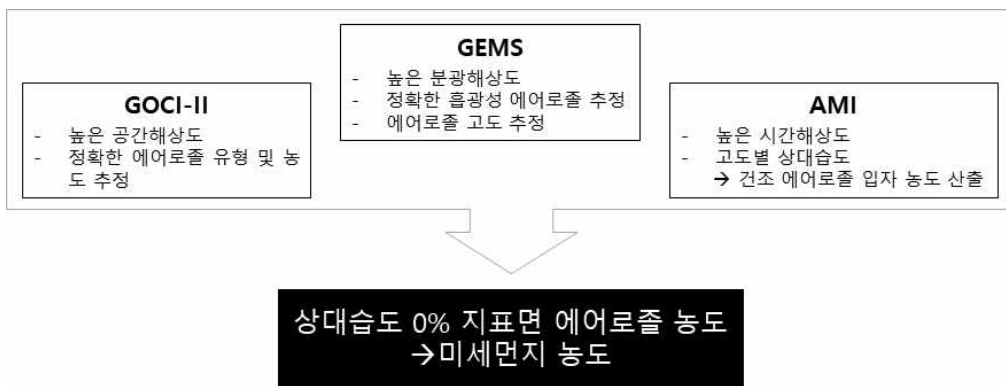


그림 138. GK-2 탑재체들의 장점을 이용한 미세먼지 농도 산출 융합활용 예시

(3) 해양-미세먼지 상호작용 및 이동 연구

○ 기술 정의

- 해양에서 자연발생하는 미세먼지 농도를 추정하여, 해외유입 미세먼지의 양을 정량화 하고자 함
- 대기-해양 상호작용에 대한 이해를 바탕으로 미세먼지에 의한 해양환경의 변화 정도 또한 추정하고자 함

- 기계학습 등의 방법을 통해 미세먼지의 자연발생 및 이동예측 정확도 향상하고자 함

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 미세먼지의 해외유입 정도를 정량화하기 위해서는 해양에서 자연발생하는 에어로졸 농도를 추정할 수 있어야 함
- 미세먼지의 대양의 영양염 공급에도 기여하며 이는 해양의 생산성 및 수산자원과도 연관이 있음. 이는 미세먼지의 긍정적인 역할 중 하나임
- 기계학습방법 등을 이용하여 미세먼지의 발생/이동 예측이 가능할 경우 국민 보건복지의 증진에도 기여할 것으로 예상

○ 연구 개발 내용

- 미세먼지에 의한 대양의 영양염 공급 및 해양환경변화 정량화기술 개발
- 해양에서의 자연발생 미세먼지의 총량 및 국내로의 유입 정도 정량화 기술 개발
- 기계학습 방법 등의 이론을 적용하여 미세먼지 탐지 정확도를 향상시키고, 자연발생 및 이동경로 예측기술 개발

(4) 세부기술 연차별 목표 및 내용

	연구개발목표	연구개발내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GK-2 센서별 AOD 산출물 검증 및 특성 분석 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양관측 AERONET 품질분석 및 검증기술 개발
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GK-2 센서별 AOD 산출물 검증 및 특성 분석 (계속) 	<ul style="list-style-type: none"> • 센서별 광특성/시공간해상도 분석 및 정확도 비교
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GK-2 센서별 AOD 산출물 검증 및 특성 분석 • 해양 미세먼지 탐지 정확도 향상 	<ul style="list-style-type: none"> • 센서별 광특성/시공간해상도 분석 및 정확도 비교 • GK-2 시너지 에어로졸 자료 생산기술 • 기계학습 기반 미세먼지 탐지 알고리즘 개선 • 해양 에어로졸 탐지성능 향상 기술 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 미세먼지 탐지 정확도 향상 	<ul style="list-style-type: none"> • 기계학습 기반 미세먼지 탐지 알고리즘 개선 • 해양 에어로졸 탐지성능 향상 기술 개발

	연구개발목표	연구개발내용
		<ul style="list-style-type: none"> 고도화된 알고리즘코드 시스템에 이식 후 안정성 테스트
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양 미세먼지 탐지 정확도 향상 	<ul style="list-style-type: none"> 고도화된 알고리즘코드 시스템에 이식 후 안정성 테스트 G2GS 업그레이드
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양 미세먼지 상호작용 및 이동 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 상호작용: 미세먼지 영양염 공급 및 해양환경에서의 영향 해양발생(해양성) 미세먼지
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양 미세먼지 상호작용 및 이동 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 상호작용: 미세먼지 영양염 공급 및 해양환경에서의 영향 해양발생(해양성) 미세먼지 기계학습기반 미세먼지 탐지 알고리즘 개선
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> 해양 미세먼지 상호작용 및 이동 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 기계학습기반 미세먼지 탐지 알고리즘 개선



그림 139. 향상된 해양 미세먼지 분석 기술개발 분야 연구개발 로드맵

다. GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술 개발

(1) 해색-표면수온 융합자료 생산 기술 개발

○ 기술 정의

- GOCI-II의 해색자료와 AMI의 수온자료를 융합하여 동일한 시공간 격자에 저장한(binning) 자료를 생산
- Binning을 위해 해색자료와 수온자료에 대해 각 화소별로 품질검증을 수행하고 적합하지 않은 화소는 품질관리 근거를 바탕으로 flag나 mask 처리

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 위성을 이용한 해양환경 및 생태연구를 위해서 해색자료와 수온자료를 동시에 활용하는 경우가 많지만, GK-II 임무에서 해색자료는 GOCI-II, 수온자료는 AMI에서 각각 따로 생산함
- GOCI-II와 AMI의 시공간 해상도 및 촬영시간이 서로 다르기 때문에 융합연구를 위해서는 동일한 시공간 격자에 저장(binning)해야함
- 해색 또는 수온자료 산출 과정에서 오차발생여부의 가능성이 있는 경우(구름 주변부 화소 등) 해당 화소는 binning에서 제외해야하며, 해당 화소가 포함될 경우 환경변수의 영향에 대한 잘못된 해석으로 이어짐

○ 연구 개발 내용

- 해색 및 수온자료 융합을 위한 영상 화소별 품질분석 flag 처리기술 개발 및 개선
- 해색 및 수온자료의 고정밀 구름마스킹 및 구름 주변부 광오염 화소마스킹 기술 개발
- 해색 및 수온자료를 동일한 시공간 격자에 저장(binning)기술 개발

(2) 해색-표면수온 융합 분석 기술 개발

○ 기술 정의

- AMI 기상위성은 기존 MI 기상위성보다 더욱 정확한 해수온 추정 가능성이며, 정지궤도 기상위성 중 시공간 해상도가 높은 편이라 고수온 및 냉수대 탐지가 유리한 편
- 고수온이나 냉수대는 해양의 물리적 온도 뿐 아니라 화학적 혹은 생물학적 환경에도 영향을 줌
- 수온자료와 해색자료 기반의 해양환경자료를 분석할 경우 고수온 및

냉수대에 의한 해양생태환경 변화 기작의 설명이 가능

- 일반적인 해석자료는 수온자료대비 시간해상도가 많이 낮은 편이었으나 GOCI-II의 높은 시간해상도 자료를 이용할 경우 더욱 정밀한 분석이 가능

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 고수온과 해양생태환경 상호 영향성 연구 관련하여 하루 동안 일어나는 해양생태환경 변화에 대한 고려는 없었으며, 이를 위해 높은 시간해상도를 가진 GOCI 및 GOCI-II 자료가 필요함

○ 연구 개발 내용

- 고수온 및 냉수대 탐지기술 개발 및 현장자료 기반 검증
- 수온자료와 해석자료의 주성분 분석 및 기계학습을 기반으로 시간지연을 고려한 상호 영향성의 경험적 분석

(3) 위성 탐지 한반도 고수온/냉수대 해양생태 변화 연구

○ 기술 정의

- 수온 및 해양생태 환경의 경험적 상관관계 자료를 기반으로 생태환경 변수의 관점에서 서로의 영향성 기작에 대한 분석적 이해

○ 기존방법 한계점 및 연구 필요성

- 실제 식물성 플랑크톤의 번성 혹은 용존유기물이 빙하가 녹는 속도에 영향을 주고 있는 것으로 밝혀졌지만, 해양생태환경이 고수온에 주는 영향에 대한 연구는 부족한 편
- 고수온의 경우 주로 연안 해역의 양식장 등에 큰 피해를 주고 있는 편이며 연안해역의 경우 하루 동안 해양환경의 변화가 큼에도 불구하고 일반적인 분석에서는 하루 이내의 변화에 대한 고려가 거의 없음

○ 연구 개발 내용

- 수온 및 해양생태 환경의 상호 영향성에 대한 분석적 모델 개발
- 고수온/냉수대에 의한 해양생태환경 변화 및 그 반대의 경우에 대한 영향성을 수치로 제시

(4) 해석-표면수온 융합 예측 기술 개발

○ 기술 정의

- 고수온 발생 기작에 대한 정밀한 분석적 모델을 활용할 경우 고수온의 조기 예측이 가능
 - 수온에 영향을 줄 수 있는 변수는 일사량, 바람장, 습도, 해류, 해양환경 등 매우 다양함
- 기존방법 한계점 및 연구 필요성
- 수온 관련 모든 환경변수들을 고려할 경우 더욱 정확한 수온 모델의 개발이 가능하지만 모델 개발의 복잡도도 크게 증가함
- 연구 개발 내용
- 일사량, 바람장 등의 기상자료 뿐 아니라 해색 및 대기 광 자료 등 수온에 영향을 줄 수 있는 모든 변수들을 고려한 딥러닝 기반 수온 모델 개발
 - 수온에 영향을 줄 수 있는 실시간 기상자료 및 예보자료 수집시스템 구축, 이를 바탕으로 고수온 발생 예측 시스템 개발

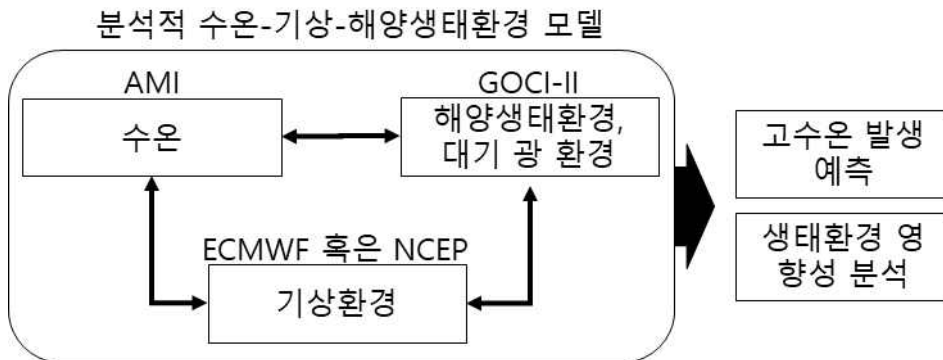


그림 140. 분석적 수온모델 기반 고수온 발생예측 및 생태환경 영향성 분석 시스템

(5) 세부기술 연차별 목표 및 내용

	연구개발목표	연구개발내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II - AMI 융합 자료 생산기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • Cloud 마스킹 • 퀄리티 분석 및 flag 처리 • 융합자료 처리/생산 기술
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II - AMI 융합자료 생산기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 융합자료 처리/생산 기술
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> • GOCI-II - AMI 융합 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • AMI를 이용한 고수온 탐지기술 개발 및 현장관측 검증 • AMI를 이용한 냉수대 탐지기술 개발 및 현장관측 검증

	연구개발목표	연구개발내용
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> GOCI-II - AMI 융합 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> AMI를 이용한 고수온 탐지기술 개발 및 현장관측 검증 고수온 사례별 해석변화 및 상관성 분석 AMI를 이용한 냉수대 탐지기술 개발 및 현장관측 검증 냉수대 사례별 해석변화 및 상관성 분석
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> GOCI-II - AMI 융합 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 고수온 사례별 해석변화 및 상관성 분석 냉수대 사례별 해석변화 및 상관성 분석 고도화된 알고리즘 코드 시스템 이식 안정성 테스트 G2GS - Data application enhancement module II 추가 / 구축
6차년도	<ul style="list-style-type: none"> 위성 탐지 한반도 고수온/냉수대 해양생태 변화 연구 GOCI-II AMI 융합 예측기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 고수온/냉수대 및 해양환경변수 변화 인과관계 분석기술 추가적인 환경변수를 고려하여 기존 딥러닝 기반 고수온 탐지기술 개선
7차년도	<ul style="list-style-type: none"> 위성 탐지 한반도 고수온/냉수대 해양생태 변화 연구 GOCI-II AMI 융합 예측기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 고수온/냉수대 및 해양환경변수 변화 인과관계 분석기술 추가적인 환경변수를 고려하여 기존 딥러닝 기반 고수온 탐지기술 개선
8차년도	<ul style="list-style-type: none"> 위성 탐지 한반도 고수온/냉수대 해양생태 변화 연구 GOCI-II AMI 융합 예측기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 고수온/냉수대 및 해양환경변수 변화 인과관계 분석기술 추가적인 환경변수를 고려하여 기존 딥러닝 기반 고수온 탐지기술 개선 고도화된 알고리즘 코드 시스템 이식 안정성 테스트 G2GS - Data application enhancement module II 추가 / 구축

GK-2 수온-해양
생태 융합 활용
기술 개발



그림 141. GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술개발 분야 연구개발 로드맵

제 3 절 소요 예산

제 1항 예산 산정 기준

- 인건비 계산 시 박사급 기준 1억 원, 석사급 기준 0.65억 원, 학사급 기준 0.5억 원 수준으로 설정하고, 세부 분야별 연구 로드맵에 따라 예산 배분

제 2항 총 소요예산

- 10년간 총 580억원의 예산 소요 예상
- GOCI-II 활용 증대를 위해서는 자료 정확도 확보를 위한 검보정 분야 예산 투입이 절대적으로 필요하며, 전체 예산에서 50% 이상을 차지함.
(투입 인력은 용역/위탁을 제외한 자체 개발 인력을 의미함)

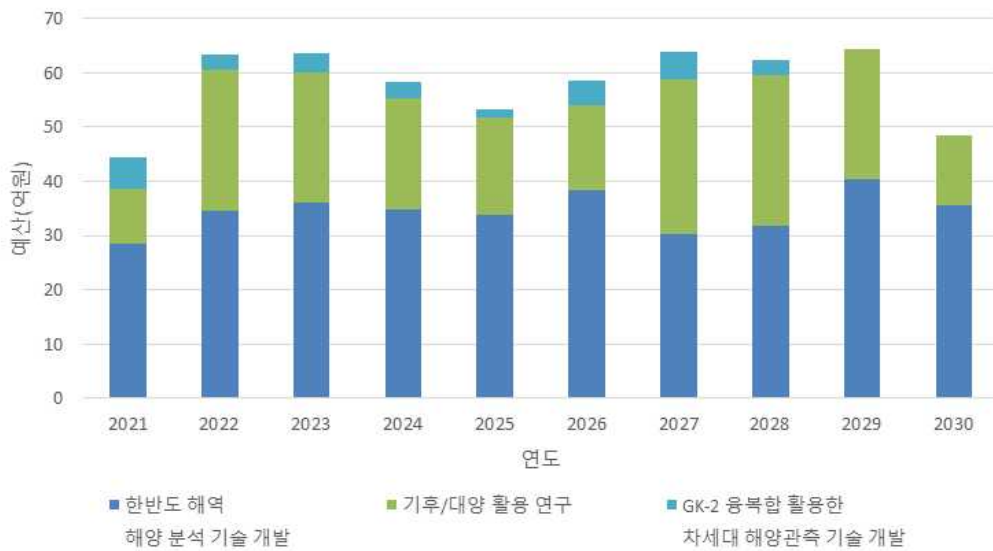


그림 142. 세부 분야별 소요 예산 규모

표 12. 상세 소요금액(안)

대분류	중분류	연차수										총계 (억원)	투입력
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
(세부과제 1) 한반도 해역 해양 분석 기술 개발	GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발	28.44	32.16	32.81	31.85	31.76	35.38	27.81	31.38	40.33	35.5	327.4	186
	이상징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지	0	2.34	3.15	2.34	0.9	0.27	0	0	0	0	9	8.25
	지역해 특화 수산자원 변화 및 지원	0	0	0.2	0.73	1.19	2.64	2.41	0.43	0	0	7.6	4.3
(세부과제 2) 기후/대양 활용 연구	천리안 해양위성 시리즈 연속 자료 구축	5.25	10.48	7.83	2.01	0.63	0	1.89	1.89	0.36	0.36	30.7	17.35
	기후 변화 관련 산출물 개발	0	0.72	1.08	1.08	1.44	1.08	1.08	0.72	0	0	7.2	6.6
	기후변화에 따른 해양 생태계 변화 연구	0	0	0	0.4	0.6	0.6	1.12	1.2	0.48	0	4.4	3.65
	관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력	4.92	14.92	14.92	16.88	15.24	13.94	24.58	23.84	23.2	12.56	165	104.5
(세부과제 3) GK-2 융복합 차세대 해양관측 기술 개발	GK-2 융합 대기보정 성능 개선	2.115	1.155	0.64	0.43	0.36	2.1	2.15	0.95	0	0	9.9	5.6
	향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발	1.75	1.085	2.365	1.275	0.375	1.8	1.44	0.36	0	0	10.45	8.75
	GK-2 수온-해양생태 융합 활용 기술 개발	2	0.5	0.5	1.25	0.75	0.72	1.44	1.44	0	0	8.6	7.9
총 계 (단위: 억 원)		44.5	63.4	63.5	58.2	53.2	58.5	63.9	62.2	64.4	48.4	580.3	355.9

- 연구 개발 내용에 따라 ‘위성자료 실증화 및 활용기술 개발’과 ‘위성활용 기술 고도화’로 분류될 수 있음

위성자료 실증화 및 활용기술 개발/ (283억원)	위성활용 기술 고도화/ (297억원)
GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발 외래기원 해양오염원 및 해양환경 위협요소 탐지기술 개발 연근해 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술개발 천리안 해양위성 시리즈 연속자료 구축 해양탄소 배출량 분석 기술 개발 국제 검보정 네트워크 구축 GK-2 융합 기술 개발 및 해양 미세먼지 정확도 향상	GOCI-II 시공간 고정밀 기술 고도화 북한환경 정보분석 기술 개발 원양 어업 어장지수 개발 및 서비스 시스템 구축 지원 국외위성과 상호검증 기술 개발 대양기후 변동성과 생산성 상관 연구 아세안 회원국의 해양현안 활용 기술 개발 GK-2 융합기술 고도화 해양-미세먼지 상호작용 및 이동 연구

제 4 장 연구개발의 타당성 조사

제 1 절 시의적·정책적 타당성 검토

제 1항 시의적 타당성

- 위성은 위성개발을 시작으로 산출물 처리기술 및 지상시스템 개발 (발사전), 위성운영, 자료 정확도 검증 및 활용기술 개발(발사 후), 서비스의 순서로 업무가 진행됨
- 천리안 해양위성 2호는 2020년 2월 발사를 앞두고 있으며, 산출물 처리기술 및 지상시스템 개발까지 마무리 단계이며, 위성 운영을 위한 예산확보도 완료되었음
- 한국항공우주연구원에서 약 7개월의 궤도상 시험운영이 수행되고 나면 해양과기원에서 해양위성의 활용을 위한 산출물 26종에 대한 정확도 검증/개선 및 활용기술 개발을 수행해야함
- 따라서, 본 연구개발 내용은 2020년 말부터 진행되어야함

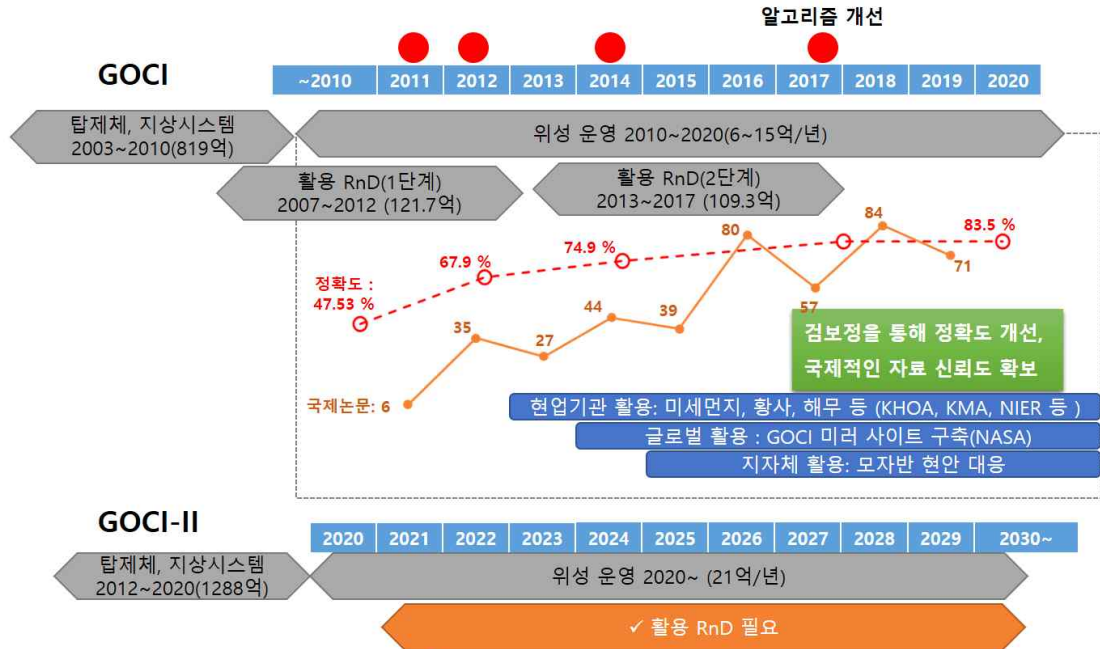


그림 143. GOCI 활용 결과와 비교한 GOCI-II 활용 연구개발 사업의 시의적 타당성 모식도

제 2항 정책적 타당성

가. 국가적 아젠다와의 연계성

(1) 정부 국정 과제

- “깨끗한 바다, 풍요로운 어장 (해수부)”
 - 현 정부 국정과제 중 “깨끗한 바다, 풍요로운 어장” 목표를 위해서는 장기 해양환경 관측자료의 구축이 필요하고, 해양-기후 융합 분석을 통해 미래 해양환경 변화에 대한 대비가 필요함
 - 해수부는 해양위성(GOCI 및 GOCI-II) 운영을 주관하는 주무부처로서, 지난 10여년간 다양한 국가연구개발 사업으로 해양위성 개발, 지상국 구축, 활용기술 개발을 주도하여왔음
 - 본 과제를 통해 장기 연속 해양변화를 위한 자료를 구축하여, 이상 해양현상에 따른 해양생태계 변화를 모니터링하는 감시 기술을 개발할 수 있음

(2) 제4차 과학기술기본계획(2018~2022)

- “쾌적하고 편안한 생활환경 조성”
 - 2040년을 향한 국가과학기술기술 혁신과 도전을 위한 “쾌적하고 편안한 생활환경 조성” 과제와 연계되어, GOCI-II 검보정 및 장기데이터 구축은 기후변화 및 신기후체제 대응으로 지속가능성 확보를 위한 해양관측 확보에 크게 기여할 수 있음
- “과학기술 외교의 전략성 강화”
 - 해양 분야 국제 공동 네트워크 및 협력 네트워크 구축 강화가 본 연구개발의 ‘관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력’과 연계됨

(3) 문재인 정부 신남방정책

- “10. 신산업 및 스마트 협력”, “11. 신남방 각 국가별 맞춤형 협력”, “16. 긴급사태 예상 역량과 신속 대응 및 복구 역량 강화”(한-아세안 미래공동체 구현을 위한 주요정책)
 - GK-2 위성 세 개 탑재체의 융합활용에 따른 활용 기술 개발, 우리가 보유한 위성 활용기술들의 아세안 국가 기술 지원, 전구관측 모드를 활용한 국제 재난재해 대응 지원 등의 연구개발 등의 연구개발 내용이 잘 부합됨

나. 해양과학기술원 임무와의 연계성

(1) 기관 고유미션

- 해양과학기술 및 해양산업 발전에 필요한 원천 연구, 응용 및 실용화
 - 천리안 해양위성 1호의 해색자료처리 및 검보정 원천기술을 바탕으로 GOCI-II 산출물 정확도 향상 연구를 수행할 수 있으며, 센서 성능이 상이한 정지궤도 해양위성 시리즈1, 2호의 20년 축적 자료에 대한 자료 품질 관리 방안을 마련할 수 있음

- 해양 과학기지 등 해양인프라 구축 및 운영
 - 위성자료 검보정용 광학 관측장비 운용을 통한 지속적 자료획득이 필요하며 이를 위해 국내에서는 소청초 과학기지, 국외는 태평양 과학기지를 주요 거점으로 검보정 네트워크를 구축/활용 예정

- 국내·외 대학, 연구기관, 산업체 등과 수탁·위탁 공동연구 및 기술제휴
 - 위성 산출물 중 육상/대기분야의 산출물은 국내 대학, 연구기관들과 공동연구를 수행
 - 검보정 네트워크 구축을 통해 일본, 중국, 인도네시아, 태평양 주변 국가들과의 공동연구 수행, 국제협력 강화

제 2 절 경제적 타당성 분석

제 1항 편익 분석

(1) 편익 개요

경제성 분석의 대상인 GOCI-II 활용 기술개발 사업은 다음의 표와 같이 3개 대분류, 10개 중분류 사업으로 구성된다. 더 상세히 보면 총 23개의 세분류 기술개발 사업으로 분류할 수 있음.

각 개발사업에서 발생 가능한 편익은 다양한 편익이 있을 수 있으나, 대분류를 기준으로 분류해 보면 정량화가 가능한 편익은 아래 표와 같이 7가지 편익임.

표 13. 편익의 분류

대분류	중분류	편익	편익유형
한반도해역 해양 분석 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발 ● 이상징후(해황) 및 해양환경 취약해역 탐지기술 ● 지역해 특화 수산자원 변화 및 지원 	해양환경 감시 비용 절감	비용절감
		해양사고 탐지 비용 절감	비용절감
		어획량 증가	가치창출
기후/대양 활용 연구	<ul style="list-style-type: none"> ● 천리안해양위성시리즈 빅데이터 자료 구축 ● 기후 변화 관련 산출물 개발 ● 기후변화에 따른 해양생태계 변화 연구 ● 관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력 	기후변화 감시 및 서비스 비용 절감	비용절감
		해양환경 관련 국제협력 비용 절감	비용절감
GK-2용복합 활용 차세대 해양관측 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● GK-2 용합 대기보정 성능 개선 ● 향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발 ● GK-2 용복합 활용기술 개발 	해양기상 관측 비용 절감	비용절감
		해양생태계 조사 비용 절감	비용절감

정량화 가능 7개 편익 중 ‘한반도해역 해양 분석 기술 개발’에서 발생하는 ‘어획량 증가’ 편익은 정(+)의 가치 증가에 해당하는 가치창출·증대 편익임. ‘해양환경 감시 비용 절감 편익’ 등 나머지 6개 편익은 부(-)의 가치 감소에 해당하는 편익임.

(2) 정(+의 가치 증가 편익

정(+의 가치 증가 편익에는 ‘어획량 증가 편익’을 들 수 있고 기술분류 중 대분류 ‘한반도 해역 해양 분석 기술 개발’ 중 중분류 ‘지역해 특화 수산자원 변화 및 지원’ 기술개발사업에는 다음과 같은 2개의 소분류 사업이 속함.

- 주요 어종별 어장지수 및 해양일차생산력 고도화 기술 개발
- 연근해 및 원양 어업 지원 서비스 시스템 구축

이 기술이 개발되어 활용된다면 연근해어업 어획량과 원양어업의 어획량이 증가할 수 있음. 어획량 증가 편익 모형은 다음과 같이 산정함.

$$\text{어획량 증가액} = \text{증가 가능 어획량} \times R\&D\text{기여율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{부가가치율} \times \text{사업기여율}$$

증가 가능 어획량을 계산하는 순서는 아래와 같음.

첫째, 해양자원은 한계가 있으므로 어획량을 증가시킬 수 있는 기술이 개발되더라도 현재의 어획량과 최대 어획량의 차이만큼만 증가할 수 있음. 최대어획량을 산정하는 방법은 선행연구에 기초함. 선행연구에 따르면 연근해어업의 경우 최대 지속적 어획량(MSY)은 실제 어획량의 127.8%인 것으로 조사되었다.¹⁾ 따라서 어업기술이 발달할 경우 현재 어획량의 27.8%만큼 어획량이 증가할 수 있을 것으로 보임.

최근 3년간 연근해어업(일반 해면 어업)과 원양어업의 평균 어획량(금액)은 다음의 표과 같이 나타남. 최근 3년 평균 어획량은 5,053,992,754천원이며, 이의 27.8%는 1,405,009,986천원이다. 따라서 어업기술이 발달할 경우 기술수명주기(TCT) 10년 동안 매년 140,500,999천원까지의 어획량이 증가할 수 있음을 알 수 있다. 10년의 근거는 다음 항에 설명되어 있음.

표 14. 연도별 어업별 품종별 어업생산액 (단위 : 천원)

구분	2016년	2017년	2018년	3년 평균
일반해면어업	3,635,893,251	4,014,055,960	4,136,053,773	3,928,667,661
원양어업	1,077,762,729	1,134,303,285	1,163,909,264	1,125,325,093
합계	4,713,655,980	5,148,359,245	5,299,963,037	5,053,992,754

주) 출처 : 통계청, 「어업생산동향조사」

1) 한국과학기술기획평가원, 지속가능한 수산자원 관리 및 이용 기술개발사업 예비타당성조사 보고서, 2015, p. 170.

본 사업의 기술수명주기(TCT)는 10년으로 책정하였는데 그 근거는 위 사업과 가장 유사한 부문의 값을 대입하는 것으로 하였음. 기술수명주기는 기술별 TCT (Technology Cycle Time) 값은 임의로 정하는 것이 아니라 기존에 존재하던 여러 사업을 검토한 결과로 근거를 가지고 있어야 함. 한국과학기술기획평가원에서 최근 시행한 예비타당성 조사 대상 기술개발사업 중 본 사업과 유사한 사업의 기술개발 주기를 조사한 결과는 다음의 표와 같음. 표에서 보면 기술개발주기가 10년 내외인 사례가 가장 많으므로 본 사업의 기술수명주기(TCT) 역시 10년으로 책정하였음.

표 15. 예비타당성 조사 대상 유사 기술개발사업 주기

사업명	기술수명주기
농생명 소재 산업화 기술개발	13
IMO 차세대 해양안전종합관리체계	7
기후변화대응 환경기술개발사업	10
부유식 해상풍력기술	10
빅데이터 기반의 해양 변동 예측기술	10
상하수도 혁신 기술개발사업	10
수생태계 건강성 확보 기술	11
스마트 건설기술	8
신농업 기후변화 대응체계 구축	9.9
유해화학물질사고 환경피해 예방 및 관리 기술	10
지속가능한 수산자원 관리 및 이용 기술	7.3
차세대 농작물 신육종 기술	9
수치예보	7.5
농림수산식품 기후변화적응체계 구축사업	10

둘째, R&D기여율은 제3차 과학기술기본계획(2013.8.)에 근거하여 35.4%를 적용하였다. R&D기여율은 직접적 경제적 편익을 산정하기 위해서 연구개발이 직접적으로 기여한 정도를 고려하기 위해 적용하였음. R&D기여율은 연구개발 성과의 상업화를 통해 가치가 창출되었을 때 전체 가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도 인지를 나타내는 지표임. 즉, R&D 이후의 모든 활동(기술개발 성과의 적용과 확산 등)을 제외한 순수한 R&D에 의한 기여분을 계산하기 위한 요인임.

이미 다른 유사 연구, 즉 ‘농생명 소재 산업화 기술개발사업 예비타당성 조사(2018)’나 ‘부유식 해상풍력기술 실증 프로젝트 예비타당성조사(2019)’에서는 R&D기여율은 제3차 과학기술기본계획(2013.8.)에 근거하여 35.4%를 적용하고 있으므로, 본 사업에서도 동일한 비율을 적용하는 것이 무리가 없음.

셋째, 사업화 성공률은 100%를 가정하였다. R&D사업화성공률은 연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 편익창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 고려함. KISTEP의 예비타당성조사 지침에 따르면 R&D사업화 성공률은 순수 R&D 사업에만 적용되며, 특정 기술이나 장비의 개발을 목표로 하는 사업의 경우에는 성공률이 0~100% 사이의 수치가 아닌 성공/실패의 이분법으로 나타나기 때문에, 100%의 성공률 가정 하에 편익을 산출하도록 되어 있음. 따라서 본 사업 역시 기술을 개발하는 사업이므로 지침에 따라 100%의 성공률을 가정하였음.

넷째, 부가가치율은 67.74%를 적용하였다. 이는 한국은행 2017년 산업연관표 투입산출표의 기본부문 기초가격 거래표 중 수산어획 품목의 부가가치율 67.74%를 적용하는 것에 기초한 것임.

다섯째, 사업기여율은 29.5%로 책정하였다. 사업기여율은 예비타당성조사의 경제적 타당성 분석 시 고려사항인 기준선 분석의 방법임. 연구개발사업의 편익을 추정하기 위해서는 미래 가치의 예측뿐만 아니라, 전체 가치 중에서 어느 부분까지를 해당 사업에 의한 기여분으로 고려해야하는 지가 중요함. 이는 미래 가치의 발생분을 기준으로 추정되는 연구개발사업의 편익은 해당 사업 외에도 타 또는 유사 연구개발사업 및 기업·연구기관의 연구개발 활동에 의해서 창출되는 편익이 포함되어 있기 때문임.

따라서 해당 연구개발 사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해서는 대상 산업분야의 연구개발투자규모 중에서 해당 사업이 차지하는 비중(사업기여율)을 고려할 필요가 있음.

국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 과제검색을 이용하여 ‘해양환경’과 ‘감시’의 2개 키워드로 2010년부터 2019년까지 수행된 811건을 검색 후 세부 검토과정을 거쳐 86개의 유사과제의 정부출연금을 조사하였음.

여기에 과학기술기획평가원 「2017년도 연구개발활동조사보고서」(2018)의 정부와 민간 투자비율(43.1 : 56.9)²⁾을 고려하여 계산한 결과 사업기여율은 29.5%로 계산되었음.

마지막으로 어획량 증가 편익 모형에 따라 계산한 연간 어획량 증가액은 다음과 같이 산정되었음.

2) 지구개발 및 탐사 부문의 공공연구비율 63.5%와 환경 부문의 공공연구비율 22.7%를 평균하여 공공연구비율을 43.1%로 적용

어획량 증가액(연간) = 증가 가능 어획량 × R&D기여율 × 사업화 성공률 × 부가가치율 × 사업기여율

어획량 증가액(연간) = 140,500,999천원 × 35.4% × 100% × 67.74% × 29.5% = 9,939,165천원

(3) 부(-)의 가치 감소 편익

부(-)의 가치 감소 편익에는 다음과 같은 6개 편익이 포함됨.

- 해양환경 감시 비용 절감
- 해양사고 탐지 비용 절감
- 기후변화 감시 및 서비스 비용 절감
- 해양환경 관련 국제협력 비용 절감
- 해양기상 관측 비용 절감
- 해양생태계 조사 비용 절감

○ 해양환경 감시 비용 절감 및 해양사고 탐지 비용 절감 편익

부(-)의 가치 감소 편익 중 첫 번째는 해양환경 감시 비용 절감 및 해양사고 탐지 비용 절감 편익임. 대분류 ‘한반도 해역 해양 분석 기술 개발’ 중 중분류 ‘이상징후(해황) 및 해양환경 취약 해역 탐지 기술’ 개발 사업에는 다음과 같은 3개의 소분류 사업이 포함됨.

- 외래기원 해양오염원 자동 탐지 기술 개발(해양쓰레기, 해파리 등)
- 해양환경위협 요소 자동 탐지 기술 개발(해사채취, 불법투기, 원전 배출수, 유류유출 등)
- 북한 환경 정보 분석 기술 개발(일차생산, 해양전선, 해류, 해안선 변화, 육상식생 변화)

이들 기술이 개발되어 활용된다면 정부가 매년 지출하고 있는 해양오염원 감시 비용과 해양환경위협 감시 비용이 절감될 수 있을 것임. 이들 편익과 관련된 정부 예산(안)은 다음의 표와 같이 조사되었다.

표 16. 해양오염 및 해양환경위험 감시 관련 정부 예산안(단위 : 천원)

편의	예산항목	2018년	2019년	2020년	3년 평균
해양오염원 감시 비용 절감	해양환경 감시체계 구축 운영	510,000	510,000	6,705,000	2,575,000
해양환경위험 감시 비용 절감	해양사고 예방활동 지원	13,042,000	13,853,000	14,740,000	13,878,333

‘해양오염원 감시 비용 절감’ 편의와 관련된 정부 예산은 해양수산부의 ‘해양환경 감시체계 구축 운영’ 예산임. 이 예산은 해양환경 기초자료 확보 및 해양환경 기준 수립을 통한 체계적 해양 관리를 위한 해양수산부의 ‘해양환경개선 및 관리’ 사업에 포함됨. 이 예산의 최근 3년 평균액은 2,575,000천원으로 집계되었음.

‘해양환경위험 감시 비용 절감’ 편의와 관련된 정부 예산은 해양수산부의 ‘해양사고 예방활동 지원’ 예산임. 이 예산은 해양사고 예방을 위한 안전확보 등을 위한 해양수산부의 ‘해양안전관리시스템 구축·운영(일반)’ 사업에 포함된다. 이 예산의 최근 3년 평균액은 13,878,333천원임

해양환경 감시 비용 절감 및 해양사고 탐지 비용 절감 편의 모형은 다음과 같으나, 비용절감모형에는 부가가치율이 적용되지 않음.

$$\text{해양오염원 감시 비용 절감액} = \text{해양환경 감시체계 구축 운영 예산액(3년 평균)} \times \text{R\&D기여율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{사업기여율}$$

$$\text{해양환경위험 감시 비용 절감액} = \text{해양사고 예방활동 지원 예산액(3년 평균)} \times \text{R\&D기여율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{사업기여율}$$

각 편의 모형에 적용되는 R&D기여율과 사업화 성공률, 사업기여율은 대분류 ‘한반도 해역 해양 분석 기술 개발’에 적용된 앞에서 제시한 바와 동일함. 즉 R&D기여율은 35.4%, 사업화 성공률은 100%, 사업기여율은 29.5%를 적용하였음. 이들 3가지 비율을 적용한 값은 10.4%로 계산되어, 결국 각 편의액은 해당 예산액의 10.4%에 해당됨. 해양오염원과 해양환경위험 감시 비용 절감 모형에 따라 계산한 연간 편의액은 각각 아래와 같음.

$$\text{해양오염원 감시 비용 절감액} = 2,575,000\text{천원} \times 35.4\% \times 100\% \times 29.5\% = 268,907\text{천원}$$

$$\text{해양환경위협 감시 비용 절감액} = 13,878,333\text{천원} \times 35.4\% \times 100\% \times 29.5\% = 1,449,314\text{천원}$$

○ 기후변화 감시 및 서비스 비용 절감 편익

기후변화 감시 및 서비스 비용 절감 편익은 부(-)의 가치 감소 편익에 해당되고, 대분류 ‘기후/대양 활용 연구’에는 다음과 같은 3개의 중분류 사업이 포함됨.

- 천리안 해양위성 시리즈 빅데이터 자료 구축
- 기후 변화 관련 산출물 개발
- 기후변화에 따른 해양생태계 변화 연구

이 기술이 개발되어 활용된다면 정부가 매년 지출하고 있는 기후변화 감시·서비스 체계 구축 및 운영 비용이 절감될 수 있을 것임.

기후변화 감시 및 서비스 비용 절감 편익과 관련된 정부 예산(안)은 다음 표와 같고, 이 예산은 기후정보 및 기후변화에 대한 장기예측 정보 생산, 기후변화 감시, 기후 국제협력 등을 위한 기상청의 ‘기후변화 과학정보 생산 및 서비스’ 사업에 포함됨. 이 예산의 최근 3년 평균액은 1,776,333천원임.

표 17. 기후변화 감시 및 서비스 비용 관련 정부 예산안(단위 : 천원)

편익	예산항목	2018년	2019년	2020년	3년 평균
기후변화 감시 및 서비스 비용 절감	기후변화 감시·서비스 체계 구축 및 운영	1,772,000	1,787,000	1,770,000	1,776,333

기후변화 감시 및 서비스 비용 절감 편익 모형은 다음과 같음.

$$\text{기후변화 감시 및 서비스 비용 절감액} = \text{기후변화 감시·서비스 체계 구축 및 운영 예산액(3년 평균)} \times R\&D\text{기여율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{사업기여율}$$

이와 같은 비용절감모형에는 부가가치율이 적용되지 않으며 이하 항목에서도 같은 내용이 계속 적용됨.

사업기여율은 23.0%로 책정하였으며 그 근거는 다음과 같음. 사업기여율은 예비 타당성조사의 경제적 타당성 분석 시 고려사항인 기준선분석의 방법임. 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 과제검색을 이용하여 ‘기후변화’, ‘해양’, ‘대응’의 3개 키워드로 2010년부터 2019년까지 수행된 1,103건을 검색 후 세부 검토과정을 거쳐 83개의 유사과제의 정부출연금을 조사하였음. 여기에 과학기술기획평가원 「2017년도 연구개발활동조사보고서」(2018)의 정부와 민간 투자비율(43.1 : 56.9)³⁾을 고려하여 계산한 결과 사업기여율은 23.0%로 계산함.

편익 모형에 적용되는 R&D기여율과 사업화 성공률은 위의 사례와 동일하므로, R&D기여율은 35.4%, 사업화 성공률은 100%를 적용하였고, 이들 2가지 비율에 사업기여율 23.0%를 적용한 값은 8.4%가 적용되었음. 결국 절감 편익액은 해당 예산액의 8.4%에 해당함.

기후변화 감시 및 서비스 비용 절감 편익 모형에 따라 계산한 연간 편익액은 다음과 같음.

$$\text{기후변화 감시 및 서비스 비용 절감액} = 1,776,333\text{천원} \times 35.4\% \times 100\% \times 23.0\% = 144,629\text{천원}$$

○ 해양환경 관련 국제협력 비용 절감 편익

해양환경 관련 국제협력 비용 절감 편익은 부(-)의 가치 감소 편익에 포함된다. 대분류 ‘기후/대양 활용 연구’ 중 중분류 ‘관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력’ 개발 사업에는 다음과 같은 2개의 소분류 사업이 포함된다.

- 신남방 국가 해양 현안 활용 기술 개발
- 국제 검보정 네트워크 구축 (공동 선박 관측)

이들 기술이 개발되어 활용된다면 정부가 매년 지출하고 있는 해양환경국제협력 비용이 절감될 수 있을 것이다.

해양환경 관련 국제협력 비용 절감 편익과 관련된 정부 예산(안)은 다음 표와 같음. 이 예산은 해양환경 기초자료 확보 및 해양환경 기준 수립을 통한 체계적 해양관리를 위한 해양수산부의 ‘해양환경개선 및 관리’ 사업에 포함됨.

3) 지구개발 및 탐사 부문의 공공연구비율 63.5%와 환경 부문의 공공연구비율 22.7%를 평균하여 공공연구비율을 43.1%로 적용

이 예산의 최근 3년 평균액은 2,903,333천원으로 집계되었음.

표 18. 해양환경 관련 국제협력 비용 관련 정부 예산안(단위 : 천원)

편의	예산항목	2018년	2019년	2020년	3년 평균
해양환경 관련 국제협력 비용 절감	해양환경국제협력 비용	3,030,000	3,030,000	2,650,000	2,903,333

해양환경 관련 국제협력 비용 절감 편의 모형은 다음과 같음.

$$\text{해양환경 관련 국제협력 비용 절감액} = \text{해양환경국제협력 비용(3년 평균)} \times \text{R\&D 기여율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{사업기여율}$$

이와 같은 비용절감모형에는 역시 부가가치율이 적용되지 않음.

편의 모형에 적용되는 R&D기여율과 사업화 성공률, 사업기여율은 대분류 ‘기후/대양 활용 연구’에 적용된 앞의 사례 값을 그대로 적용하였음. 따라서 R&D기여율은 35.4%, 사업화 성공률은 100%, 사업기여율은 23.0%를 적용하고, 이들 3가지 비율을 적용한 값은 8.4%가 적용되었으며, 결국 각 편의액은 해당 예산액의 8.4%에 해당됨.

해양환경 관련 국제협력 비용 절감 편의 모형에 따라 계산한 연간 편의액은 다음과 같음.

$$\text{해양환경 관련 국제협력 비용 절감액} = 2,903,333\text{천원} \times 35.4\% \times 100\% \times 23.0\% = 236,389\text{천원}$$

○ 해양기상 관측 비용 절감 편의

해양기상 관측 비용 절감 편의는 부(-)의 가치 감소 편익에 해당되며, 대분류 ‘GK-2 융복합 활용한 차세대 해양관측 기술 개발’ 중 중분류 ‘GK-2 융합 대기보정 성능 개선’ 사업에는 다음과 같은 2개의 소분류 사업이 포함됨.

- GOCI-II와 AMI/GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발
- GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발

또한 같은 대분류 중 중분류 ‘향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발’ 사업에는 다음과 같은 3개의 소분류 사업이 포함됨.

- GOCI-II와 AMI 융합 대기보정 알고리즘 개발
- 해양 미세먼지 탐지 정확도 향상
- 해양-미세먼지 상호작용 및 이동 연구

이들 다섯 가지 기술이 개발되어 활용된다면 정부가 매년 지출하고 있는 해양 기상관측망 확충 및 운영 비용이 절감될 수 있을 것임.

해양기상 관측 비용 절감 편익과 관련된 정부 예산(안)은 아래 표와 같음. 이 예산은 해상부이, 등표, 파고계, 기상관측선 운영 등 해양기상관측망 확충과 해상기지운영을 위한 기상청의 ‘해양기후정보 생산 및 제공’ 사업에 포함되고, 이 예산의 최근 3년 평균액은 10,667,000천원임.

표 19. 해양기상 관측 비용 관련 정부 예산안(단위 : 천원)

편익	예산항목	2018년	2019년	2020년	3년 평균
해양기상 관측 비용 절감	해양기상 관측망 확충 및 운영	8,649,000	10,917,000	12,435,000	10,667,000

해양기상 관측 비용 절감 편익 모형은 다음과 같음.

$$\text{해양기상 관측 비용 절감액} = \text{해양기상관측망 확충 및 운영 예산액(3년 평균)} \times R\&D\text{기여율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{사업기여율}$$

사업기여율은 13.0%로 책정하였다. 사업기여율은 예비타당성조사의 경제적 타당성 분석 시 고려사항인 기준선분석의 방법이며, 앞의 항목에서 그 근거를 설명하였음.

국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 과제검색을 이용하여 ‘기상관측’, ‘해양’의 2개 키워드로 2010년부터 2019년까지 수행된 983건을 검색 후 세부 검토과정을 거쳐 26개의 유사과제의 정부출연금을 조사하였음.

여기에 과학기술기획평가원 「2017년도 연구개발활동조사보고서」(2018)의 정부와 민간 투자비율(43.1 : 56.9)⁴⁾을 고려하여 계산한 결과 사업기여율은 13.0%로 계산되었음.

4) 지구개발 및 탐사 부문의 공공연구비율 63.5%와 환경 부문의 공공연구비율 22.7%를 평균하여 공공연구비율을 43.1%로 적용

편익 모형에 적용되는 R&D기여율과 사업화 성공률은 앞서의 값과 동일하므로 R&D기여율은 35.4%, 사업화 성공률은 100%를 적용하였고, 이들 2가지 비율에 사업기여율 13.0%를 적용한 값은 4.6%가 적용됨. 결국 절감 편익액은 해당 예산액의 4.6%에 해당됨.

해양기상 관측 비용 절감 편익 모형에 따라 계산한 연간 편익액은 다음과 같음.

$$\text{해양기상 관측 비용 절감액} = 10,667,000\text{천원} \times 35.4\% \times 100\% \times 13.0\% = 490,895\text{천원}$$

○ 해양생태계 조사 비용 절감 편익

해양생태계 조사 비용 절감 편익은 부(-)의 가치 감소 편익에 해당되고, 대분류 ‘GK-2 융복합 활용한 차세대 해양관측 기술 개발’ 중 중분류 ‘GK-2 융복합 활용기술 개발’ 사업에는 다음과 같은 2개의 소분류 사업이 포함됨.

- 해석-표면수온 융합 자료 생산 기술 개발
- 고수온/냉수대에 의한 해양 생태환경 변화

이들 2가지 기술이 개발되어 활용된다면 정부가 매년 지출하고 있는 해양생태계조사 및 관리 비용이 절감될 수 있을 것임.

해양생태계 조사 비용 절감 편익과 관련된 정부 예산(안)은 다음의 표와 같음. 이 예산은 해양생태계 체계적 보전 이용 관리를 위한 해양수산부의 ‘해양생태계 보전 및 복원’ 사업에 포함된다. 이 예산의 최근 3년 평균액은 9,794,000천원임.

표 20. 해양생태계 조사 비용 관련 정부 예산안(단위 : 천원)

편익	예산항목	2018년	2019년	2020년	3년 평균
해양생태계 조사 비용 절감	해양생태계 조사 및 관리	10,496,000	10,491,000	8,395,000	9,794,000

해양생태계 조사 비용 절감 편익 모형은 다음과 같음.

$$\text{해양생태계 조사 비용 절감액} = \text{해양해양생태계조사 및 관리 예산액(3년 평균)} \times \text{R\&D기여율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{사업기여율}$$

편익 모형에 적용되는 R&D기여율과 사업화 성공률, 사업기여율은 대분류 'GK-2 융복합 활용한 차세대 해양관측 기술 개발'에 적용된 값은 앞의 논리와 동일함.

따라서 R&D기여율은 35.4%, 사업화 성공률은 100%, 사업기여율은 13.0%를 적용하고, 이들 3가지 비율을 적용한 값은 4.6%가 적용되며, 결국 각 편익액은 해당 예산액의 4.6%에 해당됨.

해양생태계 조사 비용 절감 편익 모형에 따라 계산한 연간 편익액은 다음과 같음.

$$\text{해양생태계 조사 비용 절감액} = 9,794,000\text{천원} \times 35.4\% \times 100\% \times 13.0\% = 450,720\text{천원}$$

(4) 편익 계산 종합

이상과 같은 연간 편익 계산 결과를 종합한 아래 표를 보면 본 연구사업을 통해 발생이 예상되는 연간 편익 총액은 12,980,020천원임. 총 7가지의 편익액 중 정(+)의 가치증가 편익에 포함되는 '어획량 증가 편익'이 전체의 76.6%로 가장 큰 비중을 차지하며, 6가지의 부(-)의 가치감소 편익 중 가장 비중이 큰 편익은 '해양환경위협 감시 비용 절감 편익'으로 전체의 11.2%에 달함.

표 21. 편익 집계표(단위 : 천원)

구분	편익	금액	비율
정(+)의 가치증가 편익	어획량 증가 편익	9,939,165	76.6%
부(-)의 가치감소 편익	해양오염원 감시 비용 절감 편익	268,907	2.1%
	해양환경위협 감시 비용 절감 편익	1,449,314	11.2%
	해양환경위협 감시 비용 절감 편익	144,629	1.1%
	해양환경 관련 국제협력 비용 절감액	236,389	1.8%
	해양기상 관측 비용 절감액	490,895	3.8%
	해양생태계 조사 비용 절감액	450,720	3.5%
	합계	12,980,020	100.0%



그림 144. 편익의 구성

제 2항 경제성 분석

(1) 비용 편익 분석

GOCI-II 활용 기술개발 사업의 경제성 분석을 위한 총비용과 총 편익의 흐름을 정리하면 아래 표와 같음.

표 22. GOCI-II 활용 기술개발 사업 현금 흐름표

연 도	비용(억원)	편익(억원)	현가계수	비용현가	편익현가
2021	44.5		0.9569	42.6	0.0
2022	63.4		0.9157	58.0	0.0
2023	63.5		0.8763	55.6	0.0
2024	58.2		0.8386	48.8	0.0
2025	53.2		0.8025	42.7	0.0
2026	58.5		0.7679	44.9	0.0
2027	63.9		0.7348	47.0	0.0
2028	62.2		0.7032	43.7	0.0
2029	64.4		0.6729	43.3	0.0
2030	48.4		0.6439	31.2	0.0
2031		129.8	0.6162	0.0	80.0
2032		129.8	0.5897	0.0	76.5
2033		129.8	0.5643	0.0	73.2
2034		129.8	0.5400	0.0	70.1
2035		129.8	0.5167	0.0	67.1
2036		129.8	0.4945	0.0	64.2
2037		129.8	0.4732	0.0	61.4
2038		129.8	0.4528	0.0	58.8

연 도	비용(억원)	편익(억원)	현재가계수	비용현재가	편익현재가
2039		129.8	0.4333	0.0	56.2
2040		129.8	0.4146	0.0	53.8
합 계	580.3	1,298.0		457.9	661.4

편익의 현재가치 계산에 적용하는 할인율은 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침」(과학기술정보통신부지침 제2호, 2019. 1. 31., 일부개정) 제33조의 규정에 따라 기획재정부의 「예비타당성조사 수행 총괄지침」(기획재정부훈령 제436호, 2019. 4. 25., 제정) 제50조에서 규정한 4.5%를 적용함.

비용은 GOCI-II 활용 기술개발 사업의 예산액으로 하였다. 비용의 구성은 아래와 같이 자체 연구 인건비가 66.13%이며, 용역 및 위탁연구비가 그 다음을 재료비와 개발비가 뒤를 잇는다.



그림 145. 비용의 구성

편익은 앞 장에서 도출된 편익을 적용하고, 위의 기 현금표를 근거로 비용-편익 분석 결과는 다음과 같음.

- 편익/비용 비율(Benefit Cost Ratio: B/C Ratio) : 1.44
- 순현재가치(Net Present Value: NPV) : 203.4억원
- 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR) : 8.44%

비용-편익 분석 결과 B/C 값은 1.44로 1.00보다 크므로 GOCI-II 활용 기술개발 사업의 경제성이 인정됨.

표 23. B/C 값 계산 결과

비용 (현재 가치)	편익 (현재 가치)	B/C Ratio
457.9억	661.4억	1.44

(2) 민감도 분석

민감도 분석(sensitivity analysis)은 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침」 제34조의 규정에 따라 할인율의 변화에 따른 경제적 타당성 변화를 파악하기 위해 수행함. 할인율은 경제 상황이 호전되었을 때를 가정한 3.5%와 악화된 경우를 가정한 5.5%를 적용였고, 각 민감도 분석 결과는 다음 표와 같음.

표 24. 민감도 분석

할인율	B/C	NPV	IRR
3.50%	1.59	283.7	8.44%
4.50%	1.44	203.4	8.44%
5.50%	1.31	136.8	8.44%

민감도 분석 결과 GOCI-II 활용 기술개발 사업은 경제사정이 악화된 경우(할인율 5.5%)에도 B/C값이 1.31으로 1.00보다 크므로 경제성이 인정됨.

제 5 장 활용방안 및 기대효과

가. 기술적 측면

- 천리안 해양관측위성 2호(GOCI-II) 기본 산출물 검증 및 고도화 방안 마련으로, GOCI-II 위성 운영 기간 동안 국내외에 자료 제공시 대외적으로 위성자료 품질에 신뢰도를 확보 가능
- 위성데이터 품질관리 기술 개발로 양질의 한반도 해역 장기위성 자료 구축을 통한 기후 산출물 개발
- 세계 최초로 정지궤도 동일 플랫폼에 탑재된 환경-해양 센서의 융합을 통한, 산출물 정확도 개선 기술 개발
- 반구 관측이 가능한 GOCI-II 해색위성을 활용하여 수준 높은 과학연구에 활용이 가능하게 하며, 동아시아 국가에 대한 환경관측을 수행함으로써 현 정부에서 추진하고 있는 신남방 정책에 활용 가능한 관측자료 생산가능

나. 경제 산업적 측면

- 정확도 높은 어장정보를 생산함으로써 수산업의 어획량 증가에 기여할 수 있으며, 선박, 고정 관측소 등을 통한 해양현황 정보를 수집하는 것의 비용 절감을 할 수 있음
- 해양위성의 기후변화 연구 활용으로 인한 기후변화 대응 능력을 향상시키고 그에 따른 서비스 시용 절감을 할 수 있을 것으로 기대
- 위성의 발사, 자료처리 알고리즘 구축, 현업을 활용 연구에 많은 예산을 투입한, 소중한 자산인 GK-2/GOCI-II 위성 데이터를 효율적으로 활용하여 경제적 가치를 높임

다. 사회적 측면

- 20년 장기 해색위성 자료 구축으로 우리나라 주변 해양환경 변화 및 기후변화 감시 및 정책결정 지원 가능
- 국내뿐만 아니라 한-인니, 한-중, 한-일, 태평양 등 국외 검보정 네트워크 구축을 통해 GOCI-II 성능 향상이 가능하고, 공동연구를 통해 국제협력 강화
- 천리안 2호를 이용한 미세먼지 장거리 모니터링을 통한 현재와 미래 세대 국민의 보건과 삶의 질 보전에 기여

제 6 장 참고문헌

- 김근용, 신지선, 유주형, 2018. 황해 부유 녹조 면적 산출을 위한 멀티 위성센서 활용, *대한원격탐사학회지*, 34(2-2), 339-349.
- 김상우, 조규대, 김영섭, 최윤선, 안유환, 김용승. 2005, DMSP/OLS 영상에서 관측한 동해 야간조업어선의 분포특성, *J. Kor. Fish. Soc.* 38(5), 323-330.
- 김상우, 오준석, 고우진, 장이현, 서영상, 야마다게이꼬, 임진욱. 2007, 위성자료를 이용한 고등어 어장의 월별분포, *한국환경과학회 봄 학술발표회지*, 285-288.
- 김상운, 2008. 허베이 스피리트호 원유유출사고와 방제시스템 개선 방안, *대한환경공학회지*, 30(2), 115-120.
- 김영환, 2003. 원자력발전과 온배수: 그 현황과 대책, 전파과학사, 서울.
- 대외경제정책연구원, 2006, 한·아세안 센터 설립방안 연구 보고서
- 민승환, 2019. 다중위성센서를 이용한 황해와 동중국해의 녹조, 갈조 탐지, 박사학위논문, *부경대학교*, pp. 109.
- 민지은, 유주형, 안유환, 이규성, 2007. 황해 중부 연안 해역에서의 해색센서용 하향 확산 감쇠계수 및 수증시계 추정 알고리즘 개발, *대한원격탐사학회지*, 23(4), 311-321.
- 박종화, 유재심, 2009. 원격탐사를 이용한 북한의 삼림황폐화 현황 조사, *환경논총*, 48, 3-24.
- 산업통상자원부, (주)더비엔아이, 2016, AEC 출범 이후 대아세안 경제협력 확대전략 수립 연구용역 결과 보고서
- 서영상, 한상복, 강용균, 1993. NOAA 원격자료에 의한 황해 남동부 투명도의 추정, *대한원격탐사학회지*, 9(2), 1-5.
- 손규희, 한경남, 2007. 경기만의 해사채취에 의한 생물군집 구조변동, *Ocean and Polar Research*, 29(3), 205-216.
- 신지선, 민지은, 유주형, 2017. GOCI를 활용한 한반도 주변해역 적조 감시 체계 연구, *대한원격탐사학회지*, 33(2), 213-230.
- 양영진, 김상현, 노홍길, 정동근. 1999, 한국 남서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 표층 수온전선과 선망어장과의 관계. *J. Korean Fish Soc.* 32(5), 618-623.
- 양찬수, 김도연, 오정환, 2009. 인공위성 원격탐사 데이터와 수치모델을 이용한 해상 유출유 예측 향상 연구: Hebei Spirit호 기름 유출 적용, *대한원격탐사학회지*, 25(5), 435-444.
- 외교통상부, 2012, 역내 포괄적 경제 동반자 협정(RCEP) 참고자료
- 외교부, 2018, 아세안 개황
- 윤양호, 2017. 남해 중앙부 연안해역 식물플랑크톤 군집의 시공간적 분포특성. *한국산학기술학회논문지*, 18, 441-453.
- 이미경, 이성일, 이춘우, 김장근, 구정은. 2016, 태평양 수역 우리나라 다랑어선망어업의 조업 특성 및 해양환경에 따른 어장 변동. *J. Korean Soc Fish Technol*, 52(2), 149-161.
- 이병기, 박승원, 김진건. 1989. 연근해어업개론. 태화출판사, 서울. 313 p.
- 이형규, 오명관, 2018. 다시기 위성영상을 이용한 북한 전체의 산림 변화 특성 분석, *한국산학기술학회논문지*, 19(1), 633-638.

- 인스페이스, 2015. 원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 시험조사 (평안남도·남포특별시), *통계청*, pp. 168.
- 장선웅, 박재문, 정용현, 김대현, 윤희주, 2012. 서해안 일대 외국기인 해양쓰레기의 유입과 계절적 특성 연구, *한국해양환경에너지학회지*, 15(2), 89-100.
- 장학봉, 2004. 해사채취의 환경관리제도 문제점과 개선방향, *월간해양수산*, 239, 87-92.
- 전왕수, 이상용, 2018. 원격해양감시영상에서 해파리 검출, *한국지능시스템학회논문지*, 28(1), 1-6.
- 정노택, 2009. 해양쓰레기의 전 지구적 관심과 실행, *한국해양환경공학회지*, 12(23), 173-180.
- 조동오, 2004. 해양폐기물의 국가간 이동에 관한 APEC의 동향 및 대응방향, *해양수산동향*, 1128, 1-10.
- 최동림, 노재훈, 유주형, 이재학, 장풍국, 이태희, 최동한, 2010. 2008년 여름철 북부 동중국해에서 대규모 녹조(가시파래) 출현, *Ocean and Polar Research*, 32(4), 351-359.
- 한국과학기술기획평가원, 2009. 정지궤도 복합위성 개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2011. 정지궤도 복합위성 개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2012. 기후변화대응 환경기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2014. 농림수산식품 기후변화적응체계 구축사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2015. IMO 차세대 해양안전종합관리체계 기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2015. 지속가능한 수산자원 관리 및 이용 기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2016. 2015 국가연구개발사업 특정평가보고서 – 정지궤도복합위성개발사업
- 한국과학기술기획평가원, 2018. 농생명소재산업화 기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2018. 상하수도 혁신 기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2018. 스마트 건설기술 개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2018. 차세대 농작물 신육종기술 개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2019. 수생태계 건강성 확보 기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2019. 신농업기후변화대응체계구축사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2019. 부유식 해상풍력기술 실증 프로젝트 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2019. 빅데이터 기반의 해양 변동 예측기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2019. 기상재해 사전대비 중심의 시·공간 통합형수치예보 기술개발사업 예비타당성조사 보고서
- 한국과학기술기획평가원, 2019. 국가연구개발사업 예비타당성조사 분석방법론 개선방향 탐색
- 한국수자원공사, 2014. 남해EEZ골재채취단지의 해양생태계 구조 및 부유사거동 연구 (1차년도), pp. 41.
- 한국연구재단, 2012. 아시아 국가 간 과학기술 R&D국제협력 강화방안 연구 보고서
- 한국항공우주연구원, 2007. ASEAN 인공위성 영상자료 공동 활용 사업 보고서
- 한국해양과학기술원, 2019. 한·인니해양과학기술협력사업 보고서

- 한국해양수산개발원, 2004. 해양쓰레기의 국가 간 이동에 대한 정책방향 연구, pp. 124.
- 한국환경정책평가연구원, 2015. 북한 환경정보 구축 및 활용 방안 연구(I): 토지피복 지도 구축을 중심으로, pp.150.
- 한국환경정책평가연구원, 2016. 북한 환경정보 구축 및 활용 방안 연구(II): 원격탐사를 이용한 자연환경성 우수지역 평가, pp.164
- 한혜정, 강준수, 김현정, 강돈혁, 정승원, 2018. Chlorophyll-a 연속 관측 변화 패턴에 따른 식물플랑크톤 군집 변화 분석. 한국해양환경에너지학회지, 21, 107-115.
- 해양수산부, 2003. 해양폐기물 종합처리시스템 개발 연구(V), pp. 219.
- Ahn, Y.H., P. Shanmugam, J.E. Moon, and J.H. Ryu, 2008. Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea, *Annual Geophysics*, 26, 2019-2035.
- Alawadi, F., 2010. Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SAVI), remote sensing of the ocean, sea ice, and Large water regions 2010, *Proc. of the International Society for Optical Engineering*, Toulouse, France, 782506, 1-14.
- Allem, K.O. and J.W. Hardy, 1980. Impacts of navigational dredging on fish and wildlife: A literature review, Biological Services Program, FWS/OBS-80/07.
- APASTI, 2016, ASEAN Plan of Action on Science, Technology and Innovation
- Bai, Y., and D. Pan, 2013. Remote sensing of salinity from satellite-derived CDOM in the Changjiang River dominated East China Sea, *Journal of Geophysical Research : Oceans*, 118, 227-243.
- Barrado, C, J.A. Fuentes, E. Salami, P. Royo, A.D. Olariaga, J. Lopez, V.L. Fuentes, J.M. Gili, E. Pastor, Jellyfish monitoring on coastlines using remote piloted aircraft, *35th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, doi:10.1088/1755-1315/17/1/012195
- Behrenfeld, M. J., and P. G. Falkowski, 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration, *Limnology Oceanography*, 42(1), 1 - 20.
- Behrenfeld, M. J., R. T. O'Malley, D. A. Siegel, C. R. McClain, J. L. Sarmiento, G. C. Feldman, A. J. Milligan, P. G. Falkowski, R. M. Letelier, and E. S. Boss, 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity, *Nature*, 444(7120), 752-755.
- Brewin, R. J., S. Sathyendranath, T. Hirata, S. J. Lavender, R. M. Barciela, and N. J. Hardman-Mountford, 2010. A three-component model of phytoplankton size class for the Atlantic Ocean, *Ecological Modelling*, 221(11), 1472-1483.
- Byeon, S.Y., H.-J. Oh, S. Kim, S.H. Yun, J.H. Kang, S.R. Park, and H.J. Lee, 2019. The origin and population genetic structure of the 'golden tide' seaweeds, *Sargassum horneri*, in Korean waters, *Scientific Reports*, 9, 7757.
- Binding, C.E., and D.G. Bowers, 2003. Measuring the salinity of the Clyde Sea from remotely sensed ocean colour, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 605-611.
- Chandra Giri, Bruce Pengra, Zhiliang Zhu, Ashbindu Singh, Larry L. Tieszen, 2007,

- Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 73 (2007) p.91~100
- Chang, G.C., and T.D. Dickey, 2004. Coastal ocean optical influences on solar transmission and radiant heating rate, *Journal of Geophysical Research*, 109, C01020.
- Choi, J.-K., Y.J. Park, J.H. Ahn, H.-S. Lim, J. Eom, and J.H. Ryu, 2012. GOCI, the world's first geostationary ocean color observation satellite, for the monitoring of temporal variability in coastal water turbidity. *J. Geophys. Res.*, 117, C09004, doi:10.1029/2012JC008046.
- Choi, J. K., J. E. Min, J. H. Noh, T. H. Han, S. Yoon, Y. J. Park, J. E. Moon, J. H. Ahn, S. M. Ahn, and J. H. Park, 2014a. Harmful algal bloom (HAB) in the East Sea identified by the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI), *Harmful Algae*, 39, 295-302.
- Choi, J. K., Y. J. Park, B. R. Lee, J. Eom, J. E. Moon, and J. H. Ryu, 2014b. Application of the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) to mapping the temporal dynamics of coastal water turbidity, *Remote Sensing of Environment*, 146, 24-35.
- Choi, S. H., D. Kim, J. Shim, K. H. Kim, H. S. Min, and K. R. Kim, 2012. Seasonal Variations of Surface fCO₂ and Sea-Air CO₂ Fluxes in the Ulleung Basin of the East/Japan Sea, *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 23(3).
- Doxaran, D., N. Lamquin, Y.J. Park, C. Mazeran, J.H. Ryu, M. Wang, and A. Poteau, 2014. Retrieval of the seawater reflectance for suspended solids monitoring in the East China Sea using MODIS, MERIS and GOCI satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 146, 36-48.
- Else, B. G., J. J. Yackel, and T. N. Papakyriakou, 2008. Application of satellite remote sensing techniques for estimating air - sea CO₂ fluxes in Hudson Bay, Canada during the ice-free season, *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3550-3562.
- FAO, 2009. "Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear", UNEP regional seas reports and studies 185, FAO fisheries and aquaculture technical paper 523, ISSN 2070-7010, <http://www.fao.org/docrep/011/i0620e/i0620e00.HTM>.
- Field, C. B., M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson, and P. Falkowski, 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components, *science*, 281(5374), 237-240.
- Frouin, R., and J. McPherson, 2012. Estimating photosynthetically available radiation at the ocean surface from GOCI data, *Ocean Science Journal*, 47(3), 313-321.
- Ge, J., F. Shen, W. Guo, C. Chen, and P. Ding, 2015. Estimation of critical shear stress for erosion in the Changjiang Estuary: A synergy research of observation, GOCI sensing and modeling. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 8439-8465, doi:10.1002/2015JC010992.
- Gracia, R.A., P. Fearn, J.K. Keesing, and D. Liu, 2013. Quantification of floating

- macroalgae blooms using the scaled algae index, *J. of Geophysical Research: Oceans*, 188, 26–42.
- Groom S, S. Sathyendranath, Y. Ban, S. Bernard, R. Brewin, V. Brotas, C. Brockmann, P. Chauhan, J. K. Choi, A. Chuprin, S. Ciavatta, P. Cipollini, C. Donlon, B. Franz, X. He, T. Hirata, T. Jackson, M. Kampel, H. Krasemann, S. Lavender, S. Pardo-Martinez, F. Mélin, T. Platt, R. Santoleri, J. Skakala, B. Schaeffer, M. Smith, F. Steinmetz, A. Valente, and M. Wang, 2019. Satellite ocean colour: current status and future perspective, *Frontiers in Marine Science*, 6, 485.
- Gower. J., S. King, G. Borstad, and L. Brown, 2005. Detection of intense plankton blooms using the 709 nm band of the MERIS imaging spectrometer, *International Journal of Remote Sensing*, 26, 2005–2012.
- Hu, C., 2009. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans, *Remote Sensing of Environment*, 113, 2118–2129.
- Hu, C., D. Li, C. Chen, J. Ge, F.E. Muller-Kanger, J. Liu, F. Yu, and M. He, 2010. On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and East China Sea, *Journal of Geophysical Research*, 115, C05017.
- Hu, L., C. Hu, and M.-X. He, 2017. Remote estimation of biomass of *Ulva prolifera* macroalgae in the Yellow Sea, *Remote Sensing of Environment*, 192, 217–227.
- Hu, Z., D. Pan, X. He, and Y. Bai, 2016. Diurnal variability of turbidity fronts observed by geostationary satellite ocean color remote sensing. *Remote Sens.*, 8, 147; doi:10.3390/re8020147.
- Huang, C., K. Shi, H. Yang, Y. Li, A. Zhu, D. Sun, L. Xu, J. Zou, and X. Chen, 2015. Satellite observation of hourly dynamic characteristics of algae with geostationary ocean color imager (GOCI) data in lake Taihu. *Remote Sensing of Environment*, 159, 278–287.
- Huete, A.R., and C. Justice, 1999. MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document Ver3. *USGS Land process distributed Active Archive Center*. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf.
- IMO, 1988. Manual on oil pollution: Section IV Combating oil spills, IMO, London.
- IТОPF, 2008. Technical Information Paper No. 1: Aerial Observation of Oil, The International Tanker Owners Pollution Federation.
- Jang, Y.C., J. Lee, S. Hong, J.Y. Mok, K.S. Kim, Y.J. Lee, H.-W. Choi, H. Kang, and S. Lee, Estimation of the annual flow and stock of marine debris in South Korea for management purposes, *Marine Pollution Bulletin*, 86, 505–511.
- Joo, H. T., J. W. Park, S. H. Son, J.-H. Noh, J.-Y. Jeong, J. H. Kwak, S. Saux-Picart, J. H. Choi, C.-K. Kang, and S. H. Lee, 2014. Long term annual primary production in the Ulleung Basin as a biological hot spot in the East/Japan Sea, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(5), 3002–3011.
- Kim, D., S. H. Choi, J. Shim, K. H. Kim, and C. H. Kim, 2013. Revisiting the Seasonal Variations of Sea–Air CO₂ Fluxes in the Northern East China Sea, *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 24(3).

- Kim, J., H. Yang, J. K. Choi, J. E. Moon, and R. Frouin, 2016. Estimating photosynthetically available radiation from geostationary ocean color imager (GOCI) Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 32(3), 253–262.
- Keesing J.K., D. Liu, P. Fearn, and R. Garcia, 2011. Inter- and intra-annual patterns of *Ulva prolifera* green tides in the Yellow Sea during 2007–2009, their origin and relationship to the expansion of coastal seaweed aquaculture in China, *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1169–1182.
- Kirk, J.T.O., 1986. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystem, Cambridge Univ. Press, New York.
- Lewis, M.R., M. Carr, G. Feldman, W. Esaias, and C. McMclain, 1990. Influence of penetrating solar radiation on the heat budget of the equatorial pacific ocean, *Nature*, 347, 543–545.
- Lou, X. and C. Hu, 2014. Diurnal changes of a harmful algal bloom in the East China Sea: Observations from GOCI. *Remote Sensing of Environment*, 140, 562–572.
- Marra, J., C. Langdon, and C.A. Knudson, 1995. Primary production, water column changes, and the demise of a Phaeocystis bloom at the Marine Light-Mixed Layers site (59_N, 21_W) in the northeast Atlantic Ocean, *Journal of Geophysical Research*, 100, 6633–6644.
- McClain, C.R., K. Arrigo, K.S. Tai, and D. Tu7, 1996. Observations and simulations of physical and biological processes at ocean weather station P, 1951–1980, *Journal of Geophysical Research*, 101, 3697–3713.
- Min, S.H., H.J. Oh, J.D. Hwang, Y.S. Suh, M.O. Park, J.S. Shin, and W. Kim, 2017. Tracking the movement and distribution of green tides on the Yellow Sea in 2015 based on GOCI and Landsat images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 33(1), 97–109.
- Min, S.H., J.D. Hwang, H.J. Oh, and Y.B. Son, 2019. Reflectivity characteristics of the green and golden tides from the Yellow Sea and East China Sea, *Journal of Coastal Research*, 90, 342–348.
- Mishra, D.R., S. Narumalani, and M. Lawson, 2005. Characterizing the vertical diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance in coastal waters: Implications for water penetration by high resolution satellite data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 60, 48–64.
- Moon, J.E., Y.J. Park, J.H. Ryu, J.K. Choi, J.H. Ahn, J.E. Min, Y.B. Son, S.J. Lee, H.J. Han, and Y.H. Ahn, 2012. Initial validation of GOCI water products against in situ data collected around Korean Peninsula for 2010–2011. *Ocean Science Journal*, 47, 261–277.
- Morel, A. and D. Antoine, 1994. Heating rate within the upper ocean in relation to its bio-optical state, *Journal of Physical Oceanography*, 24, 1652–1665.
- Museler, E.A., 2003. A comparison of in-situ measurements and satellite remote sensing of underwater visibility, Master's thesis, *Naval Postgraduate School, Monterey*,

- CA, 93943–5000.
- Muslim, T. 2018, Tracking Skipjack Tuna fishing ground in west Banda Sea relations with Sea Surface Temperature parameters from Aqua MODIS satellite. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 19(3), 191–197
- Neukermans, G., K.G. Ruddick, and N. Greenwood, 2012. Diurnal variability of turbidity and light attenuation in the southern North Sea from the SEVIRI geostationary sensor. *Remote Sensing of Environment*, 124, 564–580.
- Oh, Y.J., Kim, D.-W., Jo, Y.-H., Hwang, J.-D., and Chung, C.-Y. 2019, Spatial variability of fishing grounds in response to oceanic front changes detected by multiple satellite measurements in the East(Japan) sea, *International Journal of Remote Sensing*, <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1685722>
- Platt, T, S. Sathyendranath, C.M. Caverhill, and M. Lewis, 1988. Ocean primary production and available light: Further algorithms for remote sensing, *Deep Sea Research*, 35, 855–879.
- Qi, L., C. Hu, Q. Xing, and S. Shang, 2016. Long-term trend of *Ulva prolifera* blooms in the western Yellow Sea, *Harmful Algae*, 58, 35–44.
- Qi, L., C. Hu, M. Wang, S. Shang, and C. Wilson, 2017. Floating algae Blooms in the East China Sea, *Geophysical Research Letters*, 44, 11,501–11,509.
- Racault, M. F., C. Le Quéré, E. Buitenhuis, S. Sathyendranath, and T. Platt, 2012. Phytoplankton phenology in the global ocean, *Ecological Indicators*, 14(1), 152–163.
- Racault, M. F., D. E. Raitsos, M. L. Berumen, R. J. Brewin, T. Platt, S. Sathyendranath, and I. Hoteit, 2015. Phytoplankton phenology indices in coral reef ecosystems: Application to ocean-color observations in the Red Sea, *Remote Sensing of Environment*, 160, 222–234.
- Reine, K. and D. Clarke, 1998. Entrainment by hydraulic dredge: A review of potential impacts. Technical Notes DOER-E1. U.S. Army Engineers Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Richardson, A.J., and C.L. Wiegand, 1977. Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogram. Engr. Remote sensing*, 43(12), 1541–1552.
- Rollan, C. G., Erik, C. F., Russell, E. B., Christopher, D. E., Mudjekeewis, D. S., Roberto, V., and Camilo, M. 2018, Mapping fishing activities and suitable fishing grounds using nighttime satellite images and Maximum Entropy Modelling, *Remote Sensing*. 10, 1604; doi:10.3390
- Rouse, J.W., R.H. Hass, J.A. Schell, and D.W. Deering, 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, *Proc. of Third ERTS Symposium*, NASA SP-3511, 309–317.
- Sasaki, H., E. Siswanto, K. Nishiuchi, K. Tanaka, T. Hasegawa, and J. Ishizaka, 2008. Mapping the low salinity Changjiang Diluted Water using satellite retrieved colored dissolved organic matter (CDOM) in the East China Sea during high river flow season, *Geophysical Research Letter*, 35: L04604.

- Shao, G., and G. Zhao, 1998. Protection versus harvest of old-growth forest on Changbai Mountain (China and North Korea): A remote sensing application, *Natural Areas Journal*, 18(4), 358-365.
- Shen, H., W. Perrie, Q. Liu, and Y. He, 2014. Detection of macroalgae blooms by complex SAR imagery, *Marine Pollution Bulletin*, 78, 190-195.
- Shin, J., K. Kim, Y.B. Son, and J.H. Ryu, 2019. Synergistic effect of multi-sensor data on the detection of *Margalefidinium polykrikoides* in the South Sea of Korea, *Remote Sensing*, 11, 36.
- Son, Y.B., B.-J. Choi, Y.H. Kim, and Y.-G., Park, 2015. Tracing floating green algae blooms in the Yellow Sea and the East China Sea using GOCI satellite data and Lagrangian transport simulations, *Remote Sensing of Environment*, 156, 21-33.
- Son, Y.B., J.-E. Min, and J.-H. Ryu, 2012. Detecting massive green algae (*Ulva prolifera*) blooms in the Yellow Sea and East China Sea using Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) data, *Ocean Science Journal*, 47(3), 359-375.
- Son, Y.B., W.D. Gardner, M.J. Richardson, J. Ishizaka, J.H. Ryu, S.H. Kim, and S.H. Lee, 2012. Tracing offshore low-salinity plumes in the Northeastern Gulf of Mexico during the summer season by use of multispectral remote-sensing data, *Journal of Oceanography*, 68, 743-760.
- Son, Y. B., B. J. Choi, Y. H. Kim, and Y. G. Park, 2015. Tracing floating green algae blooms in the Yellow Sea and the East China Sea using GOCI satellite data and Lagrangian transport simulations, *Remote Sensing of Environment*, 156, 21-33.
- Stramski, D., R. A. Reynolds, M. Babin, S. Kaczmarek, M. R. Lewis, R. Röttgers, A. Sciandra, M. Stramska, M. S. Twardowski, B. A. Franz, and H. Claustre, 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.
- Suhartono, N., Muzzneena, A. H., Tukimat, L., and Mazlan, A. G. 2015, Determination of potential fishing grounds of *Rastrelliger kanagurta* using satellite remote sensing and GIS technique. *Sains Malaysiana*, 44(2) p.225-232
- Sun, D., X. Su, Z. Qiu, S. Wang, Z. Mao, and Y. He, 2019. Remote sensing estimation of Sea Surface Salinity from GOCI measurements in the southern Yellow Sea, *Remote Sensing*, 11, 775.
- Svejkovsky, J. and B. Jones, 2001, Detection of Coastal Urban Stormwater and Sewage Runoff with Synthetic Aperture Radar Satellite Imagery, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, Vol. 82, No. 50, December 11, 2001, Pages 621, 624-625, 630.
- Tang, D.L., D.R. Kester, Z. Wang, J. Lian, and H. Kawamura, 2003. AVHRR satellite remote sensing and shipboard measurements of the thermal plume from the Daya Bay, nuclear power station, China, *Remote Sensing of Environment*, 84(4),

506–515.

- Tilstone, G., T. Smyth, A. Poulton, and R. Hutson, 2009. Measured and remotely sensed estimates of primary production in the Atlantic Ocean from 1998 to 2005, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(15), 918–930.
- UNEP/IOC, Operational guidelines on survey and monitoring of marine litter, 2009, <http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/>.
- Von Schuckmann, K., P. Y. Le Traon, E. Alvarez-Fanjul, L. Axell, M. Balmaseda, L. A. Breivik, ... C. Dubois, 2016. The copernicus marine environment monitoring service ocean state report, *Journal of Operational Oceanography*, 9(sup2), s235–s320.
- Wang, M., and C. Hu, 2016. Mapping and quantifying *Sargassum* distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations, *Remote Sensing of Environment*, 183, 350–367.
- Warren, M.A., G.D. Quartly, J.D. Shutler, P.I. Miller, and Y. Yoshikawa, 2016. Estimation of ocean surface currents from maximum cross correlation applied to GOCI geostationary satellite remote sensing data over the Tsushima (Korea) Straits. *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 6993–7009, doi:10.1002/2016JC011814.
- Webster, D. G., 2015, Beyond the Tragedy in Global Fisheries (Politics, Science, and the Environment), p. 98–99
- Xing, Q., R. Guo, L. Wu, D. An, M. Cong, S. Qin, and X. Li, 2017. High-resolution satellite observations of a new hazard of golden tides caused by floating sargassum in winter in the Yellow Sea, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(10), 1815–1819.
- Yamada, K., J. Ishizaka, and H. Nagata, 2005. Spatial and temporal variability of satellite primary production in the Japan Sea from 1998 to 2002, *Journal of Oceanography*, 61(5), 857–869.
- Yamanaka, I., 1988, Food and Agriculture Org., The Fisheries forecasting system in Japan for coastal pelagic fish (FAO fisheries technical paper), p. 9–10
- Xiao, Y., J. Zhang, and T. Cui, 2017. High-precision extraction of nearshore green tides using satellite remote sensing data of the Yellow Sea, China, *International Journal of Remote Sensing*, 38(6), 1626–1641.
- Xing, Q., and C. Hu, 2016. Mapping macroalgal blooms in the Yellow Sea and East China Sea using HJ-1 and Landsat data: Application of a virtual baseline reflectance height technique, *Remote Sensing of Environment*, 178, 113–126.
- Xing, Q., R. Guo, L. Wu, D. An, M. Cong, S. Qin, and X. Li, 2017. High-resolution satellite observations of a new hazard of golden tides caused by floating sargassum in winter in the Yellow Sea, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(10), 1815–1819.
- Zhai, L., T. Platt, C. Tang, M. Dowd, S. Sathyendranath, and M. H. Forget, 2008. Estimation of phytoplankton loss rate by remote sensing, *Geophysical Research Letters*, 35(23).

Zaneveld, J.R.V., J.C. Kitchen, and H. Park, 1981. The influence of optical water type on the heating rate of a constant depth mixed layer, *Journal of Geophysical Research*, 86, 6426-6428.

국립수산과학원, 실시간 해양환경 어장정보시스템 웹사이트(<http://www.nifs.go.kr/risa/>)
주 아세안 대한민국 대표부 홈페이지
(http://overseas.mofa.go.kr/asean-ko/wpge/m_21541/contents.do)

European Space Agency 웹사이트(<https://www.esa.int/>)

Fishsat 웹사이트(<http://www.fishsat.it/>)

Japan Fisheries Information Service Center 웹사이트(<http://www.jafic.or.jp/>)

Lidia Dzierzbicka-G³owacka, Artur Nowicki, Maciej Janecki, Beata Szymczycha, Piotr Ocean Imaging 웹사이트(<http://www.oceani.com/>)

Ocean Imaging, 2018, OI celebrates 35 years of “Finding Fish from Space”

Piotrowski, Piotr Pieckiel, Grzegorz Łukasiewicz, 2018, Structure of the FindFish Knowledge Transfer Platform, *Fish. Aquat. Life* 26: 193-197.

SATOC 웹사이트(<http://www.satoc.eu/>)

부 록

경제성 분석 관련 자료

<부록 1> 대분류 연구과제 1: 경제성 분석에 사용된 주요 통계

대분류	중분류	소분류	비고	편의	관련 통계
한반도 해양 분석 기술 개발	GOCI-II 시공간 고정밀 기술 개발 중분류	일주변동 분석 기술 개발	일주변동(하 루 주기 변동)	불특정	
		GOCI-II 산출물 실증 및 고도화 기술 개발	26종 산출물	불특정	
	이상징후(해황) 및 해양 환경 취약 해역 탐지 기술	외래기원 해양오염원 자동 탐지 기술 개발	해양쓰레기, 해파리 등	해양오염원 감시 비용 절감	국립수산과학 원 해양환경 조사 예산
		해양 환경 위협 요소 자동 탐지 기술 개발	해사채취, 불법투기, 원전 배출수, 유류유출 등	해양환경위협 감시 비용 절감	국립수산과학 원 해양환경 조사 예산
		북한 환경 정보 분석 기술 개발	일차생산, 해양전선, 해류, 해안선 변화, 육상식생 변화	불특정	국립수산과학 원 해양환경 조사 예산
	지역해 특화 수산 자원 변화 및 지원	주요 어종별 어장지수 및 해양일차 생산력 고도화 기술 개발		어획량 증가	품종별 생산액
		연근해 및 원양 어업 지원 서비스 시스템 구축		어획량 증가	품종별 생산액

<부록 2> 대분류 연구과제 2: 경제성 분석에 사용된 주요 통계

대분류	중분류	소분류	비고	편익	관련 통계
기후/ 대양 활용 연구	천리안 해양 위성시리즈 빅데이터 자료 구축	GOCI/GOCI-II 연속자료 생산 영상처리 기술 개발		불특정	
		국외위성과 상호 교차 검증 기술 개발		불특정	
		천리안 해양위성 시리즈 빅데이터 재처리 기술 개발		불특정	
	기후 변화 관련 산출물 개발	해양 탄소 배출량 추정 분석 알고리즘 개발	POC, pCO ₂	탄소 배출량 추정 비용 절감	국립수산과학원 기후변화 적응 관련 예산
		해양기후변화 요소기술개발	pCO ₂ , PP, PFT	해양기후변화 적응 비용 절감	국립수산과학원 기후변화 적응 관련 예산
	기후변화에 따른 해양생태계 변화 연구	한반도 해양환경 장기 변동성 분석		해양기후변화 적응 비용 절감	국립수산과학원 기후변화 적응 관련 예산
		대양 기후 변동성과 생산성 상관 연구		해양기후변화 적응 비용 절감	국립수산과학원 관련 예산
	관측영역 국가 해양 현안 및 국제 협력	신남방 국가 해양 현안 활용 기술 개발		국가 경쟁력 증가	해양수산부 해외 협력 예산
		국제 검보정 네트워크 구축	공동 선박 관측	국가 경쟁력 증가	해양수산부 해외 협력 예산

<부록 3> 대분류 연구과제 3: 경제성 분석에 사용된 주요 통계

대분류	중분류	소분류	비고	편익	관련 통계
GK-2 융복합 활용 차세대 해양 관측 기술 개발	GK-2 융합 대기보정 성능 개선	GOCI-II와 AMI/GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발		해양기상 측정 비용 절감	기상청 해양기상측정 예산
		GOCI-II와 GEMS 융합 대기보정 알고리즘 개발		해양기상 측정 비용 절감	기상청 해양기상측정 예산
	향상된 해양 미세먼지 분석 기술 개발	GOCI-II와 AMI 융합 대기보정 알고리즘 개발		해양미세먼지 측정 비용 절감	기상청 해양기상측정 예산
		해양 미세먼지 탐지 정확도 향상		해양미세먼지 측정 비용 절감	기상청 해양기상측정 예산
		해양-미세먼지 상호작용 및 이동 연구		해양미세먼지 측정 비용 절감	기상청 해양기상측정 예산
	GK-2 융복합 활용기술 개발	해색-표면수온 융합 자료 생산 기술 개발		해양생태 관측 비용 절감	국립수산과학원 해양환경 조사 예산
		고수온/냉수대에 의한 해양 생태환경 변화		해양생태 관측 비용 절감	국립수산과학원 해양환경 조사 예산

<부록 4> 사업화기여율 검토자료(해양환경_감시 자료 811개 중 86개 추출 목록)

연번	기준 년도	사업명	부처명	관련성	과제명	연구비 합계
1	2013	한국해양과학기술원 연구 운영비 지원	해양수산부	1	동해 해양환경 및 생태계 변동 감시체제 구축	1,622,000,000
2	2018	무인 이동체 미래 선도 핵심 기술 개발(R&D)	과학기술정보통신부	1	연근해 적조, 해양오염 감시 및 해양환경 측정을 위한 하이브리드형 소형무인기 시스템 개발	133,400,000
3	2016	무인 이동체 미래 선도 핵심 기술 개발	미래창조과학부	1	연근해 적조, 해양오염 감시 및 해양환경 측정을 위한 연근해 운용이 가능한 소형무인기 시스템 기술개발	27,000,000
4	2016	중소기업R&D기획역량제고	중소기업청	1	해양 환경감시 및 수심측정용 무인수상선박(USV) 개발	34,000,000
5	2018	민군기술협력(R&D)	산업통상자원부	1	트롤피해방지 해저면 계류 장치를 이용한 실시간 연속 층별 해양 환경 감시 시스템	19,363,434
8	2015	이공학 개인 기초 연구 지원	교육부	1	해양 감시 및 추적 네트워크(OSTN) 구조 연구	49,920,000
10	2014	지역혁신 창의 인력 양성 사업	교육부	1	하이브리드 전송기반 최적의 해양 감시 시스템 개발	234,468,000
11	2017	연구 개발 특구 육성	과학기술정보통신부	1	실시간 위치기반 표준형등부표용 해양감시시스템	320,000,000
12	2013	해양 R&D 역량강화	해양수산부	1	해양 감시 네트워크(OSTN) 설계 및 테스트베드 구축 기획연구	64,000,000
13	2019	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	HF 해양레이더 해양감시시스템 개발	120,000,000
14	2019	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	무인항공기 해양감시시스템 개발	140,000,000
15	2019	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	위성 기반 해양감시시스템 개발	130,000,000

16	2017	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	위성 기반 해양감시시스템 개발	50,000,000
17	2018	산학연 협력 기술 개발(R&D)	중소벤처기업부	1	새로운 해양 방사선 자동 감시 시스템	66,192,007
32	2019	개인 기초 연구(R&D)	교육부	1	위성기반 이상고수온 감시 및 예측	50,000,000
33	2018	미래 해양 산업 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	해양환경 및 항만구조물 원격 모니터링을 위한 스마트 해양 드론 기술 개발	333,340,000
40	2019	중소기업 기술 혁신 개발(R&D)	중소벤처기업부	1	저가용 드론탍재형 소형 적녹조 원격감시 라이다센서 개발	312,340,000
42	2018	민군기술협력(R&D)	산업통상자원부	1	실시간 수중 감시정찰을 위한 이중플랫폼 통합 운용제어기술 개발	129,949,638
46	2016	개인 연구 지원	미래창조과학부	1	복합원격탐사를 이용한 해양 환경과 재난 관측 및 예보 시스템 개발	99,997,000
47	2013	한국 생산 기술 연구원 연구 운영비 지원	미래창조과학부	1	해양 환경 모니터링을 위한 수중로봇 기반기술 연구	236,823,279
48	2019	해양산업 수요 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	연안역 내 수중 환경모니터링 및 해양잠수사 임무 대체를 위한 저가형 수중드론 시스템 개발	117,500,000
49	2019	해양산업 수요 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	연안역 내 수중 환경모니터링 및 해양잠수사 임무 대체를 위한 저가형 수중드론 시스템 개발	30,000,000
50	2015	창업 성장 기술 개발	중소기업청	1	열화상 카메라와 UAV를 이용한 해양 저고도 표면수온 수집 및 환경 모니터링 시스템 개발	142,230,000
53	2015	해양과학 조사 및 예보 기술 개발	해양수산부	1	HF 해양레이더 해수유동 분석 기술개발	35,000,000
62	2011	한국과학 기술원 연구 운영비 지원	교육과학기술부	1	위성 원격 탐사 영상을 이용한 환경 매개 변수의 추출 및 모니터링 연구	25,000,000
63	2013	한국 해양 과학 기술원 연구 운영비 지원	해양수산부	1	전략 무인도서 과학적 해양생태도 개발 연구	871,800,000

64	2018	해양 장비 개발 및 인프라 구축(R&D)	해양수산부	1	동해권 실시간 원격 해양탐사를 위한 수중글라이더 운용시스템 개발	597,000,000
66	2017	해양 수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	무인자동화 해양관측 플랫폼 기술개발	120,000,000
69	2019	정지궤도복합위성 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	해양탐재체 개발지원 및 운영기술 개발	5,280,000,000
70	2017	해양 수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	지속가능한 해양 관측을 위한 수동 수중음향 원격 탐사 기술 개발 기획 연구	10,000,000
72	2013	해양 R&D 역량 강화	해양수산부	1	정지궤도복합위성 해양탐재체(GOCI-II) 통합자료 처리시스템 개발 기획연구	73,000,000
73	2019	해양산업 수요 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	해양 빅데이터 기반의 다중 플랫폼 가시화 기술 개발	71,300,000
75	2012	해양과학 조사 및 예보 기술 개발	국토해양부	1	해양관측위성 2호 운영기술개발 및 감리	238,500,000
76	2017	정지궤도복합위성 개발 사업	해양수산부	1	해양관측위성 2호 운영을 위한 개발지원	20,000,000
82	2015	해양 수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	저고도 원격탐사체 개발을 통한 고해상도 종합해양모니터링 시스템 제작 기획연구	76,000,000
86	2016	우주핵심 기술 개발	미래창조과학부	1	위성정보를 활용한 해양 기름유출 분석 소프트웨어 개발	533,334,000
87	2019	개인 기초 연구(R&D)	과학기술정보통신부	1	AI기반 해양 모니터링 체계 구축을 위한 에너지 자립형 해양드론 개발 및 운용기술 연구	150,000,000
90	2014	미래 해양 산업 기술 개발 사업	해양수산부	1	Random 해양관측자료의 응용 분야	41,958,042
91	2019	정지궤도복합위성 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	해양탐재체 통합자료처리시스템 개발	2,210,000,000
92	2019	해양 산업 수요 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	해양 빅데이터 기반의 다중 플랫폼 가시화 기술 개발	214,080,000
93	2018	수산 시험 연구(R&D)	해양수산부	1	남해 연안어업 및 환경 생태 조사	902,000,000

97	2014	미래 해양 산업 기술 개발 사업	해양수산부	1	IT기술을 이용한 Random 해양관측시스템 기술개발	237,832,168
100	2012	해양과학 조사 및 예보 기술 개발	국토해양부	1	정지궤도 해양위성GOCI 활용연구	4,000,000,000
103	2014	USN 산업 융합 원천 기술 개발	미래창조과학부	1	고 신뢰성 해양 센서 노드 및 센싱 요소 기술 개발	1,000,000,000
111	2019	로봇산업 핵심 기술 개발(R&D)	산업통상자원부	1	다중 센서 인공지능 기반 스마트 수중로봇 및 수중 환경 모니터링 시스템 개발	1,574,680,000
118	2013	공공복지 안전 연구사업	미래창조과학부	1	해양 유해조류 발생 조기 예측 및 검출 시스템개발	200,000,000
119	2015	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발	해양수산부	1	수중무인기 운용 기술개발	25,000,000
120	2015	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발	해양수산부	1	수중무인기 센서탑재 기술개발	25,000,000
135	2016	미래 해양 산업 기술 개발 사업	해양수산부	1	유해적조 음향탐지 장비 상용품의 알고리즘 최적화 및 성능 시험 평가	70,000,000
151	2016	해양수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	어군 탐지용 드론개발 기획연구	10,000,000
155	2016	해양수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	어군 탐지용 드론개발 기획연구	10,000,000
157	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합시스템 개발연구_모델분야	230,000,000
158	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합관리시스템 개발연구_저서생태분야	160,000,000
161	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합관리시스템 개발연구_지질관측분야	76,000,000
163	2014	해양 안전 및 해양 교통 시설 기술 개발	해양수산부	1	유해 수중생물 확인장치 개발	167,829,047
164	2014	해양 장비 개발 및 인프라 구축	해양수산부	1	심층계류부이 개발	13,837,787

165	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합관리시스템 개발연구_관측분야1	223,000,000
167	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합관리시스템 개발 연구	460,000,000
172	2015	해양수산 환경 기술 개발	해양수산부	1	하구역 종합관리시스템 개발연구_사회경제분야	51,960,000
177	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합시스템 개발연구_관측분야2	47,000,000
178	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합관리시스템 개발연구_정보분야	197,000,000
182	2018	이공학 학술 연구 기반 구축(R&D)	교육부	1	전이중 통신방식을 이용한 수중 음향 통신 성능 연구	45,000,000
183	2018	해양수산 환경 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	하구역 종합관리시스템 개발연구_유역모델분야	180,000,000
184	2016	미래 해양 산업 기술 개발 사업	해양수산부	1	유해적조 실시간 탐지 및 분석을 위한 상용 시스템 개발 및 사업화	346,667,000
188	2015	해양수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	어구 자동식별 부이(AIB)를 이용한 어구 모니터링 시스템 개발 및 관제센터 구축 기획연구	20,000,000
190	2015	해양수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	어구 자동식별 부이(AIB)를 이용한 어구 모니터링 시스템 개발 및 관제센터 구축 기획연구	56,000,000
195	2019	개인 기초 연구(R&D)	과학기술정보통신부	1	연안 생태계 내 자연적 및 인위적 유해물질의 다매체 분포, 생물축적 및 먹이망 전이 연구: 분자수준의 안정동위원소 분석기술의 활용	250,000,000
197	2016	해양수산 연구 기획 사업	해양수산부	1	어군 탐지용 드론개발 기획연구	26,000,000
211	2019	수산 실용화 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	347,000,000
213	2019	수산 실용화 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	272,667,000
214	2019	수산 실용화 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	1,148,950,000

215	2013	미래 해양 산업 기술 개발 사업	해양수산부	1	해수의 수심별 온도측정 원격 라만분광센서 개발	213,400,000
217	2019	수산 실용화 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	348,067,000
219	2017	수산 실용화 기술 개발	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	40,000,000
221	2019	수산 실용화 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	313,000,000
222	2018	수산 실용화 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	374,734,000
224	2019	수산 실용화 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	어구 자동식별 모니터링 시스템 개발	26,667,000
225	2013	일반 연구자 지원	미래창조과학부	1	고신뢰성 대규모 수중 센서 네트워크를 위한 기반 기술 연구	46,200,000
232	2014	일반 연구자 지원	교육부	1	수중로봇제어를 위한 수중무선 음향모뎀 시작품 개발	49,003,000
257	2019	차세대중형위성 개발(R&D)	과학기술정보통신부	1	차세대중형위성 1호 탑재체 개발	11,340,000,00
259	2018	개인 기초 연구(R&D)	교육부	1	우리나라 연안에 분포하는 요각류의 난류 (쿠로시오) 지표층 연구	37,499,000
260	2018	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	이상고파 원인규명 및 예측감시기술 개발 연구	1,339,700,000
261	2018	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	근해관측기반 이상고파 감시기법 개발	85,980,000
262	2015	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	근해관측기반 이상고파 감시기법 개발	42,930,000
263	2018	해양 과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	이안류 거동특성 파악 및 예측감시기술 개발연구	171,960,000
264	2014	광역 육성 경제권 선도 산업	산업통상자원부	1	레이저를 활용한 녹조 발생 원격 감시 센서 및 모니터링 시스템	294,000,000

<부록 5> 사업화기여율 검토자료(기후변화_해양_대응 자료 1103개 중 83개 추출 목록)

연번	기준 년도	사업명	부처명	관계 성	과제명	연구비 합계
1	2015	수산 시험 연구	해양수산부	1	수산분야 기후변화 영향 및 취약성 평가 연구	665,000,000
2	2017	수산 시험 연구	해양수산부	1	수산분야 기후변화 영향 및 취약성 평가 연구	641,000,000
3	2016	수산 시험 연구	해양수산부	1	수산분야 기후변화 영향 및 취약성 평가 연구	665,000,000
4	2017	수산 시험 연구	해양수산부	1	한국근해 해양변동 모니터링 및 생태계 특성 연구	658,000,000
5	2015	수산 시험 연구	해양수산부	1	침단 해양탐사 시스템 활용 한반도 주변 해양변동 조사 및 운영	682,000,000
6	2016	수산 시험 연구	해양수산부	1	한국근해 해양변동 모니터링 및 생태계 특성 연구	752,000,000
9	2017	수산 시험 연구	해양수산부	1	환경변화에 따른 하구 생태계 모니터링	161,000,000
11	2017	수산 시험 연구	해양수산부	1	적조 모니터링 및 발생 메커니즘 연구	850,000,000
13	2016	수산 시험 연구	해양수산부	1	적조 모니터링 및 발생 메커니즘 연구	770,000,000
15	2017	수산 시험 연구	해양수산부	1	동해 냉수대의 수산업적 영향 분석 연구	203,000,000
16	2016	수산 시험 연구	해양수산부	1	동해 냉수대의 수산업적 영향 분석 연구	216,000,000
37	2014	해양수산 환경 기술 개발	해양수산부	1	서,남해 연안환경의 과거 극한기후 추적과 예측 연구	202,438,705
48	2011	중견 연구자 지원	교육과학기술부	1	수온상승에 따른 해초류 생리 반응과 연안역 생태기능 변화	195,000,000
49	2010	중견 연구자 지원	교육과학기술부	1	수온상승에 따른 해초류 생리 반응과 연안역 생태기능 변화	195,000,000

연번	기준 년도	사업명	부처명	관계 성	과제명	연구비 합계
64	2012	해양 환경 기술 개발	국토해양부	1	해양환경 변화가 해양 저서생물에 미치는 영향 모니터링	100,000,000
65	2012	해양 환경 기술 개발	국토해양부	1	기후변동에 따른 해양관속식물의 생리 생태학적 변동	100,000,000
79	2017	개인 기초 연구	과학기술정보통신부	1	장기 조석체계 및 기후변화가 동적 극치해일고에 미치는 영향	101,600,000
140	2013	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	기후변화 대응 의사결정을 위한 과학정보 활용 기술개발	50,000,000
142	2013	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	기후변화에 따른 해양수산자원의 변동요인 예측	46,200,000
143	2016	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	해양생물자원에 대한 기후변화의 영향	26,000,000
144	2015	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	해양생물자원에 대한 기후변화의 영향	23,000,000
145	2012	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	기후변화에 따른 해양수산자원의 변동요인 예측	38,500,000
146	2013	중견 연구자 지원	미래창조과학부	1	기후변화에 의한 자연재해 대응 시스템 구축	500,000,000
147	2012	중견 연구자 지원	교육과학기술부	1	기후변화에 의한 자연재해 대응 시스템 구축	500,000,000
148	2011	중견 연구자 지원	교육과학기술부	1	기후변화에 의한 자연재해 대응 시스템 구축	500,000,000
149	2014	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 요소 기술 개발 : 통합, 건강, 물관리 부문	410,000,000

연번	기준 년도	사업명	부처명	관계 성	과제명	연구비 합계
150	2015	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 요소 기술 개발 : 통합, 건강, 물관리 부문	635,000,000
151	2014	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 기반구축 및 활용기술 개발	685,000,000
152	2017	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 기반구축 및 활용기술 개발	1,526,000,000
153	2015	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 기반구축 및 활용기술 개발	1,467,500,000
154	2016	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 기반구축 및 활용기술 개발	1,500,000,000
155	2018	기후변화 대응 환경 기술 개발(R&D)	환경부	1	부문별 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 기반구축 및 활용기술 개발	1,526,000,000
156	2018	기후변화 대응 환경 기술 개발(R&D)	환경부	1	지자체 적응정책 의사결정 지원을 위한 기후변화 적응정보 DB·인벤토리 구축 및 격자기반 공간화기법 개발	320,000,000
157	2016	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 요소 기술 개발 : 생태 부문	290,000,000
168	2014	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회·경제 변화 시나리오 개발	190,000,000
169	2015	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 요소 기술 개발 : 생태 부문	248,000,000
170	2014	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 요소 기술 개발 : 생태 부문	140,000,000

연번	기준 년도	사업명	부처명	관계 성	과제명	연구비 합계
171	2017	기후변화 대응 환경 기술 개발	환경부	1	기후변화 영향 및 취약성 통합평가 모형 요소 기술 개발 : 생태 부문	298,000,000
172	2018	물관리 연구(R&D)	환경부	1	기후변화 대비 유역관리 적응기술	1,240,000,000
174	2013	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	기후변화 영향평가를 위한 RCP 기반 응용 기후변화 정보 생산	270,000,000
196	2014	중견 연구자 지원	미래창조과학부	1	기후변화 영향을 고려한 해안구조물 설계 및 관리	100,000,000
204	2011	우주 핵심 기술 개발	교육과학기술부	1	위성생태학적 접근방식에 의한 한국형 기후변화 연구	100,000,000
211	2014	수산 시험 연구	해양수산부	1	기후변화가 수중생태계 구조에 미치는 영향 및 예측기술 개발	719,000,000
212	2013	수산 시험 연구	해양수산부	1	기후변화가 수중생태계 구조에 미치는 영향 및 예측기술 개발	702,000,000
213	2016	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	기후변화에 따른 동북아 생물기후권역 변화 정보를 활용한 기후정보 현행화 기술 개발	180,000,000
215	2018	기상·지진 See-At 기술 개발 연구(R&D)	기상청	1	동아시아 기후변화감시요소들과 대규모 기후시스템간의 상호연계성 이해	140,000,000
216	2015	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	기후변화에 따른 동북아 생물기후권역 변화 정보를 활용한 기후정보 현행화 기술 개발	164,000,000
232	2012	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	RCP 기후시나리오 기반 해안 영향평가 및 적응전략 개발 연구	110,000,000
233	2015	신진 연구자 지원	미래창조과학부	1	대서양 경년/장주기 변동으로 유발되는 적도 대양 및 중위도 기후 변동성 진단 및 예측	51,815,000

연번	기준 년도	사업명	부처명	관계 성	과제명	연구비 합계
234	2016	개인 연구 지원	미래창조과학부	1	대서양 경년/장주기 변동으로 유발되는 적도 대양 및 중위도 기후 변동성 진단 및 예측	51,815,000
236	2013	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	한반도 배경대기 에어로졸 기후효과 산출 기법 개발	270,000,000
237	2018	미래 유망 민간 기상서비스 성장 기술 개발(R&D)	기상청	1	기상기후·재무제표 데이터를 활용한 분석 시스템 구축	130,667,000
238	2012	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	한반도 배경대기 에어로졸 기후효과 산출 기법 개발	300,000,000
269	2012	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	온실가스 플럭스의 시계열 DB 구축과 생태계 탄소역학 구명	200,000,000
270	2012	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	역모델링과 위성 자료를 활용한 동아시아 지역 탄소 플럭스의 정량화	100,000,000
271	2015	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	지상 및 위성 라이다를 이용한 에어로졸 입체감시 기술개발	200,000,000
275	2016	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	지상 및 위성 라이다를 이용한 에어로졸 입체감시 기술개발	220,000,000
276	2016	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	위성원격탐사기법을 활용한 동북아시아 에어로졸 3차원 입체감시 기술개발	80,000,000
283	2018	BK21 플러스 사업(R&D)	교육부	1	LULUCF 분야에서 온실가스 위성영상신호 특성을 활용한 국가 인벤토리 보고 연계 기법 개발	12,340,000
284	2011	선도 연구 센터 지원	교육과학기술부	1	위성관측에서 유도된 한반도의 기후변화 및 생태계 변화	46,920,000

연번	기준 년도	사업명	부처명	관계 성	과제명	연구비 합계
285	2018	개인 기초 연구(R&D)	과학기술정보통신부	1	지구온난화에 대한 기후민감도가 동아시아 기후변화에 미치는 역학 연구	46,832,000
292	2010	해양 환경 기술 개발(기후변화)	국토해양부	1	해양기인 중장기 기후변동의 역학적 연구와 예측기술 개발	1,664,000,000
293	2012	해양 환경 기술 개발	국토해양부	1	해양기인 중장기 기후변동의 역학적 연구와 예측기술 개발	1,080,000,000
294	2013	일반 연구자 지원	미래창조과학부	1	지구온난화에 대한 기후민감도가 동아시아 기후변화에 미치는 역학 연구	51,090,000
295	2014	신진 연구자 지원	미래창조과학부	1	지구온난화에 대한 기후민감도가 동아시아 기후변화에 미치는 역학 연구	51,090,000
296	2014	기후 변화 대응 기술 개발	미래창조과학부	1	기후예측 시뮬레이터 개발	322,000,000
297	2015	신진 연구자 지원	미래창조과학부	1	지구온난화에 대한 기후민감도가 동아시아 기후변화에 미치는 역학 연구	51,090,000
298	2012	해양 환경 기술 개발	국토해양부	1	북태평양 기후변동 수치모델링 연구	220,000,000
308	2014	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	한반도 배경대기 탄소에어로졸 조성 및 영향 규명	24,000,000
309	2016	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	한반도 배경대기 탄소에어로졸 조성 및 영향 규명	200,000,000
310	2010	해조류 바이오매스 에너지화 및 통합 활용	농림수산식품부	1	해조류 바이오매스 그린에너지화 및 통합 활용 기반구축 연구용역	1,000,000,000
311	2015	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	한반도 배경대기 탄소에어로졸 조성 및 영향 규명	200,000,000

연번	기준 년도	사업명	부처명	관 계 성	과제명	연구비 합계
312	2011	해조류 바이오매스 에너지화	농림수산식품부	1	해조류 바이오매스 에너지화 및 통합적 활용 기반구축	909,000,000
314	2011	해외 협력 기반 조성	교육과학기술부	1	인공영상을 이용한 전지구 육상 생태계의 탄소와 물 순환 모니터링	70,000,000
331	2013	기후변화 감시 예측 및 국가 정책 지원 강화	기상청	1	기후변화 대응을 위한 新기후서비스체제 연구	90,000,000
332	2014	녹색 기술 센터 연구 운영비 지원	미래창조과학부	1	미래 유망 기후변화 대응기술 예측 및 기획 연구	600,000,000
341	2010	해양 환경 기술 개발 (기후변화)	국토해양부	1	기후변화가 남해권역 해양생태계에 미치는 영향 및 기능평가 기술개발	1,090,000,000
342	2011	수산 시험 연구	농림수산식품부	1	수산업의 기후변화에 대한 영향연구 및 대응전략	488,000,000
352	2010	수산 시험 연구['09통합]	농림수산식품부	1	수산업의 기후변화에 대한 영향연구 및 대응전략 수립	570,000,000
362	2011	한국 해양 연구원 연구 운영비 지원	교육과학기술부	1	이산화탄소 증가에 따른 해양어류와 무척추동물의 생리/생태변화 진단 및 예측	341,000,000
363	2010	한국 해양 연구원 연구 운영비 지원	교육과학기술부	1	이산화탄소 증가에 따른 해양어류와 무척추동물의 생리/생태변화 진단 및 예측	315,000,000
365	2013	일반 연구자 지원	미래창조과학부	1	기후변화에 대응한 CDM 사업 관련 해조류 생리 생태 연구	50,700,000
366	2014	신진연구자지원	미래창조과학부	1	기후변화에 대응한 CDM 사업 관련 해조류 생리 생태 연구	50,700,000

<부록 6> 사업화기여율 검토자료(해양_기상관측 자료 983개 중 26개 추출 목록)

연번	기준 년도	사업명	부처명	관련 성	과제명	연구비 합계
1	2014	기상 기술 개발 사업	기상청	1	해양기상 변동 특성 분석 및 항공기를 이용한 관측	450,000,000
2	2014	기상 기술 개발 사업	기상청	1	해양기상 관측 및 예·특보 가이드스 작성	100,000,000
3	2014	기상 기술 개발 사업	기상청	1	선박을 이용한 황해 해양기상 요소 현장관측	80,000,000
4	2019	미래 해양 산업 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	영상감시 융복합 기술을 활용한 해양관측부이 및 GIS기반의 빅데이터 처리시스템 개발	150,000,000
5	2012	해양과학 조사 및 예보 기술 개발	국토해양부	1	해양관측위성 2호 운영기술개발 및 감리	238,500,000
6	2017	정지궤도복합위성 개발 사업	해양수산부	1	해양관측위성 2호 운영을 위한 개발지원	20,000,000
7	2010	기상 정책 연구 사업	기상청	1	해양기상정보 서비스 선진화 방안 연구	46,000,000
8	2019	미래 해양 산업 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	영상감시 융복합 기술을 활용한 해양관측부이 및 GIS기반의 빅데이터 처리시스템 개발	395,500,000
11	2010	기상 기술 개발 사업	기상청	1	해양기상기술 연구회	10,000,000
14	2019	기상 업무 지원 기술 개발 연구(R&D)	기상청	1	해양기상 감시 및 차세대 해양예측시스템 개발	1,030,000,000
15	2014	기상 산업 지원 및 활용 기술 개발	기상청	1	GIS 기반 해양기상 및 해양환경 서비스 플랫폼 개발	99,000,000
17	2017	기상·지진 See-At 기술 개발 연구	기상청	1	예보지식 기반 해양기상예보 정보 생산 및 맞춤형 서비스	289,500,000
18	2019	기상·지진 See-At 기술 개발 연구(R&D)	기상청	1	해양 표층-피층 수온관측 첨단기술 개발 및 활용 연구	200,000,000

연번	기준 년도	사업명	부처명	관 련 성	과제명	연구비 합계
22	2011	기초 연구 역량 강화	교육과학기술부	1	수동형 L-band 마이크로파 센서 (Radiometer and GNSS-Reflectometer)를 이용한 해양 관측 기술 연구 개발	32,000,000
24	2016	개인 연구 지원	미래창조과학부	1	관측망 시뮬레이션 실험을 통한 최적 해양 기후변화 관측망 선정	91,000,000
25	2018	개인 기초 연구(R&D)	교육부	1	해양 전선의 변이 과정 관측 연구	50,000,000
26	2010	중소 기업 상용화 기술 개발	중소기업청	1	통신해양기상위성 기상자료 중/소규모 수신시스템 개발	180,000,000
27	2017	미래 해양 산업 기술 개발 사업	해양수산부	1	해양측량 및 위성자료 기반 수치모델의 지리자료 실시간 생산 및 적용 기술 개발	333,500,000
31	2019	미래 해양 산업 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	독립전원시스템을 이용한 실시간 장기/광역 해양관측용 드론 개발	394,600,000
34	2011	해양과학 조사 및 예보 기술 개발	국토해양부	1	정지궤도 해양위성(GOCI) 활용연구 지원	4,300,000,000
35	2019	미래 해양 산업 기술 개발 사업(R&D)	해양수산부	1	독립전원시스템을 이용한 실시간 장기/광역 해양관측용 드론 개발	230,000,000
40	2018	해양과학 조사 및 예보 기술 개발(R&D)	해양수산부	1	아리랑위성 영상자료의 해양 분야 활용체계 구축	100,000,000
50	2017	기상·지진 See-At 기술 개발 연구	기상청	1	지역규모 기후 모형을 활용한 한반도 연근해 해양-대기 상호작용 및 예측성 연구	100,000,000
51	2014	기상 산업 지원 및 활용 기술 개발	기상청	1	해양레이더를 이용한 국지 강수량 원격탐사 시스템 개발	187,000,000
53	2019	개인 기초 연구(R&D)	과학기술정보통신부	1	AI기반 해양 모니터링 체계 구축을 위한 에너지 자립형 해양드론 개발 및 운용기술 연구	150,000,000
58	2017	연구 개발 특구 육성	과학기술정보통신부	1	실시간 위치기반 표준형등부표용 해양감시시스템	320,000,000

<부록 7> 어업별 품종별 통계

○ 통계표ID	DT_1EW0004
○ 통계표명	어업별 품종별 통계
○ 조회기간	2016년 ~ 2018년
○ 출처	통계청, 「어업생산동향조사」
○ 자료다운일자	2019.12.15 12:16
○ 통계표URL	http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0004&conn_path=I3 * KOSIS 개편 시 통계표 URL은 달라질 수 있음
○ 단위	톤, 천원

어업별	품종별	행정구역별	판매형태별	2016년	2017년	2018년	평균(천원)
				생산금액:계	생산금액:계	생산금액:계	
일반해면어업	일반해면	계	계	3,635,893,251	4,014,055,960	4,136,053,773	3,928,667,661
원양어업	원양어업	계	계	1,077,762,729	1,134,303,285	1,163,909,264	1,125,325,093
			합계	4,713,655,980	5,148,359,245	5,299,963,037	5,053,992,754

<부록 8> 자체사용 연구개발비의 연구개발 주체별 사회경제적 목적별 현황 통계

○ 통계표ID	DT_1EW0004DT_KBA0099
○ 통계표명	자체사용 연구개발비의 연구개발주체별·사회경제적 목적별 현황
○ 조회기간	2017년
○ 출처	과학기술정보통신부, 「연구개발 활동조사」
○ 자료다운일자	2019.12.15 12:16
○ 통계표URL	http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=127&tblId=DT_KBA0099&conn_path=I3 * KOSIS 개편 시 통계표 URL은 달라질 수 있음
○ 단위	톤, 천원

통계표 자료출처 : 과학기술정보통신부, KISTEP, 연구개발 활동 조사보고서, 각년호

주체별(1)	2017		공공비율		평균
	지구개발 및 탐사	환경	지구개발 및 탐사	환경	
총계	461,445	1,847,540			
공공연구기관	292,987	419,524	0.634933741	0.227072	0.431003
대학	110,851	233,887			
기업체	57,607	1,194,130			

<부록 9> 투입산출표 부가가치 유발 계수 2017년 생산자 가격

상품	0401	0402
	수산어획	수산양식
모든 상품 부분 열 합의 값	0.753	0.789

