

동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 개발

Development of an Operational Platform for Optimal
Adaptation of Coastal Ecosystem Hazards
in the East Coast of Korea

2020. 2. 28

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “ 동해 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 2. 28.

총괄연구책임자 : 노 현 수

참 여 연 구 원 : 강정훈, 권재일, 권지남, 김영일,
김원혁, 김윤배, 김창환, 김현욱, 도종대, 민원기,
박주면, 박찬홍, 박현영, 백승호, 유옥환, 윤성진,
이명훈, 이문숙, 이병길, 이효진, 이희갑, 장덕희,
장연식, 장영석, 장요순, 정의영, 진재율, 최동한,
최문정, 최순영(가나다 순)

보고서 초록

과제고유 번호	PE99786	해당단계 연구기간	2019.05.01 ~ 2019.12.31	단계 구분	1차년도
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	주요사업(국가사회현안 대응과제)			
	세부과제명	동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 개발			
연구책임자	노 현 수	해당단계 참여연구원수	총 : 31명 내부: 22명 외부: 9명	해당단계 연구비	정부: 81,000천원 기업: 천원 계 : 81,000천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 31명 내부: 22명 외부: 9명	총 연구비	정부: 81,000천원 기업: 천원 계 : 81,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 동해환경연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	137
<p>기후변화 가속화에 따른 동해 연안회복탄력성(Coastal Resilience) 약화로 인한 연안 생태계 기반 연안통합관리가 필요한 시점임. 국립수산과학원, 국립해양조사원 및 해양환경공단은 법정 기본조사를 통하여 다양한 연안환경·생태인자를 조사하여 자료를 축적하고 있으나, 연안생태계 기반 연안관리 차원에서의 유의미한 빅데이터(Big Data) 활용성과 도출이 아직은 부족한 실정임. 이는 관측치·예측치의 시공간 해상도 부족, 수리환경 변동과 생태계 반응의 동적관계, 즉 ecosystem dynamics 규명 부족 등이 원인이므로 막대한 예산을 들여 축적되고 있는 연안 빅데이터의 가치를 혁신적으로 제고하기 위한 연구가 필요함. 다양한 연안생태계(암반 해역, 수온급경사 해역(온배수, 냉배수), 하구역 등)에서의 환경·생태인자를 실시간으로 관측함과 아울러 계절 및 주요 이벤트별 시공간 분포를 첨단 장비를 이용한 고해상도 관측을 통하여 생태계 변동 동적구조를 파악함. 국가운용해양예보시스템(KOOS)과 연계되는 정밀모형(수온·염분, 흐름, 파랑, 표사·지형, 생태)을 구축하여 단기 연안환경·생태 예보의 신뢰성을 높임. 생태계 기반 최적적응계획 기초자료 제공을 위해 불확실성을 고려하는 기후변화 시간스케일의 장기모형 개발을 기획하였으며, 자료수요자 친화성 쌍방향-피드백 플랫폼 운영 기획함</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	기후변화, 연안 회복력, 생태계 동적거동, 연안 생태계 기반 적응, 플랫폼			
	영 어	Climate change, Coastal resilience, Ecosystem dynamics, Coastal ecosystem-based adaptation, Platform			

요 약 문

I. 제 목

동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

- 기후변화로 인한 환경·생태재해에 의해 건강성 및 기능 저하가 우려되는 동해 연안생태계의 동적거동을 규명하고, 장단기 연안생태계 변동 예측 신뢰도 제고를 토대로 중장기 연안회복탄력성 유지·개선과 지속가능한 연안발전을 위한 연안생태계 기반 최적적응 플랫폼 개발·운영 기획

2. 연구개발의 필요성

- 기후변화 가속화에 따른 동해 연안회복탄력성(Coastal Resilience) 약화로 인한 연안 생태계 기반 연안통합관리가 필요
- 국립수산과학원, 국립해양조사원 및 해양환경공단은 법정 기본조사를 통하여 다양한 연안환경·생태인자를 조사하여 자료를 축적하고 있으나, 연안생태계 기반 연안 관리 차원에서의 유의미한 빅데이터(Big Data) 활용성과 도출이 아직은 부족
- 이는 관측치·예측치의 시공간 해상도 부족, 수리환경 변동과 생태계 반응의 동적 관계, 즉 ecosystem dynamics 규명 부족 등이 원인이므로 막대한 예산을 들여 축적되고 있는 연안 빅데이터의 가치를 혁신적으로 제고하기 위한 연구 필요

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구기간

2019. 05. 01 ~ 2019. 12. 31

2. 연구개발의 내용 및 범위

- 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 및 장단기 예측 추진계획 수립
- 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 규명 연구 기획
- 동해 연안 환경·생태재해 변동 장단기 예측 시스템 기획
- 동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 구축 기획

IV. 연구개발결과

1. 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 및 장단기 예측 추진계획 수립

- 국내·외 기술 동향 및 기술개발 역량 분석
- 미래전망(활용 및 기대효과) 분석
- 추진전략, 기술개발 로드맵(TRM), 추진체계 제시
- 유관기관 및 관련 외부전문가 참여 연구기획
- 소요예산, 연구기간, 소요인력 제시

2. 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 규명 연구 기획

- 표본 연안생태계 후보지 기획
- 생태계 변동 외력 모니터링 기획
- 표본 생태계 지시종 변동 모니터링 및 생태계 변동 동적구조 기획
- 원전주변해역 인공방사성 핵종 배경농도 모니터링 기획
- 유사시 긴급조치 가능 실시간 방사성 핵종 모니터링 시스템 검토 기획

3. 동해 연안 환경·생태재해 변동 장단기 예측 시스템 기획

- KOOS-coupled 정밀모형체계 기획
- 단기(72시간)예측 및 신뢰성 제고
- 장기예측 기획

4. 동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 구축 기획

- AI 기반 플랫폼 구축·운영 기획

V. 연구개발결과의 활용계획

- 연안 서식지 환경 정보 파악을 통한 환경 생태재해 대응 플랫폼을 구축함으로써 동해 및 향후 기후변화로 인한 연안 생태계 변화에 대처 용이
- 빅데이터 기반 생물·생태계 모니터링 기술의 선진화에 기여
- 해양환경 자동화 모니터링 및 자료분석을 위한 인공지능 기술 적용
- 동해 연안지역에 대한 생태계 관리 프로그램 플랫폼 개발로 인해 이를 검증하고 응용함으로써 한반도 전 해역으로 확대 가능
- 단독 플랫폼 개발이 아닌 4차 산업혁명에 발맞추어 빅데이터 및 AI 적용 가능함으로 또 다른 재해 플랫폼과 연계 가능

S U M M A R Y 및 KEYWORDS

I . Title

Development of an Operational Platform for Optimal Adaptation of Coastal Ecosystem Hazards in the East Coast of Korea

II .Necessaries and objectives of the study

1. Objectives of the study

- Investigation climate change derived coastal environmental and ecosystem hazards influencing East Sea ecosystem health and function, and its dynamics
- Maintenance and improvement of long-term coastal resilience on the basis of enhancing prediction reliabilities of coastal ecosystem variation, and planning development and management of ecosystem based optimal adaptation platform for sustainable coastal development

2. Necessities the study

- Necessary ecosystem based integrating management of coastal area ecosystem in response to climate change derived loss of coastal resilience
- Although NIFS, KHOA and KOEM are accumulating basic marine environmental and biological information via national investigation, there are still insufficient utilization of Big Data management in terms of ecosystem based coastal management
- Because current ocean monitoring have deficiencies of resolutions in spatio-temporal observation and predication, and of investigations in dynamics of hydrography and ecosystem responses (i.e. ecosystem dynamics), it is necessary a research on ocean Big Data management and operation from various ocean monitoring results

III. Contents and scopes of the study

1. Research period

May 1, 2019 ~ December 31, 2019

2. Contents and scope of the study

- Establishment of ecosystem dynamics and short/long-term forecasting system promotion plan in the East Sea coastal of Korea
- Planning of the ecosystem dynamics research for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea
- Planning of short/long-term forecasting system for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea
- Planning to build an optimal adaptation platform for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea

IV. Result

A. Establishment of ecosystem dynamics and short/long-term forecasting system promotion plan in the East Sea coastal of Korea

- Analyses of trends of domestic and international technologies and development capabilities
- Analyses of future prospect (application and expectation effectiveness)
- Suggestion of promotional strategy, technology road map (TRM) and promotion system
- Research planning participating related institutes and external specialists
- Providing research budget, period and man power

B. Planning of the ecosystem dynamics research for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea

- Selection of proposed model coastal ecosystem
- Monitoring of outside factors influencing ecosystem changes
- Planning monitoring of keystone species and ecosystem dynamic structure in model coastal ecosystem
- Monitoring artificial radioactive element and its background concentration
- Examination of near real-time monitoring system for artificial radioactive element increasing possibilities of an emergency measure

C. Planning of short/long-term forecasting system for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea

- KOOS-coupled detailed model system
- Improvement of short-term estimation (72h) and its reliability
- Planning long-term monitoring

D. Planning to build an optimal adaptation platform for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea

- Construction and management of AI based platform

V. Application plans of the results of the study

- Facilitating for treating future climate change derived ecosystem variation by construction of coastal ecosystem and environment hazards managing platform with understanding coastal habitate and environmental information
- Contribution advanced ecosystem monitoring technology based on Big Data
- Application of AI technology for automatic monitoring in marine environment and data analyses
- Such comprehensive development of ecosystem management platform in East Sea coastal region will be further applicable in all seas of Korea peninsula
- Not single platform but linkage other natural hazard related platform in accordance with the forth industrial revolution by reflecting Big Data and AI

VI. Reference

(KEYWORDS : 기후변화, 연안 회복력, 생태계 동적거동, 연안 생태계 기반 적응, 플랫폼)
 Climate change, Coastal resilience, Ecosystem dynamics, Coastal ecosystem-based adaptation, Platform

목 차

제 출 문	I
요 약 문	V
목 차	XIII
표 목 차	XVII
그림목차	XVIII
제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구배경 및 필요성	3
제 2 장 국내외 기술개발 현황	17
제 1 절 국내·외 연구동향 및 기술개발 역량 분석	19
제 2 절 연구동향 분석	63
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	71
제 1 절 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 및 장단기 예측 추진계획 수립	73
제 2 절 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 규명 연구 기획	85
제 3 절 동해 연안 환경·생태재해 변동 장단기 예측 시스템 기획	92
제 4 절 동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 구축 기획	103
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	105
제 1 절 연구개발 목표 달성도	107
제 2 절 대외기여도	109

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	121
제 1 절 경제·산업적/기술적/사회·문화적 활용계획	123
제 2 절 연구개발 결과의 활용성	126
제 6 장 참고문헌	129

C O N T E N T S

Presentation letter	I
Summary	V
Contents	XIII
List of Tables	XVII
List of Figures	XVIII
Chapter I Outline of the study	1
Section 1 Necessaries and objectives of the study	3
Chapter II States of technical development in the home and foreign countries	17
Section 1 Capacity analysis of domestic/foreign research trend and technology development ...	19
Section 2 Analysis of research trend	63
Chapter III Result	71
Section 1 Establishment of ecosystem dynamics and short/long-term forecasting system promotion plan in the East Sea coastal of Korea	73
Section 2 Planning of the ecosystem dynamics research for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea	85
Section 3 Planning of short/long-term forecasting system for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea	92
Section 4 Planning to build an optimal adaptation platform for coastal ecosystem hazards in the East Sea coastal of Korea	103

Chapter IV Achievements of objectives and contributions to the related	105
Section 1 Achievements of objectives	107
Section 2 Contributions to the related area	109
Chapter V Application plans of the results of the study	121
Section 1 Application plan of economic/industrial, technical and social/cultural	123
Section 2 Application of reseach development result	126
Chapter VI Reference	129

표 목 차

표 1-1-1. CMIP5 자료를 이용한 해역별 해수면 상승 전망치(RCP8.5, 1986 ~ 2005년 해수면 대비 2081 ~ 2100년 상승, 신뢰구간 90%, 허태경 등(2018)에서 발췌)	12
표 1-1-2. 해안별 평균해수면 상승률(해양수산부, 2019)	13
표 2-1-1. 원자력 안전기술원의 해양환경 방사성 물질 모니터링 항목	50
표 2-1-2. 원자력이용시설 주변 환경방사선/능 조사항목	53
표 3-1-1. 연구개발 수행내용	73
표 3-1-2. 기획연구의 소요예산, 연구기간, 소요인력(안)(단위 : 억원)	82
표 4-1-1. 연구목표 대비 달성내용	107
표 4-2-1. 5대 전략 26대 중점과제	110
표 4-2-2. 해양수산 R&D 중장기계획 3대 전략 및 12개 실행전략	111
표 4-2-3. 본 연구개발사업의 연차별 연구비	116
표 4-2-4. 경제성 분석 결과 요약	116
표 4-2-5. 민감도 분석 결과 요약	117
표 4-2-6. 동해연안 환경·생태 재해 최적적응 플랫폼 개발 사업의 투자가 타 산업에 미치는 경제적 파급효과	119
표 4-2-7. 경제적 파급효과	120
표 5-2-1. 연구개발 연구비 규모	127

그림 목 차

그림 1-1-1. 해양생태계와 유해성 적조 동적거동 파악을 위한 실시간 연안관측 체계UNESCO (2008)	3
그림 1-1-2. MBARI의 AUV 및 채수시스템 Gulper	4
그림 1-1-3. LISST-HOLO: Submersible Holographic Imaging system	4
그림 1-1-4. BRUVS 시스템	4
그림 1-1-5. BRUVS 시스템을 활용한 표층과 저층의 유영동물 모니터링	4
그림 1-1-6. 국립수산과학원 실시간 해양환경 어장정보시스템	6
그림 1-1-7. 국립해양조사원 실시간해양관측정보시스템	7
그림 1-1-8. 경포대해수욕장 해양관측부이 실시간 관측 정보	8
그림 1-1-9. 국립해양조사원 해황예보(좌: 유튜브, 우: 홈페이지에서 PDF파일 제공)	8
그림 1-1-10. (좌) KOOS 최소격자(≈ 300 m) 예보, (우) KOOS를 활용한 비구조 상세격자(10 ~ 300 m) 예보	9
그림 1-1-11. 우리나라 원전 가동 현황(2017년 8월 기준), 한국원자력산업협회	10
그림 1-1-12. WAIS 해빙의 불확실성을 고려한 미래 해수면상승 전망 (Bakker et al., 2017)	11
그림 1-1-13. 연안은 외양과 내륙 기후변화 영향이 전파되는 기후변화 삼중고 영역(IPCC AR4)	12
그림 1-1-14. 최근 30년간(1989 ~ 2018년) 조위관측소해안별 평균해수면 상승률(해양수산부, 2019)	13
그림 1-1-15. 해양환경에서 방사능 핵종의 거동 모식도	15
그림 2-1-1. 미국 해양대기청의 생물변동 예측 모델링(출처: NOAA Fisheries and NOAA MPAs)	19
그림 2-1-2. 유럽 전 지역 해수면 상승 및 해안침식 예측	20
그림 2-1-3. 미국 카리브해 생물분포도 및 범람 예측도(예: 에코 인프라스트럭처)	20
그림 2-1-4. EMODnet project	21
그림 2-1-5. AODN 해양모니터링 종합플랫폼	21
그림 2-1-6. 독일의 해양환경 방사선/능 모니터링 station	22
그림 2-1-7. 독일의 근해 해양환경 방사선/능 모니터링 설비	23
그림 2-1-8. 독일의 근해 해양환경 방사선/능 모니터링 설비 계류 모식도	24
그림 2-1-9. 독일의 해안 해양환경 방사선/능 모니터링 설비	25
그림 2-1-10. 독일의 해안 해양환경 방사선/능 모니터링 설비 계류 모식도	25
그림 2-1-11. 독일의 해양환경 방사선/능 모니터링용 Gamma Counter	26
그림 2-1-12. 독일의 해양환경 방사선/능 모니터링용 Gamma Counter 사양	26
그림 2-1-13. 독일의 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 핵종 및 계수 Data	27
그림 2-1-14. 독일의 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링	27
그림 2-1-15. 조사선을 이용한 독일의 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링	28

그림 2-1-16. SARA Water Detector 및 스위스의 자동 측정 네트워크	29
그림 2-1-17. 주요 해수유동-파랑-생태 수치모형의 특징(Fringer et al., 2019)	37
그림 2-1-18. 주요 지역해 예보체계 - I: 아메리카, II: 아시아-호주, III: 유럽(Kourafalou et al., 2015)	38
그림 2-1-19. 중국의 24시간 예보체계 CGOFS_ECS 결과: (a) 표층해류, (b) 수심 50 m 층 수온 (Kourafalou et al., 2015)	38
그림 2-1-20. 대기-해양-파랑-퇴적물 모형이 결합된 미국의 72시간 예보체계 COAWST 결과 (Kourafalou et al., 2015)	39
그림 2-1-21. 대보초의 1998년과 2002년 백화율(Berkelmans et al., 2004)	40
그림 2-1-22. 출처: https://ereefs.org.au/ereefs	41
그림 2-1-23. eReefs 플랫폼 https://ereefs.org.au/ereefs/platform	42
그림 2-1-24. (좌) eReefs domain 및 관측인프라 (Steven et al., 2019) (우) 4 km 격자 72시간 예보결과 https://ereefs.org.au/ereefs/about	42
그림 2-1-25. eReefs 모델링체계: 오렌지색과 별표는 광학적으로 민감한 변수(Steven et al., 2019)	43
그림 2-1-26. RECCOM 실행 사례: https://ereefs.org.au/ereefs/platform/relocatable-fine-scale-coastal-models	44
그림 2-1-27. 동적수위(Dynamic water level) 개념도 (Barnard et al., 2019)	45
그림 2-1-28. CoSMoS 실행 흐름도 (Barnard et al., 2019)	46
그림 2-1-29. CoSMoS 적용사례: (a) 샌프란시스코 국제공항, (b) City of Pacifica	47
그림 2-1-30. 해수면상승 및 폭풍파 시나리오별 위험노출도	47
그림 2-1-31. 국립수산과학원 실시간 해양환경 어장정보시스템(좌), 국립해양조사원 실시간 해양관측정보시스템(우)	48
그림 2-1-32. 국립해양조사원 해양예보	48
그림 2-1-33. 국립환경과학원 환경 취약성평가(좌), 국립해양조사원 연안재해취약성 평가체계 (우)	49
그림 2-1-34. 국립수산과학원 국가 해양생태계 종합조사	49
그림 2-1-35. 원자력안전기술원의 해수 조사정점	51
그림 2-1-36. 원자력안전기술원의 해저퇴적물 조사정점	52
그림 2-1-37. 고리원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점	55
그림 2-1-38. 월성원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점	55
그림 2-1-39. 한빛원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점	56
그림 2-1-40. 한울원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점	56
그림 2-1-41. 원자력 안전기술원의 실시간 해수방사능 검출기 모식도	58
그림 2-1-42. 실시간 해수 ¹³⁷ Cs 시범 계측 결과	59
그림 2-1-43. 원자력안전기술원에서 운영중인 실시간 해수방사능 모니터링 관측점	59
그림 2-1-44. KOOS Domain	60
그림 2-1-45. KOOS 예보 예	60
그림 2-1-46. Bruun' s rule을 적용하여 구한 해수면상승에 의한 해안별 해안선 후퇴율(조광우	

등 2009)	61
그림 2-1-47. 국가환경성평가지도 구축(환경정책평가연구원 제공)	62
그림 2-1-48. 국가환경성평가지도 웹 서비스 모습(환경정책평가연구원 제공)	62
그림 2-2-1. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연간 논문생산성 추이	63
그림 2-2-2. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구주도 국가 순위	64
그림 2-2-3. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구협력	65
그림 2-2-4. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구영향력	66
그림 2-2-5. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 논문생산성 추이	67
그림 2-2-6. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구주도 국가 순위	68
그림 2-2-7. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구협력	69
그림 2-2-7. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구영향력	70
그림 3-1-1. 기후체제 변화(출처: Norris et al., 2013)	74
그림 3-1-2. 기후체제 변화(출처: chen et al., 2018)	74
그림 3-1-3. 기후체제 변화에 따른 해양환경 변화	75
그림 3-1-4. 해양오염의 예	76
그림 3-1-5. 북태평양 표층수의 ¹³⁷ Cs 농도변화(Kang et al., 1997)	77
그림 3-1-6. 후쿠시마 원전사고 이후 우리나라 대기 중 ¹³⁷ Cs 농도의 시간변화 및 backward trajectory 분석 결과(Hernandez et al., 2012)	78
그림 3-1-7. 후쿠시마 제1원전 부근 해역 ¹³⁷ Cs 농도변화(2011년 3월 ~ 2012년 3월)	78
그림 3-1-8. 전세계 국가별 원자로 보유수	79
그림 3-1-9. 우리나라 및 주변국의 원전 현황(건설계획 포함)	80
그림 3-1-10. 중국의 원전사고시 대기 중 방사성 물질 확산 시뮬레이션	80
그림 3-1-11. 기획연구의 추진체계	81
그림 3-1-12. 기획연구의 기술개발 로드맵(안)	81
그림 3-1-13. 기획연구의 추진전략(안)	82
그림 3-1-14. 기획연구의 KIOST 핵심 성과목표 및 국가아젠다 부합성	83
그림 3-2-1. 한국해양과학기술원 동해연구소 해양관측 인프라	85
그림 3-2-2. 한수원 관측정점(국립해양조사원·국립수산과학원 실시간 자료 제공)	86
그림 3-2-3. 멀티빔을 이용한 환경 정밀 가시화 분석 사례	87
그림 3-2-4. 최신기법을 활용한 해저면 환경분석과 환경자료 연계 서식지 종합 분석 사례	88
그림 3-2-5. 기후변화에 따른 연안 저서환경 변화 모니터링 사례	89
그림 3-2-6. 실시간/준실시간 최첨단 해양관측장비 예시	90
그림 3-2-7. 자율형 최신 해양 관측장비를 이용한 첨단 무인 관측 시스템 사례	91
그림 3-3-1. 동해 연안환경생태계 변동 준실시간 예측 체계	92
그림 3-3-2. ESRI_KOOS Test Run	93
그림 3-3-3. 소규모 호수에서의 AED2 검증결과(Piccioni et al., 2019)	93
그림 3-3-4. http://aed.see.uwa.edu.au/research/models/AED/	94

그림 3-3-5. KIOST 동해연구소 주변 실시간 관측 인프라	95
그림 3-3-6. 좌: KOOS 최소격자(≈ 300 m) 예보, 우: KOOS를 활용한 비구조 상세격자(10 ~ 300 m) 예보	96
그림 3-3-7. 고해상도 정밀모형 개요	96
그림 3-3-8. 수면 반짝임(glint) 제거 전후(Hedley, 2018)	98
그림 3-3-9. 키프로스 Limassol 해안에서 Sentinel-2로 추출한 월별 수심 및 실측치와의 상관계수(Evagorou et al., 2019)	99
그림 3-3-10. 영국 Lizard 섬 주변 저서환경 분류(Hedely, 2018)	100
그림 3-3-11. Sentinel-2를 이용한 산호초 백화현상 파악(Hedley, 2018)	100
그림 3-3-12. (a) 컬러채널 공간해상도 2 m인 WorldView-2 및 (b) 10 m인 Sentinel-2 영상	101
그림 3-3-13. 고해상도 상업위성 영상 가격(2018년 1월 기준, km^2 당) > http://www.landinfo.com/LAND_INFO_Satellite_Imagery_Pricing.pdf	101
그림 3-3-14. Fluidity 모델에서 eddy 및 swash 전파에 따른 격자규모 적응생성 예 http://fluidityproject.github.io/	102
그림 3-3-15. 생태계구조 모델 사례	102
그림 3-4-1. Data 플랫폼 구축(안)	103
그림 3-4-2. 동해 연안 환경·생태재해 최적적용 플랫폼 구축(안)	104
그림 4-2-1. 해양수산과학기술육성기본계획 목표 및 추진전략	112
그림 5-1-1. 기획연구를 통한 활용계획	123

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경 및 필요성

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경 및 필요성

1. 추진배경

가. 연안생태계 모니터링 선진화 시급

- 유해성 적조 발생(HAB: Harmful algal bloom)은 동적인 현상으로 기술되고 예측되어야 함에 따라 ICES-IOC는 HABs에 중요한 물리·화학·생물학적 상호관계 파악을 위한 워킹그룹을 1994년 결성하였으며, 이 그룹이 발전하여 2003년 국제워크숍을 개최한 후 내용을 보강하여 유네스코 지원 하에 ‘해양생태계와 유해성 적조 동적거동 파악을 위한 실시간 연안관측체계’를 2008년 발간함

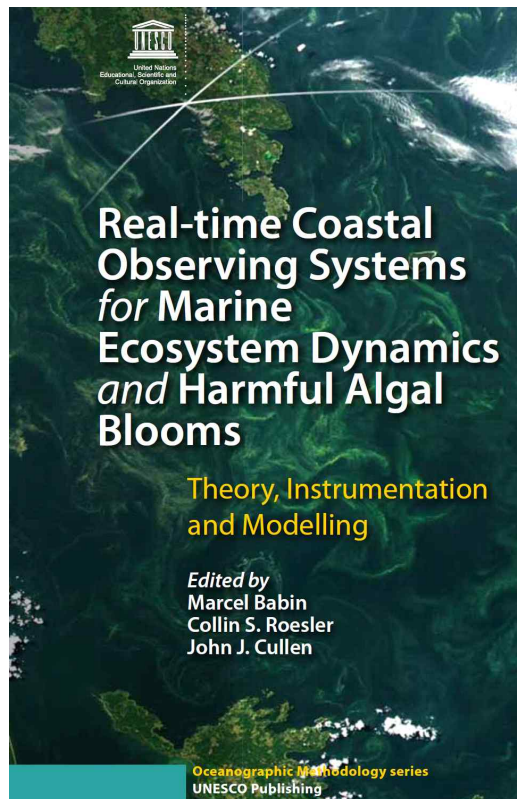


그림 1-1-1. UNESCO (2008)

- 선진국은 2000년대 초부터 다양한 자동광학장비와 AUV를 활용하여 식물플랑크톤의 기능 형식에 이르기까지 다양한 연안생태 분야에서 과거 방식(net tows, water bottles, pumps)으

로는 얻을 수 없었던 연구 성과를 얻고 있음



그림 1-1-2. MBARI의 AUV 및 채수시스템 Gulper



그림 1-1-3. LISST-HOLO: Submersible Holographic Imaging system

- 최근 선진국에서는 BRUVS (baited remote underwater video stations)를 활용하여 생태계 비파괴적 방법으로 유영동물(수산자원)을 모니터링하고 있으며, 미래 친환경적 수산자원 정량조사 방법으로 활용도가 높음



그림 1-1-4. BRUVS 시스템

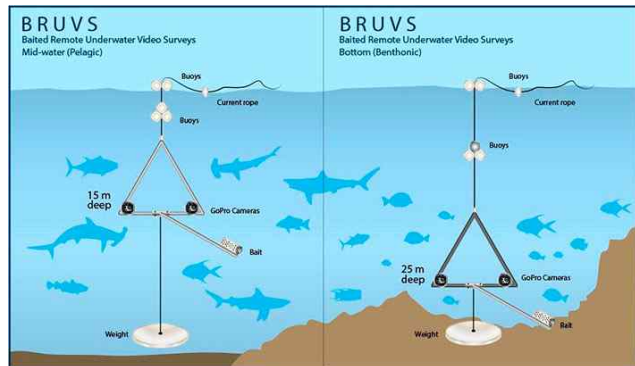


그림 1-1-5. BRUVS 시스템을 활용한 표층과 저층의 유영동물 모니터링([http:// www.darwinfoundation, org/en/](http://www.darwinfoundation.org/en/))

- 해양환경공단은 ‘국가 해양생태계 종합조사’를 통하여 과도한 정점*에서 매우 다양한 항목을 전통적인 방법으로 조사하고 있으나 대부분 2년마다 정점당 1 ~ 2회 조사에 그치고 있어 연안생태계의 동적거동 파악은 사실상 불가능함
- * 갯벌생태 363정점, 연안생태 129정점, 연안생태(유영) 27정점, 암반생태 36정점, 근해조사 20정점, 바닷새 34정점, 하구역·용승역 38정점, 갯벌생태(중점) 189정점, 아열대화 조사 19정점
- 따라서 시공간 해상도를 충분히 확보할 수 있는 첨단장비를 활용한 환경·생태모니터링을 통하여 해역별 표본연안생태계의 동적거동을 규명해야 할 필요성이 매우 높음
- 이러한 표본연안 거동정보는 해당 해역 다른 정점 해석에 벤치마킹 자료로 활용될 수 있음

나. 연안생태계 위협요소의 증가

1) 기후체제 변화

- 과거 50년(1968 ~ 2017년)간 우리나라 해역 표층 수온은 전 세계 평균상승폭(0.48°C)의 약 2.6배인 1.23°C 상승하였으며, 동해의 상승폭이 가장 높음(동해: 1.48°C , 서해: 1.18°C , 남해: 1.04°C)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)는 세기말 해수면이 최대 82 cm 상승할 것으로 전망하였으나, 호주의 최근 연구는 남극 빙상이 예상보다 빠르게 녹고 있음에 따라 세기말 해수면이 1986 ~ 2005년 평균치보다 1.3 m 상승할 것으로 예상하였으며, 미국은 최악의 경우 2 m까지 상승할 것으로 전망함

2) 서식지 변화 및 생물다양성 감소

- 인류는 건강과 식량, 그리고 안전을 위해 생물다양성에 의존하고 있으며, 의약품에서 식량 생산에 이르기까지 생물다양성은 사회를 유지하고 인류의 안녕을 지키기 위해 없어서는 안 될 존재임
- 지구생명지수에 따르면, 1970년에서 2014년 사이에 생물종 개체수의 60%가 감소하였으며, 열대지방에서 생물종의 개체수 감소가 두드러짐
- 생물다양성과학기구(IPBES) 보고서에 따르면 약 100만 종의 동식물이 수십 년 내로 멸종위기에 처해있으며, 양서류 44%, 해양 포유류 33%가 멸종 될 것으로 예측함

3) 해양오염

- 미세플라스틱, 해양쓰레기오염 : 한국산업환경기술원에 따르면 1950년부터 2015년까지 전 세계 플라스틱 생산량은 83억 톤이며, 폐기물 발생량은 63억 톤에 달함. 이러한 플라스틱 폐기물은 해양으로 유입되어 해양생물의 생존에 부정적인 영향을 미치며, 결국 수산물 등을 통해 인간의 몸속으로 들어와 인간의 생존에 직접적인 영향을 미침. 2018년 국립해양생물자원관, 국립생태원 등 7개 기관의 공동 연구결과 바다에서 폐사체로 발견된 바다거북의 몸에서 낚싯줄, 비닐조각, 노끈 등 30점이 넘는 해양쓰레기가 발견됨
- 유류오염 : 해상 물동량의 증가에 따라 매년 300여 건의 해양유류오염 사고가 발생하고 있으며, 유조선의 대형화로 인한 대규모 오염사고도 빈번히 발생하고 있음. 유출된 유류는 표면에 유막을 형성하여 수중의 용존산소 포화도 저해, 광합성 저해 등과 같은 영향으로 어패류, 조류, 저서생물 등의 전 생태계에 부정적인 영향을 미침
- 방사능오염 : 핵실험 또는 핵사고로 방출된 방사능은 대기와 강우를 통해 해양으로 유입될 수 있고 유출된 방사성 물질은 연안 생태계 내에서 먹이사슬을 통해 방사능 물질이 체내에 축적되는 생물 농축이 일어날 수 있음

다. 현황 및 문제점

- 국립수산과학원은 자체 및 유관기관 연안관측 결과를 실시간으로 제공하고 있으나 수온·염분에 집중하고 해류와 파랑정보를 포함하지 않아 생태계 동적거동 파악·예측을 위한 기초 자료로서는 제한적임



그림 1-1-6. 국립수산과학원 실시간 해양환경 어장정보시스템

- 국립해양조사원은 자체 운영 중인 시스템과 한국수력원자력이 운영하는 부이의 자료를 합하여 실시간 정보를 제공하고 있음
- 대부분의 정점이 해류를 포함하고, 다수의 정점에서 파랑도 관측하여 생태계 동적거동 규명에 유용하게 이용될 수 있음



그림 1-1-7. 국립해양조사원 실시간해양관측정보시스템



그림 1-1-8. 경포대해수욕장 해양관측부이 실시간 관측 정보



그림 1-1-9. 국립해양조사원 해황예보(좌: 유튜브, 우: 홈페이지에서 PDF파일 제공)

- 한편 해양조사원은 유튜브 및 홈페이지를 통하여 해황을 예보하고 있으나 모델의 동해안 격자크기가 3 km로서 연안환경·생태 예측에는 부적절함
- 해양조사원은 2 ~ 3년 내에 KIOST가 수립한 300 m 격자체계로 예보할 예정이나 해안선이

복잡할 경우 300 m 격자도 해수유동 재현에 한계가 있으므로 해안선과 해저지형이 복잡한 연안에서는 상세격자를 채용할 수 있는 비구조 상세격자 체계가 바람직함

- 무엇보다 중요한 사항으로서 연안생태모델링은 해양조사원 업무가 아님
- 연안생태계 기반 선제적·선진형 적응계획 수립을 위해서는 여러 단계와 절차가 필요하지만 다양한 연안육역과 연안 해역 인자들 간의 동적거동을 과학적으로 충분히 이해하는 것이 최우선 과제임. 이를 위해서는 coastal ecosystem dynamics에 관한 다학제적 연구가 필수적 이므로, 연구인력 스펙트럼이 넓은 국내 유일의 종합해양과학 연구기관인 우리원(한국해양 과학기술원)에서 맡겨진 국가적 사명임을 인식하고 시급히 착수하여야 할 것으로 판단됨

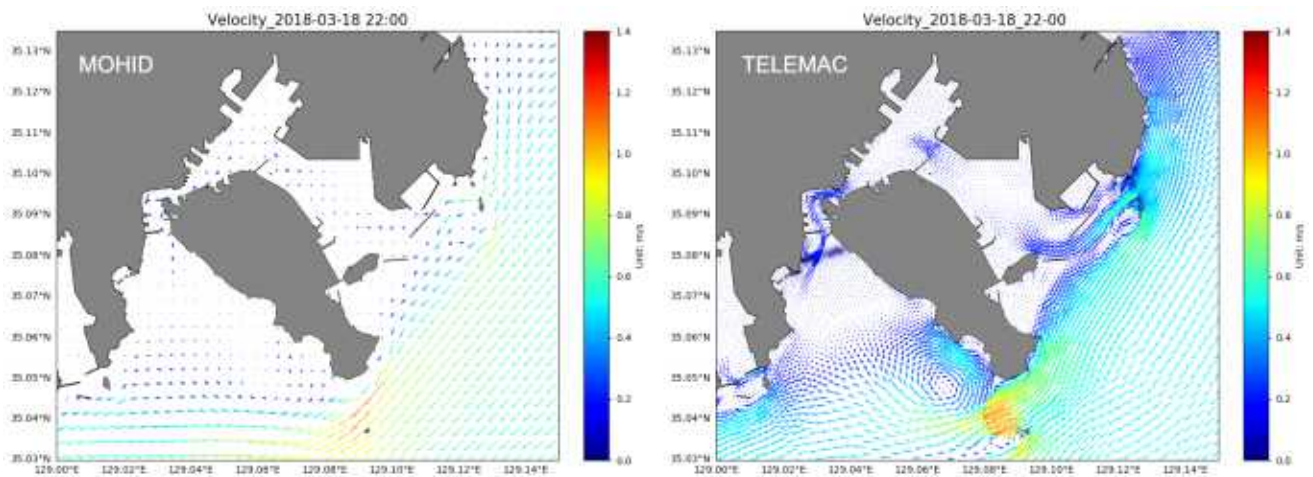


그림 1-1-10. (좌) KOOS 최소격자(≈300 m) 예보, (우) KOOS를 활용한 비구조 상세격자(10 ~ 300 m) 예보

- 수산업이 우리나라 수출액의 30%를 담당할 정도로 국가경제 기여도가 컸었으나 무분별한 남획 및 해양환경 변화로 인해 연근해 어족자원이 고갈되고 있는 실정임
- 과학적인 연안생태계 동적거동 정보를 금어기 설정 등에 활용하여 어족자원 관리효율을 높일 수 있음
- 기후변화에 의한 해양환경 변화로 해양양식은 고수온, 저수온, 적조 및 태풍 등 자연재해 노출도가 높아짐에 따라 2015년 63억원에 불과했던 양식분야 어업재해피해액 규모가 2018년 712억원으로 증가했음. 생태재해 저감을 위해 생태계 동적거동 예측신뢰도를 높일 필요가 있음
- 내륙에 비해 부가가치가 월등한 연안의 회복탄력성을 유지·개선시키기 위해서는 생태계 기반의 친환경 연안관리가 필수적임
- 연안은 수산·양식, 레크리에이션, 골재·규사채취 등 다양한 분야의 이해관계자를 포함하므로 연안 제 현상 및 개발행위와 관련한 비과학적 정보를 근거로 연안공동체 내의 갈등이 발생할 가능성이 높기 때문에 연안환경·생태계 관련 과학적 정보를 제공함으로써 갈등을 해소·방지함
- 북한은 2010년 11월 해양과학연구소를 신설하여 해양개발시설 이용의 합리화, 항만구조물, 해안침식, 해양환경보호, 조력발전 등을 연구하고 있음

- 북한에 표본 연안생태계 1개소를 선정하여 연구를 교류함으로써 남북관계 개선에 기여 가능
- 우리나라는 동해안의 고리, 월성, 울진 및 서해안의 영광 등 4곳에 원전이 위치하고 있고, 고리원전 1호기는 영구 정지되었으며, 2019년 기준 총 23기가 가동 중에 있음. 그리고 현재 건설 중인 것과 건설계획까지 포함하면 2030년경에는 총 27기가 가동될 예정이며 그 중 약 80%인 21기가 동해안에 위치하게 되며 동해안은 핵관련 산업 밀집 지역으로 되어 잠재적인 핵관련사고 위협이 상시 존재하게 됨



그림 1-1-11. 우리나라 원전 가동 현황(2017년 8월기준), 한국원자력산업협회

- 현재 원전주변의 방사성물질 모니터링은 관련 법률에 근거하여 원자력안전기술원에서 각 원자력발전소별로 매년 주변 토양, 대기, 농수산물, 해양환경을 대상으로 수행하고 있음. 원전주변의 해양환경에 대한 방사성 물질 모니터링은 주로 원자로를 냉각시키기 위한 취수구 및 배수구 주변에 대부분 집중되어 있고, 모니터링 대상 방사성 핵종들의 농도 파악만 이루어지고 있는 상황임. 그러나 화학적 특성을 고려한 해양환경에서 핵종별 거동특성까지 고려한 분포특성, 유사시 확산예측 등의 연구는 이루어지고 있지 않음

2. 연구 필요성

가. 기후변화에 따른 해양환경 변화 모니터링 필요

- IPCC AR5는 RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 시나리오별 2100년 해수면상승을 0.44(0.28 ~ 0.61) cm, 0.53(0.36 ~ 0.71) cm, 0.55(0.38 ~ 0.73) cm 및 0.74(0.52 ~ 0.98) cm로 예상하였으나 많은 전문가들은 이를 보수적인 전망으로 판단하고 있음
- 미래 해수면상승 전망의 불확실성은 남극 서측 빙상(WAIS: West Antarctic Ice Sheet)이 예상보다 빠르게 녹고 있기 때문이며, Bakker et al. (2017)은 수십 년 내에 WAIS가 완전히 녹을 경우 해수면이 IPCC의 RCP8.5 시나리오 전망치에 3.3 m가 추가로 상승할 수 있음을 보였음

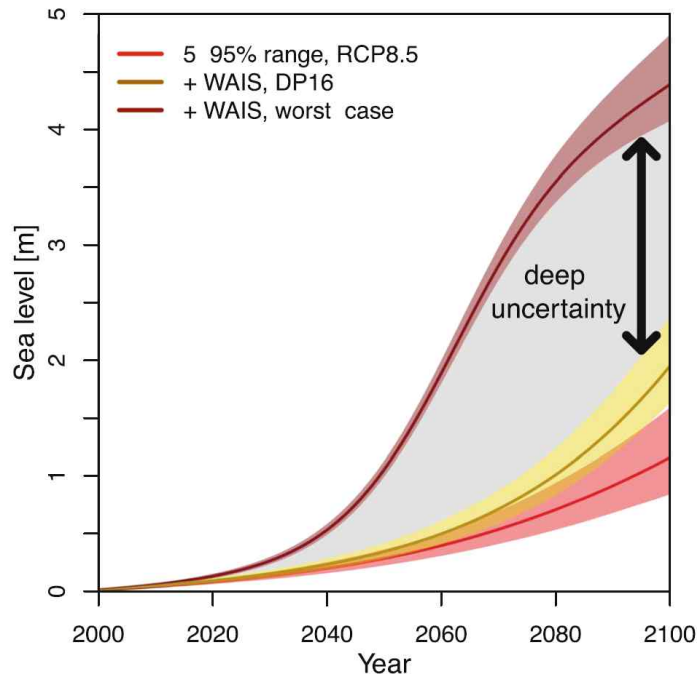


그림 1-1-12. WAIS 해빙의 불확실성을 고려한 미래 해수면상승 전망(Bakker et al., 2017)

- 미국 해양대기청(NOAA)은 제3차 국가기후평가(NCA3 : Third National Climate Assessment)에서 세기말 해수면상승을 2 m로 전망하였으나(Parris et al., 2012), NCA4는 그 동안의 연구 결과를 토대로 2.5 m로 높였음(Sweet et al., 2017)
- 현재 세계 연안(해발고도<10 m) 인구는 약 6억 명 이상이며, 2050년까지 10억으로 증가할 것임(Merkens et al., 2016). Vousdoukas et al. (2018)은 이산화탄소가 계속 현재 수준으로 방출되면 2050년부터 열대지방은 100년 재현주기 해수면상승이 매년 발생할 것이며, 세기 말에는 이러한 현상이 거의 모든 해안에서 발생할 것임을 경고하였음

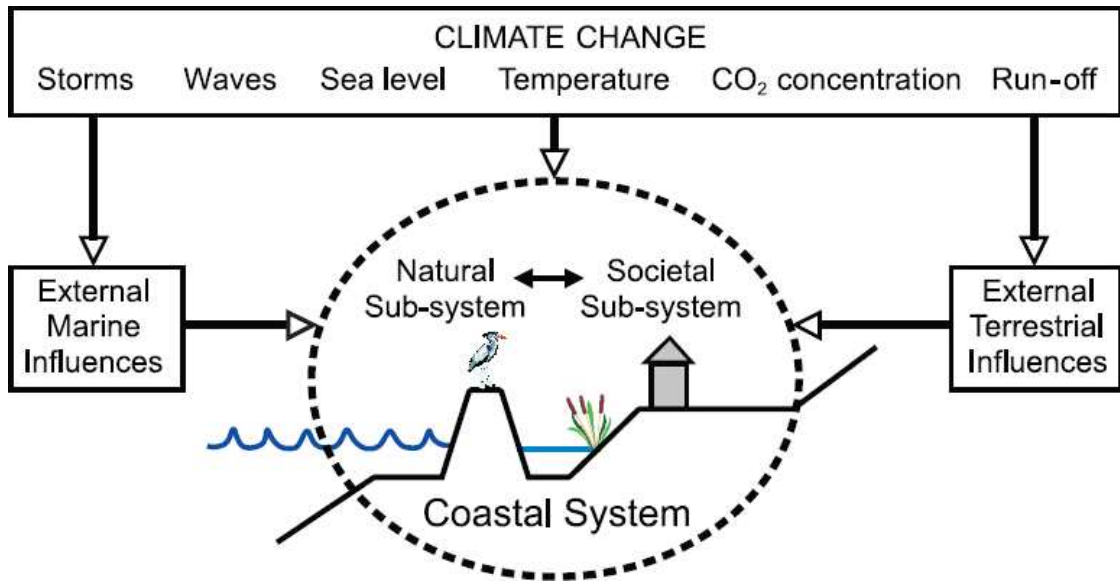


그림 1-1-13. 연안은 외양과 내륙 기후변화 영향이 전파되는 기후변화 삼중고 영역(IPCC AR4)

- 국립기상과학원의 허태경 등(2018)은 21개 전지구모델의 평균치를 활용하여 우리나라 해역별 해수면상승을 전망하여 IPCC AR5와 유사한 결과를 얻은 반면, 국립기상연구소(2011)는 영국 모델을 이용하여 세기말에 동해안 해수면이 약 1.4 m 상승할 것을 전망한 바 있음

표 1-1-1. CMIP5 자료를 이용한 해역별 해수면 상승 전망치(RCP8.5, 1986 ~ 2005년 해수면 대비 2081 ~ 2100년 상승, 신뢰구간 90%, 허태경 등(2018)에서 발췌)

	동해	서해	남해
앞바다	0.654(0.31 ~ 0.97) cm	0.637(0.34 ~ 0.91) cm	0.671(0.33 ~ 0.99) cm
먼바다	0.660(0.34 ~ 0.97) cm	0.646(0.34 ~ 0.95) cm	0.673(0.36 ~ 0.97) cm

- 한편 해양수산부의 최근 보도 자료에 따르면 우리나라의 최근 30년간 해수면 상승률은 2.97 mm/yr이나 최근 10년간 상승률은 3.48 mm/yr로서 상승률이 빠르게 높아지고 있음. 특히 동해안이 4.86 mm/yr로 가장 높아졌음을 유의할 필요가 있으며, 이는 IPCC AR5가 발표한 1993 ~ 2010년 전 지구 평균상승률 3.2 mm/yr의 1.5배임
- 이러한 동해안 해수면 상승률이 지속되면 세기말 해수면상승은 허태경 등(2018)과 국립기상연구소(2011)의 전망치를 크게 상회할 수 있으므로 NOAA와 같이 대륙빙상의 해빙을 고려한 전향적인 국가해수면상승 전망치를 설정할 필요가 있음

표 1-1-2. 해안별 평균해수면 상승률(해양수산부, 2019)

구분	평균해수면 상승률 (mm/년)		세부지역(21개 조위관측소)
	1989 ~ 2018	2009 ~ 2018	
제주 부근	4.26	4.41	제주, 서귀포, 거문도
동해안	3.50	4.86	울산, 포항, 목호, 속초, 울릉도
남해안	2.44	3.59	추자도, 완도, 여수, 통영, 가덕도, 부산
서해안	2.48	2.02	인천, 안흥, 군산, 보령, 위도, 목포, 흑산도
전 연안	2.97	3.48	

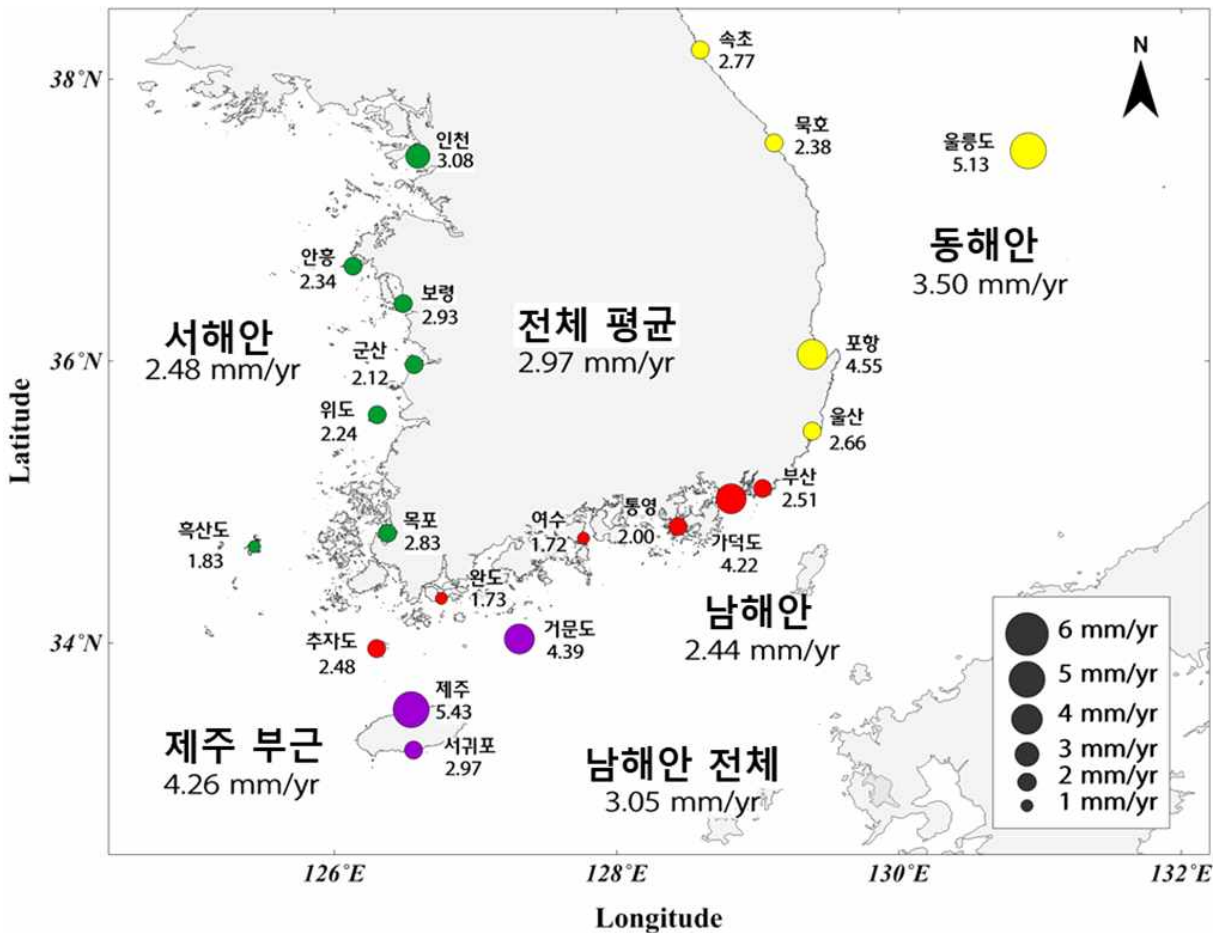


그림 1-1-14. 최근 30년간(1989 ~ 2018년) 조위관측소-해안별 평균해수면 상승률(해양수산부, 2019)

나. 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 시스템 구축 필요

- 과학기술적 측면으로는 먼저 지속적으로 검출 가능한 자연 및 인공방사성핵종의 평상시 농도(배경농도)의 농도 범위를 파악하고 그 변화를 살펴보는 데 있음. 자연방사성핵종은 우주탄생시부터 존재하여 환경에 항상 존재해 왔던 것으로 실제 일상생활에서 인간이 받는 피폭량의 대부분을 차지함. 따라서 이와 같은 자연방사성핵종의 배경농도 수준과 변화를 모니터링하는 기술의 개발은 자연방사능에 의한 피폭이 인간에 미치는 영향 정도를 파악하는 과학기술분야에 반드시 필요하며, 이러한 과학기술의 발전은 국민 기초건강의 유지/관리정책의 한 부분으로서도 중요하며 반드시 필요함.
- 인공방사성핵종은 방사능 관련 사고가 일어나지 않는 한 현재의 상황과 같은 평상시에는 1960년대의 핵강대국에 의한 다양한 핵실험의 결과 환경으로 방출된 것으로 자연 방사능에 비해 그 양은 극히 적음. 그러나 1986년의 체르노빌 원전사고, 2011년 후쿠시마 다이이치 원전사고 등과 같이 대형 원전사고, 핵물질 재처리시설, 핵폐기물처리시설, 핵폐기물보관시설 등으로부터의 누출 및 유출사고, 핵물질 운반도중의 사고, 핵폐기물의 해양투기 등과 같은 사고가 발생하면 대량의 인공방사성물질이 환경으로 배출됨. 사고의 규모에 따라 유출되는 핵종의 종류와 양, 그리고 그 피해 범위도 달라지지만 원전 폭발 사고와 같이 막대한 양이 유출되는 경우는 광범위하게 오랫동안 환경에 심각한 영향을 미치게 됨. 따라서 평상시 인공방사성핵종의 배경농도를 파악하여 유사시의 영향도와 범위를 파악함에 있어서도 반드시 지속적인 인공방사성핵종의 모니터링이 반드시 필요함
- 국가와 사회적 요구에 따른 측면에서는 서론에서도 기술한 것과 같이 우리나라의 경우 지리적으로 잠재적인 핵관련 사고의 위험이 상시 존재하는 국가임. 국내 원전이 모두 해안에 위치하고 있어 사고가 발생하면 해양환경으로 직접 대량의 방사성물질이 유출되며, 인접한 일본 및 중국에는 우리나라보다도 많은 수의 원전을 운영하고 있기 때문에 이러한 인접국, 특히 중국에서 사고가 발생하는 경우에는 우리나라는 대기와 해양을 통해 직접적으로 심각한 영향을 받게 됨. 따라서 국가차원에서 해양환경에서의 방사능 모니터링 시스템을 구축하여 유사시의 해양환경 피해범위 예측, 대응방안 마련 등 관련 정책 수립에 반드시 필요함
- 해양환경의 방사성핵종을 모니터링하는 방법으로는 실제 해양환경시료를 채취하여 분석하면 정확한 핵종별 농도를 파악할 수 있으나 방사성핵종 분석에는 많은 비용과 전처리 및 계측까지 많은 시간으로 필요로 하는 핵종이 많음. 따라서 현대사회와 같은 정보화 사회에서는 사회적으로 신속한 정보제공이 요구되며 또한 유사시 대응방안 마련에도 신속한 관련 자료가 필요함. 따라서 많은 시간을 필요로 하는 시료의 직접분석 보다는 기술적으로 가능한 경우에는 실시간을 신속하게 정보를 생산하는 것이 유용할 것임. 실제로 2011년 후쿠시마 원전사고시에 국내의 사회적 혼란은 모두 이러한 관련정보의 부족에서 기인한 것임. 따라서 국가적 차원에서 신속하게 해양환경 방사능을 모니터링하는 국민에게 정보를 제공하는 것이 반드시 필요함
- 과거 발생한 핵관련 사고의 사례와 우리나라를 둘러싼 인접국 및 국내 원전가동 현황으로

부터 불의의 사고에 대한 국민들의 막연한 불안을 해소하고, 유사시 과학적이며 체계적인 대응을 위해 주변 연안 해역에 대한 배경농도 파악 및 방사성 물질별 거동특성을 파악하는 것이 시급히 필요함. 이를 위해서는 우선 국내 연안에 대한 지속적이며 장기적인 인공방사성물질 모니터링을 통해 배경농도 자료의 축적이 필요하며, 주요 인공방사성 핵종별의 해양내 매질별 거동특성 파악하여 향후 후쿠시마 원전사고 기원 인공방사성물질의 한반도 해역 유입 등 인접국의 원전사고로 인한 우리나라 해역으로의 방사성물질 유입에 따른 대책 마련 필요함

- 방사성핵종이 연안 해양환경으로 유입되면 매우 복잡한 거동을 하기 때문에 다양한 방사성 핵종별 화학적 특성을 고려한 연안역의 방사성물질거동(이동, 확산, 침강, 생물로의 전이/농축 과정) 모델을 구축함으로써 유사시 방사성물질의 확산범위 예측 및 이에 대한 신속하고 정확한 대응이 가능할 것임

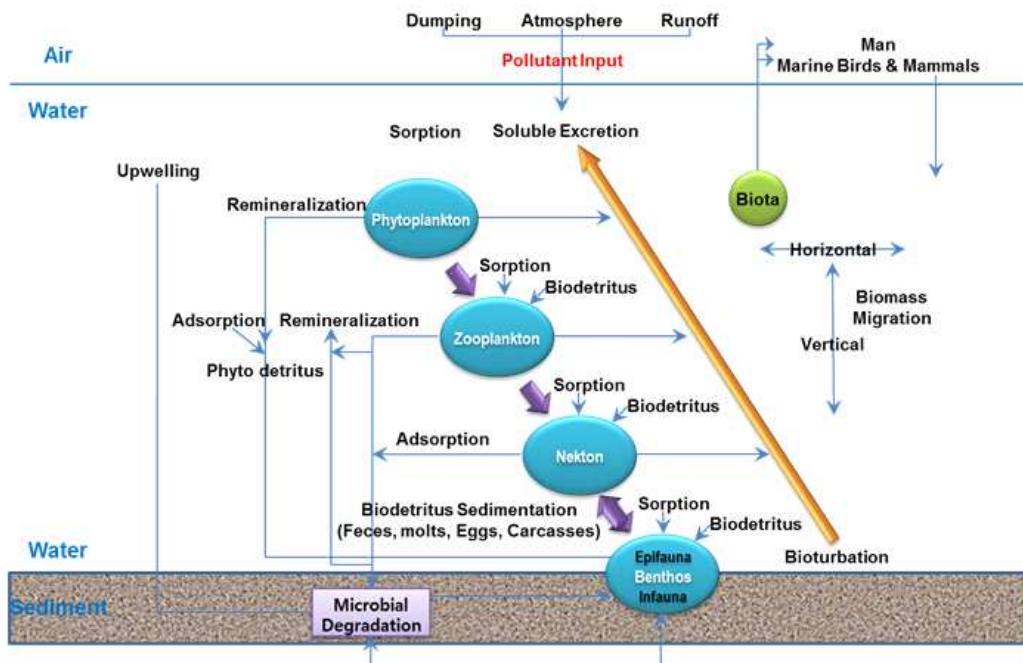


그림 1-1-15. 해양환경에서 방사능 핵종의 거동 모식도

다. 연안 빅데이터 가치혁신(Value Innovation) 필요

- 국립수산과학원, 국립해양조사원 및 해양환경공단은 법정 기본조사를 통하여 다양한 연안환경·생태인자를 조사하여 자료를 축적하고 있으나, 연안생태계 기반 연안관리 차원에서의 유의미한 빅데이터 활용성과 도출이 아직은 부족한 실정임
- 이는 관측치·예측치의 시공간 해상도 부족, 수리환경 변동과 생태계 반응의 동적관계, 즉 ecosystem dynamics 규명 부족 등이 원인이므로 막대한 예산을 들여 축적되고 있는 연안 빅데이터의 가치를 혁신적으로 제고하기 위한 연구가 필요함

라. 연안환경·생태계 최적관리를 위한 블루오션 플랫폼 개발·운영 필요

- 다양한 연안생태계(암반 해역, 수온급경사 해역(온배수, 냉배수), 하구역 등)에서의 환경·생태인자를 실시간으로 관측함과 아울러 계절 및 주요 이벤트별 시공간 분포를 첨단 장비를 이용한 고해상도 관측을 통하여 생태계 변동 동적구조를 파악함
- 국가운용해양예보시스템(KOOS)과 연계되는 정밀모형(수온·염분, 흐름, 파랑, 표사·지형, 생태)을 구축하여 단기 연안환경·생태 예보의 신뢰성을 높임
- 생태계 기반 최적적응계획 기초자료 제공을 위해 불확실성을 고려하는 기후변화 시간스케일의 장기모형 개발 기획이 필요함
- 자료수요자 친화성 쌍방향-피드백 플랫폼 운영 기획이 필요함

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 연구동향 및 기술개발 역량 분석

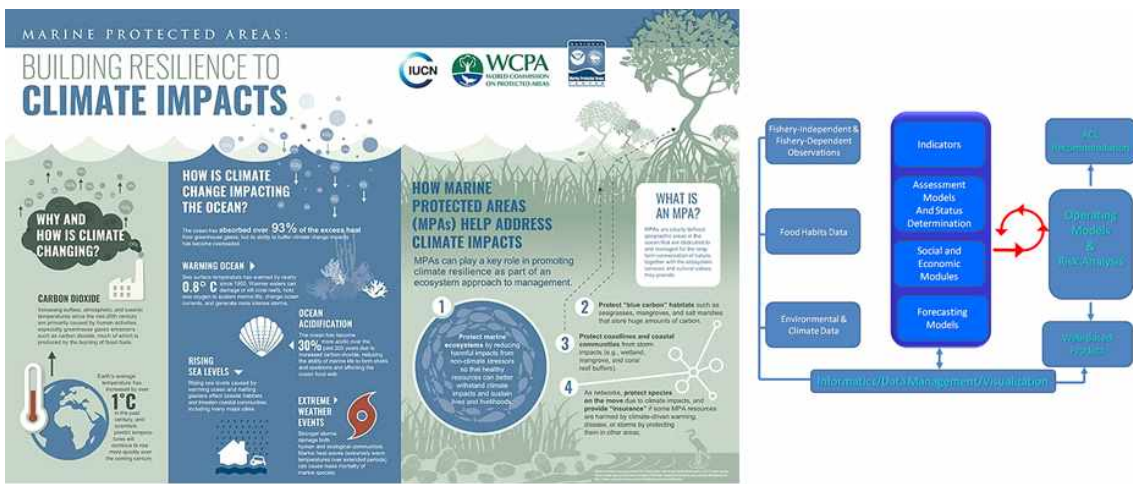
제 2 절 연구동향 분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 연구동향 및 기술개발 역량 분석

1. 국외 연구 기술 동향

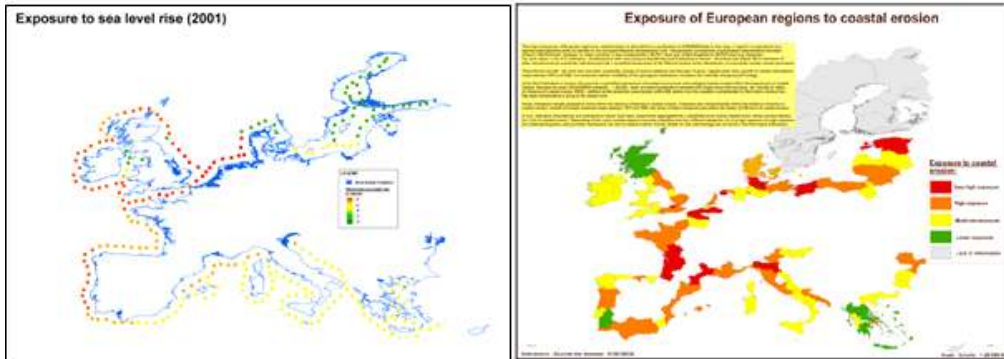
가. 미국의 연안-해양환경 및 수산자원 모니터링 연구



기후변화영향 파악 → 해양보호구역(MPAs) 모니터링 : 생태계비파괴, 자동화 기법 → 예측 및 대응: 해양생태계 모델링 (Biogeochemical modelling)

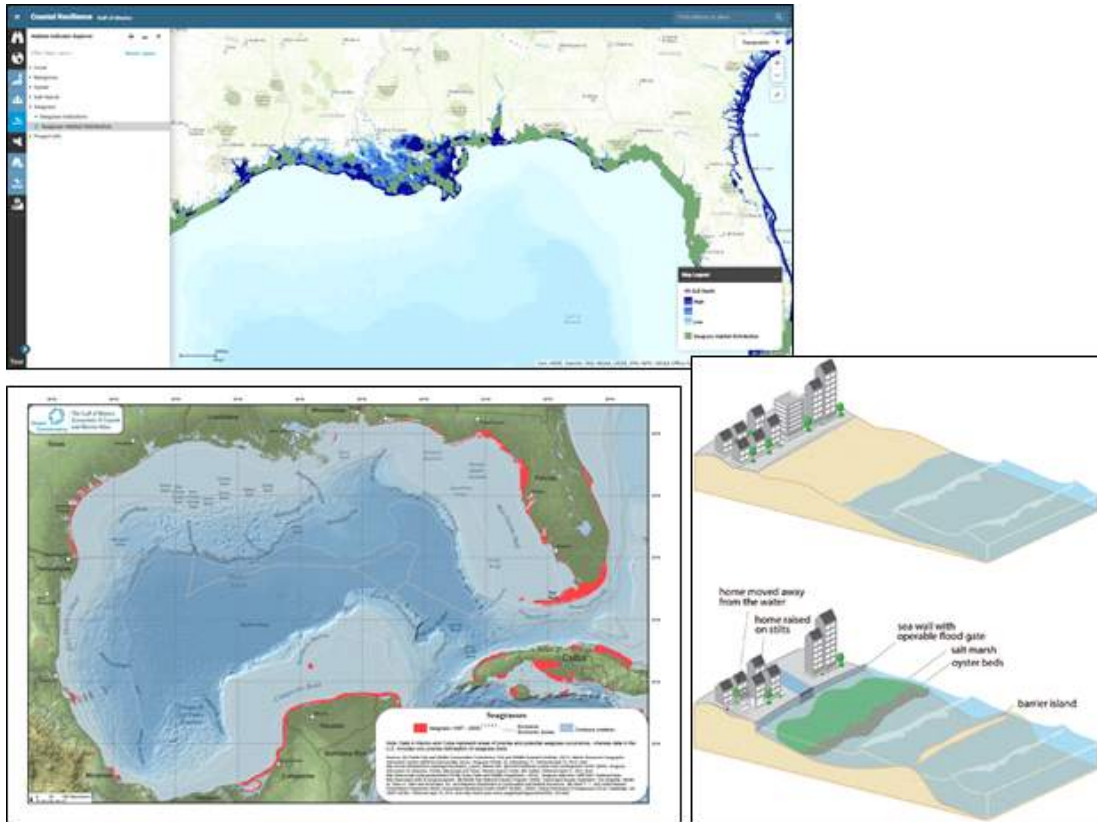
그림 2-1-1. 기후변화에 의한 생태계 반응을 탐지하기 위한 해양보호구역 모니터링(출처: NOAA Fisheries and NOAA MPAs)

- 미국에서는 미국 해양대기청(NOAA)을 중심으로 해양보호구역(MPAs)에서 기후변화가 해양에 미치는 영향을 탐지하고 최적적응하기 위한 생태계 기반 적응 시스템을 갖추고 있음
- 또한, NOAA Fisheries에서는 외력에 의한 영향을 대응하기 위하여 EBFM (Ecosystem-Based Fisheries Management) 기반 수산자원관리 전략에 따라 생물변동 예측 모델링을 구축하고 있음



유럽 전 지역 해수면 상승 및 해안침식 예측

그림 2-1-2. 유럽 전 지역 해수면 상승 및 해안침식 예측



미국 카리브해 생물분포도 및 범람 예측도

에코 인프라스트럭처 예

그림 2-1-3. 미국 카리브해 생물분포도 및 범람 예측도(예: 에코 인프라스트럭처)

- 유럽/미국의 경우 모델링 분석을 통해 연안지역에 대해 환경변화 예측 뿐 아니라 환경변화에 의한 해안 에코 인프라스트럭처(해안 산림, 인공 암초 군락, 인공 방파섬, 해안사구, 맹그로브 군락 등)를 통해 재해 적응 프로젝트를 수행중임

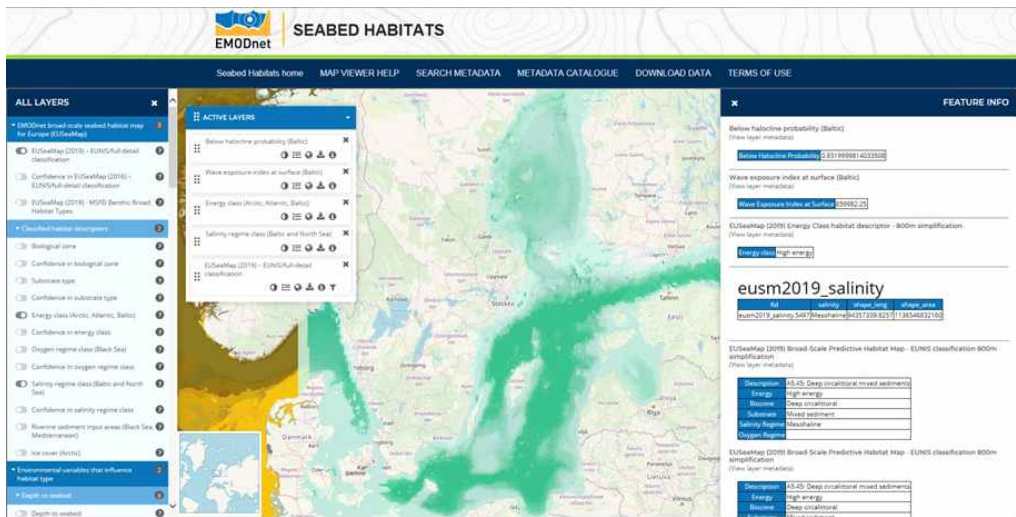


그림 2-1-4. EMODnet project

- 2000년대부터 시작했던 MESH, MAREMAP 등 여러 project 이후 EMODnet Project를 통해 서식지 환경에 관련된 모든 지표들(생물, 화학, 지질, 인간활동 등)을 지도화하여 WebGIS로 공개. 그 중 해저면 서식지에 관해 EUNIS 기준으로 해저면 분류화를 통해 서비스 배포 중 (EUSeaMap). 현재 3단계(2017 ~ 2020)로서 점차 지역 확대 중

나. 호주의 연안-해양환경 모니터링 연구



그림 2-1-5. AODN 해양모니터링 종합플랫폼(<http://portal.aodn.org.au/>)

- 호주 타즈매니아 대학교 IMOS 센터(<http://imos.org.au/>)에서는 해양모니터링 종합플랫폼을 구축하여 해양 관측 시스템 개발 및 운영, 통합 모니터링 연구를 수행하고 Australian Ocean Data Network (AODN)를 통하여 자료를 체계적으로 관리하고 있음

다. 독일의 해양환경 방사선/능 모니터링 연구(Integrated Measuring and Information System for Environmental Radioactivity Monitoring)

- 독일은 연방환경국(The Federal Environment Ministry(BMU)의 “Integrated Measuring and Information System for Environmental Radioactivity Monitoring” (IMIS)에서 운영 중인 Federal Monitoring Network의 control station의 기능으로 연방해운수로국(Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH)을 중심으로 발트해(Baltic Sea)와 북해(North Sea)의 해안과 연안에 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 시설을 구축하여 운영 중임. 독일에서 운영 중인 모니터링 시설은 발트해의 해안에 3개(Neustadt, Kuehlungsborn, Greifswalder Oie), 근해에 4개(Arkona Sea, Darss Sill, Fehmarnbelt, Kiel)를 운영하고 있으며, 북해에는 해안에 3개(Hoernum, Helgoland, Borkum), 근해에 3개(Northsea-Buoy III, Ems, German Bight)를 운영하고 있음



그림 2-1-6. 독일의 해양환경 방사선/능 모니터링 station



그림 2-1-7. 독일의 근해 해양환경 방사선/능 모니터링 설비

- 근해의 모니터링 station은 주로 관측타워, 바지선, 부이, 고정선박 등을 이용하여 그 아래에 계류라인을 이용하여 NaI 감마선 검출기를 계류하여, 검출된 Data는 위성통신을 이용하여 실시간으로 수집하고 있음. 해안의 모니터링 station은 암벽, 복개수로 및 잔교 등으로부터 계류라인을 고정하여 검출기를 계류하고, 무선 전화통신 등을 이용하여 Data를 송수신하고 있음

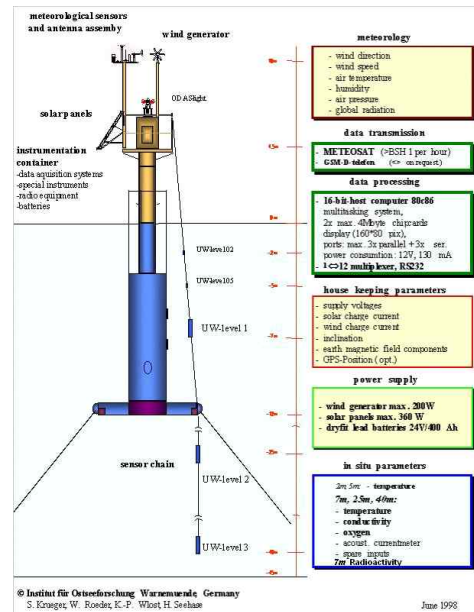
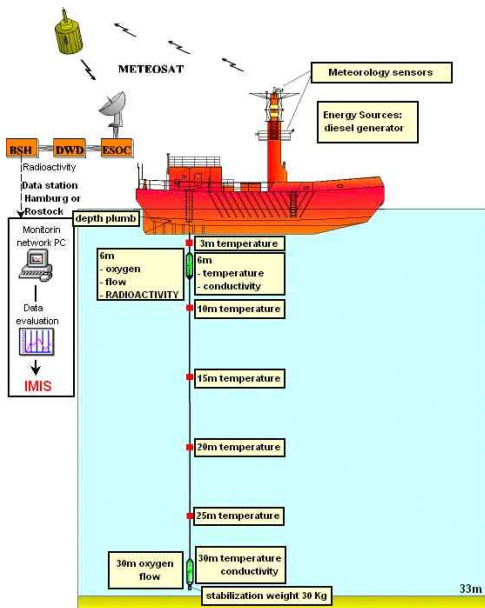
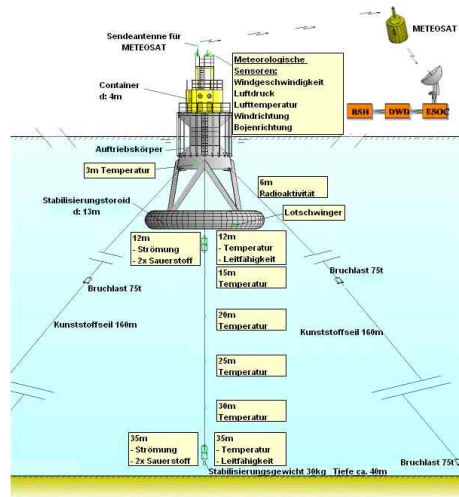
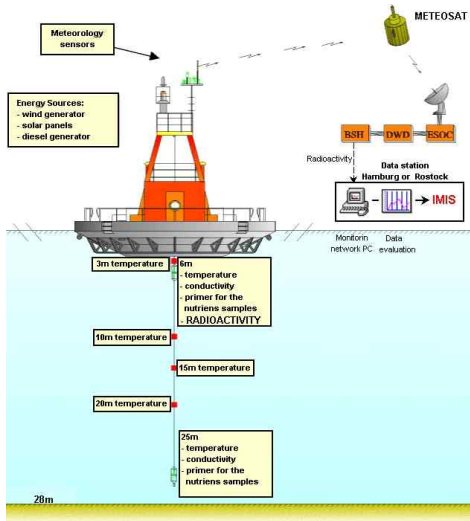


그림 2-1-8. 독일의 근해 해양환경 방사선/능 모니터링 설비 계류 모식도



그림 2-1-9. 독일의 해안 해양환경 방사선/능 모니터링 설비

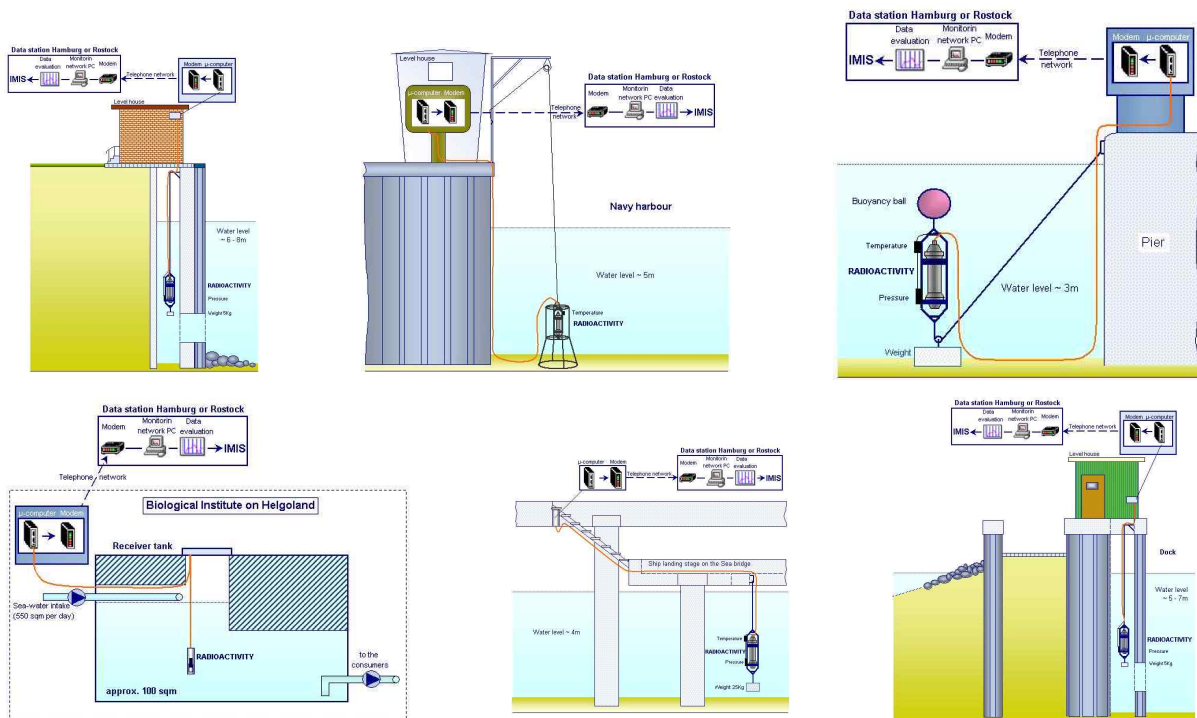


그림 2-1-10. 독일의 해안 해양환경 방사선/능 모니터링 설비 계류 모식도

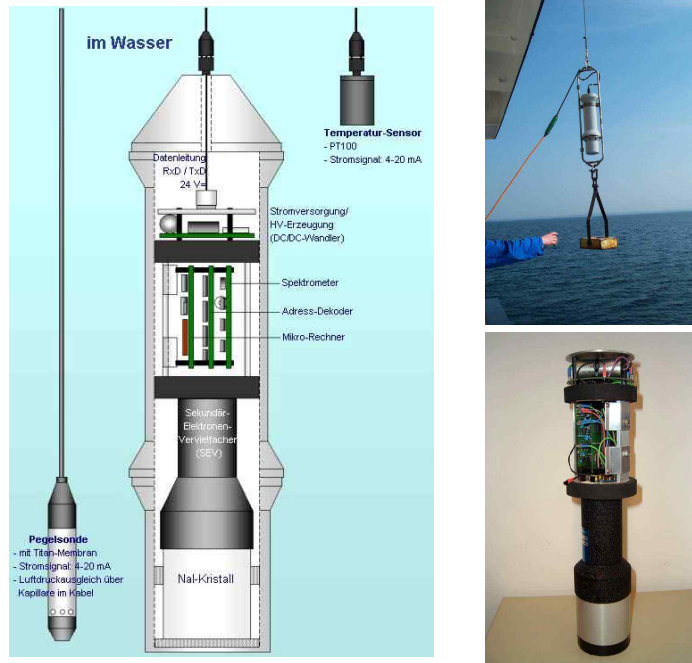


그림 2-1-11. 독일의 해양환경 방사선/능 모니터링용 Gamma Counter

Technische Daten des "in situ"- Spektrometers:

Allgemeiner Teil:

Siliconbeschichtetes Polyamidgehäuse: 15 cm x 50 cm

Masse: 5,5 kg

Stromversorgung: 24V/ 125 mA

Hochspannungserzeugung: DC/DC-Wandler 0,5 - 1,2 kV

Unterwasser-Steckverbinder: SUBCONN, weiblich, 4-polig (+24V, GND, Rx/D, Tx/D)

Temperaturbereich: 0 - 50 °C

Elektronischer Teil:

7,5 cm x 7,5 cm NaI(Tl) Szintillationsdetektor, Crismatec 76S76

10 bit-ADC, ist Komponente des Einchip-Mikrorechners SAB80C517A-N18, 64 k RAM, 64 k ROM

1024 Kanäle, mit je max. 2^{16} -Impulsen/Kanal

max. Zählrate: 1,7 Mhz

erfasster Energiebereich: 0-2MeV

Linearität: 0,3%

Echtzeituhr, batteriegestützt

그림 2-1-12. 독일의 해양환경 방사선/능 모니터링용 Gamma Counter 사양

Gamma lines of the spectra	
Energy	Nuclide
242 keV	Pb-214
295 keV	Pb-214
352 keV	Pb-214
609 keV	Bi-214
662 keV	Cs-137
1460keV	K-40
1750keV	Bi-214

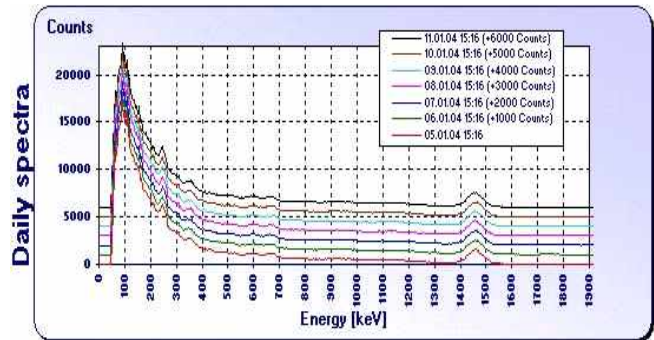
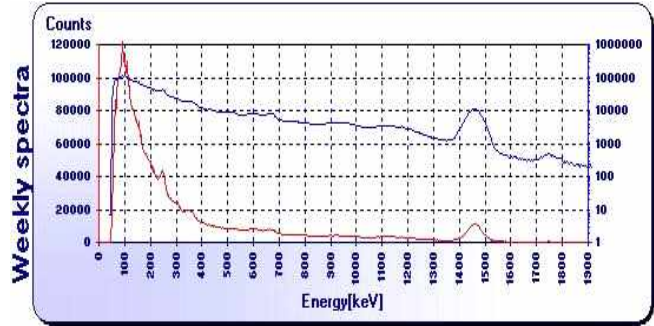


그림 2-1-13. 독일의 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 핵종 및 계수 Data

- 방사성핵종 검출에 사용된 검출기는 NaI crystal Detector를 이용하고 있으며, 검출기의 개관 및 사양은 위의 그림과 같음. 검출하는 항목은 자연방사성핵종인 ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K 및 인공방사성핵종인 ^{137}Cs 이며, 1일 누적 계수값과 1주일 누적계수값을 모니터링 하고 있음

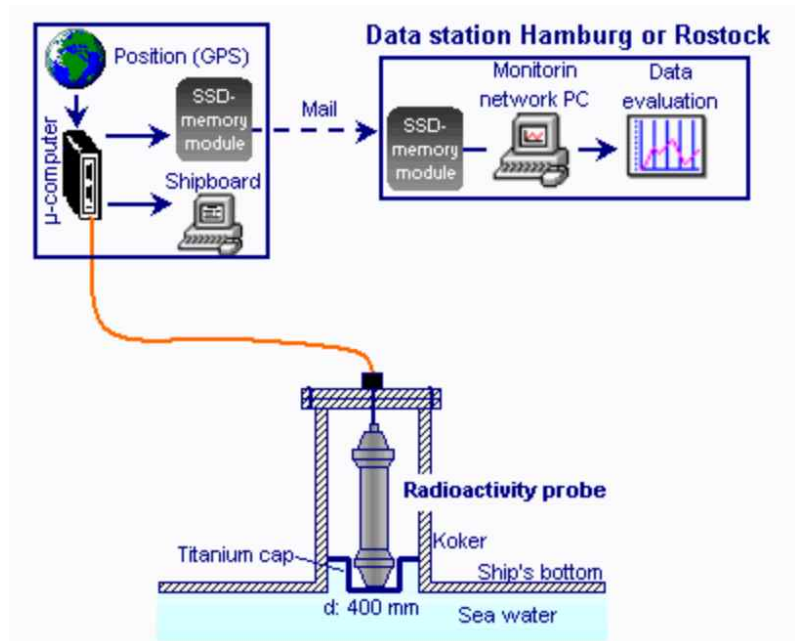


그림 2-1-14. 독일의 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링

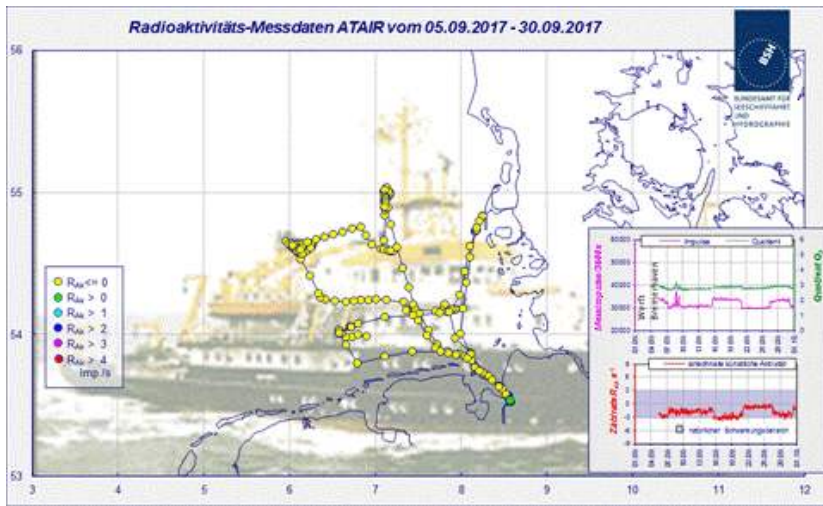


그림 2-1-15. 조사선을 이용한 독일의 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링

- 독일은 이와 같은 고정 관측점 외에도 연구선을 이용하여 조사 항목 중에 조사선의 선저에 설치된 검출기를 이용하여 검출된 방사성핵종들도 모니터링 하고 있음. 조사선을 이용한 실시간 모니터링에 이용되는 조사선과 검출시스템의 모식도 및 수집되는 자료의 형태를 위의 그림에 나타내었음

라. 스위스의 해양환경 방사선/능 모니터링 연구

- 스위스도 후쿠시마 제1원전 사고 이후 2012년 연방공중보건국(The Swiss Federal Office of Public Health, FOPH)에서 원자력발전소 아래쪽의 하천수에서 자동측정 네트워크 계획을 세우고 독일의 ENVINET사의 NaI Detector를 기반으로 한 SARA Water Detecor라는 검출기를 5개 Station에 설치함. 검출기의 검출한계는 ¹³⁷Cs에서 24시간 측정했을 경우 1Bq/l 정도임

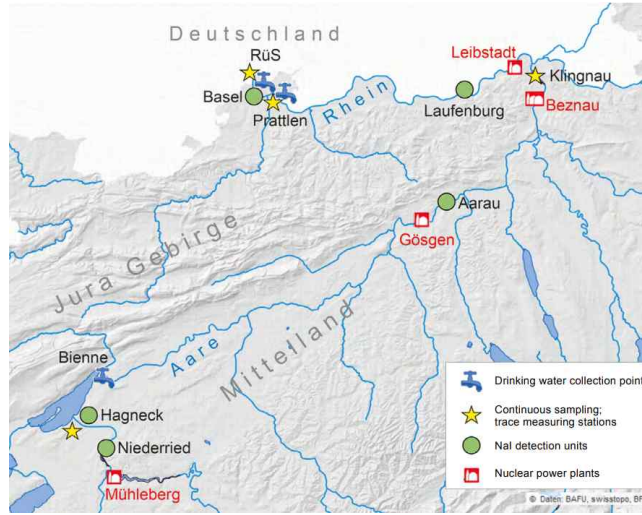
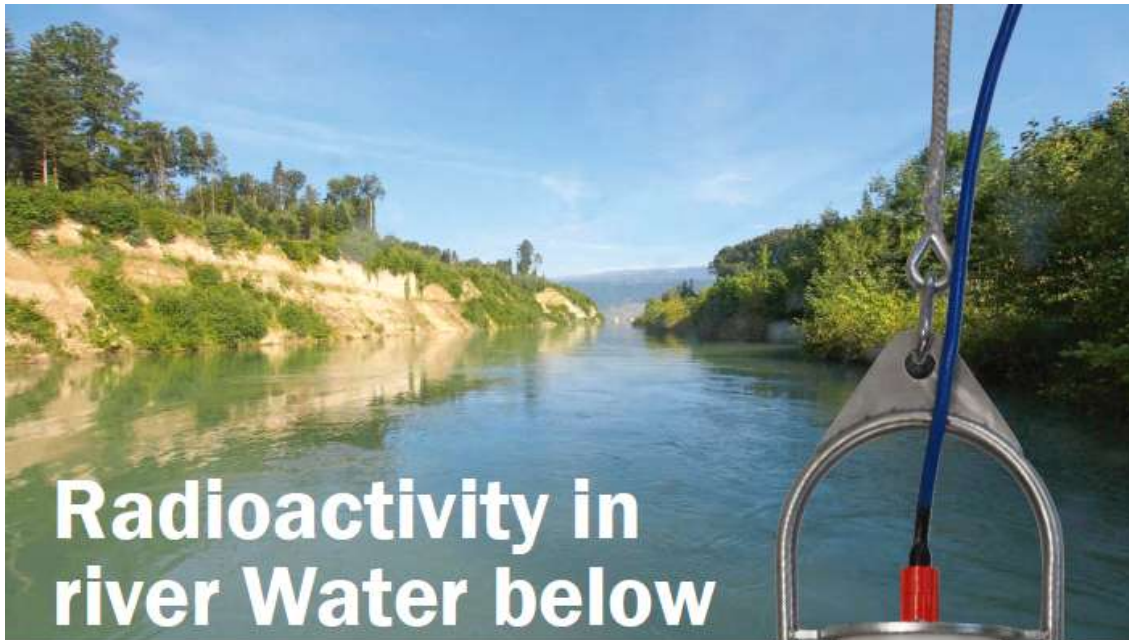


그림 2-1-16. SARA Water Detector 및 스위스의 자동 측정 네트워크

- ENVINET의 SARA water Detector에 관한 상세한 정보는 아래에 첨부한 ENVINET사에서 발행한 Newsletter에서 참고할 수 있음



Radioactivity in river Water below nuclear plants

THE NEW NETWORK MONITORS THE AARE AND THE RHINE ON AN ONGOING BASIS

Following the Fukushima nuclear disaster in 2011, large quantities of radioactive materials were washed into the sea. As a result, the constant monitoring of radioactivity in Swiss rivers was moved higher up the agenda. As of this year, five automatic probes now continuously monitor the concentration of gamma emitters in the Aare and Rhine rivers below the nuclear power plants. In the event of increased levels (e.g. if the tolerance value for cesium, ^{137}Cs is exceeded), this monitoring network quickly passes this information on.

Phillipp Steinmann, Federal Office of Public Health FOPH
Sybille Estier, Federal Office of Public Health FOPH

RADIOACTIVITY IN SURFACE WATERS

TRACES OF THE NUCLEAR AGE

The first detonations of nuclear bombs in 1945 led to the release of synthetic radionuclides into the environment. Just a few years later, during the 1950s and early 60s, the large number of aboveground nuclear weapons testing dispersed enormous quantities of radioactivity in the atmosphere (Table 1). Rainfall then leached out the radionuclides, transporting them into the soil and surface waters. This radioactive contamination reached its peak in

1963, shortly before the Nuclear Test Ban Treaty was signed in Moscow. At the time, measurements carried out in Switzerland by the "Federal Commission for Monitoring Radiation" (KliFor) recorded values of up to 40 Bq/L gross beta activity in rainwater. (The becquerel "Bq" denotes the unit of radioactive decay per second; "Bq/L" refers to this unit per liter.) In order to get an idea of the value of 40 Bq/L in rainwater, today's tolerance value for drinking water, listed in the Swiss Ordinance on Foreign



Substances and Constituents in Foods (OSEC) as 1 to 10 Bq/L for beta emitters, may be used as a basis. A large percentage of the gross beta activity applied to relatively short-lived fission products like ⁹⁰Zr or ¹⁴⁴Ce with a half-life of 65 and 280 days respectively. Today, these radionuclides can no longer be detected in the environment. Frequently used as the reference nuclide for the radioactive pollution of the environment and still traceable in environmental samples today, cesium-137 (¹³⁷Cs, half-life of 30 years) accounted for approximately 2 Bq/L rainwater in 1963. Tritium (³H) is not included in the gross beta activity. Its activity in rainwater in 1963 reached 300 Bq/L (the mean level in western Europe). As tritium is less radiotoxic, this level is well below the tolerance value of 1000 Bq/L. When Switzerland started monitoring tritium activity in 1966, the first readings indicated a maximum of 120 Bq/L tritium in rain (with a mean of approximately 40 Bq/L). Furthermore, the gross beta activity in rain had already decreased by a factor of more than 10 by 1966 (maximum of 2.5 Bq/L, mean of almost 1 Bq/L). As the majority of radioactive materials are retained in soil, the radioactivity level detected in the rivers was invariably below that of rain. For 1963, the KUEr reported gross beta activities in river water of between 0.5 and 1 Bq/L. Today, the occasional traces of artificial radioactivity in river water samples amount to a mere one thousandth of this level (Table 2).

From the 1970s onwards, the issue of discharges from the newly erected nuclear power plants (NPP) into surface waters became an issue and had to be included in the monitoring network. In particular, the contaminated material disposed of in the Irish Sea by the nuclear fuel reprocessing and decommissioning site at Sellafield hit the headlines.

In 1986, the Chernobyl reactor disaster led to the contamination of large areas of Europe, particularly due to ¹³⁷Cs. There was a significant increase in ¹³⁷Cs activity in soil and foodstuffs, as well as in surface waters. Up to 10 Bq/L ¹³⁷Cs were detected in some samples of drinking water in Switzerland, with reservoir water reading up to several 100 Bq/L. In September 1986, five months after the accident, ¹³⁷Cs activity in Lake Lugano was approximately 1 Bq/L.

FUKUSHIMA AND SWITZERLAND

In spring 2011, 25 years after Chernobyl, the tsunami triggered by the great Tohoku earthquake destroyed the nuclear reactors of the

Fukushima Daiichi nuclear power plant complex. This led to large quantities of radioactivity being released into the sea along with the discharge of the water used for cooling and for extinguishing the fire. Extremely high ¹³⁷Cs concentrations of up to 68,000 Bq/L were measured in the seawater in the immediate vicinity of the releases [2]. Although, due to

the strong dilution, these concentrations dissipated rapidly and no problematic concentrations were detected in offshore waters [2], the events in Japan raised awareness of the possibility of a contamination of surface waters in the wake of a nuclear disaster. In the aftermath of Fukushima, as in many other countries, Switzerland reviewed and revised its emergen-

From 1952	As a result of aboveground nuclear tests, artificial radioactivity enters the atmosphere and surface waters.
1956	The Federal Commission for Monitoring Radiation (KUEr) is founded in Switzerland and begins analysing samples of river water
As of 1970	Nuclear power plants are put into operation
1986	Nuclear accident in Chernobyl; large areas of Europe are contaminated
From 1990	Eawag carries out specific studies into the activity of synthetic radionuclides from nuclear power plants in the Aare and Rhine rivers [1]; monthly measurements begin in the trace range (mBq/L)
March 2011	Fukushima Daiichi nuclear disaster, releasing large quantities of radioactivity into the sea [2]
2012	Following discussions with SVGW and ENSI, the FOPH plans to establish an automatic monitoring network for river water using NaI scintillators. Publications with scenarios of "Fukushima discharges" in Switzerland [3,4]
2013	Political calls for action regarding radioactivity in surface waters [5]; Swiss Federal Council ratifies an automatic monitoring network (May); the first NaI probe is installed in Basel (June)
2014	Publications on the dispersion of discharges from the nuclear power plants in the rivers [6] and the impact on the drinking water supply [7]; NaI probes are installed in Niederried and Aarau (June)
2015	Probes are commissioned in Laufenburg (January) and near Hagneck (June). Daily readings of the NaI river monitoring probes are published on www.radenviro.ch (under "URAnet aqua" monitoring network, from November 2015)

Table 1 Some of the milestones in establishing the automatic monitoring of radioactivity in river water

[mBq/l]	Rainwater	River water (Hagneck)	Groundwater	Drinking water (Biel treatment plant)
⁴⁰ K (nat)	-	1-30	< 2	-
⁷ Be (nat)	100-3300	2-25	< 1	< 2
²¹⁰ Pb (nat)	10-140	< 1-40	< 10	< 4
³ H (nat/syn)	1 000-60 000	1 000-10 000	-	-
¹³⁷ Cs (syn)	< 100 (-600)	< 0,1-3	< 0,3	< 0,4
⁶⁰ Co (syn)	-	< 0,1-3	< 0,2	< 0,4
⁵⁴ Mn (syn)	-	< 0,1-1	-	< 0,4
⁶⁵ Zn (syn)	-	< 1	< 0,3	< 1
^{239,240} Pu (syn)	-	0,003-0,009	-	-

Table 2 Concentrations and concentration ranges in mBq/L of natural (nat) and synthetic (syn) radionuclides, which have been recorded in the last few years in various types of water samples (1 mBq/L = 0.001 Bq/L) (Fotos: FOPH and ENVINET GmbH)

cy scenarios and contingency plans. Particular attention was paid to the contamination of surface waters and drinking water, partly as a result of a study on the potential consequences of an accident in a Swiss nuclear power plant, with similar discharges of radioactive material as in a block of the Fukushima Daiichi NPP [3]. In this context, and following discussion with the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI and the Swiss Gas and Water Industry Association SVGW, in 2012, the Federal Office of Public Health FOPH began planning an automated measuring network to monitor the river water below the nuclear power

plants. Suitable monitoring probes had come onto the market in recent years; therefore, the technical basis had already been established. The undertaking was supported by a number of political calls for action and a commission from the Federal Council (Table 1).

CURRENT LEVELS OF RADIOACTIVITY IN SURFACE WATERS

Essentially, the current level of radioactivity in Swiss surface waters originates from four main sources:

- Leaching of radioisotopes from the atmosphere via rainwater

- Leaching of radioisotopes from the soil
- (Authorized) discharges from nuclear power plants, research facilities and companies
- Medical discharges

The first group is made up of cosmogenic ⁷Be, i.e. created by cosmic rays in the upper atmosphere, and the likewise naturally occurring radon progenies (including ²¹⁰Pb).

The nuclides of the natural decay series of uranium and thorium may be washed out of the soil, together with older deposits (i.e. particularly ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and traces of plutonium). Besides ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and tritium, the liquid

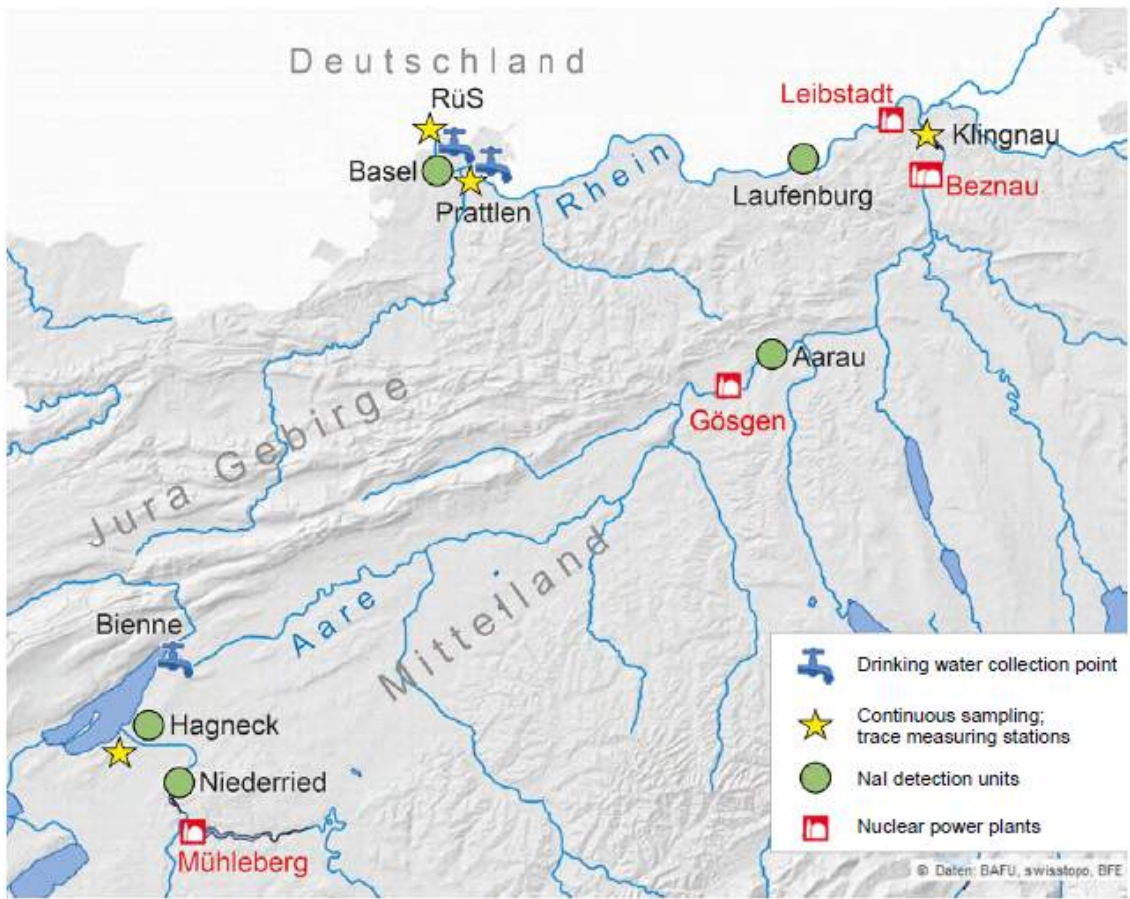


Figure 1 Sites of the Nal detectors; Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag) stations with continuous sampling for trace measurement (Hagneck, Klingnau and Pratteln); the Rhine monitoring station RüS Weil a.Rh. (measurements carried out in the Cantonal Laboratory Basel City); drinking water collection points in Lake Biel and the Rhine (Pratteln and Basel)

discharges from nuclear installations, the PSI and the interim storage facility ZWILAG primarily contain activation products like ^{59}Co , ^{60}Co and ^{54}Mn . The companies and incineration plants mainly produce tritium and ^{14}C . Nuclides like ^{131}I , ^{90}Y , ^{177}Lu and the new ^{223}Ra are the result of medical applications. As shown in Table 2, the natural radioisotopes ^{210}Pb , ^{40}K , ^7Be and tritium, the majority of which occur naturally nowadays, are predominant in river water. For the most part, synthetic radio-nuclides only occur in very small activities of less than mBq/L (0.001 Bq/L).

MONITORING SURFACE WATERS

The current monitoring network of radioactivity in precipitation, surface waters and groundwater comprises 21 rainwater collectors (11 of which measure the gamma nuclides + tritium, 10 tritium only), 16 sample stations for river water (11 gamma + tritium, 5 tritium only) and four groundwater collection points. Besides water samples, sediments, aquatic plants and fish are also studied. The Eawag trace measuring stations of Hagneck, Klingnau and Pratteln form an essential part of the system of monitoring measures (Figure 1). The stations collect river water in proportion to the outflow on an ongoing basis. Every month, the collected water is concentrated (hydroxide precipitation) and then subjected to a gamma-spectroscopic analysis. This is the only method of obtaining sufficiently low detection thresholds to be able to record

the current low concentrations and calculate the monthly levels. Another crucial collection point is the Rhine monitoring station at Weil am Rhein, where the Cantonal Laboratory Basel City supervises the radioactivity measurements. In addition to the abovementioned partners, the FOPH also collaborates with the PSI, CHUV-IRA (Lausanne), the University of Geneva and Suva to monitor the surface waters. As of this year, five additional automatic, continuously measuring NaI detection units have been integrated in the monitoring network (Figure 1).

AUTOMATIC MONITORING OF THE RIVERS USING NaI DETECTORS

TASKS PERFORMED BY THE AUTOMATIC NAI DETECTION UNITS

The new, automatic monitoring probes are designed to rapidly detect significantly elevated levels of radioactivity in river water. The detection limit of approximately 1 Bq/L enables a lower reporting threshold to be set in the range of the OSEC tolerance value, which is 10 Bq/L for ^{137}Cs . In accordance with the OSEC limit for drinking water, a second threshold has been determined, namely 1000 Bq/L for ^{137}Cs , which triggers an alarm. If the lower reporting threshold is exceeded, the text messaging service notifies the responsible FOPH

office, which then verifies the readings, identifies the cause of a possible contamination and forwards the information. If the second threshold is exceeded, the National Emergency Operations Centre is alerted immediately, which initiates the appropriate action.

Even the exceedance of tolerance values are detected and reported, thereby enabling the necessary steps to be taken before there is any risk to public health as a result of radionuclides in drinking water. Nevertheless, as the authorized discharges have been specified to ensure compliance with the tolerance value, it is unlikely that this will ever be exceeded during the day-to-day operation of nuclear power plants. Therefore, the NaI detection units are not designed to replace the Eawag's monthly measurements: these are even able to document minimal discharges from nuclear installations due to their detection threshold, which is more than a thousand times lower.

MEASURING NETWORK

In light of the original discussions with the SVGW, it made sense to install the first probe in the Rhine or, to be more precise, in the data processing center of the Industrial Werke Basel (IWB) at the sampling point where the waters of the Rhine are used to produce drinking water in the Langen Erlen area. The first installation confirmed that the chosen technology met the specified objectives and that adequate monitoring was in fact feasible

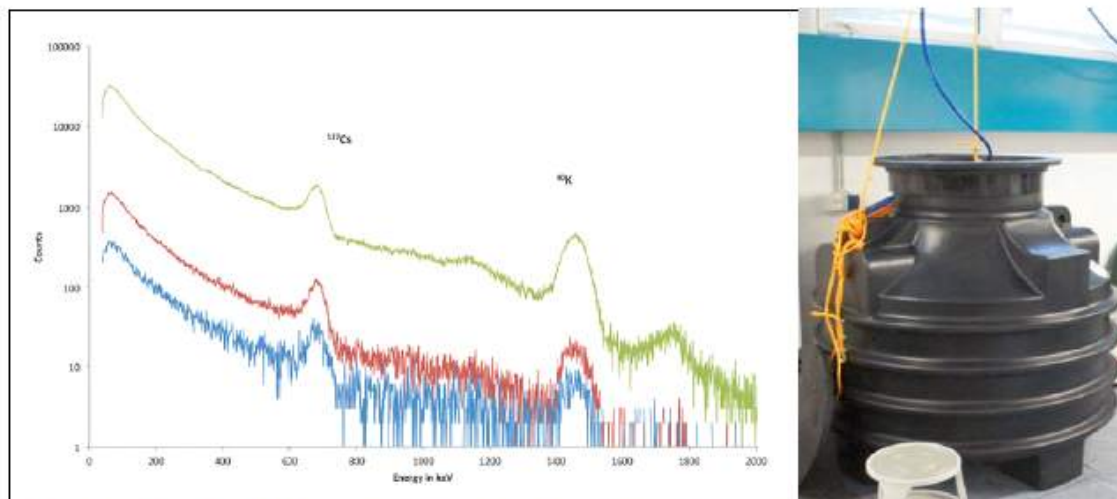


Figure 2 Comparison of 10-minute, 1-hour and 24-hour spectra (from bottom to top) of water with 7.8 Bq/L ^{137}Cs in a 1000 L barrel (Spectra and photo: Envinet GmbH)

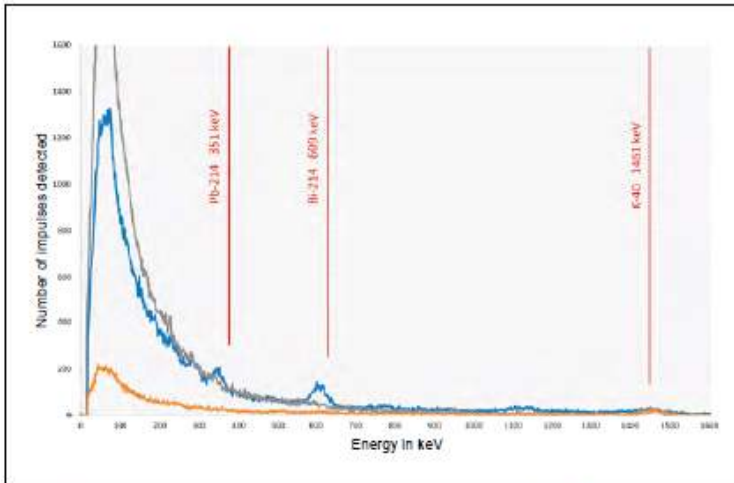


Figure 3 Comparison of 1-h spectra at low water, probe A (orange curve), high water in the fixed probe A (blue curve) and high water in a freely suspended probe B (gray curve). Probe A detects significantly more radon progenies in high water (peaks of ^{214}Pb and ^{214}Bi). In the case of B, the entire subsurface is elevated at high water as the probe is floating (see text)

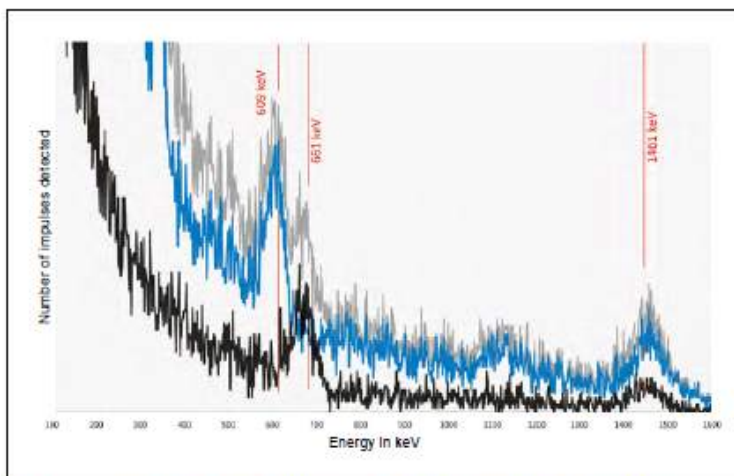


Figure 4 Comparison of 1-h spectra in Aare water at high water (blue curve) in water with 7.8 Bq/L ^{137}Cs in a 1000 L calibration tank (black curve, spectrum courtesy of ENVINET GmbH). The resolution of the NaI detector enables a clear differentiation between the 661 keV peaks of ^{137}Cs and the 609 keV peaks of the radon progeny ^{214}Bi . The sum of the two spectra (gray curve) illustrates that 7.8 Bq/L ^{137}Cs could even be detected in the elevated subsurface of high water. The 1461 keV peak is due to naturally occurring ^{40}K (Spectra: FOPH)

at reasonable expense. The other detection units were thus to be positioned accordingly so as to monitor the water below the nuclear power plants. The FOPH deemed a distance of 5 to 20 km downriver from the NPP to be appropriate for measuring the water independently of NPP operators in a manner that was representative for each section of the river. At this distance, river water is largely mixed, and yet there is still sufficient time to inform the drinking water plants that are located further down the river if the water sample exceeds the recommended levels.

The search for potential locations focused in particular on the waters upstream from retaining weirs, where there is a relatively constant water level and some sites are not exposed to strong currents. Thanks to the active support of the companies enlisted (BKW Energie AG, IBAarau Kraftwerk AG, Energiedienst Holding AG Laufenburg), three suitable locations were quickly identified. Niederried Station is situated 5 km downstream of Mühleberg NPP but above Wnburg Station is 14 km below Leibstadt NPP and 27 km downriver of Beznau NPP, but above the drinking water collection points in Pratteln and Basel. Hagneck Station, which was established 18 km below Mühleberg NPP in cooperation with the Federal Office for the Environment FOEN and the Federal Institute of Metrology METAS, ensures redundancy for Niederried Station while allowing a direct comparison of the EA-wag's trace radioactivity measurements and the FOEN's hydrological measurements under one roof.

MEASURING TECHNOLOGY

The deployed probes contain $3''$ NaI (sodium iodide) detectors, which have a visibility range⁴ in water of around one meter. The NaI crystals register the gamma radiation and the probe records an energy spectrum (compare Figure 2–4). The energy resolution of the NaI spectra is considerably coarser than the spectra of the germanium detectors used in the laboratory. It is nonetheless sufficient to differentiate between natural and synthetic radionuclides. In addition to the natural nuclides (^{40}K , radon progenies $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$, thoron progeny ^{212}Pb), the probes' configuration also enables them to detect synthetic radionuclides. The synthetic radionuclides captured by the probe include nuclear fission products (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{132}Te , ^{140}La , ^{103}Ru , ^{99}Mo) as well as the activation products caused by neutron radiation (^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn). The

probes record each of the spectra over a period of ten minutes; they are then analysed by the embedded PC and forwarded to the monitoring center. Once a full hour has elapsed, the six 10-minute spectra are added together and re-evaluated, which allows for a lower detection threshold (1 Bq/L for ^{137}Cs). A slightly better detection threshold is obtained in the daily analyses (a total of 24 hour spectra) (Figure 3). A small amount of a potassium salt is incorporated in the detector for energy calibration, therefore the ^{40}K peak in the energy spectrum is present in all spectra. The 10-minute spectra often do not present any other peaks. However, several peaks of the natural nuclides ^{214}Bi and ^{214}Pb are clearly visible in most of the hour spectra, particularly at high water when a large number of radon progenies enter the river (Fig. 3). Figure 4 studies the impact of increased natural radiation on the detection threshold for synthetic nuclides, e.g. ^{137}Cs . A comparison of the spectra shows that it is still possible to definitively detect a concentration of slightly below the tolerance value, despite a high contribution of natural radiation. In addition to the activities of the

individual nuclides in "Bq/L" (decays per second per liter), the probe also calculates the dose rate from the spectrum in "nSv/h" (nanosievert per hour) – a unit that expresses radiation intensity at the measuring point, from which the radiation dose can be derived.

INSTALLATION AND MAINTENANCE

Due to its "visibility range", the detector unit should ideally be surrounded by at least a meter of water on all sides. To this end, the probe is lowered into the water on a cable, which is attached to the top edge of the frame. A second (steel) cable is fixed to the bottom of the hoist, looped through a ring below the probe and thereafter extends back up to the surface of the water (Figure 5). Loosening the lower steel cable enables the detector unit to be pulled up on the upper cable for maintenance. The probe can then be repositioned by tautening the lower cable again. If there is no lower cable, a heavier flow pushes the probe towards the surface, which leads to an increase in the recorded dose rate. On the other hand, the risk of being carried away by large pieces of floating debris is much lower

for a floating probe than if it is permanently installed. Therefore, care was taken to place a pole upstream of the probes that are fixed on both sides to protect them from floating debris. A blue undersea cable between 20 to 30 meters long connects the detection units to a weatherproof box containing a GPRS modem and a battery in case of power outages. The data monitoring center retrieves the readings and status reports at regular intervals via modem. Data transfer takes place via the Swiss-MetNet automatic monitoring network hosted by MeteoSchweiz.

Maintenance work includes cleaning every six months and an annual constancy test using a screw-on reference source (^{137}Cs).

EXPERIENCE TO DATE

As stated, apart from the peaks of ^{40}K (the potassium salt incorporated in the detector for calibration) and $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ (radon progenies), no other peaks are visible in the spectra provided by the monitoring probes under normal conditions. In other words, the individual radionuclides are below the detection threshold. By contrast, the dose rate can be specified at all times. Therefore, for normal operation, the chronological sequence of the dose rate is the best indication of the fluctuations and anomalies in the readings. The most striking reading is the extremely small dose rate: at a mere 2 nSv/h, it is low compared to the local dose rate of approximately 100 nSv/h, commonly recorded 1 m aboveground in the Central Plateau. This is because the surrounding water serves as an effective screen, shielding the detector from cosmic and terrestrial radiation. Brief spikes (increases) of the dose rate recorded in the river water may become apparent in lengthy series of measurements. These are almost invariably linked to heavy rainfall and thunderstorms (Figure 6). An analysis of the spectra shows that, in these situations, it is primarily the peaks of the radon progenies that rise sharply, as illustrated in Figures 2 and 3. Torrential rain washes them out of the soil (and also directly from the air) into the rivers. It cannot be determined with absolute certainty whether radon itself is also discharged into the river water from the soil, lingering there long enough to add to the signal. Moreover, several of the dose rate 'storm peaks' also display an increased ^{40}K peak, like the thunderstorm on 11 August 2014 in the Canton of Bern (Figure 6). This can be ac-



Figure 5 A) Plan for installing a water probe on an underwater structure;

B) A hoist mounted on the riverbank;

C) The lower anchoring system

The hoist holds the blue connector cable and the supporting steel cable in place underwater.

The lower steel cable is used to position and secure the probe

(Image A: D. Wyder, Metas; Image C: taf-taucharbeiten ag)

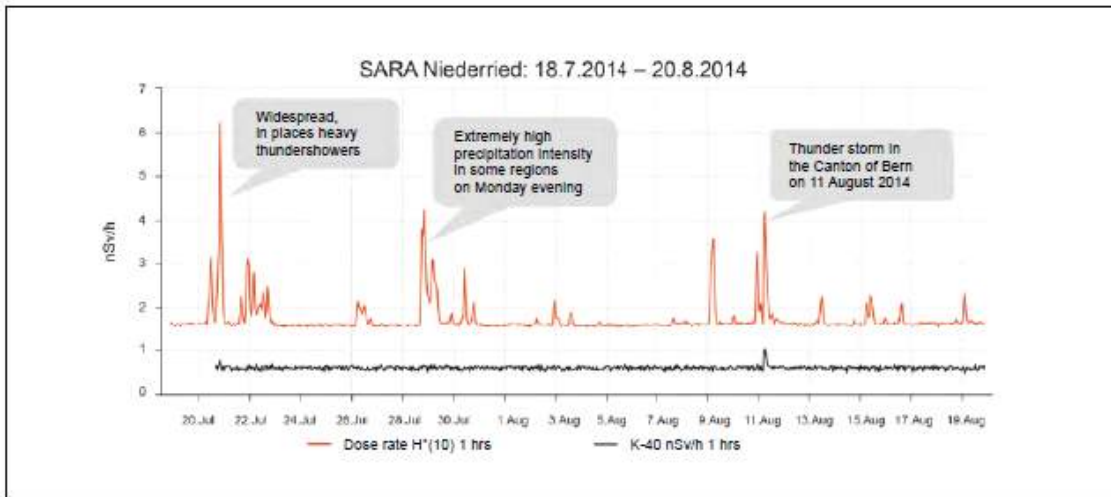


Figure 6 Time series for the dose rate and K (here in units of nSv/h) measured at Niederried Station (Spectra: FOPH)

counted for by vast quantities of water with a high concentration of suspended particles, including potassium-rich clay minerals. A probe that is freely suspended in water indicates a special "high water increase" in the dose rate. As the probe floats upwards at high tide, it is shielded by a thinner layer of water. Therefore, a larger contribution of cosmic rays increases the radiation reading. This explanation is supported by the observation that, although this probe recorded spectra with a higher overall level at high water, they do not show any significant peaks for radon progenies (Figure 3). In this case, therefore, the radon progenies are not the cause of the signal increase. To date, the NaI probes have not detected any synthetic radionuclides.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Albrecht, A.; Beer, J. (1995): Verhalten von Radionukliden aus Kernkraftwerken in Aare und Rhein. Schlussbericht. Eine Eawag-HSK-Studie. http://static.ensi.ch/1373885099/eawag_report_1995_001.pdf
- [2] Smith, J.N. et al. (2015): Arrival of the Fukushima radioactivity plume in North American continental waters, PNAS 112 (5), 1310-1315. www.pnas.org/content/112/5/1310.full.pdf
- [3] Küppers, Ch.; Ustohalova, V. (2012): Mögliche Folgen eines Unfalls im KKW Mühleberg bei ähnlichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe wie aus einem Block des KKW Fukushima Daiichi. Herausgegeben vom Öko-Institut e.V. www.oeko.de/oekodoc/1539/2012-399-de.pdf
- [4] Ensi (2012): Radiologische Konsequenzen einer Freisetzung des Fukushima-Wasserpfad-Quellterms in Aare/Rhein am Standort der schweizerischen Kernkraftwerke. http://static.ensi.ch/1431002938/radiologische_konsequenzen_fukushima_aare-rhein.pdf
- [5] Several (2013/2014): Politische Vorstösse zum Thema "Radioaktivität in Oberflächengewässern": Motion 13.3294; Motion 13.3877; Motion 13.3683; Anfrage 14.1030 (alle eingereicht im Nationalrat; Details siehe www.parlament.ch/d/dokumentation/cunavista). Interpellation 2013.RRGR.11083 (Grosser Rat, Kanton Bern, www.gr.be.ch)
- [6] Ensi (2014): Faustregeln zur Abschätzung der Aktivitätskonzentrationen und der Fließzeiten nach einem KKW-Unfall mit einer Abgabe von radioaktiven Stoffen in Aare bzw. Rhein. http://static.ensi.ch/1423582328/faustregeln_radioaktivitaet_ausbreitung_fuesse_kkw-unfall.pdf
- [7] Ustohalova, V.; Küppers, Ch.; Claus, M. (2014): Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung. Herausgegeben vom Öko-Institut e. V. www.oeko.de/oekodoc/2116/2014-672-de.pdf



ENVINET GmbH
Hans-Pinsel-Str. 4
85549 Haar / Munich
Germany
+49 (89) 45 66 57-0
info@envinet.com
www.envinet.com

마. 국외 예보시스템 구축 현황

- 연안 해역(Coastal ocean)의 제 현상은 대륙사면 효과, 천수변형에 의한 파랑의 비선형성, 해저면 및 해안지형 효과 및 하천 영향 등으로 인해 매우 복잡하지만 다양한 유무인 첨단 관측장비 개발로 현상에 대한 이해도가 높아졌음
- 한편, 컴퓨터의 계산 성능이 발전함에 따라 수치모형을 이용한 준실시간 예보가 가능해졌으며, 이제 이러한 수치모형 예보시스템은 연안해역과 지역해(regional sea) 관리의 핵심 인프라(key infrastructure)로 간주되고 있음(Fringer et al., 2019)
- 1980년대 초부터 파랑과 폭풍해일 단기예보에 수치모형실험이 활용되기 시작하였으며(Bell et al., 2015), 1980년대부터 3차원 해수유동 수치모형이 활발하게 개발되어 현재 다양한 해수유동, 파랑 및 생태모형이 연안해역의 연구·관리에 활용되고 있으며, 주요 해양국들은 자국 지역해 현상 파악 및 관리를 위해 준실시간 예보체계를 운영하고 있음

Model	Citation	C: Coastal, R: Regional, G: Global	Finite-volume (FV) or Finite-element (FE)	Vertical coordinate	Notes/unique features
ADCIRC	Luettich et al. (1992) Westerink et al. (1994)	C	FE	Sigma	Continuous/Discontinuous Galerkin
COAWST	Warner et al. (2008, 2010)	C/R	FV	Sigma	Coupled Atmosphere/wave/sediment
COSINE	Chai et al. (2002, 2003, 2007)	C/R	-	-	Biogeochemical model
Delft3D-Flow/Delft3D-FM	oss.deltares.nl/web/delft3d/home	C	FV	Sigma	
ECOM-si/POM	Blumberg and Mellor (1987)	C/R	FV	Sigma	
FunwaveC	Feddersen et al. (2011)	C	FV	2D (x-y)	2D Boussinesq wave model
FVCOM	Chen et al. (2003)	C/R/G	FV	Sigma	
GETM	Burchard and Bolding (2002)	C	FV	Sigma/Adaptive	Numerical mixing analysis
GOTM	Burchard et al. (1999)	C	-	1D (Z)	Turbulence Model
HYCOM	Bleck and Boudra (1981)	R/G	FV	Sigma/Z/Isopycnal	Hybrid/Isopycnal coordinates
MARS3D	Lazure and Dumas (2008)	C/R	FV	Sigma	
MITgcm	Marshall et al. (1997a)	C/R/G	FV	Z	Shaved cells
NHWAVE	Ma et al. (2012) Shi et al. (2015)	C	FV	Sigma	Nonhydrostatic 3D wave model, LES
ROMS	Shchepetkin and McWilliams (2005)	R	FV	Sigma	
SCHISM	Zhang et al. (2016)	C/R	FV/FE	Z/Sigma	Locally-adaptive vertical coordinate
SELFE	Zhang and Baptista (2008)	C	FV/FE	Z/Sigma	
SLIM	Vallaeyts et al. (2018)	C/R	FE	Z/Sigma/Adaptive	Discontinuous Galerkin
SUNTANS	Fringer et al. (2006)	C	FV	Z	
SWAN	Booij et al. (1999)	C/R	FV	2D (x-y)	Phase-averaged wave model
SWASH	Zijlema et al. (2011)	C	FV	Sigma	2D/3D Boussinesq wave model
TRIM/UnTRIM	Casulli (1999) , Casulli and Zanolli (2002, 2005)	C	FV	Z	Subgrid bathymetry
WaveWatch III	Tolman (2009)	R/G	FV	2D (x-y)	Phase-averaged wave model
WRF-Hydro	Gochis et al. (2018)	C/R	-	-	Atmospheric/hydrological model

그림 2-1-17. 주요 해수유동·파랑·생태 수치모형의 특징(Fringer et al., 2019)

Acronym	System Name	Country	Domain(s)
ESTOFS	Extratropical Surge and Tide Operational Forecast System	USA	US East, Gulf of Mexico and West Coasts, up to the Gulf of Alaska.
FKeyS-HYCOM	Florida Straits, South Florida and Keys Hybrid Coordinate Ocean Model	USA	Florida Straits and the South Florida coastal and shelf areas
NWPS	Nearshore Wave Prediction System	USA	Coastal Waters of all US territories
NYHOPS	New York Harbor Observing and Prediction System	USA	Coastal waters of the Middle Atlantic Bight on the East Coast of the US (<200 m deep).
I OFS	Operational Forecast System	USA	All major estuaries and coastal systems of the US
P-Surge	Probabilistic Surge	USA	Coastal and overland areas of all US territories
REMO	Oceanographic modelling and observation network	Brazil	Western Equatorial and South Atlantic Ocean
SLGO	St. Lawrence Global Observatory	Canada	Gulf of St. Lawrence
WCNRT	West Coast Near Real Time Data Assimilation System	USA	West US Coast, California Current System
CGOFS	Chinese Global operational Oceanography Forecasting System	China	Global and Regional seas around China
II ESROM_MOM	Regional ocean modelling system	South Korea	East Sea (Japan Sea)
eReefs	eReefs Marine Modelling	Australia	Australian coastal margins
MOVE/MRI	MRI Multivariate Ocean Variational Estimation System / MRI Community Ocean Model	Japan	Global, North Pacific, Western North Pacific, Coastal region around Japan
YS_ROMS	Korea operational oceanography system	South Korea	Yellow Sea and East China Sea
AFS	Adriatic Forecasting System	Italy	Adriatic Sea and Northern Ionian Sea
COSYNA	Coastal Observation System for Northern and Arctic Seas	Germany	North Sea, German Bight, German Wadden Sea
MFS	Mediterranean Ocean Forecasting System	Italy	Mediterranean Sea
III NEMO-FOAM	NEMO FOAM Operational Modelling	United Kingdom	European Northwest continental shelf
POSEIDON	Regional monitoring and forecasting system	Greece	Aegean and Mediterranean Seas
PREVIMER	PREVIMER Coastal observations and forecasts	France	Bay of Biscay / English Channel / Northwestern Mediterranean Sea

그림 2-1-18. 주요 지역해 예보체계 - I: 아메리카, II: 아시아-호주, III: 유럽(Kourafalou et al., 2015)

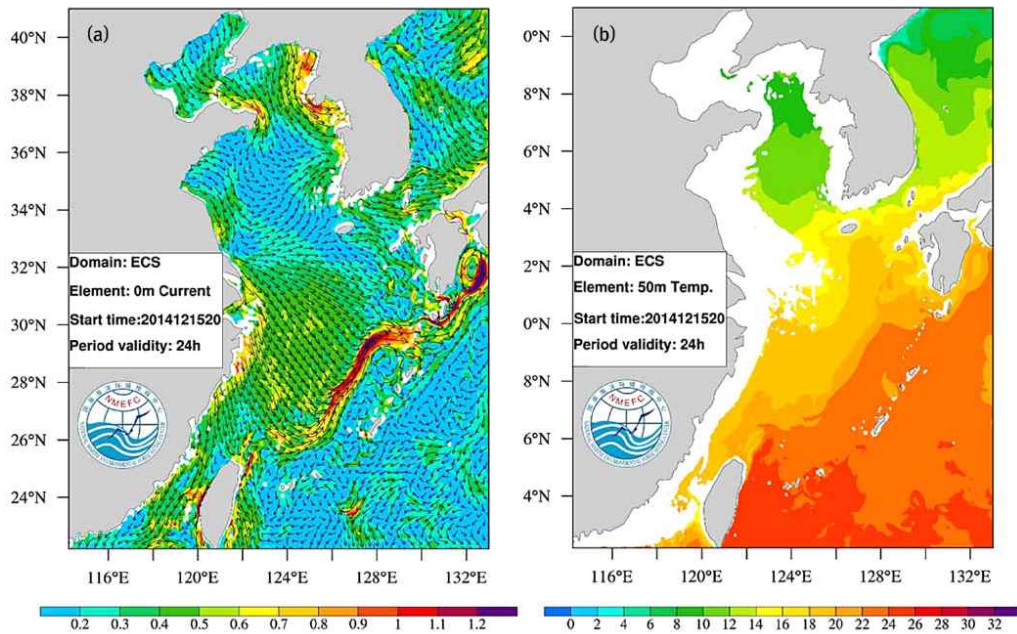


그림 2-1-19. 중국의 24시간 예보체계 CGOFS_ECS 결과: (a) 표층해류, (b)수심 50 m 층 수온(Kourafalou et al., 2015)

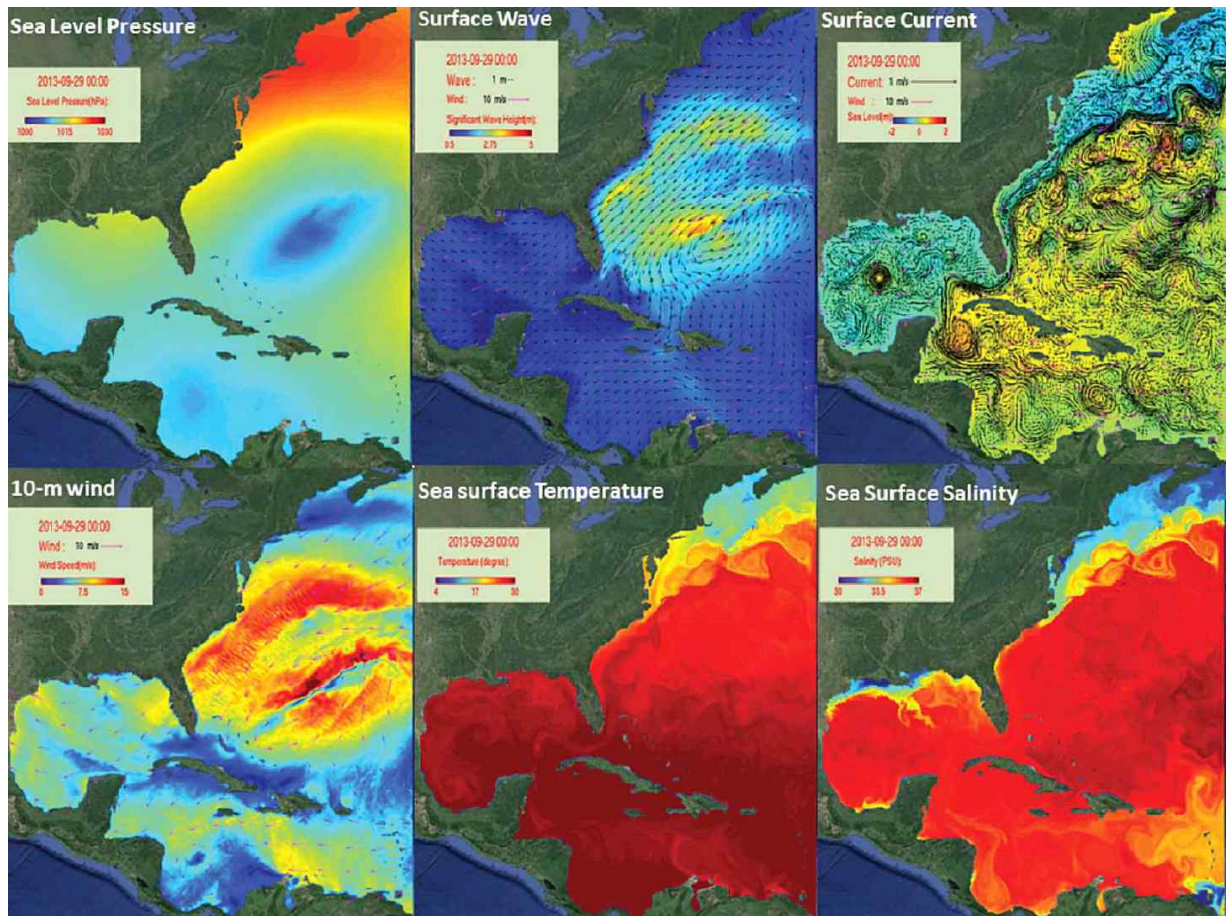


그림 2-1-20. 대기-해양-파랑-퇴적물 모형이 결합된 미국의 72시간 예보체계 COAWST 결과(Kourafalou et al., 2015)

바. 국외 호주 대보초 준실시간 관리 플랫폼 eReefs 구축 현황

- 준실시간 예보체계를 이용하여 연안환경을 감시·보전하는 가장 대표적인 사례가 호주 대보초(大堡礁, The Great Barrier Reef)의 지속가능성을 위한 시스템 eReefs임
- 세계자연유산에 등재된 호주 퀸즐랜드 소재 대보초는 연장이 2,300 km에 이르는 세계에서 가장 규모가 큰 산호초 생태계로서 그 생태적 가치가 45조원에 이르며, 경제적으로 매년 5조원의 편익과 64,000개의 일자리를 만들어내는 천혜의 자연자산임(Deloitte, 2017)
- 그러나 수온상승, 수질악화, 다양한 연안개발과 선박항행 및 천적인 악마불가사리 등에 의해 대보초가 점차 훼손되고 있으며, Berkelmans et al. (2004)에 따르면 1988년에는 약 42%의 면적에 백화현상이 발생하였으나 2002년에 54%로 증가하였고, 이 가운데 약 18%는 백화정도가 심하였음
- 이에 호주는 대보초를 보호하기 위한 정부의 의지 실현과 세계수준의 과학혁신 및 관광산업 선도를 위해 호주에서는 처음인 포괄적인 대보초 연안정보체계 구축을 위한 사업 eReefs를 2012년 1월 착수하였으며, 국립 자연과학연구기관인 CSIRO (Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization)가 주축이 되어 시행된 eReefs의 사업기간과

사업비는 6년 3,000만 달러임

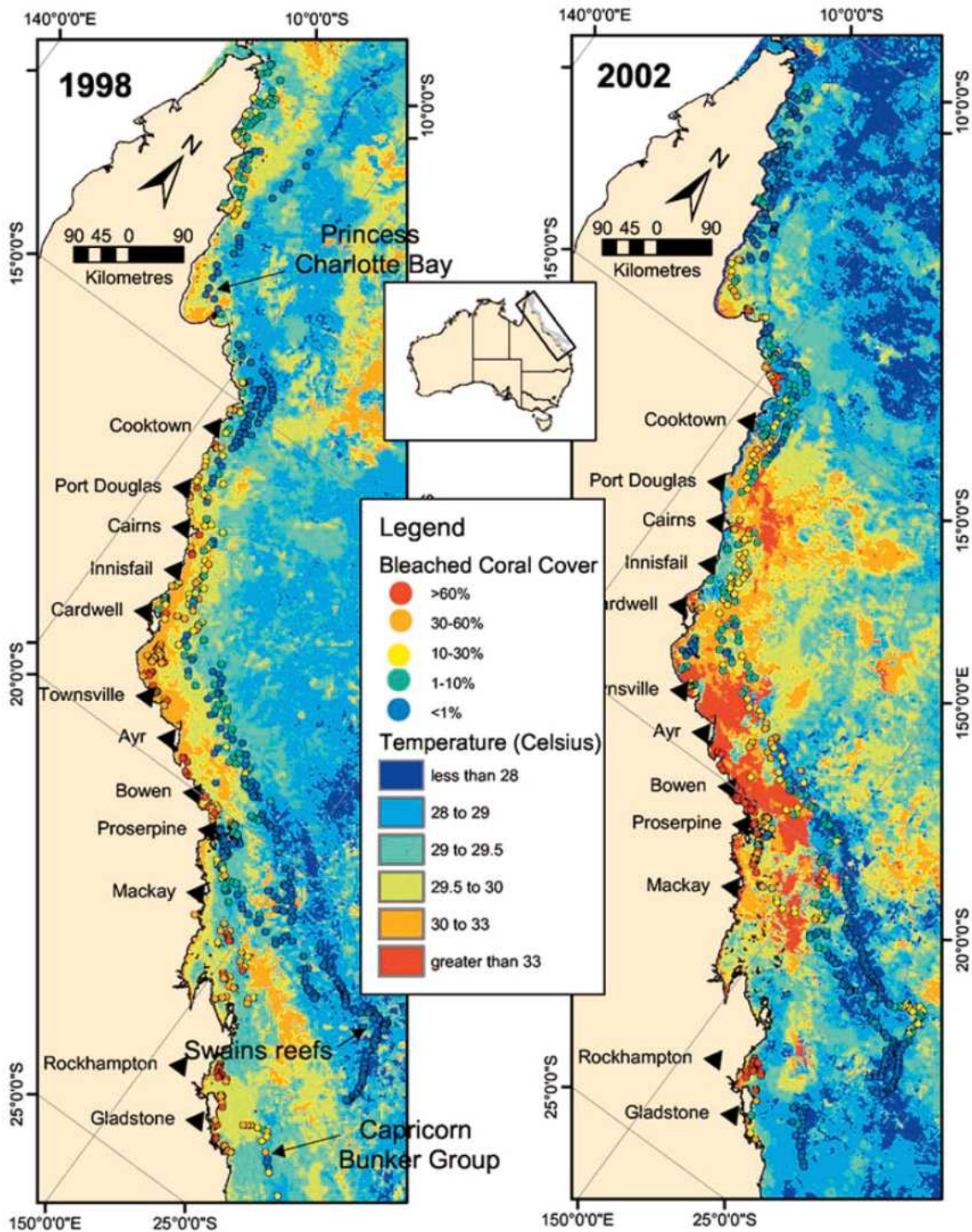


그림 2-1-21. 대보초의 1998년과 2002년 백화율(Berkelmans et al., 2004)

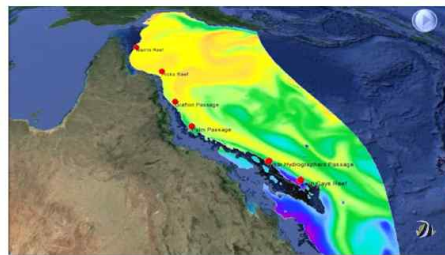
- eReefs의 플랫폼의 핵심은 수치모형실험으로 진행되는 5개 연구 분야임. 이중 가장 핵심적

- 인 해수유동 예보의 경우, 격자크기가 약 4 km인 지역해 모형 GBR4(연직격자 47개)와 1 km인 GBR1(연직격자 47개)이 구동되며 GBR1의 외해경계조건은 GBR4로부터 취함
- 플랫폼 중 ‘Regional Models’ 분야에서 미세퇴적물 이동 및 생지화학 모형(GBR- BGC)이 실행됨. 계산시간 과다로 해수유동과 연계하여 실행하지는 않으며 해수유동·파랑모형이 저장한 관련정보를 이용하여 계산함



eReefs – a world-first delivering vital information about the entire Great Barrier Reef from catchment to ocean

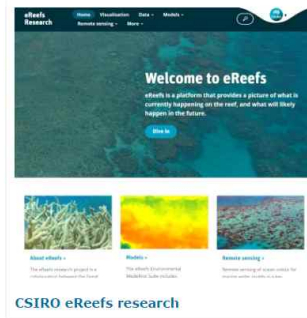
Contact us



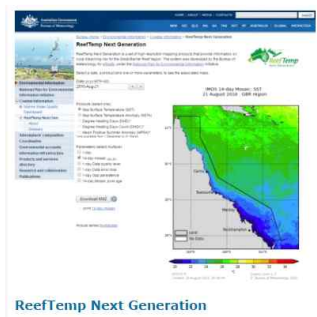
Powered by eReefs



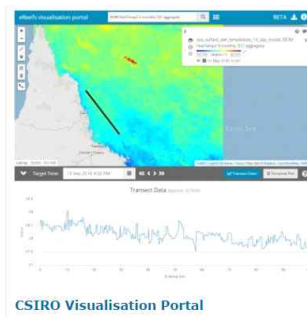
Marine Water Quality Dashboard



CSIRO eReefs research



ReefTemp Next Generation



CSIRO Visualisation Portal

그림 2-1-22. 출처: <https://ereefs.org.au/ereefs>



그림 2-1-23. eReefs 플랫폼 <https://ereefs.org.au/ereefs/platform>

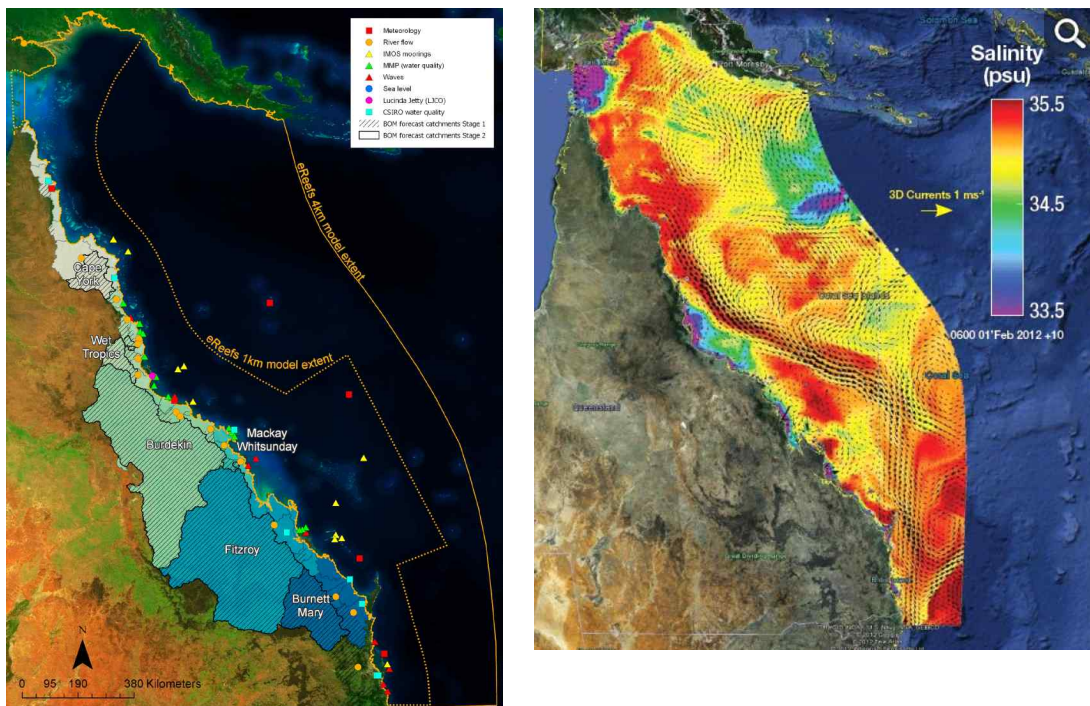


그림 2-1-24. (좌) eReefs domain 및 관측인프라 (Steven et al., 2019) (우) 4 km 격자 72시간 예보결과 <https://ereefs.org.au/ereefs/about>

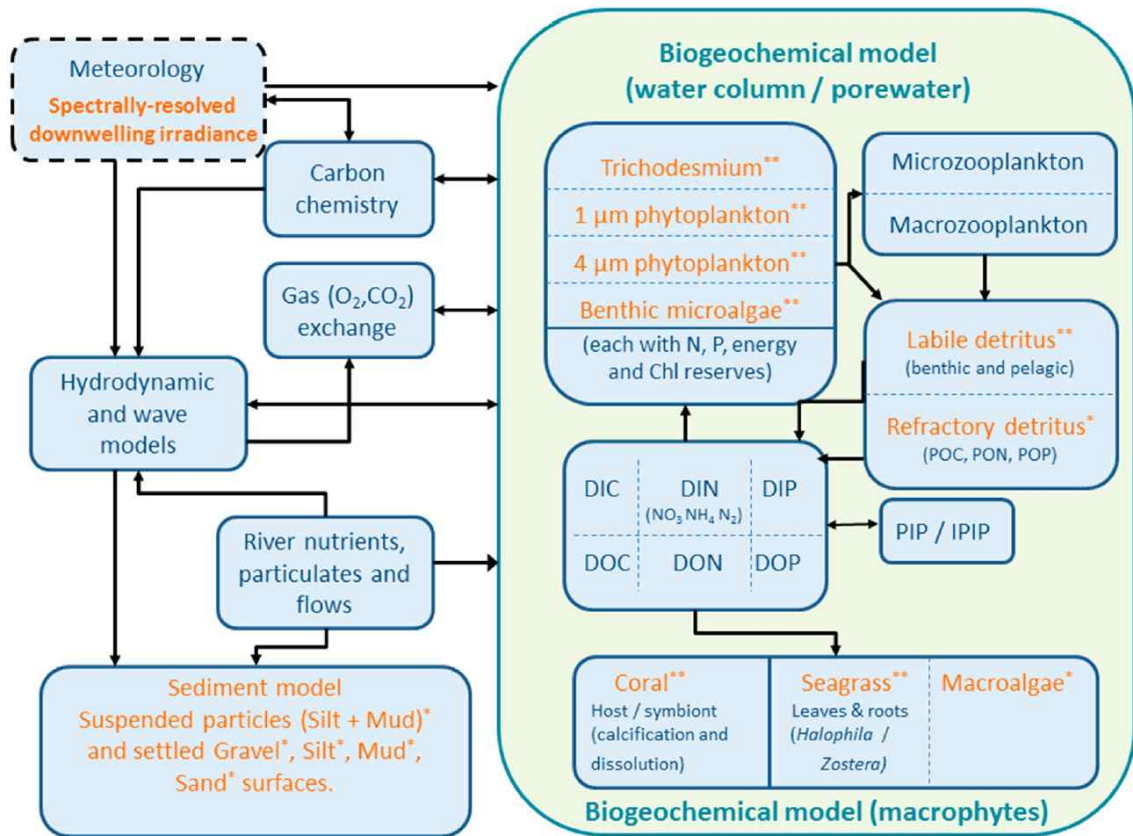


그림 2-1-25. eReefs 모델링체계 : 오렌지색과 별표는 광학적으로 민감한 변수(Steven et al., 2019)

- 플랫폼 중 ‘Relocatable Coastal Models(RECOM)’ 은 GBR1 또는 GBR4와 연계되는 상세격자(10 ~ 100s m) 모형으로서 국지적 현상을 정밀하게 파악하기 위함이며, 웹에서 설계·실행되어 해수유동, 파랑, 퇴적물이동, 수중·해저 생산력, 영양염 순환을 동시에 모의함
- 하천 유량과 부유퇴적물 농도, 용존 및 입자성 질소와 인의 농도가 해수유동 및 생지화학 모형에 필요함. 25개 하천에서 관측된 유량과 유역모델로 계산한 소하천으로부터의 유량을 입력하며, 퇴적물 농도와 용존 및 입자성 인과 질소는 유량과의 상관관계 통계치로 입력함
- 원격탐사는 대보초 수질 파악에 적절하고도 비용효율적인 수단이므로 해상도 1 km 인공위성 MODIS, VIRS 영상으로 매일의 수질을 파악함. 광민감 수질변수(optically-active water constituent)는 Chlorophyll-a, CDOM(coloured dissolved organic matter), NAP (non-algal particulate matter)와 부유입자 농도를 신뢰성 있게 파악하기 위하여 대기보정 등의 알고리즘을 대보초에 적합하도록 ANN 등을 사용하여 새롭게 개발하였음

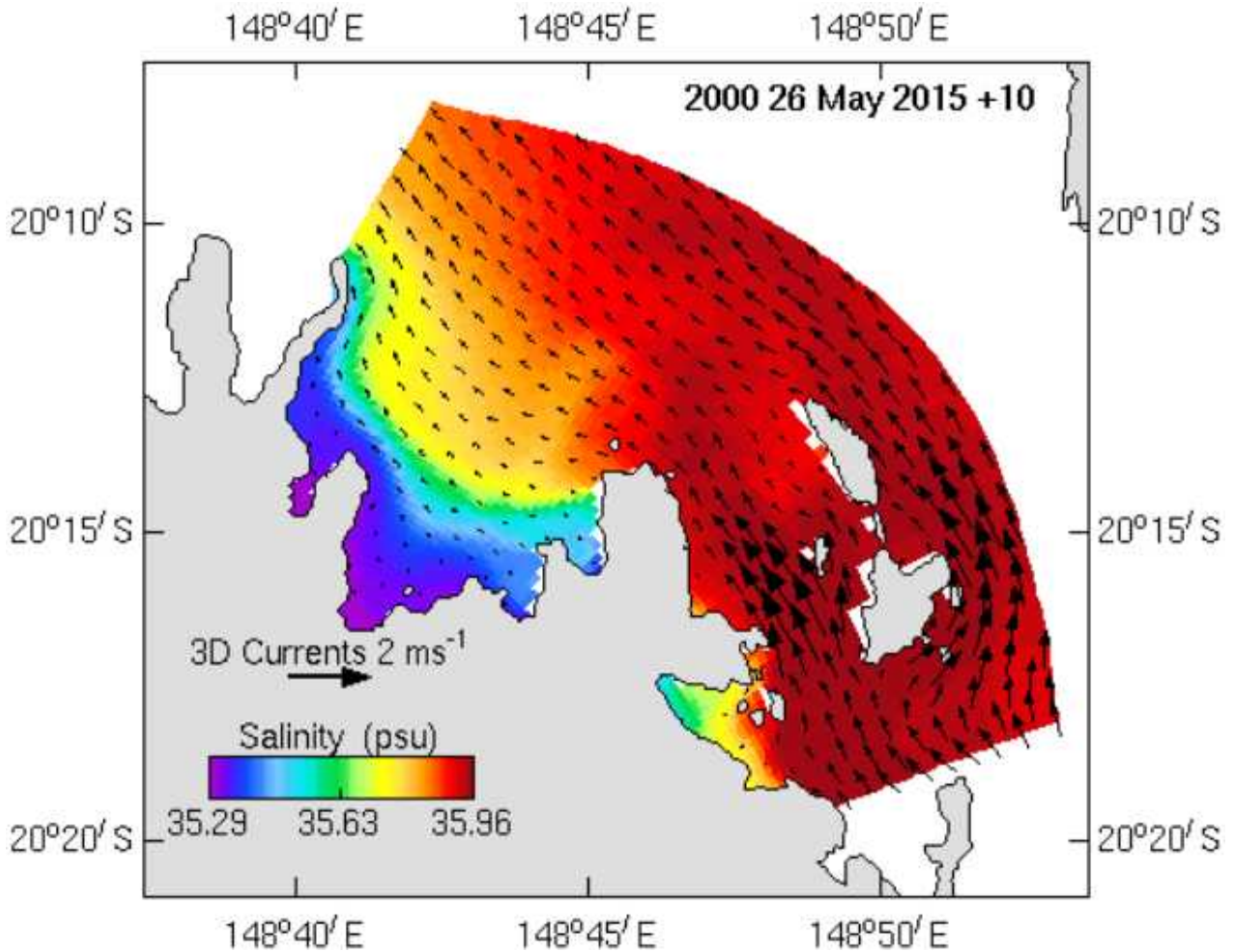


그림 2-1-26. RECOM 실행 사례: <https://ereefs.org.au/ereefs/platform/relocatable-fine-scale-coastal-models>

- 진행 중인 eReefs 개선사항
 - ① 공간해상도 300 m인 Sentinel-3 위성영상을 대기 보정하여 해수표면 반사도 정밀도 개선
 - ② 침강속도가 낮은 가벼운 입자나 응집체의 영향을 반영하기 위하여 부유퇴적물 수치모형 개선
 - ③ 현장관측 및 자료동화 추가, 시계열 관측기간 연장으로 생지화학모형 skill 개선
 - ④ RECOM의 결과 가시화 및 자료 접근 인터페이스 개선
- 정책적인 측면에서 Reefs는 호주 중앙정부와 퀸즐랜드 정부의 대보초 관련 전략개발과 평가의 필수적인 요소로 자리매김하였음. 또한 대보초의 차세대 수질관리목표 개발에 필요한 정보를 제공하고, 홍수와 사이클론 및 수온상승이 대보초에 미치는 영향을 예보하고 있으며, 해양산성화와 불가사리 및 해파리 확산의 위험을 평가하고 있음
- eReefs 연구 성과는 800억 원의 가치가 있고 2018 ~ 2019년 동안 185억 원의 편익을 발생 시킨 것으로 평가받았으며, 호주의 국가해양과학계획에서 ‘지역연안정보체계의 벤치마크’ 로 인정받고 있음(Steven et al., 2019)

사. 미국 USGS 연안재해 장기예측체계 CoSMoS 현황

- 해수면상승에 의한 연안 취약성 장기평가의 경우, 선진국은 단순히 조위에 해수면상승을 더하여 침수지역을 평가하는 정적평가에서 해수면상승, 조석, 파랑, 폭풍해일 등을 포함하는 동적수위 거동을 포함하는 현상기반 동적평가로 전환하고 있으며, 이를 위해서는 다양한 수치모형실험이 필요함
- 이를 위한 대표적인 시스템이 미국 지질조사국(USGS: U.S. Geological Survey)이 CoSMoS(Coastal Storm Modeling System)로서 연안지역 침수범람과 사질해안·해안절벽의 침식을 다음 시나리오로 구성되는 40개 시나리오에 예측함(Erikson et al., 2017)
- 해수면상승(m) : 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 5.00
- 재현주기과 : 평상, 1년, 20년, 100년
- CoSMoS는 재현주기과가 내습하는 이벤트와 사질해안·해안절벽 장기변화 부분으로 대별되며, 캘리포니아 연안재해 예측 시 폭풍사상(storm event) 모의단계는 다음과 같음
 - ① Global WwIII 단계 : CMIP5에 사용된 4개 전 지구모델(GCM)의 바람자료를 입력자료로 사용하여 전지구 파랑모형인 WwIII(Tolman, 2009)를 실행함
 - ② ENP WwIII 단계 : Global WwIII와 동적으로 연계된(nested) 고해상 WwIII로 북동태평양 대륙붕 경계에서의 21세기 파랑조건을 계산하며, 이때의 바람조건은 NOAA의 GCM인 GFDL-ESM2M의 RCP4.5 결과를 사용함
 - ③ SWAN 단계 : 미리 선정된 폭풍과 사상에 대한 지역해 파랑조건을 ENP WwIII와 동적 연계된 상세모형 SWAN에 입력하고 SWAN은 대륙붕에서 해안까지의 파랑장을 계산함

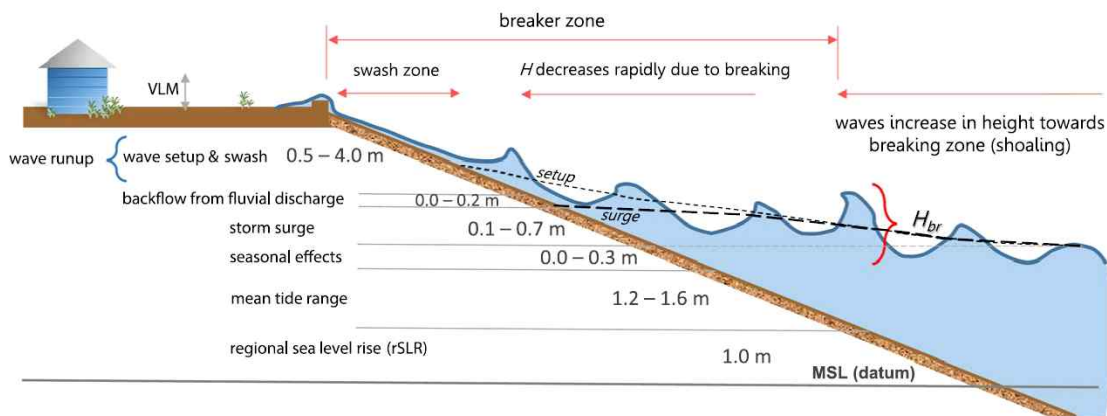


그림 2-1-27. 동적수위(Dynamic water level) 개념도(Barnard et al., 2019)

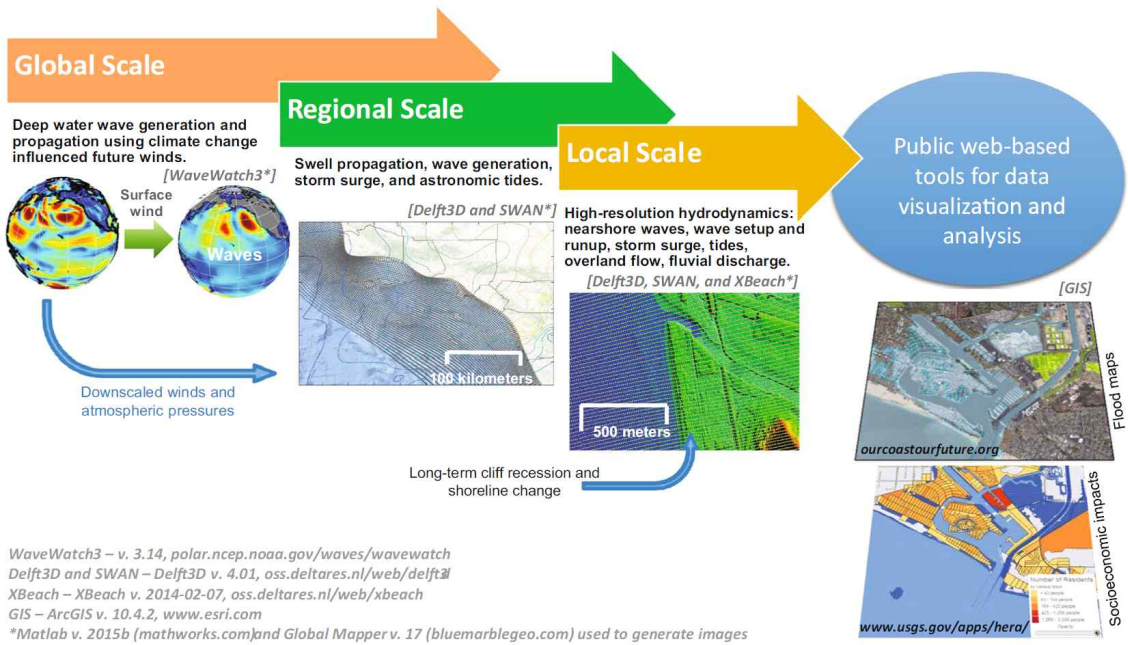


그림 2-1-28. CoSMoS 실행 흐름도(Barnard et al., 2019)

- ④ DELFT3D-FLOW 단계 : Swan과 동적으로 연계된 해수유동모형 Delft3D- Flow (Lesser et al., 2004)가 대륙붕에서 해안까지의 흐름과 해수위를 계산하며, 조석, 계절성 이상해수위, 폭풍해일을 downscale된 기압과 바람자료를 이용하여 계산함. 10 ~ 20 m의 최소 격자로 하천모의와 하구, 항만 등의 복잡한 지형을 분해할 수 있음
- ⑤ XBeach 단계 : 개방해안에서는 XBeach (Roelvink et al., 2009)의 단면모형을 실행하여 폭풍파기인 해안선 변화를 계산함. 연안방향으로 100 ~ 200 m마다 단면을 설정하며 단면에서의 횡단방향 격자간격은 5 m임. XBeach는 SWAN과 달리 파랑 처오름(run-up)과 장주기 중력외파를 계산할 수 있음
- WWIII-SWAN-Delft3D-XBeach 동적연계모형은 계산시간 과다로 21세기 동안 연속적으로 실행할 수 없으므로 다음과 같이 폭풍과 시나리오를 미리 선정함
 - ① 경험모형으로 추산한 폭풍해일, 해수면상승 및 파랑 처오름을 선형으로 결합하여, 연안 방향 약 100 m 간격의 수천 개 점에서 3시간 간격의 총 수위시계열을 먼저 계산함
 - ② 100년 동안의 총수위 시계열로부터 시간간격이 3시간 이상 떨어진 폭풍파를 선정하고 순위를 매김으로써 1년, 20년 및 100년 재현빈도 폭풍파를 추출함
- 사질해안선과 해안절벽은 2100년까지 연속으로 계산함. 해안절벽은 3개의 수치모형과 3개의 경험모형을, 사질해안은 3개 수치모형을 함께 사용하여 검증과 통계처리 후 산출함
- 캘리포니아 해안에서의 계산결과로서 폭풍파를 고려함에 따라 위험 침수범람 면적과 위험 노출도가 증가함을 알 수 있으며, Barnard et al. (2019)는 2100년까지 이러한 동적범람에 의한 재산피해가 1,500억불에 달하고 60만 명이 피해를 입을 수 있다고 전망하였으며, 이는 해수면상승만 고려했을 때의 3배 피해규모임

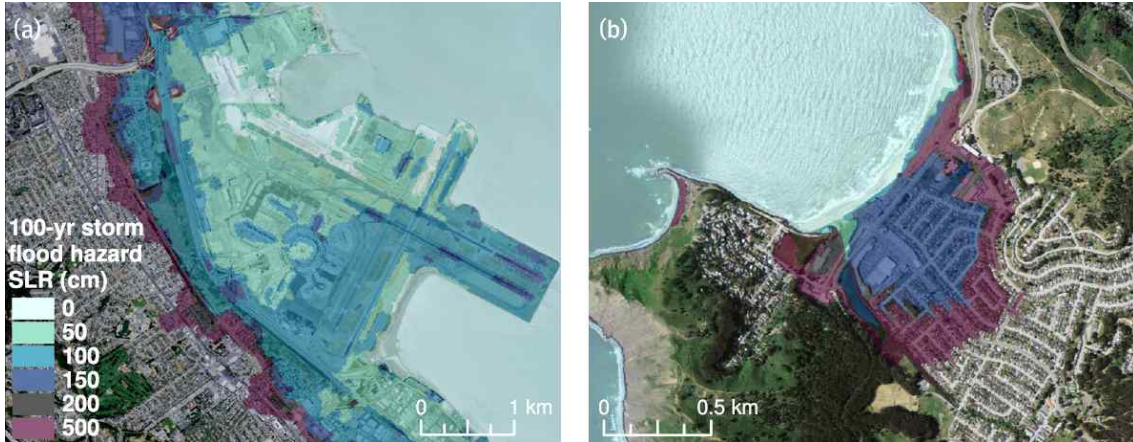


그림 2-1-29. CoSMoS 적용사례: (a)샌프란시스코 국제공항, (b) City of Pacifica

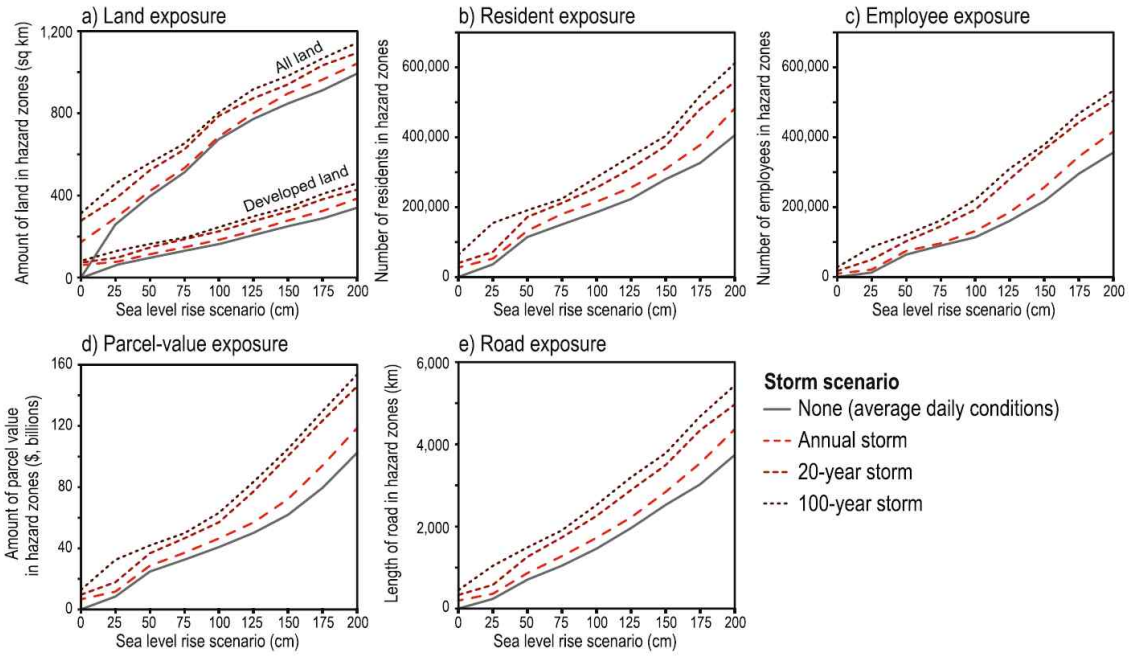


그림 2-1-30. 해수면상승 및 폭풍과 시나리오별 위험노출도

2. 국내 연구 기술 동향

가. 국내 연안-해양환경 모니터링 연구



그림 2-1-31. 국립수산과학원 실시간 해양환경 어장정보시스템(좌), 국립해양조사원 실시간 해양관측정보시스템(우)

- 국립수산과학원은 자체 및 유관기관 연안관측 결과를 실시간 제공
- 국립해양조사원은 자체 운영 시스템과 한수원 부이 자료 기반 실시간 정보 제공
- 대부분의 정점이 해류를 포함하고, 다수의 정점에서 파랑도 관측하여 생태계 동적거동 규명에 유용하게 이용될 수 있음



- 국립해양조사원 해황예보 (좌: 유튜브, 우: 홈페이지에서 PDF 파일 제공)

그림 2-1-32. 국립해양조사원 해황예보

- 해양조사원은 유튜브 및 홈페이지를 통하여 해황을 예보하고 있으나 모델의 동해안 격자크기가 3 km로서 연안환경·생태 예측에는 부적절함
- 해양조사원은 2 ~ 3년 내에 KIOST가 수립한 300 m 격자체계로 예보할 예정이나 해안선이 복잡할 경우 300 m 격자도 해수유동 재현에 한계가 있으므로 해안선과 해저지형이 복잡한 연안에서는 상세격자를 채용할 수 있는 비구조 상세격자 체계가 바람직함

- 무엇보다 중요한 사항으로서 연안생태모델링은 해양조사원 업무가 아님

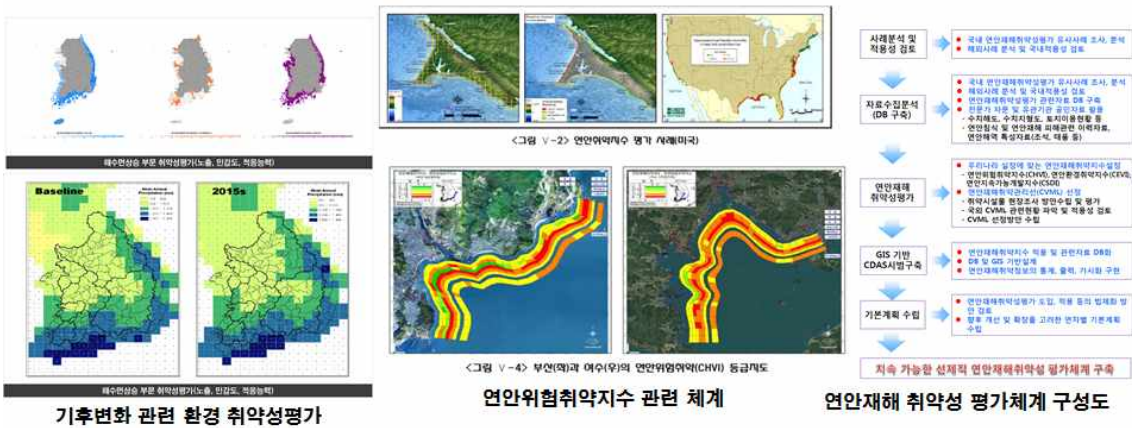


그림 2-1-33. 국립환경과학원 환경 취약성평가(좌), 국립해양조사원 연안재해취약성 평가체계(우)

- 기존 국내 환경관련 기관(국립환경과학원, 한국환경정책평가연구원)에서 기후변화와 관련된 환경취약성 평가, 국립해양조사원에서는 연안재해취약성 평가체계, KOEM에서는 바다생태 통합정보시스템이 개발되어 있음
- 하지만 위 개발된 체계들은 특정 지역에 대해 단순 취약영향지수/위험등급으로만 구분되어 종합 생태계 기반 환경변동을 실시간 파악 및 대응/예측하기 부적절함

나. 국내 해양생물 모니터링 연구



해역	지점명	조사주체	비고
동해	8개 정선 69개 정점 : 102, 103, 104, 105, 106, 107, 208, 209	동해수산 연구소 자원환경과	탈구 3호
서해	6개 정선 52개 정점 : 307, 308, 310, 311, 312, 313	서해수산 연구소 자원환경과	탈구 8호
남해	8개 정선 54개 정점 : 203, 204, 205, 206, 207, 313, 314, 400	남해 연구소 자원환경과	탈구 8호
동중국해	3개 정선 32개 정점 : 315, 316, 317	국립수산과학원	탈구 3호

국가 해양생태계 종합조사



그림 2-1-34. 국립수산과학원의 해양 생물환경 정선 모니터링(위)과 해양환경공단의 국가 해양생태계 종합조사 (아래)

- 국립수산과학원은 1961년부터 우리나라 전 연안(동중국해 포함) 25개 정선, 207개 정점(14개 수층)에서 매년 6회 해양환경(수온, 염분, 용존산소, 영양염류) 및 생물군집(동식물플랑크톤)을 조사하고 있음
- 국립수산과학원의 정선 관측자료는 해황 속보, 주보, 정보지, 연보를 발간하여 제공하고 있으며, 한국해양자료센터(KODC)를 통하여 DB를 구축하고 있음
- 해양환경공단에서는 우리나라 해양생태계의 장·단기 변동 특성을 체계적이고 종합적으로 파악하기 위하여 2017 ~ 2020년까지 국가해양생태계 종합조사를 실시하고 있음
- 그러나 국내 해양생물 모니터링 연구는 단순한 생물상 조사에 그치는 경향이 강하며, 향후 변동성 진단 및 예측, 모니터링 체계 선진화 등에 관한 대책이 미비함

다. 국내 해양환경 방사능 모니터링 현황

- 우리나라의 해양환경에서 방사성 물질의 모니터링은 1994년부터 원자력안전기술원에서 수행하고 있음
- 1993년 러시아가 동해를 비롯한 오호츠크해에 1966년부터 1991년까지 액체 방사성폐기물(456TBq) 및 고체 방사성폐기물(225TBq)을 투기한 사실을 국제사회에 보고하였고, 우리나라는 일본, 미국과 함께 3국 공동조사에 당시 한국해양연구소(현 한국해양과학기술원)의 전문가를 파견하였음
- 한국원자력안전기술원은 3국 공동조사의 읍저버로 참관한 후 우리나라 주변 해역에 대한 체계적인 방사능감시의 필요성이 제기됨에 따라, 관련제도를 마련하여 1994년부터 해양에서 정기적인 환경방사능감시를 시작하였음

표 2-1-1. 원자력 안전기술원의 해양환경 방사성 물질 모니터링 항목

구분	감시대상	분석항목	조사시기	정점수
해수	표층 해수	^{137}Cs , ^3H , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	^{137}Cs : 4, 8월	22개 정점
		^{90}Sr	^3H , ^{90}Sr , Pu : 4월	16개 정점
	수심별 해수	^{137}Cs , ^3H	^{137}Cs : 4, 8월 ^3H : 4월	6개 정점
퇴적물	해저퇴적물 (0~5cm)	^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	2~4월	16개 정점
		^{137}Cs , ^{40}K	2~4월	6개 정점
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	2~4월	6개 정점
해양생물	어류	^{137}Cs , ^{40}K	2~10월	59개 정점
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	4~5월	2개 정점
	패류	^{137}Cs , ^{40}K	4~6월	5개 정점
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	4~5월	3개 정점
	해조류	^{137}Cs , ^{40}K , ^{131}I	2~10월	6개 정점
	^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	4~5월	2개 정점	

- 원자력발전소 주변의 해양환경에 대한 방사성 물질 모니터링은 상업적 운전을 위한 원자력 발전소가 지속적으로 증가하고 새로운 원자력발전소 건설이 진행되고 있으며 인접국인 중국도 많은 원자력 발전소를 황해연안에 증설하는 계획을 발표함에 따라 원자력안전기술원은 수심별 해수, 해저퇴적물, 해양생물을 포함하는 방사성 물질의 모니터링을 2005년부터 조사대상을 확대하여 수행하고 있음
- 한편 2011년 3월 일본 후쿠시마의 다이이치 원자력발전소 사고는 인접국뿐만 아니라 체르노빌 원전사고 이후의 최대의 원전사고로 전 세계적인 이목과 우려를 집중시켰음. 이 사고로 인해 많은 양의 방사성물질이 해양으로 유입됨에 따라 우리나라에서는 동해를 비롯한 주변 해역으로 후쿠시마 원전사고 기원의 방사성 물질의 유입 가능성에 대한 국민들의 관심이 집중되었다. 원자력안전기술원은 기존의 해양환경 방사성물질 조사 정점수를 늘이고 조사 주기를 단축하는 등 조사범위를 확대하였음

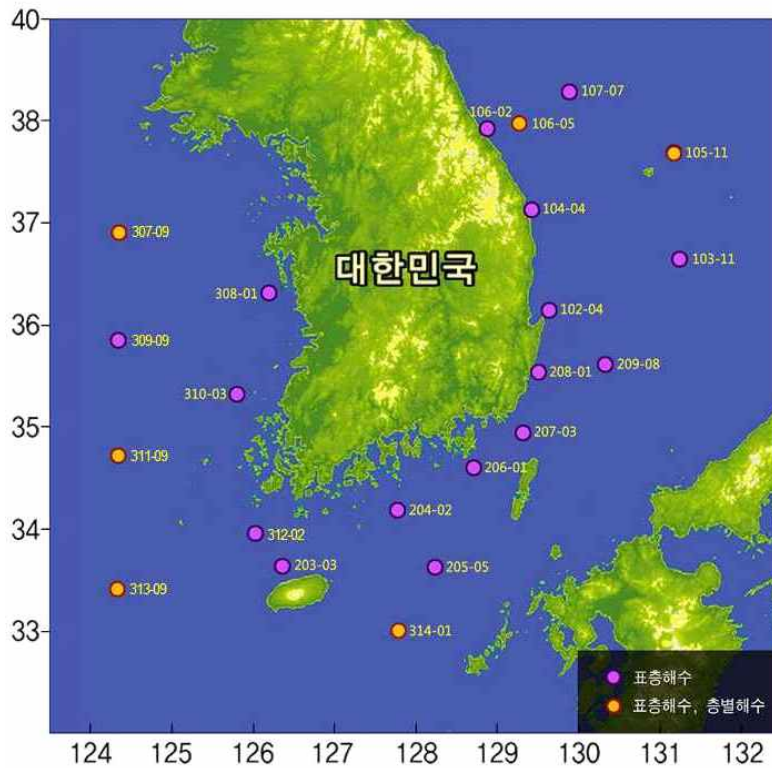


그림 2-1-35. 원자력안전기술원의 해수 조사정점

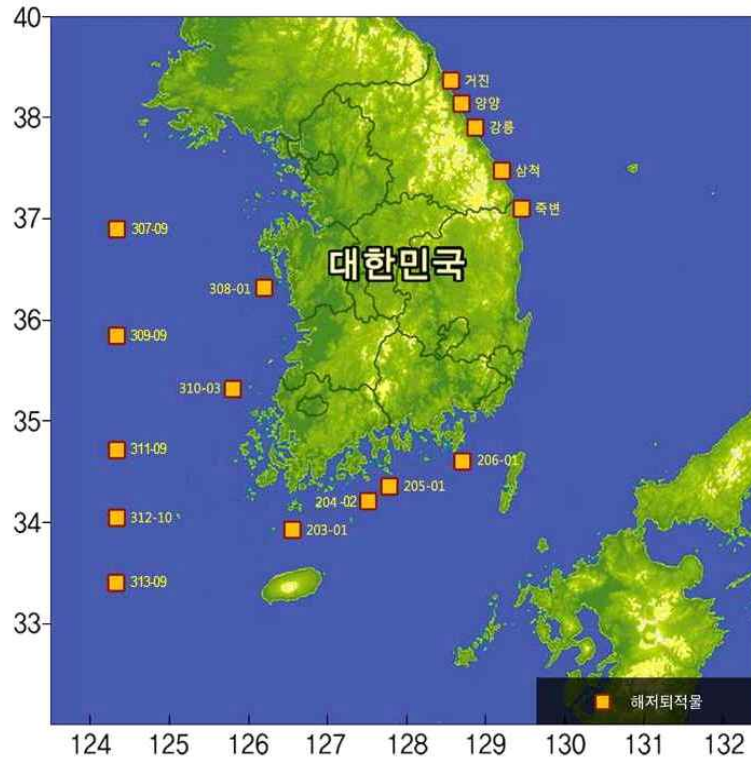


그림 2-1-36. 원자력안전기술원의 해저퇴적물 조사정점

- 원전주변 해양환경 방사성 물질에 대한 모니터링은 한국원자력안전기술원에 의해 원자력이용시설의 주변에 대한 방사선환경조사 및 평가라는 사업으로 수행되고 있으며 매년 각 원자력 발전소별로 보고서를 제출하고 있음. 구체적인 모니터링 내용은 원자력안전기술원의 2018 원자력 이용시설 주변 방사선 환경조사 및 평가보고서에 상세하게 기술되어 있기 때문에 이하에 동 보고서를 참조하여 관련내용을 발췌하여 아래에 정리하여 기술함
- 원자력안전기술원의 원자력이용시설의 주변에 대한 방사선 환경조사 및 평가 사업은 국제 원자력기구(IAEA)의 안전기준 “방사선방호를 위한 환경 및 선원감시(No. RS-G-1.8)”에 따라 이루어지고 있음. 이 사업의 목적은 ① 원전시설의 정상적인 운영과정에서 방출 제한치 및 기타 방사선환경 규제요건들이 잘 지켜지고 있는지 확인 및 입증, ② 시설주변 주민들의 잠재적 피폭선량의 추정·평가를 위한 정보와 데이터를 선량평가자에게 제공, ③ 시설의 비정상적 또는 예기치 못한 상황을 조기에 탐지하고 필요한 경우 신속히 그 대책을 수립할 수 있도록 하는 것임

표 2-1-2. 원자력이용시설 주변 환경방사선/능 조사항목

시료명		분석항목	분석주기	지점 수	
방사선 조사	공간감마선량률	공간감마선량률	연속감시	각 원전시설주변 1개소	
	공간집적선량	공간집적선량	매 분 기	원전시설 당 12개, 처분시설5개 지점	
방사능 분석	환경 시료	토 양	감마동위원소, ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U	연 2 회 연 1 회 연 1 회	원전시설 당 5~7개, 처분시설1개 지점 원전시설 당 2개, 처분시설1개 지점 대덕시설 3개, 처분시설1개 지점
		해저 퇴적물, 하천토양	감마동위원소, ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U	연 2 회 연 1 회 연 1 회	원전시설당 2~6개, 처분시설1개 지점 원전시설 당 2~6개, 처분시설1개 지점 대덕시설 2개, 처분시설1개 지점
		대 기	^3H , ^{14}C	매 월	월성원전주변 2개 지점 3개 원전주변 1개 지점
		솔 잎	^3H , ^{14}C	매 월	월성원전주변 2개 지점
	물 시료	해 수	감마동위원소, ^3H , ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu	매 분 기 연 2 회	원전시설 취배수구 3~8개, 처분시설 1개 지점(대덕 제외)
		지하수	감마동위원소, ^3H , ^{90}Sr , U 및 Pu 동위원소, ^{99}Tc	연 2 회	처분시설 3개 지점
		지표수	감마동위원소	매 분 기	대덕시설 1개 지점
		빗 물	감마동위원소, ^3H	매 월	대덕시설 2개 지점 각 원전시설 기상관측소(월성원전은 거리별 6개 지점)
	식품 시료	우 유	감마동위원소 ^{90}Sr ^3H , ^{14}C	매 분 기 매 월 연 2 회 매 월	각원전시설 당1개 목장 대덕시설 1개 목장 원전시설 당 1개 목장(한울제외) 월성 원전주변1개 목장
		배 추	감마동위원소	연 1 회	원전시설 당 2개 지점
		쌀	감마동위원소	연 1 회	원전시설 당 2개 지점
	해양 시료	어 류	감마동위원소	연 2 회	원전시설 당 2~3개 지점(대덕 제외)
		해조류	감마동위원소	연 2 회	원전시설 당 2~3개 지점(대덕 제외)

- 원자력이용시설 주변 환경감시는 1977년 고리1호기 중심반경 30 km 범위 내에서 환경방사능을 조사를 시발점으로 하여 1983년까지 해수, 해양생물, 토양 및 솔잎에 대해서 전알과 및 전베타 방사능조사를 포함하여 그 후 조사대상을 지표동식물, 농작물 및 해양시료(해저

퇴적물, 해조류, 어류, 해수) 등으로 확장하였으며, 감시 핵종도 전베타, ^{137}Cs 을 포함한 감마 동위원소, ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 및 U 동위원소 등으로 확대하여 수행하고 있음. 이러한 모니터링 사업은 원자력안전법 제104조(환경보전)에 법적근거를 두고 있으며, 시설운영자는 원자력안전위원회 고시 제2017-17호 “원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 규정”에 따라 자체적인 방사선환경조사 및 영향평가 프로그램을 수립하여 수행하도록 하고 있음

- 한편 원자력안전위원회는 시설운영자가 수행한 조사 및 평가의 결과를 확인하기 위하여 원자력안전법 제104조 제2항에 따라 필요하면 방사선환경조사도 별도로 실시 할 수 있음. 한국원자력안전기술원은 제2항의 방사선환경 조사업무를 위원회로부터 원자력안전법제111조(권한위탁)에 따라 위탁을 받아 매년 수행하고 있음. 현재 고리, 월성, 한울, 한빛 등 4개 원전시설, 대덕의 원자력연료주기시설 및 원자력연구시설, 경주의 방사성폐기물처분시설 운영자는 각 시설주변의 환경보전에 일차적인 책임을 지고 매년 주기적으로 환경방사선·능을 조사함은 물론 시설운영으로 인한 영향을 평가하여 그 결과를 위원회에 보고하고 있음. 위원회는 시설운영자의 환경방사선·능 조사활동에 대한 관리 및 감독차원에서 시설주변의 환경방사선·능 확인감시를 수행하고 있음
- 시료채취지점의 선정과 환경시료별 감시대상 핵종 및 측정주기는 일차적으로 원자력시설주변의 인구분포, 방사성물질의 착지예상 최대농도, 해상조건, 지형, 방위, 기상조건 및 대기 확산인자 등을 고려하여 설정함. 또한 각 시설별 고유의 설계특성 및 방사성물질의 방출형태 등도 감안하여 결정을 하고 있음. 그리고 환경방사선·능 조사대상 환경매체로서는 토양, 해저퇴적물 및 하천토양, 대기, 빗물, 지하수, 해수, 우유, 곡류, 채소류, 어류, 해조류 등을 대상으로 하고 있음. 이러한 환경시료는 주기적으로 채취되어 ^{137}Cs 등과 같은 인공 감마방출핵종, 순수 베타방출핵종인 ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{99}Tc , 알파핵종인 Pu 및 U의 동위원소 등과 같은 방사성핵종의 농도가 측정되고 있음. 특히, 월성원전의 경우 원자로가 국내 유일한 중수로로써 원자로의 특성상 ^3H 및 ^{14}C 이 다른 원전에 비하여 상대적으로 많이 방출되기 때문에 매월 대기 및 빗물시료를 채취하여 분석하고 있으며, ^{14}C 의 경우 2015년 이후부터는 월성원전 뿐만 아니라 고리, 한빛, 한울원전 주변의 대기에 대해서도 그 농도를 매월 조사하고 있음. 또한 원자력시설 주변의 공간감마선량률을 실시간으로 감시하고 있으며 매분기 집적선량을 평가하고 있음



그림 2-1-37. 고리원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점



그림 2-1-38. 월성원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점

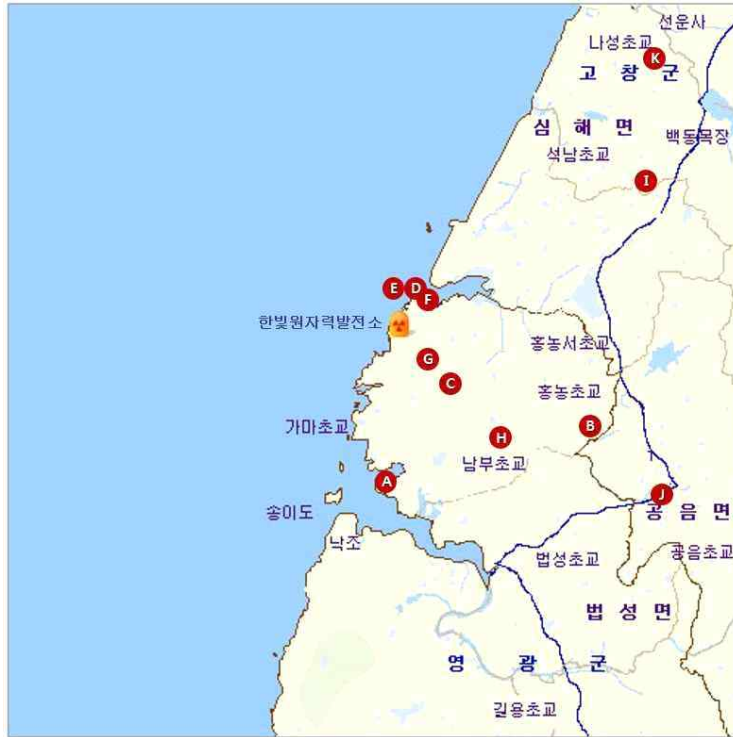


그림 2-1-39. 한빛원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점



그림 2-1-40. 한울원자력발전소 주변의 환경시료 채취 지점

라. 국내 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 현황

- 2011년 3월의 일본 후쿠시마 제1원전 사고 이후 사회적으로 방사능에 대한 관심이 높아져 기존의 시료를 채취하여 분석한 후에 방사능 농도를 보고하는 체제는 결과를 알기까지 많은 시간이 소요되기 때문에, 보다 빠르고 정확하게 환경에서의 방사능 농도에 관한 정보가 요구되게 되었음. 이러한 사회적 요구에 대응하기 위하여 실시간으로 방사선/능을 모니터링하는 필요성이 대두되었음. 그러나 지역마다 해양환경의 자연 및 인공방사성핵종의 배경농도는 매우 낮고, 농도범위도 다르며, 핵종별 특성 차이 때문에 기술적으로 실시간으로 모니터링하는 것은 현재의 기술수준에서는 쉽지 않는 일임. 알파붕괴를 하는 핵종은 에너지는 크지만 비정이 짧아서 쉽게 에너지를 잃어버리기 때문에 진공상태에서 겨우 검출이 가능하므로 실제로 해양환경에서 실시간으로 측정하는 것은 불가능하며, 베타붕괴를 하는 핵종은 검출기의 특성상 핵종을 구분할 수 없기 때문에 핵종별 농도변화를 모니터링하는 것이 불가능함. 따라서 비교적 투과력이 크고 핵종별 구분도 가능한 감마선을 방출하는 핵종에 대해서는 실시간으로 모니터링이 이론적으로는 가능하지만 실제로 자연의 해양환경에서 배경농도가 매우 낮기 때문에 기존에 시판되는 검출기 성능으로는 거의 불가능한 것이 현실임. 그러나 최근의 과학기술의 발달로 인해 감마선 검출기의 검출성능이 점점 좋아지고 있기 때문에 국내외의 일부 기관에서 실시간으로 해수의 방사선/능을 모니터링하는 시스템을 개발하여 시범적으로 운영을 하고 있음
- 따라서 국내외의 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 사례를 수집/분석하여, 기술적으로 모니터링시스템 구축 가능 여부를 검토하고, 국내에 적합한 모니터링 시스템 구축 방안 등에 대해 검토하였음
- 국내의 해양환경 방사능 모니터링은 기본적으로 원자력안전기술원에서 외양에 고정 관측점을 운영하고 있으며, 해양환경관리공단에서도 연안 고정 관측점을 운영하고 있음. 국내의 실시간 방사선/능 모니터링 시스템은 원자력 안전기술원에서 2013년도부터 검출시스템의 시제품을 개발/제작하여 현재 약 10개의 현장에서 해수 중 ^{137}Cs 에 대해 시범 운영하고 있는 것이 유일함. 원자력 안전기술원의 실시간 해수 ^{137}Cs 모니터링 시스템은 “2016년 해양환경방사능 조사보고서”에 그 시스템이 소개되어 있으므로 그 보고서 내용을 토대로 이하에 정리하였음. 따라서 이하에 제시되는 그림 및 자료의 출처는 모두 “2016년 해양환경 방사능 조사보고서(원자력안전기술원)”에서 발췌한 것임
- 원자력안전기술원의 실시간 해수방사능 검출 시스템은 국외의 사례와 운영의 편이성 등을 고려하여 감마선은 NaI (TI) 검출기를 주 검출기로하여 계측하고, 총 선량 확인을 위해 GM 검출기를 보조 검출기로 구성하였음. NaI (TI) 검출기는 3 × 3 크기의 PM 튜브 일체형이며, GM 검출기는 할로젠 가스 충전의 에너지 보상형임

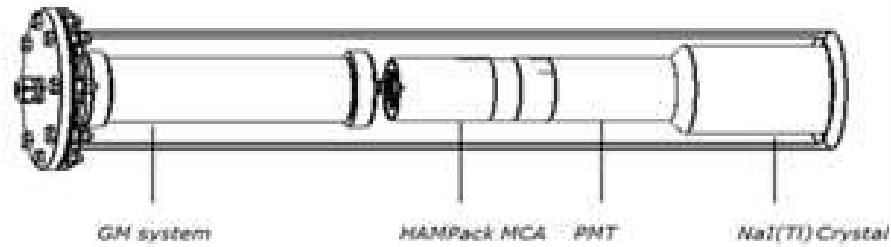


그림 2-1-41. 원자력 안전기술원의 실시간 해수방사능 검출기 모식도

- 그림과 같이 NaI (Tl) 검출기와 GM 검출기가 융합된 검출부는 설치장소의 특성에 맞춰진 하우징과 프레임을 만들어서 부이, 바지선, 해양과학기지 및 해안 등의 해양현장에 설치하여 운영하고 있음
- 실시간 방사능 계측시스템의 전원은 배터리를 이용하여 공급되며 배터리는 태양전지판을 이용하여 충전하고 있음. 그리고 현장에서 계측된 자료는 CDMA 무선통신을 기반으로 한 3G 통신을 이용하여 수신하고 있음. 이 외에도 여객선에도 설치하여 항행 중의 자료도 수집하고 있음
- 아래 그림에 시범운영동안 일부의 계측자료 결과가 나타나 있음. 그러나 상세한 계측시간, 검출기의 검출효율, 백그라운드 농도 등의 자료가 없고, 그래프에도 계수율만 나와 있기 때문에 실제 설치지점의 해수 중 농도로 환산 가능한지의 여부 및 배경농도를 정확하게 나타내는지 등의 판단은 주어진 정보로만으로는 불가능함

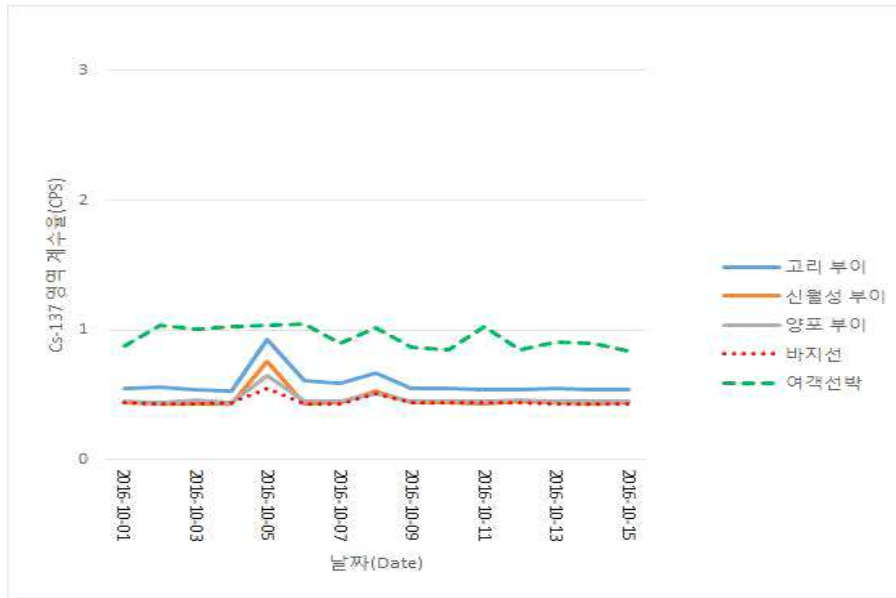


그림 2-1-42. 실시간 해수 ¹³⁷Cs 시범 계측 결과

- 원자력안전기술원에서는 2013년에 부이로 시작하여 국내 관련기관의 협조를 얻어 선박, 바지선, 해양과학기지 등 다양한 지역에 실시간 해수방사능 관측 Station을 구축하여 운영 중임. 구체적으로는 고리, 월성 등 원전지역과 양포, 태한, 목포, 거제, 백령도, 제주도의 차귀도 등의 연안 및 목호-울릉도-독도를 왕복하는 여객선에 동 모니터링시스템을 구축하여 시범 운영 중임



주) A: 해양관측시설, B: 해양관측 부이(Buoy), C: 항만, S: 선박

고유번호	설치 지점	설치 장소
1-A	속초	해양관측시설
2-A	목호	해양관측시설
3-S	목호-독도	정기여객선
4-A	후포	해양관측시설
5-B	양포	해양관측 부이(Buoy)
6-B	월성	해양관측 부이(Buoy)
7-B	고리	해양관측 부이(Buoy)
8-A	거제	해양관측시설
9-A	고흥	해양관측시설
10-A	제주시	해양관측시설
11-A	모슬포	해양관측시설
12-A	진도	해양관측시설
13-A	흑산도	해양관측시설
14-A	영광	해양관측시설
15-A	군산	해양관측시설
16-A	서산	해양관측시설
17-A	인천	해양관측시설
18-C	백령도	항만

그림 2-1-43. 원자력안전기술원에서 운영중인 실시간 해수방사능 모니터링 관측점

마. 국내 동해 연안환경·생태계 변동 예측 시스템 현황

- 준실시간 체계의 경우, 우리나라도 KIOST가 구축한 지역해 72시간 예보시스템 KOOS (Korea Operational Oceanography System)를 운영하고 있으나, 아직 연안환경·생태재해 준실시간 관리에 활용된 바 없음

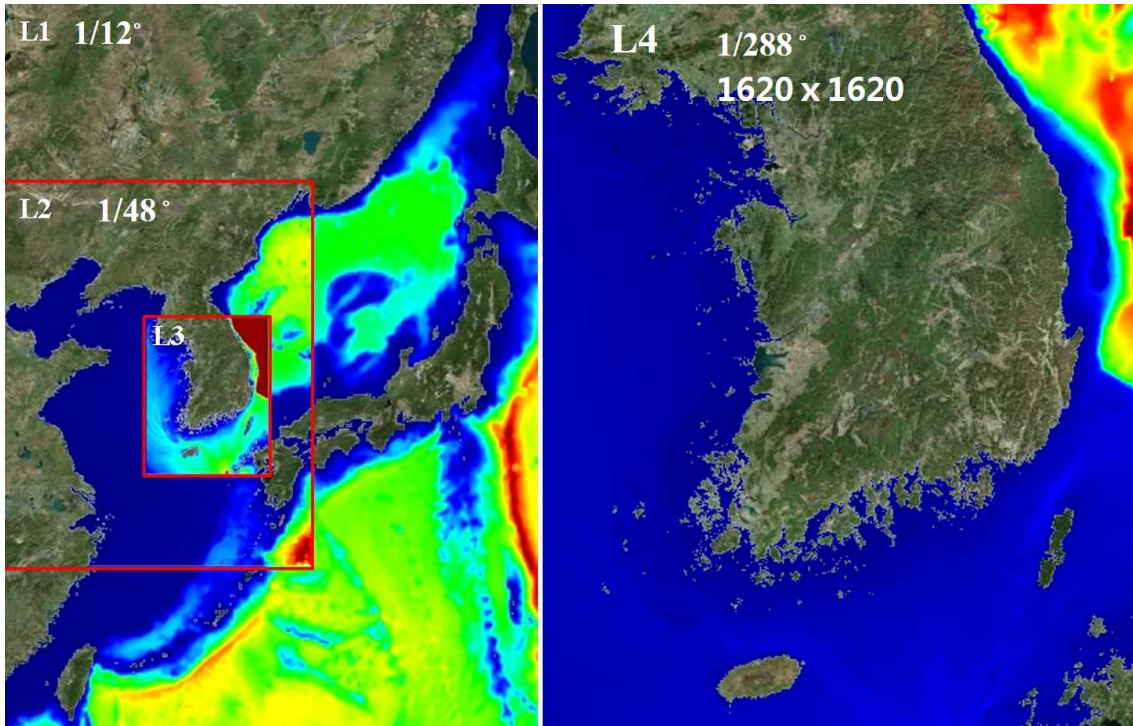


그림 2-1-44. KOOS Domain

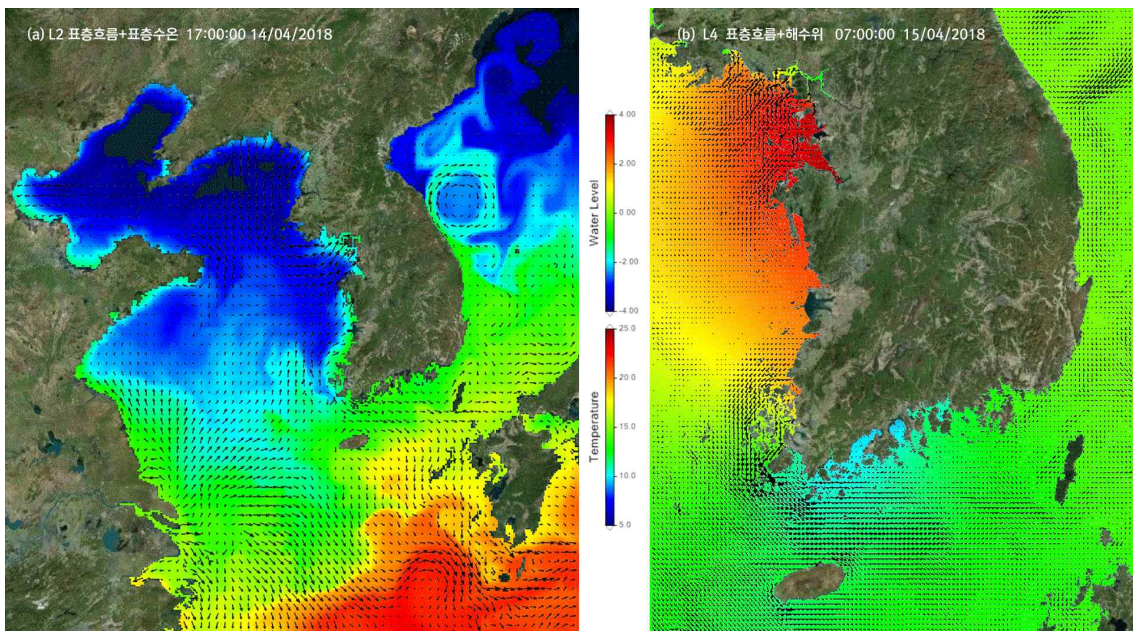


그림 2-1-45. KOOS 예보 예

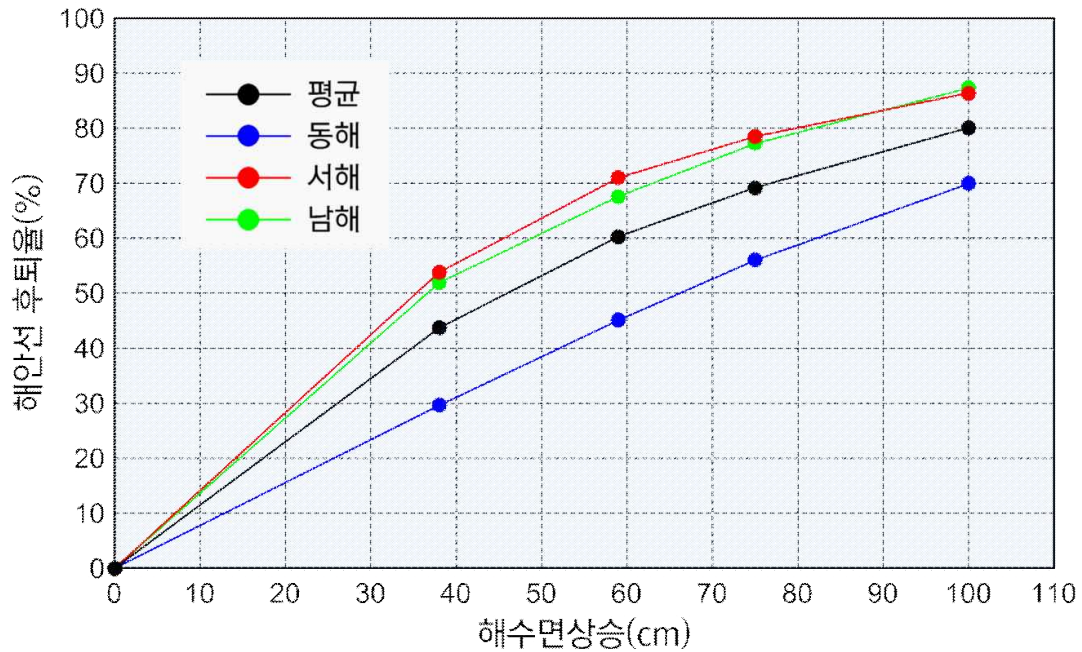


그림 2-1-46. Bruun's rule을 적용하여 구한 해수면상승에 의한 해안별 해안선 후퇴율(조광우 등 2009)

- 해수면상승에 따른 해안선 변화 전망의 경우, 조광우 등(2009)는 Bruun (1962)의 경험식을 이용하여 해안선 후퇴율을 전망하였으나, 평형 단면식을 가정하는 Bruun's은 현상의 과도한 단순화로 인해 세계적으로 더 이상 사용되지 않음

바. 국내 공간정보기반 국토환경성평가지도 플랫폼 구축

- 환경정책평가연구원에서는 공간정보기반 플랫폼을 이용하여 국토환경성평가지도시스템을 구축하고 서비스하고 있음
- 국토의 환경정보를 종합하여 육지부의 환경성 평가 시 활용하고 사용자가 쉽게 파악하고 종합적으로 평가하기 위해 개발됨



그림 2-1-47. 국가환경성평가지도 구축(환경정책평가연구원 제공)

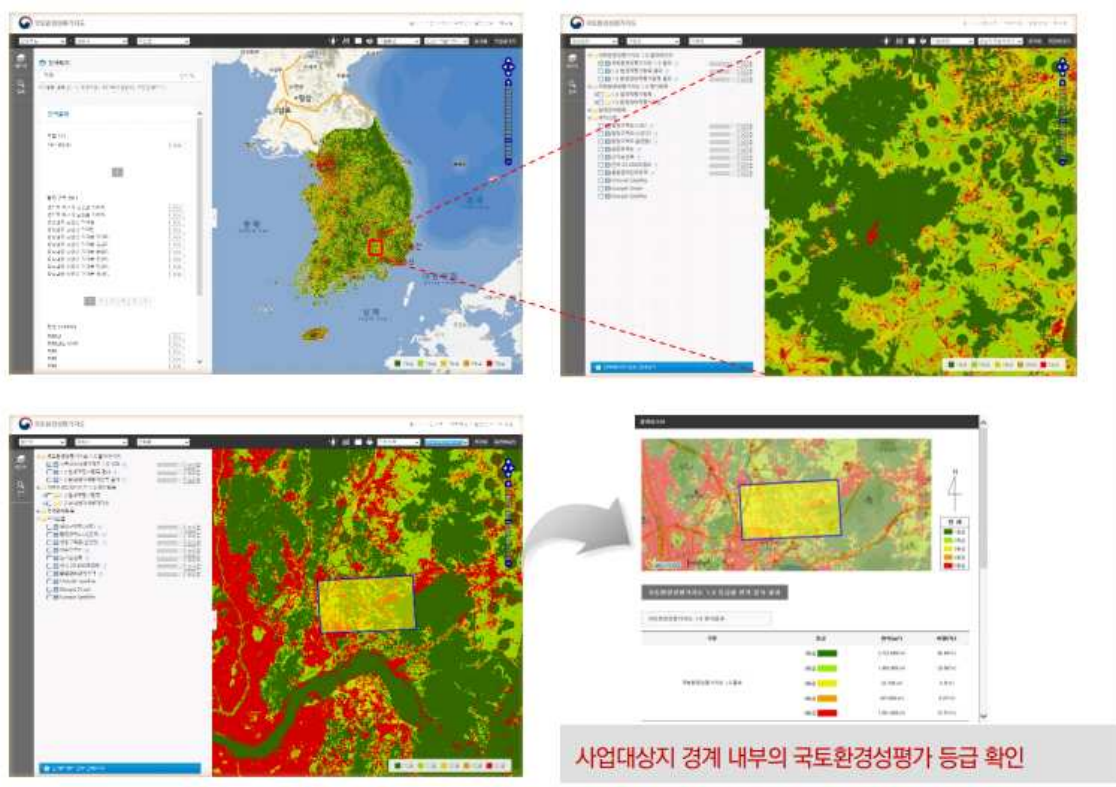


그림 2-1-48. 국가환경성평가지도 웹 서비스 모습(환경정책평가연구원 제공)

제 2 절 연구동향 분석

1. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구동향

가. 수집기간 및 검색필드

- 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구동향 분석을 위해 Clarivate 사의 Web of Science DB SCI(E) 검색시스템을 통해 1984 ~ 2019년까지 관련 연구분야 연구동향을 분석함
- 검색필드는 제목(Title), 초록(Abstracts), 키워드(Keyword)를 대상으로 분석함

나. 해양 생태/환경 AI관련 논문생산성

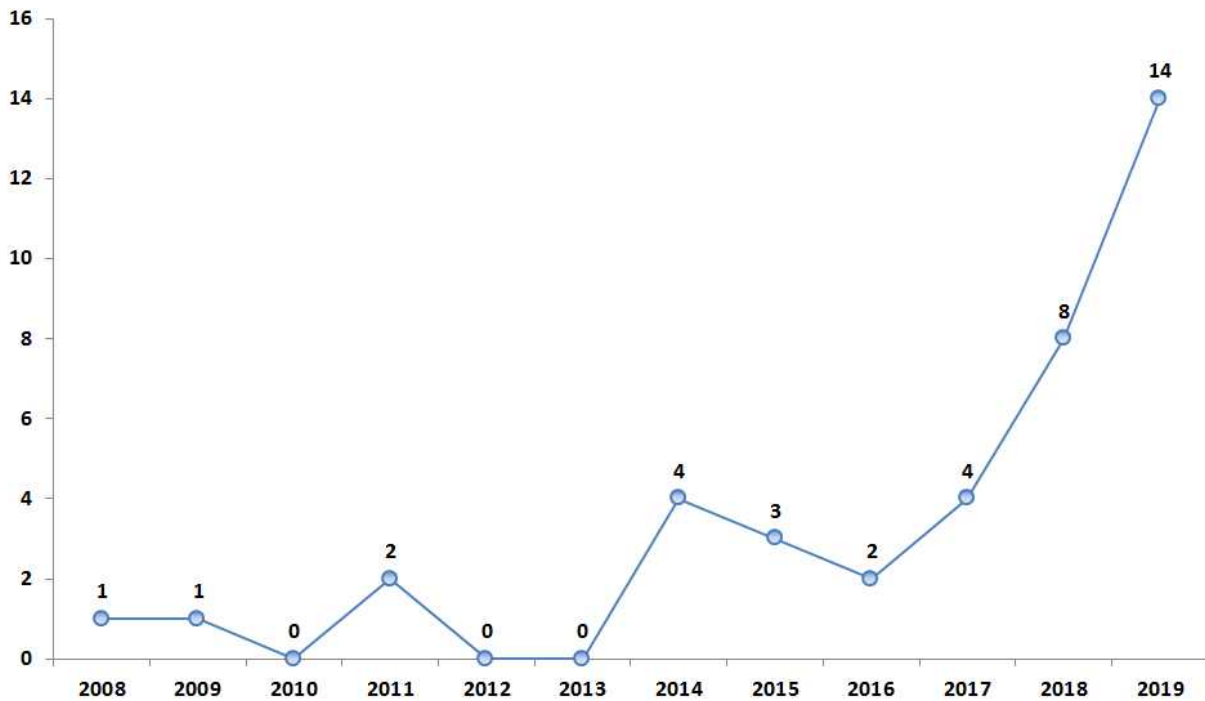


그림 2-2-1. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연간 논문생산성 추이

- 논문생산성 분석결과 2017년부터 증가를 보이다 2019년에 논문생산성이 크게 급증하는 경향을 보임
- 4차 산업혁명에서 주요 연구 분야인 AI, 빅데이터 등과 같은 첨단기술 연구 분야의 관심과 이를 활용한 연구가 2019년에 급증하는 경향을 보임

다. 해양 생태/환경 AI관련 연구주도 국가

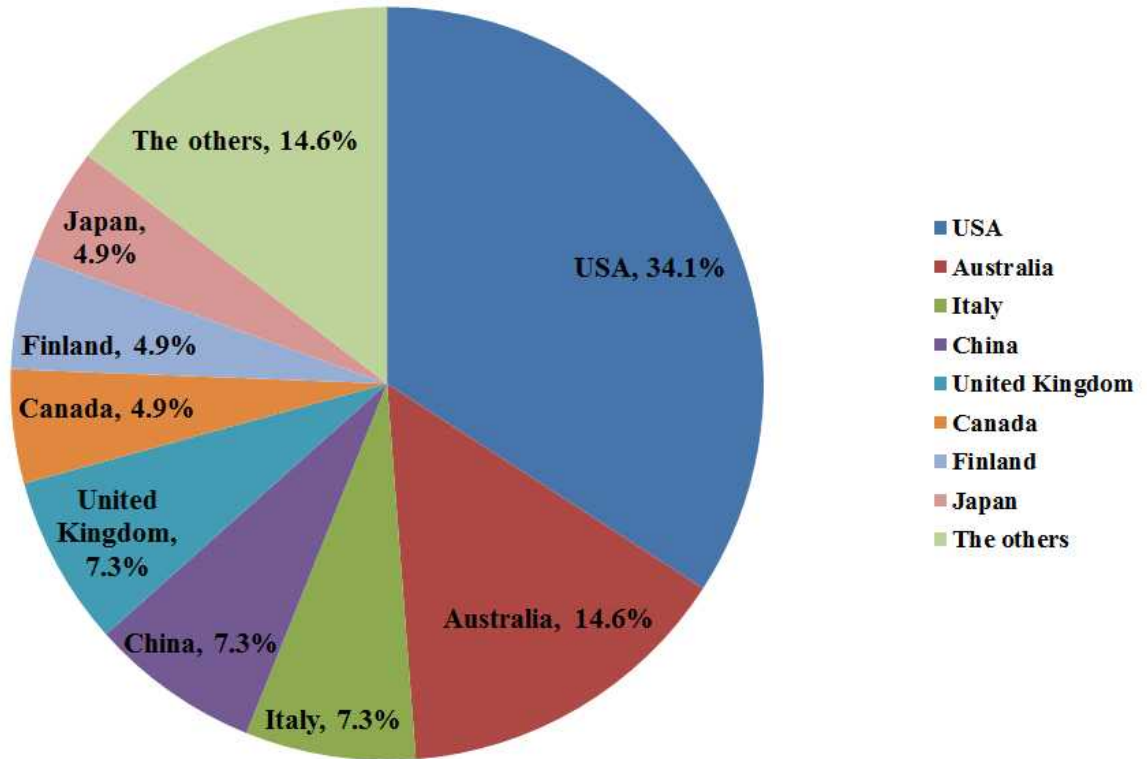


그림 2-2-2. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구주도 국가 순위

- 해양 생태/환경 AI관련 분야의 연구를 주도한 국가는 미국(34.1%), 호주(14.6%), 이탈리아 (7.3%), 중국(7.3%), 영국(7.3%) 순으로 전 세계 연구를 주도하고 있음
- 우리나라는 현재까지 해양연구 분야에서 AI를 접목한 생태/환경 연구는 전무하며, 향후 기후변화에 따른 해양 생태계 변동을 효율적으로 모니터링하고 대응 방안을 모색하기 위해서 해양 생태/환경 AI관련 분야의 연구가 시급함

라. 해양 생태/환경 AI관련 연구협력

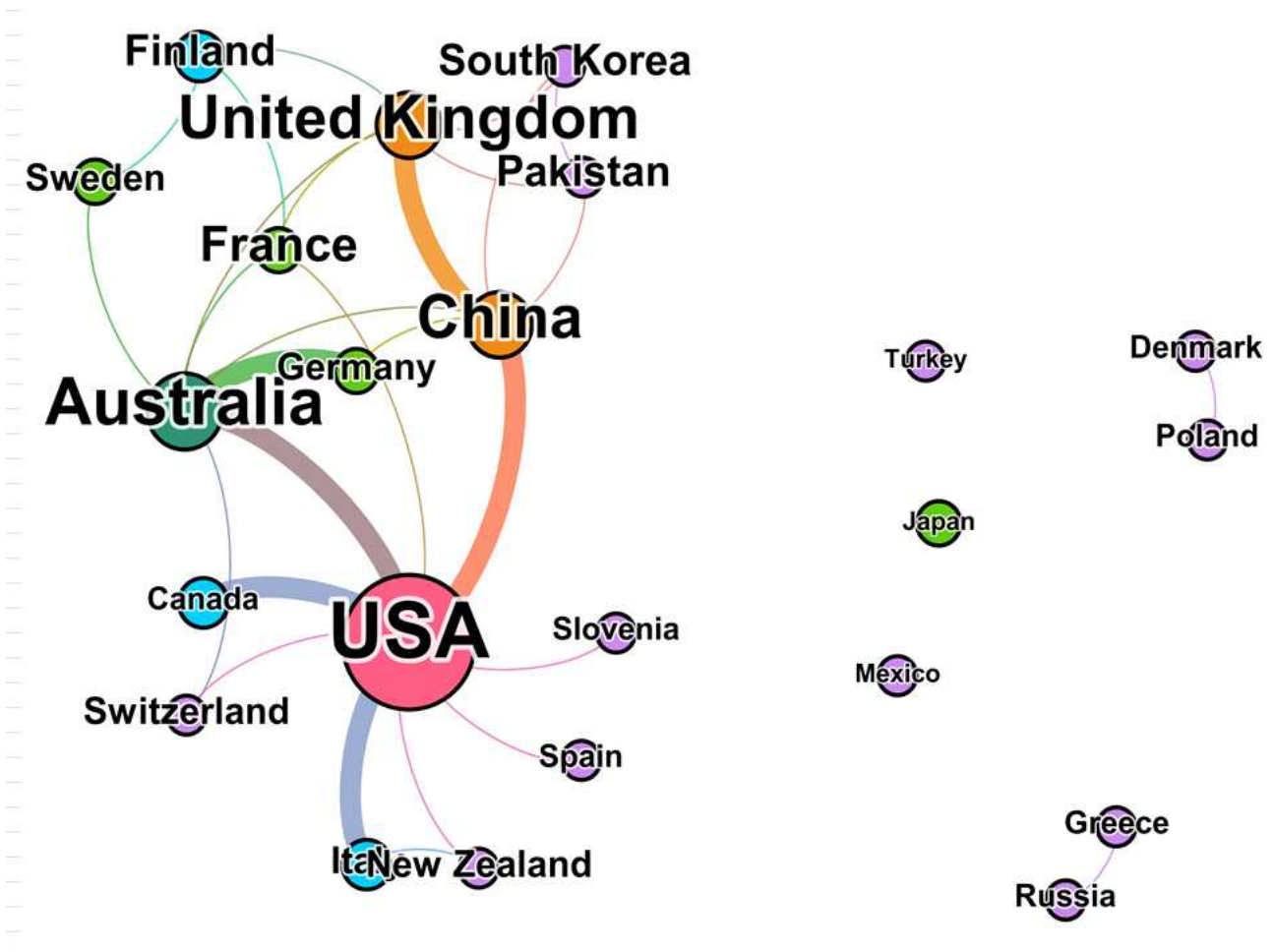


그림 2-2-3. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구협력

- 미국을 중심으로 호주, 중국이 해양 생태/환경 AI관련 분야를 선도하고 있으며, 중국과 영국이 관련 연구협력을 통해 공동연구를 수행 중에 있음
- 우리나라는 파키스탄, 중국과 공동연구를 수행하였으며, 해양 생태/환경 AI관련 분야를 선도하고 있는 미국, 호주, 영국과의 연구협력을 통해 연구 분야의 확장, 벤치마킹 등 4차 산업혁명에 연구역량을 확장할 필요가 있음

마. 해양 생태/환경 AI관련 연구영향력

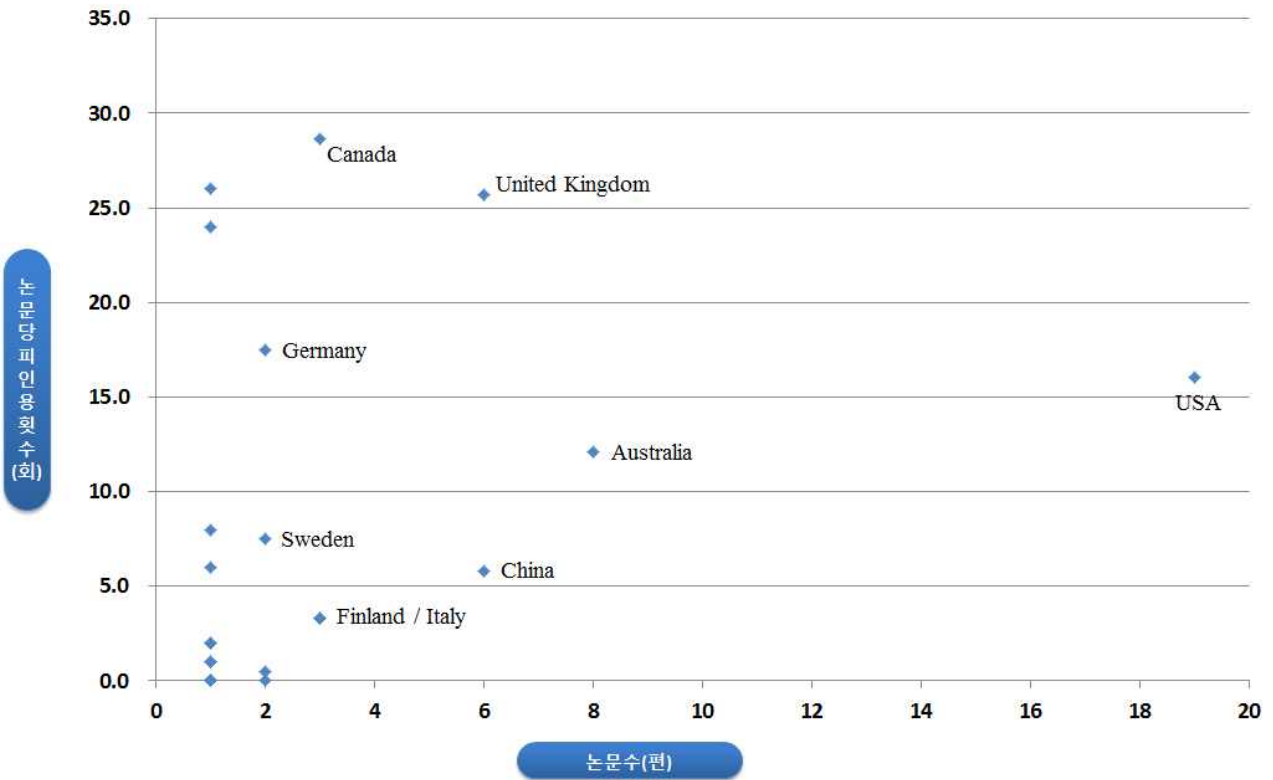


그림 2-2-4. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구영향력

- 생산된 논문 수는 미국이 월등히 많지만 논문 당 피인용 횟수는 캐나다와 영국이 높은 것으로 나타남
- 관련 연구를 주도하는 미국, 호주, 중국보다 영국, 캐나다의 관련 연구의 연구영향력이 더 높은 것으로 나타남
- 투고학술지는 Frontiers in marine science지에 5편으로 가장 많은 관련논문이 출판되었음

2. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구동향

가. 수집기간 및 검색필드

- 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구동향 분석을 위해 Clarivate 사의 Web of Science DB SCI(E) 검색시스템을 통해 1984 ~ 2019년까지 관련 연구분야 연구동향을 분석함
- 검색필드는 제목(Title), 초록(Abstracts), 키워드(Keyword)를 대상으로 분석함

나. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 논문생산성

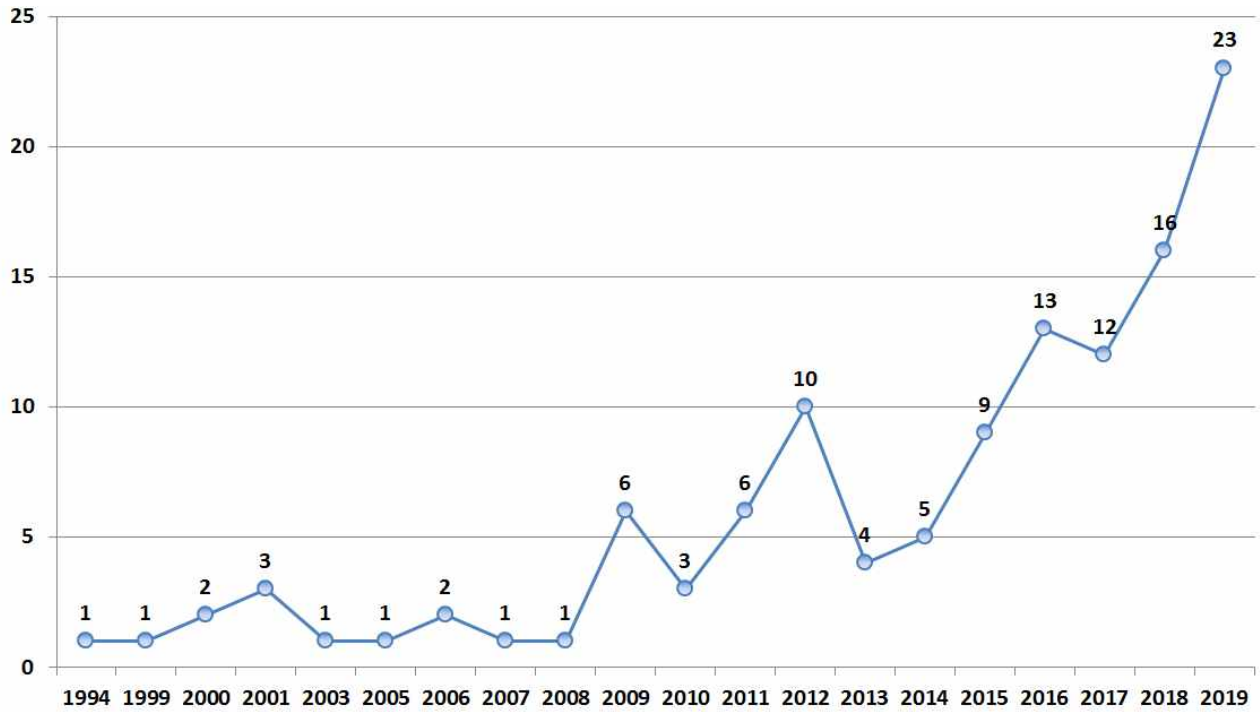


그림 2-2-5. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 논문생산성 추이

- 논문생산성 분석결과 1994년부터 관련 연구를 진행하여 약간의 증감 경향을 보이다 2104년부터 증가하는 경향을 보임. 특히 2019년에 논문생산성이 크게 급증하는 경향을 보임
- 4차 산업혁명에서 주요 연구 분야인 AI, 빅데이터 등과 같은 첨단기술 연구 분야의 관심과 이를 활용한 연구가 활발히 진행되어 장기, 기기, 측정관련 분야의 연구수요도 증가하는 것으로 판단됨

다. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구주도 국가

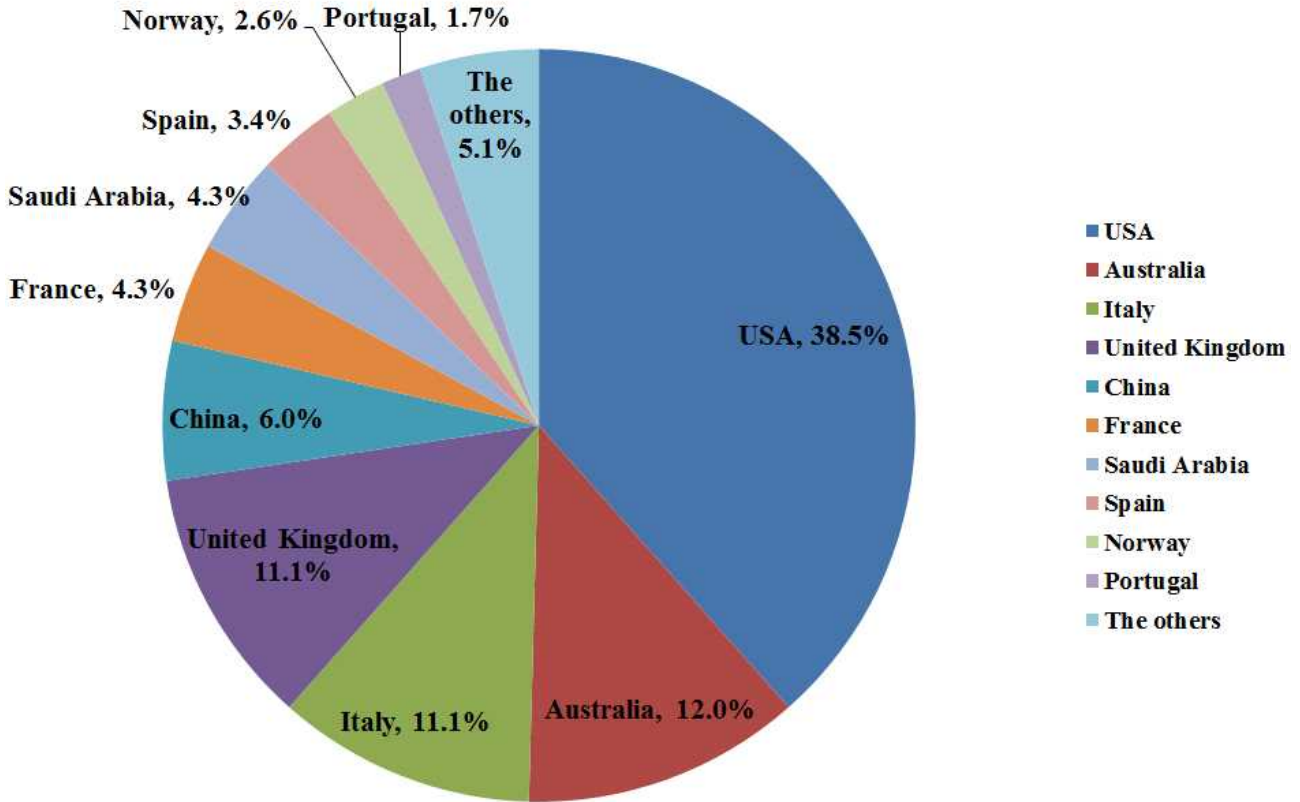


그림 2-2-6. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구주도 국가 순위

-해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구주도 국가 순위 또한 해양 생태/환경 AI관련 분야의 연구를 주도한 국가 순위와 유사하게 나타남. 주로 미국(38.5%), 호주(12%), 이탈리아(11.1%), 영국(11.1%), 중국(6%) 순으로 전 세계 관련 분야연구를 주도하고 있음

라. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구협력

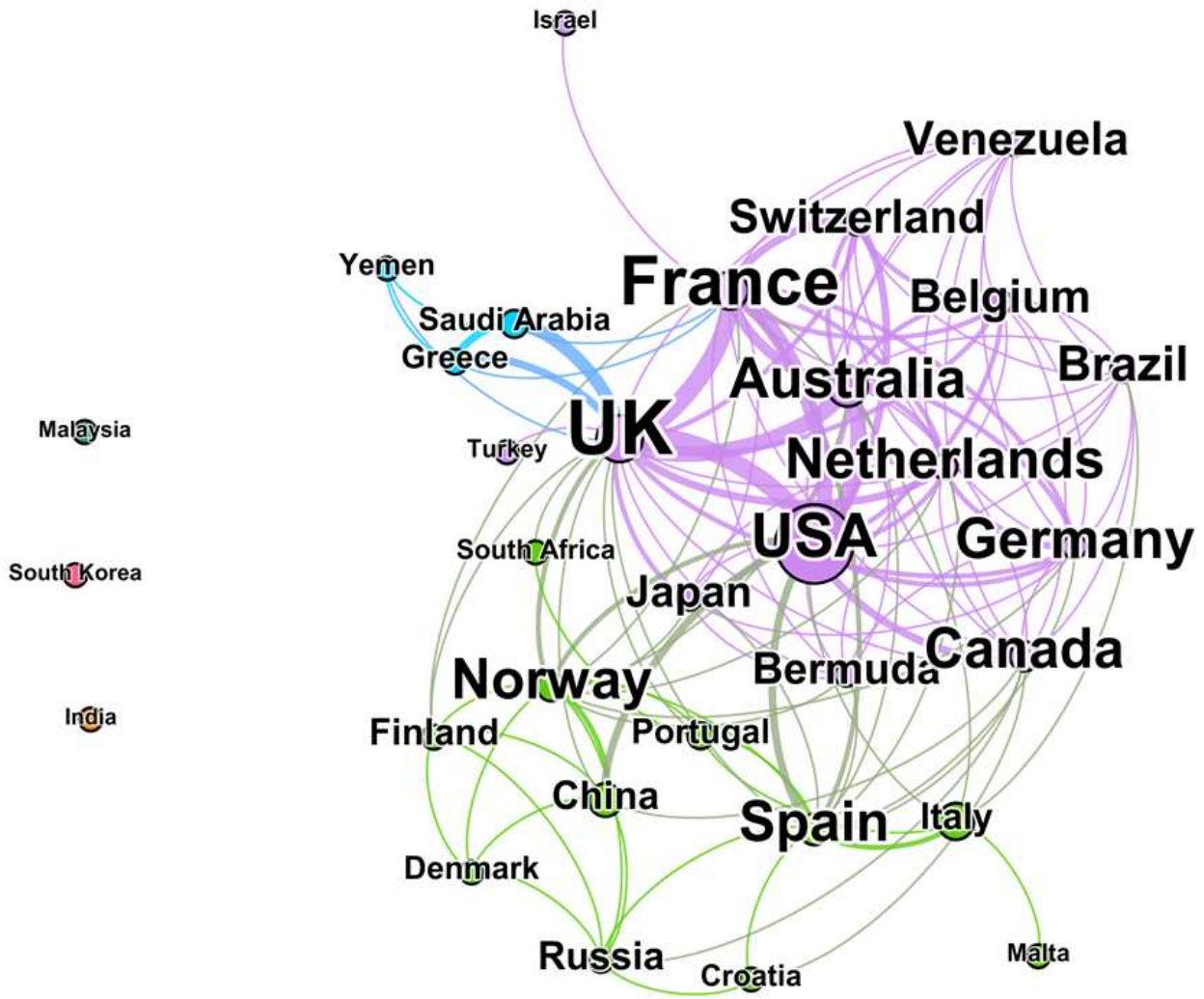


그림 2-2-7. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구협력

- 미국과 영국이 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구를 주도하고 있으며, 해양 생태/환경 AI관련 분야와 유사한 연구협력을 하고 있음
- 우리나라는 현재 연구 주도국가와 연구협력은 없는 것으로 나타남. 향후 4차 산업혁명의 연구역량 강화와 해양 연구 분야의 신기술 접목에 있어 주도국과와 긴밀한 연구협력 체계를 구축할 필요가 있음

마. 해양 생태/환경 장비, 기기, 측정관련 분야 연구영향력

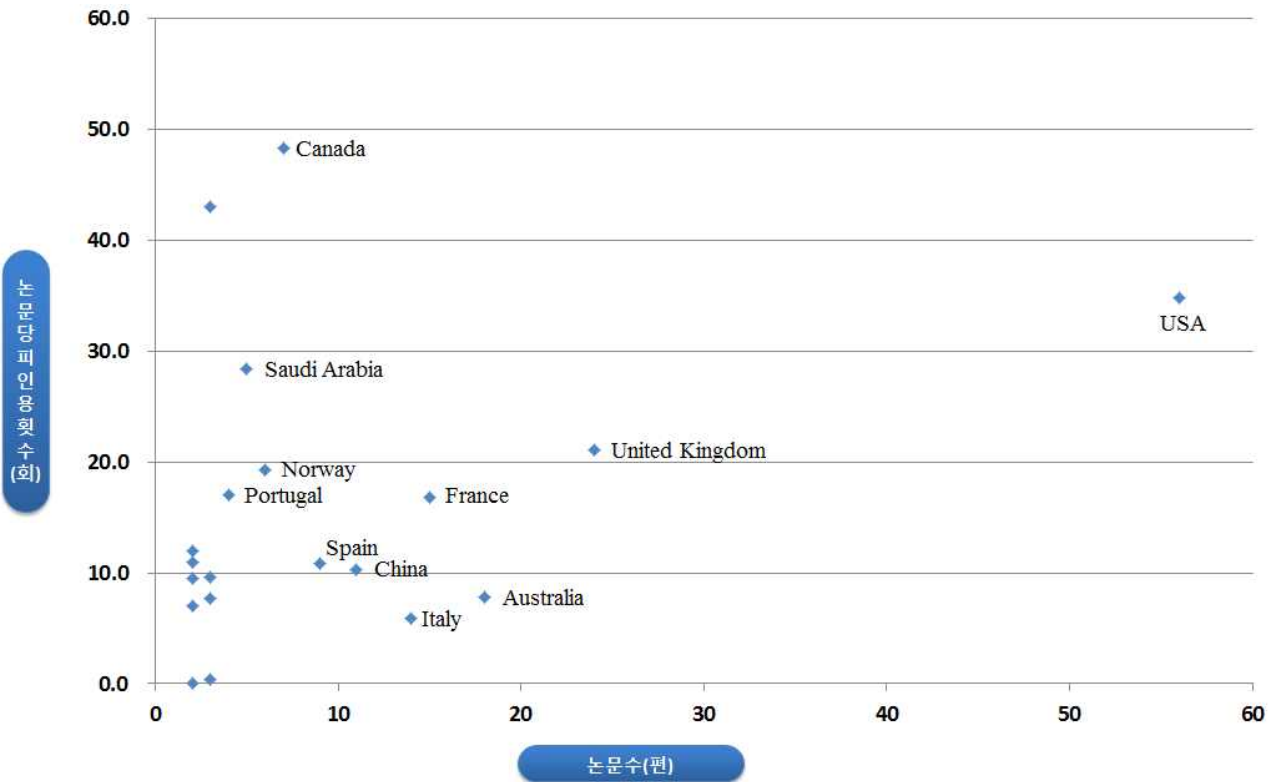


그림 2-2-7. 해양 생태/환경 AI관련 분야 연구영향력

- 생산된 논문 수는 미국이 월등히 많지만 논문당 피인용 횟수는 캐나다가 가장 높은 것으로 나타남
- 해양 생태/환경 AI관련 연구 분야와 유사한 경향을 나타냄
- 투고학술지는 *Frontiers in marine science*, *Continental shelf research*, *Deep-Sea research part*에 가장 많은 관련논문이 출판되었음

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

- 제 1 절 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 및 장단기 예측 추진계획 수립
- 제 2 절 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 규명 연구 기획
- 제 3 절 동해 연안 환경생태계 변동 장단기 예측 시스템 기획
- 제 4 절 동해 연안 환경생태계 최적적응 플랫폼 구축 기획

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 및 장단기 예측 추진계획 수립

1. 연구개발 수행내용

표 3-1-1. 연구개발 수행내용

구분	계획	수행내용
성과목표 1	동해 연안생태계 동적거동 및 장단기 예측 추진계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내·외 기술 동향 및 기술개발 역량 분석 ○ 미래전망(활용 및 기대효과) 분석 ○ 추진전략, 기술개발 로드맵(TRM), 추진 체계 제시 ○ 유관기관 및 관련 외부전문가 참여 연구기획 ○ 소요예산, 연구기간, 소요인력 제시
성과 목표 2	동해 연안환경·생태계 동적거동 규명 연구 기획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 표본 연안생태계 후보지 기획 ○ 생태계 변동 외력 모니터링 기획 ○ 표본 생태계 지시종 변동 모니터링 및 생태계 변동 동적구조 기획 ○ 원전주변해역 인공방사성 핵종 배경농도 모니터링 기획 ○ 유사시 긴급조치 가능 실시간 방사성 핵종 모니터링 시스템 검토 기획
성과 목표 3	동해 연안환경·생태계 변동 장단기 예측 시스템 기획	<ul style="list-style-type: none"> ○ KOOS-coupled 정밀모형체계 기획 ○ 단기(72시간)예측 및 신뢰성 제고 ○ 장기예측 기획
성과 목표 4	연안환경·생태계 최적적응 플랫폼 구축 기획	<ul style="list-style-type: none"> ○ AI 기반 플랫폼 구축·운영 기획

2. 연안 환경·생태재해 사례 분석

가. 기후체제 변화

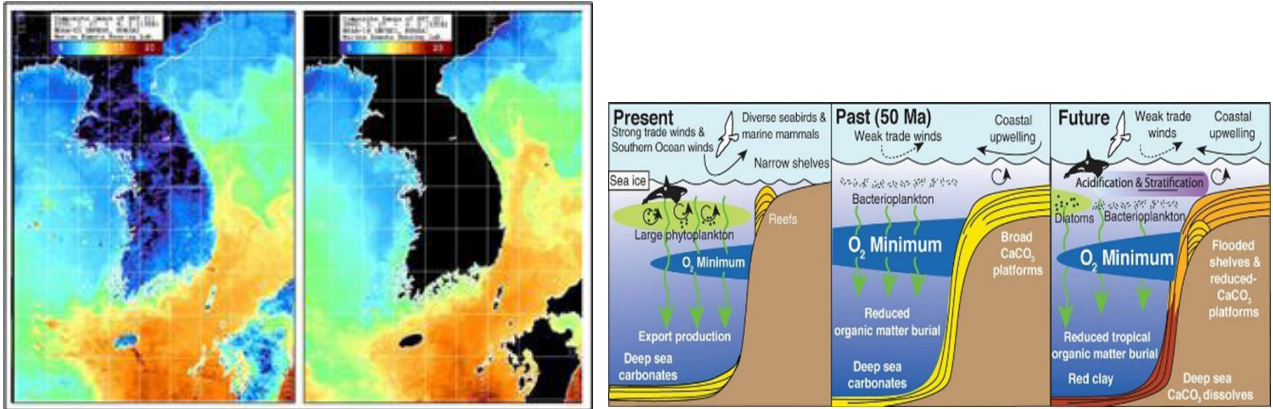


그림 3-1-1. 기후체제 변화(출처: Norris et al., 2013)

- 과거 50년(1968 ~ 2017년)간 우리나라 해역 표층 수온은 전 세계 평균상승폭(0.48°C)의 약 2.6배인 1.23°C 상승하였으며, 동해의 상승폭이 가장 높음(동해: 1.48°C , 서해: 1.18°C , 남해: 1.04°C)
- IPCC는 세기말 해수면이 최대 82 cm 상승할 것으로 전망하였으나, 호주의 최근 연구는 남극 빙상이 예상보다 빠르게 녹고 있음에 따라 세기말 해수면이 1986 ~ 2005년 평균치보다 1.3 m 상승할 것으로 예상하였으며, 미국은 최악의 경우 2 m까지 상승할 것으로 전망함

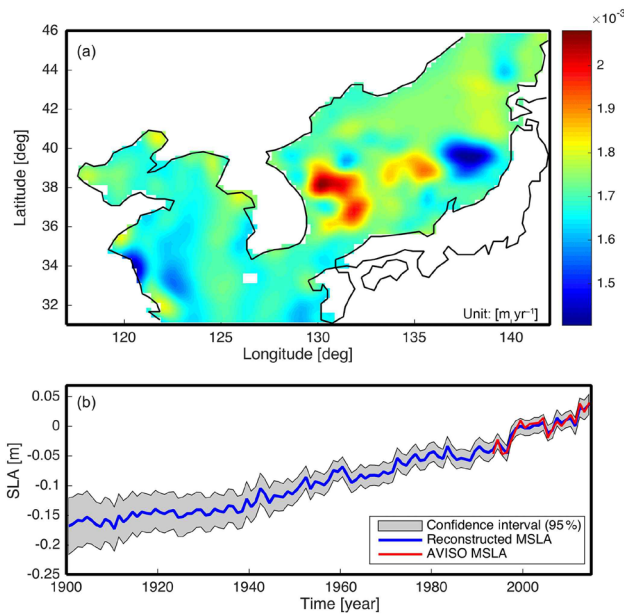


그림 3-1-2. 기후체제 변화(출처: chen et al., 2018)

- 최근 인공위성 재분석 자료에 의한 우리나라 주변 해수면 변동분석 결과에 의하면

1990-2014에 $1.71 \pm 0.04 \text{ mm yr}^{-1}$ 의 해수면 상승을 보였고, 이러한 결과는 동해에서 더욱 뚜렷이 나타났음

- 기후변화에 따른 해양의 수온과 해수면 상승은 연안역에서의 침식과 생태계 변화를 유발시키므로 중장기적인 해양환경변화에 대비하기 위해서는 우리나라 동해 연안에서 향후 나타날 수 있는 해양환경 및 생태계 변화, 그리고 연안 지형 및 퇴적환경 변화 등의 연구가 종합적인 차원에서 수행될 필요가 있음
- 연안은 지구상에서 가장 생산성이 높은 생태계를 가진 공간이며, 전 세계 인구의 40%, 세계 50대 도시의 2/3가 연안에 위치하고 있어 인간생활과 직접적인 관련을 맺고 있는 경제·산업적으로 중요한 공간이기 때문에 체계적인 관리가 필요함

나. 서식지 변화 및 생물다양성 감소



그림 3-1-3. 기후체제 변화에 따른 해양환경 변화(출처: (좌)뉴스라인, (우)국립수산과학원)

- 인류는 건강과 식량, 그리고 안전을 위해 생물다양성에 의존하고 있으며, 의약품에서 식량 생산에 이르기까지 생물다양성은 사회를 유지하고 인류의 안녕을 지키기 위해 없어서는 안 될 존재임
- 지구생명지수에 따르면, 1970년에서 2014년 사이에 생물종 개체수의 60%가 감소하였으며, 열대지방에서 생물종의 개체수 감소가 두드러짐
- 생물다양성과학기구(IPBES) 보고서에 따르면 약 100만 종의 동식물이 수십 년 내로 멸종위기에 처해있으며, 양서류 44%, 해양 포유류 33%가 멸종 될 것으로 예측함
- 최근 남극해의 해양보호구역(MPA)에서 어업, 기후변화 등에 의해 해양생물 종 및 종다양성이 지속적으로 감소하고 있는 상황에서 뉴질랜드 정부는 이러한 심각성을 알리는 포스터를 제작하고 해양보호구역을 보존하기 위한 지속적인 과학적 연구가 필요함을 강조하고 있음
- 동해 연안의 침식 취약해역인 해빈(사질 해안)에는 사구식물 군락이 대규모로 발달한 지역이 많으며, 퇴적물 표면이나 내부에 굴을 파고 살아가는 대형저서생물과 보다 작은 생물인 선형동물, 저서성 요각류 등의 다양성이 높은 간극생물도 높은 밀도로 서식하여, 침식 대응

서식생물의 변동 영향에 대한 모니터링이 요구됨

- 연안 생물의 생육장으로 중요한 동해안의 해빈 주변 중·소하천 하구와 수중 암반 생태계는 연안역의 개발에 따라 그 생태적 기능과 구조가 가장 먼저 영향을 받고 있기 때문에 효과적인 분석과 관리 연구가 시급한 실정임

다. 해양오염

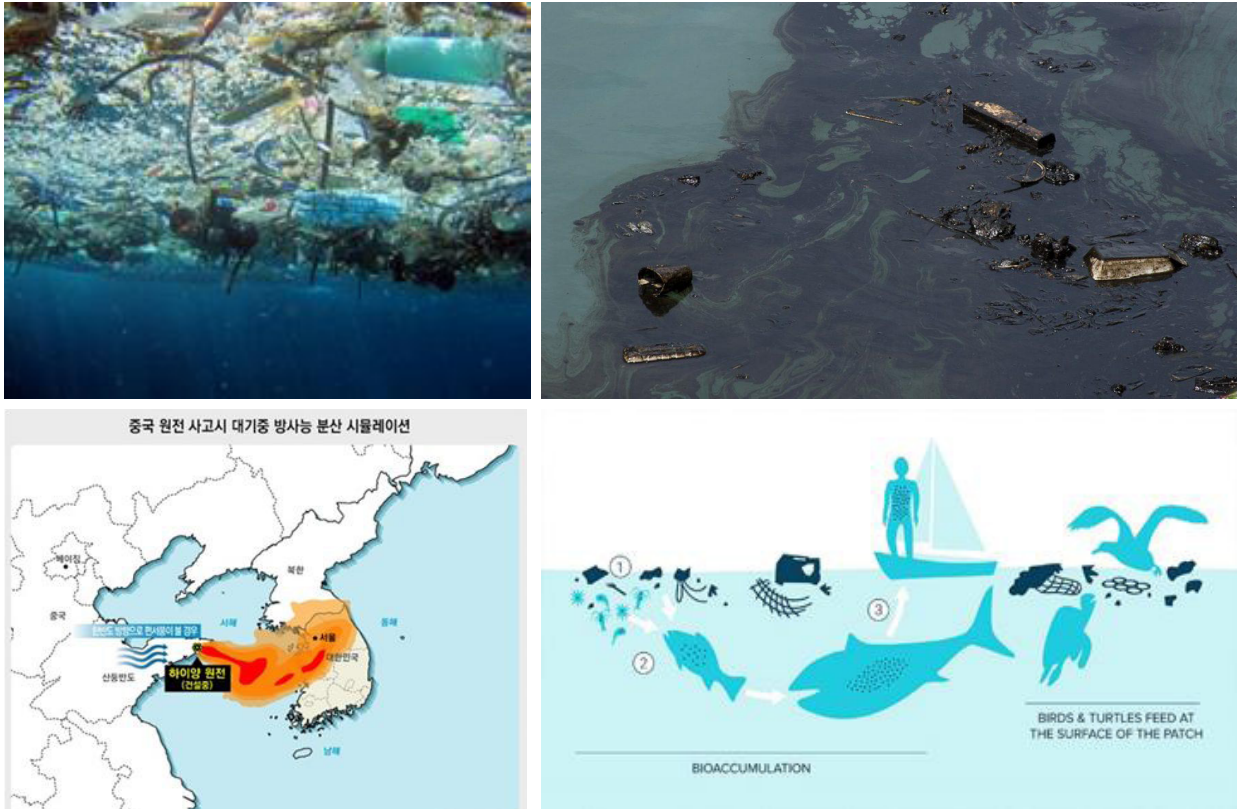


그림 3-1-4. 해양오염의 예

- 미세플라스틱, 해양쓰레기오염 : 한국산업환경기술원에 따르면 1950년부터 2015년까지 전 세계 플라스틱 생산량은 83억 톤이며, 폐기물 발생량은 63억 톤에 달함. 이러한 플라스틱 폐기물은 해양으로 유입되어 해양생물의 생존에 부정적인 영향을 미치며, 결국 수산물 등을 통해 인간의 몸속으로 들어와 인간의 생존에 직접적인 영향을 미침. 2018년 국립해양생물자원관, 국립생태원 등 7개 기관의 공동 연구결과 바다에서 폐사체로 발견된 바다거북의 몸에서 낚시줄, 비닐조각, 노끈 등 30점이 넘는 해양쓰레기가 발견됨
- 유류오염 : 해상물동량의 증가에 따라 매년 300여 건의 해양유류오염 사고가 발생하고 있으며, 유조선의 대형화로 인한 대규모 오염사고도 빈번히 발생하고 있음. 유출된 유류는 표면에 유막을 형성하여 수중의 용존산소 포화도 저해, 광합성 저해 등과 같은 영향으로 어패류, 조류, 저서생물 등의 전 생태계에 부정적인 영향을 미침
- 방사능오염 : 2차 세계대전 이후 세계 주요 강대국들에 의해 활발하게 수행된 대기와 우주

및 수중핵실험이 1963년 핵실험 금지 조약의 조인에 의해 인공방사성 핵종의 해양환경 유입량과 농도는 지속적으로 감소해 왔음. 하지만 1986년의 체르노빌 원전사고, 영국 아일랜드해 해안의 셀라필드 재처리소의 22년간에 걸친 방사성물질 유출 등과 같이 핵관련 사고로 인한 일시적이면서 국지적으로 높은 농도의 인공방사능이 해양환경에서 관측된 사례도 있음

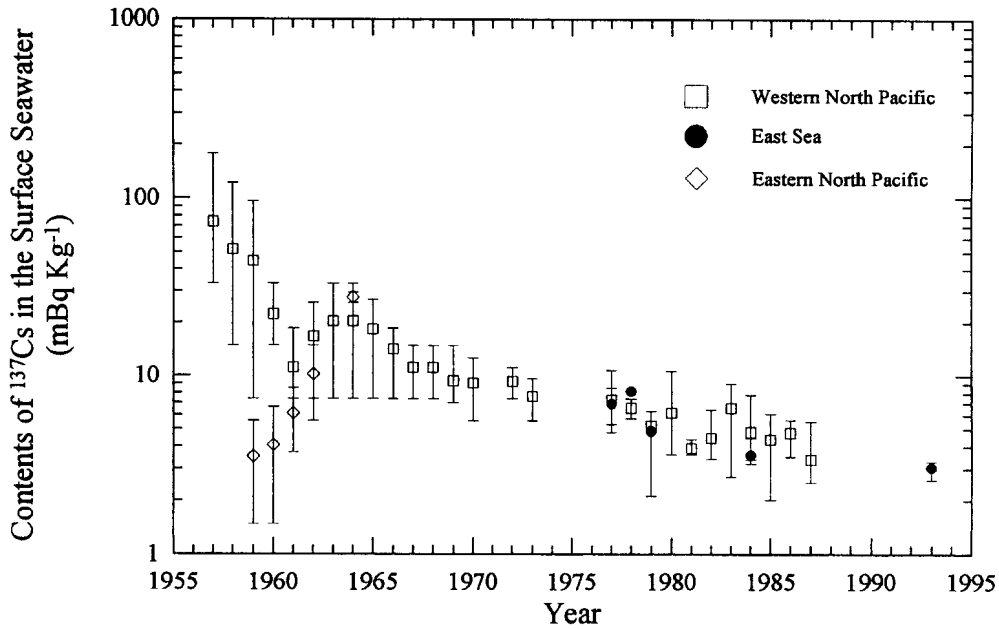


그림 3-1-5. 북태평양 표층수의 ¹³⁷Cs 농도변화(Kang et al., 1997)

- 2011년 동일본 대지진에 동반된 지진해일에 의한 후쿠시마 원전사고는 방사성 물질 누출사고는 사회적 혼란을 가져올 정도로 우리사회에 방사능에 대해 심각한 우려를 남겼음. 사고 직후 대기로 방출된 방사성물질은 북반구를 일주하여 약 2주 후에 우리나라에도 유입이 관측되었음

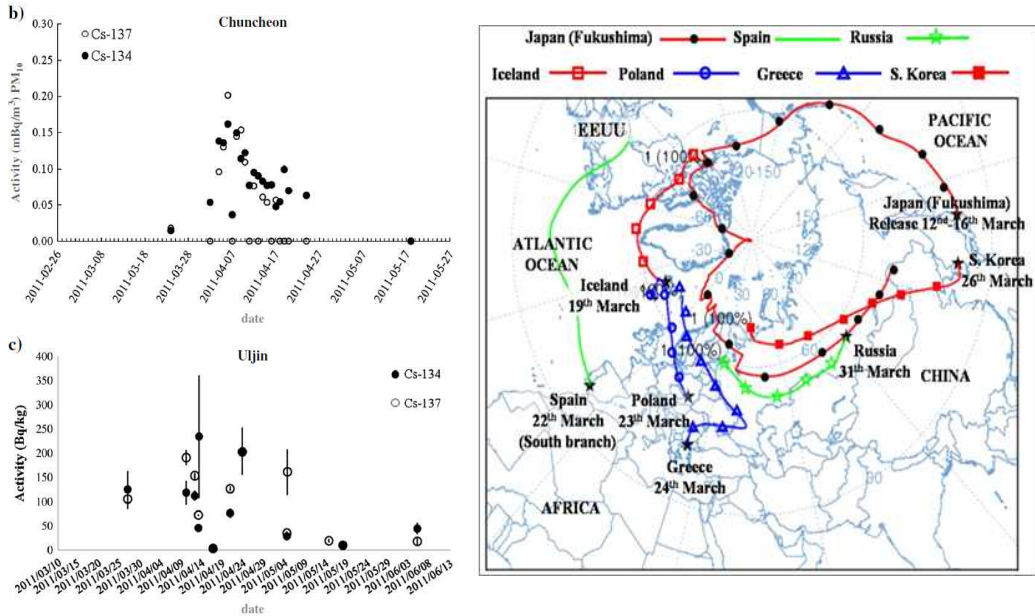


그림 3-1-6. 후쿠시마 원전사고 이후 우리나라 대기 중 ^{137}Cs 농도의 시간변화 및 backward trajectory 분석 결과(Hernandez et al., 2012)

- 2011년 7월 사고지점 근해에서 측정된 ^{137}Cs 농도는 사고전의 배경농도에 비해 10,000배 정도 높은 값을 나타내었으며, 쿠로시오 해류를 따라 북태평양으로 이동하는 것으로 보고되었음(Buesseler et al., 2011). 그리고 해양으로 유출/누출된 방사성물질에 의해 사고 주변해역의 해수뿐만 아니라 해저퇴적물, 해조류 및 다양한 해산물에서 기준치를 초과하는 높은 농도가 측정되어 이를 섭취하는 것에 의한 생물농축이 인체에 미치는 유해성에 대한 연구의 필요성도 대두되었음(Otosaka and Kobayashi, 2013)

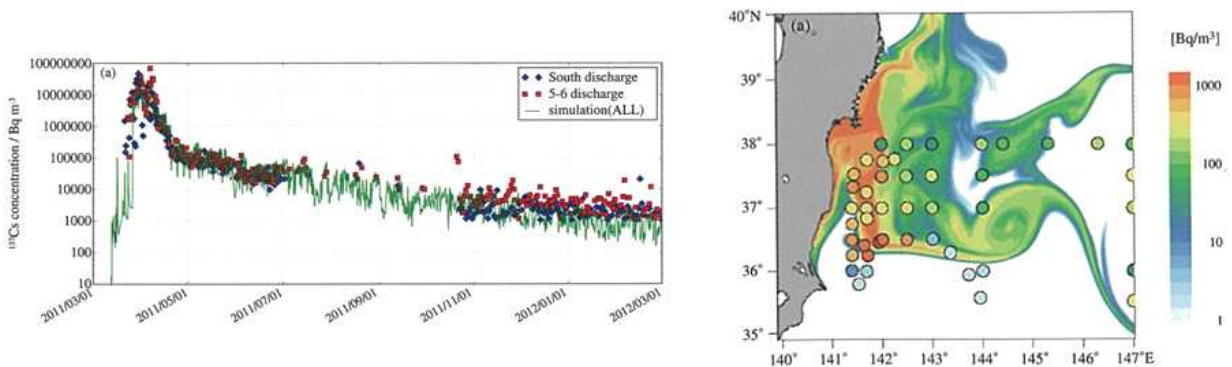


그림 3-1-7. 후쿠시마 제1원전 부근 해역 ^{137}Cs 농도변화(2011년 3월 ~ 2012년 3월)

- 한편 우리나라는 지리적 특성에서 잠재적인 방사능 관련사고 위협이 상시 존재하는 국가임. 우리나라가 보유하는 원자로는 2019년 7월 현재 가동 중인 것이 23기로 미국, 프랑스, 중국, 일본, 러시아에 이어 전 세계에서 6번째로 원자료가 많은 국가임

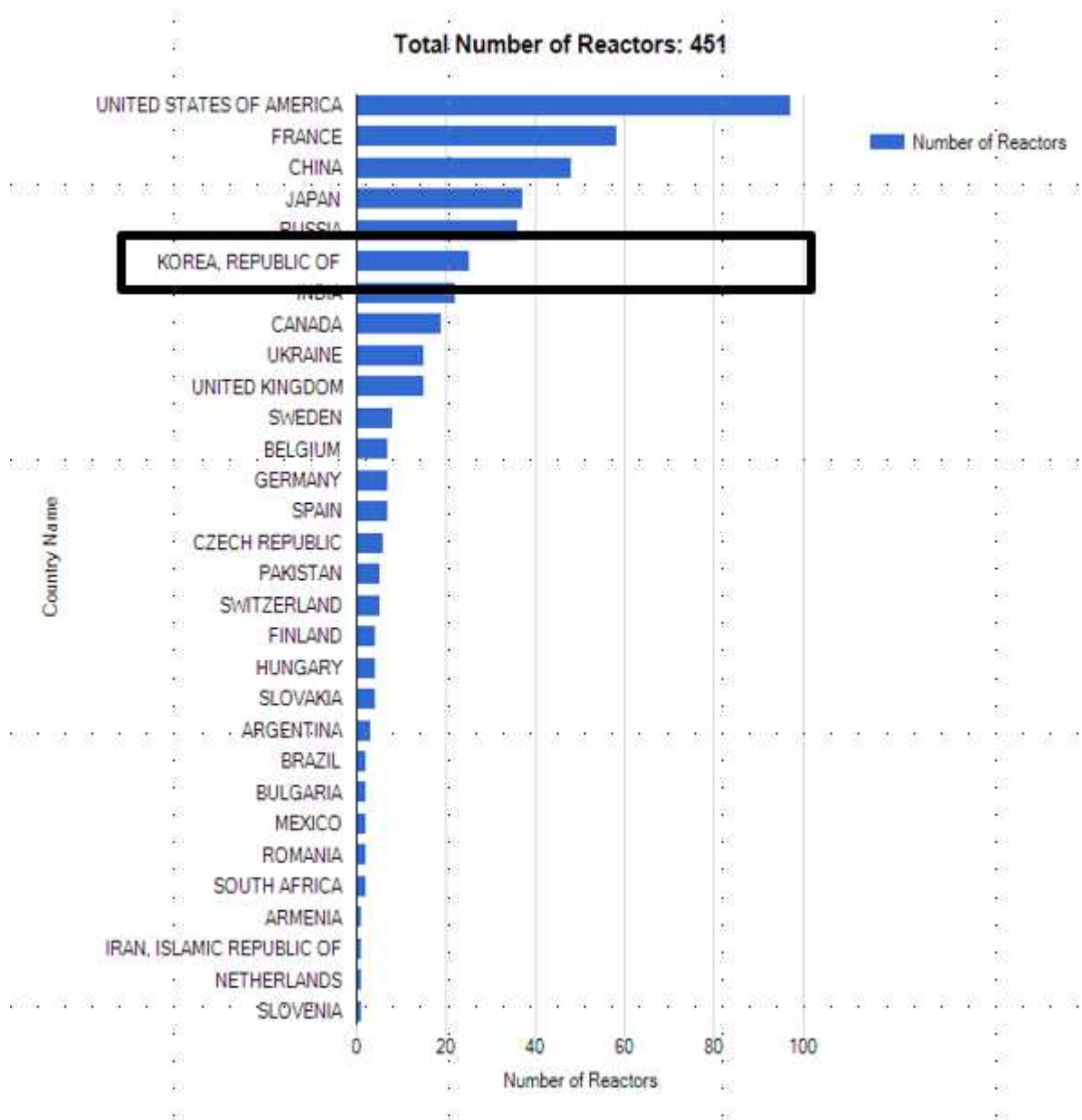


그림 3-1-8. 전세계 국가별 원자로 보유수

- 인접국인 중국의 경우 2019년 기준으로 46기가 가동 중이며 건설 중인 것이 11 및 건설계획 또는 계획수립이 약 200기로 우리나라의 10배이며, 일본의 경우 후쿠시마 원전사고 이전의 상황으로 54기 가동 중이었으나 현재 37기이며 건설계획을 포함하면 약 63기로 우리나라의 2.5배 정도 존재함. 특히 주목할 것은 중국의 원전은 모두 황해 연안에 건설되어 있기 때문에 사고가 발생할 경우에는 우리나라에 심각한 영향을 미칠 것으로 예상됨



그림 3-1-9. 우리나라 및 주변국의 원전 현황(건설계획 포함)



그림 3-1-10. 중국의 원전사고시 대기 중 방사성 물질 확산 시뮬레이션

- 연안 생물의 서식지로서 중요한 동해안의 다양한 해양오염에 의한 생물다양성 감소와 이로 인한 생태계 서비스의 감소를 과학적인 연구를 통해 정량화 할 필요가 있음

3. 추진전략, 기술개발 로드맵(TRM) 추진체계

가. 기획연구 추진체계



그림 3-1-11. 기획연구의 추진체계

나. 기술개발 로드맵(안)

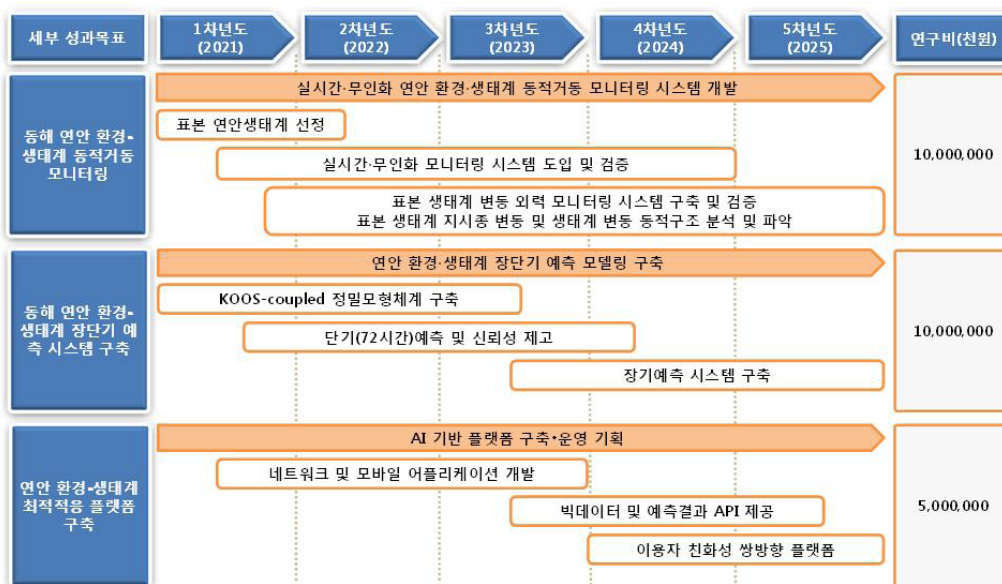


그림 3-1-12. 기획연구의 기술개발 로드맵(안)

다. 추진전략(안)

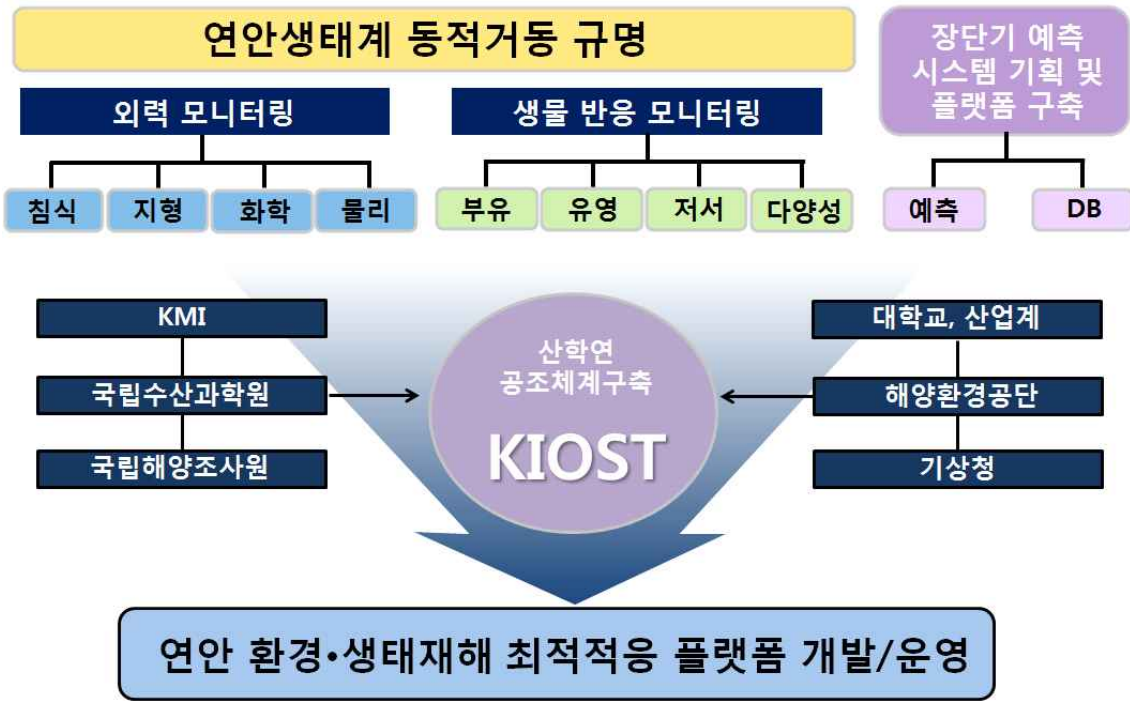


그림 3-1-13. 기획연구의 추진전략(안)

라. 소요예산, 연구기간, 소요인력(안)

표 3-1-2. 기획연구의 소요예산, 연구기간, 소요인력(안)(단위 : 억원)

년도(인력)	2021	2022	2023	2024	2025	계
세부연구개발 과제	(40)	(40)	(40)	(40)	(40)	계
동해 연안환경·생태계 동적거동 규명 연구 기획	20	20	20	20	20	100
동해 연안환경·생태계 변동 장단기 예측 시스템 기획	20	20	20	20	20	100
연안환경·생태계 최적적응 플랫폼 구축 기획	10	10	10	10	10	50
계	50	50	50	50	50	250

마. KIOST 핵심 성과목표 및 국가아젠다(정부 국정과제) 부합성

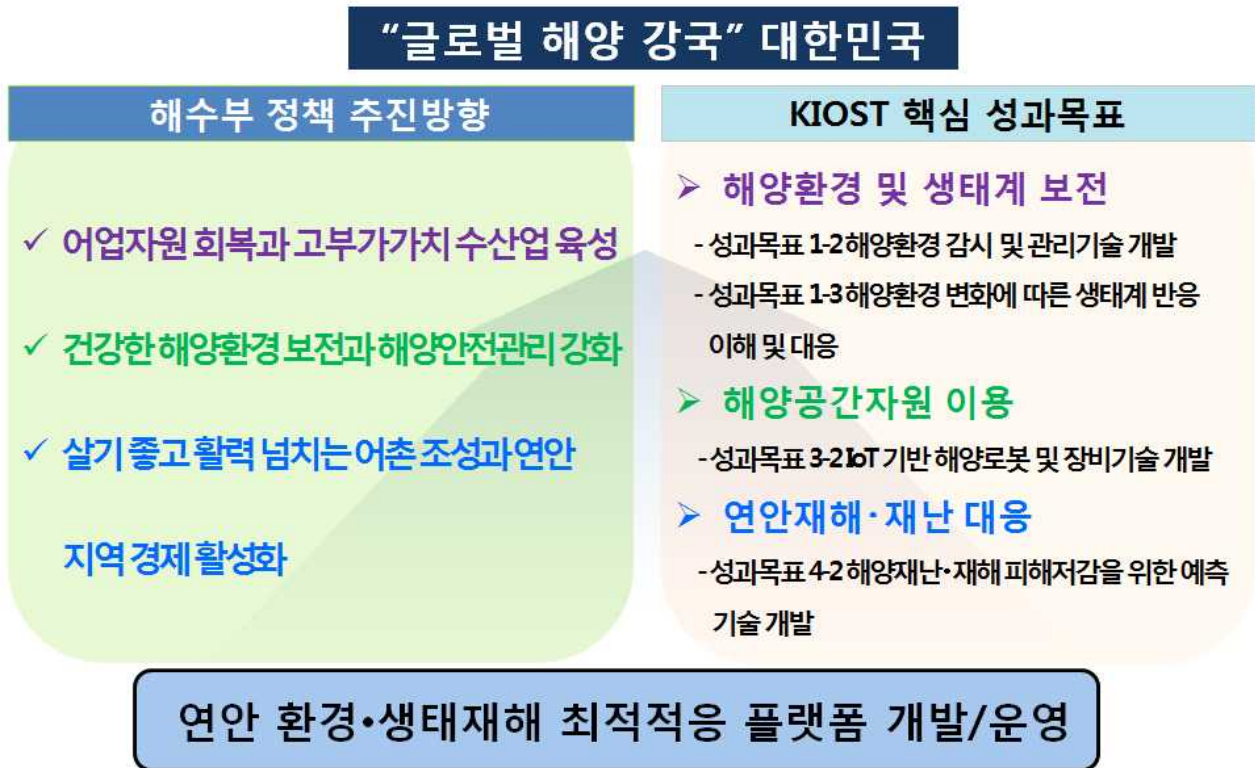


그림 3-1-14. 기획연구의 KIOST 핵심 성과목표 및 국가아젠다 부합성

1) KIOST 핵심 성과목표 부합성

가) 해양환경 및 생태계 보전

- 성과목표 1-2 해양환경 감시 및 관리기술 개발
- 성과목표 1-3 해양환경 변화에 따른 생태계 반응 이해 및 대응

나) 해양공간자원 이용

- 성과목표 3-2 IoT 기반 해양로봇 및 장비기술 개발

다) 연안재해·재난 대응

- 성과목표 4-2 해양재난·재해 피해저감을 위한 예측기술 개발

2) 해수부 정책 추진방향 부합성

- 어업자원 회복과 고부가가치 수산업 육성
- 건강한 해양환경 보전과 해양안전관리 강화

- 살기 좋고 활력 넘치는 어촌 조성
과 연안지역 경제 활성화

3) 국가적 아젠다(정부 국정과제, 제4차 과학기술기본계획 등)와의 연계성

- 더불어 잘 사는 경제 : 연안생태계 건강성 향상으로 연근해 생산성 제고

- 내 삶을 책임지는 국가 : 연안관광산업 활성화

제 2 절 동해 연안 환경·생태재해 동적거동 규명 연구 기획

1. 표본 연안생태계 후보지 기획

- 다양한 형태의 연안생태계가 존재하며, 접근성이 우수하고 다양한 관측인프라가 구축되어있음과 아울러 생태계 특성 규명이 시급한 동해연구소 주변 연안을 우선적으로 고려함
- 2020년 개관예정인 국립해양과학교육관 해중전망대 주변 해양생물다양성 및 변동성 규명 시급
- 한울·신한울 원전 배수구 주변 해역을 기후변화에 의한 해수온 상승 영향 연구 Mesocosm 으로 활용



그림 3-2-1. 한국해양과학기술원 동해연구소 해양관측 인프라

2. 표본 연안생태계 변동 외력 모니터링 기획



그림 3-2-2. 한수원 관측정점(국립해양조사원·국립수산과학원 실시간 자료 제공)

- 수행 중인 유관기관 실시간 수온·염분, 해류관측 활용 : 한수원 나곡·덕천 정점
- 수행 중인 동해연구소 실시간 관측자료 활용 : X-band Radar(파랑), 비디오 영상(해안선), 지중압력(백사장 표고), 지하수위 등
- 실시간 관측 추가 : 해상·해중전망대 접근 피어(잔교)에 파랑·흐름·수심·수질 측정기 설치
- 표층수온 공간분포 : 인공위성 및 적외선 촬영 드론 영상
- 수심 : 멀티빔·싱글빔, 인공위성(Sentinel)
- 폭풍사상 수리·표사특성 정밀관측 : 동해연구소 보유 BBLs (Bottom Boundary Layer system)

3. 연안 서식지 환경 정보 파악을 위한 지형/지질 분야 모니터링 자료획득 기획

- 1) 자료획득 정밀해저지형/해저면영상 자료획득(준실시간)
- 2) 기후변화나 개발활동과 관련된 연안 퇴적물 특성 및 지형변화 관측(이벤트)
- 3) 탄소 동위원소 측정 및 미생물 군집 채집을 통한 연안환경변화 관측(주기적)

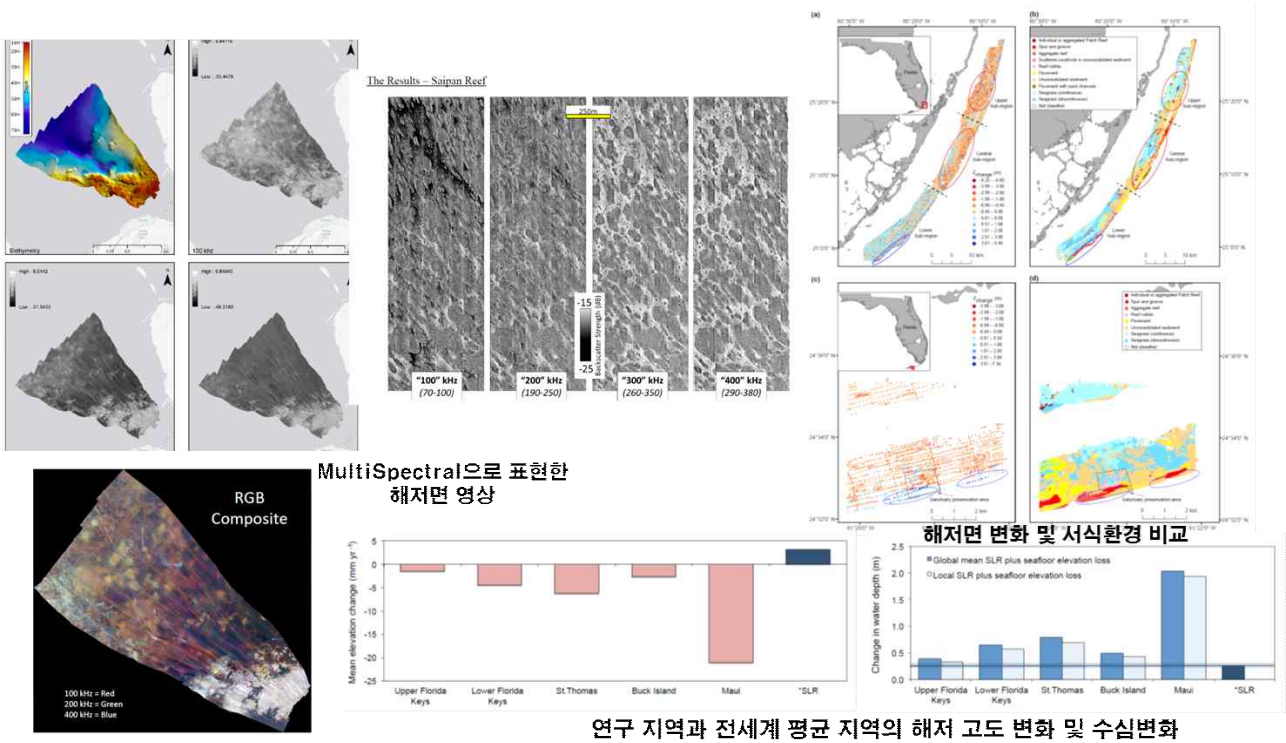


그림 3-2-3. 멀티빔을 이용한 환경 정밀 가시화 분석 사례

- 서식지별 해저면 환경 변동(지형)과 생태계 변화를 통해 해수면 상승과 관련된 연안 영향 예측
- 멀티빔을 이용한 MultiSpectral 방식으로 서식지 해저면 환경 정밀 가시화 분석

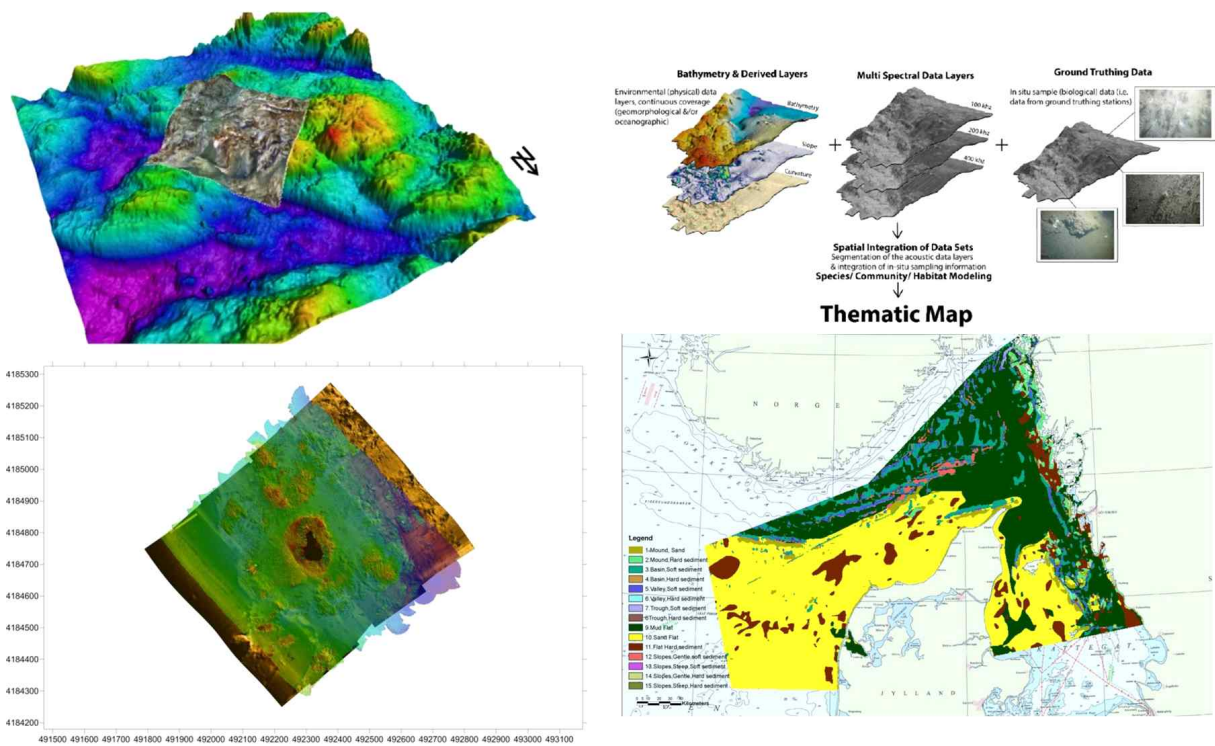


그림 3-2-4. 최신기법을 활용한 해저면 환경분석과 환경자료 연계 서식지 종합 분석 사례

- 지형, 지질, 수중영상을 종합하여 Eco-mapping을 활용한 환경 생태 파악
- 최신기법을 활용한 해저면 환경분석과 타분야 환경자료와 연계하여 종합 분석

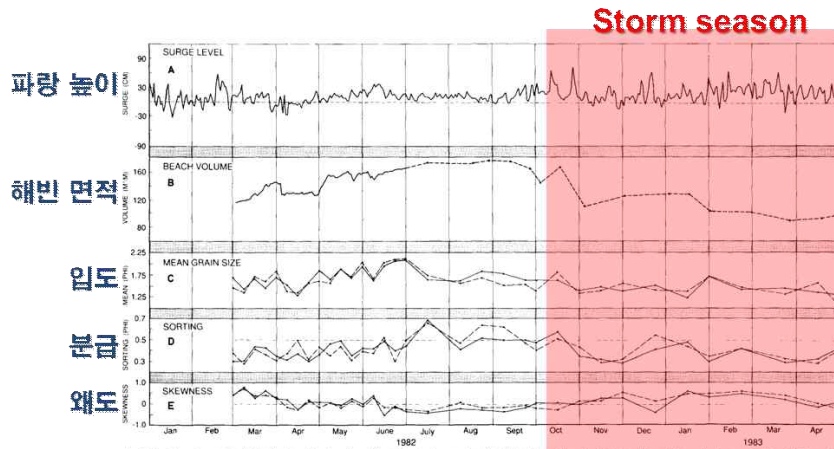


Fig. 2. Variation in surge levels (A), beach sediment volume (B), and textural properties of mid-foreshore sediments (C, D, and E) with time. In diagrams C, D, and E, the solid line represents samples from site 1 while the dash line represents samples from site 2.

(Dubois, 1989, "Seasonal variation of mid-foreshore sediments at a Delaware beach")

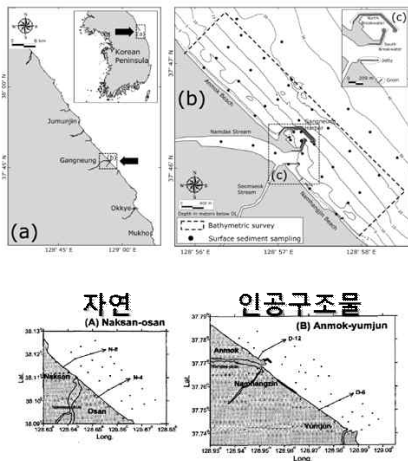
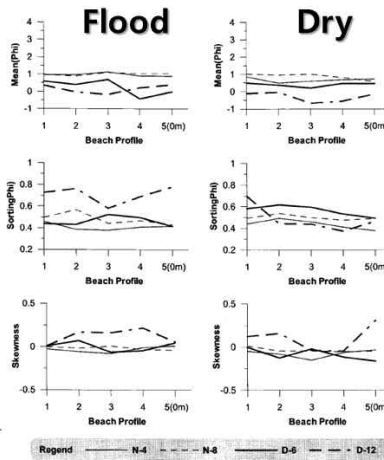


Fig. 1. Location of the study area; a) Naksan-Osan beach and b) Anmok-Yumjun beach. The black box indicates artificial structures (Anmok harbour and sea wall).

오재경 등
(2007)



바닷물보다 퇴적물에서 미생물이 많다

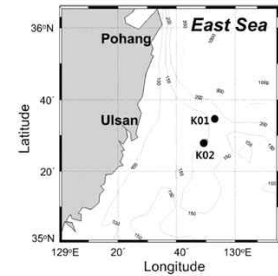


Table 1. The number of OTUs, Good's coverage and diversity indices obtained in each sample

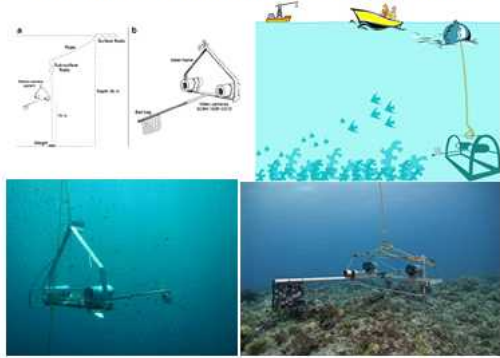
Habitat	Date	Station	OTUs	Good's Coverage	Diversity index		
					Aur	Chao1	Simpson
Sediment	May, 2002	K01	1491	0.42	22238	7777	6.97
		K02	1468	0.45	11954	6667	6.97
	Sep, 2012	K01	1102	0.63	4929	3146	6.41
		K02	1225	0.61	5255	3029	6.76
	Nov, 2012	K01	1405	0.48	12475	5783	6.88
		K02	1353	0.52	9475	4936	6.82
Feb, 2013	K01	1147	0.59	7070	3589	6.68	
	K02	1246	0.56	9085	4337	6.67	
Silt water	May, 2002	K01	694	0.78	3716	2064	5.42
		K02	752	0.76	4489	2531	5.61
	Sep, 2012	K01	378	0.89	1262	764	4.32
		K02	363	0.91	926	685	4.46
	Nov, 2012	K01	343	0.93	724	572	4.49
		K02	485	0.89	990	787	5.04
Feb, 2013	K01	296	0.93	747	512	4.21	
	K02						

그림 3-2-5. 기후변화에 따른 연안 저서환경 변화 모니터링 사례

- 온난화와 연관된 폭풍(강도 및 빈도)변화에 따른 연안 퇴적물 특성 변화 모니터링
- 개발활동(항만, 어항 및 해사채취)에 의한 퇴적특성 및 지형변화 모니터링
- 동위원소(C14) 측정을 통한 유기탄소 순환연구
- 연안 퇴적물 하층 해수 미생물 군집분석 연구

4. 표본 연안생태계 건강·기능 지시종(indicator species) 변동 모니터링 기획

BRUVS (baited remote underwater video station)



Towed flying video array

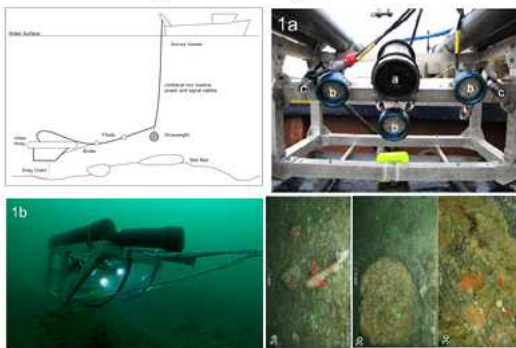
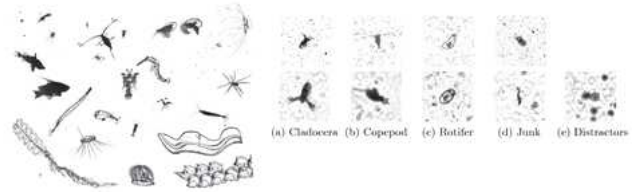


그림 3-2-6. 실시간/준실시간 최첨단 해양관측장비 예시

Deep Learning to Detect Hundreds of Different Plankton Species



Machine learning to classify animal species in camera trap images

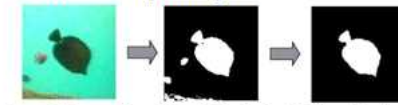


Figure 1. Pre-processing with Otsu's binarization, Dilation and Erosion.



Figure 2. Dataset used



- 실시간/준실시간 최첨단 관측장비 개발 및 적용
- 최근 선진국에서는 BRUVS (baited remote underwater video stations)를 활용하여 생태계 비파괴적 방법으로 유명동물(수산자원)을 모니터링하고 있으며, 미래 친환경적 수산자원 정량조사 방법으로 활용도가 높음
- 최근 활용도가 높은 해양생물 카메라 이미지에 인공지능 딥러닝 기술을 적용하여 준실시간 생물군집 모니터링
- ROV, AUV, BRUVS, 채수 등을 이용한 효율적 종합관측으로 표본 생태계의 저서·수중 지시

중 군집변동을 모니터링

- 한국해양과학기술원이 보유한 ROV(해미래)와 DSC (deep sea camera)를 활용하여 실시간/준 실시간 생물모니터링 기술 구축

• 자율형 최신 해양 기계를 이용한 첨단 무인 관측 시스템화

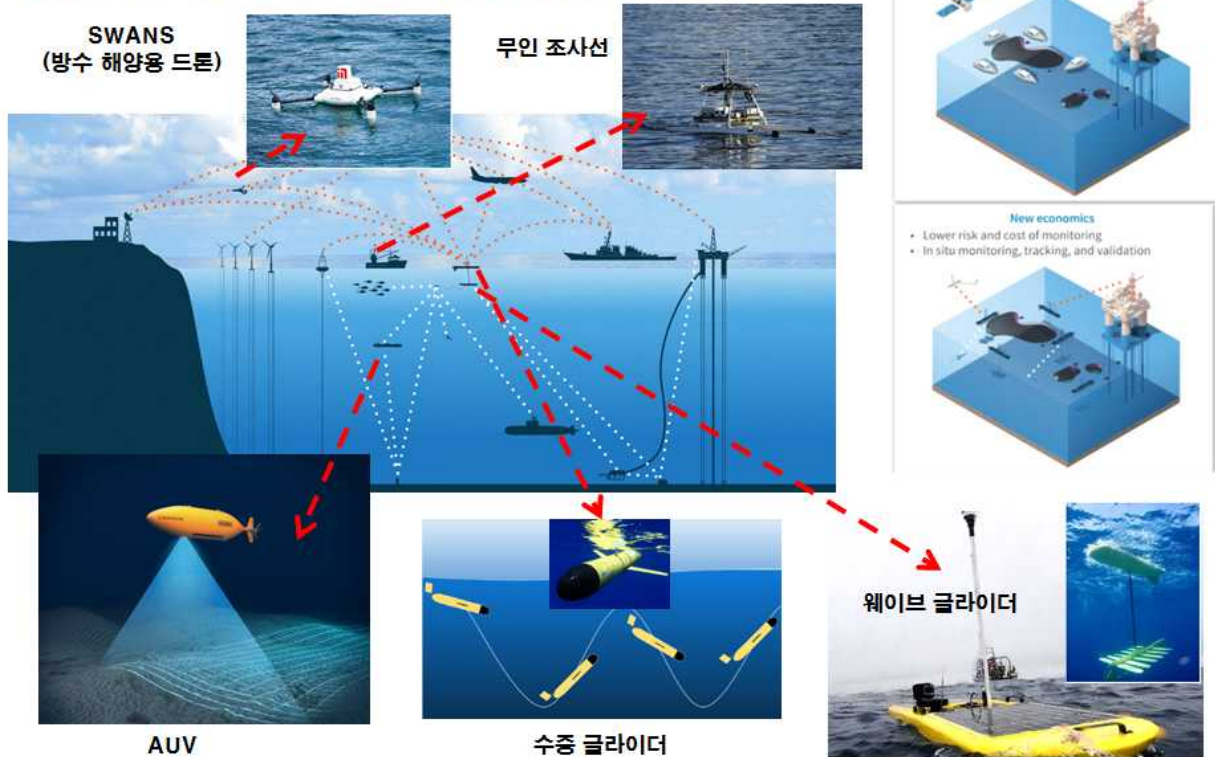


그림 3-2-7. 자율형 최신 해양 관측장비를 이용한 첨단 무인 관측 시스템 사례

- 조사 시기는 계절특성과 폭풍 등 주요 이벤트 영향을 반영할 수 있도록 설정하며, 특히 외력변수 실시간 모니터링 결과를 반영하여 시기 선정
- 국립해양과학교육관 해중전망대에서의 다방향 실시간 촬영 시스템을 구축하고 영상 이미지를 이용한 딥러닝을 통해 수중생물동정 AI 개발
- 장단기 환경·생태재해(온배수, 방사능, 기후변화 등)가 생태계 구조(생물상, 먹이망구조 등)에 미치는 영향 모니터링 기법 개발
- 전통적인 통계분석 및 빅데이터 활용 딥러닝으로 해당 생태계 변동 동적구조 파악

마. 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 시스템 구축 기획

- 배경농도 핵종 및 다양한 핵종의 농도변화 모니터링을 통한 유사시 응급사태 경보

제 3 절 동해 연안 환경·생태재해 변동 장단기 예측 시스템 기획

1. 준실시간 환경·생태계 변동 예측

- KIOST가 개발한 한반도 지역해 준실시간 예보체계인 KOOS에 동적으로 연계되는 비구조 상 세격자체계 ESRI_KOOS를 구축하여 동해안 연안환경·생태계 변동을 준실시간으로 예측함
- 현재 63,062개의 평면격자(최소격자 10 m)와 연직 10개 층으로 구성되며 동해연구소를 중심으로 남북으로 35 km에 걸친 영역에 대한 모형 성능테스트를 완료한 상태임
- 오픈소스 생태모형을 아직 결정하지 않았으나 ESRI_KOOS와 동일한 모형인 Telemac에 접합 하여 소규모 호수에서 긍정적인 결과를 얻은(Piccioni et al., 2019) 생태모형 AED2를 우선적 으로 검토할 예정임. AED2는 호주 UWA에서 개발하였으며, 호주 서해안에서 준실시간 예 보중임

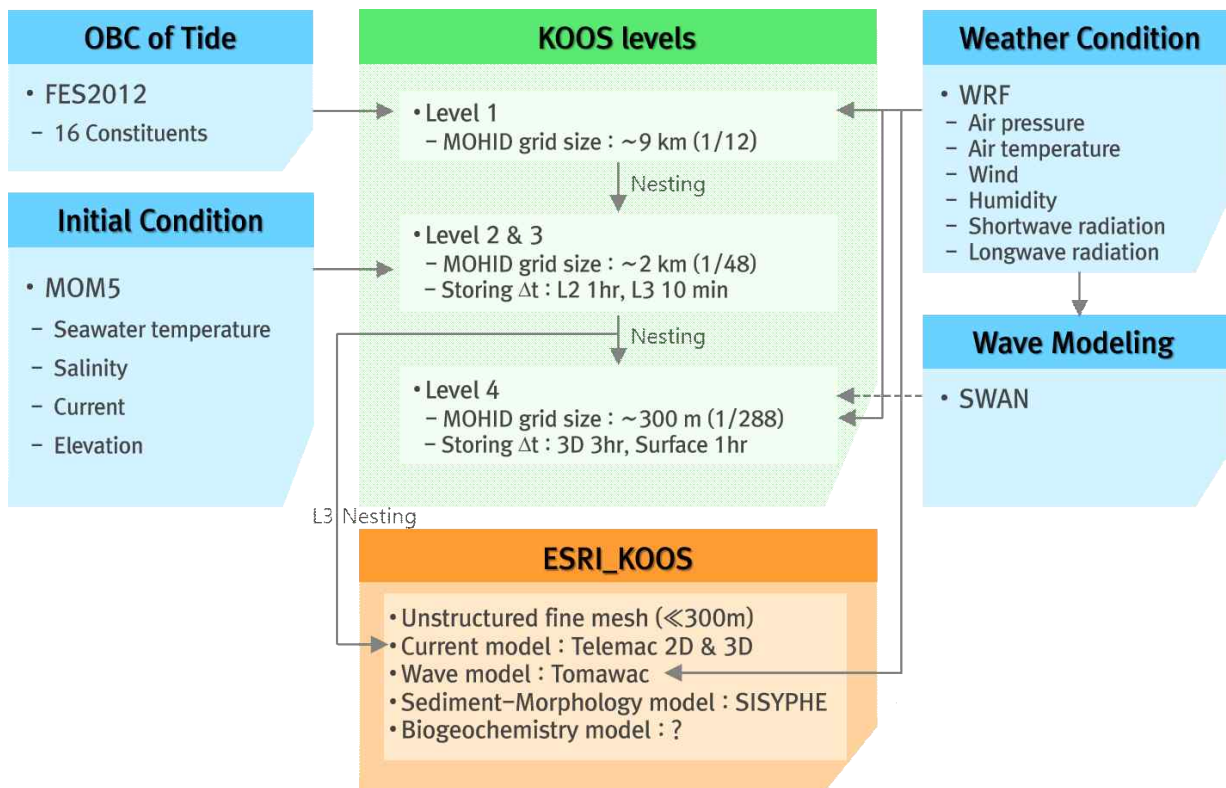


그림 3-3-1. 동해 연안환경생태계 변동 준실시간 예측 체계

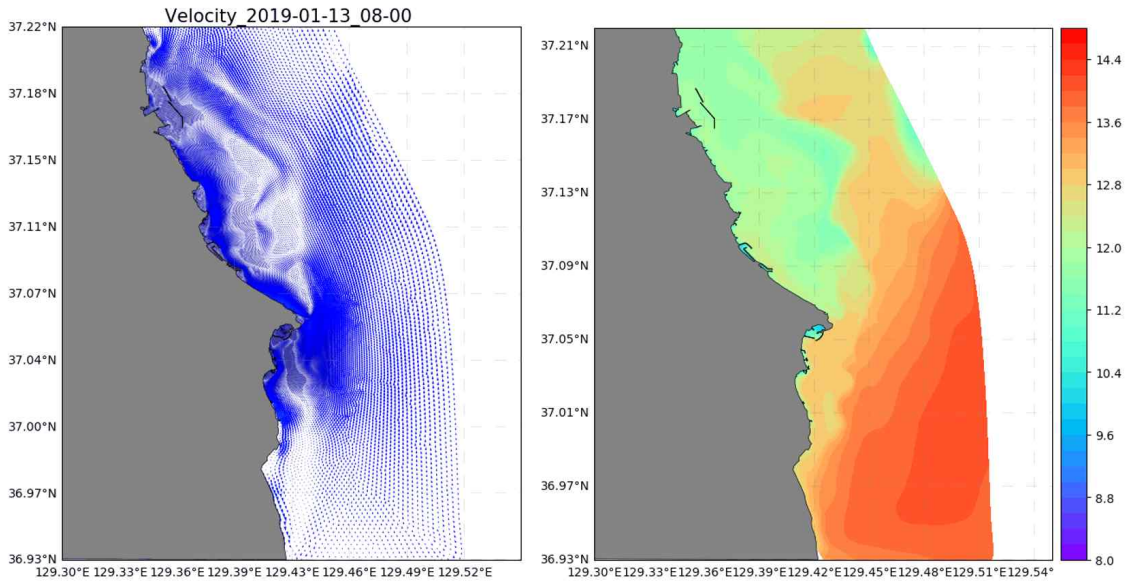


그림 3-3-2. ESRI_KOOS Test Run

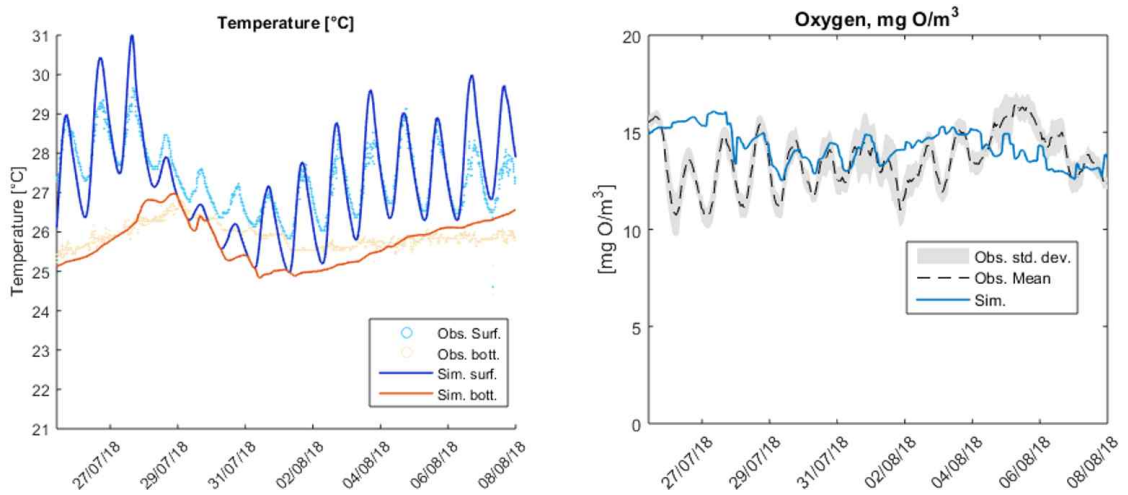


그림 3-3-3. 소규모 호수에서의 AED2 검증결과(Piccioni et al., 2019)



Science Basis

The AED/AED2 modelling code-base is a community-driven library of modules and algorithms for simulation of "aquatic ecodynamics" - water quality, aquatic biogeochemistry, biotic habitat and aquatic ecosystem dynamics. Each module aims to be based on state-of-the-art science sourced from a wide variety of scientific literature, making the library one of the most advanced available to aquatic ecosystem modellers.



Suitability

AED2 is suitable for a wide range water bodies, including lakes, reservoirs, wetlands, estuaries and coastal waters. It has been applied to many research and water engineering projects across the world. Users select water quality and ecosystem variables they wish to simulate and are able to customize link and dependencies between modules.



Open Access

AED2 is an open-source project, and the source code is accessible and customisable for specific applications. Most modules have numerous options and alternate algorithms so users can tailor the model to their specific needs.

그림 3-3-4. 호주에서 개발된 오픈소스 생태모델(AED2) <http://aed.see.uwa.edu.au/research/models/AED/>

- KIOST 동해연구소 주변 해역에는 실시간 관측 인프라가 비교적 양호하게 구축되어 있으므로 이를 이용한 검증 및 자료동화를 통하여 물리특성에 대한 예보 신뢰도를 확보함
- eReefs의 경우, 24 정점에서 해수채취기를 계류하고 플랑크톤 시계열 관측을 했음에도 예측 신뢰도가 물리특성보다 낮았으므로(Steven et al., 2019) 생태계 모니터링 최적화 방안을 과학적 추론으로 도출함

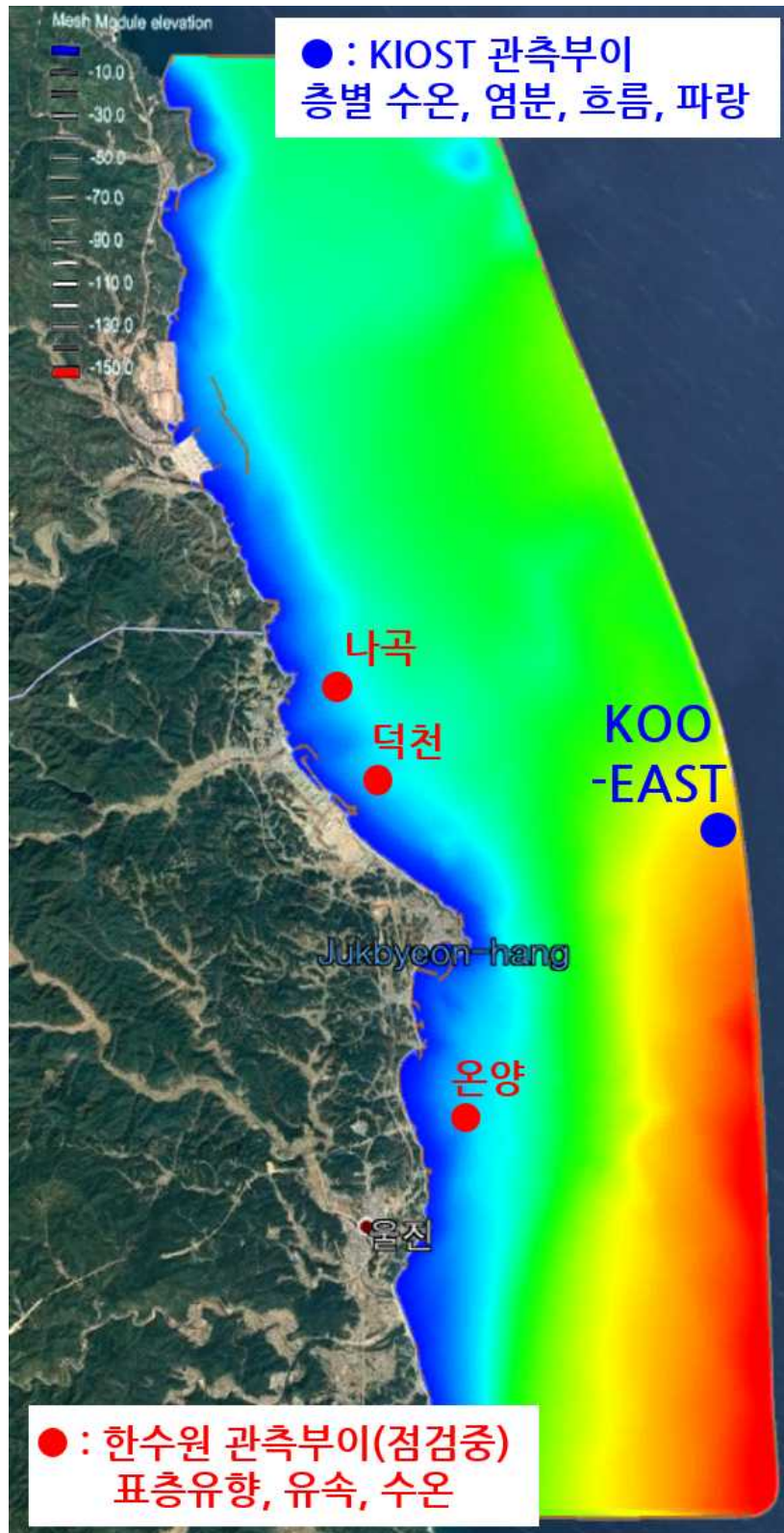


그림 3-3-5. KIOST 동해연구소 주변 실시간 관측 인프라

- 국가운용해양예보시스템(KOOS)과 연계되는 고해상도 정밀모형(수온·염분, 흐름, 파랑, 표사·

지형, 생태)으로 연안환경·생태를 실시간으로 예측함과 아울러 기후변화 등의 불확실성을 고려하여 장기예측

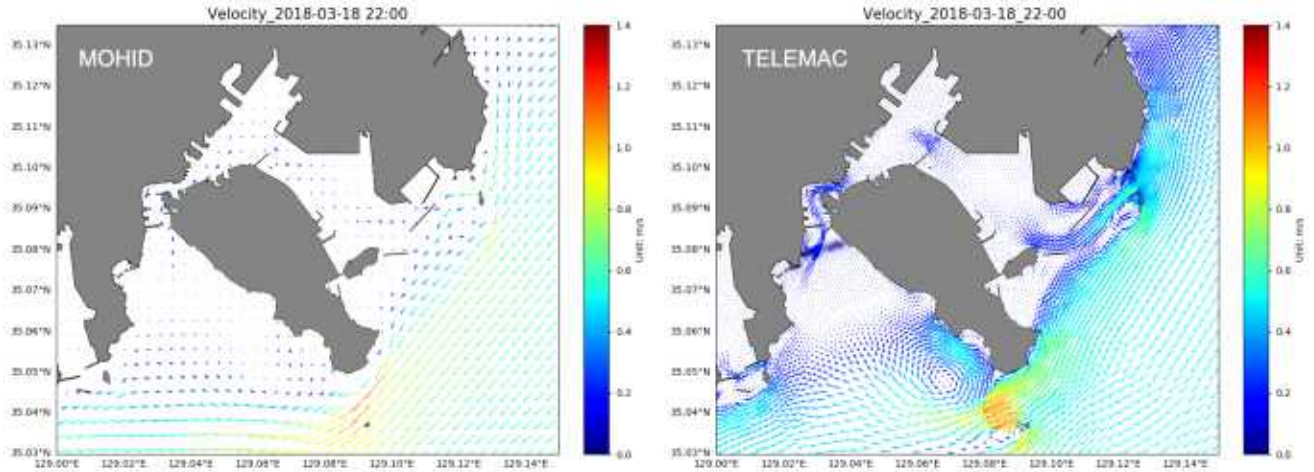


그림 3-3-6. 좌: KOOS 최소격자(≈300 m) 예보, 우: KOOS를 활용한 비구조 상세격자(10 ~ 300 m) 예보

○ 고해상도 정밀모형(수온·염분, 흐름, 파랑, 표사·지형, 생태) 개요

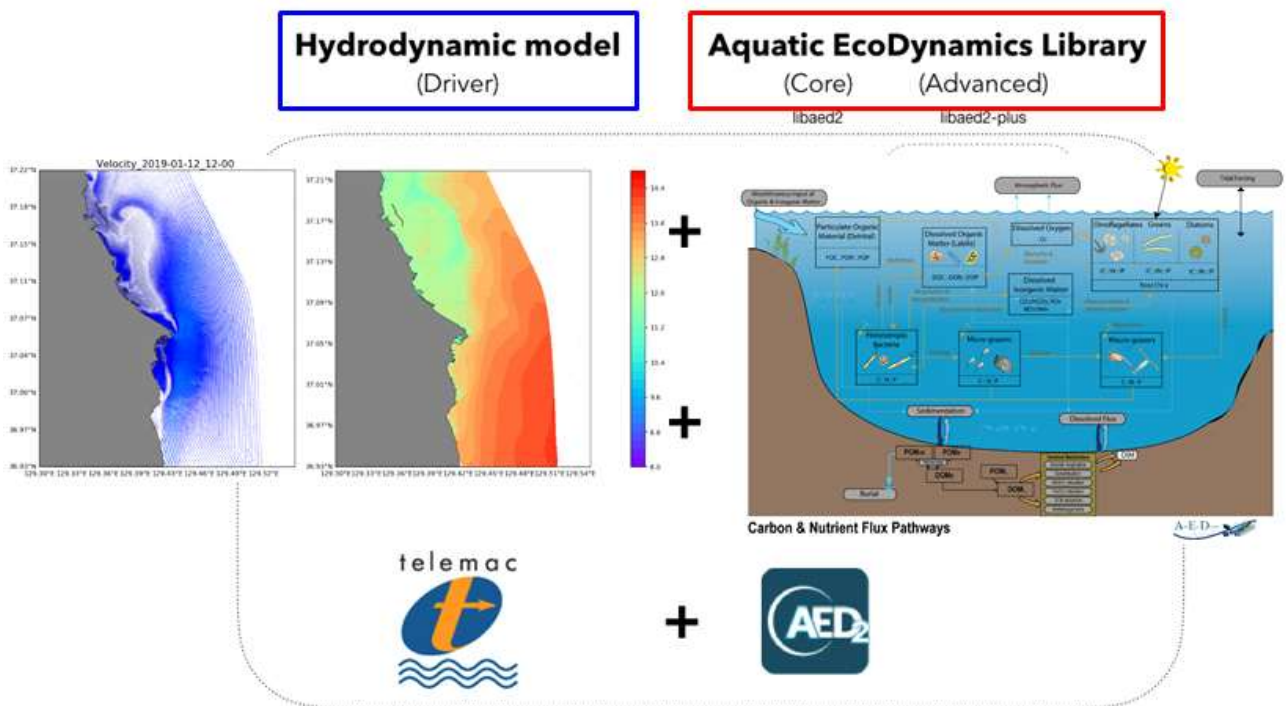


그림 3-3-7. 고해상도 정밀모형 개요

- KOOS의 MOHID 모형 최소격자를 외해경계면에 접합시키는 비구조 격자 Telemac 모형을 기본으로 하며, 필요 시 격자크기를 변동시키는 적응형 정밀모형(CFL) Fluidity 적용

- 실시간 및 이벤트 관측 자료를 이용한 충분한 검증과정을 거친 후 72시간 예보체계 운영

2. 동해 연안환경·생태계 장기변동 예측

- 연안환경·생태계 장기변동 예측을 위해서는 기후변화 영향을 반드시 포함하여야 함. 특히 연안침식 및 침수·범람의 경우에는 파랑우세해안인 동해안에서는 장래 파후(wave climate)의 신뢰성 있는 전망이 선결과제이나 국내에서는 관련연구가 수행된 바 없음
- 미래 파후 전망은 전술한 CoSMoS에서 적용했던 결정론적인 방법(Erikson et al., 2018)과 호주에 적용한 확률론적 방법(Callaghan et al., 2008; Wainwright et al., 2015)이 있으나 기후변화영향을 고려한 연안재해 장기관리 측면에서 어느 방법이 비교우위인지 현재로서는 판정이 어려움
- 본 플랫폼에서는 두 가지 모두를 적용하고 향후 축적될 관련 장기자료와 각각의 적용결과를 비교·검증함으로써 최선의 장기예측방법을 도출함

3. 준실시간 및 장기예측 신뢰도 제고를 위한 위성영상 종합분석체계 구축

- 연안환경·생태 준실시간 예보 플랫폼은 검증 및 자료동화 과정을 통해 반드시 예측 신뢰도를 확보하여야 하며, 이를 위해 가장 비용효율적인 수단이 인공위성 영상 분석임. Glint 제거(Hedley et al., 2005) 등 영상자료 처리기술이 꾸준히 개발되고, 특히 유럽우주국(ESA, European Space Agency)이 Copernicus 사업을 통해 시공간 해상도가 5일과 10 m인 Sentinel-2A를 2015년에 발사하고 영상자료를 무상으로 제공하기 시작한 후 연안환경 연구에서의 위성영상 활용범위가 크게 확대되었음
- 한편, 연안환경·생태계 변화 장기전망 신뢰도 제고를 위해서는 예측결과를 검증하기 위한 빅데이터를 확보하여야 하며, 이를 위한 경제적인 수단 역시 인공위성영상임
- 이에 본 플랫폼은 표층수온 외에 최근 활발한 연구가 진행 중인 다음의 응용분야를 포함함
- 해안선·수심 추출 : Stumpf et al. (2003)은 상업위성 IKONOS 영상으로 수심을 추출할 수 있음을 보였으며, 영국 Ordnance Survey (2018)는 위성영상으로 연안침식·퇴적을 관리하기 위한 연구사업을 수행한 바 있음. 최근에는 Sentinel-2와 고해상도 상업위성 WorldView-2로 해안선과 수심을 추출하는 연구가 활발함(Dominici et al., 2019; Evagorou et al., 2019; Yunus et al., 2019 등). 키프로스 Limassol 해안에서 Sentinel-2로 추출한 월별 수심으로서 실측치와 높은 상관관계를 보임
- 현재 해양선진국 국지연안 준실시간 예보체계에 퇴적물이동 및 지형변화 부분은 포함되지 않거나 포함되었더라도 예측 신뢰도를 기대하지 않고 있으며, 이는 퇴적물이동·지형변화는 관련현상이 매우 복잡하여 현상규명도 아직 충분하지 않고, 예측결과 비교·검증을 위한 지속적인 해빈·수심측량에는 많은 비용이 소요되기 때문임. 그러나 5일 주기의 위성영상이 모래이동이 활발한 한계수심 10 m보다 깊은 수심까지 제공할 수 있으므로 향후 이를 이용한 퇴적물이동 수치모형 자료동화 연구가 활발해질 것으로 예상됨



그림 3-3-8. 수면 반짝임(glint) 제거 전후(Hedley, 2018)

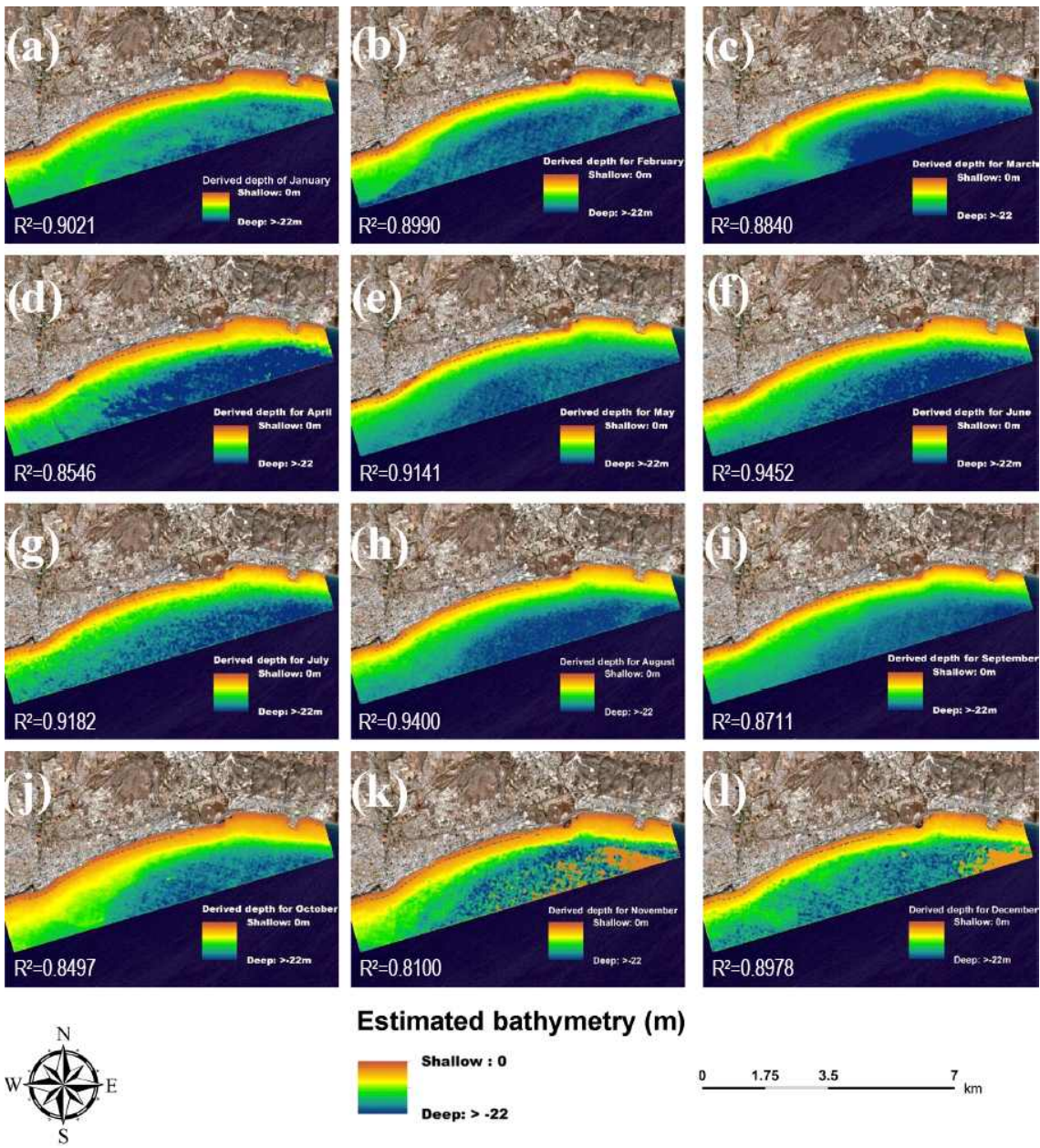


그림 3-3-9. 키프로스 Limassol 해안에서 Sentinel-2로 추출한 월별 수심 및 실측치와의 상관계수 (Evagorou et al., 2019)

- 저서환경 : 다중채널 위성영상은 해저질 종류, 암반 및 해조류 분포 및 그 변화를 파악할 수 있음(Hedley, 2018; Traganos et al., 2018 등). 위 그림은 영국 Lizard 섬 주변의 저서환경 분류이며, 아래 그림은 산호초 백화현상을 위성영상으로 판별한 것임. 따라서 위성영상이 단기적인 폭풍파 이벤트에 의해 저서환경변화 공간분포 파악에 활용될 수 있으며, 또한 이의 빅데이터 확보로 저서환경·생태계의 장기변화를 신뢰성 있게 전망할 수 있음

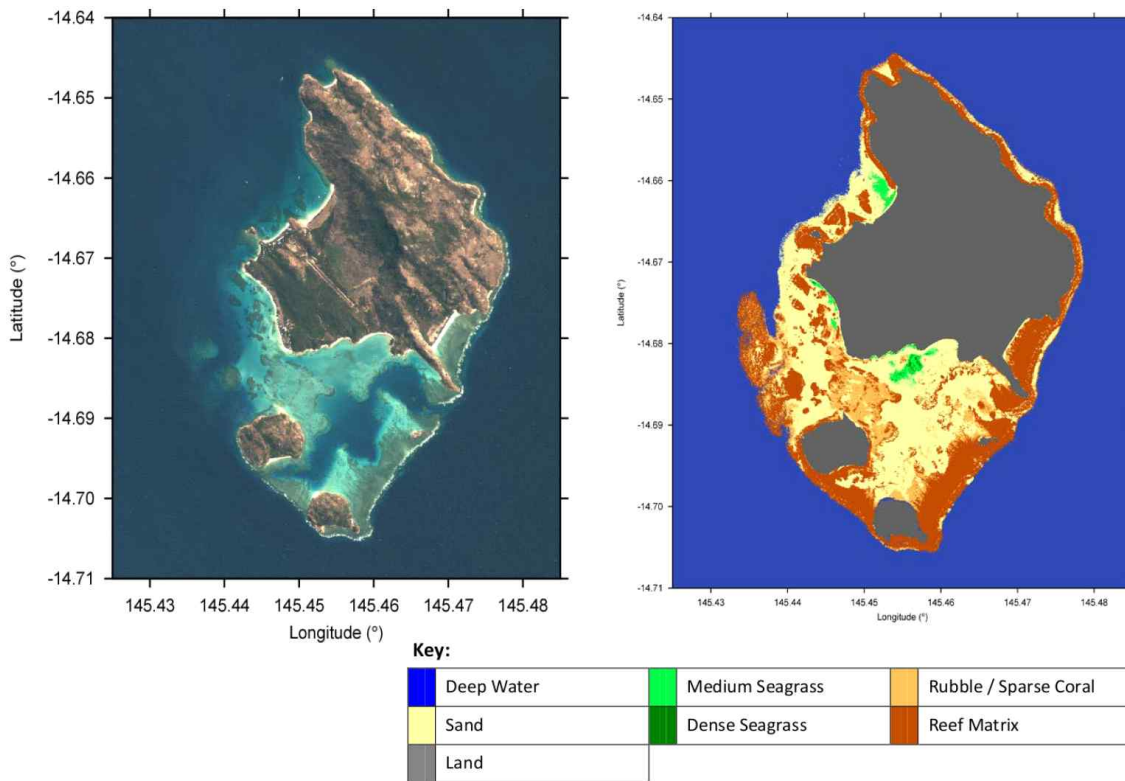


그림 3-3-10. 영국 Lizard 섬 주변 저서환경 분류(Hedely, 2018)

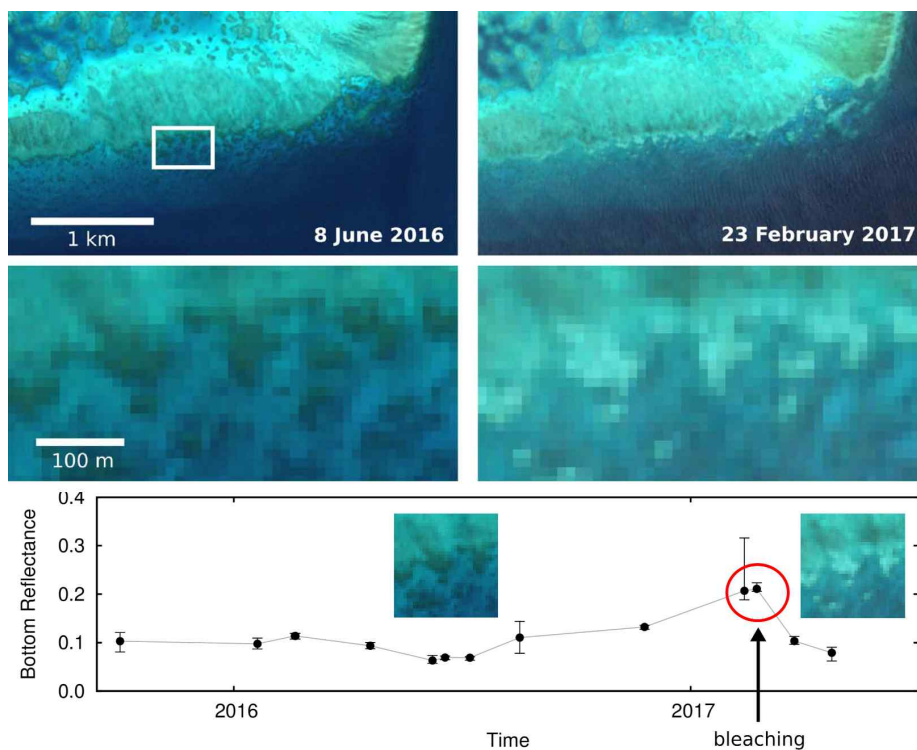


그림 3-3-11. Sentinel-2를 이용한 산호초 백화현상 파악(Hedley, 2018)

- 비록 Sentinel-2 영상이 무료이나 10 m보다 상세한 공간해상도를 갖는 영상으로 Sentinel-2 영상 분석결과를 주기적으로 점검할 필요가 있음. 흑백영상 공간해상도 0.5 m, 컬러영상 해상도 2 m인 WorldView-2를 이용하여 연장 약 10 km 해안에 걸쳐 수심 약 20 m까지 분석할 경우 회당 50만원 정도 소요됨

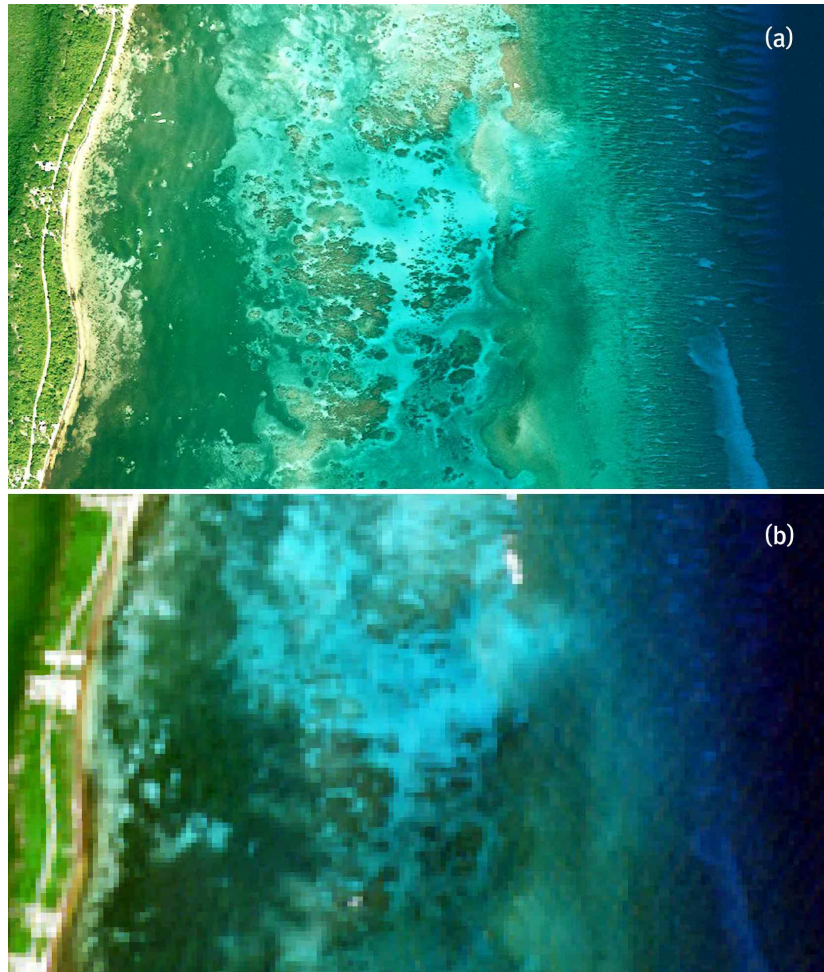


그림 3-3-12. (a) 컬러채널 공간해상도 2 m인 WorldView-2 및 (b) 10 m인 Sentinel-2 영상

그림 3-3-13. 고해상도 상업위성 영상 가격(2018년 1월 기준, km²당) > http://www.landinfo.com/LAND_IN_FO_Satellite_Imagery_Pricing.pdf

High Resolution Archive Pricing (50cm)	WorldView-1	WorldView-2/3	QuickBird (60cm)	GE-1/WV-4	IKONOS (80cm)	Pleiades 1A/1B
Panchromatic	\$14.00	\$14.00	\$14.00	\$14.00	\$10	\$12.50
3-Band Pan-Sharpned	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$12.50
4-Band Pan-Sharpned	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$12.50
Panchromatic + 4-band Multispectral Bundle	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$12.50
8-Band Multispectral	n/a	\$19	n/a	n/a	n/a	n/a
8-Band Panchromatic + Multispectral Bundle	n/a	\$19	n/a	n/a	n/a	n/a

*The minimum order area for archive imagery, for all sensors, is 25 sq. km with a 2km minimum order width

**To receive archive pricing, QB,WV2,WV1, GE1 & IK imagery has to be older than 90 days in archive. No hold on Pleiades imagery.

***Airbus default licensing is for 1-5 users; DigitalGlobe default licensing is single user -- pricing uplifts apply for additional users.

4. 장기예측 확률모형 기획

- IPCC 해수면상승 전망치, 몬테카를로 확률모형을 이용하는 현상기반 장기예측모형 수립·적용

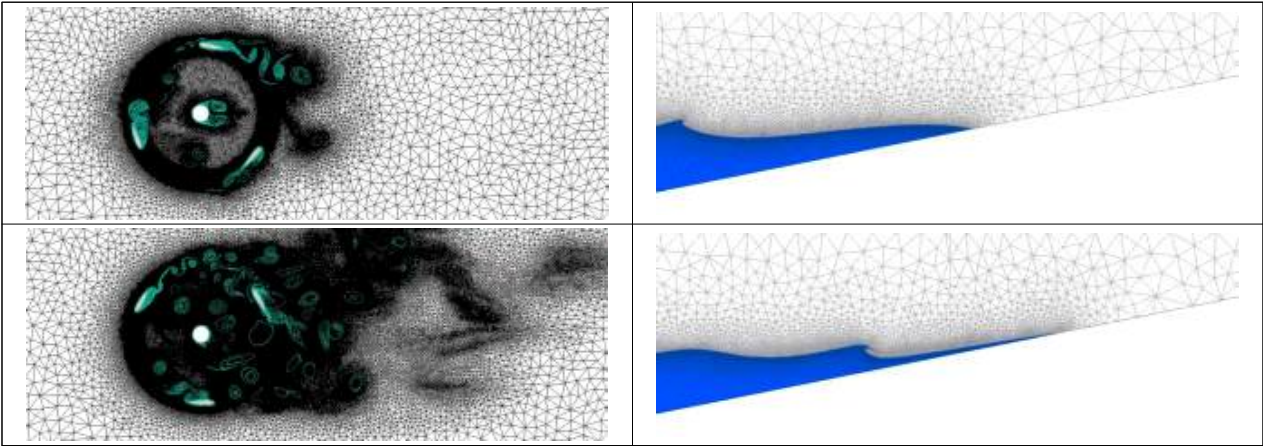
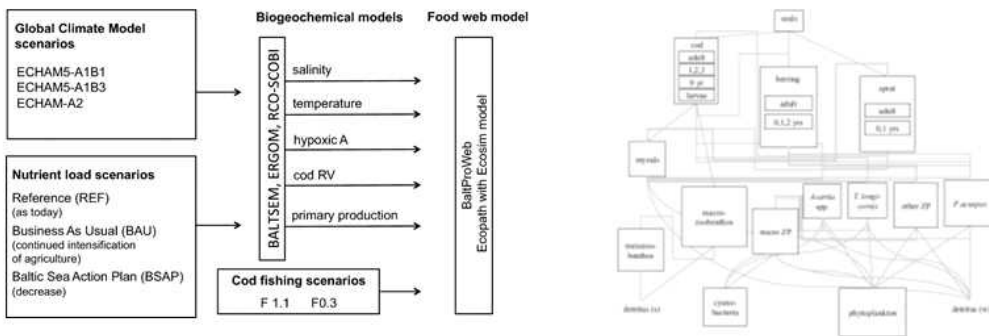


그림 3-3-14. Fluidity 모델에서 eddy 및 swash 전파에 따른 격자규모 적응생성 예 <http://fluidityproject.github.io/>

- 국외 사례를 적용하여 외력에 의한 생태계 변동성을 진단·예측하기 위한 중장기 생태계 예측 모델링 구축
- 다양한 변수와 모델을 통합한 장단기 생태계 예측 모델링 구축

기후변화vs. 생태계구조(food web) 모델 (Baltic Sea)- “BaltProWeb” EwE model



Combined food web model – HTL & LTL models, Pelagic & Benthic-sourced

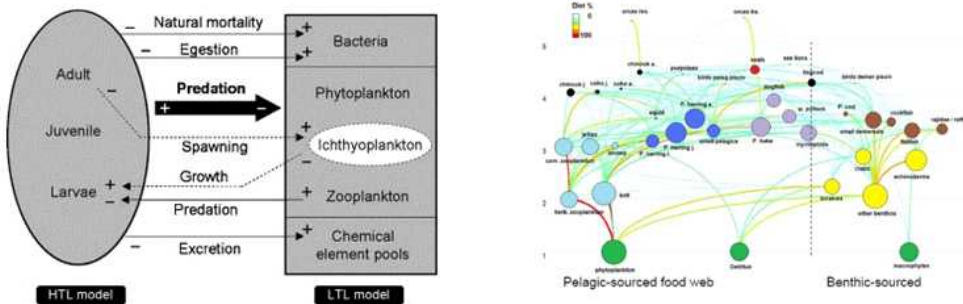


그림 3-3-15. 생태계구조 모델 사례

제 4 절 동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 구축 기획

1. Data 플랫폼 구축(안)

- 주요 연안 환경·생태계 동적거동구조의 이해도를 증진시키고 최적관리를 위한 장단기 예측결과를 제공함과 아울러 제공자료 이용자와의 피드백을 위하여 개방형 플랫폼을 구축하여 운영

가. Data 플랫폼 구축(안)



그림 3-4-1. Data 플랫폼 구축(안)

나. 최적적용 플랫폼 설계(안)

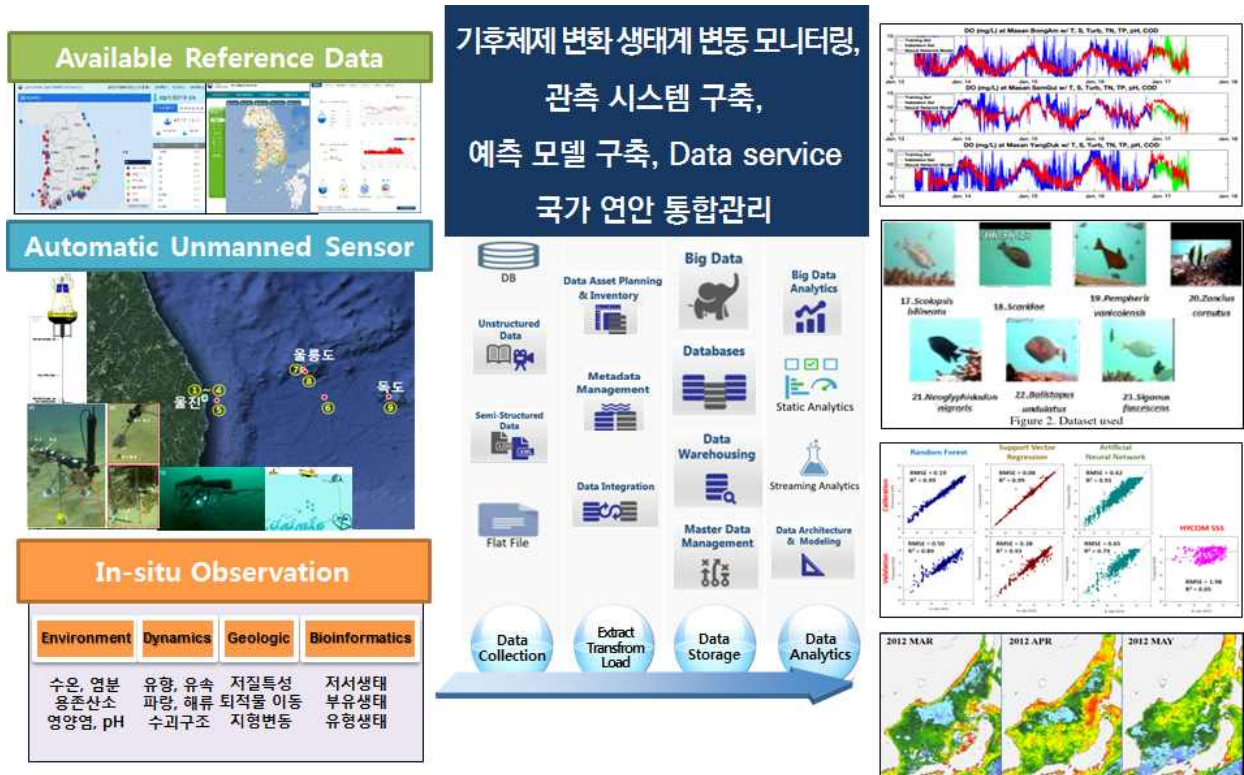


그림 3-4-2. 동해 연안 환경·생태재해 최적적용 플랫폼 구축(안)

- 연안환경 · 생태계 동적거동 데이터 활용 및 빅데이터 구축
- 장·단기 예측결과 도출 및 API 제공
- 이용자 친화성 쌍방향 플랫폼 구축·운영

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

제 1 절 연구개발 목표 달성도

제 2 절 대외기여도

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

제 1 절 연구개발 목표 달성도

표 4-1-1. 연구목표 대비 달성내용

연차별 달성내용			연차별 계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
연구목표	연구내용	달성실적	
1.동해 연안생태계 동적 거동 및 장단기 예측 추진계획 수립	1-1.연안 환경·생태재해 사례 분석	- 국내·외 환경·생태재해 현황 분석	100
	1-2.국내·외 연구동향 및 기술개발 역량 분석	- 국내·외 연구동향 분석	
	1-3.추진전략, 기술개발 로드맵 (TRM) 추진체계 기획	- 추진전략, 기술개발 로드맵 (TRM) 추진체계 제시	
	1-4.소요예산, 연구기간, 소요인력 기획	- 소요예산, 연구기간, 소요인력 (안) 제시	
2.동해 연안환경·생태계 동적거동 규명 연구 기획	2-1.표본 연안생태계 후보지 기획	- 표본 연안생태계 후보지 선정	100
	2-2.표본 연안생태계 변동 외력 모니터링 기획	- 표본 연안생태계 변동 외력 모니터링(안) 제시	
	2-3.연안 서식지 환경 정보 파악을 위한 지형/지질 분야 모니터링 자료획득 기획	- 연안 서식지 환경 정보 파악을 위한 지형/지질 분야 모니터링 (안)제시	
	2-4.표본 연안생태계 건강·기능 지시종(indicator species) 변동 모니터링 기획	- 표본 연안생태계 건강·기능 지시종(indicator species) 변동 모니터링(안)제시	
	2-5.실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 시스템 구축 기획	- 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 시스템(안)제시	
3.동해 연안환경·생태계 변동 장단기 예측 시스템 기획	3-1.준실시간 환경·생태계 변동 예측 기획	- 준실시간 환경·생태계 변동 예측 (안)제시	100
	3-2.장기예측 확률모형 기획	- 장기예측 확률모형(안)제시	
4.연안환경·생태계 최적 적응 플랫폼 구축 기획	4-1.Data 플랫폼 구축 기획	- Data 플랫폼 구축(안)제시	100
	4-2.최적적응 플랫폼 설계 기획	- 최적적응 플랫폼 설계(안) 제시	
계			100

- 동해 연안의 해양환경 변화에 따른 연안 생태계의 동적거동을 규명하고 장단기 예측을 통해 효율적이고 체계적인 연안 관리 프로세스를 기획함. 향후 기후변화로 인한 연안 생태계 변화에 대처가 용이함
- 빅데이터 기반 연안 환경·생태계 관리기술 개발을 통해 해양생물 및 해양환경의 실시간/준실시간 모니터링 인공지능 기술 개발에 기여
- 4차 산업혁명에 발맞추어 빅데이터 및 AI 적용을 통해 동해 연안의 생태계 관리 프로그램 플랫폼 개발을 기획함. 본 과제 수행을 통해 이를 검증하고 응용함으로써 한반도 전 해역으로 확대 가능함

제 2 절 대외기여도

1. 정책적 기여도

가. 제2차 해양수산발전기본계획('11 ~ ' 20)

- 미래지향적인 국가 해양계획 수립 및 새로운 해양정책의 비전 요구
- 중앙정부와 지방자치단체의 해양정책 수립 및 추진을 위한 기본방향을 제시
- 21세기 환경변화와 새로운 트렌드에 능동적 대응 필요
- 국가 전체의 새로운 정책 방향에 부응하고 해양수산 여건변화를 수용하기 위한 계획 수립
- 해양환경, 해양개발, 해양관광, 해운항만 등 부문별 계획을 총괄하여 해양의 합리적인 개발·이용·보전에 관한 국가기본 지침으로 활용

1) 기본 방향

- 해양산업 부가가치 123조원 창출로 국내 총생산의 7.6% 기여
- 전국 연안을 쾌적하고 안락한 국민의 고품격 휴식처로 개선
- 해양과학기술 수준을 선진국 대비 90% 수준으로 발전
- 국제 크루즈, 「마이요트」 시대에 걸맞는 해양문화관광 기반 구축
- 해운·물류산업의 획기적 선진화로 세계 물류시장에서의 주도적 입지 확립
- 200해리 광역해양체재에 적합한 해양영토 관리와 글로벌 해양개발 전진기지 개최

2) 비전 및 목표

- 2020년까지 세계 5대 해양강국으로의 도약을 통한 세계를 주도하는 선진 해양강국 실현을 비전으로 설정
- 지속가능한 해양환경의 보전 및 관리
- 신해양산업의 육성 및 전통적 해양산업의 고도화
- 신해양질서의 능동적 수용을 통한 해양영역 확대

3) 추진전략 및 중점과제

- 5대 추진전략 및 26개의 중점과제 제시
- 특히, 본 연구개발사업과 관련 있는 추진전략에는 “건강하고 안전한 해양이용, 관리 실현”, “신성장동력 창출을 위한 해양과학기술 개발”에 집중

표 4-2-1 5대 전략 26대 중점과제

5대 추진전략	중점투자분야 및 전략
건강하고 안전한 해양이용관리	<ul style="list-style-type: none"> • 해양오염원의 통합적 관리체제 강화 • 해양생태계 서비스 질적 제고 방안 마련 • 통합적인 연안·해양 공간관리 기반 구축 • 연안지역 기후변화 적응 복추체제 구축 • 해상안전관리체제의 선진화 및 첨단화 • 해상안전분야 국제화
신성장동력 창출을 위한 해양과학기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 미래해양자원 개발 • 해양산업의 핵심기술 개발 • 녹색성장을 위한 해양환경 보전 탐사 핵심기술 개발 • 해양과학의 기술개발 역량 강화
미래형 고품격 해양문화	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 해양레저 활동 발국 및 육성 • 해양관광자원의 보전과 이용 • 해양관광 공간의 조성 및 정비 • 해양관광정책의 통합적 추진체계 구축 • 해양문화 콘텐츠의 다양화
해운·항만산업의 선진화	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 해운시장 주도 및 국제협력 강화 • 경쟁력 있는 해운 항만 물류기업 육성 • 녹색 해운·항만의 실현 • 세계 초일류 허브항만 구축 • 친환경 레저도시형 부가가치 항만 개발 • 항만 지방이관에 따른 항만개발관리 시스템 구축 • 항만운영의 효율화 • 해사인력 육성
해양 관할권 강화 및 글로벌 해양영토 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 국제 환경변화에 대응한 해양영토 관리능력 강화 • 해양영토 개척을 통한 글로벌 해양경영 강화 • 남북한 해양협력 강화를 위한 기반 조성

나. 해양수산 R&D 중장기계획('14)

1) 해양수산R&D 경쟁력 확보를 위한 중장기계획 수립

- 해양수산과학기술의 경쟁력 확보 및 해양수산 신산업창출을 극대화하기 위한 체계적 전략마련의 일환으로 기존 중장기계획의 성과분석 및 대내외 환경변화를 반영한 중장기 R&D 추진전략 수립
- 동 계획은 해양영토주권 강화 및 해양경제영토 확대, 창조형 해양수산산업 육성, 국민행복 해양공간 창조 등 3대 전략, 12대 실행전략을 제시
- 특히 전략1 해양영토주권 강화 및 해양경제영토 확대에서는 해양과학조사 및 예보역량 강화와 극한공간 활용 및 국제협력 확대를 언급
- 세부적으로는 한반도 주변해역 해양이상현상에 대한 예경보 시스템 구축 및 전지구적 해양 기후정보의 수집·활용을 위한 해양예측 모델링 개발, 심해 등 극한 공간 활용 확대를 통한 자원 선점 및 국제역량 강화를 위해 대양·심해저 활용 촉진을 위한 기반마련 추진계획을 수립

표 4-2-2 해양수산 R&D 중장기계획 3대 전략 및 12개 실행전략

3대 추진전략	12대 실행전략
1. 해양영토주권 강화 및 해양경제영토 확대	1-1. 해양과학조사 및 예보 역량 강화 1-2. 극한 공간 활용 및 국제협력 확대
2. 창조형 해양수산 산업 육성	2-1. 해양자원 및 해양에너지 개발 2-2. 첨단 해양 장비산업 육성 2-3. 항만,해운물류 기능 고도화 2-4. 해양수산 생명자원의 산업화 2-5. 전통 수산업의 미래산업화 2-6 해양플랜트 경쟁력 확보 2-7 친환경선박 시장 선도
3. 국민행복 해양공간 창조	3-1. 해양환경 개선 및 위해요소 대응역량 강화 3-2. 연안재해 저감 및 해양교통 안전 확보 3-3. 친수공간 및 해양문화 콘텐츠 창출

다. 해양수산과학기술 육성 기본계획('18 ~ ' 22)

1) 제4차 과학기술육성법 연계 수립

- '18년 해양수산과학기술 육성법 제정에 따른 해양수산 과학기술분야 최상위 계획으로 제4차 과학기술육성법과 연계하여 수립된 법정계획
- 과학기술을 통한 삶의 질 향상, 일자리 창출 등 공익적 가치 실현은 물론 4차 산업혁명 시대를 선도하기 위한 산업·기술간 융합을 고려하여 중점기술개발 2개 전략과 2개 R&D 지원 전략을 제시
- (전략1) 해양수산과학기술분야 신산업 육성과 좋은 일자리 창출을 위해 자율운항선박 등 3개 4차 산업혁명 융합분야 및 해양에너지 등 5대 전략산업분야 기술개발 확대 제시
- (전략2) 해양수산과학기술을 통한 사회문제 해결을 위해 국민생활과 연관된 '안전한 해양·연안' 및 '해양 예·경고' 기술개발 확대를 제시하고 이를 통한 해양사고저감과 재해예측시간 단축을 실행목표로 언급

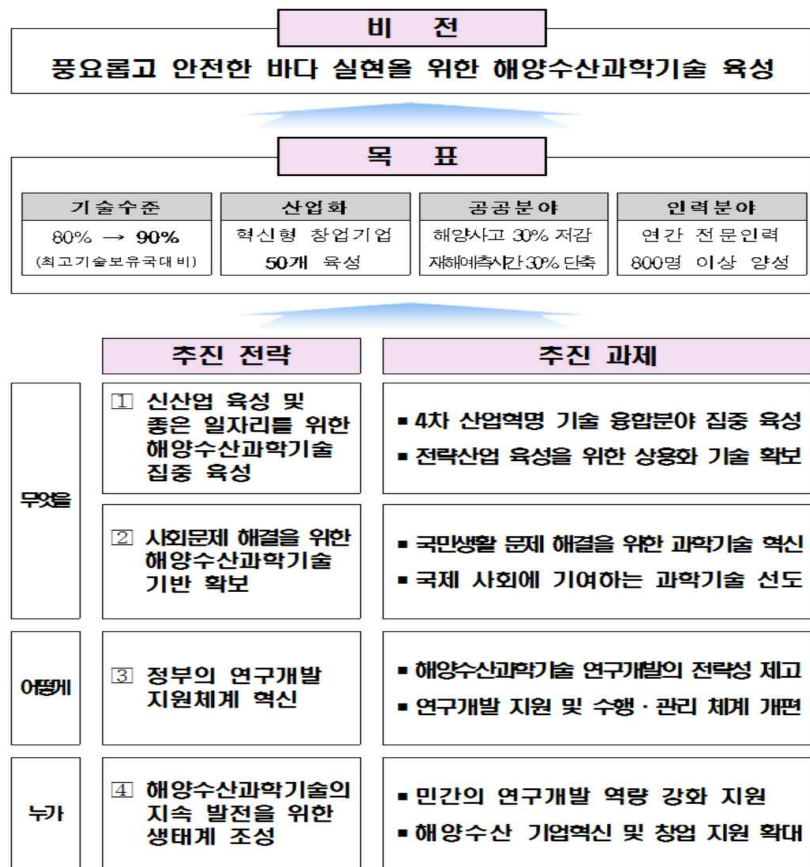


그림 4-2-1. 해양수산과학기술육성기본계획 목표 및 추진전략

라. 상위계획과의 부합성 검토

1) 문재인 정부 100대 국정과제 및 이행계획

- 문재인 정부가 출범하면서 발표된 ‘국정운영 5개년 계획’은 문재인정부가 추진해야 할 과제와 향후 5년간의 추진계획을 담아 수립되었으므로 본 기획과의 연계성을 분석하여 정부지원의 타당성, 사업추진의지 등 사업 추진의 타당성을 평가 시 근거로 작용
- 정부 100대 국정과제 중 ‘더불어 잘사는 경제’를 목표로 (33번) 소프트웨어 강국, ICT 르네상스로 4차 산업혁명 선도 기반 구축, (34번) 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성과 ‘내 삶의 책임지는 국가’를 목표로 (56번) 통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시 대응 역량 강화와 (62번) 해양영토 수호와 해양안전 강화(목표: 고르게 발전하는 지역) 제시
- 본 연구개발 사업은 동해 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 개발위한 동해 연안생태계 동적 거동 규명 연구, 연안환경, 생태계 변동 장단기예측 시스템, AI 기반 플랫폼 구축 및 운영 등을 목적으로 하는 바, “문재인 정부의 국정 과제 및 이행계획”에 부합

2) 제4차 과학기술기본계획

- 제4차 과학기술 기본계획은 5년간(’18~’22) 우리나라 과학기술혁신정책의 비전, 목표, 방향 등을 제시하는 중장기 발전전략으로 각 부처 과학기술 관련 정책의 수립·추진방향을 제시하는 최상위 계획
- 과학기술로 혁신성장과 국민행복을 도모하고 지식증진과 인류 난제해결에 기여를 비전으로 ‘과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출’, ‘과학기술이 만드는 모두가 행복한 사회’ 등 4대 전략 제시
- 과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출 전략에 5개의 중점추진과제를 포함하고 있고, ‘4차 산업혁명 대응 기반 강화’ 목표는 AI 기반 플랫폼 구축 및 운영 등을 통한 연안 환경·생태재해 최적적응 플랫폼 개발 및 운영사업과 연계성이 높음

3) 국가중점과학기술 전략로드맵

- 국가중점과학기술 전략로드맵은 R&D 투자효과성 제고 및 부처협력 촉진에 기여하는 국가중점과학기술 전략로드맵으로 신성장동력 창출, 삶의 질 향상 등에 필요한 국가중점과학기술의 효과적 확보를 위해 수립
- 창조적 과학기술로 여는 희망의 새 시대를 비전으로 ‘ICT 융합 신산업 창출’, ‘미래 신산업 기반확충’, ‘깨끗하고 편리한 환경 조성’, ‘건강장수시대 구현’, ‘걱정없는 안전사회 구축’ 등 5대 분야 제시
- 걱정없는 안전사회 구축 분야의 4개 기술 중 동해 연안생태계 동적 거동 규명 및 장단기 예측

시스템 구축 등의 과제 주제와 연계성이 높음

4) 해양수산 과학기술 육성기본계획

- 「해양수산과학기술 육성법」 제5조에 따른 해양수산 분야 과학기술 정책의 최상위 계획이다. 해양수산부는 그동안 전문기관 및 전문가 협의체를 구성하여 계획 초안을 마련하고, 대국민 토론회 및 관계부처 협의 등의 과정을 거쳐 계획을 수립
- 제4차 과학기술기본계획, 국정과제 등 정책방향과 연계하고, 4차 산업혁명에 따른 과학기술 생태계 변화를 반영한 해양수산과학기술 분야의 체계적인 육성 전략이 요구
- 본 계획은 ‘풍요롭고 안전한 바다 실현을 위한 해양수산과학기술 육성’이라는 비전 아래, ① 신산업 육성 및 좋은 일자리를 위한 해양수산과학기술 집중 육성, ② 사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보, ③ 정부의 연구개발 지원체계 혁신, ④ 해양수산과학기술의 지속 발전을 위한 생태계 조성이라는 4대 전략과 8대 추진과제를 제시
- 동 계획은 본 연구개발사업의 연안생태계 및 해양환경 변화의 조사, 평가를 통한 기후변화 대응 측면과 연관성이 높음

5) 해양수산발전시행계획

- 「해양수산과학기술 육성법」 제5조에 따라, 5년간 집중 육성할 해양수산 과학기술 분야를 제시하고, 국민 참여 확대, 기획연구 체계 개선 등 정책방안을 담은 기본계획으로 해양수산분야 최상위 과학기술 계획
- 풍요롭고 안전한 바다 실현을 위한 해양수산과학기술 육성을 비전으로 ‘사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보’ 등 4대 전략 제시
- 사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보 전략의 국민생활 문제 해결을 위한 해양수산과학기술 혁신 과제로 해양빅데이터를 활용한 해양 예·경보시스템 정확도 제고를 제시, 이는 본 연구개발사업의 동해 연안환경·생태계 변동 장단기 예측시스템 기획과 연계성이 높음

6) 해양수산 R&D 중장기 계획(2014 ~ 2022년)

- 해양수산부는 미래 여건변화에 대응하고 창조경제 시대를 견인하기 위하여 해양수산과학기술의 경쟁력 확보 및 해양수산 신산업 창출을 위하여 「해양수산발전기본법」 제17조에 따라 동 계획 수립
- 국민의 꿈과 행복을 실현하는 창의적 해양수산과학기술을 비전으로 ‘해양영토주권 강화 및 해양 경제영토 확대’ 등 3대 전략과 ‘해양과학조사 및 예보역량강화’ 등 12대 실행전략 제시
- 해양수산 R&D 중장기 계획의 제1전략이자 제1 과제로 해양과학조사 및 예보역량 강화를 선정하였고 해양예측·예보 시스템 구축기술, 전지구적 통합 해양기후 관측 및 모델링 기술이 주요기술

로 선정

- 70개의 중점기술 중 파급효과가 크고 조기 성과창출이 가능한 20개 기술은 Quick-Win 기술로 선정하였는데 해양 예측·예보 시스템 구축 기술 선정
- 이에 본 연구개발사업이 추진하고 있는 KOOS-coupled 정밀모형체계 구축, 단기(72시간)예측 및 신뢰성 제고, 장기예측 등의 사업은 동 계획과 상호 연관성이 높음

2. 경제적 기여도

가. 비용의 추정

- 연구비 총액은 25,000백만원으로, 연차별 연구비는 다음과 같음

표 4-2-3. 본 연구개발사업의 연차별 연구비

연도	연차별 연구비(백만원)
2021	5,000
2022	5,000
2023	5,000
2024	5,000
2025	5,000
합계	25,000

나. 경제성 분석 결과

- 경제성 분석 결과, 환경생태재해 적응 최적적응 플랫폼 개발로 인한 편익-비용 비율은 1.01, 순현재 가치는 227백만원, 내부수익률 3.3%로 나타나 경제성을 확보하는 것으로 나타남

표 4-2-4. 경제성 분석 결과 요약

구 분	분석 결과
총 편익의 현재가치(백만원)	20,327
총 비용의 현재가치(백만원)	20,100
순현재가치(백만원)	227
편익-비용 비율	1.01
내부수익률(IRR)	3.3%

다. 민감도 분석

1) 민감도 분석의 개요

- 사업 추진에 있어 사업비가 변경되거나 편익 추정치가 변화할 수 있는 점을 감안하여(예비) 타당성조사는 경제성 분석 수행 후 민감도 분석 시행을 제안
- 편익 및 비용 변화에 대한 민감도 분석을 위해서 편익과 비용을 $\pm 20\%$ 까지 10%p씩 변화시킴

2) 민감도 분석 결과

- 비용의 (+) 변화분과 편익의 (-) 변화분에서는 경제적 타당성을 확보하지 못하고 있으나, 기초 과학기술적 수월성이 보다 확보되고 성과확산 속도가 빠를 경우, 모든 경우에 있어서 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단

표 4-2-5. 민감도 분석 결과 요약

구 분	변화율	비용의 현재가치 (백만원)	편익의 현재가치 (백만원)	순현재가치 (백만원)	B/C
편익의 변화	-20%	16,262	20,100	-3,839	0.81
	-10%	18,294	20,100	-1,806	0.91
	0%	20,327	20,100	227	1.01
	10%	22,360	20,100	2,259	1.11
	20%	24,392	20,100	4,292	1.21
비용의 변화	-20%	20,327	16,080	4,247	1.26
	-10%	20,327	18,090	2,237	1.12
	0%	20,327	20,100	227	1.01
	10%	20,327	22,110	-1,783	0.92
	20%	20,327	24,120	-3,793	0.84

3. 경제적 파급효과

가. 수요유도형 모형을 이용한 파급효과 분석 결과

- 동해연안 환경·생태 재해 최적적응 플랫폼 개발 사업에 1원 투자할 경우 타 산업에 0.5312원의 생산유발효과를 발생하며 산업 순으로는 도소매 및 상품중개 서비스, 컴퓨터, 전자 및 광학기기, 전문, 과학 및 기술서비스와 정보통신 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 자기산업에 미치는 효과 1.0000원을 포함한 전체 생산유발효과는 1.5312원으로 나타남
- 부가가치유발효과에의 경우 동해연안 환경·생태 재해 최적적응 플랫폼 개발 사업에 1원을 투자할

경우 타산업에 0.2310원의 부가가치유발효과를 발생하며 산업 순으로는 도소매 및 상품중개 서비스, 컴퓨터, 전자 및 광학기기, 사업지원서비스전문, 과학 및 기술서비스와 사업지원서비스 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 자기산업에 미치는 효과 0.5169원을 포함한 전체 부가가치 유발효과는 0.7479원으로 나타남

- 취업유발효과의 경우 동해연안 환경·생태 재해 최적적응 플랫폼 개발 사업에 10억원 투자 시 타산업에 3.5178명의 취업유발효과가 나타나는데 도소매 및 상품중개 서비스에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 자기산업에 대한 취업유발효과 4.3795명을 포함한 전체 취업유발효과는 7.8972명으로 나타남

표 4-2-6. 동해연안 환경·생태 재해 최적적응 플랫폼 개발 사업의 투자가 타 산업에 미치는 경제적 파급효과

산업 번호	부문명	생산유발효과 (단위 : 원)	순위	부가가치유발효과 (단위 : 원)	순위	취업유발효과 (단위 : 명/십억원)	순위
1	농림수산물	0.0047	21	0.0026	18	0.0956	9
2	광산품	0.0004	33	0.0002	32	0.0015	31
3	음식료품	0.0103	18	0.0027	17	0.0288	18
4	섬유 및 가죽제품	0.0046	22	0.0010	27	0.0198	21
5	목재 및 종이, 인쇄	0.0130	15	0.0041	16	0.0538	13
6	석탄 및 섬유제품	0.0136	14	0.0043	15	0.0015	32
7	화학제품	0.0339	4	0.0098	9	0.0529	14
8	비금속광물제품	0.0030	27	0.0009	28	0.0077	30
9	제1차 금속제품	0.0109	17	0.0021	20	0.0117	27
10	금속가공제품	0.0124	16	0.0045	14	0.0346	16
11	컴퓨터, 전자 및 광학기기	0.0528	2	0.0218	2	0.0713	10
12	전기장비	0.0242	10	0.0072	12	0.0690	11
13	기계 및 장비	0.0050	20	0.0015	24	0.0136	25
14	운송장비	0.0041	23	0.0009	29	0.0094	29
15	기타 제조업 제품	0.0029	28	0.0008	30	0.0193	23
16	제조임가공 및 산업용 장비 수리	0.0141	13	0.0068	13	0.0669	12
17	전력, 가스 및 증기	0.0239	11	0.0081	11	0.0184	24
18	수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	0.0038	24	0.0020	21	0.0197	22
19	건설	0.0036	25	0.0016	23	0.0217	20
20	도소매 및 상품중개 서비스	0.0739	1	0.0402	1	0.9273	1
21	운송서비스	0.0331	5	0.0126	8	0.3355	4
22	음식점 및 숙박서비스	0.0247	9	0.0085	10	0.3052	5
23	정보통신 및 방송서비스	0.0290	7	0.0139	6	0.1367	6
24	금융 및 보험 서비스	0.0274	8	0.0161	4	0.1146	7
25	부동산 서비스	0.0183	12	0.0136	7	0.0501	15
26	전문, 과학 및 기술 서비스	0.0375	3	0.0151	5	0.4178	3
27	사업지원서비스	0.0304	6	0.0209	3	0.4345	2
28	공공행정, 국방 및 사회보장	0.0016	31	0.0012	26	0.0125	26
29	교육서비스	0.0007	32	0.0005	31	0.0101	28
30	보건 및 사회복지 서비스	0.0026	29	0.0014	25	0.0321	17
31	예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	0.0033	26	0.0017	22	0.0273	19
32	기타서비스	0.0054	19	0.0024	19	0.0969	8
33	기타	0.0020	30	0.0000	33	0.0000	33
타산업에 미치는 효과		0.5312		0.2310		3.5178	
자기산업에 미치는 효과		1.0000		0.5169		4.3795	
합계		1.5312		0.7479		7.8972	

- 총 연구비 25,000백만원을 활용하여 동해연안 환경·생태 재해 최적적응 플랫폼 개발 사업의 경제적 파급효과의 분석결과는 다음과 같음
- 동해연안 환경·생태 재해 최적적응 플랫폼 개발 사업의 총 연구비로 인해 발생하는 생산유발효과는 38,281백만원, 부가가치 유발효과는 18,699백만원, 취업유발효과는 총 197명에 달하는 것으로 분석됨

표 4-2-7. 경제적 파급효과

구분	생산유발효과 (백만원)	부가가치유발효과 (백만원)	취업유발효과 (명)
경제적 파급효과	38,281	18,699	197

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제 1 절 경제·산업적/기술적/사회·문화적 활용계획

제 2 절 연구개발 결과의 활용성

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제 1 절 경제·산업적/기술적/사회·문화적



그림 4-2-1. 기획연구를 통한 활용계획

1. 경제·산업적 측면

가. 수산자원 고갈 과학적 대처

- 수산업이 우리나라 수출액의 30%를 담당할 정도로 국가경제 기여도가 컸었으나 무분별한 남획 및 해양환경 변화로 인해 연근해 어족자원이 고갈되고 있는 실정임
- 과학적인 연안생태계 동적거동 정보를 금어기 설정 등에 활용하여 어족자원 관리효율을 높일 수 있음
- 기후변화에 의한 해양환경 변화로 해상양식은 고수온, 저수온, 적조 및 태풍 등 자연재해 노출도가 높아짐에 따라 2015년 63억원에 불과했던 양식분야 어업재해피해액 규모가 2018년 712억원으로 증가했음. 생태재해 저감을 위해 생태계 동적거동 예측신뢰도를 높일 필요가 있음

- 내륙에 비해 부가가치가 월등한 연안의 회복탄력성을 유지·개선시키기 위해서는 생태계 기반의 친환경 연안관리가 필수적임

2. 기술적 측면

가. 향후 기후변화 관련 연안 생태계 변화 기술 개발

- 연안 서식지 환경 정보 파악을 통한 환경 생태재해 대응 플랫폼을 구축함으로써 동해 및 향후 기후변화로 인한 연안 생태계 변화에 대처 용이

나. 빅데이터 기반 연안 환경·생태계 관리기술 개발

- 빅데이터 기반 생물·생태계 모니터링 기술의 선진화에 기여
- 중장기 생태계 모델링의 정확도를 높여 연안 환경·생태계의 지속가능한 이용을 위한 새로운 패러다임 제시

다. 해양과학 분야 인공지능(AI) 활용 기술 개발

- 해양생물 실시간/준실시간 조사를 위한 인공지능 기술 개발에 기여
- 해양환경 자동화 모니터링 및 자료분석을 위한 인공지능 기술 적용

라. 한반도 전역 대상 플랫폼 적용

- 동해 연안지역에 대한 생태계 관리 프로그램 플랫폼 개발로 인해 이를 검증하고 응용함으로써 한반도 전 해역으로 확대 가능

마. 타 플랫폼과의 연계

- 단독 플랫폼 개발이 아닌 4차 산업혁명에 발맞추어 빅데이터 및 AI 적용 가능함으로 또 다른 재해 플랫폼과 연계 가능

3. 사회·문화적 측면

가. 연안공동체 갈등 해소

- 연안은 수산·양식, 레크리에이션, 골재·규사채취 등 다양한 분야의 이해관계자를 포함하므로 연안 제 현상 및 개발행위와 관련한 비과학적 정보를 근거로 연안공동체 내의 갈등이 발생할

- 가능성이 높음. 연안환경·생태계 관련 과학적 정보를 제공함으로써 갈등을 해소·방지함
- 생태계기반 수산자원관리의 플랫폼화 하여 지속가능한 수산자원이용의 기반마련, 지역공동체 발전을 위한 국가정책의 신뢰도 향상

나. 남북관계 개선

- 북한은 2010년 11월 해양과학연구소를 신설하여 해양개발시설 이용의 합리화, 항만구조물, 해안침식, 해양환경보호, 조력발전 등을 연구하고 있음
- 북한에 표본 연안생태계 1개소를 선정하여 연구를 교류함으로써 남북관계 개선에 기여 가능

제 2 절 연구개발 결과의 활용성

1. 연구과제 추진 시 연구내용

가. R&D 연구수행 적합성

- 미국에서는 ‘fishery-dependent data collection systems’ 을 지속가능한 수산자원 관리에 적용하여 자료의 수집, 관리, 분석에 혁신적인 결과 제공하고 있음
- 한국수산자원관리공단은 바다숲조성, 종묘방류, 인공어초 사업 등을 통하여 수산자원조성사업을 수행 중에 있음
- 국내에서 연근해 수산자원생물 분포조사는 국립수산과학원에서 전 해역을 대상으로 수행하고 있고, 어업생산량은 수협중앙회에서 자료를 제공하고 있음
- 그러나, 유용 생물자원의 체계적 관리와 지속가능한 이용과 유용 생물자원 서식지 및 주변 환경(연안어장)의 변동성과 미래 예측에 필요한 연구는 미미한 실정임
- 이에 반해 전 세계 선진 국가들이 혁신적인 방법을 이용한 해양환경 모니터링 및 수산자원 관리를 위한 기술을 개발하고 있음
- 복잡한 연안 생태계의 융복합적 동적거동 종합연구 수행은 기후변화에 따른 연안의 체계적 관리와 지속가능한 생물자원의 이용을 위해 필수적임
- 종합적이고 다학제적 연구를 위해서 연구인력 스펙트럼이 넓은 종합해양연구기관인 한국해양연구원에서 주도적인 연구수행을 통해 국가차원의 연안 종합 관리 정책을 도출할 필요가 있음
- R&D사업으로 연구 수행하여 유용 생물자원의 지속적 이용을 위한 연안(어장)의 체계적인 관리와 국가 해양공간계획 및 관리 정책에 핵심적인 자료를 제공할 수 있음

나. 연구비 규모

표 5-2-1. 연구개발 연구비 규모

세부내용	기 간	'21	'22	'23	'24	'25
가. 동해 연안생태계 동적거동(Coastal Ecosystem Dynamics) 규명						
- 표본 연안생태계 변동 외력 모니터링						
- 연안 서식지 환경 정보 파악을 위한 지형/지질 모니터링	20	20	20	20	20	20
- 표본 연안생태계 건강·기능 지시종(indicator species) 변동 모니터링						
- 실시간 해양환경 방사선/능 모니터링 시스템 구축						
나. 동해 연안환경·생태계 변동 장단기 예측 시스템 구축						
- KOOS-coupled 정밀모형 단기예측 시스템 구축	20	20	20	20	20	20
- 장기예측 확률모형 구축						
다. 연안환경·생태계 최적적응 플랫폼 구축 기획	10	10	10	10	10	10
- AI 기반 플랫폼 구축·운영 기획						
계(소요인력)		40	40	40	40	40
계(억원)		50	50	50	50	50

다. 연구목표

- 체계적인 동해 연안의 관리와 지속가능한 이용 극대화

라. 연구내용

- 동해 연안 생태계 동적거동 규명
- 동해 연안 유용 해양생물자원 생물량 및 분포 추정 기술 개발
- 동해 최적 연안어장 선정 및 개발
- 동해 연안 환경·생태계 장단기 예측
- 동해 연안 평가 및 유용 해양생물자원 변화 예측, 대책마련

마. 성과목표

- 동해 연안 관리 기법 제시(메뉴얼)
- 빅데이터, AI 관련 기술 특허 출원
- 동해 연안 종합관리 정책 제시

사. 연구결과의 기대효과

- 생태계 보전 및 미래 수산자원관치 측면에서 인공지능 딥러닝 기술을 적용한 실시간 수산자원 생물 자원량 조사방법은 생태계비파괴 방법이며 자원량 추정치와 변동성 예측력의 정확도를 향상시키킴
- 해양에서 외력(해양오염, 기후변화 등)에 의한 연안 환경·생태계 변동성 감지 및 최적 대응을 위한 모니터링 시스템 구축을 통한 연안 생물서식지 및 환경 관리 방안 구축
- 연안 및 수산자원의 체계적 관리를 위해 연안 어장 등급화 및 관리를 위한 제도화를 통하여 현실적이고 신뢰도 높은 정책 수립의 근거자료 마련
- 지속가능한 연안 이용을 위해 종합 연안어장환경도를 작성하고 지역 주민들에게 홍보하여 자발적으로 연안 관리 사업 참여를 통한 지역 활성화 기여
- 국가의 해양공간계획 및 관리 정책에 핵심적인 자료를 제공
- 연구개발 결과는 향후 유관기관과 협력을 통하여 연안 공동관리방안 마련 및 제도화

제 6 장 참고문헌

참고문헌

- 국립기상연구소. 2011. IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011.
- 조광우·김경준·정주철·박원경·강태순. 2009. 해수면 상승에 따른 취약성 분석 및 효과적인 대응정책 수립 I : 해안침식 영향평가. 환경정책평가연구원, 150pp.
- 허태경·김영미·부경은·변영화·조천호. 2018. CMIP5 자료를 활용한 우리나라 미래 해수면 상승. 한국기상학회지, 28(1): 22-35.
- Bakker, A.M.R., T.E. Wong, K.L. Ruckert and K. Keller. 2017. Sea-level projections representing the deeply uncertain contribution of the West Antarctic ice Sheet. Nature Scientific Report 7:3880.
- Barnard, P.L., L.H. Erikson, A.C. Foxgrover, J.A. FinziHart, P. Limber, A.C. O' Neill, M. van Ormondt, S. Vitousek, N. Wood, M. K. Hayden and J.M. Jones. 2019. Dynamic flood modeling essential to access the coastal impact of climate change. Nature Scientific Report 9:4309
- Bell, M.J., A. Schiller, P.-Y. Le Traon, N.R. Smith, E. Dombrowsky and K. Wilmer-Becker. An introduction to GODAE OceanView. J. Operational Oceanography 8(S1): s2-s11.
- Berkelmans, R., G. De' ath, S. Kininmonth and W.J. Skirving. 2004. A comparison of the 1988 and 2002 coral beaching events on the Great Barrier Reef: spatial correlation, patterns, and predictions. Coral Reefs 23:74-83.
- Bleck, R. and D. Boudra. 1981. Initial testing of a numerical ocean circulation model using a hybrid (quasi-isopycnic) vertical coordinate. J. Phys. Oceanogr. 11: 755-770.
- Blumberg, A.F. and G.L. Mellor. 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: Heaps, N. (Ed.), Three-Dimensional Coastal Ocean Models. In: Coastal and Estuarine Sciences, vol. 4, Amer. Geophys. Union, pp. 1-16.
- Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen. 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, model description and validation. J. Geophys. Res. C4 (104): 7649-7666.
- Bruun, P. 1962. Sea level rise as a cause of erosion. J. Waterway and and Harbor Division, ASCE 88: 117-130
- Burchard, H. and K. Bolding. 2002. GETM: A General Estuarine Transport Model, Scientific Documentation. Tech. Rep. EUR 20253 EN. European Commission.
- Burchard, H., K. Bolding, K., R.M. Villarreal. 1999. GOTM - A General Ocean Turbulence Model. Theory, Applications and Test Cases. Tech. Rep. EUR 18745 EN. European Commission.
- Casulli, V. and P. Zanolli. 2002. Semi-implicit numerical modelling of non-hydrostatic free-surface flows for environmental problems. Math. Comput. Modelling 36(9-10): 1131-

1149.

- Casulli, V. and P. Zanolli. 2005. High resolution methods for multidimensional advection-diffusion problems in free-surface hydrodynamics. *Ocean. Model.* 10(1-2): 137-151.
- Casulli, V. 1999. A semi-implicit finite difference method for nonhydrostatic free surface flows. *Internat. J. Numer. Methods Fluids* 30: 425-440.
- Chai, F., R.C. Dugdale, T.H. Peng, F.P. Wilkerson and R.T. Barber. 2002. One-dimensional ecosystem model of the equatorial Pacific upwelling system. Part I: model development and silicon and nitrogen cycle. *Deep-Sea Res. II* 49(13-14): 2713-2745.
- Chai, F., M.S. Jiang, R.T. Barber, R.C. Dugdale and Y. Chao. 2003. Interdecadal variation of the transition zone chlorophyll front: A physical-biological model simulation between 1960 and 1990. *J. Oceanogr.* 59(4): 461-475.
- Chai, F., M.S. Jiang, Y. Chao, R.C. Dugdale, F. Chavez and R.T. Barber. 2007. Modeling responses of diatom productivity and biogenic silica export to iron enrichment in the equatorial Pacific Ocean. *Global Biogeochem. Cy.* 21, GB3S90.
- Chen, C., H. Liu and R.C. Beardsley. 2003. An unstructured grid, finite-volume, three-dimensional, primitive equations ocean model: Application to coastal ocean and estuaries. *J. Atmos. Ocean. Technol.* 20: 159-186.
- Deloitte. 2017. The economic, social and icon value of the Great Barrier Reef. 92pp.
- Erikson, L.H., P.L. Barnard, A.C. O' Neill, S. Vitousek, P. Limber, A.C. Foxgrover, L.M. Herdman and Jonathan Warrick. 2017. CoSMoS 3.0 Phase 2 Southern California Bight: Summary of data and method <http://dx.doi.org/10.5066/F7T151Q4>
- Feddersen, F., D.B. Clark and R.T. Guza. 2011. Modeling of surfzone tracer plumes: 1. Waves, mean currents, and low-frequency eddies. *J. Geophys. Res.* 116, C11027.
- Fringer, O.B., C.N. Dawson, R. He, D.K. Ralston and Y.J. Zhang. 2019. The future of coastal and estuarine modeling: Findings from a workshop. *Ocean Modelling* 143 (2019) 101458.
- Fringer, O.B., M. Gerritsen and R.L. Street. 2006. An unstructured-grid, finite-volume, nonhydrostatic, parallel coastal ocean simulator. *Ocean Model.* 14(3-4): 139-173.
- Gochis, D.J., M. Barlage, A. Dugger, K. FitzGerald, L. Karsten, J. McCreight, J. Mills, A. RafieeiNasab, L. Read, K. Sampson, D. Yates and W. Yu. 2018. The WRF-Hydro Modeling System Technical Description, (Version 5.0). NCAR Technical Note, 107pages.
- Kourafalou, V.H., P. De Mey, M. Le Hénaff, G. Charria, C.A. Edwards, R. He, M. Herzfeld, A. Pascual, E.V. Stanev, J. Tintoré, N. Usui, A.J. van der Westhuysen, J. Wilkin and X. Zhu. 2015a. Coastal ocean forecasting : system integration and evaluation. *J. Operational Oceanography* 8(S1): s127-s146.

- Kourafalou, V.H., P. De Mey, J. Staneva, N. Ayoub, A. Barth, Y. Chao, M. Cirano, J. Fiechter, M. Herzfeld, A. Kurapov, A.M. Moore, P. Oddo, J. Pullen, A. van der Westhuysen and R.H. Weisberg. 2015b. Coastal Ocean Forecasting: science foundation and user benefits. *J. Operational Oceanography* 8(S1): s147-s167.
- Lazure, P. and F. Dumas. 2008. An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Adv. Water Resour.* 31: 233-250.
- Lesser, G. R., J.A. Roelvink, J.A.T.M van Kester and G.S. Stelling. 2004. Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coast. Eng.* 51: 883-915.
- Luetlich, Jr., R.A., J.J. Westerink, N.W. Scheffner. 1992. ADCIRC: an Advanced Three-Dimensional Circulation Model for Shelves Coasts and Estuaries. Report 1: Theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL, Dredging Research Program Technical Report DRP-92-6, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 137 pp.
- Ma, G., F. Shi and J.T. Kirby. 2012. Shock-capturing non-hydrostatic model for fully dispersive surface wave processes. *Ocean Model.* 43-44: 22-35.
- Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman and C. Heisey. 1997a A finite volume, incompressible Navier-Stokes model for studies of the ocean on parallel computers. *J. Geophys. Res.* 102(C3): 5753-5766.
- Merkens, J.-L., L. Reimann, J. Hinkel and A.T. Vafeidis. 2016. Gridded population projections for the coastal zone under the Shared Socioeconomic Pathways. *Global Planet. Change* 145: 57-66.
- Parris, A., P. Bromirski, V. Burkett, D. Cayan, M. Culver, J. Hall, R. Horton, K. Knuuti, R. Moss, J. Obeysekera, A. Sallenger and J. Weiss. 2012. Global sea level rise scenarios for the United States National Climate Assessment. NOAA Technical Report OAR CPO-1.
- Piccioni et al., 2019. Telemac3D for aquatic ecological modelling: calibration of the coupled ecological library AED2. 2019 Telemac Users Forum.
- Roelvink, D. *et al.* 2009. Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coast. Eng.* 56: 1133-1152.
- Shchepetkin, A. and J.C. McWilliams. 2005. The regional oceanic modeling system: A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate ocean model. *Ocean Modelling* 9: 347-404.
- Shi, J., S. Shi, J.T. Kirby, G. Ma, G. Wu, C. Tong and J. Zheng. 2015. Pressure decimation and interpolation (PDI) method for a baroclinic non-hydrostatic model. *Ocean Model.* 96(2): 265-279.
- Steven, A.D.L., M.E. Baird, R. Brinkman, N.J. Car, S.J. Cox, M. Herzfeld, J. Hodge, E. Jones,

- E. King, N. Margvelashvili, C. Robillot, B. Robson, T. Schroeder, J. Skerratt, S. Tickell, N. Tuteja, K. Wild-Allen and Jonathan Yu. 2019. *eReefs*: An operational information system for managing the Great Barrier Reef. *J. Operational Oceanography* 12(susp2): S12-S18.
- Sweet, W.V., R.E. Kopp, C.P. Weaver, J. Obeysekera, R.M. Horton, E.R. Thieler and C. Zervas. 2017. Global and regional sea level rise scenarios for the United States. NOAA Technical Report NOS CO-OPS 083.
- Tolman, H.L. 2009. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III Version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276. 194 pp.
- Vallaey, V., T. Karna, P. Delandmeter, J. Lambrechts, A.M. Baptista, E. Deleersnijder and E. Hanert. 2018. Discontinuous Galerkin modeling of the Columbia River's coupled estuary-plume dynamics. *Ocean Modelling* 124: 111-124.
- Vousdoukas, M.I., L. Mentaschi, E. Voukouvalas, M. Verlaan, S. Jevrejeva, L. P. Jackson and L. Feyen. 2018. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nature Communications* 9:2360.
- Warner, J.C., B. Armstrong, R. He, J.B. Zambon. 2010. Development of a Coupled Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport (COAWST) modeling system. *Ocean Modelling* 35(3): 230-244.
- Warner, J.C., C.R. Sherwood, R.P. Signell, C. Harris and H.G. Arango. 2008. Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment-transport model. *Comput. Geosci.* 34: 1284-1306.
- Westerink, J.J., R.A. Luetlich, C.A. Blain, N.W. Scheffner. 1994. ADCIRC: An Advanced Three-Dimensional Circulation Model for Shelves, Coasts and Estuaries. Report 2: Users' Manual for ADCIRC-2DDI, Department of the Army US Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
- Zhang, Y. and A.M. Baptista. 2008. SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modelling* 21: 71-96.
- Zijlema, M., G. Stelling and P. Smit. 2011. SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Eng.* 58(10): 992-1012.

뒷 면

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.