

대양탐사를 통한 지구·해양시스템 이해와
해양자원 활용연구

2019. 2.

수행기관: 
한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “대양탐사를 통한 지구·해양시스템 이해와 해양자원 활용연구 기획” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

2018년 2월

연구수행기관 : 한국해양과학기술원
연구책임자 : 주세종
참여연구원 : 강도형, 강동진, 강형구, 김동성, 김영호,
권개경, 나공태, 박영규, 유신재, 유옥환,
이지민, 이희승, 이창열, 서연지, 서인아,
장찬주, 최동한, 형기성 (가나다 순)

요 약 문

I. 제 목

- 대양탐사를 통한 지구·해양시스템 이해와 해양자원 활용 연구 기획

II. 연구목표 및 개요

가. 연구목표

- 대양탐사를 통한 지구·해양시스템 이해와 해양자원 발굴과 확보를 위한 KIOST 브랜드 연구 제안서 작성

나. 연구기간

2018. 8. 1 ~ 2018. 12. 31

다. 내용 및 결과

대형 해양종합조사선 ‘이사부호’의 취항에 따라 대형 대양연구가 주요 화두로 부상하고 있으나 준비된 연구계획 부재에 따라 체계적인 대양연구의 추진이 어려운 상황이며, 이의 극복을 위해 시급하게 대형 대양연구의 기획이 필요한 상황임. 또한 해수부 R&D 사업인 ‘극지 및 대양과학연구’는 ‘20년 일몰 일정에 따라 후속 연구사업에 대한 향후 추진 방향에 대한 검토가 요구되고 있음.

과거와 기존에 KIOST가 주도적으로 수행하는 대양연구 과제들이 있어 왔지만 지속성을 가진 KIOST 브랜드 과제로 정착치 못하였으며, 국제 프로그램과의 연계 없이 진행됨에 따라 결과물의 국제사회 기여도가 미흡하였음. 특히, 구축된 인프라를 활용하여 국가와 국제사회의 기대에 부응하기 위해서는 KIOST의 대양연구역량 강화를 위한 연구 프로그램 개발이 필요함.

본 연구는 국내·외 관련 연구개발 동향 및 환경 분석을 통해 추진전략 및 전략과제를 도출하고, 중점 추진과제에 대한 연구개요, 목표, 내용 및 연차별 추진계획을 작성함.

□□ 목 차 □□

| | |
|-------------------------------------|----|
| 요 약 문 | i |
| 제 1 장 서 론 | 1 |
| 제 1 절 연구 배경 및 필요성 | 1 |
| 제 2 절 연구 목표 및 범위 | 2 |
| 제 2 장 대양연구 국내·외 동향 분석 | 4 |
| 제 1 절 국내 동향 | 5 |
| 가. 정책동향 | 5 |
| 나. 연구동향 | 5 |
| 제 2 절 국외 동향 | 9 |
| 가. 국제 제도 동향 | 9 |
| 나. 주요 연구기관 연구동향 | 11 |
| 다. 주요 국제공동연구 대양탐사 프로그램 | 20 |
| 라. 전 세계 대양 관측망 네트워크 | 25 |
| 제 3 절 대내외 환경변화..... | 30 |
| 가. 국내 환경분석 | 30 |
| 나. 국외 환경분석 | 30 |
| 다. SWOT 분석 | 31 |
| 제 3 장 추진 전략 | 34 |
| 제 1 절 비전 및 목표 수립 | 34 |
| 제 2 절 주요 추진 내용 | 35 |
| 제 3 절 추진 체계 | 36 |
| 제 4 장 중점 추진과제 | |
| 제 1 절 북태평양 아열대 순환경계역 진동 연구 | 37 |
| 제 2 절 기후변화와 한반도 주변해 변동 진단과 예측 | 45 |
| 제 3 절 전지구 규모의 생지화학 물질순환 연구 | 49 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 제 4 절 인도양 - 태평양 신 해양자원 발굴 연구 | 54 |
| 제 5 절 대양생태계 중 다양성 및 생물 지리학적 연구 | 60 |
| 제 5 장 기대효과 및 활용방안 | 67 |
| 제 1 절 기대 효과 | 67 |
| 제 2 절 활용 방안 | 67 |
| [부 록] 생물다양성 연구 방법론..... | 69 |

□□ 표 목 차 □□

| | |
|---|----|
| 표 2.1. 2017-2018 연구선 산학연 공동활용 과제 현황..... | 8 |
| 표 2.2. 2018 NOAA대양관련 세부과제 연구지역 및 연구 분야..... | 13 |
| 표 2.3. 주요국 대양연구 추진 현황 요약 | 19 |
| 표 2.4. 주요 대양관측망 프로그램 | 29 |

□□ 그림 목차 □□

| | |
|--|----|
| 그림 2.1. 2006 - 2014 KIOST 기관고유사업..... | 6 |
| 그림 2.2. 이사부/온누리호 탐사가능범위 및 제안된 대양연구 주제 | 7 |
| 그림 2.3. 2017년 산·학·연 공동활용 과제 운항 일정 | 7 |
| 그림 2.4. 2018년 산·학·연 공동활용 과제 운항 일정 | 8 |
| 그림 2.5. NOAA 탐사 지역 분포 (331곳, 2001-2018년) | 12 |
| 그림 2.6. 우즈홀 Dive and Discover 대양탐사 지역 | 14 |
| 그림 2.7. 1995 - 현재 대서양 자오선 횡단 탐사 이동경로..... | 15 |
| 그림 2.8. Tara Ocean Expedition의 탐사지역 및 경로 | 16 |
| 그림 2.9. JAMSTEC 수행 동태평양 희유금속 함량 연구 | 17 |
| 그림 2.10. 중국의 인도양-대서양 U-loop 연구지역 | 17 |
| 그림 2.11. 중국의 미래 해양관측 시스템 구축 계획 ('20) | 18 |
| 그림 2.12. GOOS 프로그램 위성 및 현장 관측자료 정점 | 20 |
| 그림 2.13. 2012-2013 GO-SHIP 탐사 관측선 | 21 |
| 그림 2.14. IMBeR 추진 프로그램 | 22 |
| 그림 2.15. SOLAS 관측 정점..... | 22 |
| 그림 2.16. GEOTRACES 관측선 | 23 |
| 그림 2.17. IIOE-2 관측망 | 24 |
| 그림 2.18. OBIS 생물종 분포 | 24 |
| 그림 2.19. DNA 바코드 정보 | 25 |
| 그림 2.20. OceanSITES 시계열 관측 정점 | 25 |
| 그림 2.21. ARGO 정점 | 26 |
| 그림 2.22. 열대 태평양 TAO/TRITON 정점 | 27 |
| 그림 2.23. 인도양에 설치된 RAMA 계류부이 정점 | 27 |
| 그림 2.24. GDP 뜰개 위치 | 28 |
| 그림 2.25. 대양사업의 SWOT Matrix | 33 |
| 그림 3.1. 사업의 미션, 비전과 전략목표 | 34 |
| 그림 3.2. 기술개발 추진체계 | 36 |
| 그림 4.1. 북태평양 아열대순환 경계역 진동 연구 지역 | 39 |
| 그림 4.2. 대양 장기관측 정점 분포 및 위치 | 40 |

그림 4.3. 전지구 규모의 생지화학 물질순환 연구 대상지역 51

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경 및 필요성

- 해수부 R&D 사업인 ‘극지 및 대양과학연구’는 ‘20년 일몰 일정에 따라 후속연구사업에 대한 향후 추진 방향에 대한 검토가 요구되고 있으며, 신정부 출범과 신입원장 취임, 대형조사선 ‘이사부호’의 취항에 따라 대형대양연구가 주요 화두로 부상하고 있으나 준비된 연구계획 부재에 따라 시급하게 대형대양연구의 기획이 절대 필요한 상황임.

- 과거와 기존에 KIOST가 주도적으로 수행하는 대양연구 과제들이 있어왔지만 지속성을 가진 KIOST 브랜드 과제로 정착치 못하였으며, 국제 프로그램과의 연계 없이 진행됨에 따라 결과물의 국제사회 기여도가 미흡하였음. 특히, 구축된 인프라를 활용하여 국가와 국제사회의 기대에 부응하기 위해서는 KIOST의 대양연구역량 강화를 위한 연구 프로그램 개발이 필요함.

- 해양과기원 임무와 경영/성과목표와 연계
 - ‘국가해양과학기술 발전과 국제적 경쟁력 확보’에 부합
 - 경영목표 중 ‘도전적 융복합연구로 선도적 해양과학기술역량 강화’와 부합
 - ‘대양·극한지 탐사와 신자원발굴’ 성과목표와도 부합

- 국가 아젠다와의 연계성
 - 해양수산 R&D 중장기계획(‘14~’20)과 연계: ‘1-2 극한 공간 활용 및 국제협력 확대’의 추진목표인 남·북극, 심해 등 극한 공간 활용 확대를 통한 자원선점 및 국제 역량 강화로 극지 및 대양 심해저 활용 촉진을 위한 기반 마련 분야에 해당
 - 2017 문재인 정부 100대 국정과제 중 ‘62번 해양영토 수호와 해양안전 강화’를 위한 해수부 실천과제 ‘6번 남북극 등 대양진출 확대와 국제해양 네트워크 확충 - 이사부호를 활용한 대양연구 본격화 및 국제연구

참여 등 추진' 과 부합

- 2019 정부연구개발투자방향과 기준(안)인 우선 R&D 영역인 과학기술혁신(기초연구)와 공공수요에 부합되며, 연구자 주도의 창의·도전적 기초연구에 대한 지원 강화와 대학·출연연 보유장비(CPR, 유전자 분석장비) 및 대형기초인프라(이사부호) 공동활용 지원 그리고 국가 중장기 위기(미래 유용해양자원 확보 및 기후변화 대응)극복을 위한 연구 지원에 부합됨.
- 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018-2022)의 '전략 2의 사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보' 를 위한 기후변화 등 국제사회 공동 현안문제 해결을 위한 과학기술 기반의 국제협력 강화에 부합되며, 출연연 브랜드 육성과제로 제안된 '글로벌 대양탐사 프로젝트', '해양생태계 관리 및 미래유용자원탐색 프로젝트' 와도 부합됨.

제 2 절 연구 목표 및 범위

첨단 대형 해양과학조사선(이사부호)을 활용한 지구·해양시스템의 이해와 공해상에서 미래지속가능한 해양신자원의 확보를 위한 대양연구를 기획하기 위해 아래와 같은 세부연구내용들에 대해 기획하였다.

1) 대양의 해양-대기 변동성과 한반도 주변해 기후 변동성과의 인과 관계 및 원격 상관성 이해를 위해 한반도 주변 해양환경 변동성에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있는 핵심 대양해역을 설정하고 조사선과 무인 관측기기를 활용한 종합적인 해양-대기 변동성 동시 관측망 구축

2) 대양에서 온실가스의 생지화학 순환, 신생산력 변동 파악, 미량원소의 생지화학 순환 연구를 통해 전지구 규모의 생지화학 물질순환을 이해하고 해양의 기후조절 능력을 파악함으로써, 미래 기후변화를 예측할 수 있는 능력을 향상할 수 있는 과제 도출

3) 이사부호의 이동경로와 타사업과의 연계를 통해 인도양-태평양 지역 유용광물자원의 자원 잠재력 및 심해/취약 연구 지역과 지구조 및 물리·생태적 핫스팟에 중점을 둔 포괄적인 생태계 조사를 위한 연구를 기획하였다.

특히 기획된 연구를 통해 신뢰성 있는 해양생물과 유전자 정보를 확보하여 국내 유관기관(국립해양생물자원관, 국립해양박물관, 등)과 국제프로그램(OBIS,

Census of Marine life)에 표본 및 정보를 제공함으로써, 공해상의 해양생물자원의 보호와 재산적 권리를 지정하려는 국제협약(BBNJ 정부간 회의)에 대응할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 대양생물의 종/유전적 다양성과 key species의 유전적 연결성을 통해 생물 지리적 분포에 대한 전 지구적 평가에 기여함으로써 KIOST와 우리나라의 연구역량을 높이고 국내외 해양연구 발전에도 기여할 수 있도록 기획하였다.

제 2 장 대양연구 국내·외 동향 분석

제 1 절 국내 동향

가. 정책동향

- 해수부 R&D 사업인 ‘극지 및 대양과학연구’는 ‘20년 일몰 일정에 따라 후속연구사업에 대한 향후 추진 방향에 대한 검토가 요구되고 있으며, 신정부 출범과 신입원장 취임, 대형조사선 ‘이사부호’의 취항에 따라 대형대양연구가 주요 화두로 부상하고 있으나 준비된 연구계획 부재에 따라 시급하게 대형 대양연구 개발이 필요
- 해양과학기술원 연구성과계획서에 대양연구가 성과목표 2-3 “대양·극한지 탐사와 신자원 발굴”로 제시되었으며, 해양과학기술원 차원의 대양사업 추진 근거 확보
- 국가 아젠다와의 연계성으로 추진 근거 확보
 - 해양수산 R&D 중장기계획(14~20)과 연계: ‘1-2 극한 공간 활용 및 국제협력 확대’의 추진목표인 남·북극, 심해 등 극한 공간 활용 확대를 통한 자원선점 및 국제 역량 강화로 극지 및 대양 심해저 활용 촉진을 위한 기반 마련 분야에 해당
 - 2017 문재인 정부 100대 국정과제 중 ‘62번 해양영토 수호와 해양안전 강화’를 위한 해수부 실천과제 ‘6번 남북극 등 대양진출 확대와 국제해양 네트워크 확충 - 이사부호를 활용한 대양연구 본격화 및 국제연구 참여 등 추진’에 부합
 - 2019 정부연구개발투자방향과 기준(안)인 우선 R&D 영역인 과학기술혁신(기초연구)와 공공수요에 부합되며, 연구자 주도의 창의·도전적 기초연구에 대한 지원 강화와 대학·출연연 보유장비(CPR, 유전자 분석장비) 및 대형기초인프라(이사부호) 공동활용 지원 그리고 국가 중장기 위기(미래유용해양자원 확보 및 기후변화 대응)극복을 위한 연구 지원에 부합됨.
 - 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018-2022)의 ‘전략 2의 사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보’를 위한 기후변화 등 국제사

회 공동 현안문제 해결을 위한 과학기술 기반의 국제협력 강화에 부합되며, 출연연 브랜드 육성과제로 제안된 ‘글로벌 대양탐사 프로젝트’, ‘해양생태계 관리 및 미래유용자원탐색 프로젝트’ 와도 부합됨.

- 제4차 과학기술기본계획(2018~2022) : 환경, 기후변화, 자원부족 등 인류적 난제해결
- 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018~2022)에 부합 : 출연연 브랜드 과제 육성 분야(글로벌 대양탐사 프로젝트, 해양생태계관리 및 미래유용자원 탐색 프로젝트, 한반도 기후변화 예측 및 대응 프로젝트 등)
- '19 해양수산 R&D 기획연구 세부 기획방향의 “사회문제 해결 및 국제협력 분야” 에 해당 : 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018~2022)에 부합 : (대양연구) 글로벌 대양탐사를 통한 신해양자원 발굴, 기후변화 감시망 구축 및 기후예측 역량 강화를 위한 신규 연구 발굴

나. 연구 동향

○ 이사부호 건조 전 대양연구 현황

- 1992년 해양연구소(현 한국해양과학기술원)에서 연구선 온누리호(1,400톤) 건조, 대양연구 수행
- 이후 대양에서의 연구활동은 한국해양과학기술원이 주도, 태평양, 인도양 해양광물자원 탐사와 북서태평양 해양환경 변화 등의 연구 수행
- 대양 환경과 잠재자원 등 대양 자체에 관한 관심이 아닌, 한반도와의 직접적 관련성이나 향후 자원개발을 위한 탐사활동 등에 초점이 맞춰져 수행되어 국제적 관심이 집중된 연구분야에서의 성과는 상대적으로 미진하였음
- 2000년대 이후 첨단 설비 수요는 증가했으나 온누리호의 노후화와 선박 규모의 한계로 대형 조사선 이사부호 건조 및 취항(2016)

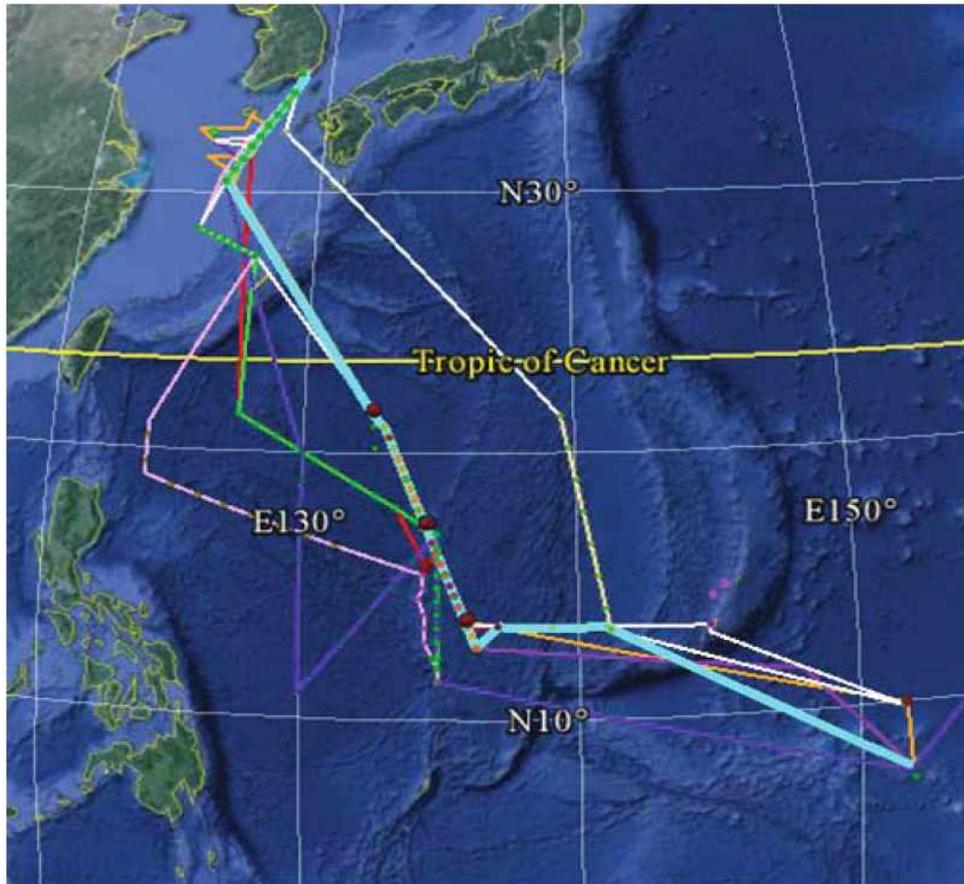


그림 2.1. 2006년부터 2014년까지 KIOST 기관고유사업
 <북서태평양의 해양환경변화가 한반도 주변해에 미치는 영향
 연구>중 수행한 탐사활동 경로

- 이사부호 건조 이후 수행한 대양탐사 현황
 - 2016년 5,000톤급 이사부호 취항, 산학연 연구선 공동활용을 통한 대양연구 활성화
 - 한국해양과학기술원은 「쿠로시오 확장역 물질순환의 변동특성 연구」(연구책임자: 박영규) , 「인도양 쌍극진동 변동에 따른 인도양 순환 및 내부 물질순환 변동 이해」(연구책임자: 노태근), 「인도양 중앙해령대 심해열수공 생명시스템 이해」(연구책임자: 김동성) 등 물리관측/물질순환/생태계 등 다학제적·복합적 연구 수행
 - 2017년, 2018년 산학연 공동활용 사업을 통해 대학(서울대, 부산대, 한국해양대, 인천대 등) 및 기업(지오시스템리서치 등)에게 대양연구 기회 부여, 해양인재 양성



그림 2.2. 이사부호와 온누리호 탐사가능범위 비교 및 제안된 대양연구 주제 (그림 출처: 헤럴드경제)

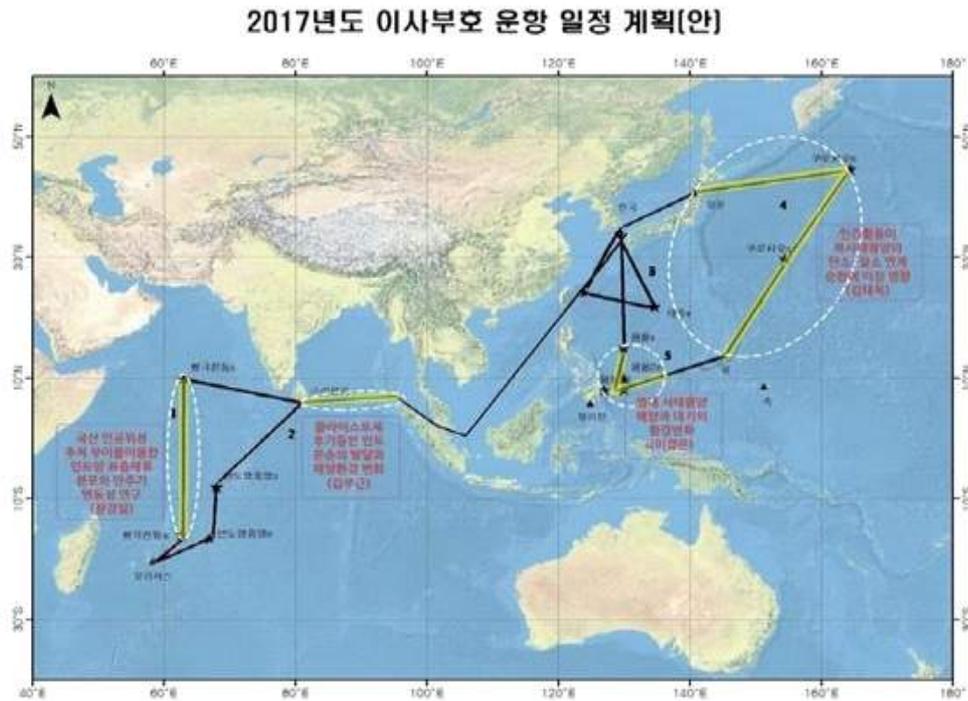


그림 2.3. 2017년 산·학·연 공동활용 과제 운항 일정



그림 2.4. 2018년 산·학·연 공동활용 과제 운항 일정

표 2.1. 2017-2018 연구선 산학연 공동활용 과제 현황

| | 과제명 | 기관명 |
|-------|--|-----------------|
| 2017년 | | |
| 1 | 열대 서태평양 해양과 대기의 환경변화 연구-과거와 현재 | 해양대 |
| 2 | 플라이스토세 후기동안 인도 몬순의 발달과 해양환경 변화 | 부산대 |
| 3 | 인간 활동이 북서태평양의 탄소-질소연계 순환에 미친 영향 연구 | 인천대 |
| 4 | 국산 인공위성 추적 표류부이를 이용한 인도양 표층해류 분포와 단주기변동성 연구 | (주)지오시스 탐리서치 |
| 2018년 | | |
| 1 | 서태평양 저위도 해양-대기 환경변화 감시와 과거변화 복원을 위한 대학 연합형 연구 | 해양대 |
| 2 | 대양조사선에서의 수중글라이더 활용 기술개발 및 태풍시기 해양의 열용량 변동 특성 연구 | 경북대 |
| 3 | 가장 오래된 해양관에서의 탄성파/전자기파 해저면 장기 관측을 통한 판구조론의 미스터리 규명 | 서울대 |
| 4 | 에디의 물리적 특성에 따른 생물학적 반응의 패러다임 구축 | 부산대 |
| 5 | 북서태평양 해양환경변화 추적자로서 미세플라스틱 거동기작 활용 연구 | 서울대 |

○ 기타 제안된 대양연구 주제

- 한국해양과학기술원에서 대형 연구과제 발굴을 위한 연구기획 진행 (2014~2016), 주로 우리나라와의 기후상관성 및 지리적 접근성을 고려한 서태평양-중양태평양 및 인도양 해역에서의 해양물리 관측, 생지화학적 물질순환, 해양지질 연구기획 제안
- 물리관측 분야: 한반도나 동아시아 기후와 연관성이 큰 해역(예: 아북극 베링해, 쿠로시오확장역, 인도네시아통과류, 서인도양)에 관측정점 설정 후 유지, 장기간 기록 획득
- 해양화학·물질순환 분야: 대규모 물질순환이 예상되는 지역(예: 인도네시아 통과류)이나 지속적 관찰이 가능한 측선을 설정해 수괴간 미량원소 및 동위원소 분포의 이해와 거동, 재분배를 통해 생지화학적 과정 규명, GEOTRACES 등 국제프로그램에 공식 참여
- 생물·생지화학 분야: 물리·화학적 특성과 연관되는 생물특성 연구(예: 쿠로시오 해류를 따라 유입되는 아열대 생물종 유입 파악)와 신생물자원 탐색 및 활용 기반 구축
- 지질·고해양 분야: 대양의 중·장기 기후변동성을 이해하기 위한 고해양학 변화 연구(예: 빙하기-간빙기 규모의 인도양 몬순 및 북서태평양 아열대·아한대 순환류 변화) 및 인도양 중양해령 및 열수시스템 연구

제 2 절 국외 동향

가. 국제 제도 동향

- 나고야의정서, 생물다양성협약 등 국가관할권 이내지역의 생물유전자원에 대한 주권적 권리를 강화하려는 경향이 강해짐에 따라 생물유전자원의 이용으로부터 발생하는 이익공유의 범위가 확대되고 있음
- 유전자원의 접근 및 이익 공유에 관한 내용을 담고 있는 생물다양성협약(1992년)과 이를 구체화한 나고야의정서(2010년)가 체결된 이후 국가들의 관할권 이내지역의 생물유전자원에 대한 주권적 권리 실현이 강화되었음
- 특히, 나고야의정서의 발효 이후 생물자원 부유국들은 이익 공유의 대상을 유전물질 이외에 파생물로 확대 적용하고 있으며, 최근에는 유전자원의 디지털염기서열정보(Digital Sequence Information)를 이익 공유의 대상으로 주장하고 있음

- 2018년 11월 17일~30일, 이집트 샤름 엘 셰이크에서 개최된 제14차 생물 다양성협약 당사국총회에서도 디지털염기서열정보에 관한 개발도상국과 선진국 간 오랜 협상 끝에 디지털염기서열정보의 개념(concept)에 관한 연구를 진행하는 것으로 합의함
- 그러나 국내법에 따라 상호합의조건(MAT)으로 국가들이 디지털염기서열정보의 이용으로부터 발생하는 이익에 관한 사항을 다룰 수 있도록 타협함으로써 개발도상국의 관할권 이내지역의 생물유전자원에 대한 주권적 권리의 실행이 강화될 것으로 전망됨
- 국가관할권 이원지역의 해양생물다양성 보존 및 지속가능한 이용이라는 명목 하에 국가관할권 이원지역의 해양생물유전자원에 대한 접근과 그 이용으로부터 발생하는 이익의 공유에 관한 새로운 국제규범 형성이 논의되고 있음
- 현재 국가관할권 이원지역*은 유엔해양법협약에 의하여 심해저의 광물자원을 제외하고 공해자유의 원칙이 적용되는 지역으로 이 지역에서 해양생물자원의 탐사는 자유이며, 그 이용으로부터 발생하는 이익은 이용자가 배타적으로 향유할 수 있음
- * 국가관할권 이원지역이란 어느 국가의 영해, 배타적경제수역, 대륙붕(200해리 이원으로 연장된 대륙붕 포함)에 속하지 않는 지역을 의미하며, 일반적으로 공해와 심해저가 이에 해당한다. 남극 주변해역은 남극조약 및 관련 협약에 따라 규율되고 있으나 현재 생물탐사와 관련한 규범이 존재하지 않는다.
- 그러나 국제사회는 유엔총회 결의문(2004년, 59/24)에 근거하여 2006년부터 국가관할권 이원지역의 해양생물다양성 보존 및 지속가능한 이용(BBNJ)이라는 이름하에 관할권 이원지역의 해양유전자원의 규율에 관한 논의를 지속하였고, 2015년에는 BBNJ에 관한 법적으로 구속력 있는 국제문서 제정에 합의하였음(유엔총회 결의 2015년, 69/292)
- * The conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction
- 이에 따라 BBNJ 국제문서 구성요소 도출을 위한 준비위원회가 2016년부터 2017년까지 4차례 개최되었고, 2018년 9월에 유엔총회 결의에 따라(2017년, 72/249) BBNJ 국제문서 문안 협상을 위한 제1차 BBNJ 정부간회의가 미국 뉴욕에서 개최되었음
- 이 회의에서 관할권 이원지역에 대한 접근이 기술적·재정적으로 한계를

- 가지는 개발도상국들은 국가관할권 이원지역의 해양생물유전자원을 인류의 공동유산으로 규정하여 이에 대한 접근과 그 이용으로부터 발생하는 이익을 공유해야함을 주장하고 있으며, 선진국들은 유엔해양법상 공해자유의 원칙이 적용되는 대상이라는 견해를 견지하고 있음
- 또한 BBNJ 정부간회의는 관할권 이원지역의 생물다양성 유지를 위한 환경영향평가 관련 규정의 제정을 논의중임
- 일본, 중국 등 공해 및 EEZ에서 대양저 퇴적물을 대상으로 희유금속 탐사가 증가하고 있으며, 충분한 광량을 가진 퇴적체의 탐사가 완료될 경우 독점적 탐사권 및 개발권 확보를 위해 국제해저기구에 관련 광종에 대한 탐사규칙 제정 요구가 예상됨
- 일본은 중국의 자원무기화에 대응하여 희유금속을 확보하는 방안으로, 동태평양 공해 및 EEZ에서 퇴적물의 희유금속 탐사 연구를 통해 고품위/고함량의 희유금속 지역을 발견하고 자원량 평가를 수행 중
 - 동태평양 지역의 심해저 퇴적물의 희유금속 함량 연구를 통해 이 지역 퇴적물에 고함량의 희유금속이 함유되어 있는 것으로 파악 (Kato et al., 2011, Nature Geoscience)
 - 2013년 부터 자국 EEZ내 탐사를 통해 미나미 토리시마에서 고품위 희유금속을 함유하고 있는 퇴적물을 발견하고 자원량 평가를 수행 중 (희토류 퇴적물 자원 잠재력 평가 보고서, 2016, 경제 산업성 자원에너지청 JOGMEC)(Kato et al., 2011, Nature Geoscience, 희토류 퇴적물 자원 잠재력 평가 보고서, 2016, 경제 산업성 자원에너지청 JOGMEC).
 - 중국은 최근 남동태평양 심해 분지에서 면적이 150만 km² 에 달하는 희토류 함유 퇴적물 분포지역을 발견하였고, 중인도양, 서태평양, 북동태평양 및 남동태평양 등에서 4개의 희유금속 함유 퇴적물 분포지를 확인하고 탐사 연구를 수행 중임.

나. 주요 연구기관 연구동향

1. NOAA (미국)

NOAA 는 멕시코 만, 대서양, 태평양, 북극해에서 2001년부터 현재까지 총 331 회 탐사를 수행해 왔다(그림 2.5). 연구가 부족하거나 민감한 해역을 중심으로 생물 다양성 및 연결성 파악, 지형탐사 및 해저 매핑, 생물공학, 기술개

발, 해상 유적지 발굴 등 다양한 연구주제에 대한 광범위한 기초자료를 장기적으로 수집 및 분석한다. 이를 통해 1) 대양탐사에 필요한 기술을 개발하고, 2) 생물지리적 분포를 파악하고, 3) 생물 서식지 적합성 모델과 지오 해저드(geohazard) 모델 개발로 자연재해 예측역량을 강화하고, 4) 환경, 생물 및 광물 자원 관련 정책수립에 필요한 자료를 제공하고, 5) 국제협력 및 공동 연구 사업을 증진시킨다. 또한 Telepresence* 기반 탐사를 통해 대중의 참여를 유도하고 탐사 자료 공유 시스템 기반을 구축하여 탐사연구 기회와 관심을 확대시키고 있다.

※ Telepresence 기반 탐사: 가상 화상회의의 시스템으로 탐사현장을 실시간으로 대중과 공유.

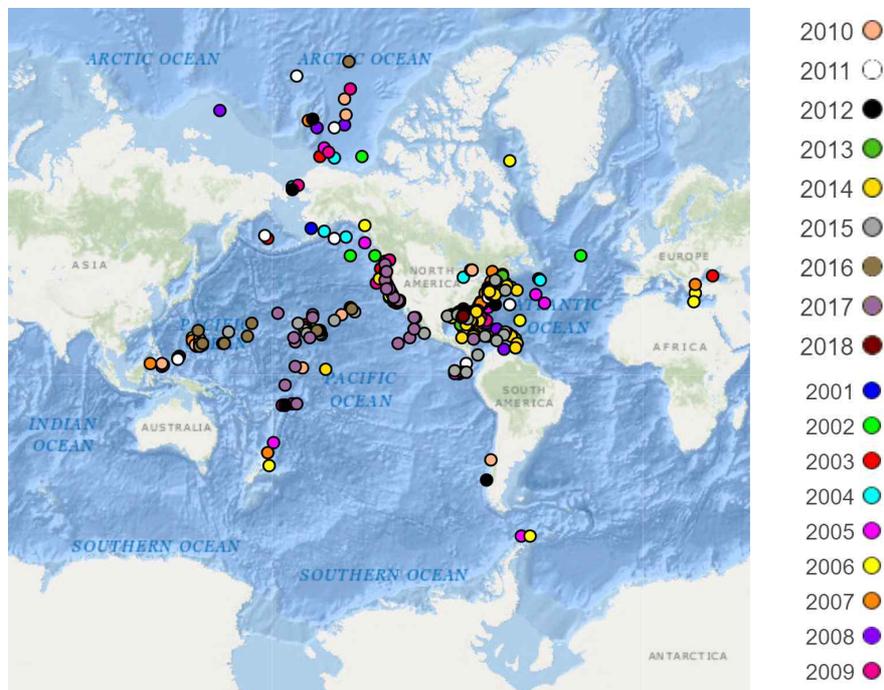


그림 2.5. NOAA 탐사 지역 분포 (331곳, 2001-2018년)

표 2.2. 2018 년도 NOAA 에서 진행 중인 대양관련 세부과제 연구지역 및 연구 분야

| 2018년도 NOAA 세부과제 | 연구지역 | 연구 분야 |
|---|-------------------------------|---|
| ① 미국과 캐나다 북대서양 협곡 및 해저산 탐사 (Exploring Atlantic Canyons and Seamounts of the US and Canada) | 북대서양 | 생물 다양성, 생태계 구조, 유전적 연결성, 지형조사, 수심도, Telepresence 기반 탐사 |
| ② CCZ 심해연구 사업 (Deep CCZ) | 동태평양 | 생물 다양성, 생태계 구조 및 기능, 미생물, 생물기원 물질 분해 |
| ③ 대서양 연구 협력을 위한 갈웨이 합의에 해당되는 버뮤다 남동쪽 심해 지역 매핑 (Mapping Deepwater Areas Southeast of Bermuda in Support of the Galway Statement on Atlantic Ocean Cooperation) | 대서양 버뮤다 남동쪽 | 지형조사, 해저 매핑 |
| ④ 대서양 심해저 연구탐사 협력 (ASPIRE: Atlantic Seafloor Partnership for Integrated Research and Exploration) | 북대서양 | 생태계 분포 및 연관성, 지질환경, 해상 유적, 잠재 자원 |
| ⑤ NOAA 오케아노스호 탐사선 (NOAA Ship Okeanos Explorer: 2018 Overview) | 멕시코만, 북대서양, 동태평양 CCZ | 해저 매핑, ROV 활용, 산소 최소층, 심해 산호, 화학 합성 군집, 해저문화유산 |
| ⑥ 심해로의 창: 미국 동남부 지역 대륙 주변부 탐사 (Windows to the Deep 2018: Exploration of the Southeast US Continental Margin) | 북대서양 미국 동남부 대륙주변부 | 저서 생물 다양성과 분포 데이터 수집, 해저매핑, 해저 유산 및 난파선 조사 |
| ⑦ 노틸러스 탐사선 현장 탐사 (E/V Nautilus 2018 Field Season) | 북동 태평양 | 수심도 및 지형도 구축, 가스/메탄 하이드레이트 누출지 또는 부존지역 탐사 |
| ⑧ 멕시코 만 (Gulf of Mexico) | 멕시코 만 | 저서생물 다양성과 분포, 생물 지리학적 패턴 조사, 부유생물 생태계 조사, 지형조사, 수심자료 수집, 난파선 조사 |

2. 우즈홀 (미국)

2000년부터 시작된 우즈홀 Dive and Discover 대양탐사 프로그램은 태평양, 대서양, 인도양, 멕시코만, 북극해, 남극해, 지중해에서 탐사연구를 수행해 오고 있다(그림 2.6). 유인/무인잠수정, 견인식 잠수정, 자율이동로봇 등을 활용하여 대양저 지구조(해저산), 심해 순환, 심해 생태계(열수생명, 미생물, 심해산호)에 대한 연구를 수행 중이다.



그림 2.6. 우즈홀 Dive and Discover 대양탐사 지역 (<https://divediscover.whoi.edu/>)

3. PML (영국)

PML은 대서양을 중심으로 최첨단 부이로봇을 개발 및 배치하고 해양 모델링과 위성 원격탐사를 병행하여 표층에서 심해에 이르는 전수층 해양환경을 관측한다. 수집된 관측자료는 인간 활동과 기후변화에 따른 대서양 해양환경 변화 분석에 활용되고, 모델 및 기술개발에 유용한 자료가 된다. 프로파일링 기술을 겸비한 표층 부이를 이용하여 실시간 DNA 자료를 수집하고 심해저 촬영기술을 이용한 영상 확보, 위성을 통한 불법 어선 탐지, 녹조현상 조기 발견, 표층생물 다양성 중요지역(hotspot)을 식별한다. 뿐만 아니라 바이오 연료 생산과 분산형 원수 처리 시스템을 개발하고 기후 변화 대응 솔루션으로 이산화탄소 포집 및 저장기술을 개발 중이다.

○ 대서양 자오선 횡단 탐사 (AMT: Atlantic Meridional Transect)

PML 과 NOC 가 공동으로 주관하는 AMT 프로그램은 자연 환경 연구 위원회 (National Environment Research Council)의 후원을 받고 있다. 1995년부터 현재까지 영국과 포클랜드 제도에서부터 남아프리카 공화국 또는 칠레에 이르는 최대 13,500km 거리의 대서양 자오선 횡단 탐사(그림 2.7)를 수행 해왔다. 이 조사정점은 아극에서 열대에 이르는 다양한 기후조건을 보이며, 유광층 대륙붕, 용승, 빈영양 중위도 환류순환의 영향을 받는 지역을 포함한다. 표영 생태계 구조와 생지 화학적 환경인자들을 계절별, 지역별, 위도별 장기간 수집 및 분석해왔다. AMT 프로그램은 탐사를 통해 얻는 자료로 300편 이상의 논문이 게재하였고, 전 지구규모 탄소 순환 모델 검증에 필요한 데이터를 제공한다.

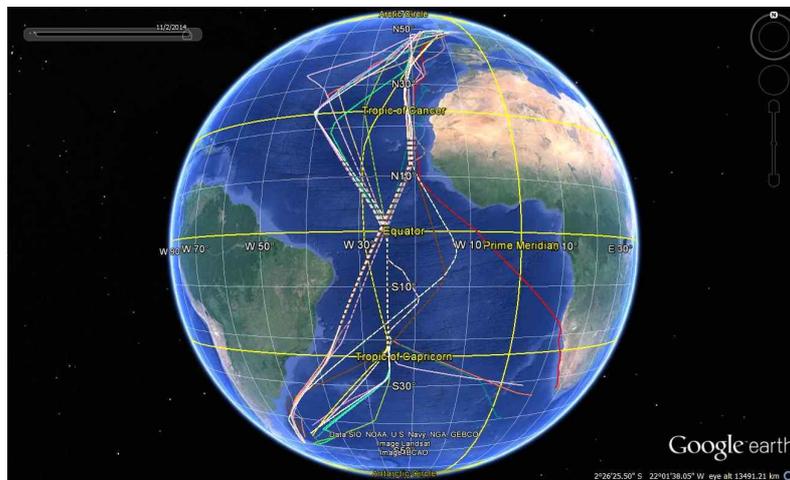
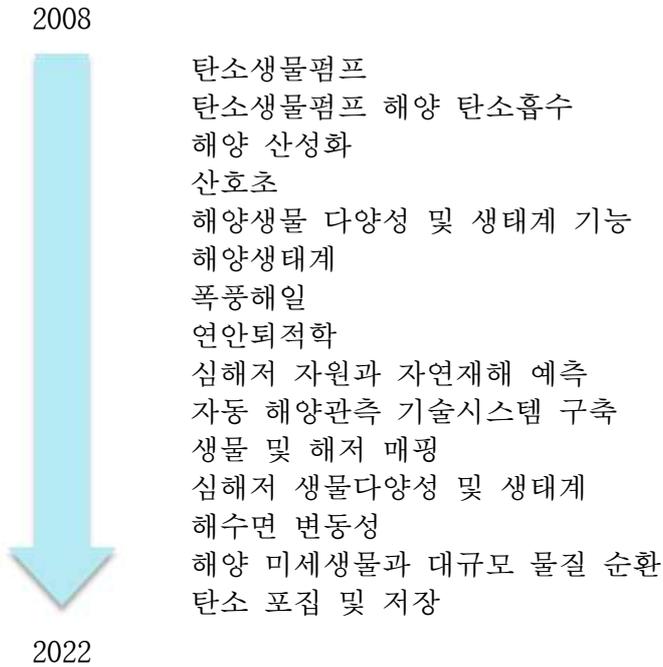


그림 2.7. 1995년부터 현재까지 수행된 AMT 프로그램 대서양 자오선 횡단 탐사 이동경로

4. NOC (유럽연합)

NOC는 2008년부터 ~5년 기한 중장기 대양연구과제를 수행해 왔으며 연구주체는 아래와 같다.



5. EMBL (유럽연합)

유럽연합의 EMBL (European Molecular Biology Laboratory) 주도로 2010년부터 3년간 Tara Ocean Expedition을 통해 지중해, 동태평양, 대서양, 서인도양의 생물시료 채취가 수행되었다(그림 2.8). 이를 통해 표영생태계의 근원적인 이해를 통한 해양유전자원 확보 연구가 완료되어 약 1억 건의 새로운 유전자가 보고되었다.



그림 2.8. Tara Ocean Expedition의 탐사지역 및 경로

6. JAMSTEC (일본)

JAMSTEC은 해양 신물질 개발과 산업 창출에 투자 중이다. 예를 들어 새로운 항생제 개발이나 녹색 생화학 분야에서 민간 기업과 공공 연구기관을 통해 공동 연구 개발 사업을 진행 중이다. 또한 환경영향평가 국제기준 수립에 필요한 생태계 조사 및 장기 모니터링을 수행중이며 그에 상응하는 대양탐사 기술을 개발 중이다. 그 외 광물자원 생성과정과 특성 연구를 수행중이고 고압위 희유금속 퇴적지 발굴 및 자원량 평가를 수행 중이다(그림 2.9).

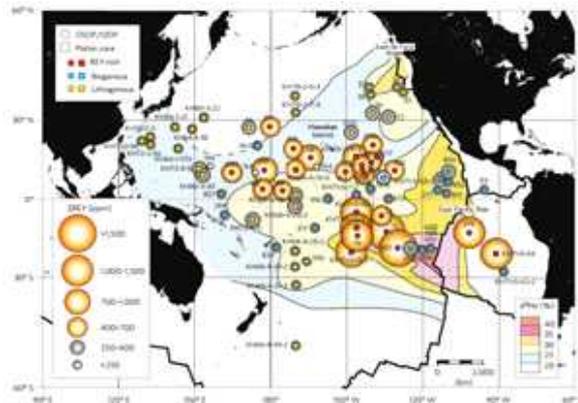


그림 2.9. JAMSTEC에서 수행중인 동태평양 희유금속 함량 연구

7. U-loop (중국)

중국은 U-loop 프로그램을 통해 인도양-대서양 지역에 대한 생물다양성 및 종연결성 연구를 수행 중이다(그림 2.10). 또한 중국은 ROV, AUV, 수중 글라이더, 부이 등 다양한 대양 관측장비와 채광기술을 개발 중이다.

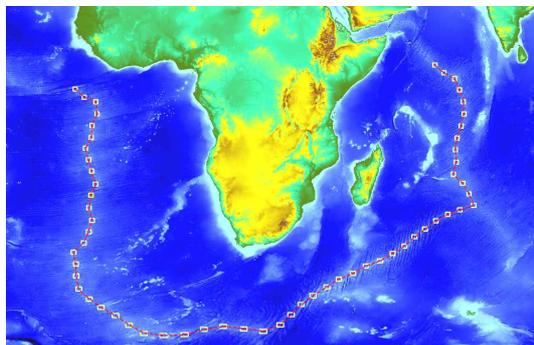


그림 2.10. 중국의 인도양-대서양 U-loop 연구지역

8. 해양관측 시스템 구축 (중국, '20 예정)

중국은 북서태평양 종합 해양관측 시스템 구축 예정(그림 2.11)

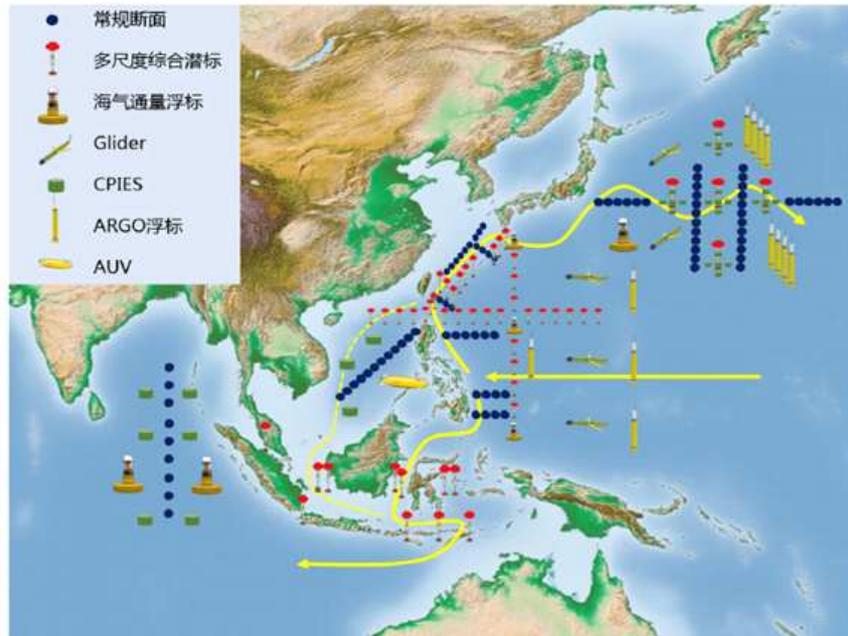


그림 2.11. 중국의 미래 해양관측 시스템 구축 계획 ('20)
Ocean University of China(2016)

표 2.3. 주요국 대양연구 추진 현황 요약

| 연구기관 / 국가 | 사업명 | 연구지역 | 연구내용 (주제어) | 목적 |
|----------------|--|---------------------------------|---|--|
| NOAA (미국) | Ocean Explorer | 대서양, 태평양, 멕시코만, 남·북극해 | 심해저, 생물 다양성, 해저지형, 생명공학, 탐사기술개발, 해상 유적지 | ■ 해양영토확장, 생명자원 등 국익관련 해양탐사와 해양과학/탐사기술 선도 주목적 |
| 우즈홀 (미국) | Dive and Discover | 태평양, 대서양, 인도양, 멕시코만, 남·북극해, 지중해 | 지구조(해저산), 심해 순환, 심해 생태계 | ■ 극한환경탐사로 탐사기술(유무인 잠수정, 무인자율탐사 등)향상 및 해양과학기술 선도 주목적 |
| PML & NOC (영국) | Atlantic Meridional Transect | 대서양 | 표영 생태계, 물질순환, 전 지구 탄소 순환 모델 | ■ 장기 자오선 횡단 탐사로 대서양의 과학적 장단기 이슈(기후변화, 등) 이해 목적 |
| NOC (유럽연합) | COmplex Deep-sea Environments (CodeMAP) | 대서양 | 심해저, 해저지형, 심해서식지, 심해생물다양성 | ■ 심해 생물다양성의 정량화를 위한 음향 및 시각 기술을 결합하여 복잡한 심해 환경과 서식지를 3차원적으로 지도화하는게 목적임 |
| EMPL (유럽연합) | TARA Ocean Expedition | 지중해, 동태평양, 대서양, 서인도양, 북극해 | 표영 생태계 생물다양성 | ■ 표영생태계의 근원적인 이해와 해양유전자원 확보 |
| JAMSTEC (일본) | 대양자원탐사 차세대기술개발 프로젝트 | 태평양 | 생명/광물자원 | ■ 신해양자원개발 및 환경영향평가기술에 집중 |
| 미국 | Sorcerer II – Global Ocean Sampling expedition | 태평양, 대서양, 인도양, 남극해, 지중해 | 생물다양성, 해양유전자원 | ■ 생물종 다양성과 해양기원 신물질확보와 생명공학 기술개발에 집중 |
| 중국 | U-loop | 인도양, 태평양 | 심해저, 생물다양성, 해저광물자원 | ■ 신해양자원개발 및 환경영향평가기술에 집중 |

다. 주요 국제공동연구 대양탐사 프로그램

1. GOOS (Global Ocean Observing System)

GOOS는 대부분의 국가가 참여하는 전 지구적 규모 장기 관측 프로그램으로서 정부간해양학위원회(IOC), 세계기상기구(WMO), 유엔환경계획(UNEP), 국제학술연합회(ICSU) 등의 지원받고 있다. GOOS는 새로운 관측 시스템 개발과 운용 보다는 기존의 해양관측 시스템들을 활용하고 통합하는데 주안점이 있다(그림 2.12).

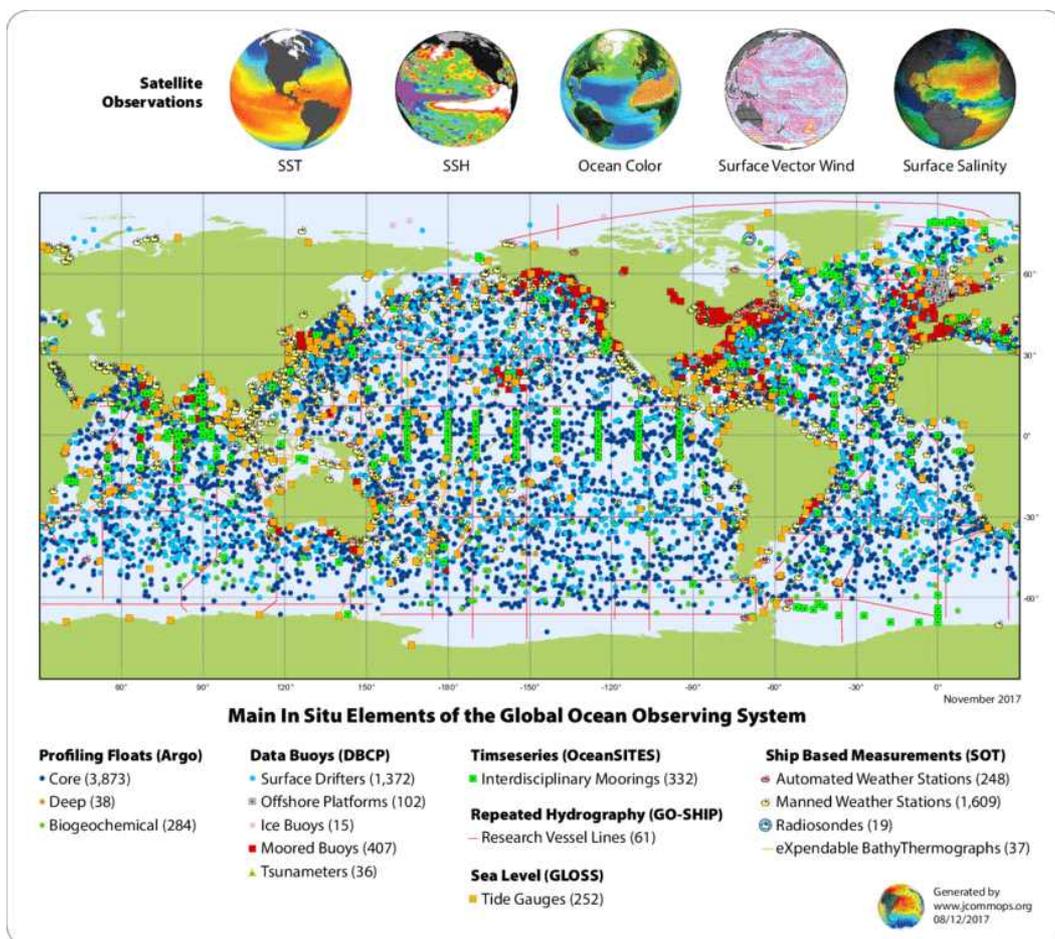


그림 2.12. GOOS에서 수집, 통합, 배포하는 위성 및 현장 관측자료 정점

2. GO-SHIP

GO-SHIP은 GOOS의 한부분으로서 CLIVAR 및 IOCCP 주요프로그램이다. 1970년대부터 시작되었고, 선박을 이용한 국가별 분담 관측을 통하여 전 해양규모의 해양물리, 탄소순환, 해양생지화학 및 생태계를 아우르는 자료 확보를 주목표로 10년 주기의 반복 관측을 권장하고 있다(그림 2.13).

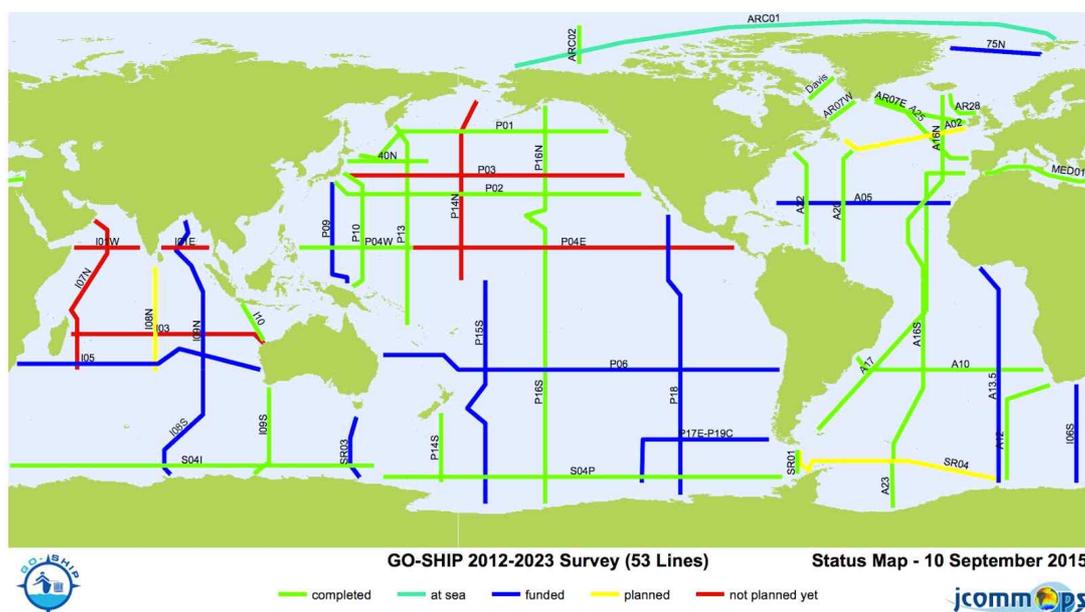


그림 2.13. 2012-2013 GO-SHIP 탐사 관측선

3. IMBeR (Integrated MARine Biosphere Research)

IMBeR는 전 지구 규모 대양 연구를 4가지 프로그램을 통해 수행 중이다. CIOTOP (CLimate Impacts on Oceanic Top Predators)은 전 해양, SIBER (Sustained Indian Ocean Biogeochemistry and Ecosystem Research)는 인도양, ESSAS (Ecosystem Studies of Sub-arctic and Arctic Seas)는 북극, ICED (Integrating Climate and Ecosystem Dynamics)는 남극에서 수행된다(그림 2.14). 연구목적은 각 대양의 다양한 생태계를 비교 분석하고, 기후 변화와 인간 활동이 물질순환과 생태계 구조에 미치는 영향을 이해하는 것이다.

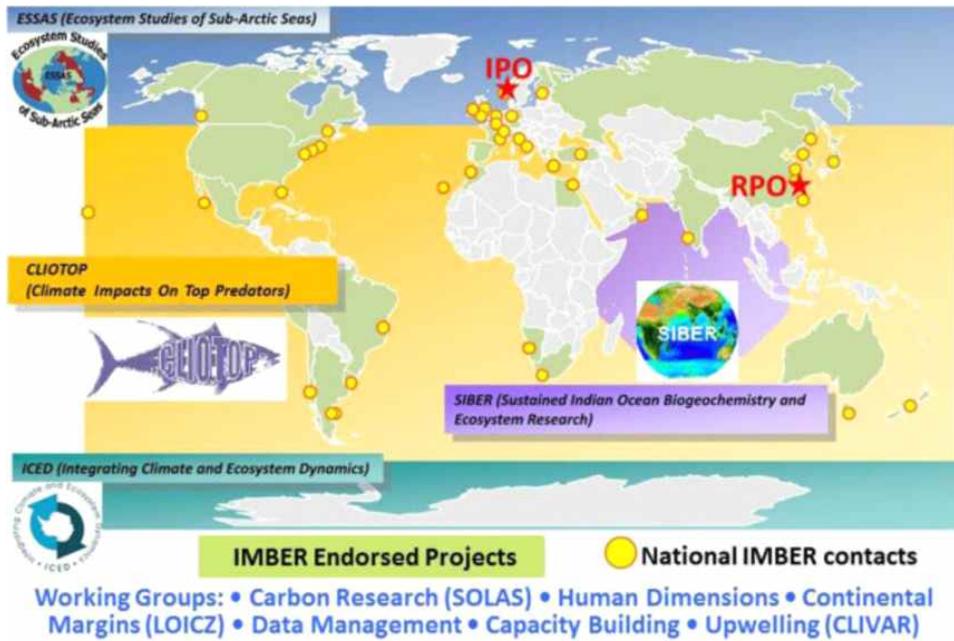


그림 2.14. IMBeR 추진 프로그램

4. SOLAS (Surface Ocean Lower Atmosphere Study)

SOLAS는 대기-해양 인터페이스 에너지 플럭스, 물질순환, 해양과 대기간의 주요한 생물, 대기와 해양의 생지화학적 상호작용과 반응을 정량적으로 이해하고 해양-대기 시스템이 기후와 환경변화에 미치는 영향에 대해 연구하는 사업이다.

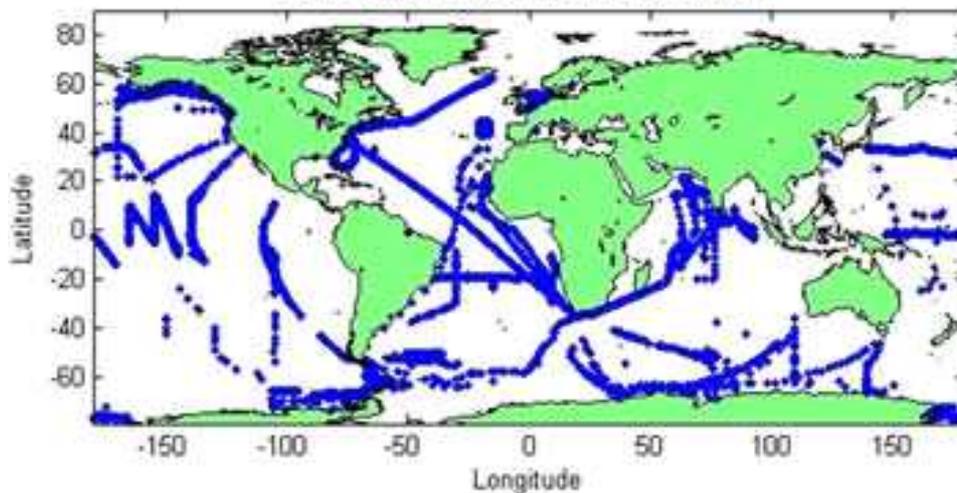


그림 2.15. SOLAS 관측 정점

5. GEOTRACES (An international study of the marine biogeochemical cycles of trace elements and their isotopes)

GEOTRACES는 전 해양 주요 미량원소 및 동위원소 분포와 플럭스를 정량화하고 환경변화에 따른 민감도를 분석한다. 미국, 영국, 독일, 일본 등 해양 선진국들을 중심으로 약 20개국 이상의 100여명 연구자가 참여하고 있고 현재까지 완료된 탐사는 109회이다(그림 12).

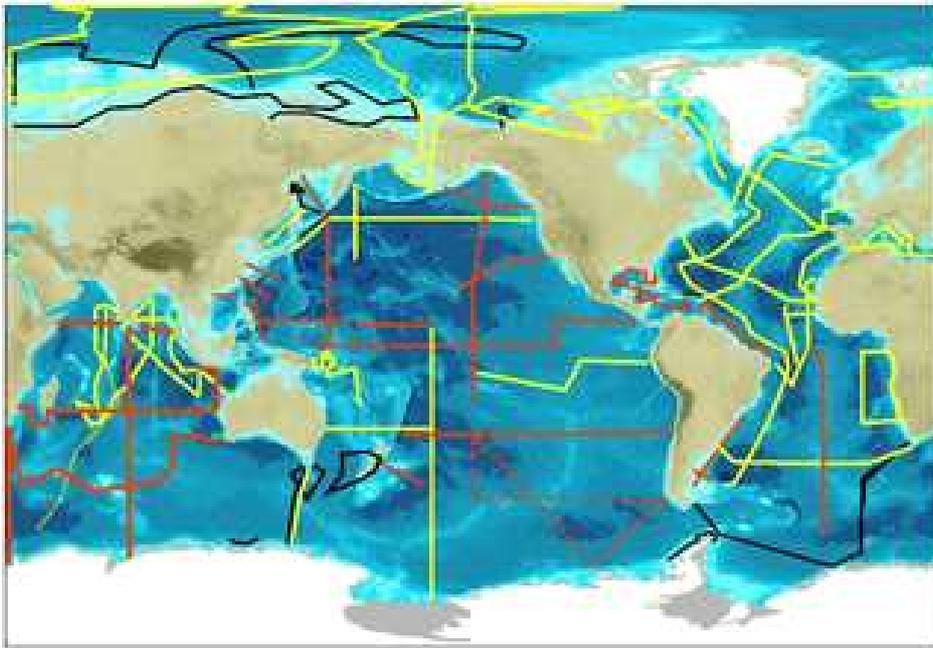


그림 2.16. GEOTRACES 관측선: 계획중(빨간색), 완료됨(노란색)

6. IIOE-2 (2nd International Indian Ocean Expedition)

IIOE-2는 인도양 연구탐사 사업으로 인간과 해양의 상호작용, 용승, 몬순, 기후변화 분석 및 예측, 자연재해(화산, 지진, 쓰나미), 인도양 지구조, 생물 및 생명의 기원, 생태학적 기능에 대한 연구를 수행중이다.

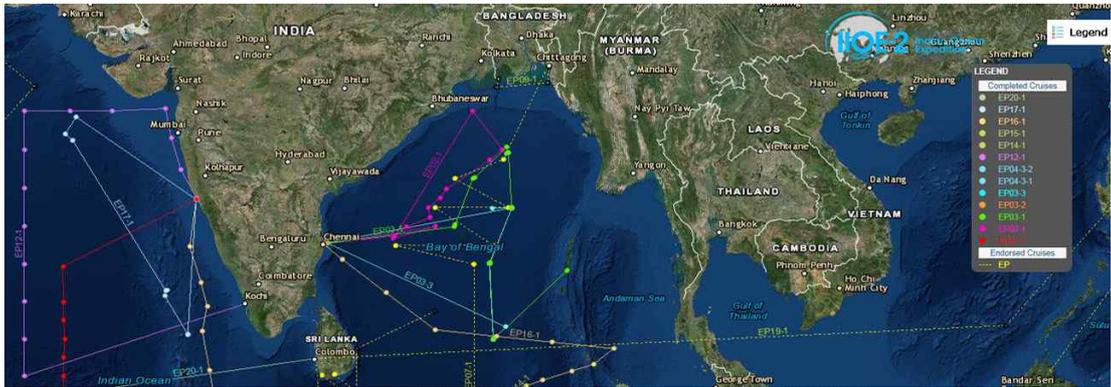


그림 2.17. IIOE-2 관측망

7. OBIS (Ocean Biogeographic Information System)/Census of Marine Life

국제적 협력을 통해 전 지구적 해양 생물 다양성과 생물 지리적 분포 정보의 DB를 구축하고, 이들 정보의 자유로운 접근/활용을 통해 해양과학, 보전 및 지속 가능한 개발을 위한 오픈 액세스 데이터 및 정보를 제공한다.

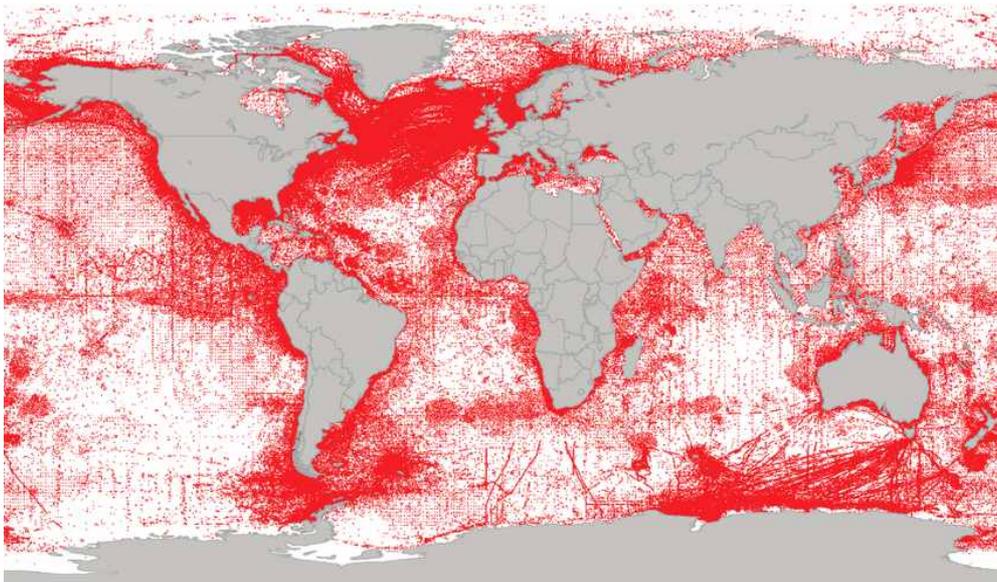


그림 2.18. OBIS 생물종 분포 DB

8. CBoL (Consortium for the Barcode of Life)

생물종 식별을 위한 세계 표준으로 DNA 바코드의 개발을 지원과 정보 취합과 제공을 하기 위해 만들어진 국제 컨소시엄으로 전세계 50개국, 200개 이

상의 기관이 참여하고 있다.

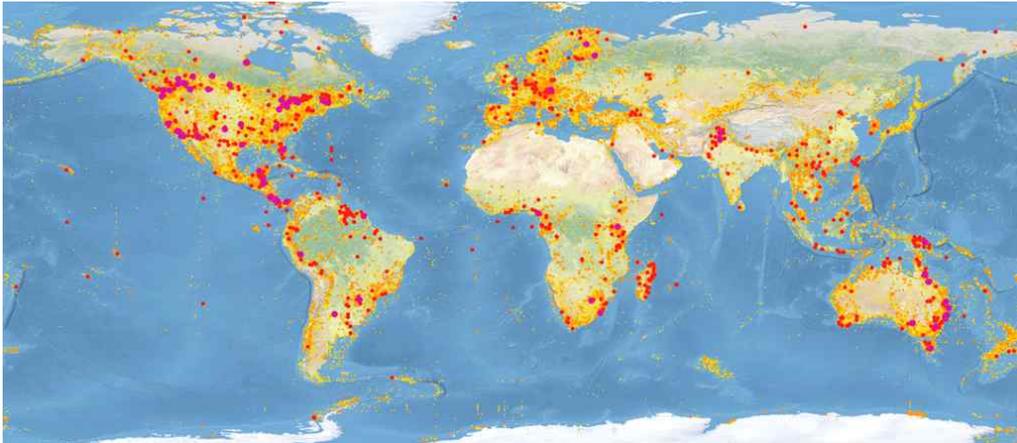


그림 2.19. DNA 바코드 정보

라. 전 세계 대양 관측망 네트워크

1. OceanSITES

대양의 주요해역에 위치한 고정점에서 해양관측 시스템으로부터 바다 표층에서 저층에 이르는 전층의 해양물리, 생물, 화학, 지구물리 등 다양한 분야의 고품질 데이터를 수집, 전달 및 홍보한다. NOAA, WHOI, SIO, NOC, JAMSTEC 등 세계 최고 수준의 해양연구기관들이 운영하는 300여개 사이트가 등록되어 있다.

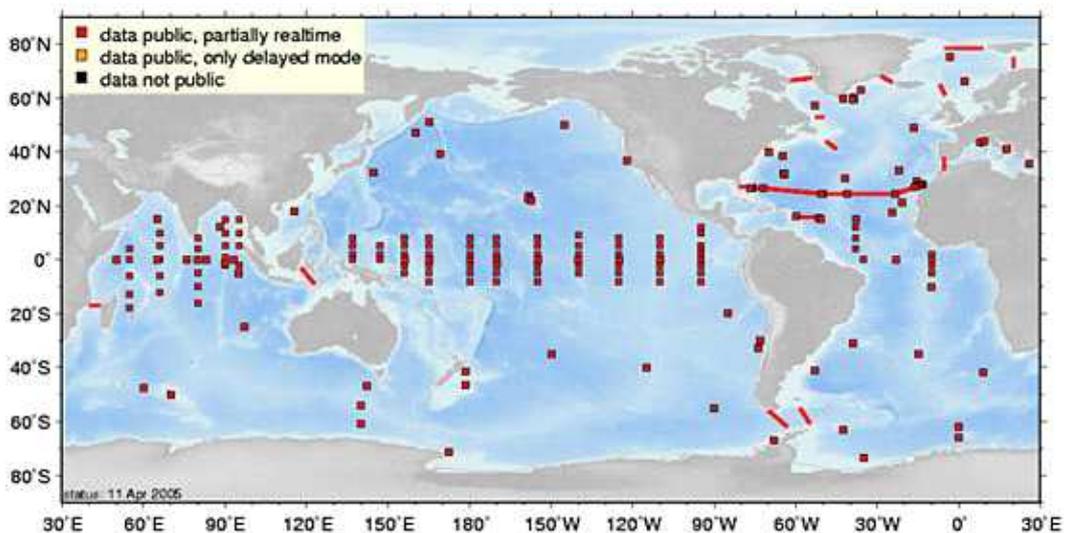


그림 2.20. OceanSITES 시계열 관측 정점

2. ARGO (Array for Real-time Geostrophic Oceanography)

IOC와 WMO(세계기상기구)에서 추진하는 사업으로 해양변동과 기후변화 예측력 강화를 위해 전 세계 해양에 약 3900대의 위성 뜰개로봇 투하하여 수직적인 수온과 염분구조 및 해류를 실시간으로 관측하는 프로그램이다.

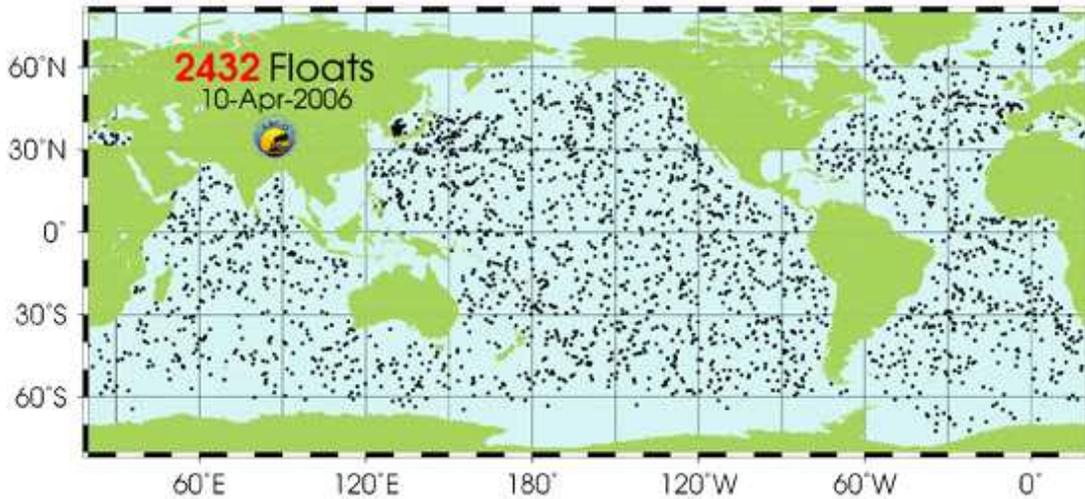


그림 2.21. ARGO 정점

3. TAO/TRITON (Tropical Atmosphere Ocean / Triangle Trans Ocean Buoy Network)

미국 NOAA에서 운영중인 TAO와 일본 JAMSTEC에서 관리하는 TRITON을 합한 것이다. 열대 태평양에 약 70개의 표면 부이가 설치되었고, 이를 통해 수온, 염분 및 기상자료를 수집한다. 수집된 자료는 수치 모델링의 기초자료로 활용되며, ENSO 현상의 발생 시기 및 그에 따른 기후 변동 예측에 사용된다.

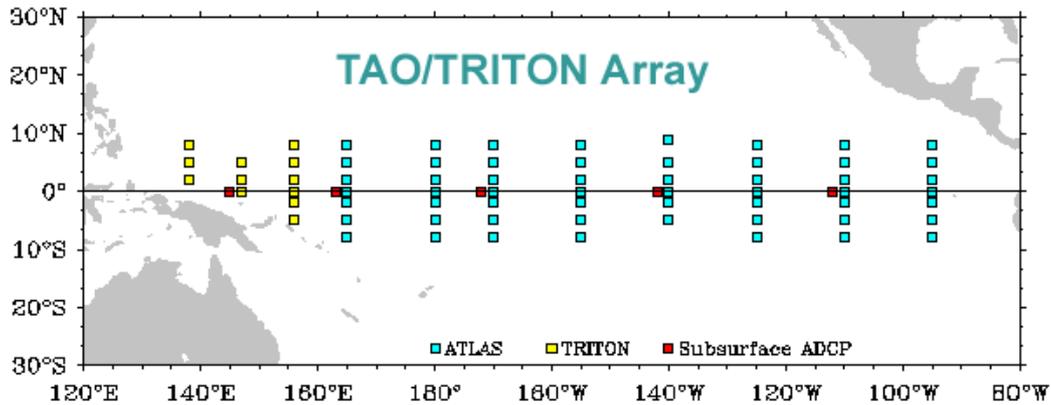


그림 2.22. 열대 태평양 TAO/TRITON 정점

4. RAMA (The Research Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction) 열대 인도양

Indian Ocean Observing System (IndOOS)의 일부로서 열대태평양의 대기-해양 플릭스 및 해류 관측을 주목적으로 다국가가 참여하는 계류 부이 관측망 시스템이다.

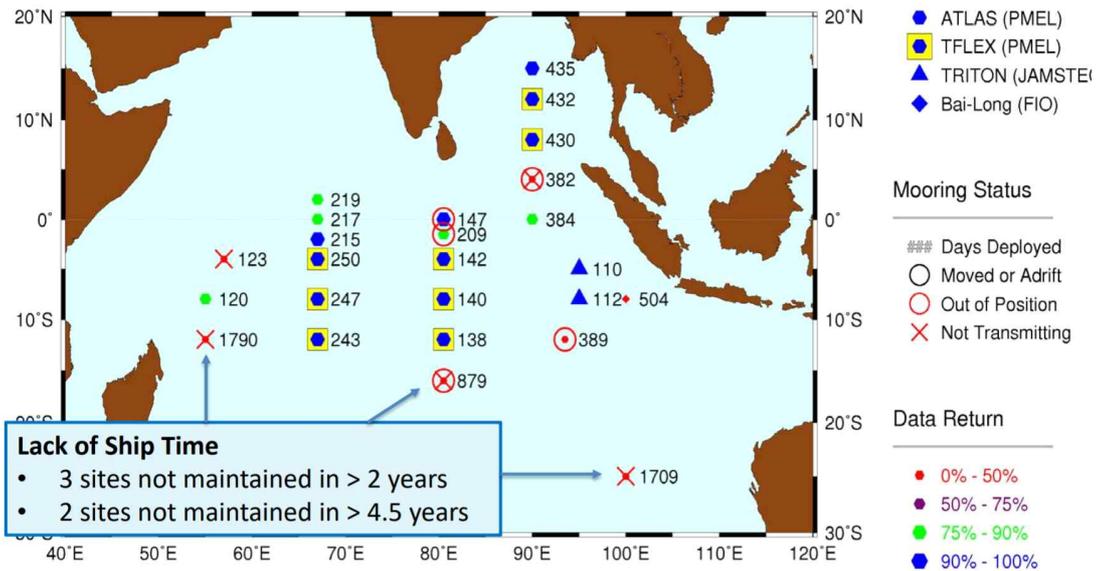


그림 2.23. 인도양에 설치된 RAMA 계류부이 정점

5. Global Drifter Program (GDP)

GOOS의 한 부분이며 위경도 방향 각각 5도 해상도로 1260개의 인공위성 추

적 뜰개를 유지하여 실시간으로 해수면 온도, 기압, 바람 및 염분 등을 측정하고 수집된 자료를 통해 표층 순환계 이해를 목적으로 한다.

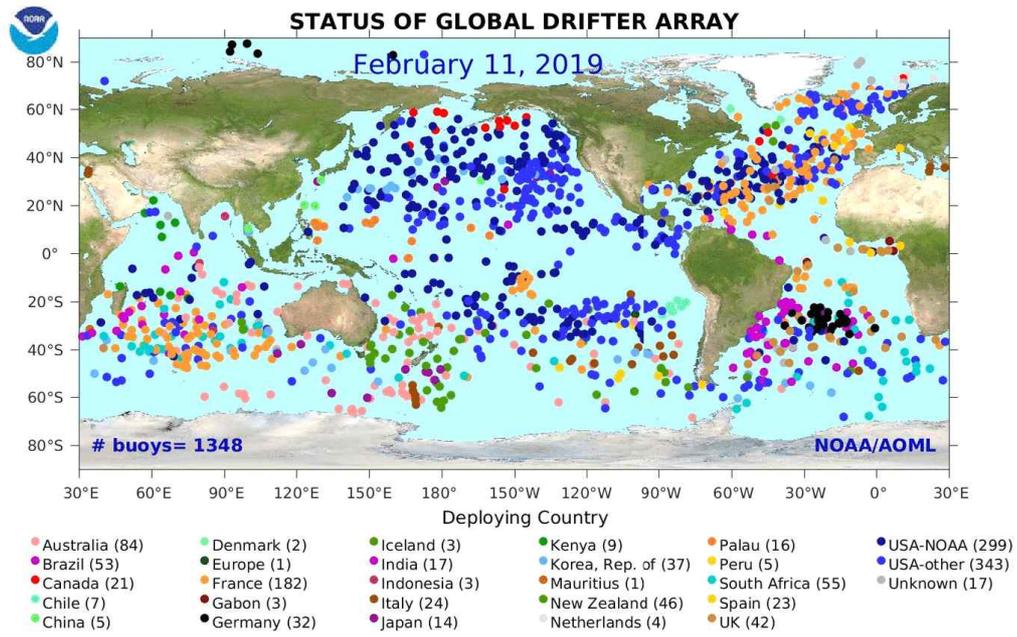


그림 2.24. GDP 뜰개 위치

표 2.4. 주요 대양관측망 프로그램

| 국제프로그램 | 대상연구지역 | 연구 주제 | 주요 연구목적 |
|---|--------|--|--|
| Global Ocean Observing System (GOOS) | 전 해양 | 해양관측, 운용해양학 | 유네스코의 정부 간 해양학위원회 (IOC)에 의해 실행되는 해양관측 관련 프로그램으로서 현장관측과 장비(위성)관측방법 표준화 및 자료 공유를 위한 협업을 통해 해양 기후와 생태계에 대한 지속적이고 신뢰성 있는 장기해양관측자료 확보와 공유를 주목적으로 함 |
| Global Ocean Ship-Based Hydrographic 32 Investigations Program (GO-SHIP) | 전 해양 | 해양물리, 생지화학, 생태계 반복 관측 | GOOS의 한 부분으로서, 선박을 이용하여 10년 정도 주기의 반복 관측 권장. 표층에서 해저면까지 해양물리, 탄소순환, 해양생지화학 및 생태계를 아우르는 자료 확보를 주목적으로 함 |
| Integrated Marine Biosphere Research (IMBeR) | 오대양 | 대양물질순환, 생태계 | 각 대양의 다양한 생태계를 비교 분석하고 기후 변화와 같은 전 지구적 변화가 해양에서의 물질순환과 생태계 구조/기능에 미치는 영향을 이해 |
| Surface Ocean Lower Atmosphere Study (SOLAS) | 오대양 | 온실가스/물질 순환, 대기-해양 상호작용 | 온실가스와 주요 물질 순환에 있어서 해양-대기간 생지화학적/물리적 상호작용 및 되먹임 현상을 이해/계량화하여 기후 변화 영향을 좀 더 정확히 예측하기 위함 |
| An international study of the marine biogeochemical cycles of trace elements and their isotopes (GEOTRACES) | 오대양 | 미량/동위원소 | 전 지구적 규모 해양 주요 미량/ 동위원소 분포와 플렉스를 정량화 하여 전 지구적 환경변화에 따른 이들 원소들의 변화 민감도를 이해 |
| 2nd International Indian Ocean Expedition (IIOE-2) | 인도양 | 기후변화(몬순), 지구조(지진), 자연재해(쓰나미 등), 생물/생명 기원 | 인간과 해양의 상호작용, 용승, 몬순, 기후변화 분석 및 예측, 자연재해(화산, 지진, 쓰나미), 인도양의 지구조, 생물 및 생명의 기원, 생태학적 기능에 대한 연구를 통해 인도양의 미래 지속가능한 발전 도모 |
| Climate and OCEAN – Variability, Predictability, and Change (CLIVAR) | 전 해양 | 기후변동성과 예측가능성 | 기후변동성과 예측가능성 사업은 세계기후연구계획(WCRP)의 4대 핵심사업 중 하나이며 기후변동성과 예측가능성, 생물과 물리 상호작용, 동안 경계류 용승시스템, 해수면 상승, 극단재해, ENSO 관련 연구를 추진중. 해양관측시스템 개선 및 해양 데이터와 종합정보 시스템 수준 향상 도모 |
| Ocean Biogeographic Information System(OBIS)/Census of Marine Life | 전 해양 | 생물종 다양성 | 국제적 협력을 통해 전 지구적 해양 생물 다양성과 생물 지리적 분포 정보의 DB를 구축하고, 이들 정보의 자유로운 접근/활용을 통해 해양과학, 보전 및 지속 가능한 개발을 위한 오픈 액세스 데이터 및 정보 제공. |
| Consortium for the Barcode of Life (CBOL) | 전 지구 | 생물다양성, 유전정보 | 생물종 식별을 위한 세계 표준으로 DNA 바코드의 개발을 지원과 정보 취합과 제공을 하기 위해 만들어진 국제 컨소시엄 |

제 3 절 대내·외 환경변화

가. 국내 환경분석

- 이사부호 건조 이후 KIOST의 대양연구 주제 발굴 및 기획 활성화, 연구영역 확대 및 다학제적 대형과제 수행 역량 확보
- 첨단 연구선의 산학연 공동 활용 확대로 대학 및 기업에서도 활발한 대양연구 수행
- 대양 연구주제의 다각화와 융복합이 이루어질 수 있도록, 기존 수행되어 왔던 물리관측, 물질순환 및 광물자원 탐사 연구를 대양과 극한지로 확대함은 물론 신자원 발굴 등의 새로운 연구주제 발굴 필요
- 구축된 인프라를 활용하여 국가와 국제사회의 기대에 부응하기 위해서는 KIOST의 대양연구역량 강화를 위한 연구 프로그램 개발이 필요함.

나. 국외 환경분석

- 전 지구 규모의 과학적 현안 문제(기후변화, 생물다양성) 및 국가 현안문제 (영토확장, 자원확보) 해결을 위해 다양한 국제 대양연구 프로그램과 관측망 네트워크 사업 진행 중
- 장기 계획 수립에 근거한 체계적 대양연구 추진(영국, 일본, 중국 등)
- 관심 및 과학적 중요 해역에 대한 장기관측정점 운영 및 관측 축선을 유지 (영국 NOC - Rockall 해협 장기고정관측, '75년부터 지속; 영국 PML - 대서양 종단관측, '95년부터 지속 등)
- 전 지구적 현안문제 및 과학적 문제 해결을 위한 장기고정관측 및 현장탐사 국제협력 강화

다. SWOT 분석

가. 외부 요인 분석

○ 기회(Opportunity)

- 연구사업을 점차 대형화·장기화 하려는 정책적 흐름과 기관 브랜드사업의 필요성이 부각되고 관련부처의 지원 의지 높음
- 특히 산학연 연구선 공동활용 사업에 예산이 편성되는 등 다학제적 대형과제 추진의 분위기가 고조됨

○ 위기(Threat)

- 정부출연연의 특성상 정책방향의 변화에 민감하여 장기 연구사업 추진의 연속성의 보장이 되지 않는 점이 큰 위협 요인
- 단시간에 연구 성과나 수익 창출로 이어지기 힘든 학문적 특성으로 인한 부담이 있음
- 인류공동자원 활용에 대한 논의가 활발한 시점이라 국제적 정세 변화가 매우 급박하게 이루어져 대응이 어려움

나. 내부 요인 분석

○ 강점(Strength)

- 국내에서 독보적인 심해 및 대양탐사 경험 보유, 30년 이상의 탐사활동을 통한 노하우를 지님.
- 대형탐사선인 이사부호, 심해잠수정 해미래 등 극한지 탐사에 필요한 인프라가 이미 마련된 것이 강점
- 국내 최대의 해양연구전문기관으로 다양한 연구분야의 전문가 인력 확보

○ 약점(Weakness)

- 장기간 추진한 대형 연구사업이 부족하여 장기간 모니터링을 기반으로 한 기초자료가 부족하고 연구연속성이 떨어지는 약점을 가지고 있음.
- 대형·장기 대양연구 경험은 해저광물자원 탐사에 편중되어 타 연구분야간 연계가 상대적으로 미흡함

다. 대응 전략

- 대내외 환경변화 분석을 통한 기회요인과 위협요인을 분석하고, 내부

역량분석으로부터 강점과 약점을 분석하여 SWOT Matrix를 작성

○ SO 전략

- 이사부호 등 대양연구 인프라와 경험, 인력을 바탕으로 KIOST 브랜드 사업 기획 및 추진
- 국내 유일무이한 대양 탐사 및 연구사업 수행 기관으로 도약
- 이사부 활용 산학협력사업 효율적 연계 및 성과 극대화

○ WO 전략

- 대형/중장기 연구 계획 수립, 세계적 수준의 연구결과 도출
- 장기 모니터링 지점 설정으로 세계적 수준의 기반데이터 수집
- 산학연 협동연구를 통해 연구분야와 부족한 전문인력 보완 및 신진연구인력 양성

○ ST 전략

- 연구인프라 활용을 통한 선도적·복합적 연구 추진, 변화하는 현안사항에 능동적으로 대응
- 산업체와의 협력관계를 통해 연구인프라 확장 및 기술경쟁력 강화
- 선진국과의 인적·학술적 교류 및 공동연구 확대를 통해 국제동향에 발빠르게 대처하고 대양연구 선도

○ WT 전략

- 대양 연구인력 양성 기반을 마련하여 공공 편익 제고
- 분야간의 연계성을 높여 연구주제 다각화, 외부요인에 의한 영향 최소화
- 대양연구 국제프로그램에 참여하여 관측데이터 등 기초자료·성과 공유



그림 2.25. 대양사업의 SWOT Matrix

제 3 장 추진 전략

제 1 절 비전 및 목표 수립



그림 3.1. 사업의 미션, 비전과 전략목표

제 2 절 주요 추진 내용

- 기후변동 이해 및 미래 전망
 - 한반도 주변해의 장기 기후변화와 중단기 기후변동 관련 대양 변동성 규명
 - 대양 변동성과 한반도 주변해 변동성의 인과관계 또는 원격 상관성 이해
 - 한반도 주변해 기후변화 수반 이상해양현상 예측 능력 확보

- 전지구 규모의 생지화학 물질순환 연구
 - 대양 탐사를 통한 수층 내 온실가스 분포 및 해양-대기 플럭스 산출
 - 온실가스 분포에 영향을 미치는 생지화학적 과정 연구
 - 생물학적 원소의 해양 내 거동연구
 - 물질순환에 영향을 미치는 신생산력의 경로 파악
 - 미량원소의 생지화학 순환연구

- 신 해양자원 발굴
 - 대양저 지체구조 해석 및 진화 연구
 - 대양저 잠재 자원가치 평가
 - 메타오믹스 기반 대양 신생명자원 확보 및 유용 기능 발굴
 - 신생명자원·기능 발굴 지원 및 활용체계 구축
 - 신해양생명자원 기능 발굴 및 활용

제 3 절 추진 체계

- 연구수행 내용의 전 분야는 관련 인프라 및 연구인력을 갖춘 한국해양과학기술원이 주관연구기관을 담당하여 사업을 추진
- 연구결과의 질적 향상 및 산학연 공동연구 기틀 마련을 위해 국내 대학 및 국제프로그램과의 적극적 협력 추진
- 연구의 필수요소인 연구선은 이사부호 활용을 기본으로 하되, 연구지역 및 연구선 운항일정을 고려하여 온누리호 활용을 고려
- 비용 절감 및 시너지 효과 창출을 위해 현재 한국해양과학기술원이 수행하고 있는 해저광물자원사업(망간단괴, 해저열수광상) 및 기타 대양연구 사업과 탐사 연계 및 협력
- 또한 비용 절감 및 시너지 효과 창출을 위해 본 기획연구에서 도출한 과제 간 융합과 탐사 연계 추진

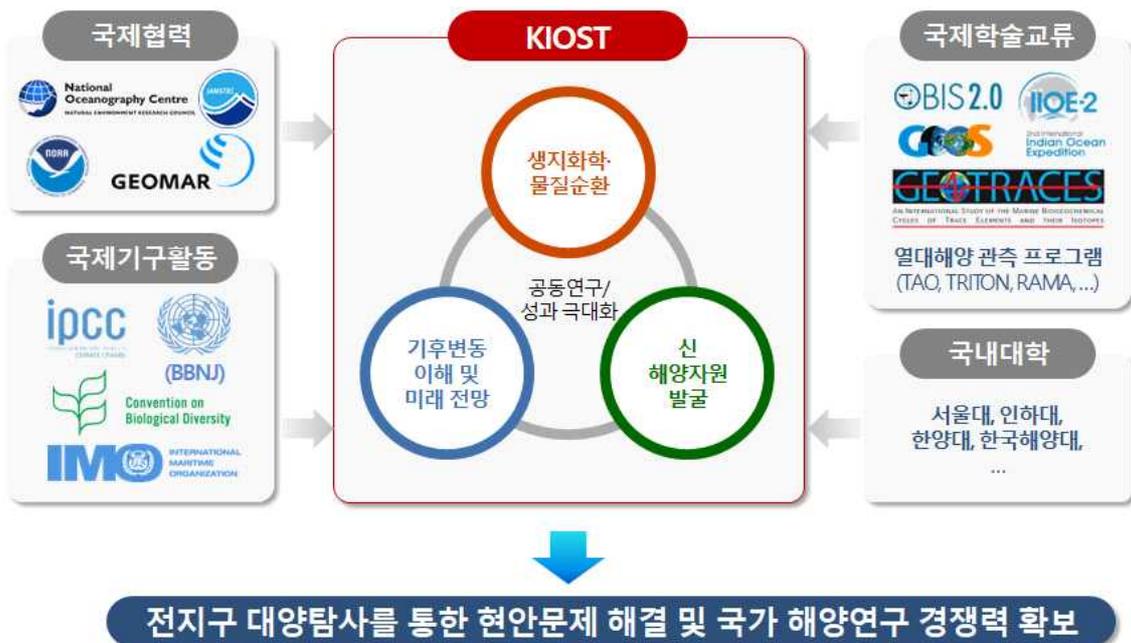


그림 3.2. 기술개발 추진체계

제 4 장 중점 추진과제

제 1절 북태평양 아열대 순환경계역 진동 연구

가. 과제 개요

- 북태평양 아열대순환계 경계역 진동이 쿠로시오 해역 및 한반도 주변해의 해수/물질순환 변동에 미치는 영향을 규명하고, 미래기후 시나리오에 따른 변동 전망

나. 연구개발의 목표

- 북태평양 아열대순환 경계역 진동과 쿠로시오 수송량 및 경로변동, 그리고 우리나라 주변 해역의 해수/물질순환 관련성 규명
 - 전 지구 기후변화에 따른 북태평양 아열대순환 경계역의 진동 지수화
 - 아열대순환 경계역 진동과 한반도 주변해의 해수/물질순환 관련성 해석
 - 지구시스템 모델과 고기후 복원을 통한 미래변동 전망지도 제작

다. 연구의 필요성

- 북태평양의 대순환변동, 특히 아열대순환계의 남북진동은 쿠로시오역의 수송량 및 경로에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 우리나라 주변해의 해수/물질순환 및 생태계에도 영향을 미칠 것으로 예상됨
- 하지만, 현장관측 자료와 해양의 역할에 대한 이해 부족으로 아열대순환계 남북진동이 우리나라 주변해의 기후-해수순환-생태계 변동 및 쿠로시오해류의 수송량과 경로변화에 미치는 영향은 명확히 규명되어 있지 않음
- 한반도 주변해의 해수/물질순환의 미래 변화 예측을 위해서는 대양순환, 특히 아열대순환 경계역의 남북 진동의 역할을 이해할 필요가 있으며, 이를 위해 현장관측 및 상시관측을 위한 장기관측정점의 운용이 필요함 (그림 5.1)
- 전 세계 해양 고정관측망은 엘니뇨-라니냐를 관측하기 위한 적도 해역

과 설치 운영 국가의 관심해역에 국한되어 있어 우리나라 주변해에 직/간접적인 영향을 미치는 아열대순환 경계역의 관측자료는 국제 관측망에서 제공되고 있지 않음(그림 5.2)

- 우리나라 기후변화의 정확한 예측을 위해 영향 해역에서의 자체적인 관측자료 획득이 필요하며, 이를 통해 우리나라 기후변화 예측능력과 해양강국으로서의 위상을 제고할 필요가 있음
- ‘아북극-서태평양 기인 한반도 주변 고수온 현상 규명 및 예측시스템 구축(‘19 ~ ’23)’ 사업에서 추진 예정인 쿠로시오해류역과 베링해 관측부이 설치 2개 지점과 본 사업에서 계획하는 아열대순환 경계역의 관측부이가 설치될 경우 우리나라 기후에 영향을 주는 주요 지점에 최소의 자체적인 장기/상시 관측망 구축이 가능함(그림 5.1)
- 자체 관측망을 조기 구축하여 대양 관측망을 점차 확대하고 있는 중국/일본과의 경쟁에서 중요성이 높은 정점을 선제적으로 운영함으로써 3국 간 국제협력 기반을 확보하고,
- 우리나라 기후변화 예측능력과 해양강국으로서의 위상을 제고할 필요가 있음
- 한국환경정책·평가연구원의 연구(2009)에 따르면, 우리나라의 기후변화로 인한 경제적 피해가 2100년 약 800조 원이 넘을 것으로 추정함
- 적응대책 수립을 위해서 변화의 근원적 원인 중 하나인 태평양 대순환 변동, 특히 아열대순환 경계역의 남북 변동에 대한 이해와 우리나라 기후변화의 정확한 예측이 필요

라. 연구내용

- 북태평양 아열대순환 경계역 변동 및 한반도 주변해 해수순환 특성 연구
 - 북태평양 아열대순환계의 경계역 종단관측
 - 국제협력을 통한 아열대순환계 경계역 장기/상시 모니터링 정점 구축
 - 아열대순환계와 한반도 주변해 해수순환 상관성 연구
- 북태평양 아열대순환계의 물질순환과 생태계 특성 이해를 통한 한반도 주변해와의 상호 연관성 규명

- 아열대순환 경계역, 쿠로시오 해류역 및 한반도 주변해 물질순환 및 생태계 특성 연구
- 아열대순환 경계역 진동에 따른 북서태평양과 한반도 주변해 물질순환과 생태계 관련성 파악
- 고기후 지시자와 지구시스템 모델을 활용한 아열대순환계 변동 복원 및 미래전망
 - 고기후 지시자를 활용한 과거 아열대순환계 변동성 복원
 - 지구시스템 모델을 이용한 고기후 재현 및 미래 전망
 - 기후변화 시나리오에 따른 우리나라 주변해 미래 온난화 전망지도 제작

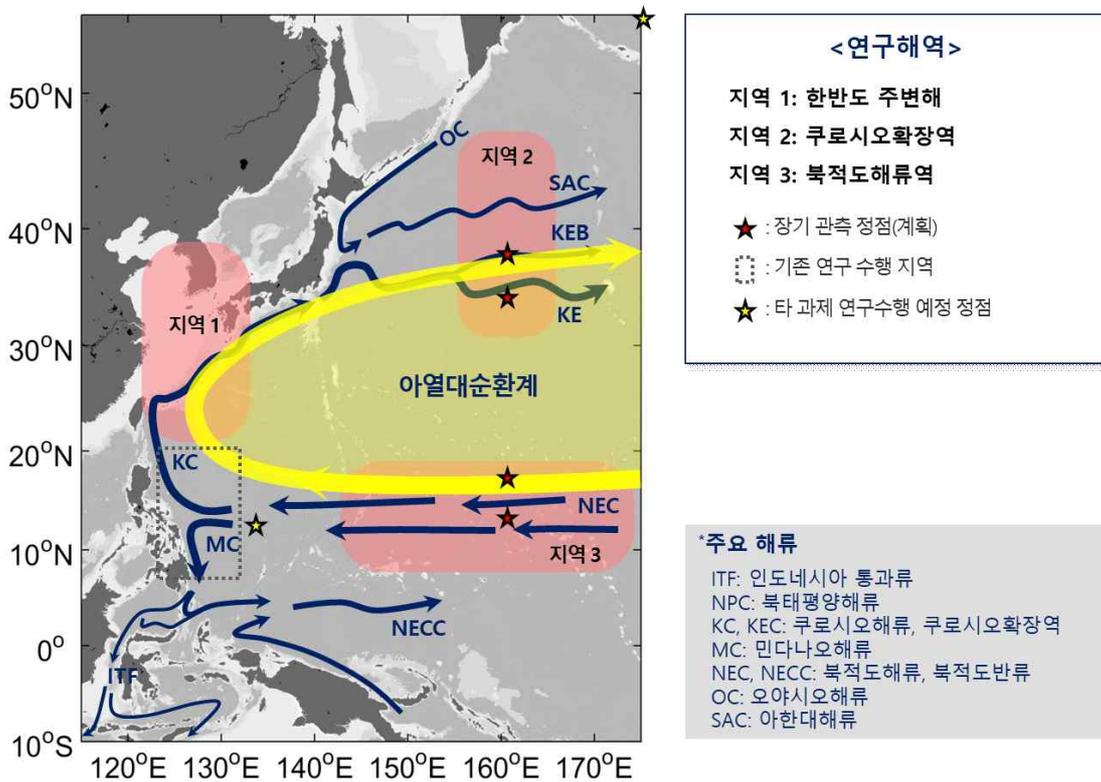


그림 4.1. 북태평양 아열대순환 경계역 진동 연구 대상지역 및 계획된 장기관측정점 위치

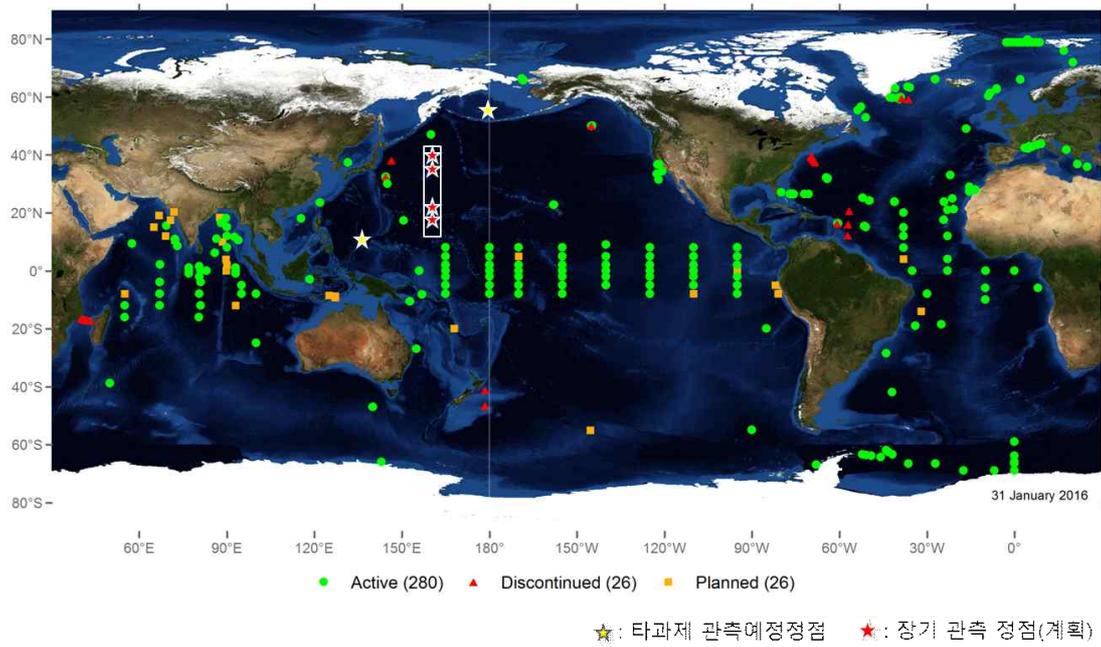


그림 4.2. 대양 장기관측 정점 분포 및 본 사업에서 제안하는
장기 관측 정점의 위치

마. 연차별 연구내용 및 규모

○ 총연구비

(단위: 백만원)

| 연구내용 | | 1차년 | 2차년 | 3차년 | 4차년 | 5차년 | 합계 |
|----------------------|---|------|------|------|------|------|-------|
| 연구선 사용료 및 탐사수행 | 한국 주변해 탐사 ¹ (지역 1, 24일/년, 온누리호) | 528 | 528 | 528 | 528 | 528 | 2640 |
| | 쿠로시오 확장역 탐사 ² (지역 2, 30일/년, 이사부호) | | 1265 | 1265 | 1265 | 1265 | 5060 |
| | 북적도해류역 탐사 ^{3*} (지역 3, 25일/년, 온누리호) | | 550 | 550 | 550 | 550 | 2200 |
| 장비 제작 및 운영비 | 관측부이 제작 및 운영 ⁴ | 1400 | 700 | 700 | | | 2800 |
| | PIES 제작 및 운영 ⁵ | 800 | 800 | | | | 1600 |
| | 유속계·침강입자포집장치 계류 ⁶ | 600 | | | | | 600 |
| 연구수행 제반비용 | 물리자료 수집, 해석 및 지수개발 | 2400 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 14400 |
| 계 | | 5728 | 6840 | 6040 | 5340 | 5340 | 29300 |

¹ 선박임차: 16백만원/일 (간접비, 장비사용료 포함), 보험료, 탐사물품, 출장비용 등 1항차당 총 150백만원, 각 세부과제간 참여율에 따라 예산 분배

² 선박임차: 36백만원/일 (간접비, 장비사용료 포함), 보험료, 탐사물품, 출장비용 등 1항차당 총 200백만원

³ 선박임차: 36백만원/일 (간접비, 장비사용료 포함), 보험료, 탐사물품, 출장비용 등 1항차당 총 160백만원

* 북적도해류역(지역 3) 탐사는 원내 타 사업과 연계, 비용절감 가능

⁴ 관측부이* 1정점당 제작비용 700백만원*4정점 = 2800만원

* 해상에 띄워 기상현상 및 해양물리 특성을 상시 관측하는 장비

⁵ PIES* 제작비용 개당 100백만원*16개 = 1600백만원

* Pressure-Inverted-Echo-Sounder: 바닥에 계류(최대 2년)하여 주기적인 압력과 음파속도 측정을 통해 수층의 수온구조 및 해류를 관측하는 장비

⁶ 유속계 및 침강입자포집장치 제작비용 대당 150백만원*4개 = 600백만원

○ 세부과제별 연구비

- 본 대양사업은 아래의 3개의 세부과제로 구성하여 기획 예정
- ◆ 북태평양 아열대순환 경계역 변동 및 한반도 주변해 해수순환 특성 연구(134.6억/5년)
- ◆ 북태평양 아열대순환계의 물질순환과 생태계 특성 이해를 통한 한반도 주변해와의 상호 연관성 규명(97.6억/5년)
- ◆ 고기후 지시자와 지구시스템 모델을 활용한 아열대순환계 및 우리나라 주변해역 과거 변동 복원 및 미래전망(60.8억/년)

(단위: 백만원)

**세부과제 1. 북태평양 아열대순환 경계역 변동 및
한반도 주변해 해수순환 특성 연구**

| 연구내용 | | 1차년 | 2차년 | 3차년 | 4차년 | 5차년 | 합계 |
|----------------------|---|------|------|------|------|------|-------|
| 연구선 사용료 및 탐사수행 | 한국 주변해 탐사 ¹ (지역 1, 10일/년, 온 누리호) | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 1100 |
| | 쿠로시오 확장역 탐사 ² (지역 2, 13일/년, 이 사부호) | | 550 | 550 | 550 | 550 | 2200 |
| | 북적도해류역 탐사 ^{3*} (지역 3, 11일/년, 온누 리호) | | 240 | 240 | 240 | 240 | 960 |
| 장비 제작 및 운영비 | 관측부이 제작 및 운영 ⁴ | 1400 | 700 | 700 | | | 2800 |
| | PIES 제작 및 운영 ⁵ | 800 | 800 | | | | 1600 |
| 연구수행 제반비용 | 물리자료 수집, 해석 및 지수개발 | 800 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 4800 |
| 계 | | 3220 | 3510 | 2710 | 2010 | 2010 | 13460 |

*연구지역 그림 5.1 참조

세부과제 2. 북태평양 아열대순환계의 물질순환과 생태계 특성
이해를 통한 한반도 주변해와의 상호 연관성 규명

| 연구내용 | | 1차년 | 2차년 | 3차년 | 4차년 | 5차년 | 합계 |
|----------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| 연구선 사용료 및 탐사수행 | 한국 주변해 탐사 ¹ (지역 1, 11일/년, 온 누리호) | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 1200 |
| | 쿠로시오 확장역 탐사 ² (지역 2, 13일/년, 이사 부호) | | 548 | 548 | 548 | 548 | 2200 |
| | 북적도해류역 탐사 ^{3**} (지역 3, 11일/년, 온누 리호) | | 240 | 240 | 240 | 240 | 960 |
| 장비 제작 및 운영비 | 유속계·침강입자포집장 치 계류 ⁶ | 600 | | | | | 600 |
| 연구수행 제반비용 | 물질순환 및 생태계 변 화 파악 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 5000 |
| 계 | | 1640 | 2030 | 2030 | 2030 | 2030 | 9760 |

세부과제 3. 고기후 지시자와 지구시스템 모델을 활용한
아열대순환계 과거 변동 복원 및 미래전망

| 연구내용 | | 1차년 | 2차년 | 3차년 | 4차년 | 5차년 | 합계 |
|----------------------|--|-----|------|------|------|------|------|
| 연구선 사용료 및 탐사수행 | 한국 주변해/쿠로시오 역 탐사 ¹ (지역 1, 3일/년, 온누 리호) | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 | 340 |
| | 쿠로시오 확장역 탐사 ² (지역 2, 4일/년, 이사 부호) | | 165 | 165 | 165 | 165 | 660 |
| | 북적도해류역 탐사 ^{3**} (지역 3, 3일/년, 온누 리호) | | 70 | 70 | 70 | 70 | 280 |
| 연구수행 제반비용 | 고기후 프록시 분석 및 과거기후 해석 | 400 | 500 | 500 | 500 | 500 | 2400 |
| | 지구시스템 모델을 통 한 과거기후 재현 | 400 | 500 | 500 | 500 | 500 | 2400 |
| 계 | | 868 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 6080 |

바. 기대효과

- 북태평양 해양순환 경계역 변동이 한반도 주변해역 수온변동 및 생태계 변화에 미치는 영향을 예측하여 우리나라 해양수산 정책수립에 기여
- 대양과 한반도 기후변화 관련성 이해 증대로 미래기후 예측능력 강화
- 자체 광역적 대양 관측 체계 구축을 통해 우리나라 주도의 관련 도서국 (미크로네시아, 필리핀) 및 관심국(중국, 일본 등)과 국제협력 강화
- 대양탐사 활성화 및 자체 장기관측 정점 운영을 위한 인적·기술적 능력 배양과 대형연구선 활용성 제고로 글로벌 해양과학 경쟁력강화
- 북태평양 대순환/물질순환 관측 자료의 국제사회 제공을 통한 국가위상 제고

제 2 절 기후변화와 한반도 주변해 변동 진단과 예측

가. 과제 개요

- 한반도 주변 해양환경 변동성에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있는 핵심 대양해역을 설정하고 조사선과 무인 관측기기를 활용한 종합적인 해양-대기 변동성 동시관측
- 현장관측과 기존 국제관측망, 모형 재분석 자료를 활용한 핵심 대양해역의 해양-대기 변동성과 한반도 주변해 기후 변동성과의 인과 관계 및 원격 상관성 이해
- 기후변화와 연계되어 한반도 주변해에서 최근 출현빈도와 강도가 증가하는 것으로 추정되는 고수온, 저염분 등과 같은 이상해양현상의 대양 변동 직접 기인 가능성 탐지와 대기변동 유발과정 조사
- 해양-대기 접합 기후시스템 모형 등을 활용한 대양 및 한반도 주변해 연계 변동성 재현 실험
- 한반도 주변해 이상해양현상 예측성 평가 및 예측시스템 기반 구축

나. 연구개발의 목표

- 북태평양 해양-대기 변동성 파악과 한반도 주변해 장기 및 중단기 기후 변동성과의 인과관계 또는 원격상관성 이해

다. 연구의 필요성

- 지구온난화로 대표되는 전지구적 기후변화에 따라 열대성 기후가 중위도로 확장하면서 우리나라를 포함한 한반도 주변 해역의 변동성이 증폭되어 점점 더 이상해양현상의 변동폭과 지속시간에 대한 예측이 어려워짐.
- 이는 대양에서의 해양과 대기의 통합 관측이 절대적으로 부족하고 어려워져서 지구기후조절자로서의 해양의 역할과 조정과정에 대한 근본적인 이해가 여전히 충분치 못하기 때문임.
- 특히 한반도 주변해의 변동성은 전지구적 기후변화와 밀접하게 연계되어 있어 이를 정확히 진단하고 예측 정확도를 높이기 위해서는 한반도

주변해 변동성에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 대양의 핵심해역을 파악하고 그 변동성에 대한 이해와 상관성에 대한 연구가 필수불가결함.

- 한편 해양조사선 이사부호를 비롯한 대양관측 시대를 맞이하여 국제 지구관측망에 적극적으로 참여해 해양과학강국으로서의 위상을 높일 필요가 있음.
- 한반도 주변해 기후변동성과 연관성이 가장 높으면서도 기존 국제 관측망이 망라하지 못한 핵심 대양 해역에서 이사부호를 모선으로 하는 첨단 무인해양관측 장비활용 해양탐사는 기존 역학 및 통계 모형을 활용한 예측 기술의 혁신뿐만 아니라 IoT, 빅데이터, 인공지능 등을 활용한 새로운 해양 예측기법 개발에 기폭제가 될 것임.

라. 연구내용

- 한반도 주변 해양환경 변동성에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있는 핵심 대양해역(후보군 예 : 저위도 열대 해역, 워폴 경계역, 저위도-중위도 경계역 등) 선정
- 핵심 대양해역에서의 조사선과 첨단 관측기기를 활용한 종합적인 해양-대기 변동성 관측
- 핵심 대양해역에서의 해양-대기 열/염/운동량 플럭스 산출
- 현장관측과 기존 국제관측망, 모형 재분석 자료를 활용한 다각적인 분석 및 새로운 분석 방법 개발
- 핵심 대양해역의 해양-대기 변동성과 한반도 주변해 중장기 기후 변동성과의 인과 관계 및 원격 상관성 이해
- 핵심 대양해역의 해양순환이 쿠로시오 해류와 한반도 주변 해양 변동성에 미치는 영향 분석
- 고수온, 저염분 등과 같은 이상해양현상의 대양변동 직접 기인 가능성 탐지와 대기변동 유발과정 조사
- 대양 규모 현상과 한반도 주변해의 이상해양현상과의 상관성 규명과 역학적 이해
- 해양-대기 접합 기후시스템 모형 등을 활용한 대양 및 한반도 주변해 연계 변동성 재현/예측 실험

- 한반도 주변해 이상해양현상 예측성 평가 및 예측시스템 기반 구축

마. 연차별 연구내용

| 연차 | 연구기간 | 주요 연구내용 |
|----|-------------------------|--|
| 1 | 2021.01 ~ 2021.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 해양-대기 연속관측 • 선박을 이용한 정선 관측과 글라이더 등을 활용한 순환계 경계역의 무인관측 • 기존자료를 이용한 북태평양 아열대 순환계 변동 특성 분석 • 한반도주변해역 해양-대기 접합 지역기후 모형 구축 |
| 2 | 2022.01 ~ 2022.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 기존자료를 이용한 순환계 변동 특성 분석 (계속) • 해양순환모형의 정확도 향상을 위한 아격자 모수화 연구: 중규모 아중규모 에디의 혼합 특성 • 선박과 글라이더 등을 활용한 순환계 경계역의 무인관측 (계속) • 한반도주변해역 해양-대기 접합 지역기후 모형 구축 (계속) |
| 3 | 2023.01 ~ 2023.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 기존자료를 이용한 북태평양 아열대 순환계 변동 특성 분석 (계속) • 해양순환모형의 정확도 향상을 위한 아격자 모수화 연구: 중규모 아중규모 에디의 혼합 특성과 민감도 • 한반도주변해역의 변동 특성 규명 • 선박과 글라이더 등을 활용한 순환계 경계역의 무인관측 (계속) • 한반도주변해역 해양-대기 접합 지역기후 모형 구축 |
| 4 | 2024.01 ~ 2024.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 북태평양 순환계 변동성이 한반도주변해역 기후 미치는 영향 규명 • 북태평양 순환계의 중장주기 변동 특성 규명 • 한반도주변해역의 변동 특성 규명 (계속) • 해양-대기 열/염/운동량 플럭스 산출 • 해양순환 모형의 아격자 모수화 기법 개선 • 한반도주변해역 장기 변화 전망 제시 |
| 5 | 2025.01 ~ 2025.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 한반도주변해역 장기 변화 전망 제시 (계속) • 해양-대기 열/염/운동량 플럭스 산출 (계속) • 북태평양 순환계 변동성이 한반도주변해역 기후 미치는 영향 규명 (계속) |

바. 기대효과

- 대양에서의 해양과 대기의 통합 관측 기회 확대를 통한 지구기후조절자로서의 해양의 역할과 조정과정에 대한 근본적인 이해 증진

- 한반도 주변해 기후변동을 좌우하는 대양기인 인자 파악을 통해서 우리나라 주변 미래 해양변화 예측능력 개선
- 기후변화에 따른 우리나라 주변해역 변동에 대한 예측능력 신장을 통해 기후변화 대응 사회경제적 부담 완화 및 피해 저감에 기여
- 국제 공동 대양관측 프로그램에 참여하여 전지구적 문제해결에 기여함으로써 국가 위상 제고
- 첨단 무인해양관측 활용기술 및 새로운 예측기술 개발 동기 부여를 통한 4차 산업 선도

제 3 절 전지구 규모의 생지화학 물질순환 연구

가. 과제 개요

- 대양에서 온실가스의 생지화학 순환, 신생산력 변동 파악, 미량원소의 생지화학 순환 연구를 통해 전지구 규모의 생지화학 물질순환을 이해함
- 전지구 규모의 생지화학 물질순환을 이해함으로써 해양의 기후조절 능력을 파악하고 미래 기후변화를 예측할 수 있는 능력을 향상시킴

나. 연구 목표

- 대양에서 대기 이산화탄소 등 온실가스의 거동에 영향을 미치는 생지화학 과정 이해함으로써 해양의 기후조절 능력을 평가
- 대양에서 신생산력을 유발하는 다양한 경로(질소고정 박테리아, 대기 유입, 에디 등 물리적 과정)를 정량적으로 파악하여 해양에서 탄소/질소 순환 및 물질 생산을 심층적으로 이해함
- 전지구 해양 미량원소 순환 관련 국제 공동 연구(BIOGEOTRACES) 참여를 통해 기후/환경 변화 대비 대양의 생산력, 탄소순환 및 해양 물질 순환 규명 및 선진국 수준의 분석 기술 확보

다. 과제 필요성

- 해양은 대기로 방출된 인위적인 이산화탄소의 중요 흡수원이며, 해양이 대기 이산화탄소를 흡수, 저장하는 메커니즘은 기후 변화와 밀접한 관계가 있음
- 해양의 탄소 흡수능력 변화는 대기 이산화탄소 농도 변화를 통해 기후 변화를 가속화시킬 수도, 유지할 수도 있기 때문에 매우 중요함.
- 해양은 대기에 비해 50배 이상의 탄소 저장량을 가지고 있어 전지구적 온실기체의 저감을 예측하기 위해서 대양에서 생지화학 물질순환을 파악하는 것이 필수적임
- 대양에서 물질순환은 다양한 시·공간 규모로 해양 내 생물활동과 생산력뿐만 아니라 전지구 기후변화에도 영향을 미치므로 지구/해양시스템

의 이해를 위해 해양 생지화학 물질순환의 현황 파악과 이해는 필수적임.

라. 국내외 연구동향

- 국내
 - 국내 보유 기존 연구선들은 청정 해수 채취장비 및 기술의 부재로 국내 연구진으로부터 해양 TEIs 분포 연구결과가 거의 없음.
 - 국내 연구진에 의해 측정된 대양 관련 자료는 거의 없음.
 - 국내 연구진에 의해 기후변동에 영향을 미치는 프로세스에 초점을 맞춘 연구가 대양에서 진행된 적은 없음.
- 국외
 - 이상해양현상이 강해지면서 국제적으로 이를 이해하고 예측하려는 시도가 증가하고 있음.
 - 국외에서는 여러 국제공동연구를 통해 기후변동 및 해양생산력 변동에 영향을 미치는 주요 프로세스 연구들이 활발히 수행되고 연구결과들이 주요 학술지에 발표되고 있음.
 - 미국, 일본, 유럽 주요 국가 등은 CLIVAR repeat hydrography 국제관측 프로그램을 통해 전 대양을 10년 주기로 탐사하여, 해양의 탄소 흡수 능력 변동 및 변동 인자 연구를 꾸준히 수행 중임.

마. 연구내용

- 온실가스의 생지화학 순환을 통한 해양기후 조절능력
- 물질순환에 영향을 미치는 신생산력의 다양한 경로 파악
- 미량원소의 생지화학 순환 연구

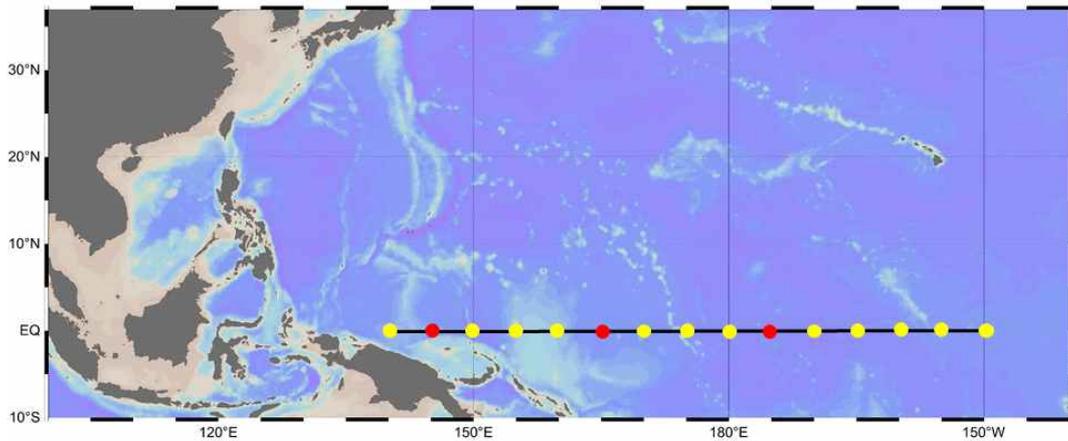


그림 4.3. 전지구 규모의 생지화학 물질순환 연구 대상지역

바. 내역과제별 연구내용

내역과제 1 : 온실가스의 생지화학 순환을 통한 해양기후 조절능력 연구

| 연차 | 연구기간 | 주요 연구내용 |
|----|-------------------------|--|
| 1 | 2021.01 ~ 2021.12 | • 대양탐사를 통한 수층내 온실가스 분포 연구 |
| 2 | 2022.01 ~ 2022.12 | • 대양에서 온실가스 해양-대기 플럭스 산출 |
| 3 | 2023.01 ~ 2023.12 | • 대양에서 온실가스 분포에 영향을 미치는 주요 생지화학적 과정 연구 |
| 4 | 2024.01 ~ 2024.12 | • 온실가스 거동과 영향 인자 파악 |
| 5 | 2025.01 ~ 2025.12 | • 해양의 기후 조절 능력 평가 |

내역과제 2 : 물질순환에 영향을 미치는 신생산력의 다양한 경로 파악

| 연차 | 연구기간 | 주요 연구내용 |
|----|-------------------------|---|
| 1 | 2020.01 ~ 2020.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 다경로를 통한 생물학적 원소 유입량 및 생산성 측정 |
| 2 | 2022.01 ~ 2022.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 다경로를 통한 생물학적 원소의 해양 내 거동 연구 |
| 3 | 2023.01 ~ 2023.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 다경로를 통한 신생산의 연 변동성 연구 |
| 4 | 2024.01 ~ 2024.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 다경로를 통한 신생산의 연 변동성 및 해양환경 변동에 따른 신생산 과정 변화 연구 |
| 5 | 2025.01 ~ 2025.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 대양 신생산력을 유발하는 다양한 경로들의 정량적 기여도 산출 및 변동성 파악을 통한 해양 생산성 이해 연구 |

내역과제 3 : 미량원소의 생지화학 순환 연구

| 연차 | 연구기간 | 주요 연구내용 |
|----|-------------------------|---|
| 1 | 2020.01 ~ 2020.12 | <ul style="list-style-type: none"> • GEOTRACES 핵심 기술 개발 및 대양-한반도 주변해의 미량원소 분포 특성 연구 |
| 2 | 2022.01 ~ 2022.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 미량원소/동위원소 분포 특성 연구 • 미량금속의 생물내 거동 연구 |
| 3 | 2023.01 ~ 2023.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 미량금속의 생지화학적 순환과 탄소/질소등의 물질순환 상관성 규명 연구 |
| 4 | 2024.01 ~ 2024.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 미량금속의 생지화학적 순환에 따른 대양의 생산력 변동, 탄소순환, 생지화학 순환특성 파악 • 미량금속의 생지화학적 순환 연구 |
| 5 | 2025.01 ~ 2025.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 육상-해양, 해양-대기, 해양 내부 물질 순환 프로세스 및 미량원소 거동이 대양 규모의 생태계에 미치는 영향 등을 규명하고 기후변화 대응을 위한 대응력 확대 |

사. 기대효과

- 기후변화 예측 모델의 개선을 위한 온실가스 거동 관련 주요 프로세스 확립
- 해양의 기후조절 능력 평가
- 해양의 신생산 경로의 심층적 이해를 통해 해양의 물질생산 특성을 이해하고 기후변화 등 해양 환경 변화에 따른 지구적 규모의 해양 물질순환 변동성 파악을 위한 예측 기반 마련
- 대기 이산화탄소 농도 변화 예측 정확도 향상
- 신기후체제 출범에 발맞춘 미래 수산·자원 변동 대응과 함께 기후변화 대응 핵심 기술 확보
- 세계 최고 수준의 분석기술 확보 및 국제 공동 대양 횡단 프로그램 주도적 수행으로 한국의 대양 연구 역량 강화 및 국제프로그램 참가국으로서의 대양 연구 국제적 위상 제고

제 4 절 인도양 - 태평양 신 해양자원 발굴 연구

가. 과제 개요

- 대양저 지체구조별 생태계 및 유용금속자원 탐사를 통해 새로운 해양자원을 발굴하고 활용기술을 개발함으로써 국가 신산업 창출 기반 확보

나. 연구의 목표

- 대양 생태계 (인도양-태평양) 탐사를 통해 지금까지 발굴되지 않았던 신생물자원 발굴·활용 기술 개발
- 지체구조 별 유용 지질자원 분포특성 파악 및 지체구조/자원분포 상관성 해석을 통한 자원가치 평가

다. 과제 필요성

- 지구 온난화, 화석연료 고갈에 대응하여 청정화학공학기반의 건강사회를 구현하기 위해 선진국들은 해양생명자원의 확보와 활용기술 개발에 지속적인 투자를 하고 있음
- 미래 산업사회를 선도하기 위해서는 아직까지 생명자원 발굴 노력이 적었던 인도양-태평양 등 대양과 바이오핫스팟의 원천소재/원천기술 발굴이 시급함
- 육상금속자원의 고갈과 산업발전에 따라 대체 자원 확보를 위한 대양 미개척 금속자원(예, 희유금속) 탐사활동 증대
- 안정적 산업성장을 위한 심해 극한 환경의 새로운 생물소재 및 희유금속 자원 발굴 필요
- 심해 및 극한 환경으로 연구지역을 확장하고, 환경특성에 따른 생태계 특이성과 지구조 진화과정 이해 필요

라. 국내외 연구동향

- 대양생명자원 확보 및 활용 연구
 - 미국 Craig Venter는 2차에 걸친 대양일주 항해를 통하여 약 130만 건의 새로운 유전자원을 확보하였고, 이를 기반으로 한 연료/산업소재

생산용 합성생물학 기술 개발에 집중 투자 중

- 유럽연합의 EMBL 주도로 2010년부터 3년간 Tara Ocean Expedition 을 통해 지중해, 동태평양, 대서양, 서인도양의 생물시료 채취가 수행되었고, 이를 통해 표영생태계의 근원적인 이해를 통한 해양유전자원 확보 연구가 완료되어 약 1억 건의 새로운 유전자가 보고됨

- 현재 진행 중인 “인도양 열수생명시스템” 사업 외 생명자원 확보를 목표로 하는 대양연구사업은 없음

- 지금까지 해양유래 천연물은 30,000 건 이상 보고되었으나 이들 중 심해생물 유래 천연물은 2% 미만이며, 최근 미국, 러시아를 중심으로 대양의 심해생물이 생산하는 대사물질에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음

• 대양저 지구조 해석 및 신 광물자원 발굴 연구

- 일본은 EEZ 및 동태평양 공해를 중심으로 희유금속 함유 퇴적물 분포지 탐사 연구를 수행 중. 최근 일본 EEZ내 고품위 희유금속 퇴적지를 발견하고 자원량 평가를 수행 중

- 중국은 중인도양, 서태평양 및 북동태평양 등에서 탐사 연구를 통해 3개의 희유금속 함유 퇴적물 분포지를 확인하였고, 최근 남동태평양 심해 분지에서 면적이 150만 km² 에 달하는 희토류 함유 퇴적물 분포지역을 발견하여 추가 연구를 수행 중

- Inter-Ridge 및 IIOE(International Indian Ocean Expedition)등 국제공동연구프로그램은 인도양 지구조, 생물 및 생명의 기원에 대한 지속적 연구 수행중

- 중국은 U-loop 프로그램을 통해 인도양-대서양 지역에 대한 생물다양성 및 종연결성 연구 수행중

마. 연구내용

• 대양/극한지 신 생물/생명자원 및 기능 발굴연구

- 메타오믹스 기반 대양 신생명자원 확보 및 유용 기능 발굴
- 신생명자원·기능 발굴 지원 및 활용체계 구축
- 심해양생명자원 기능 발굴 및 활용

- 지체구조(중앙해령, 섭입대, 해저평원, 해저고원, 해저산군) 해석 및 진화 연구
 - 광역 지형/지구물리 탐사: 음향탐사, 탄성파탐사, 중/자력 탐사
 - 지화학탐사: 암석/퇴적물/해수 시료 획득, 지화학 조성 분석
 - 근접해저면 탐사: 무인잠수정(AUV, ROV) 및 TV-grab
- 대양저 잠재 자원가치 평가
 - 대양 내 지체 구조별 유용 금속 거동 및 침전 기작 해석
 - 유용금속자원 분포특성 파악 및 지체구조/자원분포 상관성 해석
 - 심해저 공간자원 활용 가능성 평가

바. 연차별 연구내용

내역과제 1 : 대양/극한지 신 생물/생명자원 및 기능 발굴연구

| 연차 | 연구기간 | 주요 연구내용 |
|----|-------------------------|---|
| 1 | 2021.01 ~ 2021.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 인도양 신생명자원, 메타오믹스 자원 확보, 분석 및 기능 해석 • 인도양 바이오핫스팟 (심해 열수구, 냉용수 분출구, Whale fall area, OMZ (Oxygen minimum zone) 등 특이/희귀 생태계) 정밀 탐사를 통한 신생명자원 확보 • 사이버인프라, 신생명자원 탐색·배양기술 개발 |
| 2 | 2022.01 ~ 2022.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 인도양-태평양 연결 해역 신생명자원, 메타오믹스 자원 확보, 분석 및 기능 해석 • 인도양-태평양 연결 해역 바이오핫스팟 정밀 탐사를 통한 신생명자원 확보 • 확보 자원의 배양 특성 및 오믹스 분석 • 대사물질 및 화학다양성 분석 • 사이버인프라, 신생명자원 탐색·배양기술 개발 (계속) |
| 3 | 2023.01 ~ 2023.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 태평양 1구역 신생명자원, 메타오믹스 자원 확보, 분석 및 기능 해석 • 태평양 1구역 바이오핫스팟 정밀 탐사를 통한 신생명자원 확보 • 확보 자원의 배양 특성 및 오믹스 분석 • 대사물질 및 화학다양성 분석 • 사이버인프라, 신생명자원 탐색·배양기술 개발 (계속) 및 활용 |
| 4 | 2024.01 ~ 2024.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 태평양 2구역 신생명자원, 메타오믹스 자원 확보, 분석 및 기능 해석 • 태평양 1구역 바이오핫스팟 정밀 탐사를 통한 신생명자원 확보 • 확보 자원의 배양 특성 및 오믹스 분석 • 대사물질 및 화학다양성 분석 • 에너지합성 시스템, 단백질 기능 해석 • 사이버인프라, 신생명자원 탐색·배양기술 개발 (계속) 및 활용 |
| 5 | 2025.01 ~ 2025.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 합성생물학기술 기반 환경유전체 활용기술 (기능성 물질 합성 유전자군의 발현을 통한 생산, 고기능 단백질 개발 등) 개발 • 에너지대사 활용기술 연구 • 신생명자원 대량배양기술 개발 • 생명자원 분포, 변동자료 기반 어장환경 변화 자료 도출 |

내역과제 2 : 대양저 지구조 해석 및 신 광물자원 발굴 연구

| 연차 | 연구기간 | 주요 연구내용 |
|----|-------------------------|--|
| 1 | 2021.01 ~ 2021.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 인도양 중앙해령 광역 지구물리 탐사(음향/탄성파/중자력) • 인도양 중앙해령 및 해저평원 암석/퇴적물 획득 및 지화학조성 분석 • 인도양 중앙해령 특이구조 근접해저면 탐사(ROV/TV-grab) |
| 2 | 2022.01 ~ 2022.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 인도양-태평양 지판경계부 지체구조 해석 및 자연재해 관련성 연구 • 인도양-태평양 지판경계부 암석/퇴적물 획득 및 지화학조성 분석 • 인도양 중앙해령/해저평원 내 유용금속 거동 및 침전기작 해석 |
| 3 | 2023.01 ~ 2023.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 태평양 섭입대/후열도분지 광역 지구물리 탐사 및 지체구조 해석 • 태평양 섭입대/후열도분지 암석/퇴적물 획득 및 지화학조성 분석 • 태평양 섭입대/후열도분지 특이구조 근접해저면 탐사 |
| 4 | 2024.01 ~ 2024.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 태평양 해저고원/해저산군 광역 지구물리 탐사 및 지체구조 해석 • 태평양 해저고원/해저산군 암석/퇴적물 획득 및 지화학조성 분석 • 태평양 지체구조별 유용금속 거동 및 침전기작 해석 • 인도양/태평양 심해저 공간자원 활용가능성 평가 |
| 5 | 2025.01 ~ 2025.12 | <ul style="list-style-type: none"> • 지체구조별 구조해석 및 지역에 따른 유용금속 분포특성 규명 • 대양저 지체구조와 자원분포 상관성 해석 • DB 구축 및 유용금속 자원분포도 작성 |

사. 기대효과

- 원천 유전자원의 발굴과 활용기술 개발을 통한 신산업 원천기술 개발
- 대양/극한지 생명자원 탐사·확보기술, 배양기술 등의 개발을 통한 관련 산업 진흥
- 확보 정보의 활용을 통한 어장 환경 변동 예측, 기후 변화, 생명진화 연구 등 활성화
- 심해·극한환경으로 연구지역을 확장하고 대양탐사 활성화로 국가 위상 제고
- 대양탐사를 위한 인적·기술적 능력 배양과 대형연구선 활용성 제고로 글로벌 해양과학 경쟁력강화
- 대양저에 대한 해양·지질학적 이해 증진을 통한 유용자원 미래 공급원 확보로 해양경제영토 확대

제 5 절 대양생태계 종 다양성 및 생물 지리학적 연구

가. 과제 개요

- 공해상 부유·저서생물 종/유전적 다양성을 확보하고 key species에 대한 유전적 연결성을 규명함으로써 대양을 생태 지리적으로 분류하고, 종다양성 보존을 위한 관리 체계 기반을 제공하며, 유전자원 확보 기틀 마련

나. 연구의 목표

- 이사부호를 활용한 공해상의 부유·저서생물 종/유전적 다양성을 확보하고 key species에 대한 유전적 연결성을 통한 대양의 생태 지리적 분류

다. 연구의 필요성

○ 추진의 시급성

- 현재 공해상의 해양생물자원의 보호와 재산적 권리를 지정하려는 국제협약 (CBD, BBNJ)에 대응하고, 미래지속가능한 해양생물자원의 확보가 시급함
- 해수부 R&D ‘극지 및 대양과학연구*’ 사업의 일몰(‘20)에 따른 후속사업 및 세부과제의 추진이 시급함
- 구축된 인프라 대형조사선(이사부호)를 활용하여 국가와 국제사회의 기대에 부응하고 KIOST의 대양연구역량 강화를 위한 프로그램 개발이 필요함
- 대양에서 시료채집부터 효율적이고 표준화된 방법을 적용하여 신뢰성 있는 공해상 해양생물과 유전정보를 확보하고 국내외 유관기관과 관련 프로그램에 표본 및 정보를 제공하여 KIOST와 우리나라의 연구역량 선진화와 국제화에 기여할 필요가 있음

○ 국가차원의 연구개발 필요성

- 해양자원, 해양과학, 해양산업 및 해양외교 등 해양개발 잠재력을 증대시키기 위한 국가차원의 해양개발 정책과 연계, 국가 주도의 기술개발 추진 필요
- 공해상 생명자원 확보 및 개발 관련 기술과 해양 생물종 다양성 보존 기술의 개발은 공공성, 공익성, 종합성 등 다양한 역할을 갖고 있으며,

국가 지원 확대를 통한 연구개발 필요

- 공해상 신해양생명/유전자원에 대한 권리에 대한 국제규제와 협약이 가시화되고 있기에 이에 대한 자원확보와 관련기술 선점을 위한 정부차원의 지원 필요.

○ 국가 상위 계획과 부합

- 문재인 정부 100대 국정과제 중 ‘62번 해양영토 수호와 해양안전 강화’를 위한 해수부 실천과제 ‘6번 남북극 등 대양진출 확대와 국제해양 네트워크 확충 - 이사부호를 활용한 대양연구 본격화 및 국제연구 참여 등 추진’ 과 부합
- 2019 정부연구개발투자방향과 기준(안) 중 ‘우선 R&D 영역인 과학기술혁신(기초연구)와 공공수요’, ‘연구자 주도의 창의·도전적 기초연구’와 ‘대학·출연연 보유장비(CPR, 유전자 분석장비) 및 대형기초인프라(이사부호) 공동활용’ 과 부합
- 해양수산 R&D 중장기계획(14~20) 중 ‘1-2 극한 공간 활용 및 국제협력 확대’의 추진목표인 남·북극, 심해 등 극한 공간 활용 확대를 통한 자원선점 및 국제 역량 강화로 극지 및 대양 심해저 활용 촉진을 위한 기반 마련 분야와 연계
- 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018-2022) 중 ‘전략 2의 사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보’를 위한 기후변화 등 국제사회 공동 현안문제 해결을 위한 과학기술 기반의 국제협력 강화에 부합

라. 국내외 연구동향

○ 해양기원 생명/유전자원에 대한 관심 증가 및 개발 가속화

- 해양생물은 전 지구 생물의 약 80%에 해당하는 것으로 추정되며, 따라서 해양생명자원은 이용 잠재력이 매우 높은 차세대 신물질 개발의 보루임.
- ‘07년 이후 해양기원 생명/유전자원에 대한 특허 등록이 3배 이상 급속히 증가하고 있으며, 약 80%이상의 특허가 일부 산업계에 의해 독점 등록됨.
- 특히, 대부분의 특허가 영해의 해양생명/유전자원 권리에 대한 나고야 협약 채택(2010) 및 발효(2014) 전·후에 등록됨에 따라 관련 국제기구 또

는 프로그램의 정책 방향 및 동향을 모니터링 하며 이에 대한 대응이 필요함.

- 공해상 생물종 다양성 및 생물/유전자원에 대한 활용 규칙 및 권리/보호를 위한 국제협약 채택/비준 추진
- 지속가능한 에너지/식량자원 확보를 위한 해양활용기술 개발 필요
 - ‘25년 엔 해양기원 생명/유전자원을 활용한 바이오 에너지, 의약품, 신물질 등 상업적 시장가치가 약 7조원에 이를 것으로 예측되고 있음.

마. 연구내용

- 이사부 이동향해 간 공해/대양의 수층생물시료 획득
 - 박테리아, 동·식물플랑크톤, 난자치어 시료 확보를 통한 연구 기반 (DB 구축) 조성
 - BIO-Argo 또는 BIO-Sensor 투하를 통한 지속적인 부유 생물/생명자료 획득
 - 타사업과 연계한 생물/생명시료 및 자료 공유 및 확보
- 생물시료 획득 지역 환경자료 및 특성 획득
 - 서식환경조건과 특성에 따른 생물상 분포를 통한 대양생태계의 공간적 동질·이질성 분류
 - 해수이동 등 물리적 특성과 모델 적용을 통한 생물분포 특성과 이동경로 예측
- 공해 바이오 핫스팟 및 연구취약 해역 생태계 정밀 탐사 및 연구
- 무인 잠수정을 활용한 바이오 핫스팟 정밀탐사기술 개발
- 바이오 핫스팟 생태계 기능 및 구조 연구
- 핫스팟 종다양성 평가 및 생명/유전자원 시료 확보/인벤토리 구축
- 메타오믹스 활용 유용생명자원 확보 연구
- 국제기구 동향 파악 및 대응

- 생물다양성 협약(CBD), 공해생물자원 (BBNJ), 세계식량기구(FAO) 관련 동향 파악
 - 유엔의 지속가능한 발전 10년 계획 관련 동향 파악
 - 국내전문가 참여 및 활동 강화
- 국내·외 협력 네트워크 구축
- 관련 전문가회의 주도적 참여를 통해 국익증대
 - 관련 국제프로그램 중 다양성 자료 제공을 통한 연구 국제화 확대
 - 국내외 기술/자본협력 추진
- 신생명자원확보 및 생명공학기술개발 분야 민간기업 참여유도
- 민간기업과 신생명자원개발 이해관계자를 대상으로 기술개발 필요성에 대한 인식 제고
 - 요소기술개발 관련 기업 대상 홍보활동 강화

바. 연구개발 성과물 및 성과지표

| 핵심 기술/제품 성능지표 | | | 단위 | 달성 목표 | 국내 최고수준 | 세계최고 수준 (보유국, 기업/기관명) |
|---------------|--|--|----|----------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | 대양 생물종 다양성연구 | 생물종다양성 이해를 위한 채집분석 방법론 표준화 | 건 | 1 | 생공연 | 영국/자연사박물관 |
| | | 대형조사선 이동 간 부유 생물시료 획득 | 건 | 3 | KIOST | 대한민국/KIOST |
| 2 | 공해 바이오하트스팟 의 생태계 정밀탐사 및 생물지리학적 연구 | | 건 | 1 | KIOST | 미국/Oxford Metals |
| | | | 건 | 1 | 기초연 | |
| | | | 건 | 1 | 지자연 | 호주/CSIRO |
| | | | 건 | 1 | KIOST | 미국/NOAA |
| 3 | 메타오믹스 활용 유용생명자원 확보 연구 | | 건 | 3 | 안정성평가연 구소 | 미국/EPA |
| | | | 건 | 1 | KIOST/H-plu s eco (주) | 미국/BioGenesis |
| | | | 건 | 1 | KIOST/H-plu s eco (주) | 미국/BioGenesis |
| | | | 건 | 1 | KIOST/H-plu s eco (주) | 미국/BioGenesis |
| 4 | 국내·외 환경변화 대응전략 연구 | 국제기구 동향 보고서 | 건 | 4 | - | - |
| | | 국제협력 네트워크 구축 | 건 | 1 | - | - |
| | | 신생명자원활용 및 생명공학기술개발 민간기업 참여유도 설명회 | 건 | 2 | - | - |

사. 기대효과

○ 경제적 측면

- 미래지속가능한 유용 해양생물/유전자 자원의 확보 기대
- 기후변화 영향 예측력 강화를 통한 대응력 향상
- 대양 신생명자원 발굴과 확보의 우위 선점을 통한 해양바이오 산업의 부가가치 창출에 기여

○ 환경적 측면

- 기후변화 및 인간활동에 의한 해양 생태/환경 변화 대응

- 미 발굴 해양생물 분석 전문 인력 양성을 통한 국민적 관심 증가
- 본 연구 사업을 통해 확보한 다양한 과학적/기술적 자료는 대양의 효율적 이용 및 관리체계 구현에 활용

○ 정책적 측면

- 공해상 해양생물/생명자원과 생물종 다양성 관련 국제규정 및 지침 제정에 능동적 대처
- 새로운 산업 영역 개척이라는 국가정책목표를 달성하고 확보된 기술을 타 분야로 파급시킴으로써 창조경제 구현 및 국가과학기술력 강화
- 미래 해양생명자원 확보 및 응용/융합기술 개발에 대한 전략적 중요성을 제고하고, 산업동력이 취약한 우리나라 산업구조에 새로운 동력원 창출

아. 최종성과물

- 생물종다양성 연구를 위한 시료 채집/보관 및 분자생물학적(유전자) 분석 방법의 표준화
- 대양 생물종다양성 DB구축 및 관련 국제 프로그램과 자료 공유
- 공해상 바이오핫스팟 (심해 열수구, 냉용수 분출구, Whale fall area, OMZ (Oxygen minimum zone) 등 특이/희귀 생태계) 정밀 탐사를 통한 생물종 다양성 및 유전적 연결성 이해 (mrnf 상위 20% 이상 논문 4편을 포함한 SCI 논문 10편 이상 발간)
- 신생명자원, 메타오믹스 자원 확보, 분석 및 기능 해석
- 사이버인프라, 신생명자원 탐색·배양기술 개발 및 오믹스 분석

자. 기타 사항

- 현재 한국해양과학기술원이 수행하고 있는 해저광물자원사업(망간단괴, 해저열수광상) 및 관련 국제기구 활동과의 탐사 연계 및 협력으로 비용 절감 및 시너지 효과 창출 필요
- 해양광물자원의 상업화를 위해 해수부 R&D 과제인 태평양 심해저광물자원개발사업 및 남서태평양/인도양 해양광물자원 개발사업과 반드시 연계 되어 시급히 수행되어야 하는 연구 분야임

차. 연차별 투자계획

(단위 : 억원)

| 연 도 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 계 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 정부출연금 | 8 | 15 | 10 | 15 | 10 | 12 | 12 | 8 | 90 |

제 5 장 기대효과 및 향후 활용방안

제 1 절 기대효과

가. 기술적 측면

- 공해상 및 심해의 신해양자원 발굴 및 확보
- 대양탐사 및 탐사장비 고도화를 통한 대양연구 경쟁력 향상
- 다학제적 비용절감형 대형인프라 활용 대양·심해 산·학·연 공동연구 확대
- 지구관측망 및 대양/심해연구관련 국제프로그램 참여를 통한 해양과학강국으로서 국가위상 제고
- 한반도 주변해 기후변동을 좌우하는 대양기인 인자 파악을 통해서 우리나라 주변 미래 해양변화 예측능력 개선

나. 경제·산업적 측면

- 미래지속가능한 유용 해양자원의 확보 기대
- 기후변화 영향 예측력 강화를 통한 대응력 향상
- 대양 신생물자원 발굴과 확보의 우위 선점을 통한 해양바이오 산업의 부가가치 창출에 기여

다. 사회·문화적 측면

- 공해상의 해양생물자원의 보호와 재산적 권리를 지정하려는 ‘BBNJ 정부간 회의’ 등 국제협력활동 대응 및 국가 경쟁력 강화
- 기후변화 및 인간활동에 의한 해양 생태/환경 변화 대응
- 미 발굴 해양생물 분석 전문 인력 양성을 통한 국민적 관심 증가

제 2 절 활용방안

가. 기후변화 영향과 생물 다양성/생태계 보전을 위한 기초자료로 활용

- 기후변화에 따른 대양 환경변동 진단/평가와 예측에 활용하며 이를 통해 향후 국내외 기후변화 보고서(IPCC, 등) 자료로 활용
- 전 지구적 해양생물의 지리적 분포를 이해하기 위한 자료로 활용이 기대되며, 궁극적으로는 기후변화가 해양생태계에 미치는 영향 평가/진단에도 활용가능

나. 전 지구적 문제해결을 위한 국제사회 기여

- 국제프로그램 참여를 통해 공해상 관심해역에서의 과학적 해류순환, 생물종 다양성 및 물질순환에 대한 자료/연구결과 공유를 통한 전 지구적 환경이슈(기후변화, 물질순환) 대응 및 해결에 적극 참여
- 인류의 미래를 위한 해양기원 식량/생물/광물자원 분포 및 확대 그리고 잠재성 평가에 활용

다. 생명현상 이해와 활용을 위한 연구소재로 활용

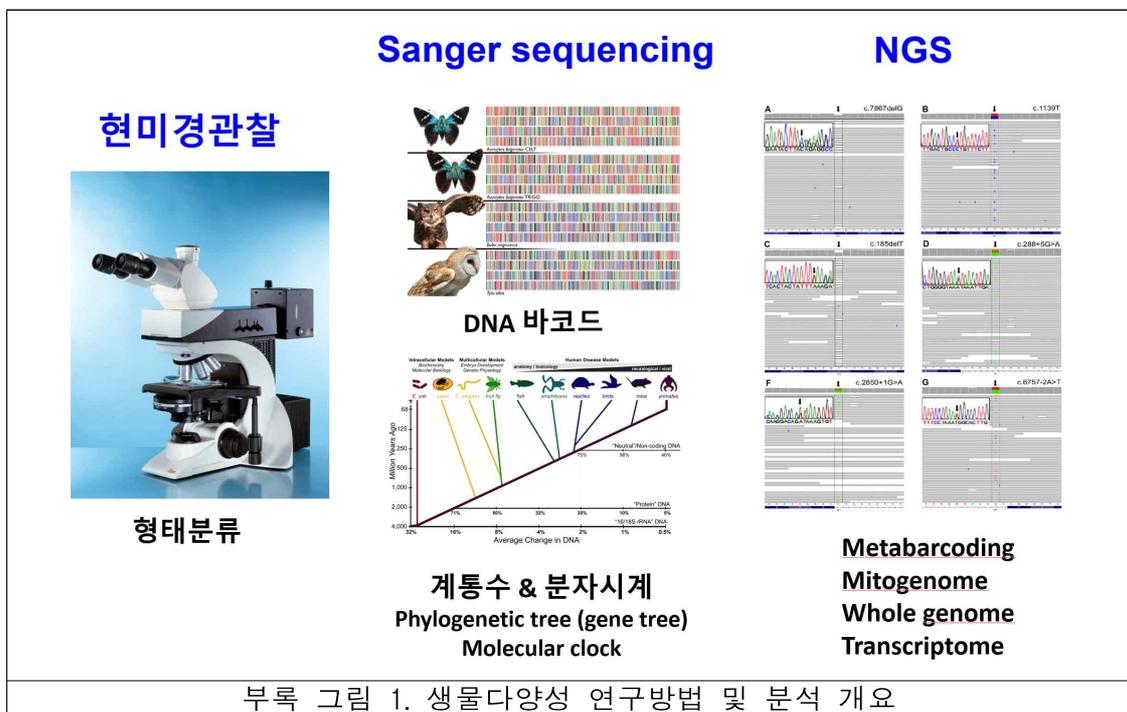
- 연구과정 중 확보된 생물자원과 유전자 정보는 생명과학 연구의 소재로 활용
- 심해생물의 유전적 연결성은 심층에서의 유생의 이동과 확산경로를 제시해 줄 뿐만 아니라 정확한 관측이 어려운 광역적인 심층해류이동과 해류 모델의 검증에 적극 활용가능

[부록 - 생물다양성 연구 방법론]

● 생물다양성 연구 방법론

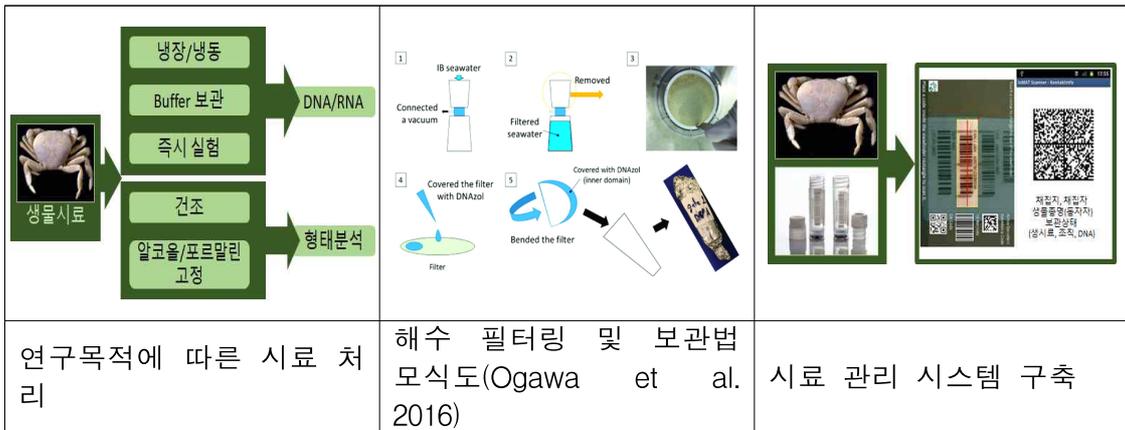
가. 생물다양성 이란 ?

- 생물종 다양성, 생태계 다양성, 유전자 다양성을 포함하며, 지구 전체의 역사와 함께 이해해야 하는 진화적인 개념이다. 즉, 역사적으로 대량 멸종과 대량 종분화 반복되고, 생물들은 환경과의 상호작용을 통해 적응한 기록을 유전정보로 자신들의 몸속에 간직하며, 극지 얼음이 녹고 태평양에서 일어나는 엘니뇨/라니냐 등의 현상은 궁극적으로 전 지구적으로 영향을 미치고 있다. 그러므로 건강한 지구 생태계 유지를 위해 생물다양성의 변화 양상을 이해하기 위한 연구가 필요하다. 따라서 다양한 방법을 활용한 연구와 정보의 구축이 필요하다(부록 그림 1).



나. 생물 다양성 시료 확보 및 관리

생물다양성의 변화는 오랜 시간에 걸쳐 작용하며, 지구 환경을 구성하는 모든 요소들의 유기적인 상호 작용에 의해 나타난다. 그러므로 ‘환경변화 ↔ 생물다양성’의 관계를 이해하기 위해선 장기적인 관점에서의 시료 수집/관리가 필요하다(부록 그림 2). 또한 인류기술발전의 속도를 고려할 때, 미래 기술을 활용한 연구를 대비한 시료 보관/관리 기술에 대한 연구도 요구된다.



부록 그림 2. 연구목적에 따른 시료 처리, 보관 및 분석, 관리 체계 요약

다. 형태분류

형태학적 형질에 기반 한 생물종동정은 가장 오래된 전통적인 생물 연구 방법이다. 그러나 지구상의 다양한 생물들(기록 종 약 190만종)은 동일 종(species)이라도 서식지/연령/성 등에 따라 모습이 다르기도 하고, 형태가 유사하여 겉모양으로는 정확하게 종이 구분되지 않는 경우도 많다. 또한 실제 지구상에 존재할 것으로 예상되는 생물종수는 최대 1억 종으로 추정되며, 인류가 인지하기엔 너무 많은 수이다(부록 그림 3).



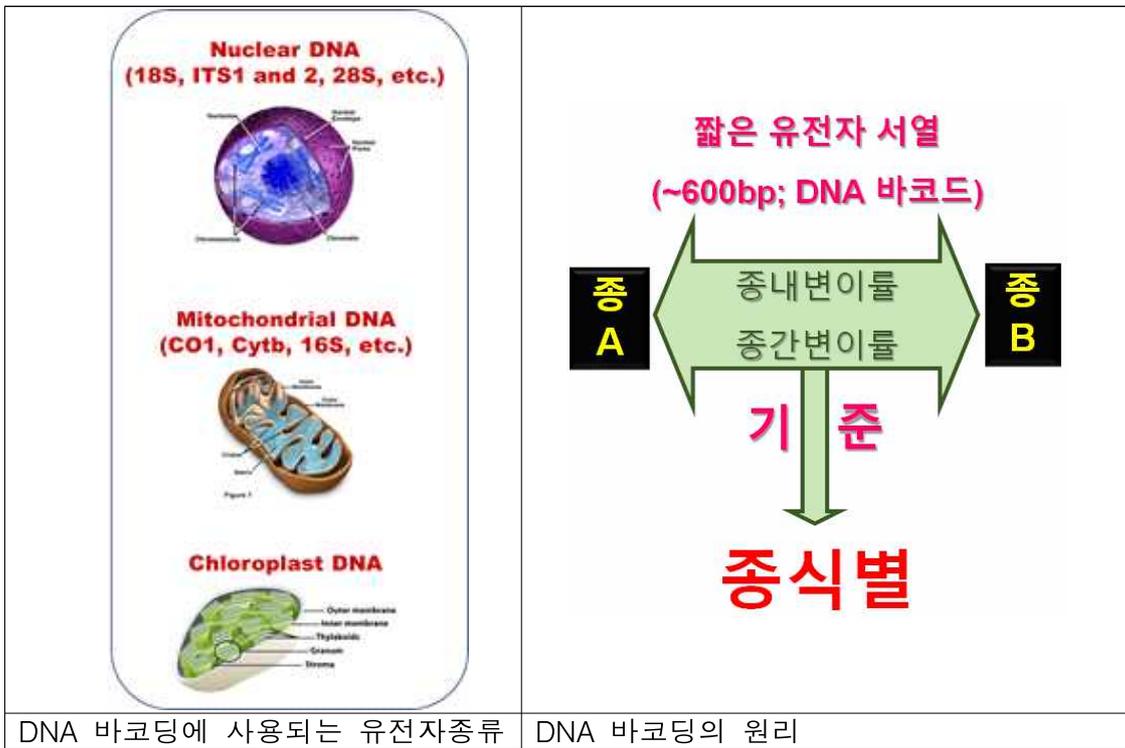
라. 분자분류(Sanger sequencing 기반 연구)

크기가 작은 생물, 개체수가 적은 생물, 형태적으로 유사한 자매군/복합군 등

에 대한 형태학적 분류의 한계를 극복하고 종 동정의 정확성을 높이기 위해 분자생물학적 기법을 활용한 분자분류 및 분자계통 연구가 수행되고 있다.

1. DNA 바코딩

유연관계가 가까운 종이라도 그들이 가지고 있는 유전정보(DNA 서열)에는 뚜렷한 차이가 있다. DNA 분류(DNA 바코딩)는 생물이 가지는 고유 DNA 서열정보를 이용해 생물종을 빠르고 정확하게 식별하고자 하는 것이다. 이때 생물의 유전자 신분증 역할을 하는 것이 DNA 바코드이다(부록 그림 3).



부록 그림 3. DNA 바코딩 원리와 유전자 종류

2. 계통수 작성 및 분기연대 분석을 통한 생물지리학적 연구

계통수는 생물종의 유전적 특징의 차이에 근거하여 유추된 진화적 관계를 보여주는 것이다. 과거에는 몇몇 유전자에 기초하여 생물의 진화를 파악하고자 하였으나, 기술의 발전과 더불어 현재는 지놈(Genome) 수준에서 생물의 진화를 파악하고자 하는 시도가 급격히 증가하고 있다. 생물지리학적 연구는 계통분류, 화석종 증거 및 지질학적 역사에 기반하여 생물 분류군의 기원, 지리적 분포, 환경 적응 등을 유추하고자 하는 연구 분야이다(예제: 부록 그림 4).

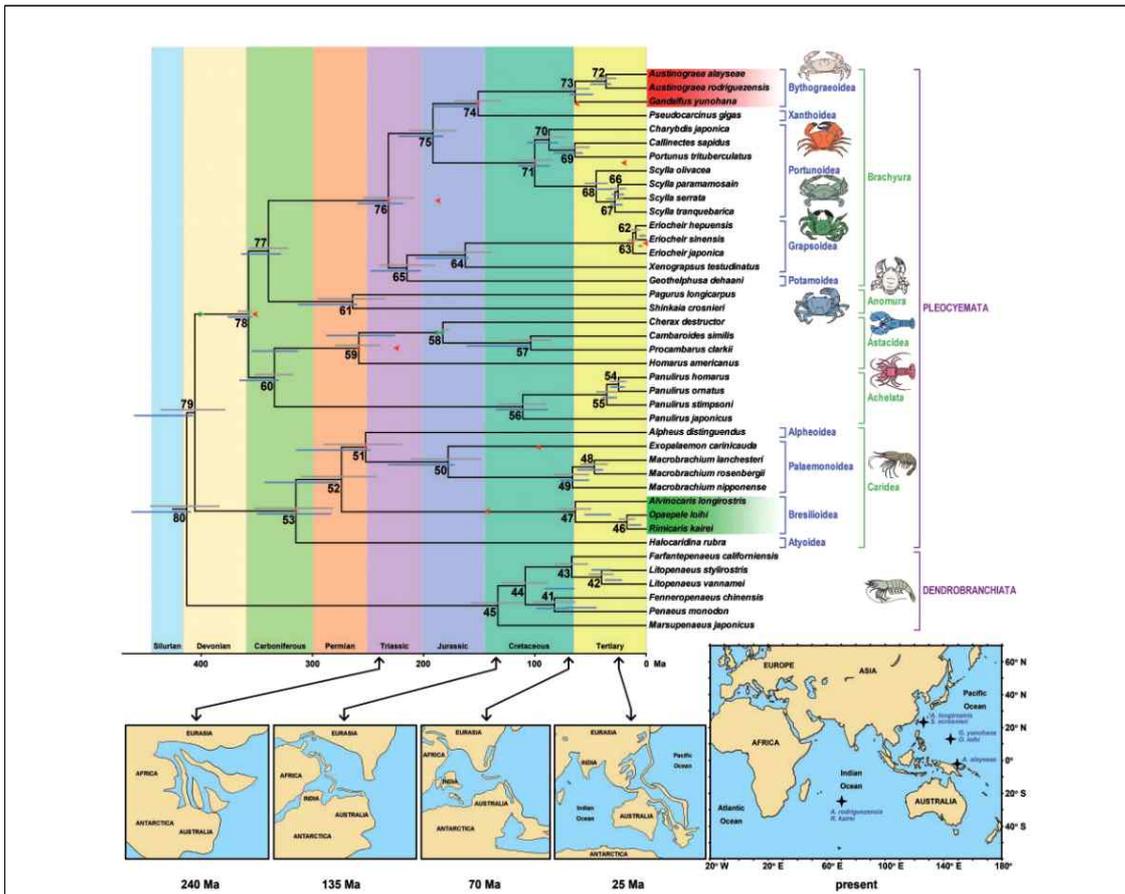


Fig. 1. Chronogram of all decapod mitogenomes identified to date. Estimates are based on tree3 (supplementary fig. S1, Supplementary Material online). Nodes are numbered for use throughout the article. Calibrated nodes are marked with solid circles (red for minimum, green for maximum, and a mix for both constraints), and calibration dates are indicated by arrows. Multidivtime and mcmctree 95% CIs are shown as error bars in gray and light blue, respectively. Time estimates and geological ages are depicted beneath the tree in different colors. Tectonic maps (adapted from Parker and Gealey 1985) describe several representative periods, indicated by double arrows on the time axis, and the current map with the locations of sampling shown on the lower right.

부록 그림 4. 열수 장님게의 열수지역 정착에 관한 연구 가설(Yang et al. 2012).

마. 차세대염기서열분석(Next generation sequencing) 기반 연구

1. 차세대염기서열(NGS)

NGS 기술의 급진적 발달에 따른 기초 연구 목적 외에도 의료계 및 산업계에 서 NGS기법을 이용한 유전체 연구가 활성화되고 있다 (참조: 부록 그림 5).



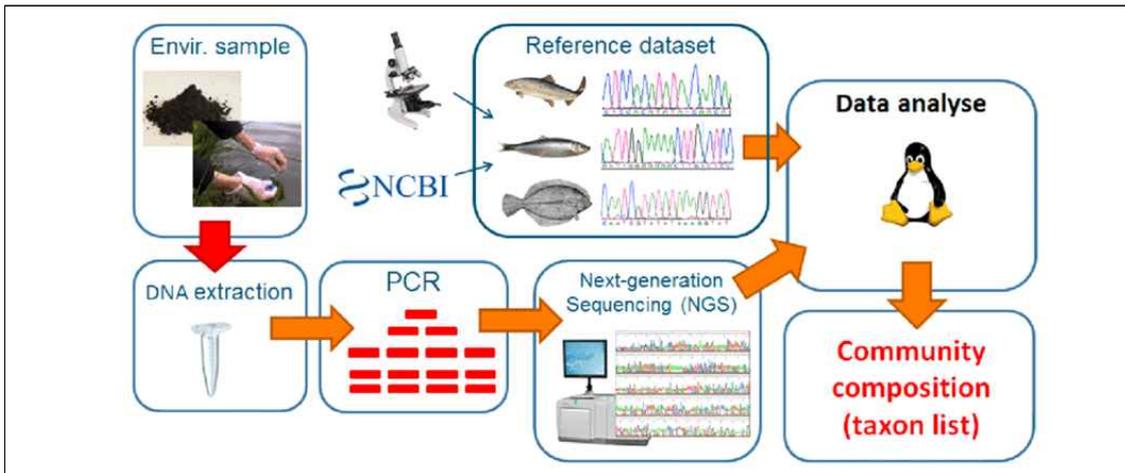
- ✓ 2000년대 중반 개발된 NGS는 초기 short read 기반의 3세대 염기서열 분석 플랫폼에서 long read 기반의 3.5세대 또는 4세대의 분석 플랫폼으로 진화하고 있음
- ✓ NGS 기술의 고도화로 '100달러 개인 게놈'의 시대가 열렸으며, 이를 바탕으로 개인맞춤형 정밀의료의 시대가 올 것으로 추정됨
- ✓ 현재까지 동, 식물에서 중요 모델 식물을 포함한 수천 여종의 표준 유전체에 대한 전체 염기서열 완성 혹은 진행 중이며, 현재까지 약 450여종의 진핵생물 유전체의 표준 유전체 분석 완료
- ✓ 전 세계 생명과학 연구자들의 노력으로 최근에는 한 생명체가 가지고 있는 전체 기능적 요소에 대한 분석을 토대로 종·속간의 비교 유전체 기반 진화 분석을 통해 생명 현상의 기작을 규명하고 이해하는 단계로 나아가고 있음
- ✓ NGS 기술을 생물자원의 유전체 정보 축적 가속화 전망. 또한 그동안의 데이터 생산의 시대에서 양질의 데이터 공유 시대로 변화 추세로서, 국제 실무 위원회에서 데이터 수집·분석·관리·활용을 위한 공적 웹 포털 플랫폼 구축하고 정보공유 및 큐레이션 시스템을 구성함으로써 자료~정보~지식의 선순환 구조를 만들고자 하는 공동 노력 진행 중

2. 유전체 정보 결정

- ✓ 핵산 추출: 각 조직(근육, 아가미, 소화기관 등) 해부 후, 핵산 종류 및 연구 목적에 따라 알맞은 시판용 시약 키트로 추출. 이후 추출물 양이 부족한 경우 또는 실험목적에 따라, 중합효소연쇄반응(PCR), whole genome amplification (WGA) 및 library preparation 수행하며 확보한 유전산물의 quality control (QC) 시행
- ✓ 염기서열 확보 및 QC: 차세대염기서열분석(NGS)을 통해 read 확보 후, fastq_quality_trimming, assembly, translation, blast searching, map to transcriptome, multiple alignment 수행하여 분석용 서열정보 결정

3. 메타바코딩(Metabarcoding)

메타바코딩은 NGS 기법을 이용한 환경시료의 종다양성을 확인하는 연구방법이며, 지구상에 현존하지만 실체를 파악하기 어려운 생물종(작은 크기, 적은 개체수, 배양이 어려운 종 등)에 대해서 DNA 바코드 서열로 확인하고자 한다. 그동안 연구결과를 살펴보면 현미경 관찰을 통해서 확인할 수 있었던 종이 20-50여종 남짓이었다면, 메타바코딩을 통해서는 4-5배 이상의 종추정 서열(Molecular operational taxonomic units, MOTU)이 확인되고 있다(사례연구 결과: 부록 그림 6 참조).



DNA metabarcoding 연구 순서

Table 3. Contribution of each species to average Bray–Curtis similarity (52.58%) within 8 samples from the PFES system.

| Species | Av.Sim. | Contrib. (%) | Cum. (%) |
|--------------------------------------|---------|--------------|----------|
| <i>Zoothamnium duplicatum</i> | 42.03 | 79.93 | 79.93 |
| <i>Aspidisca leptaspis</i> | 3.08 | 5.85 | 85.78 |
| <i>Aspidisca steini</i> | 2.09 | 3.98 | 89.76 |
| <i>Folliculinopsis producta</i> | 1.37 | 2.60 | 92.37 |
| <i>Euploetes minima</i> | 1.13 | 2.15 | 94.52 |
| <i>Amphileptus lionotiformis</i> | 0.58 | 1.10 | 95.62 |
| <i>Holophrya oblonga</i> | 0.36 | 0.68 | 96.30 |
| <i>Diococphalus rotatorius</i> | 0.35 | 0.67 | 96.97 |
| <i>Holosticha braudburyae</i> | 0.27 | 0.51 | 97.47 |
| <i>Litonotus panocygnus</i> | 0.24 | 0.45 | 97.92 |
| <i>Chlamydoxon triquetrus</i> | 0.23 | 0.44 | 98.37 |
| <i>Stichotricha marina</i> | 0.22 | 0.41 | 98.78 |
| <i>Strombidium sulcatum</i> | 0.17 | 0.32 | 99.10 |
| <i>Protogastrostyla pulchra</i> | 0.14 | 0.26 | 99.36 |
| <i>Holosticha diademata</i> | 0.10 | 0.19 | 99.55 |
| <i>Dysteria pusilla</i> | 0.04 | 0.08 | 99.63 |
| <i>Vaginicola crystalline marina</i> | 0.04 | 0.07 | 99.70 |
| <i>Lynidella divonopa</i> | 0.03 | 0.06 | 99.75 |
| <i>Laerzmaria marina</i> | 0.03 | 0.05 | 99.81 |
| <i>Diaphrys appendiculata</i> | 0.03 | 0.05 | 99.86 |
| <i>Dysteria brasiliensis</i> | 0.02 | 0.04 | 99.91 |
| <i>Oxytricha salians</i> | 0.01 | 0.02 | 99.92 |
| <i>Uronychia setigera</i> | 0.01 | 0.02 | 99.94 |
| <i>Holosticha heterofissneri</i> | 0.01 | 0.02 | 99.96 |
| <i>Aegyrina olivis</i> | 0.01 | 0.02 | 99.98 |
| <i>Amphileptus gu</i> | 0.01 | 0.01 | 99.99 |
| <i>Trachelonaphis sp.</i> | 0.01 | 0.01 | 100.00 |

Av. Sim., average similarity; Contrib., contribution; Cum., cumulation; PFES, polyurethane foam enveloped slide.

Table 3. Summary of the sequences and OTUs identified using clone libraries and pyrosequencing with CiliV4-based ciliate-specific or eukaryote universal primers

| | Clone library | | | | Pyrosequencing | | | | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | Specific primer | | Universal primer | | Specific primer | | Universal primer | | | |
| | No. of seq. (%) | No. of OTUs* (%) | No. of seq. (%) | No. of OTUs* (%) | No. of seq. (%) | No. of OTUs* (%) | No. of OTUs** (%) | No. of seq. (%) | No. of OTUs* (%) | No. of OTUs** (%) |
| Ciliate | | | | | | | | | | |
| Litostomatea | 9 (4.7) | 2 (8.7) | | | 41 (1.5) | 13 (2.9) | 10 (5.0) | 7 (0.2) | 2 (0.3) | 2 (0.6) |
| Oligohymenophorea | 4 (2.1) | 2 (8.7) | | | 63 (2.2) | 32 (7.1) | 25 (12.5) | 2 (0.0) | 2 (0.3) | 2 (0.6) |
| Phylopharyngea | | | | | 8 (0.3) | 7 (1.6) | 5 (2.5) | 1 (0.0) | 1 (0.2) | 1 (0.3) |
| Protostomatea | | | | | 71 (2.5) | 29 (6.5) | 21 (10.5) | | | |
| Spirorhchea | 157 (82.6) | 13 (56.5) | 24 (14.5) | 4 (12.1) | 2,587 (92.3) | 350 (78.1) | 126 (63.0) | 488 (11.0) | 53 (9.1) | 32 (9.8) |
| Unidentified ciliates | 10 (5.3) | 2 (8.7) | | | 10 (0.4) | 5 (1.1) | 4 (2.0) | 1 (0.0) | 1 (0.2) | 1 (0.3) |
| Total ciliates | 180 (94.7) | 19 (82.6) | 24 (14.5) | 4 (12.1) | 2,780 (99.2) | 436 (97.3) | 191 (95.5) | 499 (11.3) | 59 (10.2) | 38 (11.7) |
| Non-ciliates | | | | | | | | | | |
| Dinoflagellate | 3 (1.6) | 1 (4.4) | 22 (13.3) | 8 (24.2) | 7 (0.2) | 3 (0.7) | 2 (1.0) | 867 (19.6) | 122 (21.0) | 64 (19.7) |
| Diatom | 3 (1.6) | 2 (8.7) | 21 (12.6) | 5 (15.2) | 6 (0.2) | 3 (0.7) | 3 (1.5) | 2,633 (59.4) | 248 (42.7) | 101 (31.1) |
| Rhizarian | | | 3 (1.8) | 3 (9.1) | | | | 112 (2.5) | 61 (10.5) | 57 (17.5) |
| Metazoan | | | 95 (57.2) | 12 (36.4) | 2 (0.1) | 2 (0.4) | 2 (1.0) | 280 (6.3) | 62 (10.7) | 38 (11.7) |
| Other groups | 4 (2.1) | 1 (4.4) | 1 (0.6) | 1 (3.0) | 8 (0.3) | 4 (0.9) | 2 (1.0) | 40 (0.9) | 29 (5.0) | 27 (8.3) |
| Total non-ciliates | 10 (5.3) | 4 (17.4) | 142 (85.5) | 29 (87.9) | 23 (0.8) | 12 (2.7) | 9 (4.5) | 3,932 (88.7) | 522 (89.8) | 287 (88.3) |
| Total | 190 | 23 | 166 | 33 | 2,803*** | 448 | 200 | 4,431*** | 581 | 325 |

*1% and **3% cutoffs were used for OTU identification.
***180 and 123 reads were excluded from the ciliate-specific and universal data sets, respectively, because these reads were designated as 'Not assigned' or 'No hits' in the analysis with the MEGAN software.

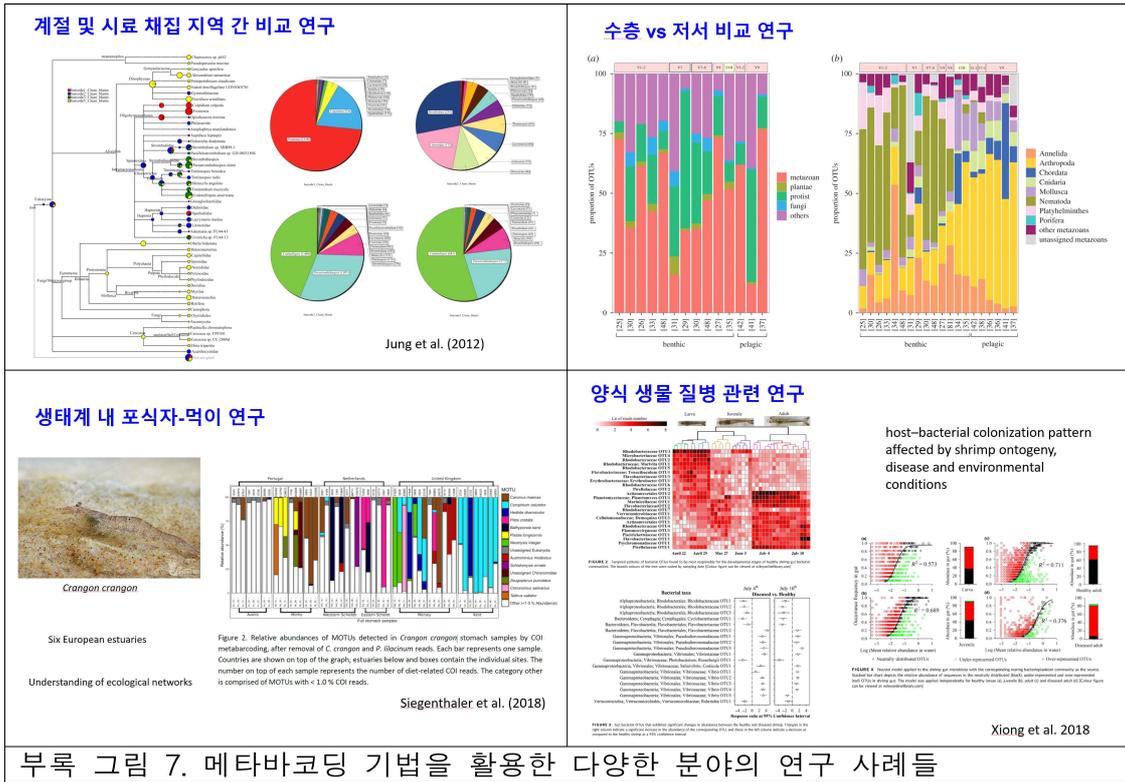
인천 연안에서 현미경 관찰로 확인한 섬모충류 27종(Xu et al. 2009)

인천 연안에서 메타바코딩을 이용해서 확인한 섬모충류의 종수. MOTU 기준을 3%로 했을 때 191종 추정 (Jung et al. 2012)

부록 그림 6. 메타바코딩 연구 절차와 연구결과 사례 1

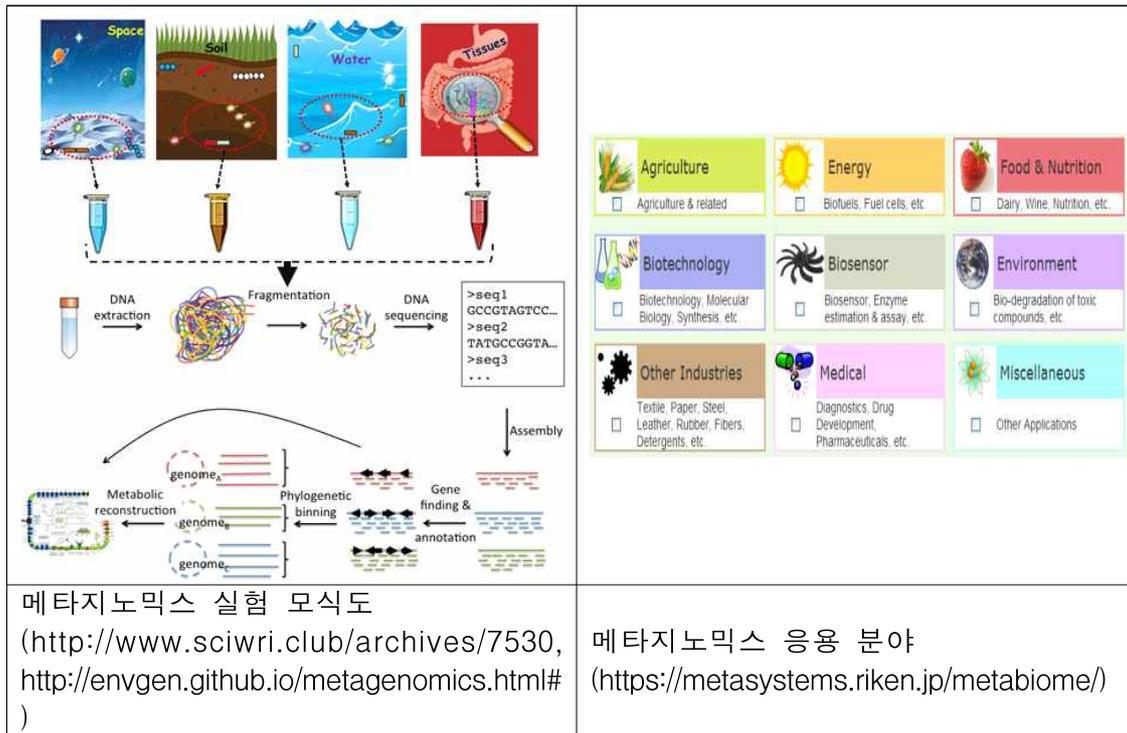
- ✓ 그러나 메타바코딩 기법으로 확보한 서열정보 분석의 정확성 및 활용성을 향상시키기 위해선 양질의 참조서열 DB(reference sequences database) 구축이 선행되어야 한다. 이를 위해선 먼저 국·내외 형태분류 전문가에 의해 정확한 종 동정이 수행되어야 하며, 이렇게 종명이 확정된 시료에서 참조서열을 얻어, 분류군별 표준화 작업이 진행된 양질의 sequences 가 확보되어야 한다.
- ✓ reference sequences database 구축은 현장에 있는 모든 생물종을 대상으로 만드는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 연구 목적/지역에 알맞은 생물종을 선정하여 database를 구축하는 것이 실질적인 자연현상 이해에 도움

이 될 것으로 판단된다(부록 그림 7).



4. 메타지노믹스(Metagenomics)

메타지노믹스는 환경시료로부터 얻은 핵산(nucleic acids) 추출물로부터 전체 서열정보를 확보한 다음, 생정보분석(bioinformatics)을 이용하여 전장유전체 및 유용유전자를 발굴하는 연구방법이다. 배양이 어려운 미소생물군(주로 박테리아)을 대상으로 계통/진화론적 연구뿐 아니라 기능유전자, 산업분야 응용까지 활용되고 있다.



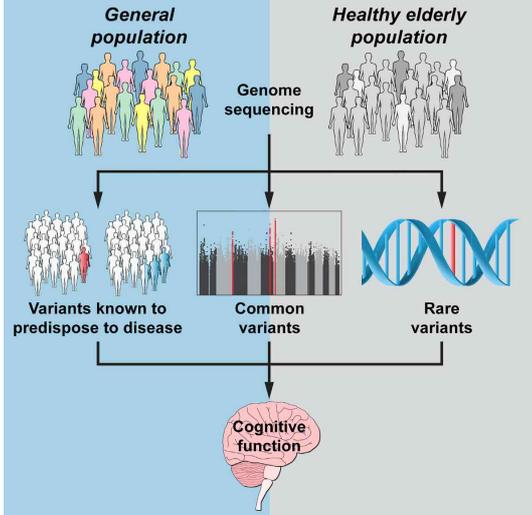
부록 그림 8. 다양한 환경에서의 메타지노믹스 연구 활용과 활용 분야

마. 유전체 기반 응용·활용 연구 및 신규 유용생물자원탐색

1. 전장유전체분석(Whole genome Sequencing: WGS)

지구 생명체 진화에 대한 우리의 이해를 높이고, 생물다양성을 보호하여, 인류 복지 향상을 위해 시작된 WGS 연구는 Human Genome Project를 시작으로 현재는 지구상의 모든 진핵생물에 대한 유전체 정보를 확보하기 위한 Earth Biogenome Project(<https://www.earthbiogenome.org/>)로 이어지고 있다(부록 그림 9). 우리나라는 2014년부터 포스트게놈 다부처유전체사업을 통해 WGS 연구를 지원하고 있다.

- ✓ 유전체 기반 응용연구가 가장 활발하게 이루어지고 있는 질병진단/개인맞춤형의료 분야의 연구 방향(방법론 포함)을 살펴, 환경변화-생물 상호작용에 관한 연구 분야에 적용할 필요가 있다.

| | |
|--|--|
| <p>Earth BioGenome Project Aims to Sequence DNA From All Complex Life</p> <p>By Lisa Howard on April 23, 2018 in Science & Technology</p>  <p><small>The Earth BioGenome Project aims to sequence the DNA of all known eukaryotic species on Earth, a massive group that includes plants, animals, fungi and other organisms. Image credit: Juan Carlos Castilla-Rubio of Space Time Ventures.</small></p> |  |
| <p>Earth Biogenome Project (https://www.ucdavis.edu/news/earth-biogenome-project-aims-sequence-dna-all-complex-life/)</p> | <p>WGS 연구를 통한 개인맞춤형 질병진단 연구 사례(Erikson et al., 2016)</p> |

부록 그림 9. 지구 지놈프로젝트와 전장유전체 연구를 활용한 사례

2. 전사체 분석 (Transcriptom analysis)

전사체 분석은 유전자들의 기능을 총체적인 네트워크로 이해하기 위한 연구 방법으로 세포/개체/집단 단위에서 세포 분화 및 생체반응을 파악하는데 이용된다. 이를 위해서 transcript counting, 유전자발현차이(DGE), 주성분분석(PCA) 등을 수행하여 관심요인(환경 또는 생물종 등)에 따른 transcript profile 구성한 후, reverse transcription-quantitative PCR 을 통해 관심 유전자 발현 재검증 후, 시각화 및 Network 분석 등 수행이 요구된다. 기존 전사체 연구는 모델생물을 대상으로 한 경우가 대다수이며, 최근 들어 비모델생물을 대상으로 한 연구가 증가하는 추세이다. 이 과정을 통해서 인류 복지 향상 및 산업화 가능한 유용한 물질이 발굴되기를 기대하고 있다. 그러나 환경-생물 분야에서 현재는 주요 발현 전사체 동정 및 발현양 비교 등 기초 연구단계이다 (부록 그림 10).

- ✓ 향후 실제 발굴 유용물질을 활용하기 위해선 우선적으로 안정적인 생물 배양 시스템이 구축해야 하고, 분자생물학적 분석/생물정보학적 분석/형질전환체 분석/유전학적 분석 등을 통해 대상 유용물질에 대한 종합적인 이해를 높여야 하며, 산업화를 위한 표준생산 방법론 등 정립이 요구된다.

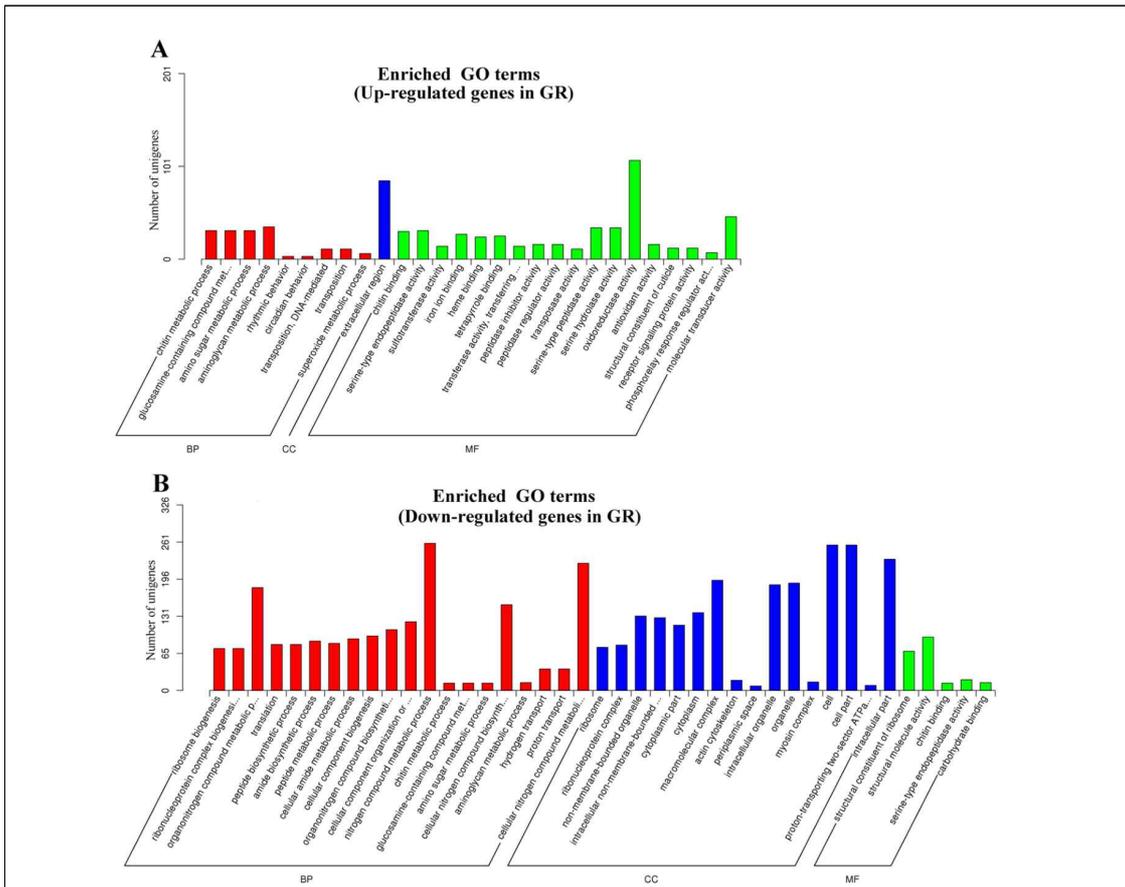


Figure 4. GO enrichment analysis of differential expressed genes (DEGs) compared to the whole transcriptome background. Upregulated DEGs (A) and downregulated DEGs (B) in GR samples with GO IDs that were categorized into three main categories shown in different colors: biological process (BP, red), cellular component (CC, blue), and molecular function (MF, green).

열수지역 채집 후, 선상에서 바로 전사체분석을 위한 처리한 시료와 실험실에서 10일간 유지한 시료 사이의 유전자발현 양상 차이 비교 결과(Zhang et al. 2017)

부록 그림 10. 열수생물을 대상으로한 전사체 분석(유전자 발현 비교) 연구 사례

바. 참고문헌

- Ogawa A et al. 2016 Effect of Silver or Copper Nanoparticles- Dispersed Silane Coatings on Biofilm Formation in Cooling Water Systems. *Materials* 9(8): 632.
- Jung JH et al. 2012. Development of Single-Nucleotide Polymorphism (SNP)-Based Phylum-Specific PCR Amplification Technique: Application to the Community Analysis Using Ciliates as a Reference Organism. *Molecules and Cells* 34(4): 383-391.
- Xu H et al. 2009. An approach to analyses of periphytic ciliate communities

for monitoring water quality using a modified artificial substrate in Korean coastal waters. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 89(4): 669–679.

Yang JS et al. 2012. When Did Decapods Invade Hydrothermal Vents? Clues from the Western Pacific and Indian Oceans. *Molecular Biology and Evolution* 30(2): 305–309.

Erikson GA et al., 2016, Whole-Genome Sequencing of a Healthy Aging Cohort. *Cell* 165:1002–1011

Zhang J et al. 2017. Comparative transcriptome analysis of *Rimicaris* sp. reveals novel molecular features associated with survival in deep-sea hydrothermal vent. *Scientific Reports*. 7: 2000.