

해양바이오자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사사업 기획연구

전략목표 2. 전략해양자원개발

2018. 12.

수행기관:



제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “해양바이오자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사사업 기획 연구” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

2018년 12월

연구수행기관 : 한국해양과학기술원
연구책임자 : 지상범
참여연구원 : 강도형, 강성균, 고영탁, 권개경, 김형직,
노충환, 박용주, 유찬민, 이연주, 이희승,
장덕희, 주세종, 한택희, 형기성
(가나다 순)

외부참여연구원:

요 약 문

I. 제 목

해양바이오자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사사업 기획연구

II. 연구목표 및 개요

1. 연구목표

- “해양바이오자원 개발 및 미개척 대양 신자원 개발”의 체계적 추진을 위해 필요한 정보를 제공하고 전략을 수립하여 분야별 연구과제 설정 및 기술개발 이정표 제시
- 각 연구과제별 기술동향 분석 및 수요 예측을 통한 사업 체계 구축

2. 연구기간

2018. 08. 01 ~ 2018. 12. 31

III. 내용 및 결과

전 세계적인 과학기술의 발전과 육상자원의 고갈로 희유금속의 자원 무기화 및 바이오소재 확보에 대한 필요성에 따라 신해양자원 개발과 관련하여 새로운 국제법규들이 만들어지고 있으며, 이에 각국은 신해양자원 선점을 위해 국가 간 경쟁 심화와 대양탐사활동이 획기적으로 증가하고 있는 실정이다. 이러한 급변하는 국제상황에서 해양바이오자원 및 미개척 대양 신자원의 조기 개발을 통해 관련기술을 선점하고, 국가 해양수산발전에 능동적으로 대처할 필요성이 제기됨으로 한국해양과학기술원은 이사부호 취항('16)을 계기로 해양수산과학기술 육성 기본계획('18)에 “글로벌 대양탐사 프로젝트”를 우리 원 대표과제로 제시하였다.

본 연구는 한국해양과학기술원 연구 성과 계획서('19~'22)에 포함되어 있는 전략목표 2. 해양 전략자원 개발을 성공적으로 달성하기 위해 필요한 연구 사업을 도출하고자 추진하였다. 따라서 전략목표 2. “해양바이오자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사사업” 연구의 체계적 추진을 위해 필요한 정보를 제공하고 성과목표별 기술개발 이정표를 제시하기 위해 수행되었으며, 과제에 수행한 필요한 연구 분야(해양생물·유전자원 활용기술 개발, 전략광물자원 개발역량확보, 대양·극한지 탐사와 신자원 발굴)의 동향을 분석하고 4개의 세부연구과제 1) 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발, 2) 해양바이오 기반 청정 기

능성·산업소재 대량생산 기술 개발, 3) 해저광물자원개발 선광 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구, 4) 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보를 도출하여 각 과제의 연구개발 목표 및 내용을 설정하고 과제제안서를 작성하였다.

○○ 목 차 ○○

목 차	vii
표 목 차	xi
그림목차	xii
제 1 장 추진 개요	1
제 1 절 기획연구 배경 및 필요성	3
1. 기획연구 배경	3
2. 기획연구 필요성	4
제 2 절 기획의 목표 및 범위	6
1. 기획의 목표	6
2. 기획의 범위	6
제 2 장 환경 분석	7
제 1 절 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 관련 동향	9
1. 국내 동향	9
2. 국외 동향	10
제 2 절 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 관련 동향	12
1. 국내 동향	12
2. 국외 동향	13
제 3 절 해저광물자원개발 잔류물의 처리기술 관련 동향	15
1. 국내 동향	15

2. 국외 동향	15
제 4 절 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보 관련 동향 ...	17
1. 국내 동향	17
2. 국외 동향	17
제 3 장 추진 전략	19
제 1 절 비전 및 목표 수립	21
제 2 절 주요 추진 내용	22
1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가기술 개발 ...	22
2. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 개발	23
3. 해저광물자원개발 선광 잔류물의 환경 친화적 저감/처리기술 연구 ...	23
4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보	24
제 3 절 추진 체계	25
제 4 절 기술로드맵	27
1. 총괄 기술로드맵	27
2. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발 ...	28
3. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 개발	28
4. 해저광물자원개발 선광잔류물의 환경 친화적 저감/처리기술 연구 ...	30
5. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보	31
제 5 절 성과지표	32
1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가기술 개발 ...	32
2. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 개발	33
3. 해저광물자원개발 선광잔류물의 환경 친화적 저감/처리기술 연구 ...	34
4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보	35

제 6 절 연차별 추진목표 및 지표 36

1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발 ... 36
2. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술개발 37
3. 해저광물자원개발 선풍잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구 ...38
4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보38

제 4 장 사업추진의 타당성 분석 39

제 1 절 정책적 타당성 41

1. 정책성 평가 41
2. 해양과기원 고유기능 발전과의 연관성..... 41
3. 국가차원의 연구개발 필요성..... 42

제 2 절 기술적 타당성 43

1. 과학기술적 타당성 43

제 3 절 경제적 타당성 44

1. 타당성 분석 44

제 5 장 기대효과 및 향후 활용방안 47

제 1 절 기대 효과 49

1. 해양생물·유전자원 활용기술 개발 49
2. 전략광물자원 개발역량 확보 49
3. 대양·극한지 탐사와 신자원 발굴 50

제 2 절 향후 활용방안 51

1. 해양생물·유전자원 활용기술 개발 51

2. 전략광물자원 개발역량 확보	51
3. 대양·극한지 탐사와 신자원 발굴	51
제 6 장 과제제안요구서 (RFP)	53
1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발 ...	56
2. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 개발	64
3. 해저광물자원개발 선광 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구	71
4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보	76

□□ 표 목 차 □□

표 3-1. 연구사업의 추진체계 및 참여부서	26
표 3-2. 총괄 기술로드맵	27
표 3-3. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 로드맵···	29
표 3-4. 해양바이오 기반 청정기능성·산업소재 대량생산 기술 개발 로드맵	29
표 3-5. 해저광물자원개발 선광 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구 로드맵	30
표 3-6. 대양 생물다양성 이해와 신해양자원 확보 로드맵	31
표 4-1. 성과목표 별 예산계획안	44

□□ 그림목차 □□

그림 3-1. 사업의 미션, 비전과 전략목표	21
그림 6-1. 해양바이오·전략광물자원 개발 및 대양 신자원 탐사 목표.....	55

제 1 장

추진 개요

제 1 절 기획연구 배경 및 필요성

1. 기획연구 배경

- ‘한국해양과학기술원 2018-2022 연구 성과 계획서’에 제시된 전략목표 2. ‘해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사’의 3가지 성과목표는 첫째 ‘해양생물·유전자원 활용기술 개발’, 둘째 ‘전략광물자원 개발 역량확보’, 셋째 ‘대양·극한지 탐사와 신자원 발굴’로 선정되었음.
- 성과목표 2-1. ‘해양생물·유전자원 활용기술 개발’의 주요 분야로 1) ‘생리활성 성분(생물독, 천연물) 발굴·분석 기술 개발’의 달성을 위해 제시된 세부 성과목표(마비성 패독 생산·분석 기술연구, 활성 천연물 분리와 규명, 활성 천연물 생합성 경로 규명과 이형발현 조건 탐색, 생체분자 탐지용 형광센서 도출)를 포괄하는 연구개발 사업이 필요하며, 2) ‘청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 개발’의 달성을 위해 해양미생물을 활용한 가스발효 공정, 고염성 해양생물 유래 기능성 유효성분 생산/추출 공정, 냉수성 무척추동물의 수층공간이용 복합생물자원개발을 포괄하는 연구개발 사업 마련이 요구됨.
- 성과목표 2-2. ‘전략광물자원 개발 역량확보’의 달성을 위해 선광잔류물 오염물질 특성 규명, 생물·환경 위해성 평가, 환경영향을 최소화하기 위한 선광 및 처리·저감 후보기술 도출, 잔류물 관리규정 제정 대응을 포괄하는 연구개발 사업 마련이 요구되며, 2020년 제정될 국제해저기구의 심해저광물자원 개발규칙 초안에 선상 발생 선광잔류물 관리에 대한 규정 포함 계획에 따라 선제적 대응을 위해 국제적으로 개발되지 않은 선광 잔류물의 배출에 따른 환경영향평가 및 저감기술 개발을 통한 기술 선점의 기회임.
- 성과목표 2-3. ‘대양·극한지 탐사와 신자원 발굴’의 달성을 위해 대양에서 부유 및 저서생물의 종/유전적 다양성과 주요 생물종의 유전적 연결성을 통해 생물 지리적 분포 이해, 그리고 공해상에 분포하는 대양저희유금속 함유 퇴적물의 기초 품위 자료 구축 및 광역적 자원 잠재성 파악을 내용으로 하는 대양탐사연구과제 마련이 요구됨.

2. 기획연구 필요성

- ‘제2차 해양수산발전기본계획(2011-2020)’은 지구온난화로 인한 해양생태계 교란 발생에 주목함과 동시에 해양과학기술을 이용한 유망 신산업의 발굴에도 관심을 보이고 있음. 생리활성 천연물과 생물독 연구는 제시된 5대 추진전략 중 ‘신성장 동력 창출을 위한 해양과학기술 개발’을 위한 ‘해양자원개발 해양생물, 유전자원 개발’, ‘국내외 다양한 생물소재 탐색 및 유전자원 발굴’에 해당함.
- 최근 심해저광물자원의 시험채광과 양광이 성공적으로 이루어짐으로써 상업개발이 임박하여 국제해저기구는 2020년 제정될 심해저광물자원 개발규칙 초안에 선상 발생 선광잔류물 관리에 대한 규정 포함 계획으로 국제적으로 아직 개발되지 않은 선광 잔류물의 배출에 따른 환경영향평가 및 저감기술 개발로 국제적 기술선도의 기회.
- 한국해양과학기술원에서 수행되었던 POSEIDON 사업, ‘인도양 심해열수공 생명현상 규명’ 과제 등은 지속성을 가진 브랜드 과제로 정착치 못하여 결과물의 국제사회 기여 미흡함으로 이를 개선하여 구축된 대형 인프라를 활용하여 국가와 국제사회의 기대에 부응하고 대양연구역량 강화를 위한 프로그램 개발 필요.

가. 기술적 중요성

- 미개척 해양의 체계적인 탐사를 통한 해양생물·유전자원 확보, 활용기술을 개발을 통해 의약, 식량·식품, 산업 소재 개발.
- 해양생물·유전자원 활용성 제고를 위한 우리원 보유 관련 인프라(생물대량 배양·생산)의 통합 관리·운영.
- 해저광물자원 선광잔류물 연구는 국제해저기구의 요구뿐 아니라 전 지구적 환경보전 프로그램과 밀접한 연계가 필수적이기 때문에 친환경 기술개발을 급격히 발전시킬 수 있는 원동력 제공.
- 대양광물자원 탐사를 통한 4차 산업혁명에 필수적인 희유금속 자원 확보 및 개발을 위한 광역 기초자료 확보.

나. 경제/산업적 중요성

- 기후변화 협정, 생물자원 주권화 등에 대응하고 바이오 분야의 국가 경쟁력을 제고하기 위해 해양생물자원 발굴·개발기술에 지속적 투자 필요.
- 우리원 보유 해양생물자원 개발 및 이용기술의 고도화를 통한 지역(마이크로네시아, 울릉도 등) 요구에 부응.
- 광물자원개발기술의 공백(친환경 선풍 및 잔류물 처리/저감기술)을 극복함으로써 전략금속자원의 장기적이고 안정적인 자원수급에 기여하고 국가산업발전을 선도.
- 해양에서 희토류자원 개발 시 중국과 일본에 과도하게 의존하고 있는 희토류 공급원의 다양화가 가능하며, 안정적인 희유금속 확보가 가능.

다. 사회/문화적 중요성

- 체계적 해양생명공학 연구를 통한 해양생물자원 중요성에 대한 국민인식 제고 및 글로벌 해양바이오 경쟁력 확보.
- 국내외 해양식량자원 개발기술 전파 및 생산실증을 통한 우리원의 역할 제고.
- 새로운 산업영역 개척이라는 국가정책목표를 달성하고 확보된 기술을 타 분야로 파급시킴으로써 국가과학기술력 강화.
- 대양탐사·기술 고도화를 통한 국가위상 제고.

제 2 절 기획의 목표 및 범위

1. 기획의 목표

- “해양바이오자원 개발 및 미개척 대양 신자원 개발”의 체계적 추진을 위해 필요한 정보를 제공하고 전략을 수립하여 분야별 연구과제 설정 및 기술개발 이정표 제시.
- 각 연구과제별 기술동향 분석 및 수요 예측을 통한 사업 체계 구축.

2. 기획의 범위

- 해양생물·유전자원 활용기술 개발 방안 도출을 위해 해양유래 생리활성 성분(생물독, 천연물) 발굴·분석기술 개발, 해양 생물자원·소재 대량배양·생산기술 개발, 기능성 소재 개발이 포함된 연구수행이 요구됨.
- 해저광물자원개발 잔류물 환경 친화 처리 방안 도출을 위해 해저광물자원 선광 잔류물 내 오염물질 처리·저감기술 확보 내용의 연구수행이 요구됨.
- 대양 신자원 탐사전략 수립을 위해 지구조 특성에 따른 대양 희유금속 자원 잠재성 평가와 극한환경 심해생물자원 확보와 활용기반 구축이 연계된 과제수행이 요구됨.

제 2 장

환경 분석

제 1 절 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 관련 동향

1. 국내 동향

가. 생리활성 천연물 연구 개발 현황

- 의약품으로서의 천연물 연구개발의 경우 국내 제약사들을 중심으로 글로벌 진출이 모색되고 있음. 이미 국내에서 시판되고 있는 스티렌, 신바로, 조인스 등 이외에도 동아에스티와 영진약품 등에서 신약 승인 취득을 목표로 천연물 신약 개발 연구를 진행 중. 이들 모두 육상식물 추출물로서 혼합물 형태의 천연물을 개발하는 형태인데, 이는 유효 단일 성분의 신약 승인이 대부분인 글로벌 시장 진출에 있어 큰 걸림돌로 작용할 가능성이 높음.
- 해양생물 추출물이나 이로부터 분리된 단일 성분으로부터 의약품이 본격적으로 개발된 예는 국내에서 찾기 힘들지만, 특정 지표 물질을 함유하는 해조류, 미세조류 추출물을 활용하여 기능성 식품, 화장품 등을 개발하는 연구가 활발하게 진행되고 있음. 다양한 생물로부터 여러 기능의 지표물질과 활성 단일 성분을 지속적으로 발굴하는 것이 필요한 상황.

나. 해양 생물독 분석과 생산 연구 현황

- 독성천연물은 자연계에 매우 소량으로 존재하기 때문에 확보에 대한 어려움이 있고, 대량생산은 인위적인 생산에 의존해야 함. 군산대에서 미세조류 대량배양을 통해 설사성 패류독소로 알려진 펙테노톡신 계열의 해양독을 200 mg 규모로 생산함. 그러나 독성이 가장 강한 알칼로이드 계열의 독성 천연물은 연구가 전무함.
- 국내 해양 생물독의 생물독성평가는 주로 MBA(마우스 독성평가법)를 활용하여 이루어지고 있음. 토끼 혈소판의 응집현상을 이용한 일부 해양 생물독의 독성측정과 개구리 방광막을 이용한 패독, 복어독 등의 독성측정이 시도된 바 있으나 여전히 고등생물을 이용한 윤리적 문제가 존재함.
- 마비성 패독의 발생은 수산물 소비에 영향을 미치기 때문에, 국립수산과학원에서는 MBA로 이를 모니터링하고 있으나, 이는 독성의 세기에 대한 정보만 제공함. 마비성 패독의 정성, 정량 분석은 HPLC(고성능 액체 크로마토그래피)에서 표준물질과 시료사이의 용출시간 비교를 통해 이루어짐. 마비성 패독에는 총 58개의 유도체가 있어 복잡한 패턴을 보이며, HPLC-FLD (Fluorescence detector)를 이

용하는 특수한 방법(Post-column oxidation)을 이용해 정성, 정량 분석이 가능.

- 마비성 패독은 패류의 먹이원인 유독 플랑크톤의 종류와 섭취량에 의해 결정. 우리나라 연안에서 다양한 유독 플랑크톤이 출현하여 이들의 생리, 생태적 특성에 관해서는 많은 연구가 진행되었으나, 마비성 패독의 원인 종이나 생산에 관여하는 환경 조건은 규명되지 않음.

다. 천연물 기반 기능성 형광소재 연구 현황

- 형광프로브, 형광 화학센서 연구개발은 생명공학과 진단의학 분야에서 매우 활발하게 이루어지고 있으며, 실제 시장에서 구입 가능한 상품으로 개발된 물질이 다수 존재함. 그러나 해양과학 분야에서 형광화학센서 기술은 아직 도입 단계로 국가별 기술격차가 크지 않기 때문에 과감한 투자와 이를 통한 기술적 선점을 통해 해당 분야의 선도가 가능.

2. 국외 동향

가. 생리활성 해양 천연물 연구 개발 현황

- 지속적인 생리활성 천연물의 발굴과 함께 해양 천연물 개발에 있어 치명적인 한계로 작용해온 물질량 확보의 문제를 해결하기 위한 생합성 연구가 확대되고 있는 추세에 있음. 특히 미생물이나 동물 전생체의 유전자 염기서열로부터 천연물 생합성과 관련된 유전자군을 찾아 이를 이형발현에 활용하는 연구가 증가하고 있음.
- NCI (미국, National Cancer Institute)의 전임상 세포독성 측정 검색을 활용한 암세포 억제 물질 확인 연구에서 육상 천연물은 0.1%, 해양천연물은 1%가 연구개발 가치가 있음이 확인됨. 특히 해면 등의 해양동물은 세포독성 물질의 발견 비율이 2%에 육박하여, 육상생물이나 해양식물, 미생물에 비해 월등한 것으로 확인됨.
- NCI의 경우 천연물 연구개발 초기 단계(Decison Network IIA)에서 화합물 지속/대량 확보가 가능한지를 심사하는데, 해양 천연물의 경우 이 단계에서 개발이 좌절되는 경우가 대부분. 천연물 대량 생산을 가능하게 하는 기반 기술이 확립될 경우 해양 천연물의 개발 가능성이 폭발적으로 증가할 것으로 예상됨.

나. 해양 생물독 분석과 생산 연구 현황

- 독성 천연물의 확보에 가장 선도적인 연구기관은 캐나다 NRC(National Research Council)로서, 자세한 연구내용은 알려져 있지 않으나, 미세조류로부터 여러 독성 천연물을 분리, 확보, 보급하고 있음. 또한 가장 독성이 강한 마비성 패독의 분석과 확보는 미국, 일본이 선도하고 있으며, 화학적인 생산을 통해 의약산업소재로서 평가가 가능할 만큼의 양이 생산되고 있음.
- 마비성 패독으로 인해 피해가 발생한 미국, 노르웨이, 뉴질랜드, 일본 등에서는 패독의 원인종인 와편모 조류와 패류독화의 상관관계를 규명하기 위해 연구(독이 생산되는 환경조건 탐색)를 수행하고 있음.
- 미국, 유럽 등에서, MBA 대체 독성평가 연구를 위해 다양한 해양생물독에 대해 척추/무척추동물, 미세조류 및 미생물의 생태적 엔드포인트를 조사하여 연구한 바 있고 특히 최근 배양세포를 이용한 시험관(in vitro)분석법이 주목받고 있으나 다른 독성물질에 대한 동일반응의 한계성으로 정확성이 낮아 실용화되기는 어려운 상황임.

다. 천연물 기반 기능성 형광소재 연구 현황

- 해양미생물 *Epicoccum nigrum*로부터 분리된 천연형광물질 에피코코논(epicocconone)은 2003년 미국화학회지에 최초 보고된 이래 약 5년 정도의 짧은 상품화 과정을 거쳐 ‘FluoroProfile’ 이라는 상품명(시그마 알드리치, 단백질 정량 키트)으로 성공적인 시장진입을 했음. 이는 10년 이상의 연구개발 기간과 막대한 투자비용 그리고 높은 실패율을 보이는 신약개발연구와 비교되는 좋은 성공사례이며, 해양생물자원을 활용한 연구개발이 의약품개발과 더불어 유용소재개발이라는 투트랙 전략을 구사해야 하는 당위성을 제공하고 있음.

제 2 절 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 관련 동향

1. 국내 동향

가. 가스전환 플랫폼 현황

- 新기후체제 출범(파리협정)에 따라 ‘9대 국가전략 프로젝트’에 탄소자원화 분야를 선정하고 미래부에서는 탄소자원화(CCU) 발전전략 마련하고 국가과학기술자문회의에 보고(‘16.04.)
- 중점 추진 전략 3대분야로 1) 탄소자원화 전주기 기술개발, 2) 탄소자원화 시범단지 구축, 3) 탄소자원화 생태계 조성을 선정.
- 탄소자원화 전주기 기술개발 내용으로 1) 부생가스(CO, CH₄) 전환, 2) 이산화탄소 광물화, 3) 이산화탄소 전환 등의 원천·상용화 기술을 포함.

나. 고염성 해양생물자원 대량배양/활용 기술 현황

- 해양미세조류인 듀나리엘라(Dunaliella sp.)는 고염 스트레스에 의해 지질(lipid)의 생산량이 70%이상 증가.
- 미세조류 및 해조류가 고염 환경 조건에 노출되었을 때 산화스트레스가 유발되고 이로 인해 항산화 물질이 증가(Dunaliella tertiolecta, Cladophora glomerata, Enteromorpha ahlnneriana, Ulva prolifera 등)

다. 냉수성 무척추동물의 수층공간이용 복합생물자원 개발 현황

- 수층공간을 이용한 양식은 동해안에서 참가리비 및 우렁챙이 양식에 일부 적용되고 있으나, 동해안 특성상 먹이생물부족, 부착생물 대량발생, 냉수괴 형성 등으로 인하여 생산량이 매우 저조함.
- 대수심 수층공간 활용 양식은 현재 속초에서 연어 양식이 진행되고 있으나 임계수온의 문제, 연평균 수온, 유지관리 문제 등의 성장 저해요소로 인하여 경쟁력 상실.
- 국내의 미세조류생산현황은 패류종묘 생산장에서 일부 종보존을 통하여 생산되고 있으나 대량생산 시스템 개발의 부재로 인하여 배양실 규모 정도의 생산에 그치고 있는 실정임.

- 남해안의 경우는 어패류 양성을 위한 대수심 수층공간 이용기술은 사례가 없음.

2. 국외 동향

가. 가스전환 플랫폼

- 광합성생물을 활용한 탄소전환기술에 더하여 최근에는 비광합성 독립영양미생물을 발굴하고 이들을 이용한 탄소전환(발효), 개량 연구가 급격하게 증가하고 있음.
- 미국 DOE에서는 비광합성미생물을 플랫폼으로 가스이용 바이오연료를 생산하는 연구 진행.
- 빠른 탄소 고정능력을 가지고 있는 *Acetobacterium woodii* 등의 경우 이산화탄소와 수소 이용 아세트산 생산성(최대 35 ~ 43 g/L, 단위부피당 생산성: 0.18 ~ 0.24 g/L/h) 보고.
- 최근 오믹스 분석 기술과 합성생물학/대사공학기술은 우수 균주의 개량을 통한 기능 향상의 핵심 기술로 부각되고 있음.
- Lanzatech, 독일 Evonik 케미칼 등이 산업 폐가스이용 소재 생산사례보고.

나. 고염성 해양생물자원 대량배양/활용 기술

- 해양미세조류인 듀나리엘라(*Dunaliella* sp.)는 고염 스트레스에 의해 지질(lipid)의 생산량이 70%이상 증가.
- 미세조류 및 해조류가 고염 환경 조건에 노출되었을 때 산화스트레스가 유발되고 이로 인해 항산화 물질이 증가(*Dunaliella tertiolecta*, *Cladophora glomerata*, *Enteromorpha ahlneriana*, *Ulva prolifera* 등)

다. 냉수성 무척추동물의 수층공간이용 복합생물자원개발

- OECD 수산위원회에서는 환경변화에 대응한 생태계 기반 어업관리를 권고하고, 수산 선진국에서는 먹이생물, 체장변화 등 생태조사를 강화하고 있음. 특히 노르웨이, 유럽, 미국 등은 수산생물 가이드라인에 따라 자원조사의 빈도와 범위를 지속적으로 확대하고 있음.
- 미국과학재단은 MariCal사가 기존의 함유된 중금속에 의하여 부착생물이

치사 되는 방지제에서 독성이 없는 대체 물질을 개발하고 있음.

- 표층식/중층식 어장시설 중 가장 우수하다고 평가받고 있는 제품인 폴라 씨클 가두리(Polarcirkel cage, AKVA Co.)는 현재 유럽에서 가장 많이 사용되고 있음.
- 국외에서도 국내와 같이 수층공간을 다각화하여 어·패류를 양성하는 사례는 없음.
- 유럽에서는 양식 강국인 노르웨이·스웨덴·영국 등의 북유럽 국가와 지중해 연안국이 활발하게 표·중층 외해양식어업을 추진하고 있음. 특히, 유럽연합 차원에서 외해양식기술연구그룹(Offshore Aquaculture Technology Platform)을 결성하여 외해양식과 관련된 연구를 수행하고 있음.
- 프랑스나 호주의 경우 저염/고염 미세조류를 대량생산하여 먹이생물 및 기능성 소재로서 상업생산 중임.

제 3 절 해저광물자원개발 잔류물의 처리기술 관련 동향

1. 국내 동향

가. 대한민국 해저광물자원 탐사권 확보 및 개발단계 진입 노력

- 공해/도서국 배타적 경제수역 내 총 5개 지역에서 망간단괴, 해저열수광상 및 망간각 광구 탐사권을 확보.
- 2017년 심해저광물 개발에 대한 국내법을 발의, 향후 상업적 개발을 통한 미래 안정적 전략금속 공급원 확보 추진.

나. 관련 기술동향

- 육상광상개발로 인한 피해 저감, 환경영향 최소화 기술 및 정책 개발 중(한국광해관리공단)
- 해양폐기물에 대한 생물독성시험이 채택되어 있으며, 다양한 광업폐기물의 생물종에 대한 독성평가 연구결과 제시됨.
- 해양 유해물질의 거동과악 기술이 확립되어 있으며, 해양 물리변수가 확보될 시 선광 잔류물의 이동-확산 예측이 가능.
- 심해저광물자원 개발에 따라 선상 처리가 불가피한 선광잔류물의 특성파악 연구나 환경 친화적 저감처리 방법에 관한 연구는 이루어지고 있지 않음.

2. 국외 동향

가. 국제해저기구 동향

- 국제해저기구에서 2016년 10월 현재까지 공해상에 분포하는 광물자원에 대한 28건의 탐사권(망간단괴(17), 해저열수광상(6), 망간각(5))이 승인됨.
- 망간단괴 개발규칙에는 “선광 잔류물을 최소화하기 위한 관리 규정”을 포함할 예정.
- IMO와 London Convention/Protocol에서 “채광잔류물의 처분 및 보관에 대한 규정”을 제정하지 않을 경우, 해양법협약에 명시된 “해양환경의 보호와 보존” 조항에 근거하여 국제해저기구는 독자적으로라도 개발규

칙에 관련규정을 포함할 계획임.

나. 해외 관련기술동향

- MIDAS(Managing impacts of deep sea resources exploitation)와 심해 환경 관리 이니셔티브(Deep Ocean Stewardship Initiative: DOSI) 등은 해양광물 자원의 개발이 유발할 수 있는 환경충격 중 선광잔류물의 잠재적 유해물질 파악과 이들의 수층환경 및 생태계에 미치는 영향 연구를 수행 중임.
- 프랑스 IFREMER는 '21년까지 선광잔류물 처리 관련 연구를 수행 예정.
- 선광잔류물 내 포함된 유해/오염인자 특성이나 환경위해성에 대한 연구는 전세계적으로 초기 단계에 해당.

제 4 절 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보 관련 동향

1. 국내 동향

가. 대양의 생물다양성 및 유전적 연결성 연구

- 기존의 일부 대양연구사업(POSEIDON, 심해저광물자원개발사업, 등)에서 다른 목적으로 대양생물의 채집과 다양성 연구가 수행되어왔지만, 주로 광물자원개발이나 물리적 현상에 초점이 맞추어져 있어서 체계적인 대양의 생물다양성과 유전자원에 대한 연구가 진행되진 못함.

나. 희유금속 자원 탐사 및 개발

- 희유금속 확보를 위해 일부 국내외 희유금속 광상을 대상으로 탐사를 수행하였으나, 대양저 희유금속 함유 퇴적물에 대한 기초 조사·연구는 수행되지 않음.
- 해양과학기술원이 수행한 태평양 심해저 광물자원개발사업, 남서태평양 및 인도양 해양광물자원개발사업에서 일부 퇴적물 시료에 대한 희유금속 함량 연구만 수행.

2. 국외 동향

가. 대양의 생물다양성 및 유전적 연결성 연구

- 미국은 ‘Census of Marine Life’ (2000~2011)프로그램을 통하여 해양생물 다양성, 분포, 개체수 등에 대한 연구를 수행하여 Ocean Biogeographic Information System (OBIS)을 구축하여 해양생물정보를 공개하고 전 세계인에게 제공하고 있음.
- 프랑스를 중심으로한 유럽-북미 36개국 공동연구팀은 TARA Ocean Expedition(2009-2013) 프로그램을 통해 전 지구적 해양에서 약 27,000개의 대양생물시료를 채집하여 대양성 플랑크톤의 생물 및 유전자 다양성 연구를 수행함.
- 일본은 2009년부터 일본해양지구과학기술연구소(JAMSTEC)에서 해양생물 다양성 자료를 DB화하여 웹-베이스 Biological Information System for Marine Life(BISMaL)시스템을 통해 해양생물다양성 자료와 정보를 수집하고 제공하고 있음.

- 최근 선진국들은 해저자원개발이 가시화됨에 따라 이런 영향을 진단하기 위해 광역해역에서의 저서·열수생물의 유전적 연결성에 대한 연구를 매우 활발히 추진하고 있음.

나. 희유금속 자원 탐사 및 개발

- 미국은 그동안 폐쇄했던 마운틴 패스의 희토류 광석 채굴 재개 하였으며, 호주도 그동안 폐쇄했던 자국의 희토류 광산을 재가동 중임.
- 일본은 동태평양 공해 및 EEZ에서 퇴적물의 희유금속 탐사 연구를 통해 고품위/고함량의 희유금속 지역을 발견하고 자원량 평가를 수행 중임 (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.

제 1 절 비전 및 목표 수립

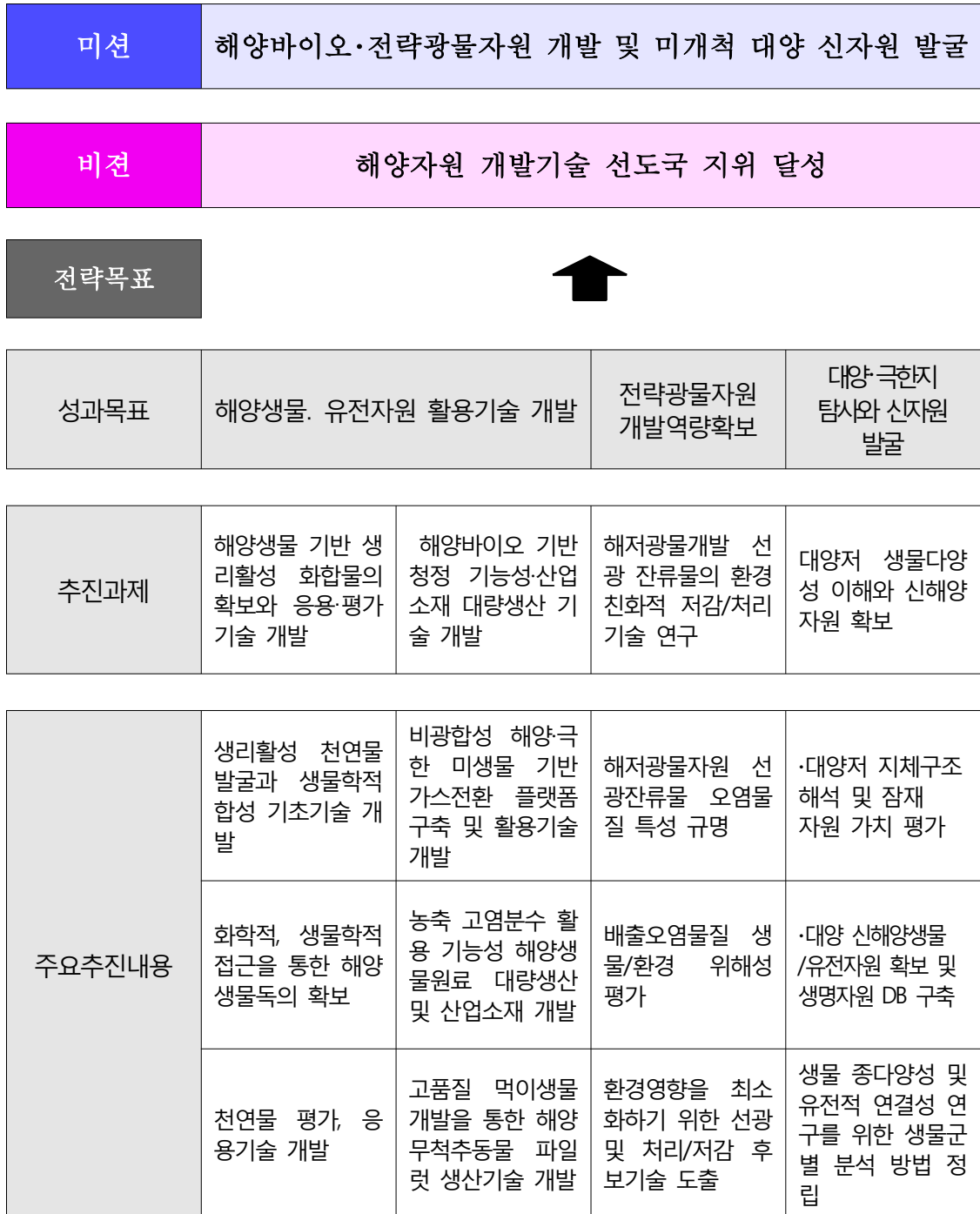


그림 3-1. 사업의 미션, 비전과 전략목표

제 2 절 주요 추진 내용

1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발

- 생리활성 천연물 발굴
 - 해양생물 추출물 생리활성 검색
 - 생리활성 추출물 함유 천연물 분리/규명
 - 천연물 생리활성 탐색과 표적 단백질 규명
- 생물학적 합성 기초기술 개발
 - 해면 메타게놈 분석과 천연물 생합성 유전자군 규명
 - 천연물 생합성 유전자 이형발현 조건 탐색
 - 천연물 이형발현 최적 조건 확립
- 마비성 독소 확보와 분석방법론 확립
 - 마비성 패독 정성, 정량 분석 방법론 확립
 - 마비성 패독 확보와 표준시료로서의 재현성 평가
 - 마비성 패독 유도체 합성
- 외편모조류 활용 마비성 독소 생산 방법론 확립
 - 마비성 패독 원인종 선별
 - 마비성 독소 생합성 환경조건 탐색
 - 대량배양을 통한 마비성 패독 생산 환경 규명
- 미소동물플랑크톤 활용 화합물 독성 평가기술 개발
 - 미소동물플랑크톤 배양 안정화 기술 확립
 - 미소동물플랑크톤의 화합물에 대한 반응 조사
 - 미소동물플랑크톤의 화합물에 대한 반응 정량화
- 천연물 평가, 응용기술 개발
 - 형광 유도체 합성과 물성 개선
 - 형광 유도체 최적화
 - 생체분자 탐지용 형광물질 도출

2. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 개발

- 산업적 활용 가능한 해양·극한 환경 유래 해양생물자원 확보 및 특성 규명
 - 해양·극한환경유래 가스전환 우수균주 확보 및 가스 전환경로 분석
 - 가스전환 균주/유기산 전환균주 특성분석
 - 우수 균주 대사특성 이해를 통한 성능 개량
 - 고염 환경으로부터 배양 가능한 유용 해양생물 발굴 및 배양조건 확립
 - 유용 해양생물 추출물/가공물 제작 및 기능성 평가를 통한 유효성분 발굴
 - 동물실험을 통한 안전성 검증
 - 물리·생물학적 모니터링을 통한 수층별 미세조류 자원량 파악 및 분리
- 해양생물자원의 기능 심층 분석을 통한 대량생산 공정 구축
 - 모델균주를 이용한 가스전환 기술 고도화
 - 해양미생물이용 가스발효기술 최적화 : 우수 균주 개량 및 배양 조건 최적화
 - 고염 적응 대상 생물의 대량생산 필요조건 연구
 - 고염분수 배양 해양생물원료의 성분 안정화 대량생산 공정 확립
 - 해수 가공 미네랄 생산 및 이를 활용한 해양 미세조류 배양기술 확립
 - 해양미세조류를 먹이생물로 한 해양무척추동물 양식 기술 확립
- 산업적 소재 생산 및 활용 플랫폼 기반 기술 구축
 - 가스전환 해양·극한미생물 플랫폼 확립 및 소재생산 활용
 - 바이오소재 생산 통합공정개발을 통한 산물 다양화 및 고도화연구
 - 고염분수 배양 해양생물원료로부터 기능성 물질 생산/추출 공정 확립
 - 해양무척추동물 생산력 평가 : 무척추동물 대량생산을 위한 자원관리, 시설 유지/관리 시스템 확립

3. 해저광물자원개발 선풍 잔류물의 환경 친화적 저감/처리기술 연구

- 선풍 잔류물 환경영향평가 기반 연구
 - 심해퇴적물, 심층수, 광물시료 확보를 통한 연구 기반 조성
 - 잔류물 방류 지역(수심대) 환경자료 및 해수 획득
 - 생물위해성 연구를 위한 관심해역 생물 특성 연구
 - 선풍잔류물 표준물질 제작, 현장실험 및 검증 기반 제공
- 오염인자 파악 및 환경영향 분석
 - 선풍잔류물 물리/화학 특성 및 동위원소 비 특성 분석

- 오염인자 용출특성 및 인벤토리 구축
- 오염인자 식별/추적 기법 정립
- 친환경적 선광 기술 도출
 - 구성광물 및 유가광물의 물리/화학 특성 평가
 - 유가광물 수율 향상 연구 및 친환경적 선광공정 제시
- 잔류물 확산 예측
 - 입자확산 모델링, 현장 검증
 - 확산범위 사전 예측 가능 전문가 시스템 개발, 보급
- 환경/생물 위해성 평가
 - 선광잔류물 배출에 따른 생물영향(생물군집, 사망률 등) 파악
 - 방류수심/농도에 따른 생태계 물질순환 특성 파악, 기능 변동성 파악
- 선광잔류물 저감·처리기술 도출
 - 처리기술별 공정 검토
 - 처리후보기술 공정 개념도 개발
- 국내·외 환경변화 대응전략 연구
 - 국제기구(국제해저기구, 국제해사기구) 동향 파악 및 협약 대응
 - 해저광물 개발 규칙 제정 활동 참여
 - 국내외 협력 네트워크 구축

4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보

- 대양의 부유·저서 생물다양성 및 유전적 연결성 이해
 - 국제표준 생물시료채집/보관방법 및 분자생물학 분석 방법 확인 및 방법론 정립
 - 이사부호의 주요 이동경로 및 탐사해역에서의 생물시료 확보
 - 확보된 생물시료의 형태적/유전적 종다양성 분석
 - 주요 생물종에 대한 유전적 연결성을 통한 생물 지리학적 평가
- 공해상 희유금속자원 품위 및 분포/자원 잠재성 파악
 - 인도양·태평양 대양저 퇴적물 시료 확보 (신규 및 기존 시료)
 - 대양저 퇴적물 희유금속의 품위 및 침전작용/성인 규명
 - 광역적 품위 변화 및 자원 잠재성 파악

제 3 절 추진 체계

- 한국해양과학기술원 전략목표 2.(전략해양자원개발) 성과도출을 위해 수행할 4개의 연구과제 전 분야는 관련 연구역량을 갖춘 한국해양과학기술원이 해양자원연구본부가 주관 연구 부서를 담당하여 사업을 추진: 1) 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발(해양생명공학연구센터), 2) 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 개발(해양생명공학연구센터), 3) 해저광물자원개발 선광 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구(심해저광물자원연구센터), 4) 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보(대양자원연구센터)
- ‘해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발’ 과제 중 해양생물독의 확보 연구는 외편모조류 배양을 통한 마비성 독소 생산의 내용을 포함하는데 이는 해양수산부에서 ‘해양식물플랑크톤 기탁등록보존기관’으로 지정한 남해연구소 해양시료도서관에서 수행
- ‘해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 개발’ 과제의 농축 고염분수 활용 기능성 해양생물원료 대량생산 및 산업소재 개발 분야는 제주연구소 제주특성연구센터에서 중점추진하며, 고품질 먹이생물 개발을 통한 해양무척추동물 파일릿 생산기술 개발 분야는 통영생물자원기지를 포함하여 해양생물자원연구단에서 중점추진
- ‘해저광물자원개발 선광 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구’, ‘대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보’ 연구의 실행역 탐사는 현재 한국해양과학기술원이 수행하고 있는 심해저광물자원사업(해저열수광상)과 탐사 연계 및 협력으로 비용 절감 및 시너지 효과 창출

표 3-1. 연구사업의 추진체계 및 참여부서

기술개발 추진체계				
추진과제	주관/총괄 부서	주요추진내용	중점추진 부서	참여부서
① 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발	해양생명공학 연구센터	생리활성 천연물 발굴과 생물학적 합성 기초기술 개발	해양생명공학 연구센터	
		화학적, 생물학적 접근을 통한 해양생물독의 확보	해양생명공학 연구센터	해양시료 도서관
		천연물 평가, 응용기술 개발	해양생명공학 연구센터	
② 해양바이오 기반 청정 기능성산업소재 대량생산 기술 개발	해양생명공학 연구센터	비광합성 해양극한 미생물 기반 가스 전환 플랫폼 구축 및 활용기술 개발	해양생명공학 연구센터	
		농축 고염분수 활용 기능성 해양생물 원료 대량생산 및 산업소재 개발	제주특성연구센터	
		고품질 먹이생물 개발을 통한 해양무척추동물 파일럿 생산기술 개발	해양생물자원 연구단	통영생물자원 기지
③ 해저광물개발 선광 잔류물의 환경친화적 저감/처리 기술 연구	심해저광물 자원연구센터	해저광물자원 선광잔류물 오염물질 특성 규명	심해저광물 자원연구센터	대양자원, 해양환경
		배출오염물질 생물/환경 위해성 평가	심해저광물 자원연구센터	해양생태, 해양생명공학
		환경영향을 최소화하기 위한 선광 및 처리/저감 후보기술 도출	심해저광물 자원연구센터	해양환경
④ 대양저 생물다양성 이해와 신해양자원 확보	대양자원 연구센터	대양저 지체구조 해석 및 잠재 자원 가치 평가	대양자원연구센터	심해저광물 자원연구센터
		대양 신해양생물 /유전자원 확보 및 생명자원 DB 구축	대양자원연구센터	해양생태, 해양생명공학
		생물 종다양성 및 유전적 연결성 연구를 위한 생물군별 분석 방법 정립	대양자원연구센터	해양생태
타사업 연계	· 추진과제 ③, ④의 실행역 탐사는 미래해양자원개발사업(해양수산부 R&D 과제)와 연계하여 수행 (이동항해, 현장활동, 장비활용 협력 및 연계)			

제 4 절 기술로드맵

1. 총괄 기술로드맵

- 해면 메타게놈 분석과 생합성 유전자 발굴 및 이형발현, 마비성 독소 표준 시료 확보, 외편모조류 활용 마비성 독소 생산 방법론 확립, 미소 동물플랑크톤 활용 화합물 독성 평가기술 개발, 기능성 형광 분자소재 개발 기술
- 해양극한 생물자원 배양 기술, 오믹스 분석 기술, 균주 개량 기술, 유용 성분 발굴 기술, 생물반응기 기술, 가스발효 기술, 수층 공간 특성 및 먹이생물 분석 기술, 어장 시설 설계/관리기술
- 공해상 저서생물다양성 이해 및 신 유전자원 확보 기술, 희유금속 함유 퇴적물의 광역적 자원 잠재성 파악 기술
- 해양광물자원 개발 시 선상에서 발생하는 선광 잔류물의 환경/생물 위해성을 파악하고, 평가하며 영향을 최소화하기 위한 선광 기술 및 처리/저감 기술

표 3-2. 총괄 기술로드맵

과제명	최종목표	1차년도(2019)	2차년도(2020)	3차년도(2021)	1차년도(2022)
해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용-평가 기술 개발	·해양생물 유래 저분자 화합물의 지속적 발굴과 활용을 위한 분석 평가 생산 응용 기술 확립	·생리활성 천연물 타겟 설정과 화학적 생물학적 합성 설계	·유용 천연물 발굴과 독성 천연물 생합성 기반 확립	·천연물 기반 기능성 소재 도출과 평가 기술 확립	·활성 저분자 천연물 생산/활용 기술 개발
해양바이오 기반 청정 기능성산업소재 대량생산 기술 개발	·해양극한 생물자원을 활용한 산업소재 대량생산 플랫폼 구축 및 활용	·산업적 활용 가능한 해양극한 환경 유래 해양생물자원 확보 및 특성 규명	·해양생물자원의 기능 심층 분석을 통한 대량생산공정 구축	·산업적 소재 생산 및 활용 플랫폼 기반 기술 구축	·해양바이오 기반 청정 기능성산업소재 대량생산 기술 구현
해저광물자원개발 선광 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구	·선광잔류물 오염인자 규명 ·생물환경 위해성 평가 ·선광 처리/저감기술 도출 ·잔류물 관리규정 제정대응	·오염인자 평가지표 발굴 및 선광-처리 기술 기초연구	·오염인자 추적기술 개발	·환경/생물 위해성 평가기법 확립 ·오염인자 처리/저감기술 공정 검토	·현장 종합 실험 및 후보기술공정 도출
대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보	·신 생명자원발굴 ·희유금속 자원잠재성 파악	·신 생명자원 연구 기반 구축 ·희유금속 문헌자료 DB 구축	·종다양성 및 유전자 분석 ·희유금속 DB 확충	·생물군 유전적 연결성 연구 ·희유금속 침전기작 해석	·심해 생태지도 작성 ·희유금속 자원 잠재성 분석

2. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발

- 생리활성 천연물 발굴: 컬럼 크로마토그래피 (HPLC 등)을 활용한 천연물 분리, 분광학적 방법을 이용한 천연물 구조 규명, 세포나 효소를 활용한 화합물의 생리활성 탐색
- 해면 메타게놈 분석과 생합성 유전자 발굴, 이형발현: 천연물 분석 결과 기반 유용 해면 선정, 메타게놈 추출 및 염기서열 분석과 해독, 생물정보학 기술 활용 천연물 생합성 유전자군 발굴, 미생물 숙주를 활용한 실험실 규모 수준의 생합성 유전자군의 이형발현
- 마비성 독소 표준시료 확보: 생합성 중간체를 와편모 조류에 투여하는 반합성 방법과 합성을 통한 패류독소와 유도체 제조, 독성 해양생물로부터 크로마토그래피를 이용한 정성, 정량 분석방법 개발과 독소 분리
- 와편모 조류 활용 마비성 독소 생산 방법론 확립: 마비성 패독의 원인종 선별을 위한 분류학적 분석 방법(형태적 특징 및 분자계통학적 위치), 배양세포의 안정화 기술, 와편모 조류 대량 배양에 관여하는 생리, 생태학적 환경 조건 탐색 기술
- 미소 동물플랑크톤 활용 화합물 독성 평가기술 개발: 마우스 독성평가법의 한계성을 극복하기 위한 독성실험생물로써의 미소 동물플랑크톤 확보, 독성화합물에 특이적으로 반응하는 독성종말점 (toxicity endpoint) 조사를 통한 독성평가기술 개발
- 기능성 형광 분자소재 개발: 금속이온, 유기물질 등 측정하고자 하는 분석 물질과 선택적으로 결합하여 물질 존재 여부나 농도를 측정할 수 있는 유기형광 화합물 설계/합성

3. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 개발

- 해양극한 생물자원 배양 기술: 혐기성균주, 고염 적응균주 배양과 성장특성 분석 관련 기술
- 오믹스 분석 기술: 균주 특성 이해에 필요한 유전체, 전사체, 대사체, 생물정보 등 분석기술
- 균주 개량 기술: 선정된 균주의 성능 개선을 위한 적응진화, 대사공학, 유전체 편집 등
- 유용 성분 발굴 기술: 기능성 성분의 추출, 분석, 평가 (독성 포함)에 관련된 제반 기술

- 생물반응기 기술: 고농도 세포배양기술 (가스전환의 경우 최종 OD 10< 달성을 위한 기술, 고염 적응 생물의 경우 3톤 규모 반응기 운영 기술)
- 가스발효 기술: 미생물을 이용하여 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 합성가스와 같은 탄소원 역할을 하는 가스기질을 이용하는 생물반응기를 운전하여 이들 가스를 유용한 산물로 전환
- 수층 공간 특성, 먹이생물 분석 기술 및 어장 시설 설계, 관리기술

표 3-3. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용평가 기술 로드맵

연도	2019	2020	2021	2022	2023 ~
목표	생리활성 천연물 타겟 설정과 화학적, 생물학적 합성 설계	유용 천연물 발굴과 특성 천연물 생합성 기반 확립	유용 천연물 생합성 기반 확립과 특성 천연물 생합성 수율 개선	천연물 기반 기능성 소재 도출과 평가 기술 확립	활성 저분자 천연물 생산/활용 기술 개발
생리활성 천연물	유용 추출물 유래 활성 천연물 규명	유용 추출물 유래 활성 천연물 규명	유용 추출물 유래 활성 천연물 규명	활성 천연물 표적 단백질 규명	표적 기반 천연물 유도체 설계 및 합성
	유용 천연물 생산 해면 메타게놈 데이터 확보	유용 천연물 생합성 유전자군 도출	생합성 유전자군 이형발현 조건 탐색	활성 천연물 이형발현 조건 확립	이형발현을 통한 천연물 생산기술 확립
마비성 독소	마비성 독소 정성, 정량 분석 방법론 확립	마비성 독소 확보와 분석 재현성 평가	마비성 독소 유도체 합성	마비성 독소 표준물질 제조	해양생물독 활용성 탐색
	원인종 선별과 마비성 독소 생산 화학적 환경 조건 탐색	마비성 독소 생산 물리적 환경조건 탐색	마비성 독소 생산 물리/생물학적 환경조건 탐색	마비성 독소 생산 특이적 환경 조건 탐색	마비성 독소 대량 생산 기술 확립
평가·응용 기술 개발	미소동물플랑크톤 독성화합물 확보	독성화합물에 대한 미소동물플랑크톤의 생태적 반응 조사	독성화합물에 대한 미소동물플랑크톤의 분자생물학적 반응 조사	화합물 생물독성 평가기법 확립	화합물 평가기술 확장
	형광 유도체 합성	형광 유도체 물성 개선	형광 유도체 최적화	생체분자, 금속이온 탐지용 형광물질 도출	현장 적용과 대량생산 기술 개발

표 3-4. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 개발 로드맵

해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 개발	연구목표	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
	<p>◆ 해양·극한 생물자원을 활용한 산업소재 대량생산 플랫폼 구축 및 활용</p> <p>연구내용</p> <p>1. 비광합성 해양·극한 미생물 기반 가스전환 플랫폼 구축 및 활용기술 개발 - 해양·극한 생명자원 확보 - 가스발효 생산성 개선</p> <p>2. 농축 고염분수 활용 기능성 해양생물원료 대량생산 및 산업소재 개발 - 고염성 해양생물자원 확보 - 대량생산체계 구축 - 기능성 소재 확보</p> <p>3. 수층공간이용 복합생물 자원개발 - 어장시설 기법 및 관리기술 개발 - 비지니스해양공원 모델개발</p>	<p>◆ 산업적 활용 가능한 해양·극한 환경 유래 해양생물자원 확보 및 특성 규명</p> <p>연구내용</p> <p>· 가스전환/유기산 전환 우수 균주 확보 · 모놀과 다중기반 배양기술 개선</p> <p>· 고염생물 확보 · 유용 해양생물 추출물/가공 플랫폼 및 기능성 평가 · 미세조류 배양 기술 평가 · 미세조류 생산성 향상</p> <p>· 물리·생물학적 모니터링을 통한 수층별 미세조류 자원 평가 및 분포도 작성</p>	<p>◆ 해양생물자원의 기능성 분석을 통한 대량생산 공정 구축</p> <p>연구내용</p> <p>· 가스전환/유기산 전환 우수 균주 확보 · 가스대사경로 분석 · 개량균주 확보 · 모놀과 다중기반 고농도 배양 기술</p> <p>· 고염생물의 배양조건 확립 · 고염생물 추출물 유효 성분 분석 · 미세조류·미생물 하이브리드 대량배양시스템 설계 · 배양 기술 평가</p> <p>· 어장환경 모니터링 및 생물양성 · 비지니스해양공원 모델 작성 및 시뮬레이션</p>	<p>◆ 산업적 소재 생산 및 활용 플랫폼 기반 기술 구축</p> <p>연구내용</p> <p>· 가스대사경로 분석 · 개량균주 확보 · 해양미생물 이용 가스발효 기술 최적화</p> <p>· 고염분수 배양 해양생물원료의 성분 안정화 대량생산 공정 확립 · 추출물 성분 안정화 프로토타입 · 기능성 유효 안전성 제시</p> <p>· 미세조류 기반 무척추동물 상식 기술 확립 · 비지니스해양공원 실험역 파일럿 조성 실험조사</p>	<p>◆ 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 구현</p> <p>연구내용</p> <p>· 개량균주 특성 분석 · 바이오소재 생산 통합공정 개발</p> <p>· 기능성 물질 생산/추출 공정 확립 · 기능성 물질 안전성 검증(동물 실험)</p> <p>· 해양 무척추동물 생산력 평가 기술 확립 · 비지니스해양공원 모델 완성</p>
		해양생물 자원 확보 및 특성분석	대량생산 공정 구축	산업적 소재 생산 및 플랫폼 확립	

4. 해저광물자원개발 선풜잔류물의 환경 친화적 저감/처리기술 연구

- 선풜 잔류물 환경영향평가 기반 연구
 - 잠재적 선풜잔류물 획득 및 표준시료 제작
 - 잔류물 방류 지역(표층, 방류예상 수심대) 환경자료 획득
 - 생물위해성 연구를 위한 관심해역 생물 특성 연구
 - 독성물질 생물/환경위해성 현장 검증 기반 제공
 - 확산모델 적용을 위한 실패역 환경자료 확보
- 선풜잔류물 처리/저감 요소기술 개발
 - 선풜잔류물 물리/화학적 특성규명 및 오염인자 인벤토리 구축
 - 환경영향 분석 및 평가기법 개발
 - 광종/선풜기술별 폐수 특성 및 친환경적 최적 선풜공정 확립
 - 선풜잔류물 확산 예측
 - 환경위해요소 도출 및 환경/생물위해성 평가
 - 생물/환경영향 평가기법 확립 및 생물영향 DB 구축
 - 선풜 및 정화처리 후보기술 도출 및 공정 확립

표 3-5. 해저광물자원개발 선풜 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구 로드맵

최종목표		1차년도(2019)	2차년도(2020)	3차년도(2021)	4차년도(2022)
<ul style="list-style-type: none"> • 선풜잔류물 오염인자 규명 • 생물/환경 위해성 평가 • 선풜, 처리/저감기술 도출 • 잔류물 관리규정 제정 대응 		오염인자 평가지표 발굴 및 선풜-처리기술 기초연구	오염인자 추적기술 개발	환경/생물 위해성 평가 기법 확립, 처리/저감기술 공정 검토	현장 종합 실험 및 선풜, 처리/저감 후보기술 선정 도출
세부성과목표	환경영향평가 기반 구축	연구시료 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 선풜 잔류물 시료 확보 • 수층별 생물 자료 수집 • 독성실험 생물 확보 		
	배출해역 환경특성 규명		<ul style="list-style-type: none"> • 수층 환경 자료 획득 		
	오염인자 인벤토리 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 선풜잔류물 화학특성 분석 • 오염인자 실내 용출실험 • 동위원소비 분석기법 구축 	<ul style="list-style-type: none"> • 금속동위원소 특성 분석 • 물리/화학특성 DB 구축 • 물리/화학 특성 고려한 타겟 오염인자 검토 	<ul style="list-style-type: none"> • 금속농도/동위원소비 라이 브러리 구축 및 환경/생물 영향 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 오염인자 식별/추적기법 정립 • 타겟 오염인자 관리방안 제안
	생물/생태 위해성평가 기법 확립	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 독성 실험 생물 확보 (인도양) • 생물군집구조 및 활성에 미치는 영향 	<ul style="list-style-type: none"> • 생태/분자 생체지표 발굴 (양간단과) • 배출해역 물질순환 특성 변동성 연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 생태/분자 생체지표 발굴 (해저열수광상) 	<ul style="list-style-type: none"> • 생물독성평가기법 개발 • 주요 오염인자별 생태계 영향 분석
	입자확산모델	<ul style="list-style-type: none"> • 확산 검증 실험 	<ul style="list-style-type: none"> • 배출 잔류물 확산도 작성 	<ul style="list-style-type: none"> • 확산모델 간접적 현장 검증 	<ul style="list-style-type: none"> • 전문기모델구성/보급
	선풜	<ul style="list-style-type: none"> • 유가광물 회수기 초연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 유가광물 상호분리기술 연구(1) 	<ul style="list-style-type: none"> • 유가광물 상호분리기술 연구(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • 유가광물 품위/실수를 향상 연구 • 개략 선풜공정 설계
저감/처리기술 도출	<ul style="list-style-type: none"> • 정화 처리 후보기술 적용가 능성 시험(1) • 정화 처리 기술 공정 검토(1) 	<ul style="list-style-type: none"> • 정화처리 후보기술 적용가 능성 시험(2) • 정화처리기술 공정 검토(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • 정화처리기술 심화 실험 • 정화처리기술 공정 검토(3) 	<ul style="list-style-type: none"> • 정화처리 후보기술 도출 • 정화처리기술 공정개념도 개발 	
제도/환경변화 대응		<ul style="list-style-type: none"> • 국제기구 동향 파악 및 대응 • 국내외 협력 네트워크 구축 			

5. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보

- 저서생물 다양성 이해
 - 저서생물시료 및 영상자료 확보
 - 저서생물 군집 DB 구축
 - 심해 생태지도 작성
- 신 생명자원 발굴
 - 분자마커/특이유전자 분석
 - 주요 생물종의 유전적 연결성 분석
- 퇴적물 희유금속 자원 잠재성 파악
 - 대양저 퇴적물 시료 확보
 - 퇴적물 희유금속 품위 분석 및 DB 구축
 - 침전기작 및 성인규명
 - 구역별 기초 자원 잠재성 비교

표 3-6. 대양 생물다양성 이해와 신해양자원 확보 로드맵

연구목표	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
신 생명자원발굴 희유금속 자원잠재성 파악	• 연구기반 구축 • 문헌자료 DB 구축	• 종다양성 및 유전자 분석 • 희유금속 DB 확충	• 생물군 유전적 연결성 연구 • 희유금속 침전기작 해석	• 심해 생태지도 작성 • 자원잠재성 분석	
연구내용					
공해상 생물다양성 생명자원 탐사	• 생물시료 확보, 처리, 분석, 관리 방법 정립	✓ 현장 시료 확보 및 처리 방법과 확보된 시료의 실험실 처리 및 분석 방법에 대한 초안 작성	✓ 현장 시료 확보 및 처리 방법과 확보된 시료의 실험실 처리 및 분석 방법 정립	✓ 실물표본 및 유전자 시료의 보관과 관리를 위한 방안 마련	✓ 저서생물 채집, 처리, 분석, 관리 방법에 대한 지침서 완성
	• 생물시료 확보 및 종다양성 자료 DB화	✓ 저서생물시료 확보 (100점) ✓ 저서생물 종 다양성 자료 DB화 (100건)	✓ 저서생물시료 확보 (100점) ✓ 저서생물 종 다양성 자료 DB화 (100건)	✓ 저서생물시료 확보 (100점) ✓ 저서생물 종 다양성 자료 DB화 (100건)	✓ 저서생물시료 확보 (100점) ✓ 저서생물다양성 자료 DB화 (100건)
	• 공해상 심해 생태계 다양성 이해	✓ 심해 저서생물군집 분석	✓ 심해 저서생물군집 분석 ✓ 해저산 경사면을 따른 저서생물종의 수직적 진화적응 방향 추정	✓ 심해 저서생물군집 분석 ✓ 해저산 사이의 저서생물종의 수평적 유전자 연결성 분석	✓ 심해 저서생물종의 수직적, 수평적 분포에 대한 생태지도 구축
신 해양 유전자 자원 (MGRs) 확보	✓ 분자마커에 의한 생물시료 분석 (50점) ✓ 대상 생물종 선정 및 유전체 분석	✓ 분자마커에 의한 생물시료 분석 (50점) ✓ 대상 생물종 추가 선정 및 유전체 분석 ✓ 미생물 군집 메타게놈 분석 (1건)	✓ 분자마커에 의한 생물시료 분석 (50점) ✓ 미생물 군집 메타게놈 분석 (1건) ✓ 잠재적 특이유전자 선정 및 기능분석	✓ 분자마커에 의한 생물시료 분석 (50점) ✓ 특이유전자 발굴 및 등록 (8건)	
공해상 희유금속 자원 탐사	• 지구 물리 자료 획득 및 해석도 작성	✓ 해저산 지형 해석도 작성 (OSM 9)	✓ 해저산 음향/수심 탐사(OSM-BD1, 1개) ✓ 해저산 지형 해석도 작성	✓ 해저산 지형 해석도 작성 (OSM 11)	✓ 해저산 음향/수심탐사 (OSM-BD2, 1개) ✓ 해저산 지형 해석도 작성
	• 퇴적물시료 확보	✓ 심해 퇴적물 주상시료 확보 (1구역 - PC 4, MC 2) ✓ KIOST 기 확보 퇴적물 시료 인벤토리 구축 ✓ KIOST 기 확보 퇴적물 시료 희유금속 분석 ✓ 문헌자료 활용 DB 구축	✓ 심해 퇴적물 주상시료 확보 (2 구역 - PC 6, MC 2)	✓ 심해 퇴적물 주상시료 확보 (3구역 - PC 6, MC 2)	✓ 심해 퇴적물 주상시료 확보 (PC 6, MC 2)
	• 희유금속 품위 및 분포도	✓ 희유금속 고품위 퇴적체 단계별 용출실험 ✓ 시계열 퇴적물 포집장치 운용	✓ 신규 및 기확보 시료 희유금속 분석 ✓ 희유금속 DB 업데이트	✓ 신규 및 기확보 시료 희유금속 분석 ✓ 희유금속 DB 업데이트	✓ 희유금속 분포도 작성(1건)
	• 희유금속 형성기작 및 자원 잠재성 평가	✓ 희유금속 고품위 퇴적체 단계별 용출실험 ✓ 시계열 퇴적물 포집장치 운용	✓ 희유금속 고품위 퇴적체 단계별 용출실험 ✓ 시계열 퇴적물 포집장치 운용	✓ 희유금속 고품위 퇴적체 단계별 용출실험 ✓ 시계열 퇴적물 포집장치 운용 ✓ 희유금속 침전 기작 해석	✓ 침전기작 해석을 통한 분포예측도 작성 ✓ 구역별 기초 자원잠재성 비교

제 5 절 성과지표

1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가기술 개발

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
생리활성 천연물 분리/ 규명	생리활성 천연물 발굴	20종	IC ₅₀ 5 μM 이하의 활성을 나타내는 천연물 자료
	천연물 작용 단백질 규명	2건	천연물이 기능을 억제/항진 시키는 단백질 규명
해면 메타게놈 기반 천연물 생합성 경로 규명	해면 메타게놈 데이터	3종	해면 메타게놈 분석 자료
	천연물 생합성 유전자군 규명	1종	유전자군 염기서열 정보 산출
	천연물 이형발현 조건 탐색	10종	천연물 이형발현을 위한 균주, 배양조건 탐색 자료
마비성 독소 표준시료 확보	분석 표준시료 라이브러리	10종	확보된 마비성 패류독소 원인 물질의 중수
외편모 조류 배양을 통한 마비성 독소 생산 방법론 확립	마비성독소 원인종과 생산 환경 조건 규명	50 μg/L	마비성독소 생산이 가능한 환경조건 제 시
미소동물플랑크톤 활용 화합물 독성 평가기술 개발	독성 평가기법 개발	1건	마비성 패독의 독성평가에 대한 적합성
기능성 형광 분자소재 개발	생체분자, 금속이온 탐지용 형광물질 도출	3종	단백질, 금속이온 탐지를 위한 형광센 서 제작

2. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 개발

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
해양미생물을 활용한 가스발 효 플랫폼	가스발효 효율 (C1가 스→acetate 전환율)	6 g/L/d (Lab Scale 반응기 실증)	2021년까지 현재 기준 세계 최고수준 도달, 보고서 및 발효기 운영 자료로 확인
	해양.극한 생명자원 확보	자가영양/ 유기산 발효 미생물 10 종	선행과제 계획 기준, 실물 및 DB등재 확인
고염성 해양생 물 유래 기능성 유효성분 생산/ 추출 공정	고염성 해양생물자원 확보	10건	단일기관 국내 최고수준 유전자 종 동정 데 이터 및 고염수 활용 배양 데이터
	대량생산체계 구축	30톤 규모	단일배양 국내 최고수준 배양시설확보 및 30톤급 이상 배양데이터
	기능성 소재 확보	5건	소재 유무 및 생리활성 데이터
냉수성 무척추 동물의 수층공 간이용 복합생 물자원개발	양식생물 병원체 검 출기술 개발	검출 키트 개발	양식장 관리기술, 특허 등록
	어장시설 기법 및 관 리기술 개발	적지조사표, 설계 서 모듈식미세조 류 배양시스템	심층연승식 어장 개발의 필수 요소 설계서, 관련 매뉴얼, 특허 등록 등 평가
	양식 자원복합 비즈 니스 해중공원 모델 개발	조감도 1식	양식시설 해역공간의 효율적으로 활용한 자 원증식 및 레저/관광 모델의 현지 적합성
정량 성과	SCI급 논문	40	1편/2억 (직접비 기준, 우수 논문 지향)
	특허	20	1건/4억 (직접비 기준, 유효 특허 지향)

3. 해저광물자원개발 선풍잔류물의 환경 친화적 저감/처리기술 연구

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
광석/암석/퇴적물/해수시료 확보	시료 확보수	10건 이상	
광석/암석/퇴적물 표준시료 제작	제작 시료 수	6개	
수층환경 자료획득 및 분석	자료확보 정점	광구별 5정점	
생물종 확보 및 분포 분석	시료확보 정점	광구별2정점	
선풍잔류물 물리/화학적 특성 DB 구축	DB 수	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
금속농도/동위원소비 라이브러리	라이브러리 수	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
오염인자 식별/추적 기법 정립	식별/추적 기법	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
개략 선풍공정도	공정도	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
잔류물 시간/공간적 농도 분포 예측	확산범위 지도	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
동·식물 플랑크톤 및 세균 생태 영향 파악	독성평가 기법	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
처리후보기술 개념도 도출	공정설계도	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
제도/환경변화 대응	국제활동 참여 건수	6건	매년 국제해저기구 활동, 해사기구 회의 참석 1회 이상

4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
대양의 생물 다양성 및 유전적 연결 성 이해	생물군별 시료확보/관리 및 유전적 분석 방법 정 립	지침서 1건	연구 그룹간의 결과 일관성 및 국제적으 로 경쟁력 있는 연구결과 도출을 위해 선행되어야 할 방법 정립
	생물시료 확보 및 형태 적/유전적 종 분류, 정보 DB화	생물종400점 이상 확 보, 신종 8건 이상 보 고, DB구축 1 건	생물종다양성 이해와 신종발견을 위한 생물시료 확보 및 분자생물학적 분석과 모든 정보 DB구축 필요
	대양·심해연구 국제경쟁 력 확보	종다양성 관련 국제 프로그램에 자료제공 또는 MOU체결 2건 이상	대양연구의 경쟁력 확보와 국제화를 위 해 국제프로그램에 분석 결과 공유 및 해외 우수기관과의 협력연구
	공해상 종다양성 및 주 요 생물종 유전적 연결 성 분석	각 2건 (SCI 논문 4편 이상)	국제생물다양성협약 대응을 위한 종다양 성 및 주요 생물종에 대한 생물지리정보 확보/보고 필요
대양저 희유 금속 분포 및 자원 잠 재성 평가	지구물리자료 획득/해석 도 작성	2건/ 800km ²	연구해역의 지체구조 특성 파악을 위한 지구물리자료 획득 및 해석 필요
	지구조별 암석/퇴적물 시료 확보	각 20점 이상	희유금속 분석을 위한 각 지체구조별 충 분한 암석/퇴적물 시료 확보 필요
	희유금속 품위 및 분포 도	DB 1건/분포도 1건	시료별 희유금속 품위 분석/결과 DB 구 축 및 광역별 품위 분포도 작성
	희유금속 형성기작 및 자원 잠재성 평가	각 2건 (SCI 2편 이상)	지체구조별 희유금속 형성기작 이해 및 자원 잠재성 평가 여부

제 6 절 연차별 추진목표 및 지표

1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발

연도	2019	2020	2021	2022	2023 ~ 2028
목표	생리활성 천연물 타겟 설정과 화학적, 생물학적 합성 설계	유용 천연물 발굴과 독성 천연물 생합성 기반 확립	유용 천연물 생합성 기반 확립과 독성 천연물 생합성 수율 개선	천연물 기반 기능성 소재 도출과 평가 기술 확립	활성 저분자 천연물 생산기술 개발
생리활성 천연물 성과지표	-유용 추출물 유래 활성 천연물 규명 -유용 천연물 생산 해면 메타게놈 데이터 확보	-유용 추출물 유래 활성 천연물 규명 -유용 천연물 생합성 유전자군 도출	-유용 추출물 유래 활성 천연물 규명 -생합성 유전자군 이형발현 조건 탐색	-활성 천연물 표적 단백질 규명 -활성 천연물 이형발현 조건 확립	-표적 기반 천연물 유도체 설계 및 합성 -이형발현을 통한 천연물 생산기술 확립
해양 생물독 성과지표	-마비성 독소 정성, 정량 분석 방법론 확립 -마비성 독소 원인종 선별과 환경조건 탐색	-마비성 독소 확보와 분석 재현성 평가 -마비성 독소 생산 화학적 환경조건 탐색	-마비성 독소 유도체 합성 -마비성 독소 생산 물리적 환경조건 탐색	-마비성 독소 표준물질 제조 -마비성 독소 생물학적 환경조건 탐색	-해양생물독 라이브러리 구축과 활용성 탐색 -외편모조류 활용 마비성 독소 생산 기술 확립
평가응용 기술개발 성과지표	-미소동물플랑크톤 배양과 화합물 선정	-미소동물플랑크톤 배양 안정화 기술 확립	-미소동물플랑크톤 화합물 반응 조사	-화합물 독성 평가기법 확립	-미소동물플랑크톤 활용 화합물 평가기술 확장
	-형광 유도체 합성	-형광 유도체 물성 개선	-형광 유도체 최적화	-생체분자, 금속이온 탐지용 형광물질 도출	-응용범위 확대, 현장 적용과 대량생산 기술 개발

2. 해양바이오 기반 청정 기능성 · 산업소재 대량생산기술 개발

연도	2019	2020	2021	2022	2023 ~ 2028
목표	<ul style="list-style-type: none"> -우수 균주 확보 -모델 균주 기반 발효 기술 개선 -유용 해양생물 추출물/가공물 제작 및 기능성 평가 -물리, 생물학적 모니터링을 통한 수층별 미세조류 자원량 파악 및 분리 	<ul style="list-style-type: none"> -우수균주 확보(계속) -가스대사경로 분석 -모델 균주 기반 발효 기술 개선 -고염 생물 배양조건 확립 -고염 생물 추출물 유효성분 발굴 -해수 미네랄 기반 미세조류 배양기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> -해양미생물이용 가스 발효기술 최적화 -고염분수 배양 해양 생물원료의 성분 안정화 대량생산 공정 확립 -미세조류 기반 무척추동물 양식 기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> - 우수균주 성능 개량 - 바이오소재 생산 통합공정 개발 -기능성 물질 생산/추출 공정 확립 -기능성 물질 안전성 검증 (동물 실험) -해양무척추동물 생산력 평가 -어장-해중공원 복합 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -가스발효기술 고도화 -산업적 소재 생산 플랫폼 구축 -양식 자원복합 비즈니스 해중공원 모델 개발
성과 지표	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 균주10종 -가스발효 OD>3.0 달성 -기능성 함유 추출/가공 물질 10건 -수층 공간 먹이생물 분포도, 병원체 목록 -논문 8, 특허 4 	<ul style="list-style-type: none"> -신규 균주8종 -경로분석 5종 -가스발효 OD>5.0 달성 -2종의 고염 생물 10톤급 배양조건 확립 -유효성분 4건 -병원체 검출키트, 어장시설 설계서 - 논문 10, 특허 4 	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 균주2종 -가스발효 OD>10 달성 -추출물 성분 안정화 프로토콜 -기능성 물질 안전성 제시 : 세포실험 기반 -모듈식 미세조류 배양시스템 -논문 14, 특허 5 	<ul style="list-style-type: none"> - C1가스→acetate ; 6 g/L/d - 2단공정 제시(C1-> 유기산-> 고분자물질) -기능성 소재 5건 -고염 생물 배양 시스템 : 30톤 규모 -무척추동물 생산량 -해중공원 모델 조감도 -논문 8, 특허 7 	<ul style="list-style-type: none"> - C1가스→acetate ; 8 g/L/d 달성 (실증) -고분자 생체물질 상용화 -고염 생물/물질 생산시스템 설계 -고염 생물 유래 기능성 물질 상용화 - 복합 해중공원 모델 기술이전

3. 해저광물자원개발 선풍잔류물의 환경 친화적 저감/처리기술 연구

연도	2019	2020	2021	2022	2023 ~ 2028
목표	<ul style="list-style-type: none"> 오염인자 평가지표 발굴 및 선풍-처리기술 기초연구 	<ul style="list-style-type: none"> 오염인자 추적기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 환경/생물 위해성 평가 기법 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 선풍, 처리/저감 후부 기술 공정 도출 	<p>선풍 및 저감/처리기술 개발을 위한 R&D 추진</p>
성과 지표	<ul style="list-style-type: none"> 연구시료 및 환경자료 확보 영향평가 생태/분자 지표 발굴 처리기술 공정설계 요소 도출 제도/환경변화 대응 채광폐기물 오염인자 DB구축 및 확산도(2건) 	<ul style="list-style-type: none"> 연구시료 및 환경자료 확보 생물영향 DB 구축 확산도 정확도 개선 제도/환경변화 대응 금속동위원소DB 구축 (2건) 	<ul style="list-style-type: none"> 연구시료 및 환경자료 확보 확산모델 간접적 현장 검증 제도/환경변화 대응 채광 폐기물 생물위해성 지표(2건) 	<ul style="list-style-type: none"> 생태계 영향 모니터링 기법 확립 오염인자 식별/추적 기법 정립 제도/환경변화 대응 채광 폐기물 저감/처리공정 설계 	

4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보

연도	2019	2020	2021	2022	2023 ~ 2028
목표	<ul style="list-style-type: none"> 생물다양성 연구 <ul style="list-style-type: none"> 생물시료 채집/관리 및 분석 방법 정립 생물시료 확보 및 분자마커 분석 희유금속품위 연구 <ul style="list-style-type: none"> 지구조 해석을 위한 지구물리자료 획득/해석 지구조별 정위치 지질시료 획득 및 자료구축 	<ul style="list-style-type: none"> 생물다양성 연구 <ul style="list-style-type: none"> 생물시료 확보 및 분자마커 분석 생물다양성 분석 지구조별 희유금속 품위 변화 연구 <ul style="list-style-type: none"> 지구조 해석을 위한 지구물리자료 획득/해석 지구조별 정위치 지질시료 획득 및 자료구축 지구조별 금속 품위 분포 변화 해석 	<ul style="list-style-type: none"> 생물종 유전적 연결성 연구 <ul style="list-style-type: none"> 생물다양성 분석 환경특이 유전자 분석 종다양성 국제프로그램 협력 연구 지구조 유형별 희유금속 거동 및 침전 기작 연구 <ul style="list-style-type: none"> 희유금속 성인 해석 희유금속 광역 자원 잠재성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 생물종 유전적 연결성 연구 <ul style="list-style-type: none"> 지리적 분포 해석 지구조별 정위치 저서생물 채집 및 군집 연구 광역간 자원잠재성 비교 연구 <ul style="list-style-type: none"> 지구조간 광역적 희유금속 품위 분포 연구 광역간 희유금속 자원 잠재성 	<ul style="list-style-type: none"> 심해 생물 극한 기능 유전자 및 신물질 연구 고품위 희유금속 퇴적지 선별 및 친환경/최적 추출기술 연구
성과 지표	<ul style="list-style-type: none"> 생물군별 분석 지침서(1건) 생물종 확보(100점) 지구물리자료 획득 및 /해석도 (1건) 지구조별 암석/퇴적물 시료 획득 (10점 이상) 품위자료 DB (1건) 	<ul style="list-style-type: none"> 생물시료 확보 100점 지구물리자료 획득 및 /해석도 (1건) 지구조별 암석/퇴적물 시료 획득 (10점 이상) 품위 분포도 (1건) 	<ul style="list-style-type: none"> 생물시료 확보(100점) 및 형태적/유전적 종분류 정보 DB화 (1건) 지구조별 희유금속 품위 분포도 (1건) 	<ul style="list-style-type: none"> 공해상 종다양성 및 주요 생물종 유전적 연결성 분석 (논문 4편) 광역간 희유금속 자원 잠재성 비교 평가 (1건) 	

제 4 장

사업추진의 타당성 분석

제 1 절 정책적 타당성

1. 정책성 평가

- 해양바이오자원 개발 및 미개척 대양 신자원 개발 관련 연구 사업은 국가 상위 계획과 부합.
- ‘19년 정부연구개발 투자방향 중 미래선도과학기술 역량 강화(개방·공유·협력의 연구개발 생태계 구축) 및 13대 혁신 성장 동력 분야 중 원천기술 선점가능성이 높은 바이오, 에너지 등 중장기 신산업 육성 분야
- ‘제2차 해양수산발전기본계획(2011-2020)’은 지구온난화로 인한 해양 생태계 교란 발생에 주목함과 동시에 해양과학기술을 이용한 유망 신산업의 발굴에도 관심을 보이고 있음. 생리활성 천연물과 생물독 연구는 제시된 5대 추진전략 중 ‘신성장동력 창출을 위한 해양과학기술 개발’을 위한 ‘해양자원개발 해양생물, 유전자원 개발’, ‘국내외 다양한 생물소재 탐색 및 유전자원 발굴’에 해당함.
- 문재인정부 국정운영 5개년 계획 중 ‘34. 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성’과 ‘84. 깨끗한 바다, 풍요로운 어장’ 등에 해당되며, ‘62. 해양영토 수호와 해양안전 강화’의 6번째 실천과제 ‘남북극 등 대양진출 확대와 국제 해양 네트워크 확충’에 해당.
- 정부의 제 4차 과학기술기본계획 (2018-2022) 중 “환경, 기후변화, 자원부족 등 인류적 난제해결에 주도적 역할”에 해당.
- 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018~2012)의 출연연 육성과제로 제안된 ‘글로벌 대양탐사 프로젝트’와 ‘해양생태계관리 및 미래유용 자원 탐색 프로젝트’에 해당.
- 2018년 해양수산부 연구개발 6대 중점투자 방향 중 “강화된 국제규제를 기회로 해양신산업 육성” 및 “선제적 R&D를 통한 해양환경 위험요인 극복”에 해당.

2. 해양과기원 고유기능 발전과의 연관성

- ‘해양과학기술의 창의적 원천기초연구, 응용 및 실용화 연구’라는 해양과기원 임무와 ‘해양과학기술 및 해양산업 발전에 필요한 원천연구, 응용 및 실용화연구’ 내용에 부합.

- 정관 제4조(사업)의 해양과학기술 및 해양산업 발전에 필요한 응용 및 실용화 연구 수행, 대학 및 산업체와 공동연구, 우수 전문인력 양성 임무에 부합.
- 해양과기원 연구 성과 계획서 전략목표 2. (해양전략자원 개발) ‘해양 바이오-전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사’의 성과목표 중 ‘2-1. 해양생물·유전자원 활용기술 개발’ 과 ‘2-2. 전략광물자원 개발역량 확보’ 그리고 에 해당 ‘2-3. 대양·극한지 탐사와 신자원 발굴’ 에 해당.
- 전략목표 2-1.의 경우, 해양자원을 이용한 바이오 의약소재의 확보와 해양바이오매스 유래 융합소재인 펙틴 또는 FBS 대체재 등의 식약처 인증을 통한 상용화 단계 진입은 특허분석 상 바이오 시장 선도 가능 기술 분야로 매우 도전적인 연구과제로 선정되어 중점추진 필요.
- 전략목표 2-2.의 경우, 망간단괴 개발권 확보는 수심 5,000m 극한환경에서의 기술적 난관과 해양환경보호라는 난제를 극복해야 하는 분야로 공해상 해저자원의 관리주체인 ISA의 개발규칙(‘20 제정 예정)이 요구하는 기술적 완성도와 환경충격완화방안의 제시가 요구됨. 심해저광업의 전례가 없는 것을 고려할 때 개발권 확보는 매우 도전적인 과제로 선정되어 중점추진 필요.

3. 국가차원의 연구개발 필요성

- 우리정부는 제3차 생명공학육성기본계획(‘17~’26)을 바탕으로 글로벌 선도 원천융합기술개발 및 실용화를 위한 비전 제시.
- 국제해저기구는 2020년 「심해저 광물자원 개발규칙」 제정 예정이며, 정부는 심해저 관련 산업 활성화를 위해 2018년 「심해저활동 관리 및 지원에 관한 법률」 제정 예정.
- 이사부호 취항(‘16)을 계기로 전지구 대양탐사 계획을 수립하고 산·학·연 공동 대양탐사 프로그램을 시작했으며(‘17), 해양수산과학기술 육성 기본계획(‘18)에 글로벌 대양탐사 프로젝트를 우리원 대표과제로 제시.
- UN은 지속가능발전목표(UN SDGs) 달성을 위해 해양과학 10년 계획(UN Decade of Ocean Science)을 수립하여 국제공동 대양·심해 탐사 추진.

제 2 절 기술적 타당성

1. 과학기술적 타당성

- 해양소재를 산업 원료를 사용하기 위해서 유효성분을 균일하게 유지할 수 있는 배양기술개발이 필요하고, 이를 통하여 안정적인 바이오소재 공급 가능.
- 전지구적 해양·극한 (미)생물의 확보, 오믹스연구 및 유전체 편집기술의 활용을 통한 플랫폼 미생물 개발기술은 생명현상의 이해, 생명자원의 활용기술 개발의 필수 요소.
- 해면동물 추출물은 암세포 억제 천연물의 출현빈도가 높지만 물질 함유량이 적어 발생하는 공급 문제를 해결하기 위해 합성 생물학적 접근 필요.
- 본 기획연구에서 도출된 사업의 범위는 국가가 주도하여 20년 이상 추진 해온 심해저 광업의 기술적 갭(선광 잔류물 관리 규정 신설 움직임에 따른 연구 부재 분야)을 극복하고, “전략광물자원의 안정적 공급원 확보”와 “해양 경제영토 확대”라는 국가적 비전과 목표에 부합하고 있음.
- 수심 1,000~5,000m의 극한환경 극복을 위한 기술개발이 요구되며, 아직 상업화에 성공하지 못한 미개척 분야로 우리나라가 세계시장을 선도할 수 있는 분야임.
- 심해자원개발에 따르는 환경문제 해결과 개발권 확보를 위한 선상 폐기물 최소화 등 환경 친화적 개발방법 도출 및 환경영향평가기법 개발 필요.
- 해양광물자원탐사를 통한 기초연구를 기반으로 해양바이오, 고해양, 전지구적 기후변화 등 다양한 기초, 응용, 융합연구로 영역확장 필요.
- 산학연 협력연구를 통한 연구사업의 대형화와 대양·극한지로 연구 영역을 확대하여 글로벌 해양 경쟁력 강화 및 국가 위상 제고.
- 신자원인 대양저 희유금속의 품위, 거동, 침전 등에 대한 기초 연구 및 원천기술 확보 필요.
- 심해 극한환경으로 연구 지역을 확장하고 환경특성에 따른 생태계 다양성과 진화과정 이해 필요.

제 3 절 경제적 타당성

1. 타당성 분석

가. 예산규모의 적절성

- ‘19~‘22년까지 사업의 예산은 4년 간 총 181억원이 투입될 예정임(연간 45.2억원 규모)
- 현장탐사가 요구되는 과제는 기존 해저광물자원 개발사업(심해저 망간 단괴 국제해저기구 의무사항 이행연구 및 남서태평양/인도양 광물자원 개발사업)과의 연계를 통해 최소의 비용으로 사업효과 극대화 가능(현장검증을 위한 연구선 사용일은 5일/년 이내로, 사업연계 시 최소 연 5억의 연구비 절감 효과)
- 국제해저기구, 런던의정서 당사국회의, 국제해사기구 활동 또한 기존 추진사업과의 연계를 통해 예산 절감이 가능함

표 4-1. 성과목표 별 예산계획안

전략목표 2. 해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사 : 45.2억원/년

성과목표 / 과제명(작성책임자)	예산계획안 (억원)
(2-1-1) 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발 (이연주)	10.5
(2-1-2) 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량 생산 기술 개발 (권개경)	18.5
(2-2) 심해저광업 잔사물질 특성규명 및 환경친화처리기술 개발 (유찬민)	7.0
(2-3) 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보 (형기성)	9.4

나. 경제사회적 타당성

- 기후변화 협정, 생물자원 주권화 등에 대응하고 바이오 분야의 국가 경쟁력을 제고하기 위해 해양생물자원 발굴·개량기술 및 탄소자원화 기술 개발에 지속적 투자 필요(9대 국가전략프로젝트)
- 신규성과 기능성이 우수한 해양소재의 글로벌 시장 진출을 위한 과학화, 표준화 필요.
- 국민 보건 환경을 유지하기 위해 보다 정밀한 생물독 분석법 개발이 필요하며, 이를 위해 표준 생물독은 생산과 추출 방법에 대한 연구 필요.
- 단백질치료제 시장은 2015년 1,370억\$, 매년 8.7% 성장이 예상되는 고부가가치 산업임.
- 육상자원 한계에 따른 자원 공급원을 다원화하기 위해 확보한 자원량의 부존가치는 약 300조원이며, 개발에 따른 수입대체효과는 약 123조원으로 예상('17년 삼일회계법인 경제성평가 용역결과보고서, '18년 1분기 KORES금속가격)
- 국가 미래 해양자원 확보를 위한 연구개발로서 심해저광업 실현으로 신산업동력이 취약한 우리나라 산업구조에 대한 새로운 동력원창출 필요.
- 글로벌 해양강국 실현을 위해 대양연구 전문인력 양성과 해양산업계의 대양진출 필요.
- 첨단 산업소재로서 희유금속(희토류 포함)의 중요성 증대, 안정적 공급원 확보 필요.
- 심해 극한환경 탐사를 통한 새로운 생물소재 자원 확보와 해외 경제영토 확대 필요.

제 5 장

기대효과 및 향후 활용방안

제 1 절 기대 효과

1. 해양생물·유전자원 활용기술 개발

- 해양 생물독의 시공간적 변화 및 생태독성평가 결과는 국민안전을 위한 예보 또는 안전한 수산물 섭취에 대한 정책 자료로 활용가능.
- 기능성 소재 개발 인프라, 유전체 분석 기반 천연물 생산기술 플랫폼 구축으로 지속적인 소재 개발 및 사업화가 가능하여 이에 따른 경제적 가치 창출 기대.
- 우리원이 보유한 해양생물의 대량 배양·생산 인프라의 역할 정립 및 각 지역의 관련 산업발전에 기여.
- 미세조류 배양으로 국민건강증진을 위한 제품의 개발 및 실효성 있는 공공사업 영역의 활동으로 관련 산업체에서 활용 가능한 글로벌 확산 모델 제시.
- 해양 생물독의 시공간적 변화 및 생태독성평가 결과는 국민안전을 위한 예보 또는 안전한 수산물 섭취에 대한 정책 자료로 활용가능.
- 의약품 단백질 소재 개발 인프라, 유전체 분석 기반 천연물 생산기술 플랫폼 구축으로 지속적인 소재 개발 및 사업화가 가능하여 이에 따른 경제적 가치 창출 기대.

2. 전략광물자원 개발역량 확보

- 심해저 광물의 상업 생산에 대비한 원천기술 제공으로 전략금속자원의 장기적이고 안정적인 자원수급 기여로 국가산업발전에 기여.
- 해저광물자원 선광 잔류물 연구는 환경보전 프로그램 및 국제 규범에 부합되며, 관련 환경 친화적 기술을 발전시킬 수 있는 원동력 제공.
- 국가 해양자원 확보를 위한 연구개발로 국가 전략적 중요성을 제고하고, 신산업동력이 취약한 우리나라 산업구조에 새로운 동력원 창출.
- 미국, 일본 등 일부 자원선진국을 중심으로 발전된 고난이도 심해저 탐사기술을 독자적으로 개발함으로써 해양광물자원 선도기술 확보.
- 심해저 자원개발의 파급효과는 연 300만톤 생산시 생산유발액 6조 9,293억원이며, 고용유발인원은 24,250명으로 신규 일자리 창출효과가 큼(삼일회계법인 '17)
- 4차 산업혁명 시대의 핵심전략금속인 코발트의 연간 국내수입량의

100%이상, 니켈의 13%, 망간의 100%이상을 20년 이상 심해저에서 공급 가능(삼일회계법인 '17)

3. 대양·극한지 탐사와 신자원 발굴

- 해저광물자원 탐사를 통한 4차 산업혁명에 필수적인 희유금속 자원 확보 및 개발을 위한 광역 기초자료 확보.
- 극한 환경의 심해 탐사기술 및 환경기술의 획기적 발전 및 전문가 양성으로 연구 인프라를 타 분야로 파급시킴으로써 국가과학기술력 강화.
- 미래 해양자원 확보 및 환경 관련 기술 연구개발에 대한 전략적 중요성을 제고하고, 산업동력이 취약한 우리나라 산업구조에 새로운 동력원 창출.

제 2 절 향후 활용방안

1. 해양생물·유전자원 활용기술 개발

- 확보한 해양생물·유전자원 인프라를 생명공학기술개발사업에 활용할 수 있으며, 구축된 천연물 및 생물독 라이브러리는 의약품 개발을 위한 원천소재로 활용.
- 미세조류의 안정적 생산으로 소재 표준화가 가능하며, 기능성 화장품 및 식품 원료 등의 산업화를 통한 경제적 가치 획득 가능.
- 단백질 바이오메디컬 소재의 원천 기술로 지적 재산을 확보하고, 의학용(치료, 진단, 생체 조직 포함), 향장용 단백질 소재를 사업화할 수 있는 기반으로 활용.
- 대사과정 재설계기술, 유전체 편집기술과 이를 이용한 대사재설계 균주는 활성 천연물 등 유용 산물의 생산 수준을 높여 산업소재로 쓰일 수 있음.

2. 전략광물자원 개발역량 확보

- 연구결과는 고품위 광체가 다량 부존된 개발유망지역 확정 및 국제기구의 개발권 신청요건으로 활용되며, 궁극적으로는 상업생산을 결정하는 핵심자료로 사용됨.
- 심해저광물자원 개발권 획득을 위해 환경보존 방안 수립이 필요한 바, 선광잔류물 배출 축소와 오염물질 저감 등 환경 충격요인을 최소화하는 방안을 제시함으로써 개발권 획득을 위한 준비 자료로 활용.
- 선광잔류물의 관리 규정 제정이 예상되는 바, 이에 대한 전략적 대응을 위한 기초자료로 활용.
- 심해저광물자원개발 사업에서 도출된 환경영향 평가 기술은 타 육상 및 해양기인 오염물의 분석/추적, 환경영향 평가, 생물위해성 평가, 저감/처리 등에 활용.

3. 대양·극한지 탐사와 신자원 발굴

- 대양 신생물 자원 발굴과 확보의 우위 선점을 통한 해양바이오 산업의 신소재 제공.

- 4차 산업혁명에 필수적인 희유 금속 확보를 위한 기초자료 제공.
- 발전된 극한 환경의 심해 탐사기술 및 환경기술 양성으로 연구 인프라를 타 분야로 파급.

제 6 장

과제제안요구서 (RFP)

전략목표

2

(해양전략자원 개발) 해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사

구 분	임기전('15~'17)	임기중('18~'22)	임기후('23~'28)
◇ 성과목표 2-1. 매우 도전적인 목표 해양생물·유전자원 활용기술 개발			
생리활성 성분(생물독, 천연물) 발굴·분석 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 생리활성 성분 분석기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> PSP 라이브러리 구축 활성 천연물 작용기전 규명 	<ul style="list-style-type: none"> 해양생물독 및 활성성분 라이브러리 구축
해양 생물자원·소재 대량배양·생산 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 미세조류 10톤급 생산시설 운용 C1 가스 전환균주 특성분석 	<ul style="list-style-type: none"> 미세조류 생산시스템 표준화 탄소대사 재설계 균주 및 발효기술 고도화 활성 해면 천연물 이형발현 조건 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 독자적인 미세조류 생산시스템 설계 기술 확보 이형발현 활성천연물 대량생산
유전체정보를 활용한 의약 및 기능성 소재 개발	<ul style="list-style-type: none"> 해양단백질 치료제 개발 인프라 구축 해양유래 기능성 소재 추출 기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 단백질 치료제 비임상 후보물질 도출 해양유래 기능성 소재 식약처 인증 	<ul style="list-style-type: none"> 해양유전체 기반 의약소재 개발 활성화 기능성 소재의 시제품 생산 및 GLP인증
◇ 성과목표 2-2. 매우 도전적인 목표 전략광물자원 개발역량확보			
인도양 해저열수광상 자원량 평가	<ul style="list-style-type: none"> 정밀탐사 후보지역 선별 DTSSS/MAPR 자료 확보 (1-3구역) 기초환경자료 수집 및 기반암분석 	<ul style="list-style-type: none"> 광상 품위 및 부존규모 파악 1차 광구선별(5,000km) 열수환경/생태변동성 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 최종광구 확정(2,500km) 광체수직연장규모 해석 개발적합성 판별 환경영향평가
서태평양 망간각 자원량 평가	<ul style="list-style-type: none"> 망간각 광구등록(3,000km) 	<ul style="list-style-type: none"> 생성기작 및 자원 분포 해석 금속원소 거동 판별 기초환경 자연변동성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 망간각 자원량평가 해저산 환경영향평가 최종광구 확정 (1,000km)
심해광구 유지관리 및 개발역량확충	<ul style="list-style-type: none"> 상용화기반 생산기술 확립 탐사권 연장계약 ('16-'20) 	<ul style="list-style-type: none"> 환경자료 획득/분석 국내법 제정 개발권 신청서 제출 경제성 분석, 비즈니스 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 사업 개발권 확보 및 사업개발 추진
◇ 성과목표 2-3. 대양·극한지 탐사와 신자원 발굴			
국가 대양·극한지 탐사 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> 소규모 산·학·연 공동 대양연구 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 산·학·연 공동 대양연구 기획과 수행 및 전문인력 양성, 소규모 대양연구과제 발굴 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 대양·심해 산·학·연 공동연구 확대 및 전문 연구인력 확충
대양저 지체구조 해석 및 잠재 자원 가치 평가	-	<ul style="list-style-type: none"> 지구물리자료 획득 지구조별 암석 및 퇴적물 시료 확보 희유금속 품위평가 	<ul style="list-style-type: none"> 지구조별 희유금속 자원잠재성 평가 고품위지역 선별
열수해역와 심해의 생물자원 확보와 다양성·생물지리 분석	<ul style="list-style-type: none"> 북서태평양 심해생물 표본 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 생물표본 확보, 다양성과 지리분포 분석 분자마커 및 특이유전자분석 	<ul style="list-style-type: none"> 열수해역 및 심해 생물 유래 극한기능 유전자, 신물질 발굴과 활용기술 개발

그림 6-1. 해양바이오·전략광물자원 개발 및 대양 신자원 탐사 목표

1. 해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용평가 기술 개발

성과목표2-1	해양생물·유전자원 활용기술 개발
---------	-------------------

과제제안요구서(RFP)

중과제	(해양전략자원 개발) 해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사		
제안 과제명(안)	해양생물 기반 생리활성 화합물의 확보와 응용·평가 기술 개발		
총연구기간	'19.1.1 ~ '22.12.31 (4년)		
총연구비	4,200백만원	'19년도 연구비	1,050백만원

1. 연구개발의 필요성

□ 지원근거

○ 정책 (과학기술)

- 생리활성 해양 천연물 발굴과 유기형광소재 개발은 ‘제4차 과학기술기본계획 (2018-2022)’ 에서 열거한 중점과학기술 목록 중 ‘유기·바이오소재’ 분야 ‘기능성 유기소재, 친환경 바이오소재 기술’ 과 ‘융복합소재’ 분야 ‘다기능 융복합소재 기술’ 에 해당
- 제4차 과학기술기본계획(2018-2022)에서 정한 과제 ‘생활 속 위협요인에 대한 예방 및 관리, 일상생활 유해요인을 관리하여 안심하고 잘 살 수 있는 생활환경 조성’ 에 ‘신종 유해물질 측정기술 개발 및 위해성 검증 안전기준 마련’ 이 명시. 수산 식품 안전을 위협하는 마비성 패독에 대한 기초 연구와 독성 평가기법 개발이 이에 해당
- 천연물 생산, 분석 기술은 생명공학 융합형 산업(화학·의학·환경·식품·바이오매스·에너지)에서 활용되는 범용 기반기술로 생물 유래 물질의 제품화 토대를 구축. 과기정통부가 ‘2019년도 정부연구개발투자 방향과 기준’ 에서 제시한 정부 R&D 투자영역 중 ‘산업선도’ 에 해당하며, 기술분야 중 우주·항공·해양 분야의 투자방향인 ‘고부가가치 핵심기술 및 산업기반 기술 투자 강화’ 에 해

당

- 해양생물로부터 생리활성 성분(천연물, 생물독)을 발굴하고 분석하는 연구는 ‘제3차 생명공학육성기본계획 (바이오경제 혁신전략 2025)’에 제시된 전략 ‘동식물, 미생물, 해양생명자원 등 농림·수·축산자원의 고부가가치화 및 유망 신소재 개발’을 구현하며, 전략분야 중 ‘기능성 소재 개발 및 식품안전·품질향상’에 해당

○ 정책 (해양과학)

- ‘제2차 해양수산발전기본계획(2011-2020)’은 지구온난화로 인한 해양생태계 교란 발생에 주목함과 동시에 해양과학기술을 이용한 유망 신산업의 발굴에 초점을 맞추고 있음. 생리활성 천연물과 생물독 연구는 제시된 5대 추진전략 중 ‘신성장동력 창출을 위한 해양과학기술 개발’을 위한 ‘해양생물, 유전자원 개발’, ‘국내외 다양한 생물소재 탐색 및 유전자원 발굴’에 해당

○ 연구 성과 계획서

- ‘한국해양과학기술원 2018-2022 연구 성과 계획서’에 제시된 성과목표 ‘해양생물·유전자원 활용기술 개발’, 특히 성과목표 2-1-1의 ‘생리활성 성분 발굴·분석 기술 개발’의 달성을 위해 제시된 세부 성과목표(마비성 패독 생산, 분석 기술연구, 활성 천연물 분리와 규명, 활성 천연물 생합성 경로 규명과 이형발현 조건 탐색, 생체분자 탐지용 형광센서 도출)를 포괄하는 연구개발 사업을 진행할 필요가 있음

□ 필요성

○ 생리활성 천연물의 개발 가능성과 필요성

- 해양생물은 화학적 자기 방어수단으로서의 생태학적 기능을 가지는 물질을 생산하는 경우가 많음. 특히 조직이나 세포 수준에서 독성을 나타내는 물질의 출현이 빈번한데 이러한 독성은 심각한 중독을 초래하기도 하고 적절히 활용되어 항암제, 항생제 개발로 연결되기도 함. 이러한 해양 천연물의 특성을 적절히 관리/활용하는 연구가 필요
- 해면은 해양생물 중 생리활성 천연물의 출현빈도가 가장 높은 동물이지만 물질 함유량과 확보 가능한 개체량이 적어 지속적인 물질

공급의 문제가 개발의 걸림돌이 되고 있음. 생합성 연구를 통하여 물질 공급의 문제를 극복할 수 있다면 해양 천연물을 다양한 소재로 개발할 수 있을 것으로 기대됨

○ 해양 생물독의 분석, 확보 기술 개발의 필요성

- 인간에게 가장 큰 피해를 입히는 해양독은 마비성 패독으로 빈번하게 중독 사고를 일으켜 2018년에는 시중에 납품된 홍합이 전량 회수되었음. 기후변화로 인한 연안 수온 상승과 더불어 해양 생물독에 의한 사고는 증가할 것으로 예상됨
- 해양 생물독의 정성, 정량 분석은 표준물질과의 상대적인 비교에 의해 이루어지므로 이의 확보가 분석가능 여부를 결정함. 현재 국내에서는 표준 독소를 구할 수 없어 캐나다 정부기관인 NRC(National Research Council)에서 수입하고 있음. 일본은 삭시톡신을 제외한 표준 독소를 정부차원에서 자국 내에 공급하고 있음
- 독성 천연물 확보의 중요성은 표준물질로서의 가치 외에도 이들 천연물이 특이한 생리활성을 나타낸다는 사실에 있음. 저분자물질의 약품 개발의 선도국가인 미국에서는 패류 독소의 마비 증상을 이용하여 새로운 진통제를 개발하고 있음
- 해양 생물독의 독성평가에 있어, 표준 독소의 이용성 및 복합 독성 평가의 한계성을 지닌 화학적 분석기법을 보완하기 위한 독성평가 기법으로 MBA(쥐 활용 분석, Mouse-based assay)가 사용되고 있으나 결과의 오류가 많고 윤리적 문제도 제기되고 있어 이를 대체할 평가기법의 개발이 요구되고 있음

○ 천연물기반 기능성 형광소재 개발의 필요성

- 저분자 유기형광물질은 생명공학, 의료진단, 신약개발, 환경공학 등에 광범위하게 적용이 가능한 유망 소재임. 저분자 유기형광물질을 이용하여 특정 생물체, 세포기관 또는 단일 분자 (단백질, 유기분자, 금속이온 포함)에 대한 높은 상호결합 선택성을 갖는 형광화학 센서의 제작이 가능하며, 이는 다양한 자연현상에 대한 새로운 분석도구로 응용될 수 있음

2. 연구개발 동향

□ 국내

- 생리활성 천연물 연구 개발 현황
 - 의약품으로서의 천연물 연구개발의 경우 국내 제약사들을 중심으로 글로벌 시장 진출이 모색되고 있음. 이미 국내에서 시판되고 있는 스티렌, 신바로, 조인스 등 이외에도 동아에스티와 영진약품 등에서 신약 승인 취득을 목표로 천연물 신약 개발 연구를 진행 중. 상기 모두 혼합물 형태의 육상식물 추출물을 유효 성분으로 함유하고 있는데, 이는 유효 단일 성분의 신약 승인이 대부분인 글로벌 시장 진출에 있어 큰 걸림돌로 작용할 가능성이 높음
 - 국내에서 해양생물 추출물이나 천연물로부터 의약품이 개발된 예는 없고, 특정 지표 물질을 함유하는 해조류, 미세조류 추출물을 활용하여 기능성 식품, 화장품 등을 개발하는 연구가 활발하게 진행되어 상품으로 개발되고 있음. 다양한 생물로부터 여러 기능의 지표 물질과 활성 성분을 지속적으로 발굴하는 것이 필요한 상황
- 해양 생물독 분석과 생산 연구 현황
 - 생물독은 소량으로 강한 활성을 나타내기 때문에 자연에서의 확보에 어려움이 있어 공급은 화학적, 생물학적 합성에 의존해야 함. 군산대에서 미세조류 대량배양을 통해 펙테노톡신 계열의 설사성 패독을 생산한 바 있으나, 독성이 가장 강한 알칼로이드 계열 독소 생산에 대한 연구는 전무한 상황
 - 해양 생물독의 평가는 주로 MBA를 활용하여 이루어지고 있음. 토끼 혈소판의 응집현상을 이용한 일부 생물독의 평가나 개구리 방광막을 이용한 패독, 복어독 등의 평가가 시도된 바 있으나 동물을 이용하는 윤리적 문제가 존재
 - 국립수산과학원에서는 MBA로 마비성 패독의 발생을 모니터링하고 있으나 이는 독성의 세기에 대한 정보만 제공함. 마비성 패독의 화학적 정량 분석은 HPLC(고성능 액체 크로마토그래피)에서 표준물질과 시료 사이의 용출시간 비교를 통해 이루어짐. 마비성 패독에는 총 58개의 유도체가 있어 복잡한 패턴을 보이며, HPLC-FLD(Fluorescence detector)를 이용하는 특수한 방법(Post-column oxidation)을 이용해 정량 분석이 가능
 - 마비성 패독의 발생은 패류의 먹이원인 유독 플랑크톤의 종류와 섭

취량에 의해 결정됨. 우리나라 연안에서 다양한 유독 플랑크톤이 출현하여 이들의 생리, 생태적 특성에 관해서는 많은 연구가 진행되었으나, 마비성 패독의 원인종이나 생산에 관여하는 환경 조건은 규명되지 않음

○ 천연물 기반 기능성 형광소재 연구 현황

- 형광 프로브, 형광 화학센서 연구개발은 생명공학과 진단의학 분야에서 활발하게 이루어지고 있으며 상품으로 개발된 물질이 다수 존재. 그러나 해양과학 분야에서 형광화학센서 기술은 아직 도입 단계로 국가별 기술격차가 크지 않기 때문에 과감한 투자와 기술 선점을 통해 해당 분야의 선도가 가능

□ 국외

○ 생리활성 해양 천연물 연구 개발 현황

- NCI(미국, National Cancer Institute)의 전임상 세포독성 측정 검색을 활용한 암세포 억제 물질 확인 연구에서 육상 천연물은 0.1%가, 해양 천연물은 1%가 개발 가치 있음이 확인됨. 특히 해면은 세포독성 물질의 발견 비율이 육상생물이나 다른 해양생물에 비해 월등한 것으로 확인되어 지속적인 생리활성 천연물의 발굴이 기대됨
- NCI의 경우 천연물 연구개발 초기단계(Decison Network IIA)에서 화합물 지속/대량 확보 가능 여부를 심사하는데, 해양 천연물의 경우 이 단계에서 개발이 좌절되는 경우가 대부분. 천연물 대량 생산을 가능하게 하는 기반 기술이 확립될 경우 해양 천연물의 개발 가능성이 증가할 것으로 예상됨
- 해양 천연물 개발에 있어 치명적인 한계로 작용해온 물질량 확보의 문제를 해결하기 위한 생합성 연구가 늘어나는 추세에 있음. 특히 미생물이나 동물 전생체의 유전자 염기서열로부터 천연물 생합성과 관련된 유전자군을 찾아 이를 이형발현에 활용하는 연구가 증가하고 있음

○ 해양 생물독 분석과 생산 연구 현황

- 독성 천연물의 확보에 가장 선도적인 연구기관은 캐나다 NRC로 자세한 연구내용은 알려져 있지 않으나, 미세조류로부터 여러 독성 천연물을 분리, 보급하고 있음. 가장 독성이 강한 마비성 패독의 분

석과 확보는 미국, 일본이 선도하고 있는데, 화학적 합성을 통한 생산과 이에 기반한 의약소재 개발 연구가 진행되고 있음

- 마비성 패독으로 인해 피해가 발생한 미국, 노르웨이, 뉴질랜드, 일본 등에서는 패독의 원인종인 와편모 조류와 패류독화의 상관관계를 규명하기 위한 연구(독이 생산되는 환경조건 탐색)를 수행하고 있음
- 미국, 유럽 등에서, MBA 대체할 독성평가 기법 연구를 위해 다양한 해양 생물독에 대해 척추/무척추동물, 미세조류 및 미생물의 생태적 엔드포인트를 조사한 바 있음. 최근 배양세포를 이용한 시험관(in vitro) 분석법이 주목받고 있으나 정확성이 낮아 실용화되기는 어려운 상황

○ 천연물 기반 기능성 형광소재 연구 현황

- 해양미생물 배양액으로부터 분리된 형광물질 에피코코논(epicocconone)은 최초 보고된 이래 약 5년 정도의 짧은 상품화 과정을 거쳐 ‘FluoroProfile’ 이라는 상품명(시그마 알드리치, 단백질 정량 키트)으로 성공적인 시장 진입. 이는 긴 연구개발 기간과 막대한 비용을 필요로 하는 신약개발연구와 비교되는 좋은 성공사례이며, 해양생물자원을 활용한 연구개발이 의약품 개발과 소재 개발의 투-트랙 전략을 구사해야 하는 당위성을 제공

3. 연구목표 및 성과지표

(1) 최종목표 및 성과물

□ 최종목표

해양생물을 이용하여 관리/활용이 필요한 천연물을 분석/발굴하고 이를 지속적으로 생산할 수 있는 생산기술 개발의 기초를 확립, 생리활성 물질의 지속적인 분석/발굴을 위해 관련 화합물 평가 기술과 관련 기초·응용기술 개발

- 유용 천연물 규명과 화학적, 생물학적 합성 방법론 구축
- 독성 천연물의 화학적, 생물학적 생산 연구와 안정적인 분석 방법론 구축
- 화합물의 생리활성 평가 기술 개발
- 유용 화합물 기반 기능성 분자소재 제시

□ 최종성과물

- 생리활성 천연물 발굴과 생물학적 합성 기초기술 개발
 - 생리활성 천연물 분리/규명
 - 생리활성 천연물 타겟 단백질 규명
 - 천연물 생합성 경로 규명과 이형발현 조건 확립

- 화학적, 생물학적 접근을 통한 해양생물독의 확보
 - 마비성 독소 표준시료 확보
 - 외편모 조류 배양을 통한 마비성 독소 생산 환경과 방법론 확립

- 천연물 평가, 응용기술 개발
 - 미소 동물플랑크톤 활용 화합물 독성 평가기술 개발
 - 기능성 형광 분자소재 개발

(2) 성과목표 및 성과지표

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
생리활성 천연물 발굴	생리활성 천연물 발굴	20종	IC ₅₀ 5μM 이하의 활성을 나타내는 천연물 분석 자료
	천연물 작용 단백질 규명	2건	천연물이 기능을 억제/항진 시키는 단백질 규명
해면 메타게놈 기반 천연물 생합성 경로 규명	해면 메타게놈 데이터	3종	해면 메타게놈 분석 자료
	천연물 생합성 유전자군 규명	1종	유전자군 염기서열 정보 산출
	천연물 이형발현 조건 탐색	10종	천연물 이형발현을 위한 균주, 배양조건 탐색 자료
마비성 독소 표준시료 확보	분석 표준시료 라이브러리	10종	확보된 마비성 패류독소 원인 물질의 종수
외편모 조류 활용 마비성 독소 생산 방법론 확립	마비성독소 원인종과 독소 생산이 가능한 환경 조건 규명	50 μg/L	마비성독소 생산이 가능한 환경조건 제시
미소 동물플랑크톤 활용 화합물 독성 평가기술 개발	독성 평가기법 개발	1건	마비성 패독의 독성평가에 대한 적합성
기능성 형광 분자소재 개발	생체분자, 금속이온 탐지용 형광물질 도출	3종	단백질, 유기분자, 금속이온 등에 작동하는 형광센서 제작

4. 주요연구내용 및 범위

□ 연구내용

- 생리활성 천연물 발굴
 - 해양생물 추출물 생리활성 검색
 - 생리활성 추출물 함유 천연물 분리/규명
 - 천연물 생리활성 탐색과 표적 단백질 규명

- 해면 메타게놈 기반 천연물 생합성 경로 규명
 - 해면 메타게놈 분석과 천연물 생합성 유전자군 규명
 - 천연물 생합성 유전자 이형발현 조건 탐색

- 마비성 독소 확보와 분석방법론 확립
 - 마비성 패독 정성, 정량 분석 방법론 확립
 - 마비성 패독 유도체 확보

- 와편모 조류 활용 마비성 독소 생산 방법론 확립
 - 마비성 패독 원인종 선별
 - 마비성 패독 생합성 환경조건 탐색
 - 대량배양을 통한 마비성 패독 생산 환경 규명

- 미소동물플랑크톤 활용 화합물 독성 평가기술 개발
 - 미소동물플랑크톤 배양 안정화 기술 확립
 - 미소동물플랑크톤의 화합물에 대한 반응 조사와 정량화

- 천연물 응용기술 개발 - 기능성 형광 분자소재 개발
 - 형광 유도체 합성과 물성 개선
 - 형광 유도체 최적화
 - 생체분자 탐지용 형광물질 도출

5. 기타

- 과제제안요구서(RFP) 상의 최종목표 및 주요 내용을 고려하여, 연차별 연구개발 목표 및 정량 및 정성적 성과지표를 과제계획서에 작성할 것

2. 해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산기술 개발

성과목표2-1	해양생물·유전자원 활용기술 개발
---------	-------------------

과제제안요구서(RFP)

중과제	<input type="checkbox"/> (해양전략자원 개발) 해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사		
제안 과제명(안)	해양바이오 기반 청정 기능성·산업소재 대량생산 기술 개발		
총연구기간	'19.1.1 ~ '22.12.31 (4년)		
총연구비	7,580 백만원	'19년도 연구비	1,845 백만원

1. 연구개발의 필요성

(지원근거)

- '19년 정부연구개발 투자방향 중 미래선도과학기술 역량 강화(개방·공유·협력의 연구개발 생태계 구축) 및 13대 혁신성장동력 분야 중 원천기술 선점가능성이 높은 바이오, 에너지 등 중장기 신산업 육성 분야
- '한국해양과학기술원 2018-2022 연구성과계획서' 에 제시된 전략목표 '해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사' 하의 성과목표 '해양생물·유전자원 활용기술 개발' 의 주요 분야

(필요성)

- 해양생명공학기술의 실용화 기반 구축
 - 원재료의 대량 공급 방법 부재로 인해 해양생명자원의 우수성에도 불구하고 우수한 기술이 실용화로 연결되지 못 하고 사장되어 왔음
 - 해양생명공학산업의 진흥을 위해 원재료의 안정적 수급 경로/기술 확보는 필수 불가결한 요소임
 - 해양극한생명자원의 대량 배양기술 개발은 원재료의 안정적 공급의 실효 기술임
- 新기후협약 체제 대응을 위해 해양극한미생물의 탄소대사연구/활용기술 필요
 - 기존 화학적 방법과 광합성 미세조류를 이용한 탄소전환 기술에서

- 탈피하여 풍부한 해양자원을 대상으로 원천 자원 및 기술 확보 중요
- ‘탄소 처리=비용 부담’이라는 기존의 인식을 깨고 이산화탄소를 고부가가치의 원료나 친환경적인 연료로 전환하는 CCU(탄소 포집 및 재활용, Carbon Capture and Utilization)기술이 환경 문제 해결과 수익 창출의 두 마리 토끼를 잡을 수 있는 대안 중 하나로 주목
- 비광합성 해양극한 미생물의 다양한 탄소 고정화 대사경로를 발굴하고, 이를 이용하여 산업적 유용산물을 생산할 수 있는 탄소전환 원천기술 개발 신산업 창출 기반 확립
- 염지하수(용암해수)의 먹는 물 산업 활용에 따른 부산물(농축 고염분수, 70%)의 산업적 재활용 필요성
 - 용암해수는 제주 동부지역의 화산 암반층에 갇혀있는 해수로 유해성분이 없고 연중 물성이 항상 일정한 수자원으로 이를 해수담수화 과정을 거쳐 먹는 물 산업으로 활용되고 있음. 현재 규모가 일일 3천톤 규모로 생산되고 있으나 2019년부터 1만톤 규모로 확장하게 되며 이에 담수화과정을 거쳐 남은 방대한 량의 농축 고염분수가 바다로 배출되어 해양생태계에 영향을 미칠 수 있음
 - 이를 산업적으로 재활용 하고자 안정적으로 확보가 가능한 농축 고염분수를 활용하여 유용 해양생물자원의 대량생산 기술을 확립하고 이로부터 생산되는 물질의 기능성 규명을 통해 산업화 공정을 확보할 필요성이 있음
- 고부가가치 해양무척추동물 파일렛 생산 기술 필요성
 - 성장 온도범위로 인하여 양식 지역이 제한적인 고부가가치 무척추동물의 양식 지역 확대가 필요함
 - 해수 미네랄 생산 기술 확립을 통한 기능성 먹이생물(해양미세조류)의 배양 기술을 확립하고 이를 활용하여 해양무척추동물을 대량생산 할 수 있는 시스템 구축 필요

2. 연구개발 동향

□ 국내

- 정부 정책 방향
 - 우리정부는 제3차 생명공학육성기본계획('17~'26)을 바탕으로 글로벌 선도 원천융합기술개발 및 실용화를 위한 비전 제시
- 가스전환 플랫폼
 - 新기후체제 출범(파리협정)에 따라 ‘9대 국가전략 프로젝트’에 탄

소자원화 분야를 선정하고 미래부에서는 탄소자원화(CCU) 발전전략 마련하고 국가과학기술자문회의에 보고('16.04.)

- 중점 추진 전략 3대분야로 1)탄소자원화 전주기 기술개발, 2)탄소자원화 시범단지 구축, 3)탄소자원화 생태계 조성을 선정하였고 과학기술부 주관으로 관련 연구개발이 진행 됨
- 탄소자원화 전주기 기술개발 내용으로 1)부생가스(CO, CH₄) 전환, 2)이산화탄소 광물화, 3)이산화탄소 전환 등의 원천·상용화 기술을 포함

○ 고염성 해양생물자원 대량배양/활용 기술

- 고염분의 극한환경에서 서식하는 생명현상의 이해 및 생명자원의 활용기술 개발은 독보적인 기술개발로 이어질 수 있음
- 국내에서는 심층수 생산 과정의 부산물인 고염농축수를 이용해 해양 미세조류인 스피롤리나를 배양하는 연구가 진행되었고 그 외의 연구들은 인위적으로 해수에 염을 첨가하여 미세조류를 배양한 연구들이 주를 이룸
- 국내에서 고염 해양생물자원의 대량생산에 대한 연구는 이루어지지 않았음

○ 냉수성 무척추동물의 수층공간이용 복합생물자원 개발

- 수층공간을 이용한 어업은 동해안에서 참가리비/우렁챙이 양식에 일부 적용됨. 먹이생물부족, 부착생물 대량발생, 냉수괴 형성 등으로 인해 생산량 저조
- 대수심 수층공간 활용 양식은 현재 속초에서 연어양식이 진행되고 있으나 임계수온, 연평균 수온, 유지관리 문제 등의 성장 저해요소로 인해 경쟁력 상실
- 국내 패류종묘생산장에서 일부 종보존을 통하여 미세조류가 생산되고 있으나 대량생산 시스템 부재로 인해 배양실규모 정도의 생산에 그치고 있음
- 남해안의 경우는 어패류 양성을 위한 대수심 수층공간 이용기술은 사례 없음

□ 국외

○ 가스전환 플랫폼

- 광합성생물을 활용한 탄소전환기술에 더하여 최근 비광합성 독립영양미생물을 발굴하고 이들을 이용한 탄소전환 (발효), 개량 연구가

급격하게 증가

- 미국 DOE에서는 비광합성미생물을 플랫폼으로 가스이용 바이오연료를 생산하는 연구 진행
- 빠른 탄소고정능을 가지고 있는 *Acetobacterium woodii* 등의 경우 이산화탄소와 수소를 이용한 높은 수준의 아세트산 생산성(최대 35~43 g/L, 단위부피당 생산성: 0.18~0.24 g/L/h) 보고
- 최근 오믹스 분석 기술과 합성생물학/대사공학기술은 우수 균주의 개량을 통한 기능 향상의 핵심 기술로 부각되고 있음
- Lanzatech, 독일 Evonik 케미칼 등이 산업 폐가스이용 소재 생산 사례 보고
- 고염성 해양생물자원 대량배양/활용 기술
 - 해양미세조류인 듀나리엘라(*Dunaliella* sp.)는 고염 스트레스에 의해 지질(lipid)의 생산량이 70%이상 증가
 - 미세조류 및 해조류가 고염 환경 조건에 노출되었을 때 산화스트레스가 유발되고 이로 인해 항산화 물질이 증가 (*Dunaliella tertiolecta*, *Cladophora glomerata*, *Enteromorpha ahlnneriana*, *Ulva prolifera* 등)
- 냉수성 무척추동물의 수층공간이용 복합생물자원개발
 - OECD 수산위원회에서는 환경변화에 대응한 생태계 기반 어업관리를 권고하고, 수산 선진국에서는 먹이생물, 체장변화 등 생태조사를 강화하고 있음. 특히 노르웨이, 유럽, 미국 등은 수산생물 가이드라인에 따라 자원조사의 빈도와 범위를 지속적으로 확대하고 있음
 - 표층식/중층식 어장시설 중 가장 우수하다고 평가받고 있는 제품인 폴라씨클 가두리(Polarcircle cage, AKVA Co.)는 현재 유럽에서 가장 많이 사용되고 있음
 - 국외에서도 국내와 같이 수층공간을 다각화하여 어·패류를 양성하는 사례는 없음
 - 유럽에서는 양식 강국인 노르웨이·스웨덴·영국 등의 북유럽 국가와 지중해 연안국이 활발하게 표·중층 외해양식어업을 추진하고 있음. 특히, 유럽연합 차원에서 외해양식기술연구그룹(Offshore Aquaculture Technology Platform)을 결성하여 외해양식과 관련된 연구를 수행하고 있음.
 - 프랑스나 호주의 경우 저염/고염 미세조류를 대량생산하여 먹이생물 및 기능성 소재로서 상업생산 중임

3. 연구목표 및 성과지표

(1) 최종목표 및 성과물

□ 최종목표

- 해양·극한 생물자원을 활용한 산업소재 대량생산 플랫폼 구축 및 활용
 - 비광합성 해양·극한 미생물 기반 가스전환 플랫폼 구축 및 활용기술 개발
 - 농축 고염분수 활용 기능성 해양생물원료 대량생산 및 산업소재 개발
 - 고품질 먹이생물 개발을 통한 해양무척추동물 파일릿 생산기술 개발

□ 최종성과물

- 해양생물자원 기반 대량생산 시스템
 - 해양·극한미생물을 활용한 가스발효 플랫폼
 - 고염성 해양생물 유래 기능성 유효성분 생산/추출 공정
 - 냉수성 무척추동물의 수층공간이용 복합생물자원개발

(2) 성과목표 및 성과지표

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
해양·극한미생물을 활용한 가스발효 플랫폼	가스발효 생산성 (C1가스전환 acetate 생산)	6 g/L/d (Lab Scale 반응기 실증)	- 2021년까지 현재 기준 세계 최고수준 도달 - 보고서, 발효기 운영 자료로 확인
	해양·극한 생물자원 확보	자가영양/ 유기산 활용 미생물 10종	- 선행과제 계획 기준 - 실물 및 DB등재 확인
고염성 해양생물 유래 기능성 유효성분 생산/추출 공정	고염성 해양 생물자원 확보	10건	- 단일기관 국내 최고수준 - 실물, 정보, 배양 데이터 확인
	대량생산체계 구축	30톤 규모	- 단일배양 국내 최고수준 - 배양시설확보, 30톤급< 배양데이터
	기능성 소재 확보	5건	- 소재 유무 및 생리활성 데이터
냉수성 무척추동물의 수층공간이용 복합생물자원 개발	어장시설 기법 및 관리 기술 개발	- 적지조사표 및 설계서 - 모듈식 미세조류 배양시스템 - 양식생물 병원체 검출 키트 개발	- 심층연승식 어장개발 및 관리의 필수 요소 - 설계서, 관련 매뉴얼, 특허 등록 등 평가
정량 성과	SCI급 논문	40	1편/2억 (직접비 기준, 우수논문 지향)
	특허	20	1건/4억 (직접비 기준, 유효특허 지향)

4. 주요연구내용 및 범위

□ 연구내용

- 산업적 활용 가능한 해양·극한 환경 유래 해양생물자원 확보 및 특성 규명
 - 우수균주 확보: 가스전환 균주, 유기산 활용 균주, 고염 적응 균주 등
 - 가스전환 균주/유기산 전환균주 특성분석: 대사산물 분석, 최적 배양 조건 확립, 오믹스 해석, 대사경로 분석 등
 - 우수 균주 대사특성 이해를 통한 성능 개량: 적응 진화, 대사경로 편집 등
 - 고염 적응 생물자원의 유용 성분 연구: 추출물/가공물 제작 및 기능성 평가를 통한 유효성분 발굴, 작용 기전 연구
 - 추출물/가공물의 안전성 평가: 세포독성 평가, 동물모델을 이용한 단기/장기 독성 평가 등
 - 물리·생물학적 모니터링을 통한 수층별 미세조류 자원량 파악 및 분리
- 해양생물자원의 기능 심층 분석을 통한 대량생산 공정 구축
 - 모델균주를 이용한 가스전환 기술 고도화: 배양조건 탐색, 발효기술 개선을 통한 고농도 배양 기술 확립
 - 고염 적응 대상 생물의 대량생산 필요조건 연구: 배양시스템 제작 및 시스템별 배양특성 분석
 - 고염분수 배양 해양생물원료의 성분 안정화 대량생산 공정 확립: 생산시설 스케일업, batch 별 성분 변화 분석, 지표성분 설정 및 분석을 통한 원재료 표준화 공정 확립 등
 - 해수 가공 미네랄 생산 및 이를 활용한 해양 미세조류 대량 배양기술 확립
 - 미세조류를 먹이생물로 한 해양무척추동물 양식 기술 확립
- 산업적 소재 생산 및 활용 플랫폼 기반 기술 구축
 - 가스전환 해양·극한미생물 플랫폼 확립 및 소재생산 활용: 균주, 배양기술, 소재 생산 연동 시스템 확립
 - 바이오소재 생산 통합공정개발을 통한 산물 다양화 및 고도화연구: 혼합영양조건, 유기산 전환기술 등
 - 고염분수 배양 해양생물원료로부터 기능성 물질 생산/추출 공정 확립: 유효성분 함량 증진 기술, 유효성분 최적 추출 공정 개발 및 기

준 시험법

- 기능성 물질의 실용화를 위한 자료 확보: 유해물질에 대한 규격 및 시험방법에 관한 자료, 안전성에 관한 자료, 기능성 내용에 관한 자료 등
- 해양무척추동물 생산력 평가: 병원체 검출 기술, 무척추생물 대량생산을 위한 자원관리, 시설 유지/관리 시스템 확립

5. 기타

- o 과제제안요구서(RFP) 상의 최종목표 및 주요 내용을 고려하여, 연차별 연구개발 목표 및 정량 및 정성적 성과지표를 과제계획서에 작성할 것

※ 연차별 목표 및 지표

연도	2019	2020	2021	2022	2023 ~ 2028
목표	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 균주 확보 - 모델 균주 기반 배양기술 개선 - 유용 해양생물 추출물/가공물 제작 및 기능성 평가 - 물리, 생물학적 모니터링을 통한 수층별 미세조류 자원량 파악 및 분리 	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 균주 확보 (계속) - 가스대사경로 분석 - 모델 균주 기반 배양기술 개선 - 고염 생물 배양조건 확립 - 고염 생물 추출물 유효성분 발굴 - 해수 미네랄 기반 미세조류 배양기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> - 해양미생물이용 가스발효기술 최적화 - 고염분수 배양 해양생물원료의 성분 안정화 대량생산 공정 확립 - 미세조류 기반 무척추동물 양식 기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 균주 성능 개량 - 바이오소재 생산 통합공정 개발 - 기능성 물질 생산/추출 공정 확립 - 기능성 물질 안전성 검증 (동물 실험) - 해양무척추동물 생산력 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 가스발효기술 고도화 - 산업소재 생산플랫폼 구축 - 양식 자원복합 비즈니스 해중공원 모델 개발
성과지표	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 균주10종 - 가스발효 OD>3.0달성 - 기능성 함유 추출/가공 물질 10건 - 수층 공간 먹이생물 분포도, 병원체 목록 - 논문 8, 특허 4 	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 균주8종 - 경로분석 5종 - 가스발효 OD>5.0 달성 - 2종의 고염 생물 10톤급 배양조건 확립 - 유효성분 4건 - 병원체 검출키트, 어장시설 설계서 - 논문 10, 특허 4 	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 균주2종 - 가스발효 OD>10 달성 - 추출물 성분 안정화 프로토콜 - 기능성 물질 안전성 제시 : 세포실험 기반 - 모듈식 미세조류 배양시스템 - 논문 14, 특허 5 	<ul style="list-style-type: none"> - C1가스→acetate ; 6 g/L/d - C1→유기산→고분자물질 생산 공정 - 기능성 소재 5건 - 고염 생물 배양 시스템 : 30톤 규모 - 무척추동물 생산량 - 논문 8, 특허 7 	<ul style="list-style-type: none"> - C1가스→acetate ; 8 g/L/d 달성 (실증) - 고분자 생체물질 상용화 - 고염 생물/물질 생산시스템 설계 - 고염 생물 유래 기능성 물질 상용화 - 복합 해중공원 모델 기술이전

3. 해저광물자원개발 선풍 잔류물의 환경 친화적 저감/처리 기술 연구

성과목표2-2	전략광물자원 개발역량 확보
---------	----------------

과제제안요구서(RFP)

중과제	□ (해양전략자원 개발) 해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사		
제안 과제명(안)	심해저광업 잔사물질 특성규명 및 환경 친화적 저감/처리 기술 연구		
총연구기간	'19.1.1 ~ '22.12.31 (4년)		
총연구비	2800백만원	'19년도 연구비	700백만원

1. 연구개발의 필요성

- 해양과기원 임무 및 경영목표에 부합
 - 해양과기원 임무 중 해양과학기술 및 해양산업 발전에 필요한 원천연구, 응용 및 실용화연구에 해당
 - <경영성과계획서> 상 전략목표 2 (해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사) 성과목표 2-2 “전략광물자원 개발역량 확보”에 해당

- 국가적 아젠다와의 연계성
 - 문재인정부 국정운영 5개년 계획 중 국정과제(62) : 해양영토 수호와 해양안전 강화(- 실천과제 : 남·북극 등 대양진출 확대와 국제 해양네트워크 확충)와 ‘84. 깨끗한 바다, 풍요로운 어장’ 등에 해당
 - 정부의 제 4차 과학기술기본계획 (2018-2022) 중 “환경, 기후변화, 자원부족 등 인류적 난제해결에 주도적 역할”에 해당
 - 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018~2022)의 해양생태계관리 및 미래유용자원 탐색 프로젝트에 해당
 - 2018년 해양수산부 연구개발 6대 중점투자 방향 중 “강화된 국제규제를 기회로 해양신산업 육상” 및 “선제적 R&D를 통한 해양환경 위협요인 극복”에 해당

- 추진의 시급성: 심해저광물자원 개발 규칙 제정 임박
 - 최근 심해저광물자원의 시험채광과 양광이 성공적으로 이루어짐으로써 상업개발 임박

- 2020년 제정될 국제해저기구의 심해저광물자원 개발규칙 초안에 선상 발생 선광잔류물 관리에 대한 규정 포함 계획
 - 선광 잔류물의 배출에 따른 환경영향평가 및 저감기술 개발은 국제적으로 이루어지지 않아 판단요소를 조기에 도출하고 관련기술의 개발을 통한 기술 선점의 기회
- 국가차원의 연구개발 필요성
- 심해저광물자원의 상업화를 앞당기고 신산업을 창출하는 등 경제·사회적 공공성, 공익성이 높음
 - 해양자원, 해양과학, 해양산업 및 해양외교 등 다양한 분야가 얽혀 있어 국가차원의 해양개발 정책과 연계한 국가 주도의 기술개발 추진 필요
 - 장기적인 국가 산업발전과 안정적 자원 확보를 목표로 하는 신산업분야로써 단기적 수익 창출을 필요로 하는 민간기업의 투자보다 정부 차원의 투자가 필요

2. 연구개발 동향

□ 국내

- 대한민국 해저광물자원 탐사권 확보 및 개발단계 진입 노력
 - 공해/도서국 배타적 경제수역 내 총 5개 지역에서 망간단괴, 해저열수광상 및 망간각 광구 탐사권을 확보
 - 2017년 심해저광물 개발에 대한 국내법을 발의, 향후 상업적 개발을 통한 미래 안정적 전략금속 공급원 확보 추진
- 국내 기술동향
 - 육상광상개발로 인한 피해 저감, 환경영향 최소화 기술 및 정책 개발 중(한국광해관리공단)
 - 해양폐기물에 대한 생물독성시험이 채택되어 있으며, 다양한 광업폐기물의 생물종에 대한 독성평가 연구결과 제시됨
 - 해양 유해물질의 거동파악 기술이 확립되어 있으며, 해양 물리변수가 확보될 시 선광 잔류물의 이동-확산 예측이 가능
 - 심해저광물자원 개발에 따라 선상 처리가 불가피한 선광잔류물의 특성파악 연구나 환경 친화적 저감처리 방법에 관한 연구는 이루어지고 있지 않음

□ 국외

- 국제기구 동향
 - 국제해저기구에서 2016년 10월 현재까지 공해상에 분포하는 광물자

원에 대한 28건의 탐사권(망간단괴(17), 해저열수광상(6), 망간각(5))이 승인됨

- 망간단괴 개발규칙에는 “선광 잔류물을 최소화하기 위한 관리 규정”을 포함할 예정
- IMO와 London Convention/Protocol에서 “채광잔류물의 처분 및 보관에 대한 규정”을 제정하지 않을 경우, 해양법협약에 명시된 “해양환경의 보호와 보존” 조항에 근거하여 국제해저기구는 독자적으로라도 개발규칙에 관련규정을 포함할 계획임

○ 해외 기술동향

- MIDAS(Managing impacts of deep sea resources exploitation)와 심해 환경관리 이니셔티브(Deep Ocean Stewardship Initiative: DOSI) 등은 해양광물자원의 개발이 유발할 수 있는 환경충격 중 선광잔류물의 잠재적 유해물질 파악과 이들의 수층환경 및 생태계에 미치는 영향 연구를 수행중
- 프랑스 IFREMER는 '21년까지 선광잔류물 처리 관련 연구를 수행 예정
- 선광잔류물 내 포함된 유해/오염인자 특성이나 환경위해성에 대한 연구는 전세계적으로 초기 단계에 해당

3. 연구목표 및 성과지표

(1) 최종목표 및 성과물

□ 최종목표

- 해저광상 개발규칙 제정에 필요한 판단요소 도출을 위한 해저광물자원 선광 잔류물 내 오염물질 특성 규명 및 생물/환경 위해성 평가
 - 선광잔류물 오염물질 특성 규명
 - 생물/환경 위해성 평가
 - 환경영향을 최소화하기 위한 선광 및 처리/저감 후보기술 도출
 - 잔류물 관리규정 제정 대응

□ 최종성과물

- 연구용 표준시료 제작
 - 광석/암석/퇴적물/해수시료 확보
 - 광석/암석/퇴적물 표준시료 제작
- 선광잔류물 배출해역 환경특성 규명
 - 수층환경 자료획득 및 분석
 - 생물종 확보 및 분포 분석
- 오염인자 인벤토리 구축

- 선광잔류물 물리/화학적 특성 DB 구축
- 금속농도/동위원소 비 라이브러리
- 오염인자 식별/추적 기법 정립
- 개략 선광공정도
- 잔류물 시간/공간적 농도 분포 예측
- 생물 독성평가 기법 확립
 - 동·식물 플랑크톤 및 세균 생태 영향 파악
- 처리후보기술 개념도 도출
- 제도/환경변화 대응(관련 규정 제정 참여)

(2) 성과목표 및 성과지표

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
광석/암석/퇴적물/해수시료 확보	시료 확보수	10건 이상	
광석/암석/퇴적물 표준시료 제작	제작 시료 수	6개	
수층환경 자료획득 및 분석	자료확보 정점	광구별 5정점	
생물종 확보 및 분포 분석	시료확보 정점	광구별 2정점	
선광잔류물 물리/화학적 특성 DB 구축	DB 수	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
금속농도/동위원소비 라이브러리	라이브러리 수	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
오염인자 식별/추적 기법 정립	식별/추적 기법	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
개략 선광공정도	공정도	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
잔류물 시간/공간적 농도 분포 예측	확산범위 지도	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
동·식물 플랑크톤 및 세균 생태 영향 파악	독성평가 기법	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
처리후보기술 개념도 도출	공정설계도	2건	광종(망간단괴, 해저열수광상) 별 각 1건
제도/환경변화 대응	국제활동 참여 건수	6건	매년 국제해저기구 활동, 해사기구 회의 참석 1회 이상

4. 주요연구내용 및 범위

□ 연구내용

- 선광 잔류물 환경영향평가 기반 연구
 - 심해퇴적물, 심층수, 광물시료 확보를 통한 연구 기반 조성
 - 잔류물 방류 지역(수심대) 환경자료 및 해수 획득
 - 생물위해성 연구를 위한 관심해역 생물 특성 연구
 - 선광잔류물 표준물질 제작, 현장실험 및 검증 기반 제공
- 오염인자 파악 및 환경영향 분석
 - 선광잔류물 물리/화학 특성 및 동위원소 비 특성 분석
 - 오염인자 용출특성 및 인벤토리 구축
 - 오염인자 식별/추적 기법 정립
- 친환경적 선광 기술 도출
 - 구성광물 및 유가광물의 물리/화학 특성 평가
 - 유가광물 수율 향상 연구 및 친환경적 선광공정 제시
- 잔류물 확산 예측
 - 입자확산 모델링, 현장 검증
 - 확산범위 사전 예측 가능 전문가 시스템 개발, 보급
- 환경/생물 위해성 평가
 - 선광잔류물 배출에 따른 생물영향(생물군집, 사망률 등) 파악
 - 방류수심/농도에 따른 생태계 물질순환 특성 파악, 기능 변동성 파악
- 선광잔류물 저감·처리기술 도출
 - 처리기술별 공정 검토
 - 처리후보기술 공정 개념도 개발
- 국내·외 환경변화 대응전략 연구
 - 국제기구(국제해저기구, 국제해사기구) 동향 파악 및 협약 대응
 - 해저광물 개발 규칙 제정 활동 참여
 - 국내외 협력 네트워크 구축

5. 기타

- 연구선 사용계획: 이사부호 (남서태평양 및 인도양 해양광물자원 개발 사업(25일)과 연계하여 병행추진, 3일), KOK (하와이대학 조사선, 망간단괴 사업과 연계, 4일 사용)

4. 대양의 생물다양성 이해와 신해양자원 확보

성과목표2-3	대양·극한지 탐사와 신자원 발굴
---------	-------------------

과제제안요구서(RFP)

중과제	□ (해양전략자원 개발) 해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사		
제안 과제명(안)	대양의 생물다양성 이해와 해양신자원 확보		
총연구기간	'19.1.1 ~ '22.12.31 (4년)		
총연구비	4,000백만원	'19년도 연구비	1,000백만원

1. 연구개발의 필요성

□ (지원근거)

- 2017 문재인 정부 100대 국정과제와 부합
 - '62번 해양영토 수호와 해양안전 강화' 를 위한 해수부 실천과제 '6번 남북극 등 대양진출 확대와 국제 해양 네트워크 확충
 - '이사부호를 활용한 대양연구 본격화 및 국제연구 참여 등 추진' 과 부합
- 2019 정부연구개발투자방향과 기준(안)과 부합
 - 우선 R&D 영역인 과학기술혁신(기초연구)와 공공수요에 부합
 - 연구자 주도의 창의·도전적 기초연구에 대한 지원 강화
 - 대학·출연연 보유장비(CPR, 유전자 분석 장비) 및 대형 기초인프라 (이사부호) 공동 활용 지원
 - 국가 중장기 위기(미래 유용해양자원 확보 및 기후변화 대응)극복을 위한 연구 지원
- 제1차 해양수산과학기술육성기본계획(2018-2022)과 부합
 - 출연연 브랜드 육성과제로 제안된 '글로벌 대양탐사 프로젝트' 와 '해양생태계 관리 및 미래유용자원탐색 프로젝트' 와 부합됨
 - '전략 2의 사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보' 를 위한 기후변화 등 국제사회 공동 현안문제 해결을 위한 과학기술 기반의 국제협력 강화에 부합

□ (필요성)

○ KIOST의 대양연구 현황과 전망

- 기 수행되었던 POSEIDON 사업, 현재 수행 중인 ‘인도양 심해열수공 생명현상 규명’ 과제 등 주도적으로 수행하는 대양연구 과제들이 있어왔지만 지속성을 가진 KIOST 브랜드 과제로 정착치 못함
- 기존의 과제들은 국제 프로그램과의 연계 없이 진행됨에 따라 결과물의 국제사회 기여 미흡
- 신정부와 신임원장 체제하에서 대양연구는 주요 화두로 부상하고 있으나 준비된 연구계획 부재
- 구축된 인프라를 활용하여 국가와 국제사회의 기대에 부응하기 위해서는 KIOST의 대양연구역량 강화를 위한 프로그램 개발 필요

○ 기술적 측면

- 대양탐사 및 탐사장비 고도화를 통한 대양연구 경쟁력 향상
- 대양에서의 시료 채집/보관 방법 및 분석방법의 표준화
- 다학제적 비용절감형 대형인프라 활용 대양·심해 산·학·연 공동 연구 확대
- 대양/심해연구관련 국제프로그램 참여를 통한 해양과학강국으로서 국가위상 제고

○ 경제·산업적 측면

- 공해상에서 지속가능한 미래 유용 해양신자원의 확보 기대
- 대양 신생물 자원 발굴과 확보의 우위 선점을 통한 해양바이오 산업의 부가가치 창출에 기여

○ 사회·문화적 측면

- 공해상의 해양생물자원의 보호와 재산적 권리를 지정하려는 ‘BBNJ 정부 간 회의’ 등 국제협력활동 대응 및 국가 경쟁력 강화
- 미 발굴 해양 신자원 분석 전문 인력 양성을 통한 국민적 관심 증가

2. 연구개발 동향

□ 국내

○ 대양의 생물다양성 및 유전적 연결성 연구

- 기존의 일부 대양연구사업(POSEIDON, 심해저광물자원개발사업, 등)에서 다른 목적으로 대양생물의 채집과 다양성 연구가 수행되어왔지만, 주로 광물자원개발이나 물리적 현상에 초점이 맞추어져 있어서 체계적인 대양의 생물다양성과 유전자원에 대한 연구가 진행되지 못함

○ 희유금속 자원 탐사 및 개발

- 희유금속 확보를 위해 일부 국내외 희유금속 광상을 대상으로 탐사를 수행하였으나, 대양저 희유금속 함유 퇴적물에 대한 기초 조사·연구는 수행되지 않음
- 해양과기원이 수행한 태평양 심해저 광물자원개발사업, 남서태평양 및 인도양 해양광물자원개발사업에서 일부 퇴적물 시료에 대한 희유금속 함량 연구만 수행

□ 국외

○ 대양의 생물다양성 및 유전적 연결성 연구

- 미국은 ‘Census of Marine Life’ (2000-2011) 프로그램을 통하여 해양 생물 다양성, 분포, 개체수 등에 대한 연구를 수행하여 Ocean Biogeographic Information System (OBIS)을 구축하여 해양생물정보를 공개하고 전 세계인에게 제공하고 있음.
- 프랑스를 중심으로한 유럽-북미 36개국 공동연구팀은 TARA Ocean Expedition(2009-2013) 프로그램을 통해 전 지구적 해양에서 약 27,000개의 대양생물시료를 채집하여 대양성 플랑크톤의 생물 및 유전자 다양성 연구를 수행함.
- 일본은 2009년부터 일본해양지구과학기술연구소(JAMSTEC)에서 해양 생물다양성 자료를 DB화하여 웹-베이스 Biological Information System for Marine Life(BISMaL)시스템을 통해 해양생물다양성 자료와 정보를 수집하고 제공하고 있음.
- 최근 선진국들은 해저자원개발이 가시화됨에 따라 이런 영향을 진단하기 위해 광역해역에서의 저서·열수생물의 유전적 연결성에 대한 연구를 매우 활발히 추진하고 있음.

○ 희유금속 자원 탐사 및 개발

- 미국은 그 동안 폐쇄했던 마운틴 패스의 희토류 광석 채굴 재개 하였으며, 호주도 그 동안 폐쇄했던 자국의 희토류 광산을 재가동 중임
- 일본은 동태평양 공해 및 EEZ에서 퇴적물의 희유금속 탐사 연구를 통해 고품위/고함량의 희유금속 지역을 발견하고 자원량 평가를 수행 중(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 수행중

3. 연구목표 및 성과지표

(1) 최종목표 및 성과물

□ 최종목표

- 이사부호를 활용한 대양탐사를 통해 대양의 생물다양성 이해와 해양 신자원 발굴 및 확보
 - 대양에서 부유 및 저서생물의 종/유전적 다양성과 주요 생물종의 유전적 연결성을 통해 생물 지리적 분포 이해
 - 공해상에 분포하는 대양저 희유금속 함유 퇴적물의 기초 품위 자료 구축 및 광역적 자원 잠재성 파악

□ 최종성과물

- 생물다양성 및 유전적 연결성
 - 종다양성 연구를 위한 주요 생물군별 시료 채집/보관/관리 방법 및 유전자 분석 방법 정립(지침서 발간)
 - 대양 심해양생물/유전자원 확보 및 생명자원 DB 구축
 - 대양·심해연구관련 국제프로그램 기여 및 국제적 대양연구 경쟁력 확보(국제프로그램 또는 국제연구기관과 MOU 2건 이상체결)
 - 관련분야 ImrnIF 상위 30% 이내 저널에 논문 발간
- 희유금속 분포 및 자원 잠재성 평가
 - 인도양·태평양 퇴적물의 광역적 희유금속 품위 자료 DB 구축
 - 지구조별 품위 변화 특성 도출 및 자원 잠재성 평가
 - 관련분야 ImrnIF 상위 50% 이내 저널에 논문 발간

(2) 성과목표 및 성과지표

성과목표 (최종성과물)	성과지표	목표치	비고 (설정근거, 평가기준 등)
대양의 생물다양성 및 유전적 연결성 이해	생물군별 시료 확보/관리 및 유전적 분석 방법 정립	지침서 1건	연구 그룹간의 결과 일관성 및 국제적으로 경쟁력 있는 연구결과 도출을 위해 선행되어야 할 방법 정립
	생물시료 확보 및 형태적/유전적 종 분류, 정보 DB화	생물종 400점 이상 확보, 신종 8건 이상 보고, DB구축 1 건	생물종다양성 이해와 신종발견을 위한 생물시료 확보 및 분자생물학적 분석과 모든 정보 DB구축 필요
	대양·심해연구 국제경쟁력 확보	종다양성 관련 국제프로그램에 자료 제공 또는 MOU 체결 2건	대양연구의 경쟁력 확보와 국제화를 위해 국제프로그램에 분석 결과 공유 및 해외 우수기관과의 협력연구

		이상	
	공해상 종다양성 및 주요 생물종 유전적 연결성 분석	각 2건 (SCI 논문 4편 이상) ^{*1}	국제생물다양성협약 대응을 위한 종다양성 및 주요 생물종에 대한 생물지리정보 확보/보고 필요
대양저 희유금속 분포 및 자원 잠재성 평가	지구물리자료 획득/해석도 작성	2건/ 800km ²	연구해역의 지체구조 특성 파악을 위한 지구물리자료 획득 및 해석 필요
	지구조별 암석/퇴적물 시료 확보	각 20점 이상	희유금속 분석을 위한 각 지체구조별 충분한 암석/퇴적물 시료 확보 필요
	희유금속 품위 및 분포도	DB 1건/분포도 1건	시료별 희유금속 품위 분석/결과 DB 구축 및 광역별 품위 분포도 작성
	희유금속 형성기작 및 자원 잠재성 평가	각 2건 (SCI 2편 이상) ^{*2}	지체구조별 희유금속 형성기작 이해 및 자원 잠재성 평가 여부

※ SCI 논문 목표치 1편은 ImrnIF 상위 30% 이상 2편, 순수분류 논문 50%이하 2편, 2편은 상위 50% 이상 저널에 게재

4. 주요연구내용 및 범위

□ 연구내용

- 대양의 부유·저서 생물다양성 및 유전적 연결성 이해
 - 국제표준 생물시료채집/보관방법 및 분자생물학 분석 방법 확인 및 방법론 정립
 - 이사부호의 주요 이동경로 및 탐사해역에서의 생물시료 확보
 - 확보된 생물시료의 형태적/유전적 종다양성 분석
 - 주요 생물종에 대한 유전적 연결성을 통한 생물 지리학적 평가
- 공해상 희유금속자원 품위 및 분포/자원 잠재성 파악
 - 인도양·태평양 대양저 퇴적물 시료 확보 (신규 및 기존 시료)
 - 대양저 퇴적물 희유금속의 품위 및 침전작용/성인 규명
 - 광역적 품위 변화 및 자원 잠재성 파악

5. 기타

- 연구선 사용계획: 이사부호 (1차: 2019년 5월 20일~6월 26일: 중 6일, 2차: 2019년 8월 1일~5월 14일: 14일)