

최종보고서(수정안)

과학기술정보통신부장관 귀하

“ 미래해양 기초원천 R&D 발전전략 기획연구 “에 관한 연구의
최종보고서(초안)를 별첨과 같이 제출합니다.

2019. 08. 16.

연구책임자 박 원 규

연 구 원 이 예 지

연 구 원 백 승 찬
(인)

연 구 원 이 소 정
(인)

연 구 원 박 상 혁
(인)



안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견
해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 유 영 민

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “ 미래해양 기초원천 R&D 발전전략 기획연구 ”의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 08. 16.

연구기관명: 부경대학교

연구책임자: 박원규

연 구 원: 이지

연 구 원: 백승찬

연 구 원: 이소정

연 구 원: 박상혁

자문 위원: 김경호 교수(부경대학교)

자문 위원: 김현우 교수(부경대학교)

자문 위원: 류성호 교수(순천향대학교)

자문 위원: 정원교 교수(부경대학교)

자문 위원: 정상목 교수(순천향대학교)

자문 위원: 안예찬 교수(부경대학교)

자문 위원: 오석진 교수(부경대학교)

목 차

1. 추진배경 및 경과	1
1.1. 추진 배경	1
1.2. 추진 경과	6
2. 국내·외 정책 동향	7
2.1. 해외 정책 동향	7
2.2. 국내 정책 현황	8
3. 현황 및 시사점	10
3.1. 해양연구 패러다임 변화	10
3.2. 국내 R&D 현황	11
4. 미래 해양 기초원천 R&D 비전 및 추진전략	13
5. 미래해양 기초원천 R&D 연구 (One Space)	14
5.1. 해양생물 유래 소재/자원연구	14
5.1.1. 현황 및 이슈	14
5.1.2. 선도 추진과제	15
미세먼지 인체노출에 따른 질환 발생 및 악화 최소화 제어 기술개발	15
한반도 갯벌의 규조류를 활용한 탄소중립 및 바이오이코노미 실현을 위한 생물탐사 및 그린바이오리파이너리 플랫폼 기술개발	25
한반도 서해 우뚝가사리 평화벨트 및 'RED GOLD'사업	46
5.2. 유전자원·ICT기반 해양생태계 빅데이터 분석연구	75
5.2.1. 현황 및 이슈	75
5.2.2. 선도 추진과제	76
유전자원 및 인공지능 기반 해양생태계 빅데이터 분석연구	76
대기-해양 유입 오염원에 따른 연안 양식환경 보호를 위한 새로운 ICT 기반 생물조기경보 시스템 개발	88

해양 어류 자원 미생물총 분석을 통한 어류 성장 및 질병 조절 원천 기술 개발	96
5.3. 해양 바이오기반 질병 진단기술 및 오염물질 저감기술 개발	105
5.3.1. 현황 및 이슈	105
5.3.2. 선도 추진과제	106
결핵 치료제로서의 해양유래 물질 발굴과 치료반응 조기진단을 위 한 광융합 기술 개발	106
해양바이오 소재 생산을 통한 석탄화력의 미세먼지-온실가스-온배수 동시 저감기술	114
5.4. 대기·해양·육지 지구시스템 통합 연구	128
5.4.1. 현황 및 이슈	128
5.4.2. 선도 추진과제	129
NGS 분석을 이용한 미세먼지가 통합 수생태계에 미치는 영향 연 구 기술 개발	129
5.5. 기대 효과	138
붙임 1. 2018년 해양수산분야 R&D 현황	139
6. 연구비 사용실적 및 명세	140

1. 추진배경 및 경과

1.1. 추진 배경

□ 해양은 인류 생존의 기반과 동시에 극복해야 할 대상

- 해양은 지구인구의 44%가 해안선에서 150 km이내에 살고 있고 국제무역의 90%가 해양을 통해 이루어짐
- 지구상 광합성의 50%이상이 해양에서 일어나며, 지구온난화를 야기시키는 열의 90% 이상이 해양에서 흡수함
- 하지만 아직도 95%의 해양은 미개척상태이며, 무궁무진한 자원의 개발과 이용이 해양에서 기대되고 있음
 - ※ 10 facts about our amazing oceans
<http://www.abc.net.au/science/articles/2014/06/04/4018335.htm>
- 지구환경의 핵심 조절자와 자원의 보고로서의 해양에 대한 이해와 활용은 글로벌 이슈임

□ 해양의 잠재력 이용은 미래 세대를 위한 국가경쟁력의 확보와 직결

- 해양의 환경의 생태적 건강과 생명자원의 장기적이고 지속적으로 보호를 위한 세계 각국의 연안관리 계획수립
- 세계 해양 국가들은 해양 강국의 목표아래 해양의 잠재력 활용을 극대화하기 위한 과학기술 개발에 적극 투자
 - * (美) 해양정책법 입안('18.6), (日) 해양정책을 국가안전정책으로 전환('18.5), (EU) 청색성장R&D 전략('15년), (中) 전국 해양경제 발전 '13-5' 계획('17)
- 우리나라는 해양과학기술 개발을 위한 정책을 수립*, 투자를

확대해왔으나 규모의 한계 등으로 국민 체감성과 도출에는 한계

* 해양수산과학기술육성법제정('17.6), 제1차 해양수산과학기술육성기본계획수립('18.6), 제 4차 과학기술기본계획 ("18.2) 등

○ 해양극지분야 기초원천 기술 확보를 통한 해양신산업 창출 기반 마련 및 미래 환경예측 원천기술 확보 노력

* 해양극지기초원천기술개발('10-'20), 극지해양 및 빙권연구사업(기획 중 '20-'25)

○ 하지만 창의적·혁신적 아이디어 및 기술이 탄생하는 미래해양 기초·원천연구에 대한 전략적 투자를 통해 중장기 해양정책 지원 필요

* 제1차 해양수산과학기술 육성 기본계획('18.6) : “풍요롭고 안전한 바다 실현을 위한 해양수산과학기술 육성”을 비전으로 4대 전략, 8대 과제 추진('18~'22)

□ 대기·육상·해양의 통합적 연구를 통한 지구시스템 통합 연구 필요성

○ 해양의 물리·화학·생물 현상은 대기 및 육상과 관련이 있으며, 서로 역동적임

○ 기후변화에 의한 해양의 변화도 대기·육상과 해양의 상호작용을 야기함

○ 선진국들은 대기와 해양의 역동적 상호작용을 인지하여 국가적 연구기관을 설립함

* (美) NOAA (1970년, 대통령령), (日) ORI-->AORI(2010년, 동경대), (EU) IMAU (1991년, 네덜란드), (中) 기후·대기·해양 연구부(2010년, 북경대)

○ 주변국들은 대기 및 육상과 해양의 역동적 상호작용을 인지하여 대기와 해양을 통합적으로 이해하는 연구들이 시행되어 왔음

- 중국에서는 남지나해에서 발생한 미세먼지가 식물플랑크톤 양을 증가시킴을 밝혔음. 또한 중국 사막 지역 유래 황사가 황해의 녹조, 적조의 원인이 될 수도 있음을 밝힘

- 일본에서는 대기 중의 미세먼지가 황해, 남해, 동해상으로 유입되는 총량이 각각 5.32, 0.62, 14.23 (10^9kg year^{-1})로서 무시하지 못할 수준임을 밝힘 (Uematsu et al. 2003)
 - 최근 한국에서 대두되는 대기 중의 미세먼지는 국민건강에 직접적인 피해가 증명되어 대응이 마련되고 있음
 - 해양-육상-대기 통합시스템의 정의와 이해
-
- 해양-육상-대기통합시스템이란 해양-육상-대기 환경이 하나로 통합된 시스템. 통합시스템 안의 생물들도 하나의 군집으로 보며, 그 안에서 일어나는 현상도 하나로 통합하여 봄
 - 이러한 통합시스템을 이해하기 위해서는 먼저 해양-육상, 해양-대기, 육상-대기, 해양-육상-대기 환경간의 상호작용을 규명하고, 나아가 해양-육상-대기 환경 내 물질과 에너지 이동, 순환 등을 규명해야 함. 이러한 통합시스템에서 재난재해를 이해하면 재난재해의 발생, 진행, 소멸 및 생태계 영향 메커니즘을 정확히 이해할 수 있으며 예보가 가능
 - 통합시스템 관점에서 볼 때 통합시스템 내 수생태계는 태양으로 빛 에너지를 받고, 육상으로부터 질소, 인 등 영양물질을 받으며, 대기로부터 이산화탄소 등을 받아 광합성을 하여 유기물을 생산함 (1

차생산)

그림 1. 통합시스템 내 물 순환 모식도 (Trenberth et al. 2007).

- 통합시스템 관점에서 볼 때 통합시스템 내 수생태계는 태양으로 빛 에너지를 받고, 육상으로부터 질소, 인 등 영양물질을 받으며, 대기로부터 이산화탄소 등을 받아 광합성을 하여 유기물을 생산함 (1차생산)
- 이렇게 생산된 유기물은 먹이망을 통하여 동물들에게 전달됨. 수생태계는 사람들(육상)에게 수산물을 공급하고 대기에는 산소를 공급함. 수생태계에서 공급하는 산소는 대기 산소량의 50%임

- 한국은 삼면이 바다로 둘러싸여 있고, 내륙에는 강과 호수가 많아 대기의 영향이 수생태계에 끼치는 영향이 클 것으로 예상되나, 미세먼지 등의 대기유래 물질이 수생태계에 끼치는 영향에 대한 연구는 거의

없음

- 또한 미세먼지의 기원이나 영향 등이 인접국가 간의 책임소재 문제가 될 수 있어 국내 연구 및 데이터 확보가 절실함

⇒ 미래해양의 지구시스템적 통합 연구를 통한 해양강국 건설

1.2. 추진 경과

□ 해양분야 기초원천R&D 기획연구 실시

- 해양분야 유망기초원천 기술개발 로드맵 ('16.4)
- 해양분야 유망기술 발굴 및 개발전략 ('17.9)
- 지구시스템 통합연구전략 ('17.12)
 - * 기권 수권 지권 극한지로 분과 구성, 국민대상 설문조사('17.10) 및 공청회 실시('17.12)
- 해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 ('18.2)

□ 연구자 기술수요조사 실시: 총 65개 유망기술 발굴

- 해양분야 유망기술 수요 발굴('16, 최종 16개)
- 해양분야 기초원천 중점과제 발굴('17, 최종 49개)
- 미래해양기술 혁신전략 ('18.9)

□ 전문가 검토 및 부처 협의

- 해양기술 분야*별 전문가 자문단 구성·운영(총 20명, '18.6.7~)
 - * 해양관련 바이오 환경 안전 관측 예보 자원 에너지, 해양 해안공학, 극지 등
- 해수부, 환경부 등 관계부처 의견 수렴(~'18.8.31)

2. 국내·외 정책 동향

2.1. 해외 정책 동향

□ 세계 각국은 통합해양정책, 해양경제발전, 해양기본 계획 등을 통한 해양에 관한 정책을 국가 핵심정책으로 전환

○ 해양과 해양자원의 보전과 지속적 이용을 추구하는 정책프레임이 변화

* (美) 통합해양정책('13.4) 해양정책법 입안('18.6): 국립연구재단(NSF) 등의 R&D연구를 통한 해양통신, 관측, 해양에너지, 바이오 산업 등에 광범위한 투자

* (日) 해양기본계획(1,2,3차)을 국가안전정책으로 전환('18.5): “새로운 해양입국에 대한 도전”을 위해 해양산업이용 촉진, 해양환경 유지 및 보전, 과학지식 확충 및 북극정책 육성 등을 강조

* (EU) 청색성장R&D 전략('20-25년): 해양생명, 수산양식, 해양관광, 해양에너지, 해양광물자원 등 5대 청색성장분야; MARINET프로젝트: 해양에너지의 실용화 및 전통과학기술과 ICT기술을 접목한 융·복합 혁신미래기술 개발 추진

* (中) 일대일로('14.11), 전국 해양경제 발전 '13-5' 계획('17): 해상기반의 21세기 실�크로드 건설, 해양경제의 종합능력 제고, 해양과학기술혁신 전문계획을 통한 어업경제, 자원보호 등을 지원

□ 전 지구적 문제 해결을 위한 과학기술 분야 공조체계의 확산과 동시에 국제의제 선점을 위한 국가 간 경쟁도 심화되는 추세

○ 정부간 해양학위원회(Intergovernmental Oceanic Committee, IOC)와 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO) 등을 통한 지속가능한 해양의 이용개발

* IOC는 국제해양과학 10개년 계획('17)을 채택하고, 해양과 해양생물자원의 지속가능한 이용과 보전, 해양경제개발 등의 7개 중점분야 제시

- IOC등 국제기구를 통한 선박배출가스, 해양쓰레기, 폐기물 등 해양오염 요인에 대한 규제가 강화되는 추세
- IMO는 전 지구적 해양환경, 해양기술협력, 해양안전 등을 추구
 - * IMO는 런던협약과 런던의정서('18)를 통한 국제 환경현안에 대한 대응방안 논의
- 나고야의정서 채택과 발효에 따른 전 세계적 대응방안 및 유전자원 확보 전쟁
 - * 나고야 의정서는 2018년 현재 105개국에 비준, 유전자원보호를 위한 생명 자원에 관련된 법률과 제도 정비

2.2. 국내 정책 현황

- 세계 해양산업의 지속적 성장 전망*에도 불구하고, 국내 해양·수산업의 성장세는 다소 둔화
 - * 해양산업 총 부가가치는 ('10) \$1.5조 → ('30) \$3조로 증가 전망(OECD, '16)
- 세계 경기불황 및 해운항만산업의 동반 위축
- 수산물 위생·안전성에 대한 이슈의 지속
 - 수산업 종사자 고령화, 수산자원 감소 및 어장환경 황폐화 등으로 수산업기반이 전반적으로 위축
- 4차 산업혁명을 통한 해양수산 혁신주도
 - ICT기술 기반으로 해양수산의 실용적 혁신
 - 해양수산 현장 노동현장의 고령화를 ICT기반 혁신기술로 대체하기 위한 노력
- 해양의 에너지, 광물 및 생명자원의 확보 및 효율적 이용 및 보전

- 화석연료를 대체하는 해양 신재생에너지 상용화 현실화
- 국내 생물자원의 분야별 보전·이용, 정책 현황과 전망, 이용 활성화 방안 구축
 - 나고야의정서('10.10) 채택과 발효에 따른 유전자원 제공에 따른 법적 대응과 생명자원의 확보의 필요성 대두
 - * 나고야 의정서는 유전자원 제공국 중심으로 자국의 유전자원을 보호하기 위해 생물자원2)에 관련된 법률과 제도를 정비하여 자국의 생물자원에 대한 접근 및 규제를 강화하고 이익 공유를 적극적으로 요구
- 최근 국가적 재난으로 지정된 미세먼지의 영향으로 수서생태계에 대한 영향과 수산물에 대한 안전성 확보이슈가 대두
 - 최근 미세먼지로 인하여 국민의 건강이 위협받고, 경제, 사회적 활동에 막대한 지장을 초래
 - 가축, 식물, 기계 오작동, 시정을 악화로 인한 교통 문제 연구 활발함
 - 미세먼지는 육상생태계에 심각하게 영향을 미치는 것으로 연구가 되고 있으나 해양이나 담수생태계에 대한 영향에 대한 연구는 상대적으로 적음
 - 해양생태계와 담수생태계 (이하 수생태계)로 유입된 미세먼지는 물에 녹아 질산염, 황산염, 암모니아, 미량금속 농도를 증가시킴 (Garett et al., 2006; Kim et al. 2011; Lai et al., 2007).
 - 미세먼지는 수서생태계의 근간이 미세조류의 생산과 더불어 수생 동물 (동물플랑크톤, 어류, 패류 등)의 생산에도 직간접으로 영향을 줄 것으로 판단됨(Wang et al. 2012).

3. 현황 및 시사점

3.1. 해양연구 패러다임 변화

□ 4차 산업혁명 기술 등과의 융·복합연구 확산

- 해양과학(MT)와 IT·BT·NT 등의 기반기술의 융복합을 통해 해양연구
과정의 효율성이 높아지고 성과창출이 가속화되는 경향
- * ICT 기반의 무인 제어기술, 빅데이터를 이용한 빅 이슈 해결

□ 공학기술의 발전에 의한 연구대상의 공간적 확장

- 접근이 허락하지 않던 심해, 극지, 열수공 등에 대한 접근으로 심해광물자원 및 심해생태계 연구 가능

□ 빅 이슈해결을 위한 범부처 및 범국가적 통합·협력 연구의 필요성 증가

- 해양산성화, 미세플라스틱(산업+환경+국토+해양) 문제 등을 해결하기 위한 부처간·국가간·연구영역간 협력 및 통합연구 필요
- * 나고야의정서의 발효로 탄소배출량 줄이기, 미세먼지 피해를 해결하기 위한 범부처 협력 연구
- * 해양의 통합적 이해를 위한 GLOBEC프로그램

□ 대기·해양을 통합 연구하는 지구시스템 통합연구의 필요성 대두

- 대기 유래 물질의 수생태계 영향 등의 대기·해양의 통합연구

3.2. 국내 R&D 현황

- (투자규모) 최근 10년간 연평균 6.5%로 증가, 해양극지 등의 기초원천 R&D예산은 증가하나 전반적인 기초원천 연구예산은 선진국에 비해 적음
 - 한정된 예산, 정책현안 중심의 투자로 기초·원천연구는 미흡
 - *우리나라 해양R&D 투자 규모는 일본 및 중국의 1/5 수준, 미국의 1/20 수준이며 기초원천 연구 비중도 축소 추세('14년 43.1% → '16년 28.7%)
 - *'19년 해양수산부 R&D예산은 전체 5조1천12억중 6천362원(전체 예산대비 12.5%, 전년대비 3.5% 증가)

- (연구주체) R&D 투자 및 연구가 대형 인프라 중심, 지정공모 (Top-Down) 형태가 대부분으로, 정부연구기관, 출연연 등 연구기관*이 연구의 중심
 - 인프라가 부족한 민간 연구기관의 진입이 어렵고, 대학은 위탁연구 등 보조적 역할
 - * (국립연구기관) 국립수산과학원, 국립생태원, 국립생물자원관, 해양생물자원관, 낙동강생물자원관, 각 시도 부설 연구소, (출연연) 한국해양과학기술원·극지연구소, 해양플랜트연구소

- (연구성과) 해양수산 연구개발 분야의 경우 연평균 570여건의 SCI 논문과 260여건의 특허 등록 성과 창출
 - 질적 수준은 정부 R&D 평균 수준이나 양적수준은 정부 R&D 중 투자비율(약 3%) 대비 다소 미흡('16, 특허 1.9%, 논문 1.8% 비중)

- 하지만, 연구 성과를 논문과 특허로만 계량하는 것은 문제가 있으며, 정책화로의 연결성을 평가하는 것도 필요함

□ (기술수준) 선진국 대비 약 70~87% 수준으로, 4~7년 격차

- 전통적인 해양산업 연관분야*(약 4년)에 비해 삶의 질과 관련된 해양 안전, 해양환경 등은 기술격차**가 큼(약 7년)

* 해안·항만물류(4.1년), 수산양식(4.4년), 어업생산·이용가공(4.3년) 등

** 극지연구(7.2년), 해양재해·방재(7.2년), 해양관측·예보(6.9년), 해양환경(6.7년) 등

□ 시사점

- 다양한 연구 주체가 참여할 수 있는 미래해양 기초·원천 연구 생태계 구축필요
- 선진국과의 기술 격차를 줄이기 위한 미래해양 기초·원천 연구 분위기 조성
- 대기 해양의 통합 연구하는 지구시스템적 통합 연구 필요성 대두

4. 미래 해양 기초원천 R&D 비전 및 추진 전략

5. 미래해양 기초원천 R&D 연구 (One Space)

5.1. 해양생물 유래 소재/자원연구

5.1.1. 현황 및 이슈

- 미세먼지·유해물질 등 생활환경오염, 지진·신/변종 감염병 등 예기치 못한 재난이 국민의 일상생활을 심각하게 위협
 - 정부의 다각적인 노력에도 이러한 문제들은 반복·심화하여 발생
 - ※ (예) '16~'17 AI : 3천만수 이상 살처분, 계란값 폭등으로 1조원 이상의 손실 유발
 - 미세먼지: 연 10조원 이상 피해, '60년 대기오염 조기사망자 OECD 최대국 전망
- 그간의 국민생활 속 문제해결에 있어 과학기술의 역할 부족
 - 정부 R&D는 성장동력 창출, 경제성장을 뒷받침하는 기술개발 중심으로 추진되어 삶의 질 관련 R&D 투자는 상대적으로 낮은 편
 - ※ 정부R&D 투자('15) : 경제발전(43.5%), 비목적적 연구(8.8%), 보건환경(12.7%) 등
 - 문제의 근원적인 해결을 위한 과학기술의 역할에 대한 국민 요구가 증대하고 있으나, 그 동안 과학기술의 역할이 부족했던 것은 사실
 - * 국가 핵심전략 기술 선정 기준 : 국민 60.2%가 “삶의 질 향상” 선택('13)
 - 미세문제 대응을 위한 해양생물 유래 신체질환 예방/개선 기술개발이 필요함

5.1.2 선도 추진과제

□ 미세먼지 인체노출에 따른 질환 발생 및 악화 최소화 제어 기술개발

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진 배경

- 단순 환경문제에서 국가적 재난으로 변한 미세먼지 문제 해결 필요
 - 최근 수도권에서 7일 연속 미세먼지 비상저감조치가 발령되는 등 미세먼지가 국가적 재난이 된 상황, 미세먼지 유래 환경성질환 환자도 급격히 증가하고 있음 (보건복지부, 2006; 명, 2016)
 - 일반적으로 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질의 하나로, 입자의 크기에 따라 무거워서 침강하기 쉬운 것을 강하분이라 하며, 입자가 미세하고 가벼워서 좀처럼 침강하기 어려워 장기간 대기 중에 떠다니는 것을 부유분진이라고 정의하고 있음(강, 2008)
 - 이러한 부유분진 중 미세먼지는 우리 눈에 보이지 않을 정도로 가늘고 작은 먼지 입자로 지름 10 μm 이하의 대표적인 대기오염 물질을 의미함

그림 2. 미세먼지의 정의 및 전국의 미세먼지 경보 발령 일수.

- 미세먼지는 크기에 따라 PM10과 PM2.5로 나눌 수 있으며, PM10은 입자의 크기가 10 μm 이하인 먼지를 말하며, PM2.5는 입자의 크기가 2.5 μm 이하인 먼지를 말함(WHO, 1987)

- 이렇게 발생한 미세먼지는 입자의 크기가 작을수록 건강에 미치는 영향이 크다는 결과에 따라 선진국에서는 90년대 후반부터 미세 입자에 대한 환경기준을 도입하고 발생되는 문제해결 연구를 진행하고 있음(Hext, 1999; Segersson, 2017)
- 하지만 상대적으로 국내에서는 관련 연구가 이제 걸음마 단계이기에 지속적인 미세먼지 문제로 국민의 삶의 질 악화가 증가함에 따라 체계적이고 다양한 미세먼지 대응 신체질환 예방/개선 기술개발을 하고자 함

(2) 연구의 필요성

○ 미세먼지로 유발된 환경성질환으로 인한 범국민적 문제 발생 및 해결방안 모색

- 미세먼지로 발생한 문제는 일부지역의 문제가 아닌 전국에서 발생되고 있으며, 단순한 흙먼지만이 아니라 중국내륙 및 국내에서 발생한 환경오염물질과 혼합되면서 실리콘, 카드뮴, 알루미늄, 석회, 아황산가스 등의 유해물질과 섞여 고농도 미세먼지 발생을 유발하는 문제를 지속적으로 일으키고 있음
- 경기개발연구원에 따르면 수도권 지역의 미세먼지 평균 농도는 서울이 $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 인천 $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 경기도 $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 세계 주요 도시인 워싱턴 $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 도쿄 $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 파리 $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 농도를 나타내었고, 경기도의 연중 평균 미세먼지 농도가 워싱턴의 4배가 넘어 서울을 비롯한 수도권 지역 미세먼지 농도가 세계 주요 도시보다 최고 1.3 ~ 4배 이상 높은 것으로 나타났음(김 외, 2013)
- 호흡기 깊숙이 침투해 건강에 더 해로운 초미세먼지 (PM2.5) 농도 역시 한국 수도권이 선진 도시의 2배 수준으로 서울은 연중 평균 농도가 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 반면 런던은 $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 파리 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 뉴욕은 $13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 그쳤음

그림 3. 세계 주요도시 미세먼지 농도.

- 우리나라는 1년 중 미세먼지 농도가 대기질 기준을 초과하는 날이 23.83일(평균 12.35일)로 경제개발협력기구(OECD) 가입국 중에서 가장 많고, 미세먼지, 황사등 대기오염에 노출된 인구비율도 47%로 가장 높음
- 실제 2013년 이후 미세먼지 주의보 발령건수도 증가하며, 국민들의 불안이 가중되고 있는 상황임. 그럼에도 불구하고 우리나라를 포함한 동북아 지역에서 미세먼지의 생성과 대기 중 농도가 증가되는 원인은 아직 명확하게 밝혀지지 않고 있음
- 이에 따라, 문재인 대통령은 '18년 5월 '한중일 정상회담' 연설을 통해 미세먼지와 대기오염 문제의 심각성 강조하였으며, 미세먼지 문제에 대한 근본적이고도 혁신적인 해결을 지원하기 위하여 '16년부터 정부는 「과학기술기반 미세먼지 대응 전략」을 마련하고, 「미세먼지 국가전략프로젝트」를 추진하고 있음
- 이 전략은 과학 기술력으로 미세먼지가 가져온 위기를 넘어 新산업과 新시장을 창출하기 위한 ①기술개발, ②기술 산업화, ③중장기 투자전략을 포함하고 있음
- ※ 국가전략프로젝트 사업단(2017.8~2020.5)에서는 발생·유입, 측정·예보, 집진·저감, 보호·대응, 4대 분야 연구개발 추진 중에 있음
- 또한 미세먼지 저감을 위한 사업 및 지원, 취약계층 등 국민에 대한 보호 대책을 마련하고자 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 제정함[법률 제157718호, 2018.8.14.제정]
- 특히, 환경부에서는 2019년 '국민체감 안전 환경' 조성 역점하여 미세먼지 관련 분야 예산을 '18년 6,920억원에서 '19년 8,882억원으로 확대 편성하였음

- 이처럼 최근 고농도 미세먼지가 빈번하게 발생하여 미세먼지 문제 해결을 위한 국가적 차원의 특단의 대책 수립 필요성이 대두됨에 따라 정부는 미세먼지가 국민의 안전과 건강을 위협하는 중차대한 환경난제임을 인식하고, 미세먼지 문제를 해결하기 위하여 관계부처와 합동으로 총력을 다해 대응하기로 하였음

○ 미세먼지로 유발된 신체기관 별 환경성질환 연구의 필요성

- 세계보건기구 산하 국제암연구소(IARC)는 미세먼지를 인간에게 암을 일으키는 것으로 확인된 1군(Group 1) 발암물질로 2013년 10월 분류하였음
- 현재까지 미세먼지로 유발된 신체질환 연구는 심혈관계 및 호흡기계 질환 중점으로 진행되었으며, 최근 피부질환에 대한 건강영향평가가 진행되었으나 아직 다른 신체기관에서 유발된 환경성질환에 대한 과학적 근거 생산과 정책 마련이 시급한 실정
- 따라서, 미세먼지 인체노출로 유발된 환경성질환에 따라 해양생물자원 유래 기능성 소재 활용 연구접근방법을 개발하고 이를 활용한 고부가가치 제품개발이 필요함

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

○ 미세먼지로 유발된 신체질환 예방/개선용 소재 및 제품개발 연구사업의 특징

- 기존 진행되던 심혈관계 및 호흡기계 질환, 피부트러블 외 아직 관련 연구가 초기단계이거나 시도된 적 없는 안구질환이나 소화기관 내 염증질환, 다양한 피부질환을 주제로 연구를 수행
- 단순 생리활성 평가단계를 넘어 ICT 및 3D프린터 기술을 활용, 새로운 환경성질환 평가용 모델 구축 및 인공장기 개발
- 연구 초기단계부터 관련 기업과 연계, 미세먼지 관련 제품 시장동향 및 제품 트렌드를 분석하여 연구사업의 방향성을 지속적으로 보완/강화

(2) 연구사업의 현황

○ 미세먼지로 유발된 신체질환 연구 현황

- 일반적으로 미세먼지의 농도와 성분이 동일하다면 입자크기가 더 작을수록 건강에 해롭다는 연구결과가 있으며, 같은 농도일 경우 PM2.5는 PM10보다 더 넓은 표면적을 갖기 때문에 다른 유해물질들이 더 많이 흡착될 수 있음
- 오염물질과 혼합된 미세먼지는 대부분 코털이나 기관지 점막에서 걸러져 배출되는 일반 먼지와 달리, 입자의 지름이 머리카락 굵기의 1/5~1/7 정도인 $10\mu\text{m}$ 이하(PM10)로 매우 작아 코, 구강, 기관지에

그림 4. 미세먼지로 유발된 각종 질병.

서 걸러지지 않고 우리 몸속으로 침투함

- 이러한 초미세먼지($2.5\mu\text{m}$)를 포함한 미세먼지($10\mu\text{m}$) 문제가 공론화

되기 시작한 것은 하버드대의 연구 발표(1993) 이후로, 연구는 미국 주요 6개 도시 거주자 8,000여명을 대상으로 사망률과 도시 오염도와의 상관관계를 비교하여 '10 μ m 이하의 먼지가 공중의 건강을 해친다'는 결과를 내놓으면서 시작됨

- 문제는 이러한 초미세먼지의 경우, 입자크기가 더 작으므로 기관지에서 다른 인체기관까지 이동할 가능성도 매우 높다는데 있음
- 일단 미세먼지가 우리 몸속으로 들어오면 면역을 담당하는 세포가 먼지를 제거하여 우리 몸을 지키도록 작용하게 되는데, 이 때 부작용으로 염증반응이 발생하게 됨
- 기도, 폐, 심혈관, 뇌 등 우리 몸의 각 기관에서 이러한 염증반응이 발생하면 천식, 호흡기, 심혈관계 질환 등이 유발될 수 있는 심각한 부작용임
- 특히 노인, 유아, 임산부나 심장질환, 순환기 질환자들은 미세먼지로 인한 영향을 일반인보다 더 많이 받을 수 있으며, 이러한 문제로 세계보건기구(WHO)는 2014년 한 해에 미세먼지로 인해 기대수명보다 일찍 사망하는 사람의 수가 700만명에 이른다고 발표하였음
- 이처럼 미세먼지 위험성이 높은 위험물질이지만 현재까지는 단순히 호흡기나 피부로만 접촉하여 작용하는 것이 대부분이라고 생각하고 연구가 진행되고 있었음
- 하지만 접촉을 통한 안구오염이나 음식물 섭취를 통한 소화기관 흡착, 피부 지방 부착을 통한 지루성피부염 발생 등 아직 연구가 진행되지 못한 신체질환에 대한 연구가 절실히 필요한 시점

3) 연구사업 추진 계획

(1) 추진 목표

○ 최종목표

- 미세먼지 인체노출에 따른 질환 발생 및 악화 최소화 제어 기술개발

○ 세부목표

- 나노약물주입을 활용한 미세먼지 유발 안구질환 예방 및 개선 기술 개발
- 섭취로 발생된 소화기관 내 미세먼지 제거 및 염증완화 소재 개발
- 환경성 피부질환(지루성 피부염, 아토피 등) 개선 향장 소재 발굴
- ICT 및 3D프린터 기술 활용 환경성질환 평가용 인공장기 개발 및 평가모델 구축
- 미세먼지로 유발된 신체질환 예방/개선용 소재 및 제품개발

(2) 추진 전략

(3) 추진 내용

- 단계별 추진 내용

(4) 기대성과 및 파급효과

○ 기대성과

- 기술적 측면

- 친환경정책과 밀접한 분야로 도시 대기환경 개선 및 국민건강 증진을 위한 국가 정책수립에 과학적인 근거 제시
- 해양생물 소재의 활성 기반 DB 구축 및 자원 확보
- 해양생물 활용 미세먼지로 유발된 신체질환 개선 소재개발에 대한 선도적 원천기술 확보

- 사회적 측면

- 환경변화 대응 새로운 평가 기술 개발을 통한 소재 산업의 발전
- 산업계 니즈를 반영한 새로운 형태의 기술 개발로 관련 산업 활성화

- 경제적 측면

- 해양생물자원을 활용한 신규 기능성 천연 소재 원료화 기틀 마련 및 잉여자원의 고부가가치화 도모
- 해양소재의 새로운 효능 발굴로 지속적인 산업화의 소재 개발 및 부가가치 창출에 대한 인프라 제공

○ 파급효과

- 미세먼지로 유발된 신체질환 예방/개선용 소재 및 제품개발을 통한 산업 및 수출 활성화

- 미세먼지 문제 해결 관련 제품 개발 등 관련 신기술의 기술이전 추진을 통해 중소기업의 신규 시장 진입 및 경쟁력 강화 유도
- 국내와 비슷한 미세먼지 대량 발생지역인 중국, 인도 등에 지역으로 제품 수출 유도 및 공동대응방안 마련

4) 총사업비(사업기간): 50억원('20 - '24)

□ 한반도 갯벌의 구조류를 활용한 탄소중립 및 바이오이코노미 실현을 위한 생물탐사 및 그린바이오리파이너리 플랫폼 기술개발

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진 배경

- 세계는 기후변화, 자원 및 식량결핍, 고령화 등으로 중요한 도전을 받고 있으며 이에 대한 해결책을 해양에서 찾고자 하는 노력이 최근 유럽 및 미주에서 활발하게 경주되고 있음
- 유엔 해양법 협약으로 배타적 경제수역(Exclusive Economic Zone)내 해양생물자원 조사 및 탐사, 해양활용 에너지 생산, 해양환경관리에 대한 관할권이 각국에 주어져 해양자원은 천연자원의 보고라 할 수 있음
- 국내 서해안엔 2080 km² 면적의 갯벌이 존재하고, 북한에도 황해도와 평안남북도에 이와 유사한(2670 km²) 면적의 갯벌이 있음
- 갯벌은 어패류의 산란 및 서식지, 외양의 10-20배, 농림의 3-10배에 해당하는 생산성, 갯벌서식 미생물들에 의한 자연정화(갯벌 1 km²이 도시하수처리장 1개에 해당하는 처리능력), 홍수 및 태풍 등 자연재해와 기후조절기능, 레저 공간(낚시, 해수욕, 관광 등)으로서의 문화적 기능 등 갯벌의 생태서비스 가치가 1 ha(0.01 km²)당 9,900 달러임(비교: 농경지 1 ha당 92 달러)
- 반면, 항만 및 산업단지조성, 갯벌간척사업 등으로 갯벌이 지속적으로 파괴되고 있고, 특히 최근 급부상한 미세먼지문제(항만에서의 미세먼지 발생은 국내 전체 발생원의 10%를 차지)로 인한 갯벌생태계 피해 가능성에 대한 예측 불허한 상황임
- 기후변화와 환경오염에 더하여 나고야의정서 시행에 따른 생물유전자원 보호와 주권화 작업이 긴급하게 요구되고 있는 상황임
- 한편 국제적으로 '바이오기반의 경제(Bio-based Economy)', 즉 급속도로 진화하는 생명과학지식과 고공의 발전을 거듭하는 생명공학기술을 통해 환경친화적이고, 지속가능하며, 쓰레기를 남기지 않고 재순환 개념의 경제적 가치 실현을 추구하는 추세가 등장함

(OECD, EC Commission)

- 세계 해양 블루바이오 기술 방향도 특히 해양생태계의 핵심적인 부양자역할을 하는 해조류와 미세조류를 지속적으로 관리하여 대량의 바이오매스를 확보하고, 이로부터 바이오 연료와 기타 고부가가치 물질 및 소재를 개발하는 프로세싱 시스템을 구축하여 산업화에 활용하며, 동시에 폐기물이 남지 않는 순환형 공정을 통하여 깨끗하고 안전한 바다를 유지하는 방향으로 진화하고 있음

(2) 연구의 필요성

- 과학기술정보통신부는 미래해양기술 혁신전략안을 통해 해양과학기술의 발전으로 실현할 ‘2030년 미래해양의 비전’을 선언함
- 비전의 핵심은 1) 해양과학기술을 통해 거대 이슈(기후변화, 해양산성화, 미세플라스틱 문제 등)를 근본적으로 국가경제와 국민문화건강복지향상, 2) 해양의 무한한 자원을 효율적으로 활용보전(해양바이오, 해양유래 신소재, 해양유래 에너지 기술기반)함, 3) 해양활동의 저변을 넓혀 인류가 더욱 편리한 삶(육상에서와 같은 주거, 레저 등)을 향유함으로 요약됨
- 최근 세계 해양 블루바이오 기술 방향은 특히 해양생태계의 핵심적인 부양자역할을 하는 해조류와 미세조류를 지속적으로 관리하여 대량의 바이오매스를 확보하고, 이로부터 바이오 연료와 기타 고부가가치 물질 및 소재를 개발하는 프로세싱 시스템을 구축하여 산업화에 활용하며, 동시에 폐기물이 남지 않는 순환형 공정을 통하여 깨끗하고 안전한 바다를 유지하는 방향으로 진화하고 있음
- 해조류와 미세조류를 이용한 바이오연료 등 각종 고부가가치 물질 생산을 위한 프로젝트에 지난 10년 동안 많은 투자가 이루어졌으나, 1) 바이오매스 확보, 2) 경제적인 바이오리파이너리 공정 플랫폼, 3) 기존 가치사슬에의 적용가능성 등이 숙제로 등장함
- 이에 대한 해결책은 1) 분류학-유전학-생리학-생태학-공학-정보학 등의 다학제적 공동연계연구를 통한 적절한 종선별 및 보관유지, 대량배양기술 확보, 2) LCA를 통한 전 공정의 경제성 증진과 개별 공정에 효율적이고 저비용의 신기술 도입, 3) 타겟 물질

의 시장성 분석 및 타겟 물질 종류 및 기능 프로파일링, 인위증폭 등과 아울러 폐기물을 고부가가치화 타겟으로 하는 재활용 순환공정 개발이라 할 수 있음

- 우리나라 갯벌의 연간 총 경제적 가치는 약 16조원, 단위면적(1 km²)당 연간 제공 가치는 63억 원으로 생태학적, 자연 환경적, 경제적인 가치가 매우 크며, 특히 서해안은 우리나라에서도 갯벌이 가장 잘 발달된 지역으로 미국 동해안, 캐나다 동해안, 북해연안, 아마존 하구 등지와 함께 세계 5대 갯벌로 알려져 있음
- 갯벌에 서식하는 규조류는 갯벌생태계에 가장 많은 분포를 하고, 1차 생산뿐만 아니라, 영양 순환, 퇴적물 안정화 등 갯벌 생태의 기능 보존에 핵심적으로 기여하는데 갯벌 규조류는 전 세계 탄소 고정의 20%와 해양 1차 생산의 40%에 기여함 (Dube, 2012)
- 규조류는 세포 질량 대비 높은 광합성 효율을 갖고 있어 배양을 통한 CO₂ 제거나 체내에 60%까지 포함된 지질(TAG, DAG, MAG등 중성지질을 포함한 극성지질 및 스테롤, EPA, PUFA 불포화지방산 등 12-19종의 지질이 밝혀짐)의 바이오 연료, 식품 및 화장품 산업으로의 적용가능성에 대해 기대되나, 추출과정이 전 공정에 투입되는 비용의 50~80%를 차지하는 비경제성 문제가 있음
- 최근, 규조류는 수생태계 다른 생물보다 스트레스에 더 민감하다고 보고된 바 있고, 규조류의 기형 발생이나 지질체 형성 유무 등이 새로운 스트레스 지표로 등장하면서 환경 바이오모니터링 도구로서의 효율성과 민감성, 신뢰성에 대한 관심이 증가됨

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

분자생물학, 분류학, 생리학, 생태학, 유전공학, 그린화학, AI-ICT 등 다학제적 융합연구 툴키트와 글로벌 공조체제 통하여 한반도 갯벌 규조류의

- 생물다양성과 지질프로파일 인벤토리 구축 및 바이오매스 생산,
- 폐기물 없는 그린 바이오파이너리 공정 기술 플랫폼 구축
- 환경모니터링 시스템 및 CO₂ 흡수격리 기작 확립

등으로 기후변화 시대 갯벌생태계의 보전 및 바이오연료, 식품, 바이오차르 생산 등 지속적인 가치화를 실현하여 궁극적으로 환경친화적이고 진화적인 고부가가치 경제효과를 발생하는 바이오이코노미 창출을 목표로 함

(2) 연구사업의 현황

○ 바이오매스

- 바이오매스는 생물체로부터 유래한 유기물로서 동식물과 미생물 그와 관련된 부산물 및 폐기물 등을 포함하며, 물리, 화학 및 생물학적 전환과정을 거쳐 다양한 형태의 바이오연료 및 바이오소재로의 활용이 가능하며, 생물체의 생장이나 재배를 통해 지속적으로 생산이 가능하다는 것이 특징임
- 1세대 바이오매스인 곡물과 식물유는 최근 식량의 수요 증가 및 온난화로 인한 기상 이변과 도시화로 인한 경작지 감소, 삼림 훼손으로 인한 환경 파괴 등 바이오매스로써의 활용한계를 지니며, 2세대 바이오매스인 목질계 바이오매스는 경작지 제한성 문제 및 리그닌 전처리 공정의 경제성 한계를 지님
- 3세대 바이오매스인 조류, 그 중에서도 규조류를 포함한 미세조류는 빠른 성장속도를 바탕으로 식물류 대비 5-10배 높은 바이오매스 생산성을

가지며, 다량의 지질 성분 함유하여 바이오디젤 자원으로 활용이 가능함

- NREL(National Renewable Energy Laboratory, 미국)의 조류의 바이오매스 확보에 대한 이론적 최대값 및 실제 생산성 조사결과, 광량이 많은 적도지방에서 조류의 이론적, 실제적 최대 일생장률(Maximum daily growth)은 각기 $196 \text{ g/m}^2/\text{d}$, $33\sim 42 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 로 나타남
- 전 세계적으로 생물자원뿐만 아니라 응용 연구 개발과 관련 시장이 급속도로 확장되고, 특히 세계경제포럼 자료에 따르면 바이오매스와 이를 이용한 바이오-화학분야의 경우 향후 20년까지 세계 화학산업의 9%를 점유(3000억 달러 수준)할 것으로 추정됨

- 진행사례:

- Jawkai Bioengineering R&D Center(중국)-연간 132 MT의 건조된 규조류 바이오매스 생산
- Tomalgae사(벨기에)-Upstream 5000m^2 , downstream $2 \times 20\text{m}^3\text{h}^{-1}$ 의 규조류 바이오매스 생산시설을 확보, 양식사료로써 건조규조류 제품을 상용화함

○ 바이오리파이너리

- 바이오리파이너리는 바이오매스를 식품, 사료, 에너지 그리고 기타

고부가가치가 있는 산물로 최소의 폐기물을 방출하는 가운데 전환시키고 생산하는 공정과 기술의 복합체로 정의하며 안전한 식량과 에너지 공급, 자원의 지속적인 활용, 기후에 영향을 주지 않는 공정, 일자리 창출 및 시장경쟁력 등이 주요한 원리임(IEA Bioenergy Task 42)

- 글로벌화의 가속화와 함께 국제적인 공동 환경규제, 석유자원고갈 및 수요의 증가에 따른 원유가 급등, 기후변화협약 등으로 기존 바이오-화학 산업의 패러다임 변화를 요구하는 21세기 트렌드에 맞추어, 다양한 처리 및 가공공정(바이오리파이너리)을 거쳐 바이오매스를 산업 전반의 유용한 제품으로 변환될 수 있고, 바이오매스 유래 제품들은 그 수명이 다하면 다시 지구상의 물질 순환 고리를 타고 재순환되기 때문에 에너지, 환경 등의 문제를 해소하기 위한 효과적인 대안임
- 그러나 바이오매스의 높은 성장 잠재력에도 불구하고 원료 조달에서 가공, 다양한 용도로의 제품 개발 및 생산에 이르기까지 바이오리파이너리를 통해 기초 화학 원료를 생산하는 과정 중에 산적해있는 기술적 난제와 인프라 부재로 상업화에 있어서는 아직 시장 진입 단계라 할 수 있음
- 특히 해양관련 바이오리파이너리 산업은 육상관련 바이오리파이너리 산업 대비 초기단계로써 상업적인 이용보다는 연구단계에 머물러 있으며, 이는 해양 바이오매스로부터 염분을 제거하는데 많은 비용이 소비되기 때문임
- 바이오리파이너리는 캐스케이드식 변형과정을 통해 폐기물(바이오차르화를 통한 탄소중립화)까지도 남김없이 각 가치사슬로 유입할 수 있는 고부가가치 산물로 만들기에 지속적으로 바이오경제를 발전시킬 수 있는 제로-웨이스트 기술이면서 동시에 환경변화에 영향을 주거나 생태계 소비기능에 부담을 주는 물질 배출이 없기에 환경친화적이며 저탄소 기후변화 대응방안이라고 할 수 있음(EU Commission)
- 바이오리파이너리를 통한 저탄소 기후변화 대응은 탄소크레딧과도 연관이 있는데, 2017년 탄소크레딧의 예상가격은 평균 6.5유로/t,

2020년에는 평균 11유로/t이며, 탄소크레딧 거래시장은 교토의정서가 발효된 2005년 약 109억 달러에서 연 평균 108% 수준의 성장을 거듭하여 2009년에는 1,437억 달러 규모로 성장하였고, 국내의 경우 2016년 9,474천 톤의 거래규모 및 1,934억 원의 거래 수준을 보이고 있음

- 이 외 저탄소 기후변화 대응과 관련한 바이오리파이너리 방안 중 하나로 유기물을 열분해하여 얻는 바이오차르가 있으며, 특히 바이오차르는 폐기물을 포함한 거의 모든 유형의 건조 바이오매스를 이용하여 제작할 수 있고 유기물에 비하여 잘 분해되지 않아 포획한 탄소를 장기간 저장 가능함
- 세계 바이오차르 시장은 2018년 기준 13억 달러 규모(당해 수요 395.3 kton)로 연평균 13.2%의 성장해 2025년에는 시장규모가 31억 달러에 이를 것으로 전망되며, 관련 연구는 과거 탄소격리 및 토양환경 분야에만 국한되었으나 최근 환경, 화공, 재료공학분야 등 다양하게 확장 진행되고 있음
- 또다른 바이오리파이너리 방안인 바이오연료(디젤, 메탄, 부탄올, 에탄올, 항공연료, 수소가스)는 육상의 여분의 배양장 활용과 폐수를 이용한 영양공급가능, 태양에너지를 이용한 CO₂ 흡수 및 제거, 광합성 산물로서의 특징을 가지며, 2000년대 중반 고유가시대의 개막 및 화석연료의 환경문제에 대응하여 차세대 에너지원으로써 개발 필요성이 대두되었음
- 국내의 경우 제4차 신재생에너지 보급계획(2014)에 따라 바이오에너지(총 공급량)의 활용이 2012년 15.2%에서 2020년 18.8%로 확대되고, 2015년 7월부터 시행되는 바이오 디젤 및 바이오 에탄올의 연료혼입 의무화 제도(RFS)를 통해 2015년 BD2.5(Bio diesel %)에서 2018년 BD3.0으로 증가됨
- 다양한 바이오매스 후보군 중에서도 미세조류는 광합성 과정에서 CO₂를 고정하는데 특히 규조류의 경우 해양 1차 생산의 40%를 차지하고 해양에서 연간 100억 톤의 무기탄소를 고정하는 등 전 세계 탄소고정의 20%를 담당하는 특징이 있음(표 1)
- 또한 미세조류는 50%가 지방과 탄수화물로 구성되어 있어 높은 밀

도로 배양하면 바이오연료를 효율적으로 생산할 수 있으며, 이는 육상작물에 비해 단위면적 당 낮게는 3~8배, 높게는 250배까지 높은 생산성의 중성지방을 생산할 수 있으며, 연간 1-2회 수확하는 육상식물과 달리 빠른 성장속도를 바탕으로 약 10일에 한 번씩 생산할 수 있으므로, 대량생산이 가능할 뿐만 아니라 삼면이 바다인 우리나라에 특히 효과적으로 활용될 수 있음

- 이를 바탕으로 미국 DOE는 2010년 ‘국가 조류바이오연료기술 로드맵’을 통해 미세조류 분야에 대한 국가 차원의 체계적 기술 개발 및 지원을 추진한 바 있으며, 이 외 네덜란드, 독일, 프랑스 등 유럽 각지, 호주, 뉴질랜드, 중국, 일본, 대만 등에서 미세조류 바이오연료 연구를 진행하고 있음
- 일본의 경우, 신에너지 및 산업기술개발기구(NEDO) 프로그램을 통해 중단했던 미세조류 연구를 최근 재개하였으며, 중국의 경우, 은퇴한 해외 연구자나 교포 과학자를 유치해 미세조류를 연구하기 위한 대규모 단지를 조성하고 있음
- 그러나 경제성 있는 프로세스와 산업화 가능한 스케일의 배양기술이 개발되어 양의 순에너지밸런스(positive net energy balance)를 보이지 않는다면 미세조류를 이용한 에너지화가 실현가능성이 낮은 것으로 여겨지며(Aquatic Species Program, 미국 DOE가 프로젝트를 종료하며 남긴 결론), 실제 광생물 반응기를 이용해 미세조류

바이오매스로부터 생산된 바이오디젤 생산가는 \$2.80/L로 추산되고, 2006년 기준 식물성 기름인 palm oil 가격인 \$0.52/L보다 약 5배 높으며, 조류 바이오디젤 생산에 중요한 조류 오일인 Triglyceride의 생산가는 갤런 당 평균 19.25 달러로써 석유디젤에 비하여 6~7배 이상 높은 가격으로 나타남

- 현재의 기술로 84 달러, 향후 50 달러-현재 147 달러/bbl 경제적 타당성에 초점을 맞춘 개발 필요함

- 진행사례:

- AlgaePARC(네덜란드)-미세조류로부터 단백질, 지질, 탄수화물, 색소 등을 생산하는 멀티플랫폼
- Ecoduna Algae Biorefinery(오스트리아)-바이오연료, 전기, 열, 오메가-3/6 지질, 비료를 생산하는 3단계 플랫폼
- Solvent Rescue Ltds(뉴질랜드)-초임계기술로 바이오오일을 얻는 플랫폼
- Aquafarming(벨기에)-IEA Bioenergy Task 42 데모플랫폼
- Prasinotech Ltd(Prasinotech Ltd(스코틀랜드) 및 MicroA(노르웨이) 합자회사)-해양 미세조류 이용해 다당류(polysacchiride) 생산
- DOE(미국)-Biomass Program의 융합 바이오리파이너지 프로그램(Integrated Biorefinery Program)
- Qeshm Microalgae Biorefinery(이란)-바이오리액터를 통한 스피룰리나 식품첨가제 및 바이오디젤과 바이오디젤로부터 파생한 다양한 화학제품 생산
- 국내는 단일기술위주, 공학위주, 가치사슬분석부재 등으로 시도된 바 없음

○ 환경모니터링

- 매년 인간 및 산업 활동으로 수계에 유입되는 신규 화학물질의 양이 증가함에 따라(매년 300~400 종의 신규물질 생산) 전 세계적으로 생태독성연구에 대한 관심이 증가하고 있음

- 종래의 이화학분석을 통한 생태계 규제 방식은 장시간, 고가장비 요구, 원인-효과 관계, 독성원간의 복합작용에 대한 정보 제공이 불가능하여 보완책으로 생물 모니터링 방법 도입이 추진되었음

- 규조류는 갯벌에 서식 주요 일차생산자로서, 1차 생산뿐만 아니라 영양 순환, 퇴적물 안정화 등 갯벌 생태의 기능 보존에 핵심적으로 기여할 뿐만 아니라 갯벌을 포함한 수생태계와 물질순환에 중요한 역할을 하는 대표적인 생물로 다른 생물보다 군집 밑 층의 구성 등이 스트레스에 더 민감하다고 보고된 바 있음
- 특히 규조류에서 나타나는 기형과 지질체 형성은 새로운 스트레스 지표로서 일관성, 관찰 용이성, 신속성, 객관성, 정량성, 민감성, 생태학적 의미성 측면에서의 활용성을 바탕으로 바이오모니터링 도구로서의 효율성과 민감성, 신뢰성에 대해 긍정적으로 여겨짐
- 유럽의 경우, 대표적으로 와덴해의 규조류 연구에서 갯벌생태계에 서식하는 규조류가 갖는 광범위한 환경에 대한 다양한 생리반응을 조사함으로써 종의 생태변이에 대해 규명하였음(Dube, 2012)
- 중국의 경우 염분도, 수심, 퇴적물 입자크기 등의 환경 변수가 규조류에 미치는 영향에 대한 조사가 광범위하게 이루어졌고, 일본의 경우 환경요인이 갯벌 규조류의 성장 반응과 EPS 생산 미치는 영향에 대한 연구가 활발하게 진행되었음
- 이러한 환경 모니터링을 포함한 세계 환경시장규모는 2013년 약 9,240억 달러에서 2020년에는 1조 1,610억 달러까지 확대될 것으로 추산되며, 미국과 일본, 유럽 등 선진국의 환경시장은 연간 2.7%의 성장을 보이고, 동남아시아와 아프리카, 중남미와 중국을 중심으로 한 신흥 환경시장은 약 7% 내외의 급성장을 보이고 있음

3) 연구사업 추진 계획

(1) 추진 목표

- 갯벌규조류를 대상으로 세계적인 수준의 분자-세포-유전-생리-생태 기초연구 툴 키트와 그린화학과 인공지능기술 등 응용연구기술을 접목하여 국내 최초로 1) 한반도 갯벌 규조 선별과 생물다양성 및 바이오매스 생산기작 연구, 2) 경제성이 보장되고 폐기물이 남지 않는 그린 바이오리파이너리 공정 및 지질 프로파일링 연구, 3) 규조류를 이용한 갯벌 생태계 환경모니터링 시스템 및 환경제어 가능한 AI/ICT 기술기반의 스마트 바이오매스 생산시스템 연구를 수행하여 기본적으로 규조지질의 고부가가치 소재화와 산업화 기반을 구축하고 이를 통하여 갯벌생태계의 지속가능한 보전 및 이용과 가치화를 추구하고 바이오경제를 실현함

(2) 추진전략 및 체계

- 갯벌생태계를 대표하는 규조류관련 1) 규조종 선별과 생물화학다양성 및 바이오매스 생산기작연구, 2) 그린리파이너리 공정 및 지질 프로파일링 연구, 3) 분자생물학적 연구 및 규조지질성분의 활성탐색과 AI/ICT 기술 융합 스마트 바이오매스 생산시스템 연구를 통하여 갯벌생태계의 지속가능성한 보전 및 이용을 위한 융합 생물

탐사 플랫폼과 스마트 자동제어 바이오매스 생산시스템 구축하고자
함

(3) 추진내용

○ 바이오매스

- 한반도 갯벌 서식 규조류 HOT-SPOT 인벤토리 구축
- 규조류 유래 지질 생합성 연구
- 지질 유전자원과 관련된 core gene 발굴
- 지질함량 규조류 인공배양 및 지질유도 최적환경조건 확립위한 생리연구
- Host Cell Engineering
- 고효율 세포주 확립
- 고지질함량 우수 균주 대량 배양공정 개발
- AI/ICT 기술 융합 바탕 자동제어 바이오매스 생산시스템 완성 및 고부가가치 물질 생산·산업화

○ 바이오파이너리

- 규조 내 지질성분 프로파일링 및 규조 유래 지질 추출법 개발
- 착유를 위한 밀킹 및 촉매기법 개발
- 규조 지질 및 하이브리드 물질 바이오 소재화
- 식품 오일 첨가물로서 활용가능성 평가
- CSF 기술 기반 규조 추출물 스크리닝 통한 신규 식물 성장 촉진제 및 토양개선 효과 탐색
- 규조 잔사를 활용한 바이오차르/활성탄 생산 및 CO₂ sequestration 효율연구
- Life cycle assessment of the whole process(LCA)-ISO14040

○ 환경모니터링

- DNA 메타바코딩(metabarcoding)을 활용한 한국 갯벌의 환경평가기술 개발 및 적용
- 구축된 규조류 라이브러리를 이용 규조류 기반 갯벌 건강 상태 지수 개발
- Taxonomy-free 접근이 가능한 생물학적 지표(기형 및 지질층의 크기 등) 기반의 생태위해성 평가기법 개발 및 ISO 표준화
- 바이오파이너리 소재의 생태독성평가
- 남북한 갯벌 유네스코 세계자연유산 등재
- CO₂ 흡수원으로서의 기능평가

(4) 기대성과 및 파급효과

○ 정성적 기대성과

– 환경적 측면

- 바이오경제실현을 통한 지구환경 보호와 해양 환경 및 생태계 건강성 회복, 생물자원 인벤토리 확립을 통한 글로벌 기후환경 개선
- 2차 오염 위험성 없는 그린기술 창출 및 갯벌 생태계의 보존과 지속 가능한 활용을 위한 친환경적인 톨 제공
- 갯벌 생태건강성 평가-오염 원인물질 판정-관리방안 도출이 동시에 가능한 선진화된 토탈 에코클린 서비스 시스템 확립과 이를 통한 건강한 갯벌 환경 형성
- 세계 최초로 해양모델생물 중심의 생태학적 갯벌관리 시스템 구축
- 갯벌 중심의 CO₂ 역학동향 파악시스템 확립으로 기후변화 적응기술 창출

– 사회적 측면

- 남북갯벌의 UNESCO 자연유산 동시가입 추진 및 남북한 동시 갯벌환경보호통한 민간차원의 남북교류활성화
- 살아 숨 쉬는 갯벌을 세계적인 유산으로 보전
- 대규모 해양생물 유전자원 및 유전자 정보 확보를 통해 국내 자생 생명자원에 대한 국제적 자위권 확보에 기여함
- 국제협약 이행, 파트너십 체결 등 글로벌 네트워크 강화로 지속가능한 이용을 고려한 해양생태계 보전의 국제 공조 기반 강화
- 고도의 해양바이오기술기반의 생태계 건강성 정보제공으로 국가연안환경 관리 및 정책의 선진화, 지구촌 공동의 목표 해양의 보전과 지속가능한 이용과 국민건강보호 및 삶의 질 증진에 기여

– 경제적 측면

- 구조류 유전자원에 대한 기초정보 확보, 합성생물학-그린리파이너리-AI/ICT 바이오인포매틱스 기술 등을 융합하여 구조류 내 지질 소재의

산업적 활용을 위한 생물탐사플랫폼과 자동제어 바이오매스 생산시스템 구축

- 국제적 우위를 점할 수 있는 국내에서의 바이오에너지(바이오연료) 생산 기술 방향을 제시하고 국내에서의 상용화 뿐만 아니라, 바이오에너지 기술의 해외사업을 도모하기 위한 가능성 제시함으로써 연간 6조원 규모의 세계 해조류 관련시장의 주도권 확보 예상
- 바이오산업단지 개발을 통한 산업연관효과 및 갯벌생태계 개발/복원에 따른 환경보호비용 절감효과로 73조 1,200억 원의 간접적 경제효과 발생 예상
- 그린 이노베이션으로 안정화된 미래 시장 개척과 함께 해양 생태건강성 평가 기술의 대중화 및 확산을 추진하여 국가 환경사업의 신성장 동력 제공
- 갯벌생태계 건강성 및 해양생물 다양성 회복을 통한 지역 갯벌 생태계의 우수성 입증 및 깨끗한 갯벌 이미지 구축으로 생태관광과 연계한 지역경제 활성화

○ 정량적 기대성과

- 바이오디젤 연간 헥타르 당 18,250 L(바이오매스 20 g/m²/d 기준)
- 바이오차르(연료/활성탄/토양개선제/CO₂ 저장매체) 일 당 1.2 톤
- 식품 오일(HTA, Palmitoleic acid, Stearic acid, Remenic acid, EPA, DHA)
- 고지질 함유 규조류 5종 선별
- 육상 온실 스마트팜 구축(전체 면적 5,000 m², 표면적 3,750 m², 수심 0.2-0.5 m)
- UNESCO 자연유산 등재
- 생태독성기법 ISO 표준화
- SCI(E) 논문 130편(Nature, Science 또는 Bioenergy and Environmental Science 지 포함)
- 특허 출원, 등록 총 85 건

○ 파급효과

- 갯벌규조의 화학적 생물다양성(Chemo-biodiversity) 정보를 축적하여 한반도생물유전자원 인벤토리 확립 및 국내생명자원 소재의 국제 규격

기술 개발을 통해 나고야의정서 발효 국제자원경쟁 대비

- 규조류 내 다양한 고부가가치물질의 지속적인 발견과 확보, 산업화를 가능하게 하는 세계최고 수준의 생물탐사플랫폼을 기반으로 한반도의 다양한 개방형 산·학·연간 네트워크를 구축하고 기술이전 및 산업화로 더불어 사는 바이오경제 실현
- 신 개념의 바이오-화학 기술 영역의 확장과 다양한 산학연 클러스터의 동반성장으로 변화하는 시대와 국가의 인력요구에 능동적이고 탄력적으로 대처하는 우수전문인재 양성 및 청년일자리 창출
- 와덴해 네트워크를 포함한 다양한 개방형 산학연 네트워크 구축을 통해 선진적인 갯벌관리 정책과 과학적인 환경 모니터링 및 철저한 평가 체계 수립
- 국내갯벌규조류를 대상으로 국내 최초로 융복합생물탐사플랫폼 및 스마트 바이오매스 생산시스템 구축으로 4차 산업혁명시대 갯벌생태계의 지속가능한 보전 및 이용과 가치화를 실현하고 민간차원의 남북한 공조 체제 구축

4) 총사업비(사업기간): 250억원('20 - '24)

○ '20년 요구(건의) 내용

- 갯벌 규모 선별과 생물화학다양성 및 AI/ICT 기술 융합 스마트 바이오매스 생산시스템 생성을 일원화한 융합 생물탐사 플랫폼 구축(25억)
- 그린리파이너리 공정 및 지질 프로파일링 확립(15억)
- 친환경적인 CO₂ 제거 및 저장원 개발(10억)

□ 한반도 서해 우뚝가사리 평화벨트 및 'RED GOLD' 사업

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진 배경

○ 해양수산 남북협력 추진 필요성

- 2018년 4·27 남북 정상회담에서 “10·4공동선언의 '해주 지역과 주변 해역을 포괄하는 '서해평화협력 특별지대'를 설치하고 경제특구 건설 등을 적극 추진한다”는 내용이 구체화되었음

- 남북공동어로구역 설정 등 서해평화수역의 해양자원 남북공동연구 및 개발 착수는 '남북평화조성' 및 '한반도 해양자원확보'와 향후 남북한 경제상생에 기초가 됨

○ 해조류의 중요성

- 지속가능한 3세대 바이오매스인 해조류는 1, 2세대의 육상 바이오매스보다 뛰어난 CO₂ 흡수능력, 빠른 생산주기, 높은 생산성, 수확의 용이성 등의 장점으로 인하여 지속가능한 친환경 바이오매스로 주목받고 있음(Gao, 1994)
- 해조류 체내에 다양한 구조의 탄수화물을 저장하며, 동물성 단백질을 대체할 수 있는 식물성 단백질을 포함할 뿐만 아니라 각종 미네랄을 함유하고 있어 비료로써의 해조류의 closed-loop가 가능함
- 해조류는 해수 중의 부영양물질, 수중 및 대기 중 CO₂ 흡수 등 환경정

화 기능을 보유한 유용한 환경친화적 생물로서 최근 해조류를 이용한 지구 온실가스 저감 및 IMTA(Integrated Multi-trophic Aquaculture)와 바이오에너지 생산 가능성에 대하여 세계적으로 관심이 모아지고 있음

- 우리나라는 3면이 바다인 지형적 특성과 함께 세계 최고 수준의 해조류 양식기술을 보유하고 있어, 국내에서 지속적인 원료 수급이 가능해 해조류 바이오매스를 활용한 연구에 매우 유리함

○ 우뭇가사리의 중요성

- Nature(2015)에 실린 Lab staple agar hit by seaweed shortage(by E. Callaway)라는 논문에서는 우뭇가사리에 관한 중대한 4가지 과학적 정보를 제공함; 1) 우뭇가사리 체내에 있는 agar(또는 agarose)는 생명과학 연구에서 중요한 미생물을 배양하는데 필수적인 물질이고, 2) 모로코가 현재 우뭇가사리 최대생산지(전 세계 생산량의 50%이상)이며, 3) 우뭇가사리는 양식이 불가능한 것으로 알려져 있고, 4) 모로코 정부의 자국자원보호 조치로 인해 아가의 가격이 급등하고 전세계 생명과학 관련 연구소, 학교, 병원 등이 커다란 타격을 받게 될 우려가 있는 가운데, 제2의 우뭇가사리 생산적지로 북한이 지목되었음
- 국내에는 경남 밀양에 아시아 최고규모의 우뭇가사리 한천공장이 위치하고 있으나 물량의 일부만 제주에서 공급받고, 90% 이상은 모로코산 수입에 의존하는 실정임
- 실제, 2010-2015년도 기준 국내 우뭇가사리 생산량 평균 350톤, 모로코 생산량 평균 18,000톤으로 국내 생산량은 산업화 및 상품화하기에 매우 부족함

○ 변화하는 글로벌 정세 및 환경 대응대책으로서 해조류 자원 활용의 필요성

- 글로벌 기후변화와 환경오염 등에 대응하기 위하여 자동화-질병관리-고부가 가치화 등으로 특징되는 Blue Revolution에 대한 전망이 확대됨
- 국내 해수온의 지속적인 상승으로 지리적생물권의 분포에 변화가 생겨서 북부 해역의 해조류 수확잠재력이 증가하고 있는 현실에서, 특산 경제 해조 종을 발굴하여 6차 산업 소재로 개발하기 위한 적극적인 노력이 필요한 시점임
- 글로벌 기후변화와 수산자원의 변화에 대응하여 온난화문제에 적극 대

처하고 교토의정서 발효에 따른 CO₂ 배출규제, 관련 산업 및 경제 활동 피해를 미연에 방지하기 위한 대응기술 개발이 시급함

- 최근 대기오염 분야에서 가장 큰 문제가 되는 ‘침묵의 살인자’라는 명칭을 가진 미세먼지(Particulate Matter, PM) 중 특히 질소산화물이 해양 생태계에 미치는 영향에 대한 연구는 생태계 지질화학적 관점에서 매우 중요함
- 2014년 10월 나고야 의정서의 발효로 해외 생물자원에 대한 의존도가 높은 우리나라에서는 중장기적으로 원가 상승 또는 원료 수급 불안정 이슈가 발생할 수 있는 상황임

(2) 연구의 필요성

○ 해조류 관련시장 확장성 및 우뭇가사리의 가치

- 해조류 관련 사업 세계시장 규모는 연간 6조 원(FAO)이며 이 중 우뭇가사리 한천 시장은 연 2,550억 원 규모로 연간 5.1% 이상 증가 추세임
- 우뭇가사리 체내엔 한천성분 외, 형광단백질(홍조색소단백질, PE, PC, APC존재), 폴리페놀, 탄수화물 및 미네랄이 존재하여 산업적 이용이 가능함
- 그 중 형광단백질은 매년 6.8%의 성장률(BBC Research)을 보일 것으로 예상되었었음. 현재 Sigma-Aldrich 및 AAT Bisquest에서 천연 판매하고 있는 해조류 유래 PE, PC는 최대 ~40% 단백질 구성으로 제한되어 있음에도 불구하고 200 달러/mg로 판매되고 있으며 국내수요의 경우 전량 수입으로 대체되고 있음
- 2011년 국내 바이오 벤처기업에서 해조류 유래 폴리페놀인 씨놀(Seanol)을 이용하여 기능성 건강식품 원료를 개발, 한국, 중국, 미국의 중증도 인지장애 치매환자 118명 대상 임상실험을 실시하여 85%에 해당하는 환자로부터 치료 효과를 확인한 바 있으며, 이는 씨놀(Seanol)의 치매유발물질인 beta amyloid의 생성 억제 및 신경독성을 해소하는 작용으로 나타난 치료효과로 밝혀졌음
- 세계 치매치료제 시장은 2014년 129억 달러에서 2020년 212억 달러로 확대될 것으로 예상되며, 국내의 경우 2012년 4,000억 원 규모에서 2020년 2조 원 규모로 확대될 것으로 예상됨

- 카라기난의 전 세계 생산량은 연간 60,000톤이며, 소매가 기준 10.4 달러/kg으로 거래되어 연간 판매액은 626백만 달러 규모로써 지역별로는 2017년 기준 유럽, 중동 및 아프리카에서 높은 시장 점유율을 가지고, 세계 카라기난 시장은 2022년까지 약 8%의 성장률을 가질 것으로 예상됨
- 현재 국내에는 agar 또는 agarose를 제약 상품 수준으로 정제하는 기술이 부재하고 Millipore Sigma 나 Thermo Fisher Scientific에서 전적으로 공급받고 있음
- 미국의 경우 1979년부터 1981년까지 3년 간 캘리포니아의 연안에서 우뭇가사리의 현장양식을 시도하였으나 뚜렷한 성과를 얻지 못하였고, 국내의 경우 2007년 장흥해양수산사무소에서 장흥연안에 우뭇가사리 양식 적용 시범사업을 실시하여 한달 내 4.5배의 성장을 확인했으나 지속되지 못하는 등 전 세계적으로 우뭇가사리 양식 성공은 부재한 상황임

○ 해양 바이오산업의 확장

- 세계시장은 연간 30억 달러 수준이며, 매년 수배씩 증가하고 있는 추세이며, 특히 해조류의 전 세계 산업규모는 연간 10조 달러에 이룸
- 국내의 경우 해조류의 총 생산량은 2003년 기준 45만 2천 톤이며 총 생산액은 2,021억 39백만 원(해양수산부, 2003)이고 그 중 5대 해조류(미역, 김, 다시마, 툇, 파래)의 전체 생산량과 생산액의 99%를 차지함
- 그러나 연간 약 50만 톤의 해조류 생산에도 불구하고 부가가치가 낮은 1차 생산품이 대부분이므로 해양바이오의 산업화를 위해 바이오매스와 원료 공급의 지속성과 타겟물질 경제적인 생산과정에 대한 노력이 필요함

○ 바이오매스의 중요성

- 바이오매스는 향후 전 지구 인구의 75%에 충족하는 재생에너지원으로 간주되고 있고, 현재 전 세계 에너지 생산의 14% 차지하고 있음
- 해조류는 비식량계 바이오매스로서 경작지 축소로 인한 식량생산 감소 및 식량수급 불균형 문제를 야기하지 않으며, 육상바이오매스 자원에 비해 단일면적 대비 생산수율이 높기 때문에 해조류를 원료로 하는 바이오에너지 및 고부가물질 생산기술은 국내실정에 매우 적합하며 경쟁력 있는 기술로 평가되고 있음.

- 한 예로 경제성 측면에서 바이오에탄올 추출용 바이오매스의 생산단가는 0.49 달러/리터 이하가 되어야 하나, 1년에 1~2회 밖에 수확하지 못하는 육상작물의 경우 경제성 확보에 어려움이 있는 반면, 연간 채취 횟수가 10회 이상인 해조류는 국내 양식장 이용 시 19억 리터의 에탄올을 생산하여 휘발유의 20%를 대체(양식장 7만 ha의 절반인 3.5만 ha 재배, 에너지수율 20% 적용)할 수 있음
- 그러나 바이오매스를 에너지원으로 활용하는 수준으로는 아직까지 경제수지를 맞출 수 없으므로, 바이오매스로부터 에너지원 외에 2차 산물과 폐기물을 고부가가치화하여 생산해내는 시스템이 필요함

○ 바이오리파이너리의 중요성

- 바이오리파이너리는 바이오매스를 시장가치가 있는 멀티 스펙트럼의 생산품, 즉 의화학물질, 바이오연료, 식품, 바이오소재, 섬유, 열, 전기 등으로 지속적이면서 경제적으로 전환하는 공정기술로서 환경오염을 유발하는 폐기물까지 고부가 가치화함으로써 환경-경제-사회의 세 축을 동시에 떠받드는 역할을 함(IEA Bionergy Task 42)
- 종래의 석유리파이너리와 달리 바이오리파이너리는 결국 경제성, 효율성, 가치부가성 그리고 친환경성을 지향하며 개별 공정개발보다는 통합공정을 통해 바이오이코노미의 근간을 이루는 핵심기술이라 할 수 있음
- 해조류관련 바이오리파이너리 기술은 대형 갈조류를 중심으로 개발 진행되고 있지만 이제 초보단계에 있음. 예: 네덜란드 *Saccharina latissima* 활용한 ABE(acetone-buthanol-ethanol) 연료 생산, 스페인 *Sagarssum muticum* 활용한 fucoxanthin, phlorotannin 등의 색소 생산. 덴마크에서 해조류기반의 바이오이코노미 실현을 위한 MAB3프로젝트 실시
- 해조류 바이오리파이너리의 장점은 해조류의 높은 광합성 및 생장율이 있으며, 폐수 내 영양분을 사용해서 배양이나 양식 시 별도의 영양분이 불필요하고, 배양을 통해 체내 가치물질(탄수화물, 단백질, 오일 등)을 인위적으로 유도증폭 할 수 있다는 것임
- 바이오리파이너리 공정은 수확-추출-전환으로 이루어짐(그림 10)

- 바이오파이너리의 생명은 결국 경제성인데, 바이오산물을 생산하는 고난도 기술과 이를 수행하는 인프라 구조, 그리고 시장의 3요인에 반추하여 risk to return비율을 낮추어야하기에 기술개발측면에서 반드시 LCA(Life Cycle Assessment)와 TEA(Techno-Economic Analysis)가 실시되어야 함

○ 정부정책 부합성

- 관문점 선언(2018.04.27.) → 서해 북방한계선 일대를 평화수역으로 만들어 안전한 어로 활동을 보장하기 위한 실제적인 대책 추진
- 해양수산부 자료에 따르면 인천광역시 옹진군의 맞은편 북한 마합도에 대규모 우뭇가사리 서식지가 존재한다고 보고된 바 있고, 최근, 기후변화 및 해양지속가능발전 관련한 심포지움(2019.03.27.)에서 북한-중국-러시아-일본-미국 등 14개국이 참여한 국제 남북해양프로젝트를 위한 협약식에서 실제 마합도 산 우뭇가사리 샘플이 공개된 바 있음
- 과학기술정보통신부는 미래해양기술 혁신전략안을 통해 해양과학기술의 발전으로 실현할 '2030년 미래해양의 비전'을 선언함
- 비전의 핵심은 1) 해양과학기술을 통해 거대 이슈(기후변화, 해양산성화, 미세플라스틱 문제 등)를 근본적으로 국가경제와 국민문화건강복지 향상, 2) 해양의 무한한 자원을 효율적으로 활용보전(해양바이오, 해양유래 신소재, 해양유래 에너지 기술기반)함, 3) 해양활동의 저변을 넓혀 인류가 더욱 편리한 삶(육상에서와 같은 주거, 레저 등)을 향유함으로써 요약됨
- 해양수산부는 '수산혁신의 원년'선언을 통해 연안지역 경제 활성화(어촌뉴딜 300 사업), 해양환경 문제에 대한 종합적인 대책과 제도 마련, 남북 관계 개선으로 서해 평화수역과 동해관광 특구, 서해 경제특구 등 한반도 바다의 새로운 가능성에 대한 사전 준비 추진의 필요성을 강조함

○ 글로벌 미래 해양 블루기술의 방향성

- 최근 기후변화, 자원의 고갈위기, 물 부족, 식량위기, 고령화 등이 세계가 직면한 당위과제로 부상하고 있는 상황에서 이에 대한 해결책으로 '바이오이코노미(Bio-based Economy)' 개념, 즉 급속도로 진화하는 생

명과학지식과 고공의 발전을 거듭하는 생명공학기술을 통해 환경친화적이고, 지속가능하며, 쓰레기를 남기지 않고 재순환 개념의 경제적 가치 실현을 추구하는 추세가 급부상함(OECD, EC Commission)

- 해조류 바이오매스를 활용한 세계 해양 블루바이오 기술 방향도 대량의 바이오매스를 지속적으로 확보하고 이로부터 바이오연료와 기타 고부가가치물질 및 소재를 동시다발적으로 개발하여 경제성을 높이면서도 폐기물까지 고부가가치화 하여 zero-waste화하는 바이오리파이너리 시스템을 구축하여 해조류 산업화 발판 마련과 동시에 깨끗하고 안전한 바다를 유지하는 방향으로 진화하고 있음
- 특히, 우리나라는 해조류 양식기술 및 생산량 측면에서 세계 4위 수준의 인프라를 보유하고 있어 해조류 바이오매스와 바이오리파이너리 연구개발에 집중 투자할 경우 성공가능성이 매우 높다고 판단됨
- 따라서, 남북 해양바이오 협력기술기반의 서해 우뭇가사리 해조류 평화벨트 조성과 블루 바이오리파이너리 플랫폼 구축사업을 추진하여 남북의 현안문제에 단초를 제공하고 국가 해양과학기술의 무한진화를 준비하며 글로벌 미래 성장 동력을 확보하고자 함

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

- 연구대상: 해조류 우뚝가사리
- 연구내용: 1) 생물다양성 인벤토리 구축 및 고부가가치소재와 바이오매스 대량생산, 2) 폐기물 없는 그린 바이오파이너리 공정 기술 플랫폼 구축, 3) 환경모니터링 시스템 및 CO₂ 흡수격리작물 확립
- 연구방법: 남북한을 중심으로 글로벌 공조체제(중국-러시아-미국-일본 포함) 하에 분류학, 분자생물학, 유전공학, 생리학, 생태학, 양식학, 그린화학, 정보공학, AI-ICT, 갈등해소관련 사회인문과학 등 다학제적 융합 툴 키트 적용
- 연구최종성과: 한반도 평화양식벨트 및 세계 최초 우뚝가사리 육상 스마트팜에서 생산한 바이오매스로부터 아가로스 배지, 의학용 영상형광 단백질, 치매치료용 폴리페놀, 바이오차르를 생산하여 한반도 우뚝가사리의 지속적인 가치화와 환경친화적이고 진화적인 방식의 경제효과를 발생하는 바이오이코노미 창출하고, 한반도 평화정착에 기여하는 민간 차원의 국제공동체제 확립

(2) 연구사업의 현황

- 바이오매스
 - 3세대 바이오매스인 조류, 그 중에서도 해조류의 경우 건중량 1.87 kg/m²/월로써 육상식물(건중량 0.042-0.367 kg/m²/월)보다 높은 바이오매스를 가지고 있음
 - 노르웨이의 SINTEF fisheries and aquaculture에서는 170톤 WW/ha, 30톤 DW/ha의 해조류 양식에 성공하였으며, 800 km²의 지역에서 연간 700만 톤의 생산량을 획득하였고, 이는 건중량 105만 톤으로써 63만 톤의 탄수화물, 31만 톤의 단백질, 7만 톤의 아미노산 등에 해당함
 - 2006년 필리핀에서는 biofuelact에 따라 해조류를 활용한 바이오매스 생산연구를 진행하여 *Sargassum* spp., *Turbinaria* spp., *Hydroclathrus* spp., *Caulerpa* spp., *Ulva* spp. 활용한 biogas 기술을 개발 중임
 - 1960-1980년도 세계 우뚝가사리 생산량은 50,000-60,000톤(WW)으로 그 중 스페인이 연간 4,000-5,500톤(DW)으로 가장 많고 일본

3,000-3,300톤(DW), 포르투갈 2,500-3,000톤(DW), 한국 2,000-2,500톤(DW)으로써 한국은 세계 우뭇가사리 생산 4위에 달했으나, 2010-2015년도 세계 우뭇가사리 생산량은 20,000-25,000톤(WW)으로 50%이하 감소하였고, 그 중 82%인 16,000-20,000톤(WW)이 모로코에서 생산되었음

- 최근 국내의 경우 전국 우뭇가사리 생산량은 2018년 기준 1,107톤이며, 그 중 제주도의 생산량(1,023톤)은 전국 생산량의 92.41%에 달함
- 한천(agar-agar, 분말한천)은 우뭇가사리를 이용하여 만들며, 강한 가역성 겔 형성 특징을 바탕으로 식품, 공업, 의약 및 미생물 연구 분야에 널리 이용되고 있고, 특히 식품분야에서 겔화제, 유제품이나 청량음료의 안정제, 통조림 내 변색방지제, 커피, 맥주, 주스 등의 청징제로 사용됨
- 세계 한천시장의 규모는 연 2,550억 원으로써 연간 5.1%의 증가 추세가 있는 것으로 파악되며, 우뭇가사리는 3만원/kg, 한천은 7만원/kg으로 거래되고 있음
- Fujian Gold Swallow Ocean Biotech Co., Ltd(중국)는 1958년에 설립되어 연간 800 톤의 한천과 100 톤의 카라기난을 생산하고 있고, Mingfu Fujian Agar.co., Ltd(중국)는 1993년 설립 연간 400 톤 이상의 한천, The Welfar Agar(중국)은 연간 400톤 이상의 한천, Qingdao Gather Great Ocean Seaweed Industry Co., Ltd(중국)는 2000년에 설립되어 200톤의 한천 및 Sodium alginate, Iodine, Mannitols, alginic acid, carrageenan 생산하고 있음
- 국내의 경우 동양 최대 규모 한천 생산지인 경남 밀양시의 밀양한천에서는 연간 100~300 톤의 한천을 생산하며, 한천 판매를 통한 매출은 연간 약 97억 원에 달함. 이 외 국내 한천 생산은 경기도 약 1억 4천만 원, 전라남도 약 5억 6천만 원, 경상남도 170억 원 가량임

○ 바이오파이너지

- 바이오파이너지는 바이오매스를 식품, 사료, 에너지 그리고 기타 고부가가치가 있는 산물로 최소의 폐기물을 방출하는 가운데 전환시키고 생산하는 공정과 기술의 복합체로 정의하며 바이오매스의 높은 성장 잠재력에도 불구하고 원료 조달에서 가공, 다양한 용도로의 제품 개발 및

생산에 이르기까지 바이오리파이너리를 통해 기초 화학 원료를 생산하는 과정 중에 산적해있는 기술적 난제와 인프라 부재로 상업화에 있어서는 아직 시장 진입 단계임

- 바이오리파이너리는 캐스케이드식 변형과정을 통해 폐기물(바이오차르화하여 탄소 중립화)까지도 남김없이 각 가치사슬로 유입할 수 있는 고부가가치 산물로 만들 수 있는 제로-웨이스트 기술이며, 특히 바이오차르는 폐기물을 포함한 거의 모든 유형의 건조 바이오매스를 이용하여 제작할 수 있고 유기물에 비하여 잘 분해되지 않아 포획한 탄소를 장기간 저장 가능한 특징을 가지고 있음
- 세계 바이오차르 시장은 2018년 기준 13억 달러 규모(당해 수요 395.3 킬로 톤)로 연평균 13.2%의 성장해 2025년에는 시장규모가 31억 달러에 이를 것으로 전망되며, 관련 연구는 과거 탄소격리 및 토양 환경 분야에만 국한되었으나 최근 환경, 화공, 재료공학분야 등 다양하게 확장 진행되고 있음
- 바이오차르의 대규모 제조는 북미지역에 집중되어 있으며, 이 외 중국, 인도, 일본, 멕시코, 브라질과 같은 개발도상국에서 중소 규모의 산업이 형성되어 있음
- 영국 바이오차르연구센터(UK Biochar Research Centre)에서는 바이오차르의 생산 및 토양개량 및 다양한 용도로의 적용을 위한 연구를 지속하고 있으며, 벨기에 겐트대학교에서는 고수율 바이오차르 개발을 위한 연구를 지속하고 있음
- 최근 인도에서는 파래(*Ulva lactuca*)를 이용한 바이오차르가 개발되었으며, 국내의 경우 인천대학교 해양학과에서 대발생파래를 이용한 바이오차르 생산을 통하여 산업통상자원부 주최 아이디어공모전에서 대상을 수상한 바 있음
- 바이오연료(디젤, 메탄, 부탄올, 에탄올, 항공연료, 수소가스)는 2000년대 중반 고유가시대의 개막 및 화석연료의 환경문제에 대응하여 차세대 에너지원으로써 개발 필요성이 대두되었으며, 국내의 경우 제4차 신재생에너지 보급계획(2014)에 따라 바이오에너지(총 공급량)이 2012년 15.2%에서 2020년 18.8%로 확대되고, 2015년 7월부터 시행되는 바이오 디젤 및 바이오 에탄올의 연료혼입 의무화 제도(RFS)를 통해 2015년 BD 2.5(Bio diesel %)에서 2018년 BD 3.0으로 증가됨

- 해조류는 식량가격의 상승 및 수자원, 생물다양성 및 열대우림에 대한 피해에 대해 연관성이 없고, 육상식물 대비 높은 바이오매스 및 낮은 리그닌 함량 등 해조류만의 생물학적 특징을 바탕으로 오래전부터 잠재적인 바이오에탄올 원료 및 신재생 에너지원으로써 연구되어 왔으며, 그 중에서도 특히 홍조류는 다른 바이오매스보다 높은 바이오에너지 수율을 가지고 있는 것으로 알려짐

- Ecoduna Algae Biorefinery(오스트리아)사에서는 바이오연료, 전기, 열, 오메가-3/6 지질, 비료를 생산하는 3단계 플랫폼을 구성하였으며, Solvent Rescue Ltds(뉴질랜드)에서는 초임계기술로 바이오오일을 얻는 플랫폼을 구축함. Aquafarming(벨기에)에서는 IEA Bioenergy Task 42 데모플랫폼을 형성, DOE(미국)에서는 Biomass Program의 융합 바이오리파이너리 프로그램(Integrated Biorefinery Program)을 진행 중임

- 형광단백질이란, 외부의 빛을 받아들여 형광을 발하는 특징을 가진 단백질로써 주로 단백질에 태그를 붙이는 데 사용되거나 유전자 발현과정을 추적하는데 사용되는 등 생물학적인 기본연구에서부터 바이오칩 응용 및 질병 탐색에 이르기까지 광범위한 사용범위를 가지고 있으며, 그 중 독성에 대한 우려가 없는 동시에 기존 형광단백질 보다 5~10배 높은 Quantum yield를 가지고 있는 해조류 유래 천연 형광단백질인 PE(Phycocerythrin), PC(Phycocyanin), APC(Allophycocyanin) 등이 각광 받고 있음

- 2008년도 노벨화학상은 형광단백질을 개발한 과학자 3명에게 수여되는 등 그 중요성이 인정받았으며, 최근 PC이 체내에서 암세포의 증식을 막을뿐더러 암세포를 죽이는 항암효과를 가짐이 밝혀졌음

- 일본의 독립행정법인 이화학연구소는 천연물에서 추출한 형광단백질인 이용하여 막 전위 감수성 탐침방법 개발을 통해 천연 형광단백질의 감도는 기존 형광단백질의 감도보다 10배 이상 뛰어나다고 밝혔으며, Sigma-Aldrich 및 Thermo Scientific(미국)의 경우 고순도 형광단백질 제품 판매하고 있음
- 국내의 경우 한국생명공학연구원 바이오융복합연구소에서 형광단백질을 이용한 FRET 바이오센서, 유전자 회로 고감도 미생물센서 개발한 바 있음
- 폴리페놀이란 식물 내에 존재하는 여러 페놀화합물의 총칭으로 체내에서 항산화제로 작용하여 노화, 암세포 증식 등의 예방이 가능함
- 활성산소는 개체가 호흡한 산소가 에너지를 만들고 물로 환원하는 과정에서 나타나는 산화력이 높은 산소찌꺼기로 몸속에서 발생되거나, 스트레스, 자외선, 세균침투 등으로써 나타나며, 활성산소가 정상세포를 공격하여 각종 질병과 노화의 주범이 되며, 이를 억제하는 것이 항산화임
- 특히 해조류 유래 폴리페놀인 씨놀(Seanol)은 가장 강력하고 안정적인 화학구조(8개의 링)를 형성하여 육상식물 유래의 폴리페놀보다 노화촉진 유해물질(활성산소)를 제거하는 항산화효과가 탁월하며, 현존하는 지구상 폴리페놀류 중 가장 강력한 항산화력(10-100배)를 가짐에도 불구하고 수백만의 소비자 중 부작용 사례가 보고된 바 없는 천연 신물질임
- 특히 씨놀의 반감기는 12시간으로 육상유래 폴리페놀 중 가장 우수한 항산화물질인 카테킨(녹차성분)의 반감기인 30분보다 24배 길며, 장시간 체내에 머무는 만큼 오랜 항산화 효능 지속시간을 가지며, 한국 최초, 일본을 포함한 아시아 3번째로 미국의 FDA NDI 승인을 받은 바 있음
- 이 외 국내의 경우 한국식품연구원에서 해조류 내 폴리페놀인 플로로탄닌의 수면유도 효과 및 작용기작 규명한 바 있음
- 세계 토양개선헌제(유기비료) 시장은 2017년 기준 630억 달러 규모로 전년대비 12.08%의 성장률을 가지며, 국내의 경우 2015년 1조 6,292억 원, 2016년 1조 5,197억 원, 2017년 1조 4,933억 원 규모이며, 이 중 유기질 및 기타 비료시장은 2015년 9,077억 원, 2016년 9,204억 원, 2017년 9,026억 원이었음

○ 환경모니터링

- 산업화와 더불어 지속된 온실가스의 배출은 지구 온난화를 야기하였고, 이로 인한 해수면 상승, 이상 기온 현상 등 다양한 자연재해의 발생에 대응하여 세계 최대 온실가스 배출국인 미국과 중국이 온실가스 감축 공약을 발표하는 등 국제사회에서 온실가스 저감을 위해 노력하고 있음
- 다양한 온실가스 중에서도 CO₂는 가장 큰 비중을 차지하는데, 최근 해조류가 열대우림보다 우수한 CO₂ 흡수효과(해조류-8만 3,000여 톤/km², 육상의 목질-3만여 톤/km²의 탄소 흡수)가 있고, 전 세계 바다의 0.2%에 해당하는 해조서식지에서 전체 바다에서 흡수되는 탄소의 10%가 흡수된다는 연구결과가 있으며, 특히 국내의 경우 좁은 국토 여건 상 육상의 숲 조성을 통한 탄소흡수(고정)는 한계가 있기 때문에 해조류를 이용한 탄소고정 방안이 대안으로 제안됨
- 해조류는 생장과정 중 광합성을 위해 CO₂를 흡수하며 그 자체로도 일차적으로 탄소를 고정하며, 생장한 해조류가 패류의 먹이로 이용될 경우 해조류 내 고정된 탄소가 패각에 잔류함으로써 탄소를 지속고정하고, 이 외 바이오매스의 리파이너리를 통해 펄프나 바이오에너지로 이용될 경우 기존의 목재 및 화석연료 사용을 대체함으로써 탄소발생을 줄여 탄소배출 억제효과를 가지기도 함
- 네덜란드에서는 해조류 양식을 통해 연간 8-10톤/ha의 탄소 고정을 확인한 바 있는데, 다양한 해조류 중 우뭇가사리는 1kg당 연간 24.34 톤/m²의 탄소고정능력을 가지고 있으며, 우뭇가사리의 바이오매스 확보를 통해 바이オリ파이너리로서의 활용뿐만 아니라 저탄소 기후변화 대응방안으로써 적용 가능함
- 이러한 우뭇가사리를 이용한 탄소고정은 탄소크레딧 시장과도 연관이 있는데, 2017년 탄소크레딧의 예상가격은 평균 6.5유로/t, 2020년에는 평균 11유로/t이며, 탄소크레딧 거래시장은 교토의정서가 발효된 2005년 약 109억 달러에서 연 평균 108% 수준의 성장을 거듭하여 2009년에는 1,437억 달러 규모로 성장하였음. 국내의 경우 2016년 9,474천 톤의 거래규모 및 1,934억 원의 거래 수준을 보이고 있음
- 2018년도 그린피스의 발표에 따르면, 한국은 경제협력개발기구(OECD) 회원국 중 초미세먼지 오염도 2위 차지했으며, OECD 도시 중 대기질

- 이 가장 나쁜 100개 도시에 무려 국내 44개 도시가 포함되었음
- 국내의 경우 과학기술을 통해 미세먼지 문제에 대한 근본적 해결을 지원하기 위한 과학기술기반 미세먼지 대응전략을 발표하였으며, 이와 관련하여 미세먼지 대응 신시장(국내 17조 원, 해외 30조 원) 창출을 목표로 함
 - 대기오염 수준이 가장 심각한 중국의 경우 2014년부터 미세먼지 퇴치를 위해 1조 7000억 위안을 투입하고 있으며, 미세먼지 배출저감 중 고정오염원 배출저감 분야에서 최근 5년간 주요 논문의 45%를 투고하는 등 관련 연구가 활발히 진행되고 있음
 - 미세먼지 및 대기질소와 관련한 세계 대기 환경 시장 분야는 2013년 632억 달러 규모를 바탕으로 연평균 2.3%의 성장률을 바탕으로 2018년 707억 달러에 이를 것으로 전망되었음
 - 국내의 경우 2013년 6조 681억 원 규모였으며, 연평균 성장률 20%로 2018년 15조 3,346억 원 규모에 이를 것으로 전망되었음

3) 연구사업 추진 계획

(1) 추진 목표

인천 옹진군 남북한 섬에 대량 생육하는(해수부 보고서)우뭇가사리를 이용하여 전 세계에서 기근을 호소하는 한천배지를 정제생산하고, 우뭇가사리 체내 기타 색소, 폴리페놀, 섬유소 등으로 의학영상형광단백질, 치매치료소재, 바이오차르 등의 고부가가치 소재화함으로써 한반도 해조류 자원의 지속가능한 보전 및 이용과 가치화를 추구하고 남북한 바이오경제를 실현하고자 함

최종적으로 한반도 바이오이코노미를 실현하고자

- 1) 남북공동 해조류 평화 양식 벨트 구축, 2) 폐기부산물조차 고부가가치화하는 zero-waste와 경제성을 지닌 바이오파이너리 플랫폼 기술 확립,
- 3) 고급 바이오매스 생산을 위한 세계최초 AI-ICT기반의 육상 우뭇가사리 IMTA 스마트팜 구축, 4) 우뭇가사리를 이용한 친환경적인 CO₂ 제거 및 저장원과 대기질소 포함한 미세먼지 영향평가 기술 개발을 추구함

(2) 추진전략 및 체계

한반도 자생 우뚝가사리를 기반으로,

- 분류학-유전공학-분자생물학-생리학-양식학-그린화학-정보학 등의 다학제 연구를 통해 유전자원에 대한 기초정보 확보와 인벤토리를 확립하고,
- 합성생물학-그린리파이너리 기술을 융합한 블루바이오기술 툴박스를 적용하여 우뚝가사리 체내 아가로스, 색소단백질, 폴리페놀과 공정 폐기부산물의 산업적 활용을 위한 생물탐사 및 해조류 그린바이오리파이너리 플랫폼을 구축하며,
- 세계 최초로 해조류 평화양식벨트 및 우뚝가사리 바이오매스 생산을 위한 IMTA형 육상 스마트양식 팜을 건립하여 바이오매스공급-고부가가치소재생산-환경개선의 세 기능을 통합적으로 실현함과 동시에 기후변화(미세먼지 포함)에 능동적으로 대처함

(3) 추진내용

- 바이오매스
 - 한반도 서식 우뚝가사리 유전체 조합 및 라이브러리 구축
 - 적절한 형질(빠른 성장, 최적 agar 함량, 병원균에 대한 내성 등)을 가진

균주 선정

- 유익 박테리아 적용 통한 바이오매스 보존(Control/mitigate the disease outbreaks)
- 스케일업 사전 실내배양연구
- 대량 배양/양식 시스템 구축
- 스마트 팜 시스템 구축위한 모듈설계

○ 바이오리파이너리

- Agar
- 천연형광색소단백질
- 바이오차르
- 폴리페놀
- Life cycle assessment of the whole process(LCA)-ISO14040/
Techno-Economic Analysis(TEA)

○ 환경모니터링

- SMART IMTA: 친환경생태통합양식장 플랫폼 구축
- 미세먼지와 대기 질소 유입 영향평가
- 우뚝가사리 CO₂ 저감능력 평가
- 우뚝가사리 양식벨트의 CO₂ 저감
- 탄소저장고 및 정화필터로서의 바이오차르 기능분석
- 바이오리파이너리 소재 및 부산물의 생태독성평가
- 스마트 친환경 생태통합양식장과 주변 해양 양식장간의 협업 가능성 분석

(4) 기대성과 및 파급효과

○ 정성적 기대성과

－ 환경·기술적 측면

- 2차 환경오염 위험성 없고 폐기물이 남지 않는 순환형 블루기술 창출

및 친환경적인 소재 가치화 툴박스 구축으로 환경보전 및 바이오경제를 동시에 성취

- 우뭇가사리를 이용한 재활용에너지 생산 및 CO₂ 제거와 저장 기술개발로 기후변화 적응 및 글로벌 기후환경 개선
- 세계 최초로 미세먼지와 대기질소 유입에 대응한 해조류 유용 자원 생산력 평가 플랫폼 실현
- 국제협약 이행, 글로벌 네트워크 강화로 국제공조기반의 지속가능한 해양생태계 보전
- 고도의 해양바이오기술기반의 생태계 건강성 정보제공으로 국가연안환경 관리 및 정책의 선진화

- 사회적 측면

- 국내 생육하는 특화 해조류의 가치화를 통한 남북한 경제 협력 및 동시 활성화 기초 확립
- 자원조사 및 개발을 위한 대화, 공동조사연구, 가치화 협력을 통한 남북한 우수 연구 인력 배양 및 산학연관 공동 네트워크 실현과 한반도 평화 체제 정착
- 남북한에 첨단 바이오 연구시설 집약 및 관련 기구와 일자밀 및 유사산업군 창출, 창업 촉진을 통한 남북한 교류활성화 및 평화분위기 조성
- 지구온난화로 야기되는 자연생태계의 교란 및 생물 종 다양성이 급격한 감소, 나고야 협약에 따른 자국자원 확보 정세에 대응하여 한반도 자원 확보와 보호에 기여
- 인천 도서와 북한 사이에 평화 해조류 벨트를 구축하여 정부에 추구하는 공동양식구역을 선언하고 해조류소재개발과 CO₂ 감축기술 실현 및 블루카본 산업화를 위한 공조노력 함으로 세계 평화에 기여

- 경제적 측면

- 한반도 자생 우뭇가사리 기반 아가로스, 치매치료, 영상의학용 형광단백질, 바이오차르 소재 가치화 플랫폼 구축(합성생물학- 그린리파이너리-AI/ICT-바이오인포매틱스 기술 융합)으로 바이오경제실현
- 소재의 안정적 공급과 활용촉진을 위해 인공지능-IoT를 활용한 스마

트 육상양식시스템 구축(섬 관광 및 산업 활성화/섬 특화 일자리 창출 /관련분야 청년창업 촉진)

- 기후변화협약에 대비한 CDM 사업으로 해조류의 탄소축적 능력을 인정받는데 필요한 기초 데이터의 확보와 탄소배출권 거래 시장 점유
- 그린 이노베이션으로 안정화된 미래 시장 개척과 함께 해양 생태건강성 평가 기술의 대중화 및 확산을 추진하여 국가 환경사업의 신성장 동력 제공
- 직접적 경제효과 555억 원/간접 및 외교적 경제효과 73조 2,573억 원 예상
- 직접적 경제효과(5,325억 원 예상) - 우뭇가사리 고가매입 수입 효과/정제시설 제품 생산 및 판매효과
- 간접적 경제효과(73조 1,200억 원 예상) - 바이오산업단지 개발 산업연관 효과
- 외교적 경제효과(1,373억 원 예상) - 남북경협 확산에 따른 경제 회복효과

○ 정량적 기대성과

- 아가 젤 시간 당 50 g 생산(강도 700 g/cm²)
- 천연형광색소단백질(PE, PC) 분리 정제(순도 80% 이상)
- Tandem Dye 1종
- 바이오차르(연료/활성탄/토양개선제/CO₂ 저장매체) 일 당 1.2 톤
- 신경퇴행성질환(알츠하이머, 파킨슨, 뇌졸중) 의약품 개발 및 임상연구
- 고아가, 폴리페놀 함유 *Gelidium* 5종 선별
- 우뭇가사리 스마트팜 구축(500 L 야외 탱크, 폴리카보네이트 재질, 표면 지름 116 cm, 높이 77 cm, 지면 지름 97.5 cm)
- SCI(E) 논문 130편(Nature, Science 또는 Bioenergy and Environmental Science 지 포함)
- 특허 출원, 등록 총 85 건

4) 총사업비(사업기간): 250억원('20 - '24)

○ '20년 요구(건의) 내용

- 우뭇가사리 소재은행 및 고급 바이오매스 생산 위한 AI-ICT 기반의 육상 스마트팜 구축(15억)
- 제로웨이스트와 경제성을 지닌 바이오파이너지 플랫폼 기술 확립(25억)
- 친환경적인 CO₂제거 및 저장원과 대기질소 포함 미세먼지 역학 영향평가 기술개발(10억)

5.2. 유전자원·ICT기반 해양생태계 빅데이터 분석연구

5.2.1. 현황 및 이슈

- 전통적인 분류기법과 조사방법은 예산과 인력의 인프라가 요구되는 사업이나 급변하는 연구환경에는 미흡하며, 국가의 정책적 지원에 의한 대응이 요구됨
 - 생물분류의 경우 전통적인 기법에 의한 분류는 연구자의 숙련도에 따라 최고 30%대의 분류오류를 양산함
- 감소하는 어업현장의 인구와 고령화를 보완할 ICT기반의 생물관리 시스템이 요구
 - 정부 R&D는 변화하는 연구환경에 대응하기 위해 ICT기반 생물관리시스템을 권유하나 해양수산 현장은 미흡함
 - 게다가 해양수산 현장 종사자의 삶의 질 관련 R&D 투자는 상대적으로 낮은 편
 - * 정부R&D 투자('15) : 경제발전(43.5%), 비목적적 연구(8.8%), 보건환경(12.7%) 등
 - 문제의 근원적인 해결을 위한 과학기술의 역할에 대한 국민 요구가 증대하고 있으나, 그 동안 과학기술의 역할이 부족했던 것은 사실
 - * 국가 핵심전략 기술 선정 기준 : 국민 60.2%가 “삶의 질 향상” 선택('13)

5.2.2. 선도 추진과제

□ 유전자원 및 인공지능 기반 해양생태계 빅데이터 분석연구

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진배경

- 급속한 기후 변화에 따라 변화된 해양생태계가 국내외에 다각적으로 영향을 미치고 있음에도 불구하고 이를 예측 및 대응하기 위한 전통적인 해양생태계 데이터의 양적 질적 한계
 - * 해양생태계란 2006년 10월에 제정된 "해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률"에서 일정한 해역의 생물 공동체와 이를 둘러싼 무기적 또는 유기적 환경이 결합된 물질계 또는 기능계로 정의함. 이는 생태계의 일부로서 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 조류, 어류, 해양포유류, 해면동물, 연체동물, 절지동물, 해양미생물 등 다양한 생물요소와 염수, 퇴적물, 부유물질, 토양 등 여러 종류의 물리적 환경조건으로 구성됨을 의미함
- 최근 50년(1968~2017년) 한반도 해역의 연평균 표층수온이 1.23 °C 상승하여 전 세계 평균(0.48°C)의 약 2.6배의 경향을 보이는 전 세계에서 가장 높은 수온 상승률을 보이는 해역

- 급격한 해양환경의 변화로 인한 해양생태계의 변화는 전통적인 수산자원 및 해양생태계 관리에 불확실성을 증가시키고 있으며 이로 인한 경제적 손실이 커지는 실정

- 현재까지 해양생태계를 이해하기 위한 다양한 조사가 진행되고 있으나 전통적인 분류기법에 의존하는 조사방법에 의존하고 있어 데이터의 양적 부족과 범용성에서 한계를 지님
- 4차 산업혁명에 따른 인공지능 및 Big data 기반 지식 정보학적 해양생물
 자원의 관리체계, 그리고 이들을 활용한 자료 산출 및 분석의 중요성이 대두됨
- 차세대 염기서열 분석법(NGS)의 발달로 대량의 종을 경제적으로 분석할
 수 있는 기술이 확보됨

(2) 추진 필요성

- 기후 변화에 따른 해양생태계의 급격한 변동과 그에 따른 국가적 영향을 예측 및 대응하기 위한 범용성이 높고 통계적으로 신뢰할 만한 해양생태계 빅데이터 구축의 필요성
- 선진국에서는 이미 이미지 분석 및 유전자 데이터 기법을 이용한 해양생태계 분석이 도입되어 실행하고 있음에도 불구하고 국내연구는 사실상 거의 전무한 상태임
- 나고야 의정서'발표에 따른 자국 생물자원의 중요성이 대두되며 기후변화에 따른 해양생태계의 변동에 따른 해양생물자원의 확보 및 보전에 대한 체계적인 통합관리가 필요
- Big data 기반 지식정보 관리와 자료 산출 방법을 수산자원 관리 분야와 접목함으로써 수산자원관리체계를 구축하고 자원량 변동 예측을 정밀화함으로써 과학적인 수산자원관리를 도모하여야 함

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

- 본 연구는 전통적인 노동력 중심의 해양생태계 조사방법을 유전자원 및 인공지능 중심의 지식기반 방법으로의 전환을 모색한 연구임
- 기존의 연구들이 파괴적이며 노동 집약적인 조사방법이었다면 본 연구는 경제적, 비 파괴적이며 향후 자동화로 개발할 수 있는 플랫폼을 구축하려고함
- 노동력 중심의 수산자원 연구가 연구 주제별로 일관되지 않은 데이터 생산을 통해 단기적이며 협소한 자료를 생산하는 반면 본 연구개발은 장기적이며 표준화된 일관된 데이터 생산연구를 통해 데이터의 범용성 확대
- 전통적인 해양생태계 연구와 인공지능 기반의 학제 간 통합 연구를 통해 기후변화에 따른 해양생물자원의 과학적인 관리를 할 수 있는 기회임

(2) 연구개발 동향

- 국내 연구 동향
 - 유전자를 이용한 해양생물 분석
 - “한반도 주요 생물종의 보전과 관리를 위한 DNA 바코드 시스템 구축 연구사업”(2007-2010)을 통해 척추동물, 무척추동물 및 하등식물 약 3,700여개의 DNA바코드 유전자 발굴사업 수행. 일부 연구기관에서는 Fish Barcode of Life Initiative(FISH-BOL)와 같은 특정분류군 특화된 DNA 바코드 유전자 발굴에 참여
 - 2015년 NGS 기법(454 GS-FLX sequencing platform)을 이용하여 어란의 종 동정과 분포특성 연구가 이루어짐
 - 남해의 계절별 미생물 군집의 변화를 환경DNA(Environmental DNA, eDNA)를 통해 분석하였음
 - 최근에 각 분류군별 다양한 유전자바코드가 축적되어 해양생물의 분석에 이용하려고 하고 있으나 이들에 대한 본격적인 연구가 절대 부족
 - 딥러닝 기법을 이용한 이미지 인식
 - 현재 딥러닝 기법을 이용한 해양생물 이미지 분석에 관한 국내 연구 사례는 극히 찾기 힘들

○ 국외 연구 동향

– 유전자를 이용한 해양생물 분석

- eDNA와 metabarcoding을 이용한 어종의 다양성을 연구한 다양한 연구가 존재하며 본격적으로 이들을 해양생태계 조사에 이용하고 있음.

- 최근에 일본에서 eDNA와 metabarcoding 방법을 이용하여 어종의 정량적 분석에 관한 연구사례가 발표되어 정량적 분석또한 eDNA로 가능성을 제안 (그림 14)

- 일본 MiFish Pipeline에서는 이미 6,600 어종의 데이터를 기반으로 환경유전자에서 자동적으로 어종을 분석하는 웹사이트를 구축 운영 중임(그림 15)

– 딥러닝 기법을 이용한 이미지 인식

- 중서부 태평양에서의 참치 수자원 보호를 위해 모든 선박에 GPU와 기록 영상장비 설치를 강제하고 이를 실시간으로 모니터링 하는 과제에 인공지능을 이용한 솔루션이 제안됨. 인공지능은 선박위의 다양한

그림 15. Mifish pipeline의 논리 모식도 (좌)와 MitogFish web 페이지 (우).

- 사물 중에서 실시간으로 생선의 위치를 찾아내고 그 종류를 분류하는 것이 요구되었음. 따라서 이미지 인식에서 성능을 가장 잘 발휘하는 합성곱 신경망이 사용되었고 그 중에서도 Faster R-CNN 과 그 변형 알고리즘 등이 사용되어 최고 여섯 종류의 어종을 인식하는데 95%의 정확성을 보였고, 93%의 정확도로 어종을 분류하였음 (그림 16) (<https://dzone.com/articles/building-ai-algorithm-based-on-convolutional-neura>)

그림 16. 인공지능을 이용한 어류 종 인식

- 현재까지 영상분석 장치를 이용하여 동물플랑크톤을 분석하는 연구 사례는 대부분 미국과 유럽에서 주도하였으며 최근에 미국 및 중국에서

딤러닝 방법을 이용한 플랑크톤을 분석하는 연구를 수행하였거나 수행하고 있음 (표 2; 그림 17)

- Libelium는 IoT와 빅데이터를 이용한 실시간 수질감시시스템을 노르웨이 오슬로에 설치하여 어족자원의 이동에 따른 정보를 수온, pH, ORP, DO 등을 모니터하여 실시간으로 클라우드에 정보를 전송하는 시스템을 구축하고 전송된 데이터를 인공지능이 분석하게 하여 적절한 대안을 제시하도록 함

3) 연구사업 추진계획

(1) 추진목표

(2) 추진전략 및 체계

○ 추진전략

- 국립수산과학원, 해양과학기술원등의 대형 생태계 모니터링을 진행하고 있는 기관과 연계하여 샘플 확보
- 이미지 분석시스템과 대용량 유전자 분석 시스템은 연구진에서 구축
- 딥러닝 이미지 분석 전공자와 전통적 형태분석 전공자, 그리고 유전체 분석 전문가의 학제간 연구로 진행

○ 추진체계

(3) 추진 내용

- 유전자원 기반 해양생태계 데이터 분석 플랫폼 구축
 - 채집된 시료에 따른 표준화된 DNA extraction method의 구축
 - 차세대 염기서열 분석을 통한 생물군별 메타바코딩 분석 기반 구축
 - 수산자원 표준 유전자의 연속적 DB 구축 (미생물, 동·식물플랑크톤, 어류)
 - 염기서열 빅 데이터 분석의 표준화 및 차세대 염기서열 분석방법을 통한 시공간적 수생태계 데이터 축적
 - 유전자 빅데이터를 통한 종 다양성 및 계통학적 분석
 - 차세대 염기서열 분석법과 생물정보학 및 통계 기반의 통합적인 분석을 위한 파이프라인 구축
 - 생태계 유전자와 환경 데이터(수온, 염분, 영양염 등)와의 상관관계 분석
 - 해양 물리, 화학적 데이터 또는 지리적 데이터를 연계한 복합적인 생태계를 반영한 분석 플랫폼 구축

- 이미지 프로세싱을 통한 해양생물 분석 시스템 개발
 - 현장 이미지 촬영 자료와 동일 해역 동물플랑크톤 및 어류 채집
 - 이미지에 의한 형태특성 파악 및 실험실 내 동물플랑크톤 및 어류 동정
 - CPU-GPU 환경에서 Faster R-CNN 기반의 딥러닝 알고리즘 구현
 - 이미지를 이용한 현장적용 가능한 분류시스템 구축

(4) 기대성과 및 파급효과

○ 기대효과

- 기술적 측면

- 비 파괴적 생태계 친화형 해양생태계 조사가 가능
- 표준화된 대용량 분석법의 개발로 해양생태계 분석의 자동화가 가능해짐
- 장기간에 걸친 대용량의 big data를 이용하여 기후 변화에 대한 해양생태계의 변화를 과학적으로 분석하여 장기적인 적응 전략 분석 가능
- 개발된 기기의 특허출원 및 해외 시장 개척 등의 산업화 추진
- 정밀한 해양생태계의 건강성을 산출하여 효과적인 해양생태계 관리체계 구축
- 고부가가치를 가지는 해양생명 자원의 체계적인 보존 및 관리
- 자동화에 따른 해양생태계 관리의 국가적 통합체계 구축

○ 파급효과

- 유전자원 기반의 해양생물자원의 데이터 분석법의 개발 및 적용하여 전의 노동 집약적, 연구자 별 오차 등을 극복가능하게 함
- 인공지능 기법을 이용한 해양생태계 관리 기술 개발
- 범용성 있는 대량의 데이터를 공개하여 국내 연구자들의 연구 역량 향상
- 중국, 일본 등 인접국과의 증가하고 있는 해양생물자원에 대한 마찰에 효과적으로 대응하는 정책 수립

4) 총사업비(사업기간): 25억원('20 - '24)

□ 대기-해양 유입 오염원에 따른 연안 양식환경 보호를 위한 새로운 ICT 기반 생물조기경보 시스템 개발

1) 추진배경 및 필요성

○ 우리나라 연안역에서 오염원에 따른 양식생산성 저하

- 우리나라의 대부분 연안역은 이매패류의 양식이 대량으로 이루어지고 있으며, 매년 양식 어장을 확대하여 어민들의 소득증대에 기여하여 왔지만, 1990년대 초부터 양식생산량이 점차 감소하고 있음
- 이는 양식어장의 증가와 밀식에 의한 양식장의 노후화가 첫 번째 이유라고 할 수 있으나, 해수교환이 열악한 만에서 양식시설이 증가함에 따라 해수교환이 잘 되지 않고 해저에 퇴적된 많은 유기물의 분해로 저층 빈산소화 및 H₂S의 대량 발생도 중요한 원인 중 하나임(그림 21)
- 일련의 연안환경 변화에 따른 우리나라의 수산피해는 해를 거듭할수록 발생횟수가 증가하고, 피해규모도 커지는 경향을 보이고 있음. 실제 1995년에서 1998년까지 나라도 연안에서 발생한 유해 와편모조류 *Cochlodinium polykrikoides*의 대규모 적조에 따라 1995년만 피해액이 764 억원에 이르렀으며(류 외, 2004), 냉수대 및 빈산소수괴 출현에 따라 2007년도에 경남도에서만 10 억원이상의 피해가 발생하였음(이, 2013). 이와 같은 이상 해양현상을 미리 감지할 수 있다면, 양식장 생물에 대하여 적절한 대응으로 피해를 감소시킬 수 있음

○ 이상해황을 조기 감지를 위한 기존 방법

- 최근에는 항공촬영 및 인공위성 자료를 바탕으로 실시간 관측을 수행하고 있지만, 현재의 기술로써는 생물학적인 환경변화(적조 또는 해파리)에 대응하는 수준에 머물러 있음(그림 22)
- 이를 보완하기 위해 실시간 해양/기상관측 모니터링 시스템 부이를 이용하여 기상 및 해양상태를 관측하고 있음. 하지만 현재까지 개발된 센서 및 자동측정시스템은 한 가지 항목을 측정하기 위해 최고 수천만 원 이상의 비용이 필요하며, 하계에는 부착생물(biofouling)에 의한 관측 저하로 유지비용도 증가

○ 생물모니터링(bio-monitoring system; BMS)을 통한 이상해황 조기 감지

- 이러한 연안환경 변화를 미리 감지할 수 있는 이상적인 모니터링 시스템은 다음 3가지 사항을 충족시켜야 할 것 임. “① 설치 및 유지를 위한 낮은 비용”, “② 이상 현상에 대한 빠른 인지 및 높은 감도”, “③ 설치 및 유지의 간편성”을 들 수 있음
- 이를 위해서 최근에 제안되고 있는 시스템이 생물모니터링시스템(bio-monitoring system; BMS)으로 화학물질에 대하여 정확하고, 민감하게 반응하는 생물을 감지소자로 활용하는 시스템 임. 만약 감지소자로 사용되는 생물을 잘 선택한다면 화학센서보다 구조가 간단하고, 감지·계측 성능이 훨씬 우수하다는 장점이 있음
- 지금까지 생물모니터링시스템을 구성하는 생물의 종류를 보면 발광성 박테리아, 조류, 물벼룩, 물고기 등과 같이 다양한 생물을 이용하여 오

염 요소를 감지하려고 노력하였으며, 장치의 개량 및 현장적용 등에서도 지속적 개발 노력이 이루어지고 있음

- 국내에서는 미세조류, 박테리아 그리고 물벼룩을 이용한 생물모니터링 시스템을 개발하기 위해서 노력하고 있으며, 1991년 낙동강 오염사고를 계기로 전국의 주요 하천에 국가수질자동측정망의 일환으로 생물모니터링시스템(물고기, 물벼룩)을 설치하게 되어 있음
- 하지만, 이러한 노력에도 불구하고 대부분의 생물모니터링시스템은 하천수 중심이며 해양에 관련한 적조, 빈산소수괴 및 저염수 등과 같은 이상 해황에 관련한 생물모니터링시스템은 전무한 실정임. 특히 우리나라의 서해안 및 남해안과 같이 이매패류의 양식이 활발한 환경에 적합한 시스템은 찾을 수 없음

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

- 대기-해양 오염원에 따른 연안역의 해양환경 변화와 이러한 변화가 양식 생물에 미치는 영향을 파악함
- 대기-해양 오염원에는 여러 가지 영향인자가 있으며, 각각의 오염인자에 따라 양식생물의 행동 및 생리 반응의 변화를 조사함
- 상기의 2가지 영향을 바탕으로 양식생물의 환경반응에 대한 빅데이터 구축
- 양식생물(생리/행동)과 환경반응에 대한 수치적인 알고리즘 개발
- 수중 근거리 통신, 장거리 무선 통신 기술 및 개발된 알고리즘 바탕으로 한 지능형 BMS 시스템을 구축

(2) 연구사업의 현황

- 연안환경에서 BMS 연구사업
 - 일본의 경우는 양식생물의 생산성 향상을 위해서 이매패류의 패각운동을 측정하여 이매패류 건강지표로 사용하여 왔으나, 2006년에 Mikimotoi 진주연구소의 Nagai연구팀에 의해 연안역에서 이매패류의 패각운동을 이용한 최초 생물모니터링시스템을 개발되어 있음(Nagai et al., 2006). 일본의 경우 유해적조조류 *Heterocapsa circularisquama*의 적조 및 여러 가지 환경오염에 따라 진주생산이 급격히 저하됨에 따라 환경모니터링 시스템이 필요하게 되었으며, 그 중 진주조개를 이용한 *H. circularisquama*의 생물모니터링시스템을 완성하여 실용화 준비 단계에 있음(그림 3)

- 국외 사례를 정리하면 유럽은 하천 중심으로 접근하였고 일본은 유해적조류에 대한 생물모니터링시스템을 개발하였으나 우리나라에서 발생하고 있는 유해적조생물과 다른 생물임(*H. circularisquama*는 우리나라에는 미보고 종). 따라서 우리나라에서 발생하는 유해적조생물들에 대한 BMS 구축이 필요 함
- 따라서 본 연구개발의 목표는 연안환경 변화가 발생하는 곳에 서식하는 우리나라 양식 생물을 이용하여 생물모니터링시스템을 개발하는 것임.(그림 4).

3) 연구사업 추진 계획

(1) 추진 목표

- 현재 환경변화를 모니터링하고 측정된 자료를 실시간으로 전송하기 위해서는 고가의 관측 장비 설치가 필요하고 장비 설치 및 보수·운영을 위해서는 전문 인력을 요하기 때문에 막대한 예산 투입이 불가피 함. 또한 경보 체제의 효율성을 높이기 위해서는 현지에 거주하는 어업민들이 관측 기기를 활용하는 것이 최선의 방법이지만, 활용 및 측정된 데이터를 해석하는 일은 현실적으로 어려움이 있음
- 양식생물의 오염원에 대한 저항성을 이용하여 ICT융합기술을 활용한 지능형 BMS가 구축된다면, 오염물질의 조기감지를 어업민에게 전송함에 따라, 어업민 스스로 자기어장을 방어할 수 있는 고감도의 연안환경 실시간 모니터링 시스템 구축이 가능함

(2) 추진전략 및 체계

(3) 추진내용

- 대기-해양 오염원에 따른 연안역의 해양환경 변화
- 대기-해양 오염원에 따른 양식생물의 반응 연구
- 양식생물의 환경반응에 대한 빅데이터 구축
- 양식생물과 환경반응에 대한 수치적인 알고리즘 개발
- ICT 및 빅데이터 기반 지능형 생물조기경보시스템 구축

(4) 기대성과 및 파급효과

- 최근 양식어장을 운영하는 어업민들 역시 해양환경 변화로 인해 양식어장에 미치는 피해를 최소화하기 위해 많은 노력을 하고 있으며 사전에 이러한 오염요인을 없애기 위해 정부에 강하게 환경보전 대책을 요구하고 있는 실정
- 따라서 연구개발 사업에서 개발된 기술을 이러한 곳에 적용 가능하기 때문에, 일반 공학적인 기술과 같이 시장 및 규모를 설명하기 힘들다, 해양에서 환경감시 기술이 필요로 하는 곳은 적용 가능할 것으로 보임

- 본 연구개발을 통해 구축된 실시간 연안모니터링 시스템은 내만에 위치한 이매패류 양식장에서 적조 및 갑작스런 환경변화로 인해 나타날 수 있는 여러 가지 문제점에 대해 신속한 대처 및 적극적인 방어에 많은 도움이 될 것으로 보임
- 또한 기존에 고가의 비용으로 구축되어 있는 환경변화 감지 모니터링 체계는 범용성을 위해서 한계가 있는 시스템이며, 본 연구개발에 따라 도출되는 생물모니터링시스템은 비용이 적게 들고 감도가 뛰어나므로 기존의 모니터링 시스템을 대체하기에 매우 적합
- 기존에 해양환경 모니터링을 위해 설치된 관측시스템은 부착생물들로 인해 정기적인 유지보수가 요구되었으며 이로 인해 많은 비용이 소모되었다. 하지만 기존에 서식하는 양식생물을 이용하면 안정적으로 해양환경을 모니터링 할 수 있으며 유지보수 비용을 절감하여 경제적으로 많은 이득이 됨

4) 총사업비(사업기간): 26억원('20 - '24)

□ 해양 어류 자원 미생물총 분석을 통한 어류 성장 및 질병 조절 원천 기술 개발

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진배경

○ 해양생물에서 미생물의 중요성

- 해양은 3.6×10^{30} 개의 미생물로 가득 차 있으며 이는 해양 생물량의 90%를 차지하고 있음
- 어류는 항상 미생물과 상호작용을 하고 있으며 특히 공생 미생물은 숙주와 상호작용을 통하여 숙주의 건강과 질병에 큰 영향을 미치고 있음

○ 최근 생물체에 존재하는 미생물총(microbiota)의 중요성이 세계적으로 관심을 받고 있음

- 미생물총(microbiota)은 특정환경에 존재하는 모든 미생물들 및 그 유전정보의 총합을 뜻하며 미생물체(microbiome)라고도 하며 최근 생물학의 중요한 이슈가 되고 있음(Lederberg and McCray, 2001; NIH working group: Pederson et al., 2009)
- 미생물총(microbiota)은 숙주가 갖지 못한 대사 능력을 가지고 있으며 생물체의 장기와 같이 제3의 장기로서 생물체가 살아가는 데 필수적인 역할을 하는 것으로 알려져 있음(Guerrero et al., 2013; Slavucci, 2016)
- 숙주생물이 가지지 못한 유전자를 가지고 있기 때문에 확장된 유전체로 숙주와 미생물총을 함께 하나의 생명체로서 다루는 견해도 대두됨
- 숙주생물의 면역, 영양소 흡수, 질병 억제, 생식 및 발달에 이르기까지 생물체의 삶에 필수적인 역할을 하고 있는 것으로 알려짐

○ 미생물총의 연구방법의 발전

- 과거에는 배양을 통하여 미생물을 연구하였으나 배양을 통하여 미생물의 다양성을 분석하는 것은 비용과 시간이 많이 들 뿐만 아니라 배양을 통해서 얻을 수 있는 미생물의 수는 극히 일부분(전체 미생물의 1% 미만)임. 따라서 배양을 통하여 한 생물체와 공생하는 미생물을 분석하는 것이 비효

울적이고 편향된 결과를 얻을 가능성이 매우 큼

- 2000년 중반 이후로 차세대 서열분석방법과 생물정보학 및 오믹스 기반 연구방법이 발달하고 대중화됨에 따라서 저렴한 비용으로 생물체가 가지고 있는 미생물총을 매우 자세히 분석할 수 있게 되었음
- 차세대 서열 분석방법은 한 시료 내에서 수백-수만 개의 서열정보를 확보할 수 있어 일반적으로 ml 당 수천만-수십억개로 존재하는 미생물총을 가장 자세하게 분석할 수 있는 기술임

○ 미생물총의 중요성

- 인간미생물체(Human Microbiome) 연구를 통하여 미생물체가 인간에게 미치는 영향이 기존에 생각한 것 이상으로 심대하며 소화 및 영양, 면역, 질병발생, 건강유지 등과 밀접한 관련이 있으며 미생물체 조절을 통하여 헬스케어에 혁신을 줄 것으로 기대되고 있음(Gilbert, 2018)
- 예를 들어 장내미생물 조절로 비만을 치료하고, 장내 미생물의 대사 산물이 아토피 등 피부질환에 효능이 있으며, 장내 미생물의 구성 분포를 통하여 암을 진단하고, 암의 발병 위험을 예측하거나 줄이며, 심지어는 장내 미생물이 내는 분자신호가 식욕 등 뇌 활동에도 영향을 미친다는 연구들이 보고되고 있음
- 이는 기존에 전혀 생각하지 못한 미생물체의 중요성을 보여주고 있음

○ 어류 미생물총이 어류에 미치는 영향

- 숙주-환경-식이의 상호작용에 의해서 어류 내의 정상 미생물총이 존재하는 경우 건강한 상태(Normobiosis)를 유지하나 비정상 미생물총이 존재하는 경우에는 균집불균형(Dysbiosis)에 의해서 질병이나 생장의 저하를 일으키게 됨
- 어류가 환경 요인 및 식이에 반응하는 과정에서 미생물체의 역할이 매우 중요할 것으로 예상되고 있으나 아직까지 정확히 밝혀지지 않고 있음

(2) 연구의 필요성

○ 수산양식 산업의 변화와 친환경 원천 기술의 중요성

- 수산업은 안전하고 건강한 먹거리를 제공하는 데 중요한 역할을 하고 있음. 그러나 최근 수산양식의 과정에서 바이러스, 세균, 곰팡이, 원생동물 등에 의한 질병의 발생 등이 심각한 문제가 되고 있음. 양식업에서는 항생제 및 화학 약품 첨가를 통하여 이를 해결하고자 하고 있으나 안전한 먹거리를 제공하는 데 문제가 될 수 있음. 미생물총을 이용한 원천기술 개발을 통하여 안전하고 친환경적으로 어류 생산 및 질병 예방의 원천기술을 개발할 필요가 있음
- 최근 새로운 양식기술로 물고기 공장, 순환 양식 시스템, 바이오플락 등의 기술이 개발, 보급, 이용되고 있으며 이러한 기술을 개발하는 과정에서 전체 시스템에 존재하는 미생물 및 공생 미생물에 대한 이해를 필요로 하고 있음
- 기후 변화에 따른 수온의 변화에 따라 국내의 어류의 종류도 달라지고 있음. 뿐만 아니라 어류와 함께 미생물총의 변화에도 중요한 영향을 미칠 것으로 예측됨
- 어류의 정상미생물총에 대한 이해를 통하여 어류의 질병을 억제하고 생장을 증진시키고 양식 산업에서 생산력을 높일 수 있으며 안전한 먹거리를 만들 수 있어 기존의 방법을 최적화하는 원천 기술을 개발할 수 있음
- 어류의 미생물총의 이해는 해양의 기후변화 및 수산양식 산업의 변화에 대응하는 새로운 방향이 될 수 있음

○ 어류와 공생하는 미생물총의 이해의 필요성

- 기존의 연구는 사람이나 육상의 동물을 중심으로 연구가 되어 있으며 해양의 생물에 대한 연구는 부족함. 특히 어류는 전체 척추동물 종의 절반 가량을 차지하고 있는 것을 볼 때 어류의 미생물총 연구가 필요함
- 기존의 연구에서는 Zebrafish 등과 같이 연구목적으로 사용되는 모델생물이나 산업적으로 가치 있는 양식어류에 치중되어 있어 야생환경에 살아가는 어류에 대해서는 연구가 많이 되어 있지 않은 실정임. 다양한 야생 어류가 가지고 있는 정상미생물총에 대한 연구는 많이 진행되지 않은 실정임.

정상미생물총을 이해하고 그 역할에 대해서 살피는 연구가 필요함

- 어류의 미생물총 연구는 척추동물의 진화에 있어 미생물총과의 공진화를 이해하는데 필요하며 어류의 생리, 생활사를 이해하는 데 중요함
- 국내 해양 어류의 미생물총을 분석하는 연구는 미흡한 실정이며 소규모로 진행되고 있음. 대규모의 시스템적인 연구 분석이 필요함

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

- 본 연구는 많은 연구가 진행되지 못한 척추동물 중의 어류의 미생물총 연구를 통하여 어류의 분류, 생리, 생활사를 이해하고자 하는 연구임
- 특히 성장 및 질병에 관련된 주요 미생물 종을 파악하고 이를 통하여 미생물총이 성장과 질병에 미치는 인과를 살피고자 함
- 궁극적으로는 미생물총의 조절을 통하여 성장 및 질병을 조절할 수 있는 원천기술을 개발하는 것이 목표임

(2) 연구사업의 현황

- 연구동향 (scopus 논문)
 - 미생물체 (microbiome/microbiota)의 키워드로 검색을 하면 총 59,852개의 논문이 검색 됨. 논문의 절대량도 매우 많을 뿐만 아니라 2018년에만 거의 20%인 11,433개의 논문이 나올 정도로 급격하게 발전하고 있는 분야임. 2000년도에 132개의 논문이 2018년에는 90배 가량으로 논문이 증가하였음
 - 어류 미생물총에 관한 연구는 다른 생물에 관한 연구에 비해서 많지 않은 실정이며 주로 양식어류에 주로 관심이 집중되어 있는 실정임
 - 어류 미생물체 (fish microbiome)로 검색한 결과 6,848개의 논문이 검색되며 미생물체와 마찬가지로 19% 가량의 논문이 2018년 한 해에 발표되었을 정도로 어류 미생물체에 대한 연구도 급격하게 증가하고 있음. 특히

2000년 8개의 논문이 2018년에는 1,331개로 증가하여 160배가 넘는 논문의 증가를 보여주고 있음. 2018년 기준으로 최근 5년간 논문의 비율이 전체 출간된 논문의 비율의 74%가 될 정도로 최근 많은 관심을 받고 있음

- 어류 미생물체 관련 논문의 경우에도 미국이 32%를 차지하여 독보적이며 중국이 15%로 어류 미생물체의 연구에서는 미생물체 연구의 11%에 비해 어류 관련 연구의 비중이 높은 것을 볼 수 있음. 한국은 19위를 차지하고 있으며 미국의 6% 수준인 실정임

3) 연구사업 추진계획

(1) 추진목표

○ 추진목표

- 국내 해양 어류 자원의 미생물총을 분석하고 어류 생장 및 질병 조절 원천 기술을 개발

○ 단계별 추진목표

(2) 추진전략 및 체계

○ 추진전략

○ 추진체계

- 차세대 서열 분석 방법과 DB를 구축할 수 있는 해양생물 공생 미생물 분석 전문가와 숙주인 어류를 분류하고 그 생리적인 특성을 이해할 수 있는 전문가가 필요함
- 어류 질병 및 건강 관련 전문가 및 수산 및 양식 산업 업계 및 연구자가 함께 연구에 참여하여 대상어류에 대해서 어류 성장 및 질병 조절 원천 기술을 개발해야 함

(3) 추진내용

○ 사업내용 (추진내용)

(4) 기대효과 및 활용 방안

- 해양 어류에 대한 새로운 지식의 제공
 - 그동안 이해하지 못했던 어류의 분류, 생리, 생활사에 미생물총이 미치는 영향을 체계적으로 이해할 수 있음

- 수산양식 산업의 변화에 대응하는 원천 기술 개발
 - 항생제 및 화학약품을 사용하지 않아 안전하고 건강한 먹거리 생산에 기여
 - 수산양식 산업의 고급화, 고도화 추구

- 해양 생물에 대한 미생물총 연구에 활용
 - 어류 이외의 생물에도 적용 가능한 미생물총 분석 및 DB 제공

4) 총사업비(사업기간): 24억원('20 - '24)

5.3. 해양 바이오키반 질병 진단기술 및 오염물질 저감기술 개발

5.3.1. 현황 및 이슈

- 한·중·일 환경장관회의 및 대기정책대화를 통해 대기오염방지, 대기질 모니터링 협력을 강화하는 한편, 한·중 비상채널을 구축하여 대기오염 악화 시 긴밀히 협력하여 발생원지 및 미세먼지 예보제 시행 예정
 - 호주는 보유하고 있는 저임계 석탄 화력발전소를 중심으로 폐쇄하고, 신규 투자는 진행하지 않음
 - 국내는 노후차량 교체, 친환경차 보급, 노후 발전소 분산 및 조정 등의 실질적인 저감 기술은 본격적으로 개발되지 않고 있음
- 미세먼지·유해물질 등 생활환경오염, 신/변종 감염병, 결핵 등의 질병이 일상생활을 위협
 - 질병 치료제로서의 해양생물 유래물질의 발굴의 필요성 대두
 - 질병의 조기진단이 가능한 해양유래 조기진단 기술개발 요구됨

5.3.2 선도 추진과제

- 결핵 치료제로서의 해양유래 물질 발굴과 치료반응 조기진단을 위한 광융합 기술 개발

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진 배경

- 결핵의 발생률 증가와 내성 결핵균의 출현의 빈도 증가
 - 노인인구의 증가와 청소년 사이에서 최근 결핵의 발생률이 다시 증가하는 추세임. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 보고에 따르면, 2016년 기준 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 가입 회원국 중 우리나라가 압도적으로 발병률 1위(80명/10만명)와 사망률 1위(5.2명/10만명)를 차지하고 있음 (그림 28)
 - 그러나 기존의 표준 치료제의 약제 부작용 증가 및 약제 복용 순응도 감소현상과 같은 기존의 약제 치료 개발의 정체가 나타남
 - 종양 및 면역억제 환자의 증가로 약제 내성 결핵균의 꾸준한 증가가 이루어지고 있으며, 기존의 항결핵제 개발의 포화 상태가 나타남에 따라 기존의 항결핵제와 관련된 첨가물 시장의 기대가 증대됨
 - 결핵은 균이 잠복해 있거나 천천히 증식하고, 증상이 감기와 비슷하여

감염 초기에 치료를 받지 못하는 경우가 많음

- 결핵균은 공기를 매개로하여 기침, 재채기 또는 대화만으로도 쉽게 전파가 가능하며, 결핵 환자를 통해 감염된 환자는 2년 내 발병 또는 잠복상태로 있다가 면역력이 약해지면 발병됨. 따라서 예방 및 조기 진단의 중요성이 더욱 강조됨

(2) 연구의 필요성

○ 고감도 광다이오드센서 기반 결핵균 조기 진단 기술 개발의 필요성

- 현재 배양검사는 6~8주, 약제 감수성 검사는 2~3개월 소요되어 환자의 진단 및 치료계획 수립에 어려움이 있음. 따라서 결핵균 배양검사 및 약제 감수성 검사 시 소요되는 시간을 획기적 단축이 요구됨
- 현 기술들에는 다양한 한계가 존재함. 배양검사는 민감도가 가장 높은 검사로 결핵을 확진하고 약제 감수성 검사를 시행할 수 있다는 장점이 있지만 소요시간이 6~8주로 매우 길다는 단점이 있고, 도말검사는 1~2일의 소요기간을 가져 신속하나 민감도가 배양검사에 비해 25~80% 낮으며, 핵산 증폭검사는 도말 음성 객담에서 결핵균 핵산 증폭검사의 민감도가 낮음 (그림 29)

○ 해양유래물질을 이용한 결핵치료제 개발의 필요성

- 단기화학요법은 6개월의 치료 기간을 필요로 하기 때문에 환자의 불순응 문제가 치료 결과에 영향을 줄 가능성이 있음
- 불순응 문제를 해결하기 위한 방법으로 모든 환자를 대상으로 직접감독 치료를 하기에는 행정적, 비용적인 면에서 부담이 큼
- 기존의 항결핵제는 다제내성 결핵 치료에는 상대적으로 덜 효과적이고

부작용이 따름

- 잠복 결핵 치료에 효과적이고 부작용이 적은 약제의 부재
- 현재 결핵치료제는 9~10종정도에 불과하여 환자에게 1차 약제와 2차 약제를 사용하고 나서도 내성균이 발생하면 결핵을 치료할 수 있는 약이 거의 남아있지 않아 난치성 환자가 되거나 사망할 수도 있음 (그림 30)

- 최근 한 연구에서 해면동물에서 추출한 물질이 간암세포에 대하여 약 4배 정도의 치료효과를 나타냄을 발견함으로써 해양생물 유래 치료제 개발이 각광을 받고 있음

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

- 해양유래 물질 항결핵약제 발굴 및 효능검증을 위한 광 융합 기술 개발 연구의 특징
 - 배양검사 및 도말검사를 통해 일일이 결핵균의 수를 따져 그에 따른 진단을 했던 기존의 방법과는 달리 결핵균의 자가 형광이라는 특징을 이용함
 - 최근 다양한 분야에서 연구되고 있는 해양유래 물질을 이용하여 결핵 치료 분야에서의 가치도 검증함
 - 형광을 검출할 수 있는 고감도 다이오드센서를 이용하여 치료 전후를 비교함으로써 항결핵약제의 효능검증에의 활용을 연구함

(2) 연구사업의 현황

- 결핵균 검출에 대한 연구 현황
 - 미국 정부는 1959년부터 결핵 퇴치를 목표로 결핵관리를 추진한 결과 1980년대 초반에 인구 10만명당 10명 미만으로 돌입하였으며, 직접복약 관찰치료(DOT)와 자기주도복약관리 등의 다양한 노력으로 1995년부터 2014년까지 최대 319천건의 결핵 사례 예방 및 145억 달러를 절감했다고 추정함
 - 유럽과 아프리카에서도 결핵 진단을 위한 새로운 방법 개발 연구를 진행하고 있음
 - 우리나라의 경우 결핵 발생률 1위인만큼 결핵균 조기진단의 중요성에도 불구하고 기존의 검사방법에서 민감도와 진단시간을 보완한 새로운 기술 개발에 관한 연구가 체계적으로 진행되고 있지 않음
 - 무엇보다도 결핵 치료제의 종류가 많지 않기 때문에 다제내성 결핵에 대한 새로운 치료제 개발이 절실한 시점임

3) 연구사업 추진 계획

(1) 추진 목표

(2) 추진전략 및 체계

(3) 추진내용

- 해양유래 항 결핵 치료제 후보군 발굴 및 기초연구 진행
- 연구실 규모의 고감도 광다이오드센서 기반 진단 기술 개발
 - 결핵균의 자가 형광 세기 및 개발 시스템의 민감도 측정
- 광 융합 기술을 이용한 항 결핵 치료제 효능 검증
 - 기존의 치료제와 효능 비교

(4) 기대성과 및 파급효과

○ 기대효과

- 항 결핵 치료효과가 있는 해양유래 물질의 결핵 치료제로서의 보급

- 기존의 표준 치료제의 약제에 대해 내성에 생긴 환자를 대상으로 치료 효과 기대 가능

- 결핵균의 조기 진단 및 치료계획 수립 가능

- 고감도 광다이오드센서를 통해 결핵균의 자가 형광을 진단함으로써 현 기술들의 장점을 최대화하고 단점을 최소화하여, 짧은 소요시간과 상대적으로 높은 민감도를 가지는 기술로 결핵균의 조기 진단에 큰 기여를 할 것으로 판단됨
- 도말검사의 한계인 민감도와 배양검사의 한계인 소요시간을 보완한 방법으로, 특별히 큰 장비가 필요 없이 곧바로 진단이 가능하다는 점에서 결핵 검출 프로브 개발 기술 확보 및 상용화가 기대됨
- 결핵 조기진단을 위한 진단체계 개선을 통한 추가 감염 조기에방 가능

- 항 결핵 치료제 개발 시 효능 검증을 위한 시스템 상용화

- 앞으로 진행되는 항 결핵 치료제 개발 연구에서 효능 검증에 고감도 광다이오드센서 기반 시스템을 사용 가능

○ 파급효과

- 광 융합 기술을 이용한 결핵 조기진단으로 결핵 발병률 감소

- 기존에 배양검사 및 도말검사에 쓰인 인력을 감소할 수 있고 진단까지

소요되는 시간을 단축함으로써 효율적인 진단 시스템 설립

- 국가차원의 결핵 조기진단 권고 및 결핵 발병률 감소 사업 진행
- 결핵 발병률이 상대적으로 낮은 해외의 경우, 미국을 비롯하여 전 세계적으로 결핵퇴치 사업을 진행할 때 기술이전으로 국제협력 주도

4) 총사업비(사업기간): 20억원('20 - '24)

□ 해양바이오 소재 생산을 통한 석탄화력의 미세먼지-온실가스-온배수 동시 저감기술

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진 배경

- 국내 연소 미세먼지 요인 30%이상 화력발전소의 기여하고 있어, 이로 인한 국민 건강피해를 진단 및 예방 노력 필요
 - 미세먼지 유발인자 : CO₂, NO_x, SO_x 및 비산 먼지
- 화력발전소는 미세먼지 유발 인자 뿐 아니라 온배수 배출이 년중 일정하게 배출 되기 때문에 연안 생태계에 영향을 주고 있어 이에 대한 대응이 필요함
- 석탄*석유화학산업 위기 및 선진국과의 기술격차 극복을 위해 태동기 해양바이오 고부가 소재산업에 대한 정부차원 선제적 지원육성 시급

(2) 연구의 필요성

○ 국내 연소 미세먼지 증가

- 화력발전소에서 폐가스 중 CO₂ 는 지구온난화의 영향의 30%를 차지하고 있으며, 질소화합물 (NO_x)과 황화합물 (SO_x)은 초 미세먼지 PM2.5 화합물 주범으로 국내 30% 원인임
- 정부의 화력발전소 증가 정책에 따라 향후 국내 초미세먼지 발생원 증가에 대한 저감 노력이 필요한 실정

○ 해양바이오매스의 연소미세먼지-온실가스 저감

- 해양바이오매스인 미세조류는 광합성을 통하여 CO₂를 고정하며 암모늄 대사과정을 통해서 NO_x를, cysteine과 methionie의 합성과정을 통해서 황을 고정함
- 미세조류는 건중량의 10배의 CO₂ 고정능력이 있는 것으로 보고되어 있어 지구온난화의 원인제거에 가장 적합한 생물자원으로 평가되고 있음

○ 연소미세먼지 저감대책

- 화력발전소의 CO₂ 저감과 함께 고부가 바이오 신소재 개발
- 원료로 활용이 가능한 미세조류 배양, 산업·환경적 효과를 함께 추구
- 당진, 태안, 보령, 서천화력발전소의 CO₂ 발생량 전국최대 : 국민건강 위협
- 화력발전소 CO₂ 및 온배수로 인한 국민 피해 보상 증가 : 저감 및 소통 필요

○ 해양바이오매스 유래 신소재산업

- 화장품, 의약, 식품 등 다양한 고부가 소재를 위한 바이오매스 생산기술을 통한 환경오염저감 및 산업소재 창출로 지속가능한 원천산업구축으로 지역경제 활성화
- 2020년 세계 5위 바이오화학 강국을 목표*달성을 위해 소재 산업분야 지원정책
- 해양바이오 매스의 IOT 기술을 이용한 신규 생산 기술 개발 및 연안 어장 환경 모니터링으로 국민과의 소통 개선

○ 화학제품생산 원유수입 대체

- 정부는 2020년 국내화학제품 생산의 원유수입 4.8 % 대체, 이산화탄소 배출 약 10.8% 감축, 고용창출 4.3 만 명 이상 가능할 것으로 기대

○ 국내 해양바이오 신소재산업 정책

- 해양바이오신소재산업은 향후 화학산업을 주도 할 미래 먹거리산업으로 고유가 지속, 환경규제 강화 등 석유화학산업 위기에 선제적으로 대응하기 위해 정부차원의 육성이 시급한 상황임

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

- 해양바이오 소재 생산을 통한 석탄화력의 미세먼지-온실가스-온배수 동시 저감기술
 - 화력발전소에서 발생하는 연소미세먼지 연돌을 통한 공급, 이송, 분산, 용해를 통해 해양바이오 매스에 적용 최적화하는 기술[미세먼지공급 및 수중용해-확산기술]
 - 연소가스 최적 공급장치기술과 수중 내 표면적 확산 장치개발기술로 온실가스 수중용해 및 흡수기술 최적화
 - 연소미세먼지 공급과 수조, 순환 등 저비용 대량배양 시설 구축 기술 [최적조건기술]
 - 연소미세먼지로 생산된 해양바이오 매스의 고부가 소재 개발 및 신소재 창출 기술
 - 순환수조시스템지원 온배수 취수배관 설치기법구축 및 현장적용기술개발 및 IoT 기반의 스마트 생산공정 자동화와 실시간 환경 모니터링 기술

(2) 연구사업의 현황

- 해양바이오 소재 생산을 통한 석탄화력의 미세먼지-온실가스-온배수 동시 저감 관련 기술 현황
 - 국내의 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 저감 대책은 아직 확립되지 않은 상태이며, 국내외 정치적인 이유로 논의 되고 있는 실정임

 - 노후차량 교체, 친환경차 보급, 노후 발전소 분산 및 조정 등의 실질적인 저감 기술은 본격적으로 개발되지 않고 있는 실정임[CCS사업진행-공간 제한성 문제예상]
 - 화력발전소에서 배출되는 CO₂ 및 온배수를 이용하여 해양바이오 매스의 생산기술을 향상 시키고, IOT 기술 도입으로 생산 자동화 및 환경 모니터링 등 신규 융합 기술이 필요 할 것으로 판단됨.
 - 수산분야에서 IOT를 양식장에 활용하여 실시간 관리가 가능하고 수온, pH 등 양식장 환경 조절이 가능하여 수질 환경 모니터링 및 수질관리에 이용하는 사례가 증가하고 있음
 - 스마트 양식의 다른 사례로는 SKT와 (주)비디가 진행 중인 스마트 장어 양식장이 있으며 수질 측정 센서를 통해 양식장 환경 데이터를 개방형 IOT 플랫폼으로 전송하고 데이터를 분석하여 관리자에게 분석 결과를 전송하는 방식으로 물 순환방식으로 인해 수조관리에 많은 인력이 소요되는 장어 양식장의 문제점을 해결함
 - 국내 모 기업서는 불법침입과 어류 도난을 방지하기 위해 미확인 선박이 접근할 경우 실시간으로 경찰에 통보가 가능하고 수중 초음파 센서

- 를 통해 불법 잠수부의 접근 차단이 가능한 스마트 양식장 감시시스템을 개발하였으며 IT업체인 글로벌비트에서는 육상 수조식 양식장 관리에 특화된 모바일 앱을 개발하여 넙치양식장의 모든 업무를 전산화하였음
- IOT의 양식장 적용 외에도 선박 분야에서 SKT, 대우해양조선 등이 통신 네트워크 기반의 운항시스템을 적용하여 선박을 자동화하고 운항 정보를 원격으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 개발하였음
- 해양바이오매스 신소재산업은 기존 화학산업 중심에서 바이오 고부가 바이오소재산업으로 전환되고 있으며 다양한 소재생물과 신시장도 급속하게 확대되어가고 있음
- 다국적 화학기업들은 정부 주도 하에 바이오화학에서 바이오소재사업전환을 적극추진 중에 있어, 관련 시장 선점 및 독점이 우려되며 특히 바이오의약소재 개발에 중점을 두고있음
- * 최근 Dow, BASF, Dupont 등 세계 주요 화학기업들은 바이오화학
 - 제품 대량 생산 체제 마련
 - 최근 중국도 적극적 시장진출을 추진, 국내기업 신속한 대응 필요
 - * 중국은 PLA 자체생산을 위해 Hisun社등을 설립('04년)하는 등 공격적 행보를 가속
 - 미국 UCLA의 CENS(Center for Embedded Networked Sensors)에서는 IOT기술을 활용하여 실시간으로 화학적, 물리적, 생태학적인 파라미터를 모니터링하고 특히 수중 미생물의 분포를 모니터링하는 AQU(Aquatic Microbial Observing System) 프로젝트를 수행하였음
 - 전세계적으로 수생바이오매스 이용한 신소재 사업에 집중 하고 있는 추세이나 국내는 수생바이오매스 생산의 비경제성으로 생산효율 극대화 노력이 부족하여 관련 파급 산업도 규모가 작은 편임
 - 사물인터넷(IOT)은 인터넷 기반으로 사물의 데이터를 실시간으로 주고받는 기술로 2014년에 정부에서 사물인터넷 기본전략을 수립하는 등 IOT 육성을 위해 노력하고 있으며 스마트양식, 스마트선박, 항만 등 해양수산 분야에서도 IOT를 접목한 사례가 증가하는 추세임

3) 연구사업 추진 계획

(1) 추진 목표

(2) 추진전략 및 체계

(3) 추진내용

○ 연소 미세먼지 저감기술 개발

- 연소미세먼지를 이용한 해양바이오매스의 종 선정, 대량 배양, 미세먼지 조건 등의 정보를 추출하여 최적화하는 기술

○ 연소 미세먼지 이용 해양바이오매스 대량배양 기술

- 석탄 화력발전소 연소미세먼지로 경제적인 해양바이오매스 대량배양 시설 구축하는 기술

○ 생산된 해양바이오 매스 이용 고부가 소재 개발 기술

- 연소미세먼지로 생산된 해양바이오 매스의 고부가 소재 개발 및 신소재 창출 기술

○ IoT 기반의 스마트 생산공정 및 환경 모니터링 기술

- IoT 기반의 스마트 생산공정 자동화와 실시간 환경 모니터링 기술

(4) 기대성과 및 파급효과

○ 기대효과

- 화력발전소에서 배출 되는 미세먼지 유발인자 차단 효과

- 배출되는 연소가는 CO₂, NO_x, SO_x 및 비산먼지로 바이오매스 대량 배양을 통해 직접적인 감소 효과
- 화력발전소 주위의 해양 바이오매스 대량 배양을 통해 배출되는 연소 가스 저감으로 이미지 제고

- 화력발전소에서 배출되는 온배수 이용으로 연안 생태계 보호 및 해양바이오 매스 안정적 생산

- 비교적 일정한 온도로 배출되는 온배수를 이용하기 때문에 대량배양의

경제적 효율성이 증대

- 온배수 순환을 통한 해양바이오 매스의 대량 생산은 온도 교환을 통해 고온의 배출수가 안정적으로 상온으로 변하기 때문에 연안 생태계를 보호할 수 있음

- IoT 기술 적용으로 실시간 신뢰성 정보 확보

- 최근 개발된 스마트 기술은 해양바이오 매스 대량 배양에 자동화 기술을 제공함으로써 신뢰성을 확보 할 수 있음

- 대량생산된 해양바이오 매스를 이용하여 고부가 유용물질 추출하여 부가가치를 창출 할 수 있음

○ 파급효과

- 국내의 경우에는 화력발전소 증가에 따른 기술 수요 증가가 예상됨

- 화력발전소를 이용한 해양바이오 매스로 에너지 사업의 일환으로 바이오 에너지를 생산 할 수 있음
- 각종 IoT 기술 접목 뿐 아니라 화력발전소의 해양바이오 매스 기술개발에 따라 시설 및 유지관련제품 개발에 파급 될 것으로 판단됨.
- 수산자원의 고부가화를 위한 IOT 융합 전문인력 양성

4) 총사업비(사업기간): 60억원('20 - '24)

5.4. 대기·해양·육지 지구시스템 통합 연구

5.4.1. 현황 및 이슈

- 최근 미세먼지로 인하여 국민의 건강이 위협받고, 경제, 사회적 활동에 막대한 지장을 초래
 - 미세먼지가 육상에서 벌어지는 경제활동에 어떤 영향을 주는 지에 대한 연구는 이루어지고 있음
 - 최근 우리나라는 미세먼지를 자연재해로 지정하여 국가차원에서 관리하기로 함
- 미세먼지의 수생태계에 미치는 영향에 대한 연구 필요성 대두
 - 대기 중의 고밀도 미세먼지는 해양생태계와 강, 하천, 호수 등 담수생태계에 직접 들어감. 담수에 유입된 미세먼지는 다시 해양생태계로 들어감
 - 해양생태계와 담수생태계 (이하 수생태계)로 유입된 미세먼지는 물에 녹아 질산염, 황산염, 암모니아, 미량금속 농도를 증가시킴
 - 이들 농도의 증가는 수생태계의 근간인 식물플랑크톤이나 해조류의 양을 증가시키거나 감소시킬 수 있음. 이로 인하여 적조, 녹조 발생이 증가되거나 감소될 수 있고, 김, 미역, 다시마 등 양식산 해조류 생산에 영향을 줄 것으로 예상
 - 또한 미세먼지는 햇빛을 가려 광합성을 하는 식물플랑크톤이나 해조류 생산에 큰 영향을 줄 수 있음
 - 아울러 미세먼지는 수생동물 (동물플랑크톤, 어류, 패류 등)의 생산에도 직간접으로 영향을 줄 것으로 판단됨

5.4.2. 선도 추진과제

□ NGS 분석을 이용한 미세먼지가 통합 수생태계에 미치는 영향 연구 기술 개발

1) 추진배경 및 필요성

(1) 추진 배경

- 미세먼지에 의해 인체 및 생태계 영향의 심각한 증가
 - 미세먼지는 대기 중 장기간을 떠다니는 입경 10um (PM10) 이하의 작은 먼지를 말함. 입자가 2.5um (PM2.5) 이하인 경우는 특히 초미세먼지라고 하며 크기가 작아서 몸 밖으로 배출이 어려워 미세먼지에 비해 대기 중에 체류시간이 길고 폐포에 침투가 가장 용이한 것으로 알려짐
 - 최근 들어 미세먼지에 의해 호흡기 질환 등 인간의 건강에 주는 영향에 대해 많은 관심과 연구가 진행이 되고 있음
 - 또한, 폐렴, 폐암 발생 및 폐기능을 저하, 만성호흡기질환자의 증상을 악화시키는 동시에 혈관 등에 자극을 주어 심근경색, 허혈성심질환, 부정맥, 뇌졸중 등의 심뇌혈관질환자의 증상을 악화시킴 (그림 37)

그림 37. 미세먼지의 위험성 및 전국의 미세먼지 오염 현황

- 질병관리본부 호흡기질환 연구보고서에 따르면 (2014), 미세먼지 (PM2.5) 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 폐암 발생률이 9% 증가, 미세먼지에 장기간 노출 시, 평균 PM2.5 농도 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 사망률이 약 10% 증가함, 이들 중 심혈관질환 연관 사망률은 3~76% 까지 증가하며, 뇌혈관질환 사망률이 10% 증가되고, 뇌질환 사망 발생 위험도가 80% 증가되며, 뇌졸중 또한 20% 이상 증가시킨다는 보고가 있음
- 미세먼지는 일반 먼지와는 달리 아황산가스 나 질소 산화물 그리고 납 등을 포함하고 있어서 인체에 해를 주는 것에 그치지 않고 환경오염의 원인이 되기도 함
- 최근 우리나라는 이러한 미세먼지의 위해성을 인식하고 미세먼지를 자연재해로 지정하여 국가차원에서 관리하기로 함

(2) 연구의 필요성

○ 미세먼지에 의한 생태계 영향 연구의 필요성

- 미세먼지는 인체 뿐 아니라 생태계에 심각한 영향을 주고 있음에도 그에 대한 관심과 연구는 아직 미흡한 실정임
- 특히, 해양생태계나 담수생태계를 포함한 통합 수생태계에 대한 미세먼지의 영향에 대해서는 아직 연구가 진행이 되고 있지 않음
- 미세먼지는 수생태계의 무영양화, 산소결핍, 산성화 등을 야기하므로 미세먼지에 큰 영향을 받는 미소생물군의 연구가 필수적임
- 대기 중의 미세먼지는 일차적으로는 생물체에 직접적인 영향을 주지만, 단순히 생물체에만 영향을 주는데 그치지 않고 생태계에도 유입이 됨
- 특히, 비 등으로 토양이나 강, 하천, 호수 등 육지 담수생태계에 녹아 들어가게 되고, 담수에 유입된 미세먼지는 다시 해양생태계로 들어가는 미세먼지의 오염 순환이 이루어짐 (그림 38)

그림 38. 미세먼지의 위험성 및 충남 지역의 미세먼지 오염 현황

- 해양생태계와 담수생태계 (이하 수생태계)로 유입된 미세먼지는 물에 녹아 질산염, 황산염, 암모니아, 미량금속 농도를 증가시키고 증가된 중금속 오염물질은 담수 및 해양생태계에서 일차생산역할을 담당하고 있는 동식물플랑크톤이나 해조류의 양을 증가시키거나 감소시킬 수 있음
 - 이로 인하여 해양생태계가 교란이 되고 전체 해양생태계로 순차적 영향을 끼치게 됨
 - 또한 해양생태계에 녹아든 미세먼지는 수생동물들의 체내에 직접 유입되어 어패류의 오염을 증가할 것으로 판단됨
- 차세대염기서열분석방법 (next generation sequencing)에 의한 생태계 영향 연구의 필요성
- 수생태계에 대한 미세먼지의 영향을 효율적으로 연구하기 위해서는 장기간에 걸쳐 해양과 담수의 미소생물군 (microscopic organisms)의 모니터링을 할 수 있는 기술을 개발할 필요가 있음
 - 차세대염기서열분석 기법은 Next Generation Sequencing (NGS)라고 하며 다량의 염기서열을 분석할 수 있는 최신 기법을 말함. 최근 들어 NGS 기법은 미생물군집 (microbiome) 연구 등 활발하게 이용되고 있음
 - 기존의 수생태계의 미소생물의 군집 연구의 경우 현미경을 이용한 형태에 의존하게 되어 시간이나 인력에 어려움이 있었으나 NGS를 이용하

면 단시간에 다량의 수생태계 미소생물의 군집 모니터링이 가능해짐

2) 연구사업의 특징 및 현황

(1) 연구사업의 특징

○ 미세먼지에 의한 해양생태계 연구의 특징

- 미세먼지의 영향을 인체에 미치는 영향에 국한되어 건강관리에 주안점을 두는 기존의 연구와는 달리 미세먼지가 환경에 끼치는 영향을 조사함
- 미세먼지에 의한 환경오염은 장기간을 두고 발생하며 인간을 포함한 생태계의 모든 구성 동.식물을 포함해서 미생물까지 폭넓게 영향을 줌
- 지금까지는 조사되지 않았던 오염까지 확대하여 미세먼지에 의한 심각성이 생각보다도 더욱 해롭고 방대하게 영향을 주고 있다는 점을 인지함

(2) 연구사업의 현황

○ 미세먼지에 의한 해양생태계 연구 현황

- 중국은 미세먼지 발생 주요 국가로서 미세먼지에 대한 심각성을 인지하고 수년전부터 미세먼지가 해양생태계에 끼치는 영향에 대해서 연구를 진행해 왔음. 일례로, 남지나해에서 미세먼지가 발생한 후 식물플랑크톤 양이 증가됨을 밝힌 적이 있음
- 일본에서도 미세먼지에 의한 해양생태계에 대한 연구를 진행하고 있음.
- 우리나라의 경우 미세먼지 주요 발생국인 중국에 인접하고 있어서 직접적으로 중국의 영향을 받고, 특히 내륙에는 강과 호수가 많기 때문에 미세먼지가 수생태계에 끼치는 미세먼지의 영향이 클 것으로 예상됨
- 이러한 미세먼지가 수생태계에 주는 영향의 중요성에도 불구하고 아직까지 국내에서는 미세먼지가 수생태계에 끼치는 영향 연구가 체계적으로 진행된바가 없음
- 무엇보다도 미세먼지의 기원 등에 대하여 한중일간의 책임소재 문제가 발생할 수 있어 미세먼지 변화에 따른 수생태계 오염 등 국내 연구 및 데이터 확보가 절실한 시점임

3) 연구사업 추진 계획

(1) 추진 목표

(2) 추진전략 및 체계

(3) 추진내용

- 미세먼지 모니터링 및 토양, 담수, 해수 오염 연구
- 해양생태계 중 미소생물의 군집 연구
 - 계절별 해양생태계 미소생물군집 메타지놈 NGS 조사
- 담수생태계 중 미소생물의 군집 연구
 - 계절별 담수생태계 미소생물군집 메타지놈 NGS 조사
- 수생태계 미소생물의 군집 DB 구축
- 미세먼지에 따른 수생태계 미소생물의 군집 변화를 NGS 조사
 - 미세먼지 증가 후 해양생태계 환경 조사
 - 미세먼지 증가 후 해양생태계 미소생물군집 메타지놈 NGS 조사

(4) 기대성과 및 파급효과

○ 기대효과

- 미세먼지로 야기되는 환경오염에 대한 국가, 산업, 사회적 수요 충족
 - 미세먼지로 인한 환경 악영향의 조기 대응으로 환경오염 최소화
 - 미세먼지의 환경 영향에 대한 데이터 확보로 국가 차원의 선제적 대응 가능

- 미세먼지 유발 환경오염 규명에 대한 국가 연구 경쟁력 확보
 - 환경오염의 요인이 되는 미세먼지의 기원 등에 대한 한중일간의 책임 소재 문제 발생 시 우리나라 미세먼지 유발 환경오염 규명이 가능한 우수한 연구력과 전문 인력 확보
 - 우리나라의 대기, 토양, 담수 등의 환경적인 요인과 개인 건강과 같은 질병 발생을 통합적으로 연구하여 환경의 중요성을 과학적으로 연구

- 미세먼지로 유발되는 환경오염들을 분석하는 원천기술 확보
 - 미세먼지의 환경오염 규명을 위한 분석시스템 원천기술 개발 상용화
 - 미세먼지 유발 환경오염 분석 관련 기업들의 수익 창출

- 미세먼지의 환경오염 대응 및 조기 경고 시스템 개발로 대국민 서비스 제공
 - 미세먼지에 의한 환경오염에 신속하고 효과적인 대책으로 보건 환경 분야 대국민 신뢰 확보
 - 미세먼지 관련 환경오염 정책 자료 마련 및 대응 메뉴얼 개발

- 미세먼지 및 환경 산업 및 공공의 이익 창출
 - 미세먼지 유발 환경오염 관련 환경산업 발전에 기여
 - 국가차원의 미세먼지 대응능력 향상 기여

○ 과급효과

- 미세먼지 유래 환경오염 관리 플랫폼 및 분석 기술의 아시아 기술이전 및 수출

- 미세먼지로 인한 환경오염을 조기 분석할 수 있는 시스템 개발 및 수출로 기업매출 증가
- 주요 미세먼지 발생국인 중국, 인도, 태국, 베트남 등에 기술이전으로 국제협력 주도

4) 총사업비(사업기간): 25억원('20 - '24)

5.5 기대 성과

- 해양 분야 기초원천 기술 확보를 통한 해양신산업 창출 기반 마련 및 미래 환경예측 원천기술 확보
- 다양한 ICT IoT 기술 융합을 통한 스마트 생산 공정 자동화 및 환경 모니터링으로 국민 소통 및 건강 안전보장
- 지속적인 미세먼지 문제로 국민의 삶의 질 악화에 따라 체계적이고 다양한 미세먼지 대응 신체질환 예방/개선 기술개발
 - 해양생물 유래 유용생물자원의 발굴 및 신소재·신의학 환경보전을 위한 기초·원천기술 확보
- 해양 과학기술 기반 지구시스템의 통합적 이해
 - 미세먼지 영향 규명에 대한 국가, 산업, 사회적 수요 충족, 미세먼지의 수생태계 영향 대응 및 조기에보시스템 개발로 대국민 서비스 제공
 - 대기과 해양을 통합이해 및 관리를 위한 기초·원천기술 확보
- 감소하는 어업현장의 인구와 고령화를 보완할 ICT기반의 생물관리 시스템 구축
- 유해물질로 인하여 해양 생태계의 악영향 최소화 및 수산물 생산 감소 최소화
- 유해물질에 대한 인접국간의 책임소재 문제 발생 시 우리나라 재난재해물질 영향 규명에 있어서 우수한 연구력 확보.
- 유해 물질의 수생태계 영향 모니터링 시스템 구축을 위한 원천기술 확보 및 규명을 위한 단계별 모니터링 시스템 구축을 위한 원천기술 개발 및 수출
- 유해물질에 대한 국가 연구 및 대응 능력 제고에 기여

【붙임 1】 2018년 해양수산분야 R&D 현황

- '18년도 해양수산부 소관 R&D 예산(총 6,145억원) 현황
- 총 37개(해양수산부 22, 연구기관 지원 15) 사업, 6,145억원 규모

- '18년도 해양수산부 소관 R&D 세부 현황(연구기관 지원 제외)

6. 연구비 사용실적 및 명세

[별지 제6호 서식]

연구비 사용실적 보고서

과제현황

과제명	미래해양 기초원천 R&D 발전전략 기획연구		
연구기관(책임자)	박원규	연구비	30,000천원

연구비 집행내역

(단위: 원)

비목	구분	예 산(A)			사용금액 (B)	잔 액 (A-B)	증감사유
		연구비	연구기간중 발생이자	계			
직 접 비		27,521,000	7,500	27,528,500			
·인건비		2,462,400	0	2,462,400	2,462,400	0	
·학생인건비		11,977,600	0	11,977,600	11,977,600	0	
연구장비재료비		0	0	0	0	0	
연구활동비		7,727,000	0	7,727,000	7,727,000	0	
연구과제추진비		1,706,000	7,500	1,713,500	1,713,500	0	
연구수당		3,648,000	0	3,648,000	3,648,000	0	
위탁연구개발비		0	0	0	0	0	
간접비		2,479,000	0	2,479,000	2,479,000	0	
합 계		30,000,000	7,500	30,007,500	30,007,500	30,007,500	

연구비 정산내역

1. 집행잔액 반납내역

(단위: 원)

집행잔액		발생이자		반납금액(A+B)	반납일자
사용잔액		기간중			
정산잔액		기간후			
소 계		소 계			

정부지분액(A)		정부지분액(B)			
----------	--	----------	--	--	--

2. 비목별 정산내역

(단위: 원)

비 목	부적정 집행금액	정부지분	비고
직 접 비			
·인건비 ·학생인건비 ·연구장바재료비 ·연구활동비 ·연구과제추진비 ·연구수당 ·위탁연구개발비			
간접비			
합 계			

종합의견

본 과제의 연구개발비는 규정에 의거하여 적정하게 집행된 것으로 사료됨.

2019년 6월



주관연구기관장 : 부경대학교 산학협력단장 [직인]

회계감사부서장 : 부경대학교 산학협력단 연구감사부장 [직인]



과학기술정보통신부장관 귀 하

연구비 사용명세서

1. 직접비

1) 인건비

집행일	지급처	집행액			사용목적	사용구분
		공급가액	부가세	합계		
19.01.22	박상혁	410,400	0	410,400	한국해양과학기술진흥원 (참여율 23.5%)	계좌이체
19.02.21	박상혁	410,400	0	410,400	한국해양과학기술진흥원 (참여율 23.5%)	계좌이체
19.03.22	박상혁	410,400	0	410,400	한국해양과학기술진흥원 (참여율 23.5%)	계좌이체
19.04.23	박상혁	410,400	0	410,400	한국해양과학기술진흥원 (참여율 23.5%)	계좌이체
19.05.22	박상혁	410,400	0	410,400	한국해양과학기술진흥원 (참여율 23.5%)	계좌이체
19.06.20	박상혁	410,400	0	410,400	한국해양과학기술진흥원 (참여율 23.5%)	계좌이체
소계		2,462,400	0	2,462,400		

2) 학생인건비

집행일	지급처	집행액			사용목적	사용구분
		공급가액	부가세	합계		
19.01.27	부경대산학협력단	11,977,600	0	11,977,600	학생풀링인건비	계좌이체
소계						

3) 연구장비·재료비

집행일	지급처	집행액			사용목적	사용구분
		공급가액	부가세	합계		
소계						

4) 연구활동비

집행일	지급처	집행액			사용목적	사용구분
		공급가액	부가세	합계		
18.12.26	부경대산학협력단	2,727,273	0	2,727,273	부가세예수금	계좌이체
19.03.02	고속철도(KTX) 서울-부산	83,700	0	83,700	연구활동비 수수료	카드
19.03.02	고속철도(KTX) 서울-부산	-83,700	0	-83,700	연구활동비 수수료	카드
19.03.06	고속철도(KTX) 서울-오송	24,000	0	24,000	연구활동비 수수료	카드
19.03.06	고속철도(KTX) 서울-오송	-24,000	0	-24,000	연구활동비 수수료	카드
19.05.22	김경호	499,719	0	499,719	전문가활용비	계좌이체
19.05.22	류성호	499,629	0	499,629	전문가활용비	계좌이체
19.05.22	정원교	501,402	0	501,402	전문가활용비	계좌이체
19.05.22	신현웅	499,629	0	499,629	전문가활용비	계좌이체
19.05.22	한대준	1,000,000	0	1,000,000	전문가활용비	계좌이체
19.05.22	오석진	499,719	0	499,719	전문가활용비	계좌이체
19.05.22	안예찬	499,629	0	499,629	전문가활용비	계좌이체
19.05.24	정상목	400,000	0	400,000	전문가활용비	계좌이체
19.05.29	최정화	300,000	0	300,000	전문가활용비	계좌이체
19.06.13	이경훈	300,000	0	300,000	전문가활용비	계좌이체
소계		7,727,000	0	7,727,000		

5) 연구과제추진비

집행일	지급처	집행액			사용목적	비고
		공급가액	부가세	합계		
19.03.0	고속철도(KTX)	83,700	0	83,700	국내 출장여비	카드

2	부산-서울					
19.03.1 1	박원규	212,400		212,400	국내 출장여비	계좌이체
19.03.1 1	박원규	158,200		158,200	국내 출장여비	계좌이체
19.04.0 3	박원규	128,700		128,700	국내 출장여비	계좌이체
19.01.3 1	금강반점	16,364	1,636	18,000	회의비	카드
19.02.1 3	금강반점	15,000	1,500	16,500	회의비	카드
19.03.1 3	무궁화식당	94,546	9,454	104,000	회의비	카드
19.03.2 2	금강반점	33,182	3,318	36,500	회의비	카드
19.04.0 9	금강반점	31,364	3,136	34,500	회의비	카드
19.04.2 9	금강반점	19,546	1,954	21,500	회의비	카드
19.05.2 2	주구장찬 석쇠불판	20,909	2,091	23,000	회의비	카드
19.05.2 7	금강반점	43,182	4,318	47,500	회의비	카드
19.06.0 7	가원밥상	90,910	9,090	100,000	회의비	카드
19.06.1 0	양쿠첸	159,091	15,909	175,000	회의비	카드
19.06.1 8	이예지	158,200	0	158,200	회의비	계좌이체
19.06.0 5	오피스디 포	448,206	44,821	493,027	사무용품비	카드
소계		1,713,500	97,227	1,810,727		

6) 연구수당

집행일	지급처	집행액			사용목적	사용구분
		공급가액	부가세	합계		
19.05.2 3	박원규	3,348,000	0	3,348,000	보상금	계좌이체
19.05.2 3	이예지	100,000	0	100,000	보상금	계좌이체
19.05.2 3	이소정	100,000	0	100,000	보상금	계좌이체
19.05.2 3	백승찬	100,000	0	100,000	보상금	계좌이체

소계		3,648,000	0	3,648,000		
----	--	-----------	---	-----------	--	--

7) 위탁연구개발비

집행일	지급처	집행액			사용목적	사용구분
		공급가액	부가세	합계		
소계						

2. 간접비

집행일	지급처	집행액			사용목적	사용구분
		공급가액	부가세	합계		
18.12.26	본부 (연구)	1,735,300	0	1,735,300	간접비일반	계좌이체
	본부 (연구)	371,850	0	371,850	간접비일반	계좌이체
	수산과학 대학	148,740	0	148,740	간접비일반	계좌이체
	극지자원 연구소	223,110	0	223,110	간접비일반	계좌이체
소계		2,479,000	0	2,479,000		

[별지 제6-1호서식]

외부인건비 사용실적확인서
(대학 등의 외부인건비 정산 시 사용)

- 과 제 명 : 미래해양 기초원천 R&D 발전전략 기획연구
- 주관연구기관 : 부경대학교 산학협력단 (원)
- 주관연구책임자 : 박원규
- 연 구 기 간 : 2018. 12. 26. - 2019. 11. 22.



1. 외부인건비 집행 실적

(단위 : 원)

과정	당초계획		사용실적	사용잔액
	금 액	투입량 (man-month)		
석사과정	1,641,600	0.91	1,231,200	0
학사과정	820,800	0.82	820,800	0
계		—	2,462,400	0

2. 집행 내역

(단위 : 원)

과 정	성 명	소 속	전 공	참여율(man-month)	지급액(원)
석사과정	박상혁	순천향대학교	해양생물	0.91	1,641,600
	계			0.91	
학사과정	박상혁	순천향대학교	해양생물	0.82	820,800
	계			0.82	
총 계		—	—	—	2,462,400