

해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립에 관한
연구

연구기관 : 인하대학교

2018. 2. 23.

과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 미래창조과학부의 공식견해가
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 “ 해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립에 관한 연구 ”
의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 2. 23.

요 약 문

I. 제 목

해양분야 기초원천 기술 확보를 위한 연구개발과 투자전략 수립

II. 연구의 목적

- 해양기초원천기술개발사업에 대한 신기술 개발분야를 발굴하고 해양분야 연구개발 역량 강화를 위한 **기초원천 역할 수립과 전략적 투자 기반 확보**
- 과학기술 발전이 가속화되고 기술주기가 짧아져 **해양분야 유망기초 원천기술 로드맵의 재수립 필요** 제기

III. 연구필요성

- 『해양산업』은 해양을 이용, 개발 또는 보전, 보호하는 모든 (생산적) 활동을 총칭하며, 국내외 기술동향 및 환경, 국가정책분석을 바탕으로 미래시장 대비를 위한 새로운 패러다임으로 과급효과가 큰 『해양생명』, 『해양신소재개발』, 『해양신의약발굴』, 『해양생태환경제어』 분야의 유망기초원천기술개발 발굴 및 전략제시
- 최근의 수요를 반영하는 연구개발 포트폴리오 수립
- ‘제3차 과학기술기본계획’에서 제시한 국가전략기술(120개) 확보를 위한 구체적 이행방안 제시 필요. ‘제3차 과학기술기본계획’에 따라 국가전략기술(120개) 중 해양바이오분야에 해당되는 기술분야에서 공백기술에 대한 투자전략 구축필요

IV. 연구의 내용 및 범위

- 국내외 해양분야 시장 정책 연구동향 분석
- 신규 해양분야 기초 원천기술 도출 및
- 도출분야 추진체계 및 추진전략 수립
- 원천기술 개발 로드맵 수립

V 연구결과

- 우리나라 해양분야 R&D 사업은 물류 수송, 항만 등의 해양 분야의 1차시설 분야의 발전이 일차적으로 이루어 졌다. 그 이후 선박 제조의 세계 최강국으로 등극하였으나 최근 수요 절감으로 물류 수송과 함께 선박 제조 등의 분야는 그 발전이 하향세이다. 즉, 물류수송과 항만 선박제조가 우리경제에 영향을 주는 효과는 이제 거의 기대 할 수 없는 수준에 왔다
- 이제 위의 시대를 지나, 해양생물의 자원화를 통해 신 의약 신소재를 개발하여 우리 경제에 기여하는 신사업을 창출해야 하는 시기가 도래 하였다. 그 신사업을 창출하기 위한 목표 분야로 해양 신소재, 해양 신의약 활성물질 개발을 목표로 하고 그를 달성하기 위한 해양생명 원천기술 개발을 적극 추진하고, 해양 환경이 지구 온난화나 방사성 물질 등 오염원의 범람으로 인한 해양의 환경을 보전하기 위한 해양 생태 환경 분야에 대한 기술 개발이 필요하여 이 요소 기술 분야의 개발을 적극 추진해야한다

VI 연구결과의 활용계획

- 해양생명 분야의 원천기술을 개발 하여 해양 생물유래 신소재 및 신의약 소재 개발에 요소 기술로 삼는다. 이 요소 기술들은 다양한 고부가 가치 물질을 해양으로부터 얻어 내는 기술로서 활용된다
- 즉, 심해, 수압, 염분, 일사량 등에서 육상 생물과 차별화되는 생물 특성을 연구하여, 육상 자원과 합성 물질의 자원이 고갈되는 이 시대에서, 해양은 최후로 남겨진 신물질 발굴의 보고이다. 해양생명 원천기술은 그러한 해양 유래 고부가 가치의 후보 생물을 개발하는 요소 기술로서 활용 될 것이다
- 해양신소재 개발 분야는 심해 생물의 특성, 과도한 일사량을 버텨내는 생물의 생명력, 해저의 다양한 환경에 적응하는 생물의 특성을 연구하여 다양해지는 생활환경의 신소재 및 자연환경 보전을 위한 자원으로 건축 생활 가전 등에 신소재를 공급하게 될 것이다
- 해양신의약에서는 해양환경에 적응하는 생물 생리 등의 연구를 통해 인체의 혈압이나 혈액관련 질병 등에 신의약 분야를 소개 해 줄 수 있는 유망기술 개발 분야이다
- 해양생태환경제어 분야는 각종 오염원으로 위협 받는 생물자원을 보호하는 기술 개발을 통해 고갈되고 오염되어 가는 육상 생물의 교혼을 깨닫고 해양 환경 보호를 통해 식량자원 확보와 수중 환경보호

기술개발을 통해 지구의 70%에 해당하는 해양환경을 보호하는
기술로서 개발 활용될 것이다

목 차

요약문	3
1. 연구의 필요성	8
1.1 연구개요	9
1.2 해양분야 연구개발의 중요성	9
1.2.1. 기획연구의 배경 및 필요성	9
1.2.2. 해양 분야의 중요성	12
1.2.3. 수권(해양) 세부분야의 분류 및 정의	17
1.3. 국외 해양분야 기술개발 동향 및 전망	19
1.3.1. 미국 해양분야 기술개발 동향	19
1.3.2. 중국 해양분야 기술개발 동향	20
1.3.3. 일본 해양분야 기술개발 동향	22
1.3.4. 유럽 해양분야 기술개발 동향	25
1.4. 국내 해양분야 기술개발 동향 및 전망	27
1.4.1. 과학기술정보통신부 해양 R&D 사업 현황	27
1.4.2. 해양수산부 해양 R&D 사업 현황	32
1.4.3. 과학기술정보통신부/해양수산부 해양·극지 R&D 사업 비교	34
1.5. 국내 해양수산 R&D 중장기계획('14~'20)	36
1.6. 국내 해양연구 관련 SWOT 분석	39
1.6.1. SWOT 분석의 시사점	40
2. 기획연구의 목표 및 내용	42
2.1. 기획연구의 목표 및 내용	42
2.1.1. 기획연구의 목표	42
2.1.2. 기획연구의 내용	43
2.2. 기획연구의 범위 및 추진전략	44

2.2.1. 기획연구의 범위	44
2.2.2. 기획연구의 추진전략	45
2.2.3. 기획연구의 추진체계	45
2.2.4. 기획연구 경과	46
3. 연구의 내용 및 범위	47
3.1. 해양분야 기초원천 연구개발	47
3.1.1. 신규 해양분야 유망기초원천기술 도출	47
3.1.1.1. 논문 분석	47
3.1.1.2. 특허 분석	58
3.1.1.3. 도출과제구성	105
3.1.2. 도출과제 관련 국내외 시장 및 정책 분석	141
3.1.2.1. 해양생명기초연구분야	141
3.1.2.2. 해양유래 소재	158
3.1.2.3. 의약원천기술분야	168
3.1.2.4. 해양생태환경제어 기초원천기술분야	177
3.1.3. 도출과제 세부추진계획	186
3.1.3.1. 해양생명기초연구분야	186
3.1.3.2. 해양유래 소재	190
3.1.3.3. 의약원천기술분야	195
3.1.3.4. 해양생태환경제어 기초원천기술분야	198
4. 연구개발 추진계획 및 투자전략 수립 로드맵	204
4.1. 연구개발 추진계획	204
4.1.1. 해양생명 기초연구분야	205
4.1.2. 해양유래 소재 연구분야	206
4.1.3. 의약원천기술분야	207
4.1.4. 해양생태환경제어 기초원천기술분야	208
4.2. 투자전략 수립 로드맵 및 예산확보 전략	209

4.2.1. 투자전략 수립 로드맵	209
4.2.2. 예산확보 전략	210
4.2.3 해양 분야 기초원천 연구개발 분야의 예산확보 타당성	213
4.2.4. 연구비 투자 전략	217
5. 기대성과 및 활용방안	219
5.1. 기대성과	219
5.1.1. 기술적 기대효과	219
5.1.2. 경제 · 산업적 파급효과	219
5.2. 활용방안	219

1. 연구의 필요성

1.1 연구개요

- 해양기초원천기술개발사업에 대한 신기술 개발분야를 발굴하고 해양분야 연구개발 역량 강화를 위한 기초원천 역할 수립과 전략적 투자 기반 확보 필요
- 과학기술 발전이 가속화되고 기술주기가 짧아져 해양분야 유망기초원천기술 로드맵의 재수립 필요 제기
- 『해양산업』은 해양을 이용, 개발 또는 보전, 보호하는 모든 (생산적) 활동을 총칭하며, 국내외 기술동향 및 환경, 국가정책분석을 바탕으로 미래시장 대비를 위한 새로운 패러다임으로 파급효과가 큰 『해양생명』, 『해양신소재개발』, 『해양신의약발굴』, 『해양생태환경제어』, 『해양재해 및 에너지』 분야의 유망기초원천기술개발 발굴 및 전략제시 필요
- 수립된 국가 상위계획 추진체계의 전략적 연계성 강화 및 연구과제간 중복성이 근본적으로 해소된 해양관련 기초원천기술분야를 우선 고려하고 최근의 수요를 반영하는 연구개발 포트폴리오 수립

- **해양세부분야에 대한 정의:** 지구 표면에서 소금물로 채워진 부분으로, 대양과 연결된 넓은 해역을 의미하며, 다양한 기초과학을 기반으로 하는 연구분야로 크게 공간, 해수, 생태계, 위협요소로 분류

- 공간: 해역과 해면으로 나뉘며, 해역은 바다의 일정부분을 지칭하며 해면은 바닷물의 표면 나타냄
- 해수: 표층수는 해면 가까이에 있는 바닷물로 풍랑, 강수, 민물의 유입 등에 영향을 받으며, 심층수는 위치적 특징으로 무균상태가 유지되어 주목받고 있는 해양자원임
- 생태계: 해양생물종의 관리와 보존이 필요하며, 오믹스 연구를 기반으로 한 해양생명자원의 효율적인 이용을 포함
- 위협요소: 해양환경을 위협하는 요소로 인공구조물, 폐기물 등이 있으며, 해양재해 또한 위협요소에 포함

- **해양생명 기초연구분야:** 해양생명체의 기능과 정보를 발굴 및 활용하여 인간의 건강증진 (질병의 예방/개선/치료)과 편리한 생활 (다양한 물질 및 소재)을 위한 물질개발의 근간이 되는 원천기술로 생물공학기술을 바탕으로 생물체의 기능과 정보를 활용하여 인간생활에 유익한 생명체 및 물질

- 을 생산에 대한 생명현상의 기작 연구
- **해양신소재 원천기술 개발분야:** 다양한 수산물 가공, 해양생물의 고부가가치 유용신소재, 신물질 및 신의약 등을 개발하여 실용화하는 분야
 - **해양 신의약 발굴 분야:** 생물체내의 유전자, 단백질, 세포 등의 구조, 기능 및 그 상호작용에 대한 이해를 바탕으로 개발되는 생물약(Biologics)과 질병타겟에 대한 치료제 (Small Molecules)로 사용되는 소분자 의약을 생산하는 분야
 - **해양생태환경제어 기초원천기술분야:** 생물다양성 및 UN 해양법 협약 등 국제규범을 실천하고, 해양생물자원의 지속가능한 이용을 위하여 우리나라 해양생태계를 보전, 관리하는 원천기술
 - **해양재해 및 에너지 기초원천기술분야:** 해양재해 대응기술은 해양재해 (태풍, 해일, 적조 등) 발생 시 해양상태를 모니터링 및 단시간 예측을 하고 중/단기 해양재해 예측 모델을 통해 재해상황에 대한 적절한 대책 수립 및 대응기술을 적용하여 해양피해를 최소화할 수 있는 원천기술이며 해양에너지는 조력 등 해양유래의 에너지기술 및 해양플랜트 등이 포함된 원천기술분야

그림 1.1. 해양분야의 시사점

1.2. 해양분야 연구개발의 중요성

1.2.1. 기획연구의 배경 및 필요성

○ 지구 환경 위기와 자원 취약성으로 인한 해양의 가치

- 최근에 빈번히 발생하는 이상기온 현상, 세계 각지의 지진, 대기의 오존층과 생태계의 파괴 등 지구적 차원의 자연환경이 점점 악화
- 세계인구의 폭발적 증가와 산업의 팽창은 환경의 오염은 물론 육상자원의 고갈을 이미 초래하고 있으며, 산업활동과 도시의 증가로 농토는 줄어들고 환경오염과 육상자원의 고갈은 더욱 심화될 것으로 전망
- 경제학자 메도우즈는 1972년 논문 '성장의 한계'논문에서 육상의 주요 광물자원의 가채(可採)년수가 불과 50년 안팎이어서, 향후 경제성장이 자원부족으로 인해 크게 위축될 것이라 경고
- 따라서, 지속적인 발전을 위해서는 육지 이외의 새로운 자원 발굴을 위한 개척지 필요
- 해양은 막대한 광물자원과 무한대의 에너지를 보유하고 있으며 이중 95%는 미개척임. 금속 매장량의 경우 육상이 110년 어치에 불과한데 비해 해양은 1만년 어치가 보존하고 있는 것으로 추정
- ※ 해양의 석유 부존량은 육상과 같은 1.6조 배럴이나 그중 62%는 미개발 상태임. 더구나 해저의 미발견 석유 부존량은 추정조차 어려움.

○ 지구 온난화와 이산화탄소 배출문제 해결은 해양바이오자원

- 지구 온난화로 인해 2016년 7월은 기상관측 이래 '가장 무더웠던 달'로 기록되었으며, 전세계적으로 가뭄과 폭염, 슈퍼태풍 등 기상이변이 발생하여 심각한 생존 위기에 직면
- 지구의 이산화탄소 농도가 기후변화의 임계점인 400 ppm을 넘어서면서 지구가 회복하기 힘든 상황에 빠질 것이라고 경고
- 지구 온난화로부터 인류가 위협당하면서 우리나라뿐 아니라 전세계적으로 이산화탄소를 줄이기 위해 노력 중이며, 광합성 생물체는 태양으로부터 공급되는 빛에너지를 이용하여 이산화탄소를 탄수화물로 환원하는 능력을 지니고 있어 해결책으로 활용 가능
- 지구 표면적의 71%를 차지하는 해양에는 지구 생물의 90%인 1000만종 서식하고 있어 지구 산소의 75%를 공급하고 이산화탄소의 50%를 흡수하며 열의 수급과 이동을 통해 지구의 기후를 조절

- 해양바이오자원인 광합성 생물체를 적절히 이용하면 대기 혹은 배기가스 중에 함유된 이산화탄소를 생체물질로 전환하게 되고, 생산된 바이오매스는 연료, 사료, 퇴비, 정밀화학제품, 건강식품 등 유용물질을 생산하는 데 원료로서 재활용 가능
- 또한, 이산화탄소 배출권 거래를 통해 이산화탄소 저감량 자체에 대한 경제적 가치 확보 가능
- 따라서, 육상자원 고갈 및 이산화탄소 배출문제로 해양에서 새로운 청정 자원을 찾기 위한 활동 및 국제적 규제가 강화되고 있으며, 국내에서도 이에 대한 해결방안 마련 시급

※ **이산화탄소 배출권:** 정해진 기간 안에 이산화탄소 배출량을 줄이지 못한 각국 기업이 배출량에 여유가 있거나 숲을 조성한 사업체로부터 돈을 주고 권리를 매매. 교토의정서에 따르면 의무당사국들은 1990년 배출량을 기준으로 2008년에서 2012년까지 이산화탄소 배출량을 평균 132% 수준으로 줄여야 하며 한국의 경우 2015년 1월 12일부터 탄소 배출권 거래를 시행중이며, 2017년 3월 현재 200만톤 이상 거래 중

※ 국제에너지기구(IEA)에 따르면, 한국은 지난 2013년 기준으로 온실가스 배출량이 5억7200만 톤으로 세계 7위

○ 해양바이오자원의 유지 및 해양환경 보존 필요

- 1950년대부터 부영양화와 적조가 전세계적으로 지속적으로 증가하고 있으며, 과학기술의 발달에 따라 중금속, 유해화학물질, 지구온난화는 해양환경과 생태계를 위협하는 새로운 요소로 부상
- 2011년 국제해양생태계프로그램(IPSO)은 보고서를 통해 해양 생태계가 위와 같은 오염과 과도한 어획, 인위적인 요인 등으로 인해 예상보다 훨씬 빠른 속도로 악화하고 있어 한 세대 안에 해양생태계 전체를 잃을 수 있다고 경고
- 특히, 최근 지구온난화로 인해 수온이 올라가고, 산성화가 진행되고, 용존산소가 줄어 해양환경이 악화되어 적조를 일으키는 독성 미세조류가 번성하는 장소가 넓어지고 기간이 길어지고 있음(Gobler (2017) Science dailys)
- 해양바이오자원의 생물다양성 유지와 해양환경의 보존을 위해서 해양생태 환경을 관리하고 생태계 변화를 예측하기 위한 종합적이고 체계적인 연구 필요

1.2.2. 해양 분야의 중요성

○ 미래핵심기술로 해양기술 대두

- 해양기술은 정보통신기술(IT), 생명공학기술(BT), 우주항공기술(ST), 나노기술(NT), 환경기술(ET), 문화기술(CT)의 6T기술이 융합된 지속가능 미래 4대 핵심산업 (엘빈토플러, 제3의 물결)
- 해양산업의 경쟁력확보 및 신산업 창출을 위한 국가차원의 해양분야 기초원천기술의 체계적 전략마련 및 확대필요. 미국, 중국, 일본 등 세계 각국은 신성장동력인 해양산업을 선점하기 위해 해양자원개발 등의 해양 연구개발투자를 지속적으로 확대

- ※ 해양기술은 IT/BT/ST/NT/ET/CT 의 6T기술이 융합된 지속가능 미래 4대 핵심산업
- ※ 지구상 알려진 생명자원의 90%인 1,000만 종에 해당하는 해양생물은 온도, 수압, 제한된 빛 에너지 등 극한 환경조건에 적응하기 위해 유기적 합성이 불가능한 다양한 화합물을 생산하는 대사 경로를 보유하고 있어 의료, 제약, 식품, 화장품 산업 등 다양한 원료물질 공급가능

그림 1.2. 해양환경에서 생산되는 다양한 생리활성물질
(출처: Bhatnagar *et al.* (2010) Mar Drugs 8:2673)

○ **고령화 추세와 기대수명 증가에 따른 신의약 발굴 중요**

- 전 세계적으로 출산율 감소와 의료기술 발전 등으로 노령 인구비율이 꾸준히 증가하여 2030년 65세 이상의 인구가 약 15~20%에 달할 것으로 추정(통계청, 2011년)
- 노령인구의 증가에 따라 과거의 감염성 질환에서 당뇨병, 심장질환, 만성 퇴행성 질환 및 종양과 같은 비감염성 질환이 증가 할 전망이며 인구 고령화에 따른 소비자의 삶의 질 향상에 대한 요구가 지속적으로 증가할 전망(WHO, 2013).
- 지속적인 의료비 증가와 경제활동인구에 대한 부양 부담 증가로 국가차원의 예산부담증대 문제점 대두. 이에 대한 해결책으로 해양바이오자원 유래 기능성 생리활성물질에 대한 관심 증대
- 미세조류로부터 추출된 신의약 후보물질의 효능은 antiviral, antibacterial, antifungal, antimalarial, antimycotics, antiproliferative, cytotoxicity, immunosuppressive agents, multi-drug resistance reversers 등 다양하며. 이중 일부는 현재 임상2상과 3상에서 성공적인 결과를 보이고 있음(Dixit *et al.* (2013) Antonie van Leeuwenhoek 103, 947)

○ **4차 산업혁명시대의 해양바이오명자원의 빅데이터 처리기술의 중요성**

- 2003년 표준 인간 유전체 서열이 밝혀진 후, 인간을 비롯한 다양한 생물체에 대한 유전체 해석이 활발히 진행되어 생물체에 대한 분자수준의 이해도 증가, 생물정보학의 발전에 따라 해양생물체 유래 유용생리활성 물질 생산을 조절하는 유전자 발굴 및 규명기술의 확대·가속화 요구
- 2013년 현재 유전체 염기서열 1 Mb 당 분석 단가는 5,292달러(2001년 기준)에서 0.06달러로 지난 13년간 약 8만8천배 가량 감소. 이 추세는 향후 개발된 새로운 염기서열 분석 장비에 따라 훨씬 더 급격히 떨어질 것으로 예상
- 유전체 연구는 최근 유전체정보 생산 단계에서 정보 활용단계로 변화되는 추세이며 시스템생물학과 같은 유전체정보 활용 기술이 발전하는 추세. 특히 빅데이터 기술 발전은 축적된 생명정보에 대한 통합적 접근과 분석을 가능하게 할 것으로 예상

○ **유전체정보 활용을 통한 생명자원의 효율적인 이용**

- 해양 미생물, 동·식물의 유전체정보를 이용한 생명자원 관리 및 개발, 환경 및 생물 안전성 평가를 위한 유전체정보 저장 및 검색시스템 개발 필요

요하며 환경변화에 따른 미지의 유해성 생물의 빠른 동정과 이용가치에 대한 판정을 효율적으로 수행하는 시스템 개발 필요

- 바이오신약 및 유전자기반의 혁신 신약에 대한 연구 및 수요 증가 추세이며 유전공학의 발전과 더불어 기존 화합물의약품과는 다른 생물체 유래의 새로운 BT 의약품의 개발 및 허가 증가
- BT · IT · NT 융합 의료기술의 발전 전망: 유전공학(BT), 정보기술(IT) 및 나노테크놀로지(NT)의 급속한 발전과 더불어 이들의 상보적 결합 (synergistic combination)을 통하여 신제품 창출. 기존 제품의 성능을 향상시킨 융합의약품 생산 기술 등장

○ **해양 생태 유지 기술의 중요성**

- 세계 환경산업 시장은 미국(38%), 서유럽(30%), 일본(18%)이 대부분을 차지하고 있으며 환경선진국을 비롯한 각 나라는 환경기술개발에 투자를 늘릴 것으로 예상
 - ※ 연 4%이상의 지속적인 성장속도를 나타냄
- 국내 환경산업 시장은 선진국에 비해 수요기반이 취약하지만 정부의 정책과 규제의 강화와 맞물려 지속적으로 성장할 것이 예상
 - ※ 우리나라의 환경복원산업 시장규모는 2001년 6,700억원, 2005년 1조1,300억원, 2010년 1조 9,600억원으로 매년 증가추세에 있음
- 해양폐기물의 발생량은 매년 증가추세에 있으나, 2006년 이후로 소폭 감소하는 추세이며, 특히 폐수 및 유기성 오니의 발생이 가장 많이 발생하고 있는 실정임
- 정부의 환경오염방지를 위한 규제와 제재로 인해 오염사고의 발생건수는 점차 줄어들고 있는 것으로 보이나, 중국지역에서의 해양폐기물 발생이 많아 서해안지역의 해양 환경은 점차 나빠지고 있는 것으로 조사됨에 따라, 해양환경 개선을 위한 연구 및 기술개발에 주력 할 필요가 있음

○ **해양 환경 제어 기술의 중요성**

- 세계 환경산업 시장은 미국 (38%), 서유럽 (30%), 일본 (18%)이 대부분을 차지하고 있으며 환경선진국을 비롯한 각 나라는 환경기술개발에 투자를 늘릴 것으로 예상
 - ※ 연 4%이상의 지속적인 성장속도를 나타냄
- 국내 환경산업 시장은 선진국에 비해 수요기반이 취약하지만 정부의

정책과 규제의 강화와 맞물려 지속적으로 성장할 것이 예상

※ 우리나라의 환경복원산업 시장규모는 2001년 6,700억원, 2005년 1조1,300억원, 2010년 1조 9,600억원으로 매년 증가추세에 있음

- 해양폐기물의 발생량은 매년 증가추세에 있으나, 2006년 이후로 소폭 감소하는 추세이며, 특히 폐수 및 유기성 오니의 발생이 가장 많이 발생하고 있는 실정임
- 정부의 환경오염방지를 위한 규제와 제재로 인해 오염사고의 발생건수는 점차 줄어들고 있는 것으로 보이나, 중국지역에서의 해양폐기물 발생이 많아 서해안지역의 해양 환경은 점차 나빠지고 있는 것으로 조사됨에 따라, 해양환경 개선을 위한 연구 및 기술개발에 주력 할 필요가 있음

○ 해양 재해 대응 기술의 중요성

- 해양안전 분야는 우리나라의 해역의 해양사고 점차 감소하고 있는 것으로 보이나 최근 들어 상선과 여객선 등 비어선의 사고율이 증가하고 있고, 특히 사고선박의 규모가 점차 커지고 있는 상황임
 - ※ 우리나라 연안의 해양사고는 연간 약 650여건에 이르며, 2004년을 기점으로 감소세를 보이고 있으나 감소율은 미비하다. 특히, 최근 인명피해가 큰 사고로 2014년 그랜드 포춘 1호는 강풍에 의해 16명 중 2명 사망, 11명 실종되었고, 세월호는 복원력 상실로 476명 중 295명 사망, 9명 실종되었음. 또한, 2015년 돌고래호는 너울성 파도에 의해 21명 중 14명 사망, 4명이 실종되었음
- 해양안전정보시스템 등을 이용한 범국가적 해양재난안전 관리 체제를 마련하여 해양 안전 분야의 업무 효율성을 제고하고자 국가적인 노력이 지속되고 있지만, 아직까지는 해양 선진국의 현황에 비해 낮은 수준으로 향후 지속적인 투자를 통해 경쟁력을 향상이 요구됨
- 사고 유형별로는 전체사고의 절반 이상(55.1%)을 차지하는 충돌, 기관사고의 비중이 전년보다 늘었고, 기관손상, 좌초, 운항저해 사고가 증가한 반면, 침몰, 조난, 화재, 전복 사고는 감소
- 대형 인명사고 및 해양오염사고를 유발할 수 있는 전형적인 조난사고는 지속적으로 줄고 있는 반면에 사전예방 점검 미비, 운항자의 부주의에 의한 기관 고장, 추진기 고장 등 단순사고는 계속 증가하고 있음

○ 정책적 중요성

- ‘제3차 과학기술기본계획’에서 제시한 국가전략기술(120개) 확보를 위한 구체적 이행방안 제시 필요. ‘제3차 과학기술기본계획’에 따라 국가전략기술(120개) 중 해양바이오분야에 해당되는 기술분야에서 공백기술에 대한 로드맵 구축필요
- 융합이 필요한 공공 R&D 분야에 대한 기초연구에 대한 과학기술정보통신부의 조율을 통해 중복투자과 공백기술을 배제하고 다양한 연구진의 참여를 유도
- 과학기술과 ICT 총괄부서인 과학기술정보통신부는 ‘해양분야 원천기술 비전 및 목표’달성을 위해 과학기술 기술개발로드맵을 제시하고 제도화 추진 필요
- 부처수립 로드맵은 임무사행용 실행전략 성격이 강해 국가 비전 및 목표와의 연계성, 부처 간 연계 및 협력 등이 미흡한 상황
- 국가 R&D투자 효율성 제고 및 기술의 전주기적 관리 차원에서도 **범부처적 기술개발로드맵**을 통한 국가 R&D사업 가이드라인 제시 필요

그림 1.3. 과학기술정보통신부 해양바이오산업 관련 사업의 진행경과

1.2.3. 수권(해양) 세부분야의 분류 및 정의

○ 수권의 개념(Hydrosphere)

- 수권은 지구시스템 구성요소 중 지구를 덮고 있는 해양, 지표수, 지하수, 빙하 등을 뜻함
- 수권의 변화는 기권, 지권과 상호작용을 통해 기후시스템 및 자연재해에 다양한 영향을 미침
- 수권은 지구시스템 내 생명자원의 생존에 필수요소인 물을 공급하며 생물학적 다양성을 유지시키는 주요한 역할을 수행

○ 수권의 분류

- 지구시스템 통합적 연구를 위해 수권의 분류는 지구과학적, 지구환경적, 지구생태적 측면으로 나누어 분류하고자 함
- 지구과학적 측면에서 해양은 수권의 대부분(97%)을 구성하고 있으며, 지표수는 지면에 흐르는 하천(강), 저수지, 호수 등을, 지하수는 지표면 밑으로 흐르는 물을 뜻함
 - ※해양의 열염분 순환은 적도의 열을 극으로 이동시켜 지구시스템 내 열 에너지 순환에 크게 기여하며, 지하수는 Water cycle에서 저수지로 표현되며, 가뭄기간동안 지표수의 부족을 보충하는 역할을 수행
- 지구환경적 측면에서 수권은 해양의 열순환, 대기 중 이산화탄소 흡수 등 기권-지권과 상호작용하여 기후변화와 자연재해에 유기적으로 작용하여 영향을 미치므로 융합적 연구가 필요
 - ※해양-대기 상호작용에 이상이 생겨 전 지구적 순환이 틀어지면서 발생하는 엘니뇨, 라니냐 현상이 대표적이며, 집중강우로 인한 홍수, 태풍, 지진, 해일과 같은 자연재해도 수권-기권-지권 상호작용 문제로 나타남
- 지구생태적 측면에서 수권은 지구 생명체의 서식처를 제공하는 한편, 생명체 내 영양분과 산소를 제공하는 역할을 수행하며, 기권의 탄소원을 지권에 공급하는 상호작용을 통해 Carbon cycle의 원동력으로 작용함
 - ※해양산성화, 호수나 연안의 부영양화 뿐만 아니라 각종 폐기물의 저장 및 매립에 의한 지하수 오염 등으로 인해 녹조, 적조 발생과 수중생태계 다양성은 물론 수분스트레스에 의한 산림 감소 등 전지구적 상호작용으로 인한 환경오염 심화

그림 1.4. 수권의 순환에 따른 세부분야 및 분류

○ 수권의 구성

- 해양은 수권의 대부분(97%)을 구성하고 있음. 해양은 여분의 열과 이산화탄소를 흡수하여 지구시스템 안정화에 기여
 - ※해수온도 상승은 빙하를 녹여 해수면 상승은 물론 염분농도를 저하시켜 열염분순환이 방해받거나 방향이 바뀌어 기상이변 발생
 - ※빙하는 가장 많은 담수를 고체상태로 저장하고 있으며, 수권-극권의 상호작용을 통해 기후변화에 영향을 미침
- 지표수는 지면에 흐르는 하천(강), 저수지, 호수 등에 있는 물을 말하며, 유량변동이 계절별로 크고 오염에 취약함
 - ※여름철 녹조현상은 용존산소의 공급을 차단시키고 독소를 내뿜어 하천 생태계를 파괴시키는 것은 물론 상수원에 영향을 주어 국민 삶의 질을 저하시킴
- 지하수는 지표면 밑으로 흐르는 물을 뜻하며, 육상에 있는 수권(민물)의 20% 정도를 차지하는 육상생태계에 필수적인 청정 수자원임
 - ※지하수는 water cycle에서 저수지로 표현되며, 가뭄기간동안 지표수의 부족을 보충하는 역할을 수행

1.3. 국외 해양분야 기술개발 동향 및 전망

1.3.1. 미국 해양분야 기술개발 동향

- 1966년 해양개발 10개년 계획으로 시작되었으며 1969년 해양정책 (Our Nation and Sea) 해양과학기술개발에 주력하였으며, 1999년 신 국가해양정책을 수립 생태계 파괴 대처함.
- 2004년 An Ocean Blueprint for the 21st Century 채택하고 “해양수 자원 질적 제고와 해양자원활용과 보호에 대한기술“을 7대 중점 연구 분야에 포함
- 미국 해양 분야 국가 R&D 예산은 홈페이지를 통해 최근 공개된 자료에서 아래 표와 같이 확인 가능: 국가과학재단 NSF 2017년 해양과학 3억 7천9백억\$, 극지 4억 6천4백억\$

표 1.1. 미국 해양 분야 국가 R&D 예산

Geosciences(GEO) Funding (Dollars in Millions)						
	FY2015 Actual	FY2016 Estimate	FY2017 Request	ChangeOver FY2016Estimate		
				Amount	Percent	
Atmospheric and Geospace Sciences (AGS)	\$252.18	\$253.67	\$267.92	\$14.25	5.6%	
Earth Sciences (EAR)	178.31	179.39	191.68	12.29	6.9%	
Integrative and Collaborative Education and Research (ICER)	84.22	83.74	94.95	11.22	13.4%	
Ocean Science (OCE)	361.31	359.89	379.42	19.53	5.4%	
Polar Programs (PLR)	443.02	441.85	464.86	23.01	5.2%	
U.S. Antarctic Logistical Support (USALS)	[67.92]	[67.52]	[67.52]	-	-	
Total, GEO	\$1,319.04	\$1,318.54	\$1,398.83	\$80.30	6.1%	

Totals may not add due to rounding.

(*출처: <https://www.nsf.gov/about/budget/fy2017/tables.jsp#geo>)

- 주요 연구비 제공기관

기관	역할
국가과학재단 (National Science Foundation, NSF)	기초 해양과학 기술 등을 중점적으로 지원
미국해군연구소 (Office of Naval Research, ONR)	미해군의 작전 수행에 필요한 해양과학기술 개발
국립해양 대기청 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)	해양 및 수산 과학 연구
국가생명공학센터 (NCBI)	국가생명자원정보인프라구축(NBII), 미국 유전자은행(ATCC)등의 운영
국립심해과학연구소 (NIUST)	2천점의 추출물 बैं크 구축

- 최근 미국의 해양생명공학 연구 프로그램은 'National Sea Grant Program'이 대표적이며 각 지역의 대학들에게 연구비를 지원하여 지역에 속한 해양의 현안 문제를 해결하기 위한 연구를 추진하고 있음. 주요 연구 과제로는 수산종양식, 해양침입종, 생명공학, 어업, 해산물 과학기술개발, Molecular genetics, Natural product (chemistry and biological activity), Bioprocessing 등이 있음
- RIDGE 프로그램으로 2000년부터 2010년까지 연간 약 950만 달러의 연구비 규모로 열수구 주변 미지 생물 탐색
- 전세계의 해양 미생물의 환경 유전체 분석 프로젝트를 진행, 1,800여종의 미생물과 약 120만개의 유전자를 발견

1.3.2. 중국 해양분야 기술개발 동향

- 2015년 중국은 대내적으로 전국해양경제조사를 통해 해양경제 발전가속화를 위한 기반 마련
- 중국은 해양경제조사를 통해 (1) 해양경제의 장기적, 과학적 발전을 위한 국가경제사회 발전전략을 제정, (2) 해양경제의 성장패턴을 현대화하고 이를 통해 해양경제의 지속가능한 발전을 도모, (3) 해양자원을 합리적으로 개발하고 국가권익과 경제안전을 보호, (4) 중국해양기본정보시스템을 보완하여 사회 전체의 해양의식과 해양환경보호 의식을 제고

- 즉 체계적으로 중국 각 성별 해양경제 기본상황을 파악하여, 합리적인 해양경제 발전 계획 수립을 통해 해양강국을 건설하는 것을 목적으로 진행되었으며 후에 기술할 2016~2020년 13차 5개년 국가과학기술혁신 계획의 해양과학기술에 반영되며 중국의 해양전략 수립의 큰 틀을 마련
- 중국 해양경제조사 결과 국내 해양산업의 GDP 기여율이 현재 6%대인데 반해, 중국은 평균 9.5%로 높은 수치를 나타냄

그림 1.5. 2007~2014년 중국 해양생산총액(GOP)
(출처: KMI 중국리포트 (2015) 15(17))

- 2016년 초 중국 정부는 국민경제 및 사회발전에 관한 5개년 계획을 발표하고 2020년까지 샤오캉(小康) 사회 실현을 위한 원동력으로 혁신을 강조
 - 국가 과학기술 중장기 발전계획 11개 중점 연구분야 중 해양자원 개발이용 및 해양 생태와 환경보호, 대형 해양 공정기술과 장비가 우선 과제로 선정
 - 중점 연구개발 분야로 8개 최첨단 선도영역 개발 추진 우선과제로 해양기술이 선정
 - 선두주자로 우위를 확보하기 위해 해양농업 및 담수어업 과학기술

혁신과 국가안보와 전략적 기술체계 구축을 위한 융합 분야로 해양 자원 개발이용기술이 포함

표 1.2. 국가안전 및 전략적 이익보장 기술체계 중점 구축 분야 중 해양기술

분야기술	주요내용
해양자원 개발이용 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 심해탐사 • 해양환경 안전보장 • 해양 생물자원 지속가능한 개발이용 • 대형 해양플랜트 • 해수 담수화 및 종합이용

(출처: KISTEP (2016) 중국'13차 5개년 국가과학기술혁신 계획'특징과 시사점)

1.3.3. 일본 해양분야 기술개발 동향

- 일본 해양 분야 연구기관은 다음과 같음
 - 일본해양과학기술연구센터 (JAMSTEC): 대양연구 및 기술개발에 중점 연구
 - 해양생명공학연구소 (MBI): 해양생물 자원이용 기술개발 연구를 통해 최근에 심해 미생물 분야를 중점연구분야로 선정하여 집중적으로 투자 및 연구를 추진하여 심해 미생물 연구분야에서 세계 최고의 위치를 선점
 - 그 외 수산종합연구센터 (FRA), 경제산업성 (METI) 등을 중심으로 단기간에 집중적 연구개발 투자와 산학연 협력 활성화로 해양생명공학 국가로 급부상
- 주요 연구분야는 해양생태계 변화, 해양환경 보전 및 복원기술, 해양생명공학 기술 등에 관한 연구개발과 해저지진, 태풍, 해양재해 저감기술 등이 연구개발 중
- 바이오 선도국 부상을 목표로 COE (Center of Excellence) 프로그램을 산학연 공동으로 추진, 해양 신약개발을 활발하게 진행 중
- 생명과학과 정보과학 분야가 여전히 가장 높은 비율을 차지함
- 2011년 동일본 대지진이후 해양개발 부분에서 34.5%의 현저한 R&D 경비 증가는 일본이 심해 연구와 환경변화를 야기 시키는 해양 분야에 대한 연구에 상당한 관심

- 일본의 해양 R & D 예산 투자 규모를 우리나라 해양 R&D 기술체계 기준으로 검토한 결과, 육상 자원의 고갈로 인한 대체 자원의 중요성 인식 증대에 따라 2007년 이래 해양 자원의 투자를 확대하고 있는 것으로 판단 됨
 - 2011년 대지진 이후 재난에 대한 예보의 중요성이 부각됨에 따라 해양관측 및 예보분야의 투자금액은 2배 규모의 증가추세
 - 재난에 대한 중요성 부각은 해안 공학 및 물류 분야에도 적용되어 2011년 과 2012년도 항만 건설의 투자액이 증가하였음.
 - 북극기후 변동 연구 프로젝트 등 극지 관련 연구 투자는 2011년도 부터 나타나며 기초연구에 집중되고 있음
 - 해양공학의 경우 2007년도 1,567억 엔을 투자하였으나, 바위성의 무인수중 및 수중체계 연구개발 사업 종료에 따라 투자규모가 감소함.
- 일본의 해양생명공학 기술개발에 대한 투자는 지난 10년간 연간 약 10억 달러로 미국을 제치고 세계 최대의 투자국임

표 1.3. 일본의 해양 분야 국가 R&D 예산

회계 년도	생명과학			정보과학			환경				
	십억엔	비 중	증감	십억엔	비 중	증감	십억엔	비 중	증감		
2008	2,742.5	14.6	1.9	3,025.4	16.1	△4.0	1,105.5	5.9	2.6		
2009	2,705.4	15.7	△1.4	2,676.1	15.5	△11.5	1,040.7	6.0	△5.9		
2010	2,744.0	16.0	1.4	2,422.0	14.2	△9.5	1,037.9	6.1	△0.3		
2011	2,772.5	16.0	1.0	2,555.7	14.7	5.5	1,040.9	6.0	0.3		
2012	2,873.2	16.6	3.6	2,450.2	14.1	△4.1	1,003.9	5.8	△3.6		
2013	3,033.6	16.7	5.6	2,377.1	13.1	△3.0	1,097.6	6.1	9.3		
나노기술			에너지			우주개발			해양개발		
십억엔	비 중	증감	십억엔	비 중	증감	십억엔	비 중	증감	십억엔	비 중	증감
990.7	5.3	6.9	1,020.6	5.4	△1.0	222.3	1.2	△2.9	94.5	0.5	△0.8

회계 년도	생명과학			정보과학			환경				
	십억엔	비 중	증감	십억엔	비 중	증감	십억엔	비 중	증감		
907.3	5.3	△8.4	965.6	5.6	△5.4	245.5	1.4	10.4	96.5	0.6	2.1
939.3	5.5	3.5	956.3	5.6	△0.1	250.3	1.5	2.0	91.4	0.5	△5.3
882.9	5.1	△6.0	1,004.6	5.8	5.1	215.6	1.2	△13.9	108.5	0.6	18.7
918.5	5.3	4.0	982.5	5.7	△2.2	273.0	1.6	26.7	115.4	0.7	6.3
1,005.1	5.5	9.4	1,051.9	5.8	7.1	230.4	1.3	△15.6	155.2	0.9	34.5

(*출처 : 2014년 12월 일본 총무성(MIC : Ministry of Internal Affairs and Communications) 통계국 연구개발(R&D) 조사결과 보고서)

표 1.4. 일본 해양 R&D 예산 투자추세

기술분류 (대분류)	년도별 투자액 (백만엔)					
	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년(안)
해양자원	98	739	1,260	3,602	8,399	16,751
해양환경	14,584	14,379	11,758	12,560	13,977	17,806
해양생명공학	0	0	0	0	0	0
해양관측및예보	13,362	11,569	10,824	9,892	15,878	30,215
해양공학및물류	218	238	204	236	3,071	2,766
해사안전	147	133	151	191	134	112
해양연구인프라	15,450	6,692	26,752	13,287	5,882	6,260
극지해양	0	0	0	0	2,000	1,709
해양공학	156,765	720	2,028	5,851	5,714	6,033
년도별 합계(A)	200,624	34,470	52,977	45,619	55,055	81,652
국고지원금(B)	122,602	131,507	121,235	116,222	112,633	109,510
총합(A+B)	323,226	165,977	174,212	161,841	167,688	191,162

(*출처: 이윤지 손진 [일본의 2012년 해양 R&D 예산 투자현황])

1.3.4. 유럽 해양분야 기술개발 동향

- 영국은 Bioscience 2015 장기발전계획에 맞추어 강력한 지원을 통해 해양바이오 분야 육성
- 독일은 BioIndustry 2021을 추진함으로써 산학연 협력을 통해 해양생명공학 분야의 산업기반을 확대
- 프랑스는 해양연구소(IFREMER)의 주도로 심해 생태계 조사 및 심해 열수 조사, 해양미생물 유래 유용물질 발효생산 연구
- 2007년 10월 [EU 통합해양정책] 을 수립하여 , 유럽 각 국가 간 해양 과학 기술 협력의 기본 원칙과 해양 산업의 경쟁력 유지를 위한 방안 등 제시
- [EU 통합해양정책]의 5대 원칙
 - 통합적 접근 (Integrated Approach)
 - 생태계 접근 (Ecosystem Approach)
 - 보조 지원 (Subsidiarity)
 - 이해관계자의 참여 (Stakeholder Participation)
 - 역동적인 발전 (Dynamic Development)
- [EU 통합해양정책]의 부문별 실천계획

표 1.5. EU 통합해양정책 주요 내용

구분	주요 내용
해양 거버넌스	-EU 회원국 간 통합해양 실천과제 제시 -규제 간소화 -지식과 경험의 공유
통합정책 결정을 위한 정치	-감시행위 -해양영토 계획과 연안해역 통합관리 -유럽 해양 관찰 및 데이터 네트워크
해양의 지속 가능한 이용 극대화	-해양분야 클러스터의 개발과 해양의 최적 활용을 위한 지역센터 설치 -해양운송 과 항만 정책 -해양분야에서의 직업및 고용 강화

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> -선박의 대기 오염, 선박해체 -해양에너지 인프라 및 자원개발 -어민의 처우개선 -어업에서의 생태계적 접근 -국제수역에서의 수산자원 보호
해양 정책을 위한 지식과 혁신구축	<ul style="list-style-type: none"> -유럽해양 연구
연안지역 삶의 질 극대화	<ul style="list-style-type: none"> -연안지역 간 정보교류체제 구축 및 기금 마련 -유럽 외곽 연안지역과 도서 관리 -기후 변화 완화 및 적응체계 구축 -지속가능한 해양관광 -해양 분야의 지역별 사회 경제적 데이터 구축
국제해양 업무에서 유럽 리더십 촉진	<ul style="list-style-type: none"> -제회의와 파트너와의 관계에서 EU역할 강화 -지역해 공유를 위한 제3세계국가와 협력체계 구축 -북극해 관련 EU 전략보고서 작성 -공해 보호를 위한 실천계획 수립
해양 유럽의 정책적 실현	<ul style="list-style-type: none"> -유럽 해양의 날, 연차 보고서, 인식 제고 캠페인 -유럽 바다지도 완성 -해양 업무 관련 정보 제공 기능강화

(*자료 : Niamj Connolly, Marine and Maritime RTD in Support of Maritime Policy)

그림 1.6. 4개 선진국 해양정책

1.4. 국내 해양분야 기술개발 동향 및 전망

1.4.1. 과학기술정보통신부 해양 R&D 사업 현황

- 범부처 차원의 「해양바이오 연구개발 활성화 대책」 ('09.7)에 근거, 국토부, 농림부, 지경부, 환경부 등과 해양바이오 연구를 공동 추진키로 하고, 과기부는 해양생명 기능연구 등 3개 분야를 대상으로 '10년부터 사업 착수 (20억 원)
- '11년부터 극지분야 기획연구('09.4) 결과를 반영해 극지분야를 포함한 '해양 극지 기초원천기술개발사업'으로 확대됨)
- (사업목적) 해양생태계로부터 새로운 기능의 생명체를 발굴하고, 해양 분야 기초원천기술을 확보 (극지 부분은 해양 분야를 제외한 북극 극지 환경 진단 및 자원연구를 목적)
- 「해양·극지 기초원천기술개발사업」은 '해양생명기능연구/해양바이오 신소재연구 / 해양바이오 신의약소재 연구'의 3개 연구분야로 구분되며, 이는 해양과학기술 기술분류체계 중에서 해양생명공학 (MBT)으로 분류됨

표 1.6. 과학기술정보통신부 해양 R&D 연구내용

분야		연구내용
해양 생명 공학 (MBT)	해양 생명 기능	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 극지미세조류의 지질생합성 기작 분석과 최적화를 위한 융합 시스템생명공학 연구('11.6.23~'16.6.22) • 해양 원생생물 생명현상 융합 프로세스 연구(신규, '15.6.23~'20.6.22)
	신소재	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 오손 및 방오 기작 이해를 통한 방오소재 개발('11.6.23~'16.6.22) • 해양생물 생광물화 경로 규명 및 고기능성 소재 연구(신규, '15.6.23~'20.6.22) • 자유공모 2개 과제(신규, '15.6.23~'20.6.22)
	신의약	<ul style="list-style-type: none"> • 제주 해양생물 기반 피부질환 치료용 소재 개발('11.6.23~'16.6.22) • 자유공모 2개 과제(신규, '15.6.23~'20.6.22)

표 1.7. 과학기술정보통신부 해양 R&D 과제별 투자 현황

구분	과제	연구기관	합계 (단위: 천 원)
해양 생명기능 (원천기반)	혈구 분리와 cDNA microarray 분석을 통한 어류 혈구의 기능 규명	경상대학교	347,078
	해양생물체에서 인지질가수분해 효소 매개 신호전달체계 관련된 유전체 탐색 및 규명	부경대학교	366,928
	해양공생생물 유전체 연구단	공주대학교	2,945,531
	해양 극지미세조류의 지질생합성 기작 분석과 최적화를 위한 융합 시스템생명공학 연구	한국과학기술원	2,500,000
	해양 원생생물 생명현상 융합프로세스 연구	공주대학교	800,000
	합계		6,959,537

구분	과제	연구기관	합계 (단위: 천 원)
신소재 (신소재 가공)	극저온, 극고온 내성 시스템 개발을 위한 해양 생명체의 동결방지 단백질과 역자이라제의 기작에 관한 연구	경상대학교	421,932
	해양생물 유래의 발광물질을 이용한 OLED 신소재 개발 연구	순천향대학교	343,936
	해양 유래 CA-PEPCase system 기반 생물전환 원천 기술 개발	한양대학교	2,318,500
	해양 오손 및 방오 기작 이해를 통한 방오소재 개발	포항공과대학교	2,716,000
	해양 생광물화 경로 규명 및 모사 통한 다기능성 생광물 복합소재 개발	고려대학교 세종캠퍼스	800,000
	Tubeworm 공생 미생물 유래 β -lactamase의 고분해능 3차 구조를 활용한 신규 저해제 개발	한국해양 과학기술원	100,000
	해양유래 고효율성 hydrolase를 가진 한국형 내염 박테리아 연구	건국대학교	100,000
	합계		6,800,368
신의약 (신소재 가공)	해양 천연물로부터 지방산 생합성 저해를 타겟으로 하는 신규 항암 및 항감염 선도물질 발굴	충남대학교	352,000
	한국산 해양 코노독소 라이브리리를 이용한 생체막 이온통로 기능 제어 물질 개발	광주과학기술원	487,180

구분	과제	연구기관	합계 (단위: 천 원)
	생리활성 해양천연물 기반 신의약 소재 개발 기초연구	서울대학교	3,502,271
	제주 해양생물 기반 피부질환 치료용 소재 개발	제주대학교	2,099,200
	해양 남세균 및 해양 무척추동물의 공생미생물 유래 신규 항염, 항박테리아 활성천연물 연구	영남대학교	218,250
	조골세포 분화를 촉진 및 과골세포 활성을 억제하는 해양 미생물 이차 대사산물을 이용한 골다공증 치료용 원천 소재 개발	서울대학교	100,000
	해양 천연분자와 모방체를 이용한 신의약소재 물질 개발	가톨릭 관동대학교	100,000
	합계		6,858,901

그림 1.7. 2013~2017년도 과학기술정보통신부의 R&D 예산 총액 및
해양극지 기초원천사업 투자금 증감

(출처: KISTEP (2013~2017) 정부 연구개발예산 · 기금 현황분석)

1.4.2. 해양수산부 해양 R&D 사업 현황

- 해양수산부 소관 20개 R&D 사업
- 2015년도 해양수산부 R&D 총 예산 5,911억 원 중 3,026억 원 규모
 ※ 정책연구개발 및 연구기관 지원 등 2,885억 원 제외

표 1.8. 해양수산부 R&D 총 예산

기술분야	구분	'15년 예산 (단위: 백만 원)
해양자원 (MRS)	<ul style="list-style-type: none"> • 미래해양자원기술개발 • 해양청정에너지기술개발 • 미래해양산업기술개발 • 수산실용화기술개발 • 수산물 유통·가공 기술개발 • 해양수산기술지역특성화 • 해양수산연구기획 • Golden Seed 프로젝트 	80,177
해양환경 (MEV)	<ul style="list-style-type: none"> • 해양수산환경기술개발 • 해양CCS기술개발 	26,331
해양생명공학 (MBT)	<ul style="list-style-type: none"> • 해양수산생명공학기술개발 • 포스트게놈 다부처 유전체 	27,366
해양관측 및 예보 (OOF)	<ul style="list-style-type: none"> • 해양과학조사 및 예보기술개발 • 차세대 해양관측위성 개발 	51,965
해양공학 (MEG)	<ul style="list-style-type: none"> • 해양장비개발 및 인프라 구축 	43,507
해안공학 및 물류 (CEL)	<ul style="list-style-type: none"> • 첨단항만물류기술개발 	12,750
해사안전 (MSF)	<ul style="list-style-type: none"> • 해양안전 및 해양교통시설기술개발 	17,847
극지해양 (POS)	<ul style="list-style-type: none"> • 극지 및 대양과학연구 • 대형해양과학조사선 건조 • 해양과학 국제연구 	42,634
합 계		302,577

- 해양수산부 해양 R&D 사업의 2015년도 투자금 현황을 살펴보면, 해양 자원 (MRS) 분야에서 약 800억의 연구비가 투입되어 전체의 27%로 가장 높았으며, 그 다음으로 해양관측 및 예보 (OOF)에 약 520억 (17%), 해양공학 (MEG)에 약 435억 (14%), 극지해양에 약 426억 (14%) 순서로 나타남

- 상위 4개 분야를 제외한 나머지 4개 분야 (해양생명공학, 해양환경, 해사안전, 해안공학 및 물류)의 투자금은 전체의 10% 미만으로 나타남
- 해양자원(MRS) 분야는 크게 해양광물 및 심층수 수자원 개발 부분, 해양청정에너지 개발 부분, 전통 수산업 미래 산업화 부분 등으로 나뉘어 창조형 해양수산 산업 육성의 전략을 위해 사업이 수행되고 있음
- 과학기술정보통신부의 해양기초원천기술개발사업과 비견되는 해양생명공학(MBT)분야 사업으로는 '09년 해양바이오활성화 대책 이후 범부처 사업의 일환으로 시작된 해양수산생명공학기술개발 사업과 '14년 부처별로 개별 산발적으로 추진된 유전체 사업의 투자 효율화를 위해 시작된 포스트게놈 다부처유전체사업이 있음
- 해양생명공학(MBT)의 기초원천기술은 해양 유래물질 산업용 신소재, 신약 개발 등과 같은 해양생명공학(MBT) 기반 해양 신산업뿐만 아니라, 이 후 해양조류를 이용한 에너지 기술 개발 등 해양에너지(MRS) 부분과, 해양생태계 복원과 관리기술 등 해양환경 (MEV)의 기초 원천 기술 개발의 마중물 역할을 하였음
- 해양수산부의 기초연구에 투자는 산업화 연계 강화 전략에 따라 2014년 대비 43.1%로 기초연구비가 급감하였음
- 따라서, 해양수산 R&D 중장기계획 수립 시 관련 기초연구 분야 기획은 과기부가 전담하는 것으로 부처간 협의
- 과학기술정보통신부는 다양한 분야의 연구진이 참여가 가능하도록 과제에 대한 프로그램 개발로 참여기관을 다양화하고 학제간 융합을 유도하도록 함

그림 1.8. 해양수산부 주요 사업의 R&D 투자 특징
 (출처: KISTEP (2015~2017) 정부 연구개발예산 · 기금 현황분석)

1.4.3. 과학기술정보통신부/해양수산부 해양·극지 R&D 사업 비교
 - 해양분야

구분	과학기술정보통신부 사업	해양수산부 사업
목표 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양생태계로부터 새로운 기능의 생명체 발굴 및 규명을 통한 기초원천 기술 확보 - 해양생명기능, 해양바이오기반 신소재, 해양바이오기반 신의약 연구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실용·실증 연구를 토대로 해양산업 진흥 - 해양산업진흥 중심연구 (해양에너지, 해양장비, 해양산업신소재, 항만·물류 시스템, 신선박기술) - 기후변화 및 연안재해 대응 (연안재해 관측예보, 전지구적기후변화예측 및 대응) - 해양경제 영토확보 (해양영토 주권강화, 해양자원 선점) - 삶의 질 향상 (청정한 바다조성, 건강한 연안환경 구축, 안전한 해양이용, 친수공간 해양문화 창조) 등
수행 특성	○ 학·연 중심의 기초연구	○ 산·연 중심의 응용연구 개발
예산 및 기간	<ul style="list-style-type: none"> ○ '15년 사업예산 : 35 억원 ('14년 36 억원) ○ 사업기간 : '10~'19 년 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사업비 : 1 조 8526 억원 ('12~'15 년) ○ 사업기간 : '04 ~'20 년

- 극지분야

구분	과학기술정보통신부 사업	해양수산부 사업
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 북극 5개 연안지역 내에서의 관측거점 확보, 동토층 지역의 대기-토양-생물 생태계 특성 규명 연구 ○ 노르웨이(스발바드), 미국(알래스카), 러시아(시베리아), 캐나다(캠브리지), 그린란드(자켄버그) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양극해 해빙-해양 변화조사 및 해저 환경도 구축 ○ 양극해 해양생물자원 탐사 및 활용 기술 개발 ○ 쇄빙연구선 「아라온」 활용
예산 및 기간	<ul style="list-style-type: none"> ○ '15년 사업예산 : 24 억원 ○ 사업기간 : '11 년~'19 년 	<ul style="list-style-type: none"> ○ '14년 사업예산 : 60 억원 ○ 사업기간 : '11 년~'16 년

1.5. 국내 해양수산 R&D 중장기계획 ('14~'20)

- 해양수산 분야에서 세계를 선도하는 기술 20개 확보, R&D 분야에 민간 참여비율을 40%, 해양 수산 일자리 창출 7.8만 명을 목표로 7년간 총 6조9000원이 투자할 것을 과학기술정책의 최고 의사결정기구인 국가과학기술심의회 의결을 거쳐 확정함

표 1.9. 「해양수산 R&D 중장기계획」Quick-Win 기술

전략	QUICK WIN	전략	QUICK WIN
해양영토 주권강화 및 해양경제 영토확대	해양 예측 예보시스템 구축 기술	창조형 해양수산 산업육성	마니라등 해양 레저산업 관련기술
	국가해양영토 광역감시망구축 활용		해양플랜트 기자재 기술
	해양극한 환경 극복기술		선박평형수 관리기술
창조형 해양수산 산업육성	친환경 고부가 양식기술	국민행복 해양공간 창조	유류 HNS 해양유출사고 대응기술
	수산물 안전 및 유통 선진화 기술		적조 해파리등 유해해양생물 관리
	해양바이오 에너지 생산기술		CO ₂ 해양지중 저장기술
	해저자원 탐사 및 개발기술		연안재해 관리기술
	초대형 해양 구조물 구축 활용		e- Navigation 기술
	U기반 해운 물류 시스템 구축 기술		유무인 도서관리 및 활용기술
	수중 로봇개발 및 시스템 구축		해양헬스케어 기반 구축

출처 : 해양과학기술 진흥원

- ‘국민의 꿈과 행복을 실현하는 창조형 해양수산 과학기술’이라는 비전 하에 ▲해양영토주권 강화 및 해양경제영토 확대 ▲해양수산 산업육성 ▲국민행복 해양공간 창조라는 3대 전략을 세우고 ▲해양과학 조사·예

보 역량 강화 ▲해양환경 개선 및 위해요소 대응역량 강화 등 12대 실행전략을 세웠다. 이를 실행하기 위해 ▲해양예측·예보 시스템 구축 기술 ▲대양·심해지역 해양 탐사 기술 등 70개 중점기술을 개발할 예정 2014년부터 2020년까지 진행될 예정임

- 70개 중점기술 중 파급효과가 크고 조기에 성과를 창출할 수 있는 해양 바이오 에너지 생산기술, 해저자원 탐사 및 개발 기술, 등 20개 기술을 ‘퀵윈(Quick-Win) 기술’로 선정해 예산 등을 우선 반영할 예정임

그림 1.9. 해양수산 R&D 중장기계획('14~'20)

그림 1.10. 미래여건변화와 해양수산 R&D의 방향

1.6. 국내 해양연구 관련 SWOT 분석

구분	내용	구분	내용
강점	<ul style="list-style-type: none"> • 3면이 바다로 둘러싸인 반도 국가로 난류와 한류가 만나며, 대륙붕지형을 갖고 있어서 풍부한 어족지원 및 해양자원 보유 • 국가적 바이오산업 지원정책을 통해 21세기 국가 경쟁력을 높이기 위한 핵심 기술로 육성 중 • 해양생물이 가지는 특이성과 유용성 • 해양생물의 이용을 위한 기반기술의 확보(양식기술 및 어류 형질전환기술 등은 세계적 경쟁력 확보) • 국외 해양연구기지 (한국 해양연구원의 남서태평양 기지 및 남북국기지) 적극 활용 가능 	기회	<ul style="list-style-type: none"> • 해양생물로부터의 신 물질 발견 확률이 육상생물보다 월등히 높은 실정 • 해양 바이오기술은 신생 기술이므로 집중 투자 시 단기간에 세계수준에 도달할 가능성이 높은 분야 • 해양 바이오의 잠재력 및 중요성에 대한 인식이 국가적으로 확대되는 실정 • 해양심층수 개발 및 관리에 관한 법률 시행
약점	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 바이오연구는 선진국에 비해 최근에 추진되어 (2004년 국토 해양부의 마린 바이오21 사업으로부터), 축적된 성과가 아직 미미한 상황 • 대규모 초기투자가 필요한 분야이나, 국가지원 부족 • 해양 바이오에 필수적인 기본 인프라시설 (천연물뱅크, 해양바이오에 특수화된 장비 등) 미미 • 핵심 연구인력의 수급 불균형 • 핵심 혹은 거점 연구센터 및 실용화센터가 부재하고 발전전략 미미 	위협	<ul style="list-style-type: none"> • 각국의 해양생물자원화로 해외 해양생물 탐사 및 확보 어려움 존재 • 조정되지 않은 무조건적인 개발의 확대는 해양생태계 및 해양생물다양성을 훼손할 가능성을 제고 • 해양 유전자원의 확보 및 활용에 관한 인접국들과의 경쟁 심화 • 미국, 일본, 중국 및 유럽 등 선진국에서는 국가의 정책적인 지원 하에 해양 바이오산업 육성 • 해양 바이오산업 제품화 시장규모의 확대에 인한 국가 간 경쟁 치열

1.6.1. SWOT 분석의 시사점

- 국내 해양기술수준: 선진국대비 79%
 - 선진국대비 해양기술격차: 해양기술 5.5년 (전기술분야 평균 4.4년)
 - 해양생명: 5.9년
 - 해양신소재: 5.9년
 - 해양신의약: 5.9년
 - 해양환경: 6.9년
 - 해사안전: 4.5년
 - 국내 해양 R&D 투자: 해양분야 기초원기술개발 미흡
 - 해양생명: 7.6%
 - 해양신소재: 7.6%
 - 해양신의약: 7.6%
 - 해양환경: 8.7%
 - 해사안전: 5.9%
-
- 현재 과학기술정보통신부에서는 4 개의 R&D 사업을 진행하고 있으나, 이는 과거 교육과학기술부에서 20 개의 해양분야 R&D 사업을 진행하였던 것에 비해 월등히 감소함
 - 해양수산부의 경우 9 개 분야에 20 개의 R&D 사업을 진행중에 있으나, 해양자원 분야에 연구비 기준 27% 이상, 연구과제 기준 50% 이상의 편중된 사업을 진행 중에 있으며, 해양생명, 해양신소재, 해양신의약 등 해양바이오 관련 기초연구와 해양환경, 해양안전 등의 분야에 대한 연구지원이 미흡한 실정임
 - 과학기술정보통신부 해양 R&D 사업 현황은 생명기능 및 신소재, 신의약 등 해양과학기술 기술분류체계 중에서 해양생명공학 기초원천기술 개발에 집중
 - 이들 사업의 특징들은 향후 파급효과가 기대되는 기초원천기술의 개념보다는 즉각적인 응용 및 산업화와 연관된 연구과제에 집중되어 있어 기초원천기술에 대한 지속적이고 과감한 투자가 요구됨
 - 비록 우리나라의 해양분야 R&D 기술수준은 전체과학기술의 평균 기술수준과 유사한 수준이나 기술격차에서는 큰 차이를 보이며, 특히 하위 그룹에 속하는 해양생명공학, 해양환경, 해사안전, 해양극지 분야는 기

술수준과 기술격차 모두에서 큰 차이를 보여 지속적인 투자 및 연구개발이 요구됨

- 해양생명공학 분야는 해양생명공학 분야의 주 연구수행주체가 주로 대학으로 기초연구와 응용연구에 비중이 많음으로 인해 논문 성과의 비중이 다른 분야 보다 상대적으로 높은 것이 확인됨
- 바이오산업의 주요 대상은 그동안 쉽게 접근이 가능한 육상생물이 주를 이루었으나 새로운 과학기술의 발전과 함께 국한된 소재에서 벗어나기 위하여 최근에는 해양생물로의 전환이 빠르게 이루어지며 해양 신소재에 대한 원천기술 확보가 필요함
- 해양신의약 분야는 시작단계에 있으며 국외의 연구내용도 아직은 초기 단계로서 의약품 4개만이 제품화로 5~6년 정도의 기술격차를 보이고 있어 기술개발을 통해 추격 가능
- 해양자원 및 극지 분야 등 연구비 투자가 높은 분야는 기술수준 및 격차뿐만 아니라 많은 특허 및 논문 성과가 도출되어 해당 분야에서 선도적 역할을 함
- 따라서 전체 해양분야 R&D 기술개발에 균형 발전이 이루어질 수 있도록 일부 분야에 편중된 연구사업 및 지원에 대한 적절한 분배 및 조정이 절실히 요구됨
- 특히, 과학기술정보통신부는 기술수준 및 격차, 연구비 투자 비율이 낮은 해양생명, 해양신소재, 해양신의약, 해양환경, 해사안전 분야에 대해 적극적인 연구 사업 진행 하여 균형적인 기초원천 기술의 발전과 국가 신성장동력원 확보를 통해 국가 비전을 제시함
- 해양안전정보시스템 등을 이용한 범국가적 해양재난안전 관리 체제를 마련하여 해양 안전 분야의 업무 효율성을 제고하고자 국가적인 노력이 지속되고 있지만, 아직까지는 해양 선진국의 현황에 비해 낮은 수준으로 향후 지속적인 투자를 통해 경쟁력을 향상이 요구됨
- 해양안전 분야 투자방안은 현재 수행하는 기획과제와 성격도 많이 다르고 투자의 범위가 광대하므로, 별도의 기획사업을 통해 새로운 전문가 집단을 확보하여 도출하는 것이 바람직할 것으로 사료됨 (중간보고서에서도 위와 같이 제안하였음)

2. 연구목표

2.1. 기획연구의 목표 및 내용

2.1.1. 기획연구의 목표

국내 해양기술의 혁신적 도약, 미래 신성장 동력 창출 및 글로벌 미래시장 개척의 범국가차원 요구에 부응하는 『해양기초원천기술 개발로드맵』 수립

- 과학기술 발전이 가속화되고 기술주기가 짧아져 해양분야 유망기초원천기술 로드맵의 재수립 필요 제기
- 『해양산업』은 해양을 이용, 개발 또는 보전, 보호하는 모든 (생산적) 활동을 총칭하며, 국내외 기술동향 및 환경, 국가정책분석을 바탕으로 미래시장 대비를 위한 새로운 패러다임으로 파급효과가 큰 『해양생명』, 『해양신소재 개발』, 『해양신의약 발굴』, 『해양생태환경제어』 분야의 유망기초원천기술개발 발굴 및 전략제시 필요
- 수립된 국가 상위계획 추진체계의 전략적 연계성 강화 및 연구과제간 중복성이 근본적으로 해소된 해양관련 기초원천 기술 분야를 우선 고려하고 최근의 수요를 반영하는 연구개발 포트폴리오 수립

그림 2.1. 기획연구 비전 및 최종목표

2.1.2. 기획연구의 내용

- 국내외 해양분야 정책동향 분석
- 국내외 해양분야 연구개발동향 분석
 - 과학기술정보통신부 해양 R&D 사업분석
 - 해양수산부 해양 R&D 사업분석
- 국내 해양분야 기술수준 및 기술격차 분석
- 신규 해양분야 유망기초원천기술 도출 및 당위성 분석
- 각 신규도출분야 추진체계 및 추진전략 수립
- 과학기술정보통신부 해양분야 유망기초원천기술 개발 로드맵 수립

분야	내용
해양생명 기초연구 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 해양생명체의 기능과 정보를 발굴 및 활용하여 인간의 건강증진(질병의 예방/개선/치료)과 편리한 생활(다양한 물질 및 소재)을 위한 물질개발의 근간이 되는 원천기술 • 생물공학기술을 바탕으로 생물체의 기능과 정보를 활용하여 인간생활에 유익한 생명체 및 물질을 생산에 대한 생명현상의 기작 연구
해양신소재 기초원천 기술분야	<ul style="list-style-type: none"> • 인간의 건강증진(질병의 예방/개선/치료)과 편리한 생활(다양한 물질 및 소재)을 위한 물질개발의 근간이 되는 원천기술개발
해양신의약 발굴기술 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 생물체내의 유전자, 단백질, 세포 등의 구조, 기능 및 그 상호작용에 대한 이해를 바탕으로 개발되는 생물의약(Biologics)과 질병타겟에 대한 치료제(Small Molecules)로 사용되는 소분자의약을 생산하는 분야
해양생태 환경제어 기초원천 기술분야	<ul style="list-style-type: none"> • 생물다양성 및 UN 해양법 협약 등 국제규범을 실천하고, 해양생물자원의 지속가능한 이용을 위하여 우리나라 해양생태계를 보전, 관리하는 원천기술

2.2. 기획연구의 범위 및 추진전략

2.2.1. 기획연구의 범위

- 해양분야 유망기초원천기술개발 R&D 사업 추진전략 설정
- 해양분야 유망기초원천기술개발 R&D 사업 로드맵 작성
- 외부의견 수렴을 통한 기대효과 및 정책적 제언 도출
- 해양분야 유망기초원천기술개발 R&D 도출과제 RFP 기획

2.2.2. 기획연구의 추진전략

그림 2.2. 기획과제의 추진전략

2.2.3. 기획연구의 추진체계

그림 2.3. 기획과제의 추진체계

2.2.4. 기획연구 경과

기획 목표	기획 내용	일정
1차 착수회의	연구동향 취합 및 기획분야 설정	08.01
3자회의	과기부-연구재단-기획팀 3자 회의	08.29
Brain storming	각 분야의 기술 분석 및 키워드 선정(설문조사 형식)	~08.18
키워드 조정	특허맵/논문조사를 위한 키워드 확인	~08.21
2차 기획회의	특허 및 논문조사 자료 검토	09.21
특허맵	원천선행기술 도출	~10.24
논문 분석	개량가능기술 도출	~10.24
중간점검	기술달성 가능성과 경제적 파급효과, 전략적 중요성에 대한 포트폴리오 분석 (설문조사 형식, 공백기술/요소기술 도출)	10.24
3차 기획회의	중간점검 분석자료 검토	10.24
시장 조사	기술가치 평가	~11.07
국내외 정책 분석	각 분야별 검토	11.17
4차 기획회의	시장 및 정책분석 자료 검토	11.17
기획보고서 초안 취합	기획위원회, 자문위원회 등을 구성하여 유망분야 발굴 및 세부계획서 수립	12.04
5차 기획회의	기획보고서 초안 검토	12.04
공청회	기술개발로드맵 작성의 주요내용(핵심기술/기술개발 전략/법/제도/인프라 등)에 대한 의견 수렴 추진	12.08
기술개발로드맵 초안 작성	시장, 정책, 설문자료 및 공청회 의견을 통한 기술개발로드맵 초안 도출	~12.15
6차 기획회의	기술개발로드맵 초안 검토	12.15
기술개발 로드맵 작성	로드맵 초안 점검을 위한 실무위원회 및 연구자 토론회 개최	12.15
최종보고서 마감		12.22

3. 연구의 내용 및 범위

3.1. 해양분야 기초원천 연구개발

3.1.1. 신규 해양분야 유망기초원천기술 도출

3.1.1.1. 논문 분석

- 국내 해양기술의 혁신적 도약, 미래 신성장 동력 창출 및 글로벌 미래 시장 개척의 범국가차원 요구에 부응하는 해양분야 기초원천기술 확보를 위한 연구개발과 투자전략 수립분석범위 및 검색식
- 본 논문분석에서는 특히 분석에 사용되었던 키워드를 선정하고 검색식을 작성한 후 국가과학기술정보센터(NDSL) 사이트를 이용하여 논문검색을 수행하였음
- 논문분석도 특허분석과 동일하게 제1과제 해양생명 기초연구 분야, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초원천 기술분야별로 분류한 후 분석을 수행하였음. 검색식은 하기와 같음

표 3.1. 논문 검색식

연구과제	분류	담당
해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구 사업	제1과제 해양생명 기초연구 분야	((광합성 광계 에너지 "빛 에너지" 빛에너지 광 에너지 "광 에너지" 탄소동화 "carbon fixation" photosystem "light energy") (분석 analy* 경로 pathway 기전 기작 mechanism) (남세균 시아노박테리아 남조류 cyanobacteri* bacteri* 미세조류 microalga* Tetraselmis Phaeodactylum Dunaliella Chlamydomonas Cyanidioschyzon Ectocarpus Ostreococcus Prochlorococcus Emiliana Thalassiosira Dictyostelium Plaphyra Spirulina Chlorella Synechocystis Synechococcus Anabaena Guillardia Odontella)) (("유전자 분석" 분자유전학 형질전환* "유전자 활용" "유전자 이용 기술" "유전자 확보" "genomic tool" "molecular tool" "gene modification" "gene expression" "gene regulation" genomics transformation 게놈편집 지놈편집 "genome editing" "cloning vector" "transformation vector" Cas9 CRISPR biomass "bio energy" biofuel 바이오에너지 bioenergy "바이오 에너지" "mass culture" 대량배양) (남세균 시아노박테리아 남조류 cyanobacteri* "marine bacteri*" 해양세균 "해양 세균" 미세조류 microalga* "marine organism*" Tetraselmis Phaeodactylum Dunaliella Chlamydomonas Cyanidioschyzon Ectocarpus Ostreococcus Prochlorococcus Emiliana

		<p>Thalassiosira Dictyostelium P phyra Spirulina Chl ella Synechocystis Synechococcus Anabaena Guillardia Odontella)) (((적응 acclimation adaptation) (생태 환경 ecolog* environment*)) 합성경로 "합성 경로" "synthetic pathway" 산성화 acidification 바이오리파이너리 bi efinery 바이오연료 biofuel 대사조절 대사경로 "metabolism of micro gansim" "metabolic pathway" 부영양화 적조 "red tide" eutrophication blooming) (해양 marine ocean "sea water" seawater 해수 극지 북극 남극 극지방 arctic antiarctic "fresh water" freshwater 담수 민물) (진균 남세균 시아노박테리아 남조류 cyanobacteri* 세균 박테리* 곰팡이 fungus fungi bacteri* 미세조류 microalgae Tetraselmis Phaeodactylum Dunaliella Chlamydomonas Cyanidioschyzon Ectocarpus Ostreococcus Prochl ococcus Emiliaia Thalassiosira Dictyostelium P phyra Spirulina Chl ella Synechocystis Synechococcus Anabaena Guillardia Odontella)</p>
제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야		<p>(Pseudokirchneriella Porphyridium Isochrysis Pavlova Nannochloropsis Chroococcus Synechococcus Tribonema 거대조류 Macroalgae macroalgal 툫 모자반 토의채 툫나물 따시래기 꼬시래기 녹미채 흙배기 양서채 소엽해조 감태 Kajime Ecklonia Gulfweed Sargassum "S. fusiforme" Sargassaceae Hizikia "Sea weed fusiforme" 해조* 갈조류 갈조식물 Phaeophyceae phaeophyta "Brown algae" "brown seaweed" 미역 Undaria "U. pinnatifida" "sea mustard" wakame 다시마 Laminaria "L. japonica" "sea tangle" kelp "sea cabbage" Saccharina "S. japonica" 부채말 부챗말 Padina "P. arborescens" 큰실말 Cladosiphon 녹조류 녹조식물 "green algae" Chlorophyta 홍조류 홍조식물 Rhodophyta "red algae" 김 laver 해초 Porphyra 우뚝가사리 Gelidium "Irish moss" 과래 Enteromorpha "green laver" Agar 매생이 Capsosiphon "sea algae" 청각 "sea staghorn" Codium 해양생물 진균 세균 박테리아 곰팡이 "marine organism" fungus fungi bacteria bacterium 미세조류 microalgae Tetraselmis Phaeodactylum Dunaliella Chlamydomonas Cyanidioschyzon Ectocarpus Ostreococcus Prochlorococcus Emiliaia Thalassiosira Dictyostelium Porphyra Spirulina Chlorella Synechocystis Synechococcus Anabaena Guillardia Odontella) (리피드 지질 오일 lipid oil fat 지방산 "fatty acid" 도코사헥사논산 "docosahexaenoic acid" 에이코사펜타논산 "eicosapentaenoic acid" 아라키돈산 "arachidonic acid" DHA 카르복실산 "carboxylic acid" 카로티노이드 </p>

		<p>carotenoid 베타카로틴 carotene 아스타잔틴 astaxanthin 탄수화물 carbohydrate polysaccharide 다당류 폴리페놀 polyphenol 단백질 protein 엘라스틴 elastin 콜라겐 collagen 키틴 chitin 키토산 chitosan 알긴산 알기네이트 alginate 카라기난 carrageenan 셀룰로오스 cellulose 한천 agar 바이오디젤 biodiesel 바이오연료 Biofuel 고분자 폴리머 polymer 바이오플라스틱 바이오고분자 bioplastic 실리카 silica 미네랄 mineral 실크단백질 "silk protein" 열수액화 "hydrothermal liquefaction" HTL) (해양 marine ocean 극지 북극 남극 극지방 polar arctic antiarctic)</p>
	<p>제3과제 해양 신의약 발굴 분야</p>	<p>("marine invertebrate" "marine bacteria" microalgae cyanobacteria sponge "soft coral" gorgonian fungus fungi "marine microorganism" tunicate streptomyces symbioant dinoflagellate algae cnidarian molluscs echinoderm "red algae" "green algae" "brown algae" 해면동물 "해양 미생물" 남세균 남조류 강장동물 미세조류 산호 극피동물 해조류 진균 해양생물 세균 박테리아 곰팡이 "marine organism" bacteria bacterium microalgae microalgal Tetraselmis Phaeodactylum Dunaliella Chlamydomonas Cyanidioschyzon Ectocarpus Ostreococcus Prochlorococcus Emiliana Thalassiosira Dictyostelium Porphyra Spirulina Chlorella Synechocystis Synechococcus Anabaena Guillardia Odontella) (anticancer cancer antibiotics "bacterial infection" antiinflammatory anti-inflammatory antiaging antioxidant antiviral "viral infection" "bioactive compound" "secondary metabolites" cytotoxicity 항암 미백 항노화 항생제 항산화 항바이러스 함염증 면역 "생리활성" "생물 의약품" "marine biologics" "바이오 메디칼" "marine medicine" "천연물 신약" "marine-derived drugs" "해양 식물성 화학물질" "marine phytochemicals" "생물 약물전달 소개" "marine drug delivery carrier" "해양 생물 항상" "marine anticancer drugs" 항노화 "marine anti-aging agent" 항균 "marine antibiotics" "조직 재생용 해양 바이오 소재" "tissue regeration marine biomaterials" "피부 재생 해양 바이오소재" "skin regeneration marine biomaterials" "골조직 재생 해양 바이오소재" "bone regeneration marine biomaterials") (해양 marine ocean 극지 북극 남극 극지방 polar arctic antiarctic)</p>
	<p>제4과제 해양생태 환경제어 기초원천기술분 야</p>	<p>(apparatus device 장치 어레이 array 마이크로어레이 microarray 칩 chip 센서 sensor 방법 method process) (모니터링 monitor* evalut* 평가 분석 analy* 판정 decision 식재 plant* 관찰 observat* 이식 transplant* 조절 control* 방제 prevent* 검출 detect* 유전자 유전체 gene </p>

		<p>오믹스 omics 메타게놈 metagenom* 단백질 protein 효소 분자 molecular 분자정보 대사 경로 pathway 바이오마커 표지인자 biomarker 지표 marker 발현 기작 기전 mechanism* 유전학 genetic) (중금속 수은 카드뮴 구리 아연 "heavy metal" mercury cadmium copper zinc 유기오염물질 유기화학물질 다이옥신 "organic pollutants" "organic chemical*" dioxin* "내분비계 교란물질" 환경호르몬 "endocrine disrupting chemical*" 생물확산 생물축적 bioaccumulation 생물농축 bioconcentration 환경 environment 생물 변화 스트레스 stress 오염 중금속 잔류성유기오염물질 "잔류성 유기오염물질" or "잔류성 유기 오염물" or POP* "유기화학 물질" "환경 호르몬" 환경호르몬 내분비계교란물질 생물영향 "heavy metal" metal "trace metal" "persistent ganic pollutant" 생태계 ecology 먹이망 먹이사슬 "food web" "food chain" 영양단계 "trophic level" 영양지위 "trophic position" "종간 경쟁" "interspecies competition" 외래종 "exotic species" "동위원소 생태학" "안정동위원소 생태학" "isotope ecology" "stable isotope ecology" 환경 environment 생태 ecology "initiating event" 변화 stress pollution 오염 "전 지구적 변화" 중금속 잔류성유기오염물질 "heavy metal" metal "trace metal" "persistent ganic pollutant" 유기화학물질 "환경 호르몬" 환경호르몬 "내분비계 교란물질" 교란 "생물 서식지" 인공독 어초 인공어초 어초블록 "어조류 착생블록" 갯녹음 백화 "해조류 종묘 부착" "organism habitats" "artificial bank" "fishing reef" "algae attachment block" 알비노 albinism "whitening event" "artificial container" "생태계 복원" "해양생태계 복원" "수생태계 복원" "갯벌생태 복원" "ecosystem restoration" "marine ecosystem restoration" "aquatic ecosystem restoration" "mud flat ecosystem restoration" 녹조현상 "green algal bloom" 적조현상 "red tide" "항조류 활성" "anti-algae activity" 부착생물 periphyton "양식장 폐수처리" "farm wastewater treatment" 유출유 "spilt oil" 영양염 nutrient "식물 독성물질" 마이크로시스틴 아나톡신 "phyto-toxins" microcystin "anatoxin-a" 유류오염 "oil-contaminant" "수산물 원산지" "origin of marine species" "환경 감식" "environmental forensics" 생물확대 biomagnification "영양 전송" "trophic transfer" "생물 확산" bioadvection) (해조류 해중립 해초류 잘피 조류 algae "marine algae" 염생식물 halophyte "marine forest" seagrass Zostera 남조류 남세균 "blue green algal" 시아노박테리아 cyanobacteria 마이크로시스틴 microcystis 해파리 jellyfish 녹조 Anabaena Oscillatoria Planktothrix nodularia 적조류 와편모조류 dinoflagellate gymnodium Cochlodinium </p>
--	--	--

	prorocentrum 해양생물 진균 세균 박테리아 곰팡이 "marine organism" fungus fungi bacteria bacterium 미세조류 microalgae microalgal Tetraselmis Phaeodactylum Dunaliella Chlamydomonas Cyanidioschyzon Ectocarpus Ostreococcus Prochlorococcus Emiliana Thalassiosira Dictyostelium Porphyra Spirulina Chlorella Synechocystis Synechococcus Anabaena Guillardia Odontella) (해양 marine ocean 극지 북극 남극 극지방 polar arctic antiarctic)
--	--

가. 논문 건수

- 상기 논문 검색식을 이용한 논문검색 결과 제1과제 해양생명 기초연구 분야는 4,927건, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야는 10,779건, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야는 2,995건 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초원천기술분야는 3,012건으로 총 21,713의 논문을 확보하였음
- 본 연구과제에 대한 논문분석은 각 세부과제에 대한 연도별 발표 현황, 세부구간별 논문건수 등 전체적인 동향을 파악하는 것이 목적이므로 별도로 유효논문을 선별하지 않고 raw data를 이용하여 분석을 수행하였음

표 3.2. 논문 유효건수

연구과제	분류	raw data
해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구 사업	제1과제 해양생명 기초연구 분야 (A)	4,927
	제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야 (B)	10,779
	제3과제 해양 신의약 발굴 분야 (C)	2,995
	제4과제 해양생태 환경제어 기초원천기술분야 (D)	3,012

나. 논문 발표연도별 현황

그림 3.1. 연도별 발표 현황

- 본 연구과제에 대한 유효논문의 연도별 현황을 살펴보면 87년대 후반부터 00년대 초반까지 서서히 증가하는 추세를 나타내다가 이 후 증가하여 유사한 추세를 나타내었고 10년도 이후에 가장 많은 논문건수를 나타내었으나 최근에는 다소 하락하였음

그림 3.2. 제1과제 연도별 발표현황

- 제1과제의 발표연도별 논문건수를 살펴보면 87년부터 논문이 발표되어 10년부터 서서히 증가하는 추세를 나타내다가 12년 이후 급격히 증가하는 하였다가 최근인 16년에는 감소하는 양상을 나타내고 있음

그림 3.3. 제2과제 연도별 발표현황

- 제2과제는 87년도에 논문발표가 시작되어 다소 큰 상승폭으로 증가하였고 마찬가지로 10년 이후부터 급격히 증가하는 추세를 보인 후 최근에는 다소 감소하였음

그림 3.4. 제3과제 연도별 발표현황

- 제3과제는 90년대 후반까지 다소 미미한 발표건수를 보이다가 이후 상승폭이 증가하여 15년도까지 꾸준히 증가하는 양상을 보이고 있고 최근에는 감소하였음

그림 3.5. 제4과제 연도별 발표현황

- 제4과제는 80년대 후반부터 크지 않은 상승폭으로 증가율을 나타내었고 10년도에는 정체되는 양상을 보이다가 이후 다시 증가하였고 최근에는 하락세를 보이고 있음

다. 주요 구간별 논문 발표건수

그림 3.6. 구간별 논문발표 건수

- 본 연구과제에 대한 주요 구간별 논문 발표 건수를 보면 제2과제 관련 논문건수가 가장 많고 특히 4구간(05~10)에서 5구간(11~16)에서 가장 높은 구간별 상승폭을 나타내었음. 한편, 제3과제 및 제4과제는 유사한 주요 구간별 증가를 나타내었음

그림 3.7. 구간별 점유율

- 본 연구과제의 세부과제의 구간별 점유율을 보면, 모든 구간에 제2과제 관련 논문의 점유율이 가장 높게 나타났고 구간 변화에 따라 감소하는 추세를 보이고 있음 한편, 제1과제, 제4과제의 경우 구간에 따라서 미미하나 점유율이 다소 상승하는 추세이고 제4과제는 증가 후 감소하는 추세임

그림 3.8. 세부과제 구간별 점유율

- 세부과제별로 구간별 점유율을 보면 모든 세부과제의 5구간에서 가장 높은 점유율을 나타내었음. 따라서 본 연구과제의 세부과제는 1구간부터 5과제까지 구간별 증가율이 점점 증가하는 것으로 파악됨

라. 논문분석 결과

- 본 연구과제에 대한 논문분석은 제1과제 해양생명 기초연구 분야는 4,927건, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야는 10,779건, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야는 2,995건 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초원천기술분야는 3,012건으로 총 21,713의 논문을 확보하여 수행하였음
- 본 연구과제에 대한 유효논문의 연도별 현황을 살펴보면 87년대 후반부터 00년대 초반까지 서서히 증가하는 추세를 나타내다가 이 후 증가하여 유사한 추세를 나타내었고 10년도 이후에 가장 많은 논문건수를 나타내었으나 최근에는 다소 하락하였음
- 각 과제별 발표연도별 논문건수는 모두 유사하게 80년대 후반부터 논문 발표가 증가하기 시작하여 꾸준히 증가세를 유지하다가 14년 및 15년에 가장

높은 증가세를 나타내었고 이후 감소세를 보이고 있음

- 주요 구간별 논문 발표 건수를 보면 제2과제 관련 논문건수가 가장 많고 특히 4구간(05~10)에서 5구간(11~16)에서 가장 높은 구간별 상승폭을 나타내었음. 한편, 제3과제 및 제4과제는 유사한 주요 구간별 증가를 나타내었음

3.1.1.2. 특허 분석

- 분석 배경

- 해양생명 기초연구, 해양신소재, 해양 신의약, 해양환경, 해양 재해 및 에너지 분야에 대한 현재 알려진 논문 또는 특허에 대한 검색을 수행하여 해당 기술의 원천선행기술과 개량가능 기술, 핵심 기술 및 요소기술 분석을 통해 기술개발 로드맵 작성에 사용될 예정임
- 아직까지 미개척분야로 알려진 해양 신소재, 해양 신의약, 환경 및 에너지 등의 유망기초 원천 기술 분야를 선정하고 그에 따른 신기술 개발의 기획 단계에서 새로운 과제의 탐색이나 다른 나라의 기술 개발 동향 파악, 공백 및 미개척 분야 파악을 통한 기술개발 역량을 집중하고 블루오션 창출 및 원천 특허 출원을 통한 특허권 추가확보에 활용할 수 있음

가. 특허 분석 목적

- 본 특허분석의 목적은 해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구사업의 세부과제로 제1과제 해양생명 기초연구 분야, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초원천기술분야로 분류 후 관련 특허출원 동향, 기술추이 분석 및 기술의 변화 등을 분석하고, 최근 부상기술 등을 도출하여, 전략적인 연구개발 계획 수립에 활용할 수 있도록 함으로써, 중복연구를 방지하고, 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 특허정보를 제공하기 위함임
- 유효특허를 대상으로 정량분석을 수행하여 해외 진출 가능성이 있는 주요 시장국의 출원동향을 분석하고 관련 기술의 현재 위치 및 변화 등을 예측할 수 있으며 틈새시장 발굴 전략에 대한 참고 특허로 활용할 수 있음
- 해양분야 기초원천기술 연구에 대한 특허 정보를 활용하여 특허맵을 작성함으로써 최신 기술동향을 파악하고 출원인 및 권리정보를 분석하여 연구개발 방향을 제시할 수 있고 특허 회피 및 대안 특허 개발 방향제시 등에 대하여 나아갈 길을 제시하여 중복연구 및 특허분쟁 방지, 기술추이분석 및 연구개발등에 활용 가능함

나. 특허기술 동향분석

○ 분석방법 개요

- 본 과제와 관련된 특허자료를 조사, 분석하여 연구설계 및 특허회피의 참고 자료로 활용하고자 함
- 본 특허분석에서는 세부과제인 제1과제 해양생명 기초연구 분야, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초 원천기술분야와 관련된 특허동향조사를 수행한 후, 관련 연구 분야의 출원동향을 파악하고 본 과제의 연구개발 방향을 제시하고자함

○ 분석 범위

- 본 분석에서는 WISDOMAIN DATA BASE를 기준으로, 2017년 09월 검색일 현재까지 공개 또는 등록된 한국 특허를 분석대상으로 함

표 3.3. 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WISDOMAIN	1980.01.01~ 현재(2017.09)	특허공개 및 등록 전체문서

※ 정량분석구간: 한국 - ~ 2017. 09(출원년도 기준)

○ 기술 분류 체계

- 본 연구과제에 대한 기술분류는 상술한 바와 같이 제1과제 해양생명 기초연구 분야, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초원천 기술분야로 나누어 수행되며 인하대 이철균 교수가 연구 책임자로 총괄기획을 담당함

표 3.4. 분석대상 기술분류기준

연구과제	분야	담당
해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구 사업	제1과제 해양생명 기초연구 분야	진언선, 임상민
	제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야	박진병, 원종인
	제3과제 해양 신의약 발굴 분야	노정래, 한효경
	제4과제 해양생태 환경제어 기초원천기술분야	신경훈

○ 세부과제 기술 분류

- 본 연구과제에 대한 세부과제의 기술분류는 제1과제 해양생명 기초연구 분야, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초원천 기술분야별로 중분류와 소분류로 더 세분하고 정량분석 시 용이성을 위해 이에 해당하는 알파벳을 부여하여 구분하였음

표 3.5. 제1과제 세부분류

대분류	중분류	소분류	분류코드
제1과제 해양생명 기초연구분야 (A)	대사 기작 규명 (AA)	해양생물의 광합성	AAA
		이산화탄소 농축 메커니즘	AAB
		해양 빛 에너지 이용	AAC
		환경 적응	AAD
		극한 환경, 극지에 대한 적응과 응용	AAE
		해양미세조류의 생리와 다양성	AAF
	분석기술개발 (AB)	분자유전학적 연구 방법 개발	ABA
		마이크로반응기 배양기술	ABB
		오믹스 분석기술	ABC
		바이오칩 분석기술	ABD
		메타유전체 분석기술	ABE
	산업화 가능 물질 생산 (AC)	해양생물 유래 색소와 유용 성분	ACA
		생광물화와 그의 응용	ACB
		생규화와 생석회화	ACC
		해양 산성화와 생석회화	ACD
		해양생물 유래 고부가가치 산물	ACE
		해양생물 유래 신물질	ACF
		바이오매스, 바이오매스 에너지, 바이오매스 연료	ACG
		얼음결합 단백질	ACH
		대량배양	ACI
	시스템 생물학 (AD)	해양생물 대사 분석	ADA
		대사조절	ADB
		해양생물정보 처리	ADC
		해양생물 대사네트워크 구축	ADD
		해양생물 세포재설계	ADE
	해양 환경개선 (AE)	해양 생태	AEA
		해양 적조 or 부영양화	AEB
	형질전환기법 개발 (AF)	해양생물 유래 형질전환체 개발	AFA
		유전체 편집기술	AFB
		단백질 개량기술	AFC
DNA 진화기술		AFD	
특정부위 돌연변이		AFE	

표 3.6. 제2과제 세부분류

대분류	중분류	소분류	분류코드
제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야 (B)	미세조류 유래 신소재 (BA)	미세조류 PUFAs (MIA PUFAs)	BAA
		미세조류 카로티노이드 (MIA carotenoids)	BAB
		미세조류 지질 및 바이오연료 (MIA lipids)	BAC
		미세조류 균주 개발 및 배양 (MIA cultivation)	BAD
		대형조류 바이오연료 (MAA biofuels)	BAE
		대형조류 폴리머 및 대사체 (MAA metabolites)	BAF
		대형조류 효소 (MAA enzymes)	BAG
		대형조류 품종 개발 및 재배 (MAA cultivation)	BAH
	해양 박테리아 유래 신소재 (BB)	해양 박테리아 PUFAs (MB PUFAs)	BBA
		해양 박테리아 카로티노이드 (MB carotenoids)	BBB
		해양 박테리아 폴리머 및 대사체 (MB metabolites)	BBC
		해양 박테리아 효소 (MB enzymes)	BBD
		해양 박테리아 균주 개발 및 배양 (MB cultivation)	BBE
	기타 해양생물 유래 신소재 (BC)	해양 생물 효소 및 단백질 (MO proteins)	BCA
		해양 생물 대사체 (MO metabolites)	BCB

표 3.7. 제3과제 세부분류

대분류	중분류	소분류	분류코드
3과제 해양 신의약 소재 발굴 분야 (C)	신의약 소재 (CA)	생리활성물질(치료용소재)	CAA
		화장품 소재	CAB
		약물전달시스템(제형)	CAC
		조직재생 소재	CAD
	신의약 소재 생산 및 가공방법 (CB)	기능성 소재	CBA
		나노물질 구조결정	CBB
		미생물 발효	CBC
		상품화된 해양 유래 천연물질	CBD
		생리활성물질의 연속적 생산	CBE
		생물의 다양성	CBF
		작용기작 규명	CBG
		잠재적 저해제	CBH
		해양 신의약 개발	CBI
화학적 다양성	CBJ		

표 3.8. 제4과제 세부분류

대분류	중분류	소분류	분류코드
4과제 해양생태 환경제어 기초원천 기술분야 (D)	생태진단연구 (DA)	생물 추적	DAA
		환경오믹스	DAB
		생물확대	DAC
		동위원소생태학	DAD
		지표생물	DAE
		분자생태학	DAF
	해양환경개선 (DB)	생물복원	DBA
		생태계 복원	DBB
		생물 조절	DBC
		실시간 오염물질 검출	DBD
		식물독성물질	DBE
		생태독성	DBF
		환경감식	DBG

○ 검색키워드

- 본 세부과제와 관련된 핵심키워드는 세부과제 담당자로부터 송부되어 검색식 작성을 위한 기초자료로 활용하였음. 핵심키워드를 중심으로 키워드를 확장 및 추가하여 검색식을 작성하고 검색건수를 추출하였음
- 기술분야의 특성상 다수의 노이즈를 포함되는 문제를 방지하기 위하여 세부과제별 중복된 키워드를 삭제하였고 특히 검색에 더욱 적합한 키워드를 선정하여 활용하였음

표 3.9. 검색 키워드

키워드	키워드 확장	
제1과제	1.대사기작 규명	광합성 or 광계 or 빛에너지 or 해양생물 or 해양미세조류 or 탄소동화 or “photosynthesis of marine organisms” or “carbon fixation” or photosystem or “photosystem I” or “photosystem II” or “light energy” or “utilizing light energy” or 환경적응 or “acclimation to environment” or “adaptation to marine environment” or “adaptation to environment” or “adaptation to polar region” or “해양미세조류의 생리” or “해양미세조류의 환경적응” or “해양미세조류의 극지 적응” or “해양미세조류의 광합성” or “미세조류의 광합성” or “빛에너지 이용 기작”
	2.분석기술 개발/형질전환 기법	“해양생물 유전자 분석” or “분자유전학” or “형질전환 기술” or 형질전환체 or “형질전환체 제작” or “유전자 활용” or “유전자 이용 기술” or “유전자 확보” or “marine organism” or “genomic tool” or “molecular tool” or “gene modification” or “gene expression” or “gene regulation” or “genomics of marine organism” or “Phaeodactylum tricornutum” or “Dunaliella salina” or “Tetraselmis” or “Tetraselmis sp.” or “Phaeodactylum” or “Dunaliella” or “transformation” or “vector” or “transformation vector” or “Cas9” or “CRISPR”
	3.산업화가능 물질 생산	색소 or “유용 성분” or 생광물화 or 생규화 or 생석회화 or “해양 산성화” or “해양 유래 유용물질” or “유용 물질” or “해양 유래 신물질” or “해양생물 신물질” or “해양생물 유래 신물질” or “바이오매스” or “해양 바이오 에너지” or “바이오 연료” or “해양바이오 연료” or “얼음결합 단백질” or “대량배양” or “미세조류 배양” or “pigment” or “synthesis pathway” or “Useful substance” or “useful material” or “useful material from marine organism” or “biomineralization” or “mechanism of biomineralization” or biomineral or “frustule formation” or “calcification” or biocalcification or biosilicification or “coccolith formation” or “Ocean acidification” or “biorefinery from marine” or “High-value product” or “material from marine” or “material from marine organism” or “material

		from algae” or biomass or “biomass energy” or “biomass fuel” or “biofuel” or “ice binding protein” or “anti-freezing protein” or “anti-freezing material” or “Mass culture” or “Microalgal mass culture”
	4.시스템 생물학, 해양환경개선	대사분석 or “해양생물 대사” or “대사조절” or “metabolism” or “metabolism analysis” or “metabolic regulation” or “metabolic engineering” or “metabolic modification” or 해양 생태 or 해양적조 or 부영양화 or “marine ecology” or “red tide” or “Eutrophication” or “blooming”
제2과제	해양신소재	(미세조류 or Microalgae or microalgal or Tetraselmis or Pseudokirchneriella or Porphyridium or Phaeodactylum or Isochrysis or Pavlova or Nannochloropsis or Chroococcus or Synechococcus or Tribonema or 거대조류 or Macroalgae or macroalgal or 툯 or 모자반 or 토의체 or 툯나물 or 따시래기 or 꼬시래기 or 녹미채 or 흙배기 or 양서채 or 소엽해조 or 감태 or Kajime or Ecklonia or Gulfweed or Sargassum or "S. fusiforme" or Sargassaceae or Hizikia or "Sea weed fusiforme" or 해조* or 갈조류 or 갈조식물 or Phaeophyceae or phaeophyta or "Brown algae" or "brown seaweed" or 미역 or Undaria or "U. pinnatifida" or "sea mustard" or wakame or 다시마 or Laminaria or "L. japonica" or "sea tangle" or kelp or "sea cabbage" or Saccharina or "S. japonica" or 부채말 or 부챗말 or Padina or "P. arborescens" or 큰실말 or Cladosiphon or 녹조류 or 녹조식물 or "green algae" or Chlorophyta or 홍조류 or 홍조식물 or Rhodophyta or "red algae" or 김 or laver or 해초 or Porphyra or 우뚝가사리 or Gelidium or "Irish moss" or 파래 or Enteromorpha or "green laver" or Agar or 매생이 or Capsosiphon or "sea algae" or 청각 or "sea staghorn" or Codium) and (리피드 or 지질 or 오일 or Lipid or Oil or Fat or 지방산 or Fatty acid or Docosaheaxanoic acid or Eicosapentaenoic acid or Arachidonic acid or 카르복실산 or Carboxylic acid or 카로티노이드 or Carotenoid or Astaxanthin or 탄수화물 or Carbohydrate or Polysaccharide or 폴리페놀 or Polyphenol or 단백질 or Protein or Elastin or 콜라겐 or Collagen or 키틴 or Chitin or 키토산 or Chitosan or 알긴산 or Alginate or 카라기난 or Carrageenan or 셀룰로오스 or Cellulose or 한천 or Agar or "항균 펩타이드" or "Antimicrobial peptide" or 항바이러스제 or "Marine antiviral agent" or 바이오디젤 or Biodiesel or 바이오연료 or Biofuel or 고분자 or polymer or 바이오플라스틱 or Bioplastic or 실리카 or silica or 미네랄 or Mineral or 실크 단백질 or "Silk protein" or 열수액화 or “hydrothermal liquefaction” or HTL)
제3과제	해양 신의약	("marine invertebrate" or "marine bacteria" or microalgae or cyanobacteria or sponge or "soft coral" or gorgonian or fungus or fungi or "marine microorganism" or tunicate or streptomycetes or symbioant or dinoflagellate or algae or cnidarian or molluscs or echinoderm or "red algae" or "Green alage" or " brwon algae" or 해면동물 or "해양 미생

		물" or 남세균 or 남조류 or 강장동물 or 미세조류 or 산호 or 극피동물 or 해조류 or 진균) and (anticancer or cancer or antibiotics or "bacterial infection" or antiinflammatory or anti-inflammatory or antiaging or antioxidant or antiviral or "viral infection" or "bioactive compound" or "secondary metabolites" or cytotoxicity or 항암 or 미백 or 항노화 or 항생제 or 항산화 or 항바이러스 or 합염증 or 면역 or "생리 활성 물질")
	신의약 소재	해양 생물 의약품(marine biologics), 해양 바이오 메디칼(marine medicine), 해양 천연물 신약(marine-derived drugs), 해양 식물성 화학물질(marine phytochemicals), 해양 생물 약물전달 소개(marine drug xeliverty carrier) 해양 생물 항상(marine anticancer drugs), 해양 항노화(marine anti-aging agent), 해양 항균(marine antibiotics)
	오염물질의 생물 축적	(중금속 or 수은 or 메틸수은 or 카드뮴 or 구리 or 아연 or heavy metal or mercury or methylmercury or cadmium or copper or zinc or “잔류성 유기오염물질” or 유기화학물질 or 다이옥신 or “persistent organic pollutants” or “organic chemicals” or dioxins or 내분비계 교란물질 or 환경호르몬 or “Endocrine disrupting chemicals”) and (생물축적 or bioaccumulation or 생물농축 or bioconcentration)
	환경오믹스	(유전자 or 유전체 or gene or 오믹스 or omics or 메타게놈 or 단백질 or protein or 효소 or 분자 or molecular or 분자 정보 or 대사 or 메타*) AND (환경 or environment) AND 생물) or (변화 or stress or 오염 or 중금속 or 잔류성유기오염물질 or “잔류성 유기오염물질” or "유기화학물질" or "환경 호르몬" or 환경호르몬 or 내분비계교란물질 or 생물영향 or "heavy metal" or metal or "trace metal" or "persistent organic pollutant") or (진단 or 평가 or 장치 or 지표 or 센서 or biomarker or array or chip or monitoring or 모니터링))
제4과제	동위원소 생태학	(생태계 or ecology 먹이망 or 먹이사슬 or “food web” or “food chain” or 영양단계 or “trophic level” or “trophic position” “종간 경쟁” or “interspecies competition” or 외래종 or “exotix species”) and (“동위원소 생태학” or “안정동위원소 생태학” or “isotope ecology“ or “stable isotope ecology“)
	분자생태학	((환경 or environment or 생태 or 생태* or ecology) AND (분자 or molecular or gene or 유전자 or 유전체 or 발현 or 기작 or mechanism* or genetic or "initiating event")) or (환경 or 변화 or stress or pollution or 오염 or "전지구적 변화" or 중금속 or 잔류성유기오염물질 or "heavy metal" or metal or "trace metal" or "persistent organic pollutant" or "유기화학물질" or "환경 호르몬" or 환경호르몬 or 내분비계 교란물질 or 교란) or (지표 or biomarker or 평가 or 판단)
	해양 생태계 복원	(“생물 서식지” or 인공독 or 어초 or 인공어초 or 어초블록 or “어조류 착생블록” or 갯녹음 or 백화 or “해조류 종묘 부착” or 해조류 or 해중림 or 해초류 or 잘피 or “해초류 이식” or “해초류 이식용기” or “염생식물 식재” or “organisam habitats” or “artificial bank” or “fishing reef” or “artificial

	fishing reef” or “fishing reef block” or “algae attachment block” or albinism or “whitening event” or “marine algae seeding” or “marine algae” or “marine forest” or seagrass or Zostera or “transplanting seagrass” or “artificial container” for “transplanting seagrass” or “planting of halophytes”) and (“생태계 복원” or “해양생태계 복원” or “수생태계 복원” or “갯벌생태 복원” or “ecosystem restoration” or “marine ecosystem restoration” or “aquatic ecosystem restoration” or “mud flat ecosystem restoration”)
생물 조절	(해파리 or jellyfish or 녹조 “green algal bloom” or 적조 or “red tide” or “항조류 활성” or “anti-algae activity” or 부착 생물 or periphyton or “양식장 폐수처리” or “farm wastewater treatment”) and (“생물 조절” or “생물학적 방제” or “biological control”)
실시간 오염물질 검출	(유출유 or “spilt oil” or 영양염 or nutrient or 유기오염 or “organic pollutants” or “잔류성 유기 오염물” or “persistent organic pollutant” or POPs) and (“실시간 오염물질 검출” or “해양 관측” or “환경 모니터링” or “Real time contaminants detection” or “marine observation” or “environment monitoring”)
식물 독성물질	(남조류 or 마이크로시스티스 or Blue green algal or Cyanobacteria or Microcystis or Microcystis aeruginosa or anabaena or Oscillatoria or Planktothrix or nodularia or 적조류 or 와편모조류 or red tide or dinoflagellate or gymnodium or Cochlodinium or proroentrum) and (“식물 독성물질” or 마이크로시스틴 or 아나톡신 or “Phyto-toxins or microcystin or “Anatoxin-a” or “Anatoxin-a(S)”)
환경감식	(유류오염 or “oil-contaminant” or “수산물 원산지” or “origin of marine species”) and (환경 감식 or “Environmental forensics”)
오염물질의 생물확대	(중금속 or 수은 or 메틸수은 or 카드뮴 or 구리 or 아연 or heavy metal or mercury or methylmercury or cadmium or copper or zinc or “잔류성 유기오염물질” or 유기화학물질 or 다이옥신 or “persistent organic pollutants” or “organic chemicals” or dioxins) and (생물확대 or biomagnification or “생물 전이” “trophic transfer” or “생물 확산” or bioadvection)

○ 검색식 및 검색건수

- 상기 키워드를 중심으로 검색어를 작성하면서 검색 범위를 확장하기 위하여 핵심 키워드인 해양 이외에 극지, 북극, 남극, 극지방 등의 키워드를 포함하여 검색하였음

- 다른 세부과제와 중복되거나 일반검색 시 다량의 노이즈가 포함된 특허권이 검색되는 경우 검색의 정확성 향상을 위해 기술분류를 IPC로 한정하여 검색하였고 제2과제는 발명자로 한정하는 검색식을 작성하여 추가 검색을 수행하였음
- 검색건수는 제1과제는 1,978건, 제2과제1,364(발명자 추가건 포함), 제3과제 1,287건, 및 제4과제 1286건으로 총 5,915건(노이즈 포함)의 특허를 확보하였음

표 3.10. 검색식

연구과제	세부과제	검색식	검색건수					
			한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	국제 (WIPO)	합계
해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구 사업	제1과제 해양생명 기초연구분야 (A)	contains/50((광합성 or 광계 or 에너지 or "빛 에너지" or 빛에너지 or 광에너지 or "광 에너지" or 탄소동화 or "carbon fixation" or photosystem or "light energy"), (분석 or analy* or 경로 or pathway or 기전 or 기작 or mechanism or 회로 or circuit) , (남세균 or 시아노박테리아 or 남조류 or cyanobacteri* or bacteri* or 미세조류 or microalga* or Tetraselmis or Phaeodactylum or Dunaliella or Chlamydomonas or Cyanidioschyzon or Ectocarpus or Ostreococcus or Prochlorococcus or Emiliana or Thalassiosira or Dictyostelium or Porphyra or Spirulina or Chlorella or Synechocystis or Synechococcus or Anabaena or Guillardia or Odontella)) or contains/10(("유전자 분석" or 분자유전학 or 형질전환* or "유전자 활용" or "유전자 이용 기술" or "유전자 확보" or "genomic tool" or "molecular tool" or "gene modification" or "gene expression" or "gene regulation"	347	873	266	241	254	1,978

	<p>or genomics or transformation or 게놈편집 or 지놈편집 or "genome editing" or "cloning vector" or "transformation vector" or Cas9 or CRISPR or biomass or "bio energy" or biofuel or 바이오에너지 or bioenergy or "바이오 에너지" or "mass culture" or 대량배양), (남세균 or 시아노박테리아 or 남조류 or cyanobacteri* or "marine bacteri*" or 해양세균 or "해양세균" or 미세조류 or microalga* or Tetraselmis or Phaeodactylum or Dunaliella or Chlamydomonas or Cyanidioschyzon or Ectocarpus or Ostreococcus or Prochlorococcus or Emiliana or Thalassiosira or Dictyostelium or Porphyra or Spirulina or Chlorella or Synechocystis or Synechococcus or Anabaena or Guillardia or Odontella)) or TAC((((적응 or acclimation or adaptation) NEAR/5 (생태 or 환경 or ecolog* or environment*)) or 합성경로 or "합성 경로" or "synthetic pathway" or 산성화 or acidification or 바이오리파이너리 or biorefinery or 바이오연료 or biofuel or 대사조절 or 대사경로 or "metabolism of microorgansim" or "metabolic pathway" or 부영양화 or 적조 or "red tide" or eutrophication or blooming) and (해양 or marine or 대양 or ocean or "sea water" or 해수 or 극지 or 북극 or 남극 or 극지방 or polar or arctic or antiarctic) and (생물 or life or 진균 or 남세균 or 시아노박테리아 or 남조류 or cyanobacteri* or 세균 or 박테리아 or 곰팡이 or organism or fungus or fungi or</p>						
--	---	--	--	--	--	--	--

	bacteri* or 미세조류 or microalgae or Tetraselmis or Phaeodactylum or Dunaliella or Chlamydomonas or Cyanidioschyzon or Ectocarpus or Ostreococcus or Prochlorococcus or Emiliania or Thalassiosira or Dictyostelium or Porphyra or Spirulina or Chlorella or Synechocystis or Synechococcus or Anabaena or Guillardia or Odontella))						
제2과 제 해양신소재 원천기술 개발분야	TAC=((Pseudokirchneriella or Porphyridium or Isochrysis or Pavlova or Nannochloropsis or Chroococcus or Synechococcus or Tribonema or 거대조류 or Macroalgae or macroalgal or 툫 or 모자반 or 토의채 or 툫나물 or 따시래기 or 꼬시래기 or 녹미채 or 흙배기 or 양서채 or 소엽해조 or 감태 or Kajime or Ecklonia or Gulfweed or Sargassum or "S. fusiforme" or Sargassaceae or Hizikia or "Sea weed fusiforme" or 해조* or 갈조류 or 갈조식물 or Phaeophyceae or phaeophyta or "Brown algae" or "brown seaweed" or 미역 or Undaria or "U. pinnatifida" or "sea mustard" or wakame or 다시마 or Laminaria or "L. japonica" or "sea tangle" or kelp or "sea cabbage" or Saccharina or "S. japonica" or 부채말 or 부챗말 or Padina or "P. arborescens" or 큰실말 or Cladosiphon or 녹조류 or 녹조식물 or "green algae" or Chlorophyta or 홍조류 or 홍조식물 or Rhodophyta or "red algae" or 김 or laver or 해초 or Porphyra or 우뭇가사리 or Gelidium or "Irish moss" or 파	148	598	249	150	60	1,202

	<p>래 or Enteromorpha or "green laver" or Agar or 매생이 or Capsosiphon or "sea algae" or 청각 or "sea staghorn" or Codium or 해양생물 or 진균 or 세균 or 박테리아 or 곰팡이 or "marine organism" or fungus or fungi or bacteria or bacterium or 미세조류 or microalgae or Tetraselmis or Phaeodactylum or Dunaliella or Chlamydomonas or Cyanidioschyzon or Ectocarpus or Ostreococcus or Prochlorococcus or Emiliana or Thalassiosira or Dictyostelium or Porphyra or Spirulina or Chlorella or Synechocystis or Synechococcus or Anabaena or Guillardia or Odontella) and (리피드 or 지질 or 오일 or lipid or oil or fat or 지방산 or "fatty acid" or 도코사헥사논산 or "docosahexaenoic acid" or 에이코사펜타논산 or "eicosapentaenoic acid" or 아라키돈산 or "arachidonic acid" or DHA or 카르복실산 or "carboxylic acid" or 카로티노이드 or carotenoid or 베타카로틴 or carotene or 아스타잔틴 or astaxanthin or 탄수화물 or carbohydrate or polysaccharide or 다당류 or 폴리페놀 or polyphenol or 단백질 or protein or 엘라스틴 or elastin or 콜라겐 or collagen or 키틴 or chitin or 키토산 or chitosan or 알긴산 or 알기네이트 or alginate or 카라기난 or carrageenan or 셀룰로오스 or cellulose or 한천 or agar or 바이오디젤 or biodiesel or 바이오연료 or Biofuel or 고분자 or 폴리머 or polymer or 바이오플라스틱 or 바이오고분자 or</p>					
--	---	--	--	--	--	--

	Bioplastic or 실리카 or silica or 미네랄 or Mineral or 실크단백질 or "Silk protein" or 열수액화 or "hydrothermal liquefaction" or HTL) and (해양 or marine or ocean or 극지 or 북극 or 남극 or 극지방 or polar or arctic or antiarctic)) and IC=((C07* or C08* or C01* or C10* or C11* or C12*) not A61K*)						
제2과 제 발명자 추가 검색	IN=(차형준 or 백승필 or 박종문 or 황동수 or contains/1(Cha, Hyung, Joon) or contains/1(Pack, Seung, Pil) or contains/1(Park, Jong, Moon) or contains/1(Hwang, Dong, Soo)) AND IC=(C12* or C07* or C01* or C08* or C10* or C11* or A61K*)	108	25	2	9	18	162
제3과 제 해양 신의약 발굴 분야	("marine invertebrate" or "marine bacteria" or microalgae or cyanobacteria or sponge or "soft coral" or gorgonian or fungus or fungi or "marine microorganism" or tunicate or streptomyces or symbioant or dinoflagellate or algae or cnidarian or molluscs or echinoderm or "red algae" or "green alage" or " brown algae" or 해면동물 or "해양 미생물" or 남세균 or 남조류 or 강장동물 or 미세조류 or 산호 or 극피동물 or 해조류 or 진균 or 해양생물 or 세균 or 박테리아 or 곰팡이 or "marine organism" or bacteria or bacterium or microalgae or microalgal or Tetraselmis or Phaeodactylum or Dunaliella or Chlamydomonas or Cyanidioschyzon or Ectocarpus or Ostreococcus or Prochlorococcus or Emiliana or Thalassiosira or Dictyostelium or Porphyra or Spirulina or Chlorella or Synechocystis or	155	655	197	236	45	1,287

	<p>Synechococcus or Anabaena or Guillardia or Odontella) and (anticancer or cancer or antibiotics or "bacterial infection" or antiinflammatory or anti-inflammatory or antiaging or antioxidant or antiviral or "viral infection" or "bioactive compound" or "secondary metabolites" or cytotoxicity or 항암 or 미백 or 항노화 or 항생제 or 항산화 or 항바이러스 or 함염증 or 면역 or "생리활성" or "생물 의약품" or "marine biologics" or "바이오 메디칼" or "marine medicine" or "천연물 신약" or "marine-derived drugs" or "해양 식물성 화합물질" or "marine phytochemicals" or "생물 약물전달 소개" or "marine drug delivery carrier" or "해양 생물 향상" or "marine anticancer drugs" or 항노화 or "marine anti-aging agent" or 항균 or "marine antibiotics" or "조직 재생용 해양 바이오 소재" or "tissue reperation marine biomaterials" or "피부 재생 해양 바이오소재" or "skin regeneration marine biomaterials" or "골조직 재생 해양 바이오소재" or "bone regeneration marine biomaterials") and (해양 or marine or ocean or 극지 or 북극 or 남극 or 극지방 or polar or arctic or antarctic)</p>						
제4과 제 해양생 태 환경제 어 기초원 천기술	<p>((apparatus or device or 장치 or 어레이 or array or 마이크로어레이 or microarray or 칩 or chip or 센서 or sensor or 방법 or method or process) and (모니터링 or monitor* or evalut* or 평가 or 분석 or analy* or 판정 or</p>	218	572	308	150	31	1,286

분야	<p>decision or 식재 or plant* or 관찰 or observat* or 이식 or transplant* or 조절 or control* or 방제 or prevent* or 검출 or detect*) or 유전자 or 유전체 or gene or 오믹스 or omics or 메타게놈 or metagenom* or 단백질 or protein or 효소 or 분자 or molecular or 분자정보 or 대사 or 경로 or pathway or 바이오마커 or 표지인자 or biomarker or 지표 or marker or 발현 or 기작 or 기전 or mechanism* or 유전학 or genetic) and (중금속 or 수은 or 카드뮴 or 구리 or 아연 or "heavy metal" or mercury or cadmium or copper or zinc or 유기오염물질 or 유기화학물질 or 다이옥신 or "organic pollutants" or "organic chemical*" or dioxin* or "내분비계 교란물질" or 환경호르몬 or "endocrine disrupting chemical*" or 생물확산 or 생물축적 or bioaccumulation or 생물농축 or bioconcentration or 환경 or environment or 생물 or 변화 or 스트레스 or stress or 오염 or 중금속 or 잔류성유기오염물질 or "잔류성 유기오염물질" or "잔류성 유기오염물" or POP* or "유기화학 물질" or "환경 호르몬" or 환경호르몬 or 내분비계교란물질 or 생물영향 or "heavy metal" or metal or "trace metal" or "persistent organic pollutant" or 생태계 or ecology or 먹이망 or 먹이사슬 or "food web" or "food chain" or 영양단계 or "trophic level" or 영양지위 or "trophic position" "종간 경쟁" or "interspecies competition" or 외래종 or "exotic species" or "동위원소 생태학" or "안정동위원소 생태</p>					
----	--	--	--	--	--	--

	<p>학" or "isotope ecology" or "stable isotope ecology" or 환경 or environment or 생태 or ecology or "initiating event" or 변화 or stress or pollution or 오염 or "전지구적 변화" or 중금속 or 잔류성유기오염물질 or "heavy metal" or metal or "trace metal" or "persistent organic pollutant" or 유기화학물질 or "환경 호르몬" or 환경호르몬 or "내분비계 교란물질" or 교란 or "생물 서식지" or 인공독 or 어초 or 인공어초 or 어초블록 or "어조류 착생블록" or 갯녹음 or 백화 or "해조류 종묘 부착" or "organism habitats" or "artificial bank" or "fishing reef" or "algae attachment block" or 알비노 or albinism or "whitening event" or "artificial container" or "생태계 복원" or "해양생태계 복원" or "수생태계 복원" or "갯벌생태 복원" or "ecosystem restoration" or "marine ecosystem restoration" or "aquatic ecosystem restoration" or "mud flat ecosystem restoration" or 녹조현상 or "green algal bloom" or 적조현상 or "red tide" or "항조류 활성" or "anti-algae activity" or 부착생물 or periphyton or "양식장 폐수처리" or "farm wastewater treatment" or 유출유 or "spilt oil" or 영양염 or nutrient or "식물 독성물질" or 마이크로시스틴 or 아나톡신 or "phyto-toxins" or microcystin or "anatoxin-a" or 유류오염 or "oil-contaminant" or "수산물 원산지" or "origin of marine species" or "환경 감식" or</p>					
--	---	--	--	--	--	--

	<p>"environmental forensics" or 생물확대 or biomagnification or "영양 전송" or "trophic transfer" or "생물 확산" or bioadvection) and (해조류 or 해중립 or 해초류 or 잘피 or 조류 or algae or "marine algae" or 염생식물 or halophyte or "marine forest" or seagrass or Zostera or 남조류 or 남세균 or "blue green algal" or 시아노박테리아 or cyanobacteria or 마이크로시스트 or microcystis or 해파리 or jellyfish or 녹조 or Anabaena or Oscillatoria or Planktothrix or nodularia or 적조류 or 와편모조류 or dinoflagellate or gymnodium or Cochlodinium or proroentrum or 해양생물 or 진균 or 세균 or 박테리아 or 곰팡이 or "marine organism" or fungus or fungi or bacteria or bacterium or 미세조류 or microalgae or microalgal or Tetraselmis or Phaeodactylum or Dunaliella or Chlamydomonas or Cyanidioschyzon or Ectocarpus or Ostreococcus or Prochlorococcus or Emiliana or Thalassiosira or Dictyostelium or Porphyra or Spirulina or Chlorella or Synechocystis or Synechococcus or Anabaena or Guillardia or Odontella) and (해양 or marine or ocean or 극지 or 북극 or 남극 or 극지방 or polar or arctic or antiarctic) and IC=((A01* or B01* or C02* or C07* or C09* or C12* or G01*) not A61K8* not B63B* not E02B* not A23L*)</p>						
총계		976	2,723	1,022	786	408	5,915

○

○ 유효 특허 선별

- 위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과 아래의 표와 같이, 제1과제(A)는 1137건, 제2과제(B)는 336건, 제3과제(C)는 575건, 및 제4과제는 537건으로 총 2,785건의 유효 특허를 확보하였음

표 3.11. 유효특허 선별결과

연구과제	세부과제	유효특허 건수					
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	국제 (WIPO)	합계
해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구 사업	제1과제 해양생명 기초연구분야 (A)	241	610	102	157	227	1,337
	제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야 (B)	92	112	52	40	40	336
	3과제 해양 신의약 발굴 분야 (C)	72	267	74	130	32	575
	4과제 해양생태 환경제어 기초원천 기술분야 (D)	111	131	179	107	9	537
총계		516	1,120	407	434	308	2,785

○ 분석 방법

- 노이즈가 제거된 대분류 제1과제(A), 제2과제(B), 제3과제(C), 제4과제(D) 관련 유효특허 2,785건을 대상으로 정량분석을 수행하였음

다. 특허 정량분석

○ 주요시장국 연도별 특허동향

그림 3.9. 연도별 출원동향

- 주요시장국(한국, 미국, 일본, 유럽)의 연도별 특허동향을 확인한 결과, 1980년대 초반부터 특허 출원활동이 본격적으로 시작되어 꾸준한 상승세를 나타내었고 2000년대 초반 이후부터 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있음
- 구간별로 나타나는 원형 그래프를 살펴보면, 1구간인 1980년~1987년에는 2%(55건)이고, 2구간인 1988년~1994년에는 9%(223건), 3구간인 1995년~2001년에는 13%(355건), 4구간인 2002년~2008년에는 25%(661건), 5구간인 2009년~2015년에는 51%(1365)으로, 2구간에서 3구간으로 진행되는 동안 다소 증가하였으나 4구간부터 급격히 증가하여 5구간에서는 가장 높은 출원구간을 나타내었음

그림 3.10. 한국 연도별 출원동향

- 한국은 1988년에 특허출원이 시작되었으나 다소 미미한 출원활동을 보이다가 2000년대 초반부터 증가하기 시작하였고 2014년을 정점으로 다소 감소하는 것으로 보이나 일시적인 현상으로 판단됨

그림 3.11. 미국 연도별 출원동향

- 미국은 1980년부터 특허출원을 시작하여 증가폭이 높지 않았으나 꾸준히 증가세를 나타내다가 2000년 이후부터 증가세를 나타내었고 2007년 이후부터 급격히 증가하여 2010년에 가장 높은 증가율을 나타내다가 최근 들어 감소하는 추세를 보이고 있음

그림 3.12. 일본 연도별 출원동향

- 일본은 1980년대 초반에 출원활동이 시작된 이후로 증가와 감소를 반복하는 출원경향을 나타내고 있으나 전체적인 동향은 점진적으로 증가하는 추세를 나타내고 있음

그림 3.13. 유럽 연도별 출원동향

- 유럽은 1980년에 특허활동이 시작되어 증가와 감소를 반복하였으나 누적출원 건수는 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있고 최근에는 급격히 감소하는 추세를 보이고 있음

그림 3.14. 국제출원 연도별 출원동향

- 국제출원은 1987년에 특허활동이 시작되어 미미한 출원활동을 나타내다가 2008년 이후 급격히 상승하는 추세를 나타내었으나 그 이후 다시 감소하는 추세임

라. 주요시장국 구간별 기술 성장단계 파악

그림 3.15. 주요시장국 기술 성장단계

- 본 연구과제의 기술 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로, 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 5개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 본 기술과제에 대한 위치를 살펴볼 수 있음

- 출원구간은 1구간(1980년~1987년), 2구간(1988년~1994년), 3구간(1995년~2001년), 4구간(2002년~2008년), 5구간(2009년~2015년)으로 나누어 상기 구간별 주요 시장국의 성장단계를 파악할 수 있음
- 포트폴리오로 나타난 전체특허의 기술 위치는 전체적으로 1구간(1980년~1987년)부터 4구간(2002년~2008년)까지 출원건수와 출원인의 수가 꾸준한 증가세를 유지하다가 5구간(2009년~2015년)부터 출원건수와 출원인수가 급격히 증가하는 성장단계에 있는 것으로 파악됨

그림 3.16. 한국 기술 성장단계

- 한국의 기술 성장단계는 1구간(1980년~1987년)부터 3구간(1995년~2001년)까지 증가하였고 4구간(2002년~2008년)에서는 3구간과 유사한 정체 단계를 보였으나 5구간(2009년~2015년)부터 출원건수와 출원인수가 급격히 증가하는 성장단계에 진입한 것을 확인하였음

그림 3.17. 미국 기술 성장단계

- 미국의 기술 성장단계도 한국의 성장단계와 유사하게 1구간(1980년~1987년)에서부터 4구간(2002년~2008년)까지 출원건수와 출원인의 수가 계속 증가하다가 5구간(2009년~2015년)부터 출원건수와 출원인수가 급격히 증가하는 성숙기에 있는 것으로 파악됨

그림 3.18. 일본 기술 성장단계

- 일본의 기술 성장단계는 1구간(1980년~1987년)에서부터 4구간(2002년~2008년)까지 출원건수와 출원인의 수가 꾸준히 증가하다가 5구간(2009년~2015년)부터 출원건수와 출원인수가 정체 또는 감소되는 성숙기에 진입한 것으로 파악되었음

그림 3.19. 유럽 기술 성장단계

- 마지막으로 유럽의 기술 성장단계는 1구간(1980년~1987년)에서부터 4구간(2002년~2008년)까지 출원전수와 출원인수가 꾸준히 증가하다가 5구간(2009년~2015년)에서는 급격히 증가하는 성장단계에 진입한 것으로 파악 될

마. 세부과제별 기술 성장단계 파악

그림 3.20. 제1과제 및 제2과제 기술 성장단계

- 제1과제는 1구간(1980년~1987년)부터 4구간(2002년~2008년)까지 서서히 증가하다가 5구간(2009년~2015년)에서는 출원인수와 출원건수가 급격히 증가하는 성장기에 진입하였음
- 제2과제는 1구간(1980년~1987년)부터 3구간(1995년~2001년)구간 부터는 증가폭이 그리 크지 않은 성장을 나타내었으나 4구간(2002년~2008년)부터 5구간(2009년~2015년)에서는 급격한 성장을 나타내고 있음

그림 3.21. 제3과제 및 제4과제 기술 성장단계

- 제3과제는 1구간(1980년~1987년)부터 3구간(1995년~2001년)까지 서서히 증가하는 양상을 나타내다가 4구간(2002년~2008년)에서는 급격히 증가하였다가 5구간(2009년~2015년)에서는 지속적인 연구개발 활동으로 인해 일부업체가 도태되는 출원건수와 출원인수가 다소 정체되어 있는 성숙기에 진입한 것으로 파악됨

- 제4과제는 1구간(1980년~1987년)에서부터 4구간(2002년~2008년)부터 급격한 성장세를 나타내었으나 최근인 5구간(2009년~2015년)에서는 활발한 연구활동으로 인해 출원건수와 출원인수가 정체되어 있는 성숙기에 진입한 것으로 파악됨

바. 세부과제별 연도별 출원동향

그림 3.22. 제1과제 출원동향

- 제1과제인 해양생명 기초연구분야의 출원은 1980년대에 출원이 시작되어 미미한 출원활동을 나타내다가 2000년대 후반부터 급격히 증가하기 시작하여 그 증가세를 유지하고 있음

그림 3.23. 제2과제 출원동향

- 제2과제인 해양신소재 원천기술 개발분야는 1980년대 출원이 시작되어 2000년대 초반까지 소규모의 출원활동이 진행되다가 2012년도에 가장 많은 출원건수를 나타내었으나 그 이후 서서히 감소하는 양상을 나타내고 있음

그림 3.24. 제3과제 출원동향

- 제3과제 해양 신의약 발굴 기술분야는 1980년대에 출원활동을 시작한 시점부터 증가와 감소를 반복하는 추세를 보이고 있으나 전체적으로는 증가세를 나타냄

그림 3.24. 제4과제 출원동향

- 제4과제인 해양생태 환경제어 원천기술 분야는 1980년대에 시작된 출원활동이 꾸준히 증가세를 보이고 있다가 최근 들어서 급격히 감소하였으나 최근들어 다시 성장세를 유지하는 것으로 파악되었음

사. 소분류별 출원건수

그림 3.25. 제1과제 소분류 출원건수

- 제1과제의 소분류의 경우 바이오매스(481건) 관련 분야에서 가장 많은 출원을 나타내었고 이어서 해양생물 유래 색소와 유용성분(200건) 관련, 대량배양(171건), 해양생물 유래 형질전환 개발 관련(154건) 순으로 많은 출원 건수를 확인하였고 다른 소분류에 해당하는 분야는 미미한 출원건수를 나타내었음

그림 3.26. 제2과제 소분류 출원건수

- 제2과제의 소분류의 경우 MIA lipid(48건) 분야에서 가장 많은 출원건수를 나타내었고 이와 유사하게 MO proteins(46건) 분야에서 두 번째로 많은 연구가 진행되었음을 확인하였음. 이어서 MIA PUFAs(42건), MB enzymes(39건), MAA biofuels(38건), MIA cultivation(35건)으로 많은 출원을 진행한 것으로 파악되었음

그림 3.27. 제3과제 소분류 출원건수

- 제3과제의 소분류의 출원건수를 파악한 결과, 생리활성물질(444건) 분야 관련 특허가 가장 많았고 이어서 화장품 소재(65건), 생리활성 물질의 연속적 생산(59건), 약물전달시스템(54건) 순으로 출원건수가 많은 것으로 나타났다

- 제3과제의 소분류 중 가장 많은 출원건수를 나타내고 있는 생리활성물질(치료용 소재)의 출원건수를 분류별로 파악한 결과, 항균(141건) 분야 관련 특허가 가장 많았고 이어서 항암(125건), 복합(34건), 항염증(23건) 순으로 가장 많은 출원건수를 나타내었음

그림 3.28. 제4과제 소분류 출원추이

- 제4과제의 소분류에서는 생태계 복원(214)관련 분야가 압도적으로 많은 출원건수를 나타내었고 이어서 생물조절(107건), 환경오염(64건), 지표식물(62건), 분자생태학(39) 순으로 특허를 출원한 것으로 파악되었음

아. 상위 주요 출원인

그림 3.29. 주요 출원인 Top 20

- 본 연구과제의 모든 특허 출원인 중에서 상위 랭크된 1위 내지 5위의 주요 출원인을 살펴보면 Roquette Freres社가 85건으로 1위로 나타났고 한국의 해양과학기술원이 60건으로 2위, Solazyme, Inc.가 59건으로 3위, Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc.가 51건으로 4위, University of California가 50건으로 5위로 나타났음
- 본 연구과제의 기술의 상위 출원인 20을 살펴보면 상위 20위권 안에 한국의 인하대학교를 비롯한 부경대, 포항공대, 한국생명공학연구원 등이 분포되어 있어 한국에서 본 연구과제 관련 연구를 주목하고 있고 연구개발 또한 활발히 진행중인 것을 알 수 있음

그림 3.30. 제1과제 상위 출원인 10

- 제1과제의 상위 출원인은 Roquette Freres社가 83건으로 1위를 차지하였고 Solazyme, Inc.가 58건으로 2위, 한국생명공학연구원이 22건으로 3위, 인하대학교가 21건으로 4위를 차지하였음

그림 3.31. 제2과제 상위출원인

- 제2과제 상위 출원인은 포항공과대학교가 24건으로 1위, Martek Biosciences Corporation이 20건으로 2위, Council of Scientific & Industrial Research가 19건으로 3위로 나타났음

그림 3.32. 제3과제 상위출원인

- 제3과제의 상위 출원인은 Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc.가 51건으로 1위, Arizona State University가 30건으로 2위, University of California가 25건으로 3위를 차지하고 있음

그림 3.33. 제4과제 상위출원인

- 제4과제의 상위 출원인은 Rohm and Haas Company가 20건으로 1위, Buckman Laboratories International Inc.가 19건으로 2위, 한국해양과학기술원이 14건으로 3위를 차지하고 있음

자. 내외국인 출원현황

그림 3.34. 출원점유율

그림 3.35. 한국 내외국인 특허출원현황

- 본 연구과제 주요 시장국 출원 점유율을 살펴보면 미국이 가장 많은 1120건(45%)으로 1위, 한국은 516건(21%)으로 2위, 유럽은 434건(18%)으로 3위, 일본은 407건(16%)로 4위를 차지하고 있음
- 한국의 내,외국인 특허출원현황을 살펴보면 외국인(13%) 보다는 내국인(448%)의 출원이 압도적으로 많은 것으로 나타났고 외국인의 분포를 살펴보면 일본, 미국, 프랑스 국적의 출원인이 국내에 진출해 있음을 알 수 있음. 따라서 국내 관련시장은 내국인에 의해 주도되고 해외기업의 국내 진출은 미미함

그림 3.36. 미국 내외국인 특허출원현황

- 미국의 내,외국인 특허출원현황을 살펴보면 내국인(72%)의 출원이 외국인(28%)의 출원보다 2배이상 높은 점유율을 나타내고 있는 것을 알 수 있음
- 외국인의 출원현황을 보면 외국인의 분포를 살펴보면 프랑스가 61건으로 가장 많은 출원을 하였고 이어서 일본이 31건, 한국이 25건, 외에도 아시아와 유럽을 비롯한 다양한 국가들이 미국에 진출하여 특허출원을 하였음

그림 3.37. 일본 내외국인 특허출원현황

- 일본의 내,외국인 특허출원현황을 살펴보면 외국인(41%)보다 내국인(59%)의 출원이 더 높게 나타났고 한국과 비교하여 다양한 국가들이 일본에 진출하였음을 알 수 있었음
- 외국인의 출원현황을 살펴보면 미국이 84건으로 가장 많은 특허출원을 나타내었고 영국이 12건, 독일이 11건으로 나타났음

그림 3.38. 유럽 내외국인 특허출원현황

- 유럽의 내,외국인 특허출원현황을 살펴보면 유럽인(46%) 보다는 비유럽인(54%)의 출원이 다소 높은 것으로 나타났음
- 외국인의 출원현황을 살펴보면 미국이 153건으로 압도적으로 많은 출원건수를 나타내었고 이어서 일본이 26건, 인도가 12건으로 나타났음

차. 등고선 맵 분석

- 선별된 유효특허를 대상으로 어떤 연구테마가 가장 집중적으로 연구되어 오고 있는지 확인하기 위해, Derwent Innovation사의 ThemeScape 등고선 맵 분석(중전 Thomson사의 Aureka 분석에 해당됨)을 수행함
- 하기 결과들은 유효특허 중 국제특허공개문헌을 제외한 미국, 한국, 일본, 유럽의 특허건을 대상으로 클러스터 분석을 수행하여 도출된 키워드 등고선맵에 해당됨

그림 3.39. 제1과제 등고선 맵

- 제1과제를 분석한 결과 통상적인 유전자 발현, 핵산 분자 분리, 용매 추출 등에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있음을 확인할 수 있었으며, 주목해야 할 키워드로는 탄화수소 관련 촉매, 염소이온 농도 관련 연구, 종속영양체의 단백질 조성, 미분화된 사료조성물 등으로 파악되었음

그림 3.40. 제2과제 등고선 맵

- 제2과제 유효 데이터를 이용하여 등고선 맵 분석을 수행한 결과, 황산나트륨, 핵산서열, 에탄올, 폴리펩티드 관련 분야에서 많은 연구가 진행된 것을 확인할 수 있었고, 주목해야할 키워드로 PUFA 프로파일, 조류 기반의 중량 폴리머, 가수분해 효소 및 다당체의 추출 등으로 파악되었다.

그림 3.41. 제3과제 등고선 맵

- 제3과제 유효 데이터를 이용하여 등고선 맵 분석을 수행한 결과, 오일, 비타민을 이용한 선스크린 조성물, 판토텐산, 항산화 오일, 조직재생용 소재, 항균성 박테리아 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음을 확인하였음

그림 3.42. 제4과제 등고선 맵

- 제4과제 유효 데이터를 이용하여 등고선 맵 분석을 수행한 결과, 할로겐족 원소 관련 연구, 재생가능한 조류 바이오매스, 염소의 전기분해, 항생물부착 코팅, 세균 균주, 해양 추출물 관련 분야에서 많은 연구가 진행된 것을 확인하였음

카. 특허 분석 결과

- 해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구 사업에 대한 세부과제로 제1과제 해양생명 기초연구 분야, 제2과제 해양신소재 원천기술 개발분야, 제3과제 해양 신의약 발굴 분야 및 제4과제 해양생태 환경제어 기초 원천기술분야로 분류하고 관련 키워드를 선정하고 검색한 결과 제1과제는 1,978건, 제2과제 1,364, 제3과제 1,287건, 및 제4과제 1,286건으로 총 5,915건의 raw data를 확보하였음
- 상기 각 과제별 유효특허를 선별한 결과, 제1과제(A)는 1137건, 제2과제(B)는 336건, 제3과제(C)는 575건, 및 제4과제는 537건으로 총 2,785건의 유효 특허를 확보하였음

- 상기 검색된 유효특허 2,785건을 대상으로 정량분석을 수행한 결과 주요시장국(한국, 미국, 일본, 유럽, 국제)의 연도별 특허동향을 확인한 결과, 1980년대 초반부터 특허 출원활동이 본격적으로 시작되어 꾸준한 상승세를 나타내었고 2000년대 초반 이후부터 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있음
- 포트폴리오로 나타난 전체특허의 기술 위치는 1구간(1980년~1987년)부터 4구간(2002년~2008년)까지 출원건수와 출원인의 수가 꾸준한 증가세를 유지하다가 5구간(2009년~2015년)부터 출원건수와 출원인수가 급격히 증가하는 성장단계에 있는 것으로 파악됨
- 세부과제별 연도별 출원동향을 살펴본 결과, 모든 과제의 출원동향은 80년부터 출원활동이 시작되어 10년 이후부터 급격히 증가하는 추세를 나타내었고 최근에는 다소 감소세를 나타내고 있음
- 중분류별 출원추이를 살펴본 결과, 제1과제인 해양생명 기초연구분야는 산업화 물질 생산 분야(908건), 제2과제인 해양신소재 원천기술 개발분야는 미세조류 유래 신소재(145건), 제3과제 해양 신의약 발굴 기술분야는 면역(418건), 제4과제인 해양생태 환경제어 원천기술 분야는 해양 환경개선(375) 관련 분야에서 가장 많은 특허를 출원한 것으로 파악됨
- 본 연구과제 관련 상위 출원인은 Roquette Freres社가 85건으로 1위로 나타났고 한국의 해양과학기술원이 60건으로 2위, Solazyme, Inc.가 59건으로 3위, Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc.가 51건으로 4위, University of California가 50건으로 5위로 나타났음
- 세부과제별 상위출원인은 제1과제의 Roquette Freres社가 83건, 제2과제의 포항공과대학교가 24건, 제3과제의 Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc.가 51건, 제4과제의 Rohm and Haas Company가 20건으로 1위를 차지하였음
- 본 연구과제 주요 시장국 출원 점유율을 살펴보면 미국이 가장 많은 1120건(45%)으로 1위, 한국은 516건(21%)으로 2위, 유럽은 434건(18%)으로 3위, 일본은 407건(16%)로 4위를 차지하였음
- 내외국인 출원분석 결과, 한국은 내국인의 출원이 압도적으로 많은 것으로 나타났고 이외의 주요시장국인 미국과 일본은 내국인의 출원이 더 높은 것으로 나타났고 유럽은 외국인 또는 비유럽인의 출원이 더 높은 것으로 나타

타났음

- 세부과제별 유효데이터를 이용하여 가장 집중적으로 연구되고 있는 분야를 파악하기 위해登高선 맵 분석을 수행한 결과, 제1과제는 유전자 발현, 제2과제는 황산나트륨, 제3과제는 오일, 비타민을 이용한 선스크린 조성물, 제4과제는 할로젠족 원소 관련, 조류 바이오매스 분야에서 많은 연구가 진행된 것으로 파악되었음

3.1.1.3 도출과제구성 (논문 특허 전문가의견, 전문가 직관)

가. 해양생명 기초연구 분야 기술 도출과정

○ 분석대상 기술 분류

- 제 1 단계로 해양생명/바이오 분야에서 중분류로 ‘대사기작 규명’, ‘분석기술 개발’, ‘산업화 가능 물질 생산’, ‘시스템 생물학’, ‘해양 환경개선’, ‘형질전환 기법 개발’으로 총 6개 분류로 선정하고 이들 각 중분류에서 특허와 논문 분석을 위한 기획 키워드를 선정하고 산출된 국내외 특허 및 논문 분석을 수행함
- 키워드 검색 시스템을 이용한 해양생명 분야의 특허 선별 결과 총 1,978개의 raw data를 확보하였고, 이 들 선별된 특허 실제로 해양생명 분야에 해당하는지를 screening을 수행하여 1,337개의 유효한 특허로 선별하였음
- 이렇게 선별된 유효 특허는 출원 지역을 국가별로 확인해보면, 한국(KIPO) 241건, 미국(USPTO) 610건, 일본(JPO) 102건, 유럽(EPO) 157건, 국제(WIPO) 227건으로 확인 됨
- 최근 2009년에서 2015년 5년간의 제5구간의 출원 건수가 급격히 증가하는 집중도가 매우 높게 나타난 것으로 보아 성장단계에 있는 것을 확인할 수 있었음
- 특허, 최근 5구간의 출원인수와 출원 건수가 각각 350여 명, 850여 건으로 나타나 집중도가 매우 높은 기술 분야임을 확인할 수 있었음

그림 3.43. 해양생명 기초연구 분야 특허 포트폴리오 분석

- 해양생명 기초연구 분석 기술 분류는 2 단계 소분류로 각 중분류의 선정된 키워드 조사를 통해 얻은 데이터를 분석하여 향후 연구에 적합한 분야로 다음 표와 같이 총 32개를 선정함

표 3.12. 해양생물 분야 분석대상 기술 분류

○ 설문 조사 절차

- 해양 생명 관련 기초/응용 연구 분야에 저명한 전문가를 대상으로 32개의 핵심기술 후보에 대한 경제적 파급효과, 전략적 중요성, 기술달성 가능성 측면에서 각각의 항목별 중요도를 5단계로 구분하여 설문 조사를 통한 의견 수렴하였음
- 설문 대상자는 총 20명의 전문가로 선정 하여 이중 14명의 회신 결과를 분석하였음. 그 중 대학과 연구소 소속의 학계 전문가 11명과 산업체 관계자 3명을 포함하고 있음

표 3.13. 기관별 설문 대상자 현황

분야	기관			계
	대학	연구소	산업체	
해양 생명 연구 개발	6	5	3	14

○ 분석 결과

■ 기술 분야별 설문 조사 결과

- 경제적 파급효과 측면

설문조사 분석결과 1위로 ‘해양생물 유래 신물질’이 위치하고 있고, 그 다음으로 ‘해양생물 유래 고부가가치 산물’, ‘해양생물의 광합성’, ‘해양생물 유래 형질전환체 개발’, ‘해양 빛 에너지 이용’이 공동 2위를 나타냄

- 전략적 중요성 측면

해양생물 기초연구 분야에서 미래를 준비하는 현 대한민국의 미래를 위한 전략적 중요성 측면에서는 경제적 파급효과와 마찬가지로 ‘해양생물 유래 신물질’이 제일 높은 순위를 차지하였고, ‘생해양생물의 광합성’, ‘해양생물 유래 형질전환체 개발’, ‘유전체 편집 기술’이 각각 2위와 공동3위로 매우 중요한 분야일 것으로 평가 됨

- 기술달성 가능성 측면

총 32개의 소분류된 분야 중 기술달성 가능성 측면에 있어서도 ‘해양생물 유래 신물질’, ‘해양생물 유래 고부가가치 산물’, ‘해양생물의 광합성’, ‘유전체 편집기술’이 모두 공동 3위를 포함하여 상위권 안의 높은 순위로 평가됨을 확인함

표 3.14. 해양생명 평가 분야별 설문결과 순위

1. 경제적 파급효과	평균	순위
① 해양생물 유래 신물질	4.85	1
② 해양생물 유래 고부가가치 산물	4.38	2
③ 해양생물의 광합성	4.38	2
④ 해양생물 유래 형질전환체 개발	4.38	2
⑤ 해양 빛 에너지 이용	4.38	2
⑥ 유전체 편집기술	4.31	6
⑦ 바이오매스, 바이오매스 에너지	4.23	7
⑧ 생광물화와 그의 응용	4.23	7
2. 전략적 중요성	평균	순위
① 해양생물 유래 신물질	4.77	1
② 해양생물의 광합성	4.62	2
③ 해양생물 유래 형질전환체 개발	4.38	3
④ 유전체 편집기술	4.38	3
⑤ 해양생물 유래 고부가가치 산물	4.31	5
⑥ 바이오매스, 바이오매스 에너지	4.15	6
⑦ 생광물화와 그의 응용	4.08	7
⑧ 해양 빛 에너지 이용	4.08	7
3. 기술달성 가능성	평균	순위
① 해양생물 유래 신물질	4.54	1
② 해양생물 유래 고부가가치 산물	4.15	2
③ 해양생물의 광합성	4.08	3
④ 유전체 편집기술	4.08	3
⑤ 해양생물 대사 분석	4.00	5
⑥ 마이크로 반응기 배양기술	4.00	5
⑦ 바이오매스, 바이오매스 에너지	3.92	7
⑧ 해양 빛 에너지 이용	3.92	7

■ 해양생명 분야 종합적 평가

- 전문가 설문조사 결과를 각 평가 측면의 상관관계를 분석한 결과, 경제적 파급효과와 전략적 중요성과의 연관성을 표시한 다음 결과와 기술달성 가능성과 전략적 중요성과의 연관성을 표시한 결과 다음 그림과 같은 결과를 확인할 수 있었음

그림 3.44. 해양생명 기초연구 분야 각 요소별 관련성

- 두 상관관계 그림에서 보이는 바와 같이 상위 8개 분야에 위치한 요소들이 상관관계 분포에 있어서도 서로 가장 높은 부분을 차지하고 있는 것으로 보아, 다음 8개 분야, 즉 ‘해양생물 유래 신물질’, ‘해양생물 유래 고부가가치 산물’, ‘해양생물의 광합성’, ‘유전체 편집기술’, ‘해양생물 유래 형질전환체 개발’, ‘해양 빛 에너지 이용’, ‘바이오매스, 바이오매스 에너지’, ‘생광물화와 그의 응용’가 차지하고 있음 확인함
- 종합적 평가 결과 상위 8개에 해당하는 요소들은 평가항목인 경제적 파급효과, 전략적 중요성, 기술달성 가능성 측면에서 모두 매우 중요한 연구 요소일 것으로 평가됨

■ 해양생명 분야 최종 우선순위

해양 생명 분야 전문가 평가단의 설문 조사 결과 선정한 최상위 주요 연구 기술 분야는 다음 표와 같이 1위로 ‘해양생물 유래 신물질’이 위치하고 있고, 그 다음으로 ‘해양생물의 광합성’, ‘해양생물 유래 고부가가치 산물’, ‘유전체 편집기술’의 순으로 확인 됨

표 3.15. 해양생명 설문결과 최종 순위

순위	기술명	총점
1	해양생물 유래 신물질	14.15
2	해양생물의 광합성	13.08
3	해양생물 유래 고부가가치 산물	12.85
4	유전체 편집기술	12.77
5	해양생물 유래 형질전환체 개발	12.62
6	해양 빛 에너지 이용	12.38
7	바이오매스, 바이오매스 에너지	12.31
8	생광물화와 그의 응용	12.15

■ 분석 결과 요약

해양 생명 분야 핵심기술 선정을 위해서, 특허와 논문 분석을 위한 기획 키워드를 선정을 수행하고 이에 근거로 산출된 관련 국내외 특허 및 논문들의 분석을 수행하였음. 이러한 분석을 통해 선정된 핵심 기술 후보들에 대한 전문가 그룹의 설문조사를 통해 경제적 파급효과, 전략적 중요성, 기술 달성 가능성 측면을 종합적으로 평가한 결과, 1위가 ‘해양생물 유래 신물질 기술’, 2위가 ‘해양생물의 광합성 기술’, 3위가 ‘해양생물 유래 고부가가치 산물 기술’ 4위가 ‘유전체 편집기술’ 순으로 높은 평가를 받았음

○ 핵심기술 선정

해양 생물 연구개발을 위해 시장 및 정책 동향 분석, 논문 및 특허 분석, 전문가 설문 조사 결과를 토대로 연구 개발 성공 가능성이 높고 정부의 집중 투자가 요구되는 핵심 기술을 다음과 같이 선정함.

■ 해양생물 유래 고부가가치 발굴, 기작 규명 및 응용을 위한 기술 개발

- 해양생물 유래 고부가가치 산물은 위의 핵심기술 설문조사 결과 최고 점수를 획득한 핵심기술 요소인 해양생물 유래 신소재를 포함하는, 보다 포괄적인 개념으로 확대할 수 있는 매우 중요한 요소 기술로 평가할 수 있음. 따라서 핵심기술 분석결과 1위로 선정된 ‘해양생물 유래 신물질 기술’이 2세부인 해양 신소재 분야와 중첩되는 점과 3위로 선정된 ‘해양생물 유래 고부가가치 산물

기술'이 신소재를 포함하는 개념으로 이해하여 핵심 기술로 선정하기로 함

- 이러한 고부가가치 산물의 개념은 인류의 삶 질 향상에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있는 인류의 삶과 직접적으로 연결되는 산업적 생물소재 및 의약 소재 개발도 함께 포함함
- 해양생물 유래 고부가가치 산물은 산업용 바이오 소재 중 기능성 화장품 소재, 천연연료로 제조된 항노화 관련 화장품, 해양바이오매스 유래의 유용 다당제 혹은 천연물에 사용되는 원료 소재 등 매우 다양함. 또한, 해양 유래 기능성 생리활성 물질들은 당뇨병, 심장질환, 만성 퇴행성 질환 및 종양과 같은 비감염성 질환에 유용한 신의약 소재도 해당될 수 있을 것임
- 하지만, 본 해양생물 기초연구 분야에서 제시하는 해양생물 유래 고부가가치 산물은 해양생물 유래 신소재의 개발과 신의약 분야를 제외한 산업적 활용 가능한 해양생물 유래 혹은 해양생물을 이용한 고부가가치 산물을 생산하기 위한 기초연구를 의미함
- 해양바이오산업에서 해양생물 유래 고부가가치 물질의 기여도가 큰 건강기능성 식품시장과 화장품 시장 등을 고려하여 해양바이오산업 시장을 30조 384억 원에 이르는 큰 규모로 추정함
- 해양생물 유래 바이오 소재들은 오랫동안 화장품과 의약품 분야에서 주목받아 왔으며, 여러 다양한 바이오소재 자원을 발굴하고 개량해 왔음. 이러한 다양한 해양생물 자원의 유용 물질 개발 가능성 및 잠재성은 무한한 것일 것으로 평가되고 있음
- 기존 화학 기반 혹은 육상생물 유래의 소재를 대체할 수 있는 해양생물 유래의 새로운 물질 혹은 생산 가능한 물질의 발굴이 필수적인데, 이러한 유용 물질의 확보를 위한 최적의 연구대상인 해양생물로부터 친환경적인 신물질 개발의 원천기술개발도 필요함
- 따라서 개발 성공 가능성이 매우 높은 핵심기술로 유용한 해양생물 유래의 고부가가치 물질의 효과적인 발굴과 생산 관련 원천기술이 필수적이며, 4차 산업기술의 도입을 바탕으로 기존 기술과의 융합을 통해 더욱 빠르고 효율적인 산업용 고부가가치 물질 개발이 가능할 것임
- 이러한 물질 발굴 분야는 해양생명 기초연구 분야에서 핵심기술 요소 선정을 위한 연구개발 성공 가능성 및 경제적 파급효과와 전략적 중요성 측면의 설문조사 결과, 산업화 가능 물질 생산 분야에서 신물질 개발과 함께 최고 기술 요소로 평가 받는 것은 당연할 것임

- 해양생물 기초연구 분야의 핵심 요소로 선정된 해양생물 유래 고부가가치 물질 발굴 및 응용을 위한 기술 개발의 연구내용 및 범위로 해양생물 유래 유용 물질 분석 및 유용 물질 생산 기작, 작용 기작 규명과 해양생물 유래 고부가가치 물질 대량 생산, 개량을 위한 원천기술 개발 등이 포함될 것임
- 이러한 핵심기술은 해양생물 유래 유용 물질 자원 확보, 해당 고부가가치 물질 합성 및 분리 방법 개발과 산업 활용 가능성 연구를 최종 목표로 설정하고 이를 통해 해양생물 유래 유용 물질의 분리 및 생산관련 원천기술을 활용한 고부가가치 물질 개발과 이를 이용한 산업화 효과를 기대함. 또한 개발된 물질의 다양한 활용을 위한 기술 개발과 다각화 효과도 기대할 수 있을 것임

■ 해양생물의 광합성 기작 규명 및 활용을 위한 기술 개발

- 글로벌 화석연료의 고갈과 화석연료의 사용으로 인한 대기오염 및 온실가스의 증가에 따른 지구적 환경 변화 등으로 인한 지속 가능한 대체 자원에 대한 요구가 급속히 증가함에 따라 태양에너지와 이산화탄소를 기반으로 광합성 반응을 통해 다양한 바이오매스 생산이 가능한 해양 유래의 광합성능을 갖는 미세조류를 이용한 기반기술의 연구가 활발히 이루어지고 있음
- 또한 해양 미세조류로부터 바이오매스, 바이오 에너지 뿐 만 아니라, 여러 건강보조 식품, 기능성 화장품 소재, 의약품 소재의 생산이 가능한 것으로 평가됨
- 이러한 독립영양 세포주인 광합성능 해양생물들에 대한 다양한 장점과 높은 잠재력에도 불구하고 광합성 기작, 특히 빛 에너지의 화학에너지 전환 기작, 광수확 시스템에 관한 근본적인 기작 규명이 미진한 상태임. 또한 현재까지의 광합성 관련 연구에 있어서는 식량 해소 차원의 식용작물을 비롯한 육상 식물 분야에 집중되어 왔음
- 따라서 다양한 장점과 높은 잠재력에도 해양 미세조류 등 해양생물의 낮은 생산성으로 인한 해양 바이오 소재 산업화에 한계를 보이는 해양생물의 문제를 극복하기 위한 근본적인 원천 기술연구로 광합성 기작의 규명을 통한 생명공학기술을 적용함으로써 문제점을 해결할 수 있을 것으로 사료됨
- 특히 해양 수생 생태에 적응한 해양미세조류를 대상으로 태양에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 고효율 광에너지 전환 시스템 개량을 위한 광합성 기작의 규명이 필수적임. 이러한 광합성 반응의 기작 규명을 통해 태양에너지를 활용한 고효율의 빛 에너지 이용 기술 개발과 같은 원천기초 연구가 필요할 것임

- 해양생물 기초연구 분야의 핵심 요소로 선정된 해양생물 유래 광합성 기작 규명 및 활용을 위한 기술 개발은 해양미세조류 등의 대상으로 신규한 광합성 관련 빛 수용체 합성 경로와 작용 기작의 규명을 연구 내용으로 하고 이러한 연구 결과를 통해 고효율 광에너지 전환체 해양생물 개발 및 고효율 광전환 최적화 원천기술 개발로 함
- 이러한 핵심 요소는 해양생물의 광에너지 전환 메커니즘 규명, 광에너지 전환 제어 기작을 규명하고 그 활용 기술 연구를 목표로 규정하고, 이들 해양생물의 광합성 반응 기작의 규명을 통한 고효율 광전환 시스템 원천기술 개발과 이를 이용한 대량 배양 기술 개발 및 이를 활용한 실용화 사업 추진과 같은 성과를 기대할 수 있음
- 해양-대기의 이산화탄소 교환은 해양-대기의 이산화탄소 분압차에 의해 결정되는데 있어 이들 결정의 주요 요소로 해수의 온도, 해양 순환, 해양미세조류 등에 의해 결정 된다고 알려져 있기 때문에, 해양 미생물의 광합성 효율 증진 연구 분야가 통합적 관점의 지구시스템 연구 방안에서 매우 중요한 유망 분야로 평가되었음. 이러한 해양 미생물 광합성 효율 증진 연구가 바로 해양생물의 광합성 기작 규명 및 활용을 위한 기술 요소로 정리될 수 있을 것임

■ 유전자 편집기술 확보를 통한 해양 미생물 활용 기술 개발

- 해양 분야 R&D 사업은 주로 해양수산부에서 주로 많은 연구 사업을 진행 중에 있으며, 이들 사업은 향후 파급효과가 기대되는 기초원천기술의 개변 보다는 즉각적인 응용 및 산업화와 관련된 연구과제에 집중되어 있어 기초원천기술에 대한 지속적이고 과감한 연구 투자가 요구되고 있음
- 가장 근본적이고 기초적인 해양생명 분야의 생명기능 규명에 대한 우리나라 해양 생명공학(BT) 기초 원천기술 개발은 연구비 기준, 연구과제 기준으로 매우 미흡한 것이 사실임. 따라서 우리나라 R&D 중 연구비 투자 비율이 낮은 해양생명과학 분야에 보다 적극적인 연구사업 진행을 통해 균형적인 기초원천 기술의 발전과 국가 신성장 동력원의 확보를 통해 국가 경쟁력 확보에 대한 비전을 제시해야 할 것임
- 현재 대두되고 있는 4차 산업혁명 시대에 적극적으로 대처하기 위해서는 해양생명 분야의 기술 특성상 생물학적, 유전학적 빅데이터 처리를 기반으로 해양생명 현상 규명을 통한 해양생물 기반 고기능성 바이오소재, 유용물질, 바이오매스 등을 생산, 활용, 응용할 수 있는 해양생명 분야 유망 원천기술 개발이 요구되며, 이를 통해 국내외적 신성장 산업을 개척하는 파급효과가 기대

됨

- 해양 생명산업은 해양 자원 및 해양생물을 대상으로 생명공학(BT)으로 조작하거나 또는 자체를 적극적으로 이용해 실제 생활에 적용할 수 있는 전반적인 산업을 의미하며 해양 바이오 유용 물질 및 신소재 개발 뿐만 아니라 기능성 미세조류와 해양미생물을 포함하는 해양유래 유용생물의 활용 및 생산 기술을 말함
- 이러한 관점에서 해양 생명산업은 큰 흐름에서 해양 생물자원을 이용 할뿐만 아니라, 유전공학 기술을 해양생물 자원에 적극적으로 적용시켜 보다 효율적으로 이용할 수 있는 기반 연구가 매우 중요함
- 그러기 위해서는 해양생명 자원의 확보 및 활용기반 구축도 중요하지만 해양 생물 유전자의 유용 유전자를 발굴하고 이들의 기능 분석을 통해 이를 이용할 수 있는 기술의 개발이 매우 중요함
- 최근 가장 뜨거운 신기술로 각광받고 있는 유전체 편집 기술은 미래 지구환경의 모든 것을 바꿀 수 있는 매우 혁신적인 기술로 인식되고 있음. 이 중에서 2012년부터 대두되기 시작해서 개발 5년여 간의 짧은 연구 기간에 가장 유망한 기술로 알려진 CRISPR/Cas9을 이용한 직접적이고 정확한 유전체 편집 기술의 발전이 매우 다양한 생명체를 대상으로 다양하게 적용되고 있음
- 현재는 이러한 유전자 편집 기술은 주로 육상 동식물에 다양하게 적용되고 있는 상태인데, 이러한 신기술을 해양생물을 대상으로 적용하는 기술의 개발이 시급함. 다양한 유용성을 갖고 있는 해양생물을 대상으로 유전자 편집 기술을 활용한 유용 형질전환체를 개발하고 이를 산업적으로 활용할 수 있는 기초 연구가 수행되어야 할 것임
- 따라서 해양생물 기초연구 분야의 핵심 요소로 선정된 유전자 편집기술 확보를 통한 해양 미생물 활용 기술 개발은 해양생물체 생명현상 규명과 생체 반응 기작의 이해를 바탕으로 해양생물에 적용 가능한 유전체 편집기술의 개발을 수행하고 이들 유전체 편집기술을 활용한 유용 형질전환체 개발과 그의 활용 방안의 원천기술의 개발로 함
- 이러한 핵심 요소는 해양생물 대상의 유전체 편집기술 확보를 통한 유용 형질전환체 개발과 활용을 목표로 규정하고, 이들 유전체 편집기술을 활용해 제작된 해양생물을 대상으로 대량 배양 혹은 특정 물질, 유용 산물의 생산을 도출할 수 있는 원천기술 개발과 확보된 원천기술을 바탕으로 신 산업화 기술을 확보하고 실용화를 기대할 수 있음

- 이를 통해 고부가 바이오소재 확보가 가능한 해양생물을 확보하고 이를 세포 배양 혹은 세포공장 구축을 통한 연구 개발이 동반될 수 있음

○ 종합 의견

- 해양 분야 연구는 지구시스템 관점의 통합 연구 부족, Geo-Bio 융복합 연구 및 미래 연구영역의 연계분야와 같은 활성화 부족 상태임. 특히, 해양생물 자원, 공정, 신소재 가공 등의 해양 생명 분야는 해양 극지 연구 분야 중에서 연구 투자 비율이 최근 3년간 4% 수준에 머물고 있어 장기적이고 안정적인 연구 개발 계획이 필요함
- 해양 생명/바이오 연구 분야는 해양생물이나 그들의 구성 성분, 생체 시스템, 생체 내 대사 과정 및 그 기능을 연구하는 것으로 해양생태계로부터 새로운 기능의 생명체를 발굴하거나 이의 활용을 촉진하여 궁극적으로 인간의 복지를 위한 생성물 혹은 서비스를 제공하는 것을 목적으로 함
- 해양 바이오 기초 연구는 해양생물을 대상으로 그 자체의 기능과 소재를 활용하거나 생명 공학적 조작을 통해 제품이나 기술을 창출하는 전반적인 연구이며 구체적으로는 해양 바이오 신물질 및 신소재 개발, 해양생물 대상 생명현상 및 생리적 기능 규명, 해양생물 유래 유전자 발굴을 통한 기능 규명기술과 활용, 해양생물 대상 생물학적 분석기술 개발 등을 포함하고 있음
- 해양 생명 산업은 글로벌 시장규모에 대한 자료는 조사 방법과 견해에 따라 2조 원~30조원으로 차이가 있으나 공통적으로 해양바이오산업을 장기적으로 성장잠재력이 우수한 신흥 기술(블루오션) 분야로 분류하고 있음
- 해양 생명 산업에 대한 세계 시장은 2010년 현재 4조 3천억 원(28억 유로)이며 원활한 산학협력을 통해 연평균 12%의 성장세를 유지할 것으로 전망하면서, 2025년까지 7조 4천억 원(58억 유로)에 이를 것으로 추정되며 이러한 광대하고 미개척의 해양 자원 활용을 통해 미래성장 잠재력이 매우 큰 분야임. 또한, 해양 생명 연구는 해양 생물자원과 생명 공학이 경제적, 사회적 진보에 기여할 수 있는 실용적이고 현실적인 접근법을 제공할 것임
- 2014년 수립된 ‘차세대 해양생명공학 육성전략’사업은 경제적 가치 창출과 세계 해양바이오 시장 점유율 향상, 원천기술 확보를 위한 5개 전략과 4대 중점 R&D 분야를 기반으로 2023년까지 추진할 목표로 제시하여 수행중임. 이에 경제적 가치 창출 생산 유발 1조 천억 원 이상, 1만 명이상 취업 유발 분야로 예상됨
- 이러한 해양 생명 연구 분야에 적극적인 연구 투자를 바탕으로 해양 생물자원의 원천 기초 연구를 통한 활용과 응용 가치 증대 가능성을 확인하고, 이를 바탕으로 해양 생명 연구를 통한 활용에 대한 정부의 적극적인 투자와 연구 성과로 신

산업의 창출과 고부가가치의 신규 시장의 선점을 주도할 수 있을 것으로 기대됨

- 이러한 해양 생명 연구 개발에 대한 전략적 접근 모색을 위해, 시장 및 정책 동향 분석, 논문 및 특허 분석, 전문가 설문 조사 결과를 토대로 연구 개발 성공 가능성이 높고 정부의 집중 투자가 요구되는 핵심 기술로 “해양생물 유래 고부가가치 발굴, 기작 규명 및 그 응용을 위한 기술 개발”, “해양생물의 광합성 기작 규명 및 활용을 위한 기술 개발”, “유전자 편집기술 확보를 통한 해양 미생물 활용 기술 개발”로 선정함
- 해양생명 분야의 도출된 핵심기술들을 정리하면 다음과 같음

핵심기술명: 해양생물 유래 고부가가치 발굴, 기작 규명 및 응용을 위한 기술 개발
<ul style="list-style-type: none"> • 최종 목표: 해양생물 유래 유용 물질 자원 확보, 해당 고부가가치 물질 합성 및 분리 방법 개발과 산업 활용 가능성 기초 원천기술 개발 • 필요성 및 당위성: <ul style="list-style-type: none"> - 미래 신사업으로 바이오의약품 등 다양한 분야의 고부가가치 물질에 대한 생산 시스템 개발의 필요성이 높아짐 - 해양미세조류 기반 특이적 고부가가치 바이오 물질을 발굴하고, 대량 발현 시스템 적용 원천기술 개발이 시급함 • 연구내용 및 범위: <ul style="list-style-type: none"> - 해양생물 대상 고부가가치 물질 특성 분석 및 생산 메커니즘 규명 - 해양생물 기반 고부가가치 물질 대량 생산 기술 및 개량 원천기술 확립 • 기대효과: <ul style="list-style-type: none"> - 해양생물 유래의 유용 물질의 분리 및 생산관련 원천기술을 활용한 고부가가치 물질 개발과 이를 이용한 산업화 효과 - 특이적인 고부가가치 물질의 생산과 고발현시스템의 원천 기술 개발을 통한 물질 대량 생산 및 최적화 기술 확립 - 개발된 물질의 다양한 활용을 위한 기술 개발과 다각화 효과

핵심기술명: 해양생물의 광합성 기작 규명 및 활용을 위한 기술 개발
<ul style="list-style-type: none"> • 최종 목표: 해양미세조류의 광에너지 전환 메커니즘 규명, 광에너지 전환 제어 기작을 규명하고 그 활용 기술 연구 • 필요성 및 당위성: <ul style="list-style-type: none"> - 해양 수생 생태에 적응한 해양미세조류를 대상으로 태양에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 고효율 광에너지 전환 시스템 개량을 위한 광합성 작용 기작의 규명이 필수적임 - 해양미세조류에서 광합성 반응의 기작 규명을 통해 태양에너지를 활용한 고효율의

빛 에너지 이용 기술 개발 필요

- 연구내용 및 범위:
 - 해양미세조류 대상의 신규한 광합성 관련 빛 수용체 합성 경로와 작용 기작의 규명 연구
 - 이를 통해 고효율 광에너지 전환체 해양미생물 개발 및 고효율 광전환 최적화 원천기술 개발
- 기대효과:
 - 해양미세조류의 광합성 반응 기작의 규명을 통한 고효율 광전환 시스템 원천 기술 개발
 - 이를 응용한 대량 배양 기술개발 및 이를 활용한 실용화 사업 추진 가능

핵심기술명: 유전자 편집기술 확보를 통한 해양 미생물 활용 기술 개발

- 최종 목표: 해양생물자원 대상의 유전체 편집기술 확보를 통한 유용 형질전환체 개발과 활용
- 필요성 및 당위성:
 - 최근 신기술로 각광받고 있는 유전체 편집 기술을 해양생물을 대상으로 적용하는 기술의 개발이 필요함
 - 다양한 유용성을 갖고 있는 해양 미생물을 활용한 유용 유전체 편집 형질전환체를 개발하고 산업적 활용이 매우 중요함
- 연구내용 및 범위:
 - 해양 미생물 적용가능 유전체 편집기술 개발로 해양생물체 생명현상 규명과 생체 반응 기작의 이해
 - 유전체 편집기술 활용한 유용 형질전환체 개발과 그의 활용 방안의 원천기술 개발
- 기대효과:
 - 유전체 편집기술을 활용해 제작된 해양생물을 대상으로 대량배양 또는 특성화 물질 생산 원천기술 개발
 - 확보된 원천기술을 바탕으로 신 산업화 기술 확보와 실용화 가능

해양생명 기초연구 분야 설문 자사 참여자 명단

성명	소속	직위	기관분류
강성균	한국해양과학기술원	책임연구원	연구소
강승훈	대웅제약	책임연구원	산업체
김성구	부경대학교	교수	연구소
김광용	전남대학교	교수	대학
김광훈	국립공주대학교	교수	대학
박천규	한국석유품질원	팀장	산업체
백승필	고려대학교	교수	대학
오유관	한국에너지기술연구원	연구실장	연구소
정한선	보령제약	부장	산업체
정웅식	극지연구소	선임연구원	연구소
차형준	POSTECH	교수	대학
최용수	한국과학기술연구원	책임연구원	연구소
한명수	한양대학교	교수	대학
황용식	건국대학교	교수	대학

나. 해양신소재 원천기술 개발 분야 (2세부)

○ 요소기술 도출 전략

- 2세부 과제 [해양신소재 원천기술 개발] 요소기술 도출 전략은 아래와 같이 이루어졌으며, 각각의 분석 결과는 다음과 같음

○ 특허 조사를 통한 특허맵 작성 및 이를 통한 원천 선행 기술 도출

- 1980년 이후 해양신소재 관련 검색어로부터 1,364 건의 국내외 특허를 확보하였으며, 이 중 유효특허에 대한 정량분석을 수행하여, 2세부 과제의 경우 4구간(2002년~2008년)과 5구간(2009년~2015년)에 급격한 성장이 이루어짐을 확인하였음

그림 3.45. 해양신소재 관련 출원연도 및 출원건수 상관관계

- 유효 특허검색을 통해 15개의 핵심 소재 기술을 선정하였으며, 이에 대한 내용은 다음과 같음. 이 중 가장 많은 특허 건수를 기록한 항목은 “3. Lipids and biofuels from microalgae” 이었으며, 그 다음으로는 “14. Enzymes and proteins from marine organisms” 이었음

표 3.16. 해양 신소재 분야 15개 핵심 소재 기술

미세조류 (MIA)	1. PUFAs from microalgae (MIA PUFAs) 2. Carotenoids from microalgae (MIA carotenoids) 3. Lipids and biofuels from microalgae (MIA lipids) 4. Microalgae strain development and cultivation (MIA cultivation)
거대조류 (MAA)	5. Biofuels from macroalgae (MAA biofuels) 6. Polymers and metabolites from macroalgae (MAA metabolites) 7. Enzymes from macroalgae (MAA enzymes) 8. Macroalgae strain development and cultivation (MAA cultivation)
해양박테리아 (MB)	9. PUFAs from marine bacteria (MB PUFAs) 10. Carotenoids from marine bacteria (MB carotenoids) 11. Polymers and metabolites from marine bacteria (MB metabolites) 12. Enzymes from marine bacteria (MB enzymes) 13. Marine bacteria strain development and cultivation (MB cultivation)
해양생명체 (MO)	14. Enzymes and proteins from marine organisms (MO proteins) 15. Metabolites from marine organisms (MO metabolites)

○ 논문 조사를 통한 개량 가능 기술 도출

- 1980년 이후 해양신소재 관련 검색어로부터 1,467 건의 국내외 논문을 확보하였으며, 년대별 관련 논문 건수를 조사한 결과는 그림 2와 같으며, 15개의 핵심 소재 기술 중 가장 많은 논문이 발표된 항목은 “3. Lipids and biofuels from microalgae” 이었으며, 그 다음으로는 “12. Enzymes from marine bacteria” 이었음

그림 3.46. 해양신소재 관련 연도별 논문건수 상관관계

○ 전문가 설문 조사를 통한 의견 수렴 및 분석

■ 설문 조사 절차

- 핵심기술 설정

: 관련 분야 국내외 특허 및 논문 분석 자료 등을 토대로,

- ✓ 해양 신소재 분야를 총 13개의 관련 분야 기술로 설정
- ✓ 경제적 파급효과, 전략적 중요성, 기술달성 가능성 측면에서 각 항목별 중요도를 5단계로 구분하여 설정

- 설문조사

- ✓ 해양 신소재 관련 기초/응용 연구, 바이오에너지 관련 분야 전문가를 대상으로 설문 조사를 통한 의견 수렴
- ✓ 설문대상자는 총 20명의 전문가로 선정 (이중에서 16명 회신)

표 3.17. 기술별 설문대상자 현황

분야	기관			계
	대학	연구소	산업체	
해양 유래 신소재 개발	1) 성균관대 권대혁 교수 2) 이화여대 박시재 교수 3) 대구한의대 박종필 교수 4) 고려대 백승필 교수 5) 영남대 서정현 교수 6) 선문대 서주현 교수 7) 인하대 신화성 교수 8) 강릉원주대 연영주 교수 9) 고려대 오민규 교수 10) 건국대 윤형돈 교수 11) 부산대 이선구 교수 12) 명지대 이현호 교수 13) 국민대 정상택 교수 14) 아주대 최권영 교수 15) 강원대 하석진 교수 16) 인천대 황병희 교수			16

■ 분석결과

- 13개의 기술에 대한 경제적 파급효과, 전략적 중요성, 기술달성 가능성을 각각 5단계 (매우 낮음, 낮음, 보통, 높음, 매우 높음)로 나눠 평가를 진행하였으며, 단계별로 각각 1점~5점을 부여하여 설문대상자 점수를 합산하여 총점을 산정
- 기술 분야별 최종순위

표 3.18. 기술 분야별 최종순위

1. 경제적 파급효과	총점	순위
① 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체 생합성 기술	63	3
② 특수 단백질 소재 탐색 및 생합성 기술	69	1
③ 산업용 효소 소재 탐색 및 생합성 기술	65	2
④ 유무기물 복합소재 탐색 및 생합성 기술	55	7
⑤ 섬유복합소재 탐색 및 생합성 기술	56	5
⑥ 계면활성제 탐색 및 생합성 기술	53	11
⑦ 해양미세조류 바이오매스 증진요소	56	5
⑧ 해양미세조류 지질함량 증대 대사	51	12
⑨ 해양미세조류 지질 유용성분	57	4
⑩ 해양미세조류 유래 지질 정제	54	10
⑪ 지질/지방산 기반 바이오디젤 생산 공정 부산물 활용 기술	51	12
⑫ 알콜 기반 바이오가솔린 생합성 기술	55	7

⑬ 알콜 기반 제트기연료 생합성 기술	55	7
2. 전략적 중요성	총점	순위
① 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체 생합성 기술	67	2
② 특수 단백질 소재 탐색 및 생합성 기술	73	1
③ 산업용 효소 소재 탐색 및 생합성 기술	64	3
④ 유무기물 복합소재 탐색 및 생합성 기술	62	4
⑤ 섬유복합소재 탐색 및 생합성 기술	58	7
⑥ 계면활성제 탐색 및 생합성 기술	50	13
⑦ 해양미세조류 바이오매스 증진요소	60	5
⑧ 해양미세조류 지질함량 증대 대사	55	8
⑨ 해양미세조류 지질 유용성분	59	6
⑩ 해양미세조류 유래 지질 정제	54	10
⑪ 지질/지방산 기반 바이오디젤 생산 공정 부산물 활용 기술	52	12
⑫ 알콜 기반 바이오가솔린 생합성 기술	55	8
⑬ 알콜 기반 제트기연료 생합성 기술	54	10
3. 기술달성 가능성	총점	순위
① 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체 생합성 기술	66	3
② 특수 단백질 소재 탐색 및 생합성 기술	68	1
③ 산업용 효소 소재 탐색 및 생합성 기술	67	2
④ 유무기물 복합소재 탐색 및 생합성 기술	61	4
⑤ 섬유복합소재 탐색 및 생합성 기술	61	4
⑥ 계면활성제 탐색 및 생합성 기술	60	7
⑦ 해양미세조류 바이오매스 증진요소	55	12
⑧ 해양미세조류 지질함량 증대 대사	58	9
⑨ 해양미세조류 지질 유용성분	60	7
⑩ 해양미세조류 유래 지질 정제	56	10
⑪ 지질/지방산 기반 바이오디젤 생산 공정 부산물 활용 기술	61	4
⑫ 알콜 기반 바이오가솔린 생합성 기술	56	10
⑬ 알콜 기반 제트기연료 생합성 기술	53	13

■ 분석 결과 요약

■ 기술 분야별 조사

- 경제적 파급효과, 전략적 중요성, 기술달성 가능성 측면
: ‘특수 단백질 소재 탐색 및 생합성 기술’, ‘고분자, 바이오플라스틱 및 단량체 합성 기술’, ‘산업용 효소 소재 탐색 및 생합성 기술’이 3위권 안의 높은 순

위를 나타냄. 특히 ‘특수 단백질 소재 탐색 및 생합성 기술’은 3가지 측면 모두 가장 높은 점수를 받았음

○ 핵심기술 선정

- 해양 산업용 소재 발굴 및 상용화를 위해 특허 및 논문 분석, 시장 및 정책 동향 분석, 전문가 설문조사 내용 등을 토대로 성공 가능성이 높고 정부의 집중 투자가 필요로 되는 핵심기술을 다음과 같이 선정함

- 해양 생명체 유래 특수 단백질 (산업 용 효소 포함) 생산 및 이를 활용한 고부가 산업용 신소재 원천 기술 개발
- 해양 지질을 비롯한 해양 바이오매스로부터 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체 생합성 원천 기술 개발
- 미세조류로부터 고효율의 바이오디젤 생산 및 생산된 부산물의 재활용을 통한 신소재 원천 기술 개발

○ 지구통합시스템 연구 중 탄소순환 측면에서의 중요성

- 탄소순환 연구 전문가인 박지형교수의 최근 연구논문(Environ. Sci. Technol., 2017, 51: 10459-10467)에 의하면 해수로부터 발생하는 이산화탄소 중 상당부분이 해안가 생명체에 의해 생성되고, 해안가 생명체에 의해 생성되는 이산화탄소 양은 하천수로부터 유입되는 유기물 양에 의해 많은 영향을 받는 것으로 보고되었음
- 따라서, 하천 하구에서 미세조류 배양을 통해 하천수의 유기물 양을 줄인다면 해양 유래 이산화탄소 발생량을 줄이는데 상당한 기여를 할 것으로 생각됨
- 대표적인 예가 조류(algae)를 활용한 폐기물 에너지 전환(waste-to-energy) 기술임(Int. J. Mol. Sci. 2017, 18:79). EU로부터 700만 유로를 지원받아 진행되고 있는 All-gas 프로젝트(<http://www.all-gas.eu>)는 미세조류를 활용한 하수 폐수 바이오에너지 전환 기술 개발 사업임. All-gas 프로젝트는 현재 스페인의 치클라나 데 라 프론테라(Chiclana de la Frontera) 하수처리장 내 10헥타르 규모의 조류 배양장에서 혐기 소화조에서 처리된 방류수로부터 조류를 증식한 후 바이오디젤을 추출하는 실용화 연구임

- 또 다른 예는 미국 NASA의 지원을 받아 진행된 OMEGA 프로젝트임 (<http://omegaglobal.org>). 이 프로젝트에서는 미국 서부 해안 도시의 하수처리장 방류수로부터 바다에 띄운 반투과성 막배양기를 이용해 조류를 배양하고 조류 지질을 회수하여 이것으로부터 바이오디젤을 생산하는 연구임 (<http://www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-143/CEC-500-2013-143.pdf>). 이 시스템을 통해 해수에서 생산 배출되는 이산화탄소 양도 줄이고 바이오디젤과 같은 연료도 생산할 수 있는 것으로 사료됨
- 본 연구과제에서 제안된 기술들 중 두 번째 세 번째 기술은 해양미세조류 배양을 통한 해양 지질 생산이 첫 단계에 포함되어 있으므로, 한강 하구와 같은 곳에서 하천수에 포함된 유기물을 영양원으로 미세조류를 배양하고 미세조류가 생산한 지질로부터 고분자, 바이오플라스틱, 단량체 생산 뿐만 아니라 바이오디젤 생산 및 생산된 부산물의 재활용 기술을 개발한다면 해수에서 발생하는 이산화탄소 양도 줄일 수 있고, 산업용 소재 및 연료 생산도 가능할 것으로 사료됨

○ 종합 의견

- 우리나라는 해양 산업용 신소재 발굴 및 상용화 분야에 우수한 연구기반을 가지고 있으므로, 이러한 연구기반을 바탕으로 해양 산업용 신소재 발굴에 필요한 기초 원천기술 연구에 정부의 적극적인 투자, 국내 최첨단 바이오 기술과의 연계 및 이로부터 얻어진 신소재의 특허출원 활성화 등을 통하면 빠른 시일 안에 고부가가치의 해양바이오 신소재 시장의 선점이 가능할 것으로 기대됨
- 특히, 그동안 국내에 축적된 해양 생명체 유래 특수 단백질 (예로 홍합접착 단백질, 해양 말미잘 실크 단백질 등)의 탐색 및 생산/고부가화 기술을 활용한다면 향후 산업 용 특수단백질 개발 분야에서 국제경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 사료됨
- 또한, 축적된 해양미세조류 배양 기술과 해양 지질 생산 기술을 바탕으로 지질/지방산의 고부가 가치화 기술을 접목한다면 해양 지질 유래 고부가 산업용 소재 개발 분야에서 세계 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 사료됨.
- 수년간 국가 기반 R&D 사업으로 진행되었던 “미세조류 유래 바이오에너지 생산 연구”로 인해 기술적인 노하우가 축적되었으며 관련 인프라도 상당 부분 구축되었음. 이러한 기술과 인프라를 바탕으로 바이오에너지 생산성 향상 및 부산물의 재활용을 통한 고부가 바이오소재 개발 연구가 지속된다면 짧은 기간 내 국제경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대 됨

- 전 지구적 탄소순환 측면에서 본다면 해수 유래의 유기물과 대기 중의 이산화탄소로부터 해양 (미세)조류가 증식하면서 지질, 탄수화물, 단백질 등을 생산하게 된다면 대기 중의 이산화탄소 축적 저감화에 상당한 역할을 할 것으로 기대됨. 특히, 한강 하구와 같은 곳에서 미세조류 배양을 통해 하천수의 유기물을 감축한다면 해수로 유입되는 유기물의 양이 줄어들어 해수 생명체에 의해 생산되는 이산화탄소의 양을 감소시키는 데 큰 역할을 할 것으로 기대됨

다. 3세부

○ 전문가 설문 조사를 통한 의견 수렴 및 분석

■ 설문 조사 절차

- 핵심기술 설정
 - : 관련 분야 국내외 특허 및 논문 분석 자료 등을 토대로,
 - ✓ 제 1단계는 기술 분야 그리고 2단계는 대상 질환 분야 설정
 - ✓ 제 1단계의 기술 분야는 총 8개의 관련 분야 기술로 설정하고, 제 2단계는 총 4개의 주요 타겟 질환분야로 설정
 - ✓ 경제적 파급효과, 전략적 중요성, 기술달성 가능성 측면에서 각 항목별 중요도를 5단계로 구분하여 설정
- 설문조사
 - ✓ 해양 천연물 관련 기초/응용 연구, 신약 개발 등 관련 분야 전문가를 대상으로 설문 조사를 통한 의견 수렴
 - ✓ 설문대상자는 총 20명의 전문가로 선정 (이중에서 18명 회신)

표 3.19. 기관별 설문대상자 현황

분야	기 관			계
	대학	연구소	산업체	
해양 신의약 소재 연구 및 의약품 개발	13	3	2	18

■ 분석결과

- 기술 분야별 최종순위

표 3.20. 기술 분야별 최종순위

1. 경제적 파급효과	평균	순위
① 해양환경의 생물 다양성 및 화학적 다양성	3.33	8
② 신규 작용기작 규명	3.50	7
③ 생리활성물질의 연속적 생산 (미생물 배양 및 화학 합성)	4.06	2
④ 해양 신의약 선도물질 발굴	4.67	1
⑤ 해양 생물 기반 기능성 화장품 개발	3.83	3
⑥ 해양바이오 물질의 제형 개발	3.67	5
⑦ 해양 생물 기반 새로운 약물전달소재 (carrier) 개발	3.78	4
⑧ 해양 생물 기반 재생의학 소재 개발	3.56	6
2. 전략적 중요성	평균	순위
① 해양환경의 생물 다양성 및 화학적 다양성	3.72	4
② 신규 작용기작 규명	3.65	6
③ 생리활성물질의 연속적 생산 (미생물 배양 및 화학 합성)	4.12	2
④ 해양 신의약 선도물질 발굴	4.67	1
⑤ 해양 생물 기반 기능성 화장품 개발	3.56	7
⑥ 해양바이오 물질의 제형 개발	3.67	5
⑦ 해양 생물 기반 새로운 약물전달소재 (carrier) 개발	3.78	3
⑧ 해양 생물 기반 재생의학 소재 개발	3.39	8
3. 기술달성 가능성	평균	순위
① 해양환경의 생물 다양성 및 화학적 다양성	3.72	4
② 신규 작용기작 규명	3.39	7
③ 생리활성물질의 연속적 생산 (미생물 배양 및 화학 합성)	3.83	3
④ 해양 신의약 선도물질 발굴	4.00	2
⑤ 해양 생물 기반 기능성 화장품 개발	4.06	1
⑥ 해양바이오 물질의 제형 개발	3.61	5
⑦ 해양 생물 기반 새로운 약물전달소재 (carrier) 개발	3.56	6
⑧ 해양 생물 기반 재생의학 소재 개발	3.06	8

- 대상 질환별 최종순위

표 3.21. 타겟 질환별 최종순위

1. 경제적 파급효과	평균	순위
① 항암	4.39	2
② 항염증	4.44	1
③ 감염성 질환	4.22	3
④ 피부질환	3.89	4
2. 전략적 중요성	평균	순위
① 항암	4.17	2
② 항염증	4.39	1
③ 감염성 질환	4.00	3
④ 피부질환	3.89	4
3. 기술달성 가능성	평균	순위
① 항암	3.39	3
② 항염증	3.39	3
③ 감염성 질환	3.44	2
④ 피부질환	3.56	1

■ 분석 결과 요약

■ 기술 분야별 조사

- 경제적 파급효과, 기술달성 가능성 측면
: ‘해양 신의약 선도물질 발굴’, ‘생리활성물질의 연속적 생산’, ‘해양 생물 기반
기능성 화장품 개발’이 모두 3위권 안의 높은 순위를 나타냄
- 전략적 중요성 측면
: ‘해양 신의약 선도물질 발굴’, ‘생리활성 물질의 연속적 생산’, ‘해양 생물 기반
새로운 약물전달 소재 개발’ 이 높은 순위를 나타냄

-
-
-

■ 대상 타겟 질환 분야 조사

- 전반적으로 항염증과 항암 치료 분야가 유사하게 높은 점수 분포를 보임. 다만, 경제적 파급효과, 전략적 중요성 측면에서는 항염증 치료제 개발이, 기술 달성 가능성 측면에서는 피부질환치료제 개발이 가장 높은 점수를 받았음

○ 핵심기술 선정

- 해양 신의약 소재 발굴 및 상용화를 위해 시장 및 정책 동향 분석, 전문가 설문 조사 내용 등을 토대로 한 핵심 기술과 함께 의약품 선도 화합물 도출 개요는 아래 그림과 같음
- 의약품 선도 물질 개발 과정을 기본으로 한 성공 가능성이 높고 정부의 집중 투자가 필요로 하는 구체적인 질환 치료제 선정이 필요

그림 3.47. 의약품 선도물질 개발 과정

■ 해양 신의약 선도물질 발굴 및 대량 기술 개발

- 해양 생물 기원의 천연물은 다른 육상 생물에 비하여 화학적 구조가 새롭고 생리활성 면에서 더 우수하기 때문에 짧은 역사를 가진 해양 천연물 연구 분야는 상대적으로 의약품 개발에 많이 활용되고 있음. 이러한 이유는 육상생물에 비하여 생물학적인 다양성과 특이한 서식 환경을 들 수 있으며 아직 탐색되지 않은 미지의 생물종이 많은 이유와 함께 화합물과의 신규 반응기작도 발견되기 때문임
- 해양 생물로부터의 의약품 개발에 있어서의 핵심기술로는 1차적으로 생리활성을 갖는 화합물 발굴에 있음

- ✓ 해양 생물 종으로부터 화합물 분리 기술과 신속하고 정확한 화학 구조 규명 기술
- ✓ 해양생물 기원 화합물 라이브러리 구축
- ✓ 화합물의 다양한 활성 검사 및 생리활성 화합물의 작용기작 규명 기술
- ✓ 활성 강화를 위한 화합물 유도체 합성과 물성 최적화
- ✓ 동물 실험을 위한 화합물 확보 : 유기 합성 및 미생물 배양
- ✓ 동물 모델에 대한 효능 및 안전성 평가
- 해양 자원 유래 의약품개발에서 원천기술을 확보하기 위하여 위에 기술된 핵심 기술이 강조되어야 하며 이러한 사실은 위에서 수행한 전문가 설문조사와 최근 해양 천연물 동향과 일치하고 있음. 따라서 향후 해양 생물 기반 의약품 개발에서 기초적인 신규 생리활성 화합물 발굴이 최우선이 되어야 하며 이러한 핵심기술을 기반으로 이와 연관되어 생명공학자와 유기화학자의 협업이 필요함.

■ 해양 생물 종 탐색과 유용 해양 미생물 배양

- 현재보다 더 다양하고 많은 선도 생리활성 화합물 발굴을 위하여 미지의 해양 생물 종 탐색이 필수적임
- 수많은 해양 생물 종으로부터 유용한 생물 종 발견을 위하여 소량 분획물에 대한 신속한 활성 스크리닝 등 제반 기술과 소량 분액물에 대한 생리활성 라이브러리의 지속적인 구축이 필요함. 이로부터 국내외 해양 생물의 체계적인 채집이 수행되어야 함
 - ✓ 해양 및 심해지역으로 접근이 용이한 장비 개발
 - ✓ 해양 생물 종에 대하여 정확하고 빠른 분류 기술의 확보
 - ✓ 국내 외 생물종 확보 및 데이터베이스 구축 : 타 국가의 해양 생물종의 확보를 위한 나고야 의정서의 전략적 이용
- 새로운 해양 생물종의 발굴과 생리활성 화합물의 지속적인 공급은 별개의 문제이므로 향후 상업화를 위하여 해양 미생물을 활용한 물질의 대량 공급 기술 개발
 - ✓ 유용 선도 화합물을 생산하는 미생물 탐색
 - ✓ 해양미생물 대량 배양 기술 확립과 메타지노믹스 방법을 활용한 난배양성 해양 미생물 배양 기술 확보
 - ✓ 미생물의 생리활성 화합물의 생합성 경로과정에 대한 유전정보, 클로닝, 발현에 대한 기술 개발

■ 해양 신의약 소재의 생체 응용 기술 개발

- 특허맵 및 논문맵에 기반한 최근의 연구 동향 그리고 설문조사를 통한 전문가 의견에서 볼 수 있듯이 해양 생물 유래 생리활성물질의 활용 분야는 항염증/항암 등을 비롯한 새로운 치료제 개발 뿐 만 아니라 기능성 화장품, 새로운 약물전달 소재 등을 포함하여 다양한 분야에 치료학적 응용 및 산업적 활용도가 높은 분야가 필요함
- 이 외에도 해양 생물 기반 생리활성 화합물이 새로운 질환에 활용될 수 있는 분야가 필요하게 됨
- 특히, 의약품, 건강기능성 식품, 기능성 화장품과 관련된 글로벌 시장의 지속적인 성장 추세, 고령화 및 웰빙 의약품에 대한 수요 증가 등을 고려할 때, 해양생물 기반의 환자 친화적 새로운 치료제 및 기능성 제품에 대한 미래 시장 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예측됨
- 또한, 발굴된 생리활성 물질들이 궁극적으로는 사람에게 투여 가능한 형태로 제조 가능해야 됨을 고려할 때, 해양 생물 유래 신의약 소재의 물성 최적화 및 생체전달 기술의 개발은 발굴된 선도물질의 성공적인 상용화에 필수 불가결한 요소임. 특히, 천연물 기반 생리활성 물질들이 전반적으로 난용성이고 생체이용률이 낮기 때문에 천연물질의 생체 전달 효율 개선 등을 포함한 신약 후보 물질의 성능 개선에 관한 연구 및 투자가 후보물질 발굴 단계에서부터 필요로 됨
- 따라서, 해양 신의약 소재의 수요 맞춤형 임상 개발의 성공률 제고를 위한 핵심 기술로 빅데이터 기반 유망 후보물질 선정 및 유도체 개발, 고효율 생체 전달 플랫폼 기술 개발과 이를 기반으로 한 해양 신의약 소재의 물성 및 생체이용률 최적화가 매우 중요함

○ 종합 의견

- 해양 환경은 의약품이나 화장품 등 기능성 소재로 개발 가능한 다양한 생리활성 물질의 새로운 원천지이며 이러한 생각은 오래전부터 인식되어 왔음
- 최근 세계적으로 해양 생물 탐색 기술, 새로운 작용기작을 갖는 신규 화합물 발견, 이와 함께 유용 해양 미생물 분리 및 배양 기술 발전을 기반으로 한 의약품과 기능성 소재 개발에 해양 생물을 활용하는 연구가 활발하게 진행되고 있으므로 해양천연물 분야에서 르네상스를 맞이하고 있음
- 하지만 해양 천연물은 복잡한 화학 구조를 가지며 이 화합물들을 지속적으로 공급할 수 없다는 점에서 오랜 기간 동안 의약품 개발에 한계를 보여주었으나,

2000년 이후 5개의 해양 기원 신의약품으로 승인되었으며 글로벌 해양 제약 전 임상 파이프라인에서 1000여종 이상의 해양 천연물을 포함하고 있을 정도로 각광을 받고 있음. 이러한 배경에는 다양한 신규 생리활성 화합물의 발견과 함께 화학합성, 배양 기술 등 생명공학에서의 놀라운 혁신에 가져왔기 때문에 가능하게 되었음

- 우리나라도 오래 전부터 천연물 신약 개발 분야에 우수한 연구기반을 가지고 있으므로, 이러한 연구기반을 바탕으로 의약품 소재로서 해양생물자원의 활용가치에 대한 인식을 높이고 정부의 적극적인 투자, 국내 최첨단 바이오 기술과의 연계 및 이로부터 얻어진 신물질의 특허출원 활성화 등을 통하면 빠른 시일 안에 고부가가치의 해양바이오의약품 시장의 선점이 가능할 것으로 기대됨
- 특히, 글로벌 의약품 시장의 지속적 성장 추세, 합성의약품의 R&D 생산성의 한계 및 부작용 이슈, 만성질환의 지속적 증가에 따른 의약품의 장기 복용, 고령화 및 웰빙 의약품에 대한 수요 증가 등을 고려할 때, 해양생물 기반의 환자 친화적 새로운 치료제 및 기능성 소재 발굴에 대한 미래 시장 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예측되며, 적절한 제형 기술의 접목은 발굴된 선도물질의 산업화 성공 가능성을 높이고 글로벌 시장 경쟁력 제고에 크게 기여할 것으로 전망됨
- 이러한 목표를 달성하기 위하여 제약 개발에 큰 문제점이 될 수 있는 요소들의 해결이 선행되어야 함. 가령 (i) 우수한 약리작용을 지닌 많은 후보물질들이 낮은 생체이용률, 용해도 등의 문제점으로 인해 ‘연구’단계에서 ‘개발’단계로 진입하지 못하고 신약 후보물질로서의 가치를 상실하는 경우가 많고 (Nature Reviews Drug Discovery, 2003), (ii) 발굴된 생리활성 물질들이 궁극적으로는 사람에게 투여 가능한 형태로 제조 가능해야 됨을 고려할 때, 신의약 소재 발굴 단계에서부터 생리활성 물질의 부적합한 물성의 최적화 및 생체전달 기술의 개발은 신의약 소재의 성공적인 상용화에 매우 중요함. 특히, 천연물 유래 생리활성 물질들이 전반적으로 난용성이고 생체이용률이 낮기 때문에 천연물질의 가용화를 위한 범용적 플랫폼 기술의 접목과 전달 효율 개선 등을 포함한 신약 후보물질의 성능 개선에 관한 연구 및 투자가 후보물질 발굴 단계에서부터 필요로 됨
- 이러한 병렬적/통합적 신약개발 전략은 글로벌 다국적 제약회사들이 신약 개발 R&D 성공률을 극대화하고 가속화하기 위해 적극적으로 수용하고 있는 전략으로서, 이러한 국제적인 신약개발전략 변화에 적극적으로 대응할 필요가 있음
- 신약 개발에 내재된 큰 문제적 요소와 함께 우리나라에서 당면한 큰 어려움은 해양 자원이 풍부하지 못하다는 데 있음. 비록 우리나라는 삼면이 바다로 이루어

어져 있지만, 의약품 및 기능성 소재로 활용될 수 있는 해양 자원은 열대지역에 비하여 매우 열악한 실정에 있는 것이 사실임. 이러한 문제의 해결로서 해외 자원의 적극적인 활용과 지역적 특이성을 갖는 해양 미생물 탐색 및 배양에 있음. 이들을 기초로 하여 국내에서도 생리활성이 우수한 선도 물질을 발굴할 잠재력 가능성은 충분히 높음

- 의심할 여지할 없이 해양 자원은 경제적인 잠재력이 매우 커 다양한 분야의 전문가와 효율적인 협력으로 지속가능하고 폭넓은 성장을 유도할 수 있는 유망한 분야임

라. 4세부

○ 핵심기술 설문조사 결과

- 해양생태환경 분야별 전문가에게 핵심기술 설문지 발송

표 3.22. 분야별 · 기관별 설문대상자 현황

분야	기 관		계
	대학	연구소	
해양생명			
해양신소재			
해양의약품			
환경생태	8	5	13
해양안전/에너지			
계			

표 3.23. 해양환경생태분야 핵심기술 개발에 따른 경제적 파급 효과

1. 해양생태진단	평균	순위
1-1 해양생물오염물 추적 진단 기술	3.5	3
1-2 해양생태 환경오믹스 기술	3.8	2
1-3 해양생물 확대평가 기술	3.4	5
1-4 동위원소 생태진단 기술	4.1	1
1-5 해양환경 지표생물 발굴	3.4	5
1-6 해양환경 분자생태 기술	3.5	3
2. 해양환경개선	평균	순위
2-1 해양생물복원 기술	3.7	4
2-2 해양생태계 복원 기술	4.5	1
2-3 해양 생물 조절	3.4	6
2-4 실시간 오염물질 분석	4.3	2
2-5 식물독성 평가 기술	2.8	7
2-6 해양생태독성 평가 기술	3.5	5
2-7 해양환경 감식 기술	4.2	3

표 3.24. 해양환경생태분야 핵심기술의 전략적 중요성

1. 해양생태진단	평균	순위
1-1 해양생물오염물 추적 진단 기술	3.5	3
1-2 해양생태 환경오믹스 기술	3.9	2
1-3 해양생물확대평가 기술	3.5	3
1-4 동위원소 생태진단 기술	4.5	1
1-5 해양환경 지표생물 발굴	3.4	6
1-6 해양환경 분자생태 기술	3.5	3
2. 해양환경개선	평균	순위
2-1 해양생물조절 복원 기술	3.5	5
2-2 해양생태계복원 기술	4.5	1
2-3 해양 생물 조절	3.1	5
2-4 실시간 오염물질 검출 기술	4.0	2
2-5 식물독성평가 기술	2.7	7
2-6 해양생태 독성평가 기술	3.8	4
2-7 해양환경감식 기술	3.9	3

표 3.25. 해양환경생태분야 핵심기술의 달성 가능성

1. 해양생태진단	평균	순위
1-1 해양생물오염물 추적 진단 기술	3.9	2
1-2 해양생태 환경오믹스 기술	4.2	1
1-3 해양생물확대평가 기술	3.5	4
1-4 동위원소 생태진단 기술	3.5	4
1-5 해양환경 지표생물 발굴	3.7	3
1-6 해양환경 분자생태 기술	3.0	6
2. 해양환경개선	평균	순위
2-1 해양생물복원 기술	3.0	6
2-2 해양생태계복원 기술	3.2	5
2-3 해양생물 조절	2.8	7
2-3 실시간 오염물질 검출 기술	3.7	2
2-4 식물독성평가 기술	3.5	4
2-5 해양생태 독성평가 기술	3.6	3
2-6 해양환경 감식 기술	3.8	1

■ 설문 조사 결과 평가 기준

- 2개의 기술분야에 대해 각각의 평균값을 산출하고 이를 기준으로 4사분면으로 나눔
- 1사분면의 경우 X축과 Y축에 대해 모두 중요도가 낮은것을 의미하며 반대로, 4사분면에 위치할 경우 중요한 기술로 사료됨
- 핵심기술에 대한 선정은 전략적 중요도와 경제성 파급효과가 높은 기술을 우선 고려 하였으며, 그 외 기술달성 가능성을 함께 분석하였음

■ 생태진단연구 분야

- 2, 4, 6번 기술이 전략적으로 중요한 기술이며 경제적 파급효과도 높은 것으로 예상 됨
- 따라서, 2, 4, 6번 기술을 원천분야의 핵심기술로 선정

그림 3.48. 생태진단연구 분야

① 생물축적, ② 환경오믹스, ③ 생물확대, ④ 동위원소생태학, ⑤ 지표생물, ⑥ 분자생태학

■ 해양환경개선 분야

- 1, 2, 4, 7번 기술이 전략적으로 중요하며 경제적 파급효과가 큰 기술로 고려됨
- 따라서, 1, 2, 4, 7번 기술을 대상생물분야의 핵심기술로 선정

그림 3.49. 해양환경개선 분야

- ① 생물복원, ② 생태계 복원, ③ 생물조절, ④ 실시간 오염물질 검출,
⑤ 식물독성물질, ⑥ 생태독성, ⑦ 환경감식

○ 핵심기술 선정

국외 연구 동향과 해양수산부 해양환경종합관리 정책 그리고 전문가 설문 조사 결과를 참고하여 해양환경생태분야에서 최근 사회 경제적 이슈가 되고 있으나 국내에서 연구 개발이 뒤쳐져 있는 핵심 기술 분야에 대한 과제 도출을 시도함. 특히 통합적 관점의 지구시스템 연구 관점에서 해양을 포함한 수권 환경 생태 분야의 시급한 문제들에 대한 다양한 해결 방안을 제안하기 위해 수권 환경생태시스템의 기초적인 메커니즘 규명에 관한 연구 과제를 다음과 같이 제안함

■ 해양생태계 구조 및 기능 평가 기술 개발

- 연안의 개발 및 산업화 과정에 의한 연안 생태계파괴에 대한 심각성은 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 인식되어있는 문제임.

- 생태계 보전 및 복원 전략은 생태학적 및 생물학적 관점에서 과학적이고 객관적인 접근이 필요함
- 국외의 경우 연안 환경에 따른 생태, 생물학적 특성을 과학적으로 조사하고, 각 환경 특성에 맞는 해양 생태계 보전 및 복원 전략을 수립하려고 노력하고 있음
- 국내의 경우에도 연안의 특성이 다양함에 따라 생태계 구조 및 기능이 매우 다양하여 해양 생태계 보전 및 복원 전략을 수립하기 위해 각 연안의 생태학적 구조 및 기능의 특성을 우선적으로 파악하는 것이 필요함
- 안정동위원소 분석기법은 전 세계적으로 다양한 해양 생태 및 해양 환경 분야에서 활용되고 있으며, 최근에는 분자단위 생체지표의 안정동위원소 분석기술이 개발되어, 그 활용 범위가 확대되고 있는 추세임
- 그러나 국내에서는 해양 생태학 분야에서 동위원소 활용기술이 국외 선진 국가에 비해 매우 미비한 실정이다. 따라서 향후 국내 연안의 생태계 보전 및 복원 전략을 수립하기 위한 기초 자료를 마련하기 위해 안정동위원소 생태진단 기술 개발이 요구됨

■ 해양생물 생리 및 생태계 변화 파악을 위한 분자 생태학적 진단 기술 개발

- 기후 변화, 자외선, 독성물질 유입과 같은 환경 스트레스는 해양 생태계에 영향을 미칠 수 있으며, 환경 스트레스의 생물 영향에 대한 관심이 증가하고 있음
- 다양한 환경 스트레스에 따른 해양 생물의 생리 상태 변화는 생장, 영양 상태, 번식 등에 영향을 미칠 수 있으며, 이는 해양 생태계 먹이 사슬의 균형에 변화를 일으킬 수 있음
- 해양 생태계로부터 안전하고 지속적인 수산자원 확보를 위해서는 해양 생물의 외부 환경에 의한 생리, 생태적 변화를 이해할 필요가 있음
- 이와 관련하여 환경 오믹스 기술로서 해양생물의 유전자 발현 또는 생화학적 특성 분석 연구가 해양생물 생리 및 대사과정 변화 추정을 위해 폭넓게 활용되고 있음
- 최근에는 보다 진보된 타깃 유전자 및 유전체 분석 기술과 유기분자화합물 단위의 안정동위원소 분석 기법을 통해 해양생물의 생리 변화와 물질 대사를 규명하고자 하는 시도들이 이루어지고 있으며 환경 스트레스가 해양 생물의 생리 상태에 미치는 영향을 파악하기 위해, 환경 유전자 마커와 더불어 분자단위 안정동위원소 분석 기법을 통해 해양 생물의 물질 대사 변화를 이해할 필요가 있음
- 따라서 환경 스트레스의 종류 및 규모에 따른 해양 생물의 영양 조성 및 체내 대사 과정의 변화를 이해하고, 다양한 환경 스트레스가 해양생태계에 미칠 수 있는 영향을 분자생태학적 기법을 활용하여 파악하기 위한 기술 개발이

요구됨

■ 수권 환경 오염물질의 생물위해성 평가 기술 개발

- 수권 환경으로의 오염물질 유입은 수질 및 퇴적물 오염을 야기하며 국민들의 안전한 수산 먹거리 확보에 어려움 발생하고 있음
- 최근 플라스틱, 나노입자 등과 같은 형태의 유입물질의 생물 영향에 대한 관심이 급증함
- 그러나 수환경내 오염물질에 대한 생물 위해성 및 독성 결과는 수괴 노출에 한정되어 1차 섭식에 대한 영향에 국한되어 있음.
- 기타 오염물질에 대한 섭식에 의한 오염물질의 이동 가능성에 대한 고려는 최종 소비자인 인체 위해성을 목적으로 패류와 어류와 같은 수산물에 한정되어 조사됨
- 다양한 오염물질과 이머징 물질(나노 및 미세플라스틱 등)에 대한 환경제어 및 생태계 영향 조사를 위한 다매체 생물 이용성 확인 및 먹이를 통한 생물 체내 축적과 이동, 이용성, 체내 분포 기관과 독성에 대한 이해가 필요함
- 특히 최근 들어 미세플라스틱이 환경에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으나, 전 세계적인 관심에 비하여 아직 국내연구 사례는 많지 않으며 대부분의 연구는 단순한 독성평가에 그치고 있는 실정임
- 또한 해양환경에서 오염물질의 매체 별 생물 이용성 및 독성 기작의 차이를 분석하고 섭식관계에서의 오염물질 이동 및 독성영향을 파악하는 것이 중요하며 오염물질의 매체 별 이용성 및 분자생체지표 스크리닝을 이용한 분자독성 기작 분석 기술 개발이 요구됨
- 따라서 해양생물의 생태적 지위에 따른 독성 물질의 위해성 평가 및 분자적 반응 기작의 분석 및 분자생물학적 수준의 독성 평가기술을 개발하여 전세계적으로 문제가 대두되고 있는 이머징 물질에 의한 in vivo 및 in vitro 독성 평가 기법을 확립하는 것이 필요함

■ 환경변화에 따른 하구생태계 반응 예측 기술 개발

- 전 세계적으로 해양환경 변화에서 가장 큰 문제가 되고 있는 연안해 그 중에서도 환경 변화가 큰 하구역 환경에서 생태계에 반응과 예측을 하는 연구가 시급히 요구됨
- 인공 담수호 기원의 영양물질 유입에 대한 저서생태계와 연계한 하구생태계 차원의 반응 연구는 수행된 바가 없음
- 담수역의 인공보나 하굿둑의 구조변경, 기후변화 등으로 하구환경 변화가 예상되고 있는 실정에서 이러한 변화에 대한 대비책 마련을 위해서는 하구생태계 차원의 반응을 예측할 수 있는 생태계 모델 개발이 매우 필요함
- 특히 인위적 영양물질 유입과 하구환경/생태계 변동을 조사하고, 이를 토대로

유입 변화에 대한 하구 생태계 반응을 예측하는 모델을 개발함

- 환경변화에 대한 하구생태계 반응 예측 기술을 확보하여 보나 하구독의 구조 변경, 기후변화 관련 하구생태계의 지속 가능한 관리에 기여 가능함
- 따라서 인공 담수호를 포함한 연안 하구역의 환경변화로 인한 하구생태계의 반응 진단하고 향후 생태계 변화를 사전에 예측 기술을 개발하는 것이 매우 중요함

■ 첨단 분석 기술/장비를 활용한 해양환경 중 신규 유해화학물질 감식

- 다양한 신규 화학물질의 개발 및 사용에 의해 이들 물질들은 육상 환경으로부터 해양 환경으로 유입되며, 이 물질은 다양한 생지화학적 변환과정의 요람인 해양환경에서 해수, 퇴적물에 잔류하거나 해양생물에 축적되어 생물학적 영향을 주는 것으로 보고되고 있음
- 해양생태계에 잔류하는 유해화학물질은 먹이사슬을 통하여 생물 확대되며, 최종적으로는 수산물 섭취의 경로로 고농도의 유해화학물질을 인간에게 노출시키고 있음
- 그러나 우리나라 해양환경관련 유해물질에 대한 연구들은 주로 잔류성유기오염물질(POPs)과 같은 특정 오염물질을 대상으로 오염도, 거동 및 생물학적 영향을 추정하는 연구가 대부분인 실정에 있음
- 최근 급격히 증가하는 화학물질의 사용량을 감안하면 매우 다양한 신규 오염물질이 우리나라 연안으로 유입될 것으로 추정되며 이들 오염물질의 수, 종류, 형태, 거동에 대한 정보는 전무함
- 기존의 국가 모니터링 및 연구 수행 방법인 특정 오염물질을 선정하고 분석 방법을 개발한 후 해양의 오염도 조사, 거동 및 생물추적 기작을 이해하는 방법은 급격한 화학물질 증대를 고려한 과학적 도구로서는 한계가 있음
- 따라서 다양한 오염물질에 의해 노출되는 해양환경에 존재하는 신규 유해화학물질에 대하여 비행시간형 질량분석기(time-of-flight)와 비표적스크리닝 분석기법(non-target screening analysis)등과 같은 첨단 분석기기를 이용한 해양환경감식 기술 개발이 필요함

3.1.2. 도출과제 관련 국내외 시장 및 정책 분석

3.1.2.1. 해양생명기초연구분야

가. 시장 분석

- 해양 생명/바이오 연구 분야는 해양생물이나 그들의 구성 성분, 생체 시스템, 생체 내 대사 과정 및 그 기능을 연구하는 것으로 해양 분야 기초원천기술을 확보하여 해양생태계로부터 새로운 기능의 생명체를 발굴하고 이의 활용을 촉진하여 궁극적으로 인간의 복지를 위한 생성물 혹은 서비스를 제공하는 것을 목적으

로 한다고 정의 할 수 있음

- 해양 바이오 연구는 해양자원 및 해양생물을 대상으로 그 자체를 활용하거나 생명 공학적 조작을 통해 제품이나 기술을 창출하는 전반적인 연구이며 구체적으로는 바이오식품 제조기술, 신공정 개발, 해양 바이오 신물질 및 신소재 개발, 해양 미세조류와 해양미생물을 포함하는 유용생물 생산기술 및 공정을 개발하는 도구 및 생산기술을 포함함
- 해양생물 기반 원천기술 개발은 해양생물자원 신규 발굴 및 활용기반 기술, 신규 해양생명체 활용기술, 해양생물 대상 생명현상 및 생리적 기능 규명 기술, 해양생물 유래 유전자 발굴을 통한 기능 규명기술과 활용기술, 해양생물 대상 생물학적 분석기술 개발 등이 포함됨
- 해양산업 시장 중 그린에너지와 해양바이오의 시장규모는 상대적으로 작으나 성장잠재력이 높은 지식 기반형 미래 성장산업으로 간주됨
- 해양생물자원을 활용하여 인류사회가 직면하고 있는 각종 문제를 해결하기 위한 기술과 제품개발 및 공급을 위한 해양바이오산업은 오랜 역사에도 불구하고 해양생물자원에 대한 접근성의 한계로 인하여 태동기를 벗어나고 있지 못하고 있는 실정임
- 그러나 해양생물자원에 접근할 수 있는 관련 기술의 발달과 해양생물자원의 중요성을 인식하고 있는 미국, 유럽 등의 선진국을 중심으로 1990년대 이후 해양 바이오산업에 대한 투자가 활발하게 진행됨

표 3.26. 세계 각국의 해양 수산바이오 산업 R&D 지원/개발 현황

국가별	주요 내용
미 국	<ul style="list-style-type: none"> - ‘통합해양정책(’09년)’을 통해 연안 및 해양공간 계획을 수립하고, 전략적 R&D추진 - 해양수산 R&D 예산은 약 11.4조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 7.3%(’10년 기준), 한국의 20배 수준 - 주요 투자분야는 해양환경, 해사안전, 국제연구 및 해양관측·예보 등에 집중 - 해양생물공학을 국가 주요 4대 BT과제 중 하나로 선정하여 집중 지원 - Ventru Business Co., California Biotech, Sea Pham Inc., Hawaii Biotech Group Inc. 등 100여개의 해양 바이오 벤처기업 활동 - 해양생물 유래 물질로부터 식약 특허 다량 보유
중 국	<ul style="list-style-type: none"> - ‘해양과학기술 2050 로드맵(’10년)’ 수립을 통해 해양자원 이용, 해양 건강성 및 안전 확보, 해양력 강화를 위한 R&D 전략 제시

	<ul style="list-style-type: none"> • '50년까지 해양과학기술수준 세계 3위 진입을 목표로 제시 - 해양수산 R&D 예산은 약 2.4조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 7.0% 비중('10년 기준), 한국의 5배 규모 - 주요 투자분야는 해양환경, 심해저 탐사, 해양정책(국제연구)
일 본	<ul style="list-style-type: none"> - '제2차 해양기본계획('13년)'을 수립하여 해양 주도권 확보, 새로운 해양산업의 육성을 위한 해양과학기술 고도화 추진 - 해양수산 R&D 예산은 약 2.5조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 5.0% 비중('10년 기준), 한국의 5배 규모 - 주요 투자분야는 해양인프라, 국제연구, 해양공학 및 해양관측·예보 - 해양생물공학연구소(MBI): 복합생물계 등 활발한 해양생물자원 이용기술개발 지원
E U	<ul style="list-style-type: none"> - '통합해양정책('07년)'을 수립하여 유럽 각 국가간 해양과학기술 협력의 기본 원칙과 해양산업의 경쟁력 유지를 위한 방안 등을 제시 - 주요 투자분야는 해양에너지, 심해저 탐사, 기후변화 대응, 연안 연구 등

자료: 해양수산부(2014), 「해양수산 R&D 중장기계획('14 ~ '20)」

- 해양 경제는 2030년 총 부가가치가 2010년 대비 2배로 증가하는 등 경제 성장 및 고용 창출에 큰 기여를 할 수 있는 잠재력 보유

표 3.27. 해양 경제 전망 비교 (BAU, Sustainable, Unsustainable)

구 분	2010	2030		
		BAU	Sustainable	Unsustainable
부가가치(USD)	1.5 Trillion	3.0 Trillion	3.2 Trillion	2.8 Trillion
일자리(Milion)	31	40	43	36

* BAU(현행유지), Sustainable (높은 경제성장과 환경파괴 감소 가정), Unsustainable (낮은 경제성장과 심각한 환경파괴 가정)

자료: 2030 해양경제 보고서(정책브리핑)

- 지난 2013년 37억 달러(4조1436억원) 규모였던 세계 해양바이오 산업 시장 규모는 2018년 49억 달러까지 성장할 것으로 예상된다. 2018년 이후 연평균 성장률은 높을 때는 10~12%, 낮을 경우에는 4~5% 정도를 기록할 것이란 전망이 우세함
- 해양 생물의 산업화 성공률도 육상 생물보다 2.17배 높다. 해양생물자원 선점,

해양바이오 산업 육성에 세계 각국이 앞 다퉈 뛰어들고 있는 이유임. 해양 생물 자원은 소재화 성공률이 높아 선제적 확보와 관리가 시급하다. 삼면이 바다이고 바이오산업 육성에 강한 드라이브를 걸고 있는 우리나라는 해양산업을 신 성장동력으로 삼을만하다. 정부는 선제적 연구개발(R&D) 투자, 법·제도 개선, 정책 지원 등에 적극 나서고 있음

- 해양바이오산업은 글로벌 시장규모에 대한 자료는 조사 방법과 견해에 따라 2조 원~30조원으로 차이가 있으나 공통적으로 해양바이오산업을 장기적으로 성장잠재력이 우수한 신형 기술 분야로 분류하고 있음
- OECD 생명공학분과에서는 해양바이오산업 시장의 규모가 많게는 연간 10~12%, 보수적으로는 4~5% 성장하여 2011년에 4조원(26억 유로)에 이르는 것으로 추정하고 있으며 유럽과학재단(European Science Foundation)도 이와 유사하게 해양바이오 국제 시장규모가 2010년 현재 4조 3,229억 원(28억 유로)이며 원활한 산학협력을 통해 연평균 12%의 성장세를 유지할 것으로 전망함
- 민간에서 작성한 시장의 규모가 다소 차이가 있어서 「해양바이오세계시장동향 보고서 2009」 글로벌 시장규모가 약 3조원(3억 유로) 규모에 연평균 4.28% 성장률로 산정하고 있으며, 「해양생명공학: 글로벌 전략비즈니스 보고서(2008)」는 국제 해양바이오시장 규모가 2조원(22억 달러) 규모로 산정하고, 「2009~2014년도 국제 해양생명공학 전망(2008)」에서는 약 6조원(57억 달러) 규모로 추정함

표 3.28. GIA가 산정한 국제 해양바이오 시장 변화 추이 (단위: 백만 불)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
세계	1,850.07	1,979.42	2,054.00	2,154.41	2,256.53	2,361.68	2,466.91	2,575.07
미국	907.53	947.85	087	1,025.90	1,064.35	1,102.25	1,138.95	1,175.40
한국 (%)	38.95 (1.4%)	44.29 (1.5%)	49.07 (1.6%)	52.92 (1.6%)	56.93 (1.7%)	62.87 (1.8%)	69.07 (1.9%)	73.73 (1.95%)

자료: Global Industry Analysis, Inc, Marine Biotechnology: a global strategic business report, 2008

표 3.29. 해양산업규모 (2005~2009)

	금액 (15조원, 10억 유로)	연간 성장률 (%)	총성장률 (%)
Shipping & Transport	1,437	1.8	7
Marine Tourism	928	3.3	14
Offshore Oil & Gas	476	-0.4	3
Seafood Processing	385	-0.4	3
Marine Equipment	358	-0.6	-1
Fishing	250	-2.5	-4
Ship Building	155	-4.0	-10
Ports	136	3.2	18
Marine Aquaculture	134	4.0	17
Cruise Industry	67	4.4	24
R&D	54	1.4	10
Seaweed	33	3.0	13
Marine Commerce	29	-1.8	7
Marine IT	16	-0.9	7
Minerals & Aggregates	15	2.7	11
Renewable Energy	13	131.4	987
Marine Biotechnology	12	3.8	24
Submarine Telecoms	12	21.8	97
Ocean Survey	10	1.3	11
Education & Training	8	1.5	14

자료: 한국해양과학기술진흥원

- 해양산업전체 시장 대비 비중을 산정한 자료와 비교하여 해양바이오산업의 규모가 약 18조원에 이르는 것으로 보는 견해도 있으며 해양생물 유래 물질의 기여도가 큰 건강기능성 식품시장과 화장품 시장 등을 고려하여 해양바이오산업 시

장을 30조 384억 원에 이르는 큰 규모로 추정함

* 자료: Doublas-Westwood Limited, Marine Industries Global Market
 Analys(313억 원) = 30조 384억 원

* 추정값: 미세조류 바이오연료시장(71억 원) + 건강기능성식품시장(30조
 원) + 화장품시장(313억 원) = 30조 384억 원

- 해양생물자원을 활용한 시장으로는 2010년 세계해양바이오산업의 50%를 점유하고 있는 생체활성물질(bio-active substance) 관련 시장으로 호르몬, 효소 및 억제제, 해양천연물신약 등을 포함함
- 해양생물자원을 활용한 다양한 제품들의 매출을 고려할 때 가장 큰 생명공학시장은 2009년 현재 1조 6천억 원 가량의 시장을 형성하고 있는 의약품이며, 향후 중요한 역할을 담당할 분야는 미래대체에너지와 바이오폴리머(고분자) 소재일 것으로 예상되므로 해양바이오 분야도 이와 유사하게 의약품 시장과 바이오에너지 및 바이오 고분자 소재 쪽이 가장 큰 시장을 형성함

표 3.30. biz Acumen에서 산정한 해양바이오 세계시장 현황 (단위: 백만 불)

Product Segment	2007	2008	2009	2010	2011	2012	CAGR (%)
Biomaterials	1468.38	1497.06	1524.21	1550.18	1574.35	1596.88	1.69
Bioactive Substances	1384.96	1478.69	1575.69	1676.25	1780.67	1889.65	6.41
Others	90.75	103.21	114.83	125.48	134.88	143.32	9.57
Total	2944.09	3078.96	3214.72	3351.91	3489.90	3629.86	4.28

자료: biz Acumen, Marine Biotechnology: worldwide market trends, 2009

표 3.31. 해양바이오 산업 분야별 시장규모 현황 및 예측 (단위: 백만 불)

응용분야	2007	2008	2009	2010	2011	2012	CAGR (%)
산업소재	60.91	61.51	62.06	62.57	63.05	63.48	0.83
의약품	1510.78	1595.54	1682.66	1772.18	1864.33	1959.03	5.33
소비재	1039.84	1073.64	1107.13	1140.67	1173.18	1205.32	3.00
공공서비스 & 인프라	295.69	298.68	301.33	303.69	305.69	307.56	0.79
기타	36.86	49.60	61.54	72.80	83.64	94.46	20.71
Total	2944.09	3078.96	3214.72	3351.91	3489.90	3629.86	4.28

자료: biz Acumen, Marine Biotechnology: worldwide market trends, 2009

- 지역별로 보면 시장 전체의 규모는 매년 4%가 넘는 성장률을 보이고 있으며 상대적으로 미국 이외의 시장이 확대되어 가는 추세를 보임
- 시장 규모면에서는 제약 산업이 2009년 현재 2조 469억 원으로 가장 크고 다음으로 건강기능성 식품 및 기능성 화장품 등의 소비재산업이 1조 2,787억 원 규모의 시장을 형성함
- 해양 생명 공학은 여전히 아주 작은 산업 분야로 주로 학술 기관에 의해 주도되고 있음. 특히, 생물 활성 분자 및 해양 생물 유래 화합물을 기반으로 한 신약 개발 가능성에 대한 제약 산업 내에서의 인식이 부족한 것이 사실임
- 바다의 색을 의미하는 블루에서 유래하는 블루 바이오 테크놀로지 (Blue biotechnology)의 주요 기업은 현재 제약 업계의 재료 산업이 27%, 에너지 산업 (22%), 식품 (13%), 건강 기능 식품 (12%), 산업 (11%), 화장품 (8%), 환경 (7%) 이 차지하고 있음
- 해양 생명공학에 대한 세계 시장은 2025년까지 58억 유로에 이를 것으로 추정되면 이러한 광대하고 미개척된 해양 자원의 활용을 통해 미래성장의 잠재력이 매우 큰 분야임. 또한, 해양 바이오연구는 해양 생물자원과 생명 공학이 경제적, 사회적 진보에 기여할 수 있는 실용적이고 현실적인 접근법을 제공할 것임
- 해양바이오 사업의 주요기업은 주로 미국과 유럽국가에 집중되어 있으며, 주력 산업 분야는 의약과 화학 및 기능성 식품으로 분석됨
 - 해양바이오 산업에서 최대 시장을 보유하고 있는 미국의 기업이 다수를 차지하며 주력 분야는 자원, 의약, 화학 등 비교적 다양함
 - 유럽국가 중에서는 영국과 노르웨이 기업의 활동이 활발한 양상을 보이며 기능성 화장품 및 식품 산업에 특화됨
 - 이에 비해, 아시아 지역의 해양바이오 산업에 특화된 기업은 거의 없는 실정임
- 다음 그림은 해양 혹은 담수 미세조류를 활용한 제품화의 대표적인 기업으로 2014년 기준으로 전 세계적 생산 업체를 나타낸 것 임. 조류를 이용한 천연물 의약품은 아직까지 정밀분석을 통한 정확한 효능 확인과 메커니즘의 규명이 이루어지지 않았고, 현재 기초연구에 머물러 있는 실정으로 향후 연구 수요가 증대하리라 판단됨

그림 3.50. 미세조류 기반 기능성 식품 생산 현황

- 유럽의 EnAlgae에 보고서에 의하면, 기능성 식품은 2006년 이전 총 50~85 billion 달러 규모로, 이 중 조류 시장 규모는 연 1.25 billion 달러 (5,000~10,000톤 생산량)으로 확인되었음. 미세조류 오메가3 시장의 경우 2012년에 82 million 달러를 예상했으며, Reportlinker.com(2014)에서는 2013년 기준 물고기, 새우, 조류로부터 판매된 오메가3 시장 규모가 USD 2.3 billion으로 나타남. 향후 지속적으로 조류의 시장 비중이 확대될 것이라 전망됨. (KEI 미세조류 바이오매스의 자원화활용에 대한 연구)
- 베타카로틴, 아스타잔틴, 루테인을 중심으로 한 카로티노이드 물질은 2010년 기준 1.2 billion 달러 규모로 나타났고, 최근 미세조류를 활용한 기능성 식품의 시장은 지난 10년간 시장 성장률을 고려하여 보았을 때 지속적인 증가율이 전망된다고 보고됨. (KEI 미세조류 바이오매스의 자원화활용에 대한 연구)
- 해양바이오 에너지는 기능성 식품과 화장품에 비해 상용화는 더디지만 최근 급속한 기술의 발전으로 바이오디젤과 바이오수소의 산업화 기대됨
- 미세조류를 이용해 생산한 해양바이오 디젤이 한국석유관리원으로부터 품질인증('11.07) 받아 상용화 가능성 입증됨
- 인천 영흥도에 0.4ha 해양 미세조류 배양장 구축, 바이오디젤 전환기술 개발 중임

- 2015년 전 세계 해양바이오산업 시장규모는 약 41억 달러 수준으로, 2020년 시장규모를 48억 달러, 2025년의 규모를 64억 달러로 전망

(자료: Smithers Rapra, The Future of Marine Biotechnology to 2025, 2015)

그림 3.51. 해양생명공학 세계시장 규모 전망 (Smithers Rapra)

- 미래 해양바이오 핵심 사업은 해양추출 효소를 이용한 화장품 산업 응용 분야와 해양 조류 및 미세조류의 바이오연료 응용 분야로 추정

나. 정책 및 연구 동향 분석

○ 세계 각국에서 해양바이오 시장을 선점하기 위한 다양한 정책을 수립하여 추진

■ 미국

- 오바마 정부는 ‘통합해양정책 (‘09)’을 통해 연안 및 해양공간 계획을 수립하고, 전략적 R&D 추진
- ‘10년 기준 해양수산 R&D 예산은 약 11.4조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 7.3% 비중, 한국의 20배 규모이며 ‘08년도 대비 12% 증가
- 주요 투자분야는 해양환경, 해사안전, 국제연구 및 해양관측·예보 등
- 대규모 예산투자를 통해 기초분야의 전 지구적 대양연구 등 대형 프로젝트 수행

■ 중국

- ‘해양과학기술 2050 로드맵 (‘10)’ 수립을 통해 해양자원 이용, 해양 건강성 및 안전 확보, 해양력 강화를 위한 R&D 전략제시
- ‘10년 기준 해양수산 R&D 예산은 약 2.4조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 7.0% 비중, 한국의 5배 규모이며 ‘08년도 대비 260% 증가
- 주요 투자분야는 해양환경, 심해저 탐사, 해양정책 (국제연구) 등
- 지속가능한 해양이용 등에 관한 연구를 위해 인프라, 교육 등에 투자 확대

■ 일본

- ‘제2차 해양기본계획 (‘13)’을 수립하여, 해양 주도권 확보, 새로운 해양산업의 육성을 위한 해양과학기술 고도화 추진
- ‘10년 기준 해양수산 R&D 예산은 약 2.5조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 5.0% 비중, 한국의 5배 규모이며 매년 2.5~4조원 투자
- 주요 투자분야는 해양인프라, 국제연구, 해양공학 및 해양관측·예보 등
- 해양강국으로서의 국제적 지위 유지를 위해 국제협력 분야 투자 강화

■ 유럽

- ‘통합해양정책 (‘07)’을 수립하여, 유럽 각 국가 간 해양과학기술 협력의 기본 원칙과 해양산업의 경쟁력 유지를 위한 방안 등 제시전략적 R&D 추진
- 주요 투자분야는 해양에너지, 심해저 탐사, 기후변화 대응, 연안연구 등
- 유럽해양에너지 로드맵 (‘10)을 통해 ‘50년까지 총 수용전력의 15%를 해양에너지로 대체하고, 관련 분야 47만 명 고용창출의 목표를 제시

■ 시사점

- 각 국은 해양역량강화 및 글로벌 이슈 대응을 위해 국가주도의 해양수산 R&D 정책 수립 및 장기적 관점의 투자 확대
- 주요 투자분야는 국가별 여건에 따라 상이하나, 전 지구적 해양연구를 위한 기초과

학 분야와 해양산업 창출 분야에 중점 투자

○ 미국 해양 생물공학 기술 분야 정책 및 연구개발 동향

- 미국 정부는 1999년 신국가해양정책을 시작으로, 2004년 해양청사진, 2010년 해양·연안의 보호관리 등의 정책을 내세워 연안 및 해양공간 계획을 수립하고 이를 바탕으로 해양생명공학기술분야에 대한 지원을 추진함
- 해양생물 유전체 분석을 통한 BT, IT 융합기술 개발과 해양바이오에너지, 해양 신소재 등 신성장 분야에 대한 투자 확대

(자료: Global Industry Analysts, Marine Biotechnology A Global Strategic Business Report, 2013)

그림 3.52. 미국 해양바이오산업 연간 시장 규모

- 세계시장에서 가장 큰 규모를 차지하고 있는 미국은 해양바이오 시장의 1/3을 차지, 단독국가로 최대시장 형성 및 유럽 전체시장에 맞먹는 규모로, 2013년 기준 약 12억 달러 수준의 시장을 형성, 2018년 시장규모는 약 16억 달러에 이를 것으로 전망
- “The Sea Grant Program”을 통해 1990년부터 2015년까지 200개 이상의 연구기관을 지원하여 해양생명공학, 해산물 과학기술 개발, 분자유전체, 생물공정 등 다양한 연구를 추진하고 있음. 또한, 2012년 수립된 “National Bioeconomy Blueprint”에 해조류를 이용한 바이오디젤 에너지 생산 정책 등 해양생명공학분야사업 관한 내용 포함

표 3.32. 미국 해양 분야 국가 R&D 예산

Geosciences(GEO) Funding (Dollars in Millions)					
	FY2014 Actual	FY2015 Estimate	FY2016 Request	ChangeOver FY2015Estimate	
				Amount	Percent
Atmospheric and Geospace Sciences (AGS)	\$250.85	\$251.15	\$262.88	\$11.73	4.7%
Earth Sciences (EAR)	177.81	177.20	188.21	11.01	6.2%
Integrative and Collaborative Education and Research (ICER)	83.53	83.74	95.20	11.46	13.7%
Ocean Science (OCE)	356.27	355.95	369.61	13.66	3.8%
Polar Programs (PLR)	452.87	436.35	449.51	13.16	3.0%
U.S. Antarctic Logistical Support (USALS)	[68.94]	[67.52]	[67.52]	-	-
Total, GEO	\$1,321.32	\$1,304.39	\$1,365.41	\$61.02	4.7%

Totals may not add due to rounding.

(자료: <http://www.nsf.gov/about/budget/fy2016/table.jsp#cise>)

○ 유럽 해양 생물공학 기술 분야 정책 및 연구개발 동향

- 유럽연합(EU)은 미국과 비슷한 수준의 세계 해양바이오 시장을 차지하고 있으며(2013년 기준 12억 달러), 최근까지 꾸준한 성장세를 나타냄
- 유럽집행위원회(European Commission)가 지원하는 제 5차 기본계획 프로그램(Framework Program)에는 해양바이오와 관련된 65개의 하위 프로그램을 수행하고, 제 6차에서 Marine Genomics 프로젝트를 통한 해양유전체 연구를 진행함
- EU는 ‘해양생명체를 통한 신약 개발’과 ‘미생물의 분리와 유용물질 발효 생산’ 등을 중점 연구 분야로 선정하여 기술개발을 진행
- 유럽국가 중 영국과 노르웨이의 기업들이 가장 활발한 활동을 보이며, 주 연구 분야는 기능성 화장품 및 식품 산업에 특화되어 있음
- GIA는 유럽지역의 해양바이오산업의 시장규모가 2018년까지 약 15억 달러에 미칠 것으로 예상하고 있으며, 2004년부터 2018년까지 연평균 4.2%의 성장을 기대함

(자료: Global Industry Analysts, Marine Biotechnology A Global Strategic Business Report, 2013)

그림 3.53. 유럽 해양바이오산업 연간 사장 규모

○ 중국 해양 생물공학 기술 분야 정책 및 연구개발 동향

- 중국은 해양생명공학 ‘863계획’프로그램을 운영하여 해양생물의약산업 및 해양어업에 약 3억 위안을 투자하여 연구를 추진함. 자국 국민을 위한 식량 확보, 의약품 개발을 위해 해양생명공학 개발을 추진하였으며, 주요연구 분야로 육종제어, 질병제어, 해양의약품, 유전체학 등을 진행함
- 2009년 중국 해양과학기술 로드맵 2050 (Marine Science & Technology in China: A Roadmap to 2050)을 수립, 해양생물자원연구와 해양생명공학기술을 전략적 추진과제 중 하나로 설정하였으며, 해양경제발전시범사업을 통해 해양생물의약품, 신기능제품, 신소재 분야 등에 투자를 확대함
- 2010년 기준, 해양바이오 R&D 예산은 약 2.4조 원으로 한국의 5배 규모이며, 국가 총 R&D 예산 대비 7.0% 비중을 차지. 2050년까지 해양과학기술수준 세계 3위를 목표로 제시하며 박차를 가함

(자료: Global Industry Analysts, Marine Biotechnology A Global Strategic Business Report, 2013)

그림 3.54. 아시아 해양바이오산업 연간 시장 규모

○ 일본 해양 생물공학 기술 분야 정책 및 연구개발 동향

- 일본은 해양과학기술개발연구센터(JAMSTEC), 해양생명공학연구소(MBI), 수산종합연구센터(FRA)를 중심으로 대양연구, 해양생물 자원이용 및 기술개발 연구, 해양생물을 이용한 신약개발 등을 추진함
- 2013년 수립된 ‘일본 2차 해양기본계획’을 통해 해양바이오 활용 산업창출을 추진, 해조류 이용 탄소고정기술과 오일 생산기술 개발 연구를 진행함
- COE (Center of Excellence) 프로그램을 통해 산학연 협력 지원, 바이오 선도국 부상을 목표로 한 해양 신약개발을 활발하게 추진 중임.
- 2011년 동일본 대지진 이후, 재난에 대한 중요성이 부각되어 해양 관측 및 심해 연구, 해양환경 변화, 해양 예보 분야에 대한 R&D 투자금액 증가

표 3.33. 일본 해양과학 분야 국가 R&D 예산

회계연도	생명과학			정보과학			환경					
	십억엔	비중	증감	십억엔	비중	증감	십억엔	비중	증감			
2008	2,742	14.6	1.9	3,025	16.1	△4.0	1,105	5.9	2.6			
2009	2,705	15.7	△1.4	2,676	15.5	△11.5	1,040	6.0	△5.9			
2010	2,744	16.0	1.4	2,422	14.2	△9.5	1,037	6.1	△0.3			
2011	2,772	16.0	1.0	2,555	14.7	5.5	1,040	6.0	0.3			
2012	2,873	16.6	3.6	2,450	14.1	△4.1	1,003	5.8	△3.6			
2013	3,033	16.7	5.6	2,377	13.1	△3.0	1,097	6.1	9.3			
회계연도	나노기술			에너지			우주개발			해양개발		
	십억엔	비중	증감	십억엔	비중	증감	십억엔	비중	증감	십억엔	비중	증감
2008	990	5.3	6.9	1,020	5.4	△1.0	222	1.2	△2.9	94	0.5	△0.8
2009	907	5.3	△8.4	965	5.6	△5.4	245	1.4	10.4	96	0.6	2.1
2010	939	5.5	3.5	956	5.6	△0.1	250	1.5	2.0	91	0.5	△5.3
2011	882	5.1	△6.0	1,004	5.8	5.1	215	1.2	△13.9	108	0.6	18.7
2012	918	5.3	4.0	982	5.7	△2.2	273	1.6	26.7	115	0.7	6.3
2013	1,005	5.5	9.4	1,051	5.8	7.1	230	1.3	△15.6	155	0.9	34.5

(자료: 일본 총무성(MIC: Ministry of Internal Affairs and Communications), 통계국 연구개발(R&D) 조사결과 보고서, 2014.12)

다. 국내 해양 생명공학 기술 분야 정책 및 연구개발 동향

- 우리나라의 해양생명공학기술개발사업은 ‘해양생명공학산업을 21세기 고부가가치 성장동력산업으로 육성하기 위해 해양생물 유래 신소재, 해양바이오에너지 생산기술, 등을 개발, 이를 통한 국가경쟁력 확보’를 목적으로 2004년부터 추진됨
- 해양수산부와 한국해양과학기술진흥원(KIMST)을 중심으로 2004년 10월‘마린 바이오21 사업’을 진행으로 시작, ‘해양생명공학육성 기본계획(’08), 해양바이오 연구개발 활성화 대책(Blue-Bio 2016)(’08)’을 추진함
- 2004~2013년 동안의 총 R&D 투자액은 약 1,591억 원으로, 산업신소재, 바이오에너지, 분자유전체, 천연물신약, 바이오프로세스, 통합DB구축 등 8개 기술 분

야로 구분하여 기술개발과 자원 확보에 치중하여 수행함

그림 3.55. 국내 해양 생명공학 기술개발 사업

- 2014년 수립된 ‘차세대 해양생명공학 육성전략’사업은 경제적 가치 창출과 세계 해양바이오 시장 점유율 향상, 원천기술 확보를 위한 5개 전략과 4대 중점 R&D 분야를 기반으로 2023년까지 추진할 목표로 제시하여 수행중임
 - 경제적 가치 창출: 생산유발 1.1조원 / 취업유발 1만 명
 - 세계 해양바이오 시장 점유율: 2.0% → 5.0%
 - 기술수준 향상: 선진국 대비 61.9% → 85.0% 수준

표 3.34. ‘차세대 해양생명공학 육성전략’의 추진 전략 및 과제

추진 전략 및 과제	세부 내용
인프라 확대 및 고도화	<ul style="list-style-type: none"> ● 개방형 융합연구체계 확대 ● R&D 운영체계 내실화 ● 산업화 연계 전략 마련 ● 국제협력 및 네트워크 강화 ● 해양생물자원관 기능 정립
4대 중점 R&D 육성	<ul style="list-style-type: none"> ● 기반확보 및 유전체 분야 ● 식량자원 분야 ● 바이오에너지 분야 ● 신소재 분야

(자료: 한국해양수산개발원, 국내 해양바이오 산업화 동향과 정책 방향, 2016.5)

- 해양수산부는 ‘기술력 확보, 기초체력 확충, 산업생태계 조성’등의 정책 방향을 제시하고, 2014년부터 2023년까지 향후 10년 간 총 6,000억 원의 예산을 투자하여 기술 경쟁력 향상, R&D 성과 창출 극대화, 인프라 구축 등을 통한 해양바이오산업의 과제를 추진 중 임

(자료: 한국해양수산개발원, 국내 해양바이오 산업화 동향과 정책 방향, 216.5)

그림 3.56. 국내 해양 바이오산업의 정책 방향

3.1.2.2. 해양유래 소재

가. 시장 분석

- 2007년 교육과학기술부에서 제공한 생명공학백서에 의하면 해양신소재 분야는 해양 자원으로부터 얻어지는 산업용신소재, 신의약소재, 신기능식품소재, 재생 가능한 바이오에너지를 포함한다고 보고되었으며, 이 장에서는 신의약소재를 제외한 (3세부 분야에서 연구) 나머지 세 분야만을 포함함
- 지구 표면의 71%는 물, 바다로 구성되어 있고, 바다는 인류가 필요로 하는 다양한 자원을 가지고 있음에도 불구하고, 현재까지 해양생명체의 상업적 이용은 단지 1% 미만에 그치고 있는 실정임
- 특히 국가 산업의 견인차 역할을 하는 산업 신소재 확보에 있어, 육상자원의 소재 고갈로 인해 상대적으로 고부가가치 원천 소재의 확보가 해양에서 용이할 것으로 판단됨
- 2016년 해양수산부 보도에 의하면 세계 해양바이오 시장은 연간 약 41억 달러 규모로 연평균 12% 대로 고성장 할 것으로 예상하고 있음
- 이 중, 바이오플라스틱은 전 세계 화학소재산업의 핵심 부분을 차지하고 있으며 매년 생산량이 빠르게 증가하고 있음(그림 3). 플라스틱 시장은 C5/C6 기반 플라스틱의 경우 국내 4조원 이상(폴리에스터의 경우 3,500억원)으로 평가되고 있음
- C9-C12 카르복실산은 엔지니어링 플라스틱, 생분해성 플라스틱 등의 고기능성 플라스틱/고분자 제품 생산에 광범위하게 사용되고 있어 매년 수요가 빠르게 증가하고 있음 (J Polym Sci B Polym Phys (2011) 49: 832-864, ICIS Green Chemicals News). Arkema에 의하면 C9-C12 카르복실산 기반 바이오나일론 시장이 연평균 15-20% 정도로 성장할 것으로 예상하고 있음
- 또한, 홍합 및 키조개 유래 생체 조직 접착제는 해양 유래 산업신소재 분야의 성공 사례 중 하나로 알려졌으며 인체 내외 조직의 상처봉합 및 지혈 등 다양한 임상 분야에 사용되어 시술 편의성 및 시간 효율, 심미성 등의 장점으로 인해 관련 시장이 급성장하고 있음

그림 3.57. 미국의 연도별 바이오플라스틱 생산량

- 세계 의료용 접착제 및 실란트 시장은 미국 주도하에 2020년 118억 달러 (Transparency Market Research 2014~2020)로 성장할 것이고 아시아·태평양 지역의 2013~2018년 판매 성장률은 가장 높은 15%로 예측되고 있음. 의료용 접착제 시장을 지역별로 살펴보면 미국(39%), 유럽(22%), 아시아(32%), 그 외의 지역(7%)이 일정 부분 차지하고 있으며, 중국 및 인도 등에서 급격히 사용량이 증가해 관련 시장이 미국 및 유럽에서 아시아 지역으로 이동하고 있는 경향임
- 말미잘 유래 실크 단백질의 경우 동물의 심장이나 근육에 비해 10배 높은 단단한 성질을 가지고 있으며 신축성이 커 바이오소재로서 활용 가능성이 높음. 말미잘 유래 실크 단백질은 알레르기나 염증 반응을 일으키지 않을 뿐 아니라 신축성과 강도가 뛰어나 조직공학이나 의공학, 수술용 봉합사, 약물전달물질의 소재로 각광을 받을 것으로 기대 됨
- 결빙 방지 단백질의 경우 극지에서 바다가 얼어도 살아남는 효모나 녹조류로부터 발견되었는데, 이러한 미생물들은 얼음 핵에 결빙방지 단백질을 분비해 물 분자가 달라붙지 못하게 함으로써 어는점을 낮춰 얼음 사이에 얼지 않는 바닷물의 안식처를 만들 수 있음. 이 결빙 방지 단백질은 혈액이나 줄기세포, 태줄혈액의 냉동보관 시 활용이 가능함. 특히 냉동 보관된 줄기세포의 해동 과정에서 많은 손상이 발생하는데 이러한 결빙 방지 단백질을 이용하면 귀중한 생물자원의 동결 보존에 기여할 것으로 기대 됨
- 국내 바이오디젤은 2006년 이후 지속적으로 증가하고 있어 2014년 기준 연간 400,000kL를 생산하고 있음(그림 4). 원료 수급상황에서도 기존 대두유, 팜유에서 가격경쟁력이 우수하고 국내에서 확보가능한 팜부산물(PFAD)과 폐식용유가 전체의 87%를 차지하고 있으며, 원료 자급율도 43%까지 증가하였음
- 작년부터 도입된 바이오연료 의무혼합제도(RFS)에 의해 자동차용 경유중의 바

이오디젤 함량이 기존 2.0%에서 2.5%으로 증가하였으며 향후 중장기 로드맵에 의해 그 혼합비율이 증가될 것으로 예상되고 있어 폐식용유 이외 국내 자급 가능한 원료에 대한 상용화가 필요한 시점임

그림 3.58. 연도별 국내 바이오디젤 생산량(2002~2014)

- 해양 미세조류를 이용한 바이오디젤 생산 연구가 현재 활발히 진행 중인데, 이는 곡물계나 목질계로부터 생산하는 바이오연료에 비하여 순환주기가 짧고 높은 지질 함량을 가지고 있으며 뛰어난 CO₂ 순환 능력을 가지고 있기 때문이라 할 수 있음
- 최근에는 바이오디젤 생산뿐만 아니라 미세조류를 식품, 사료, 의약품, 비료 등에 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있음. 미세조류의 시장 규모는 건강식품, 식품첨가물 또는 사료용으로 이용되는 클로렐라(*Chlorella*)의 경우 세계 시장이 380억\$ 이상, *Schizochytrium*으로 생산한 DHA는 100억\$ 이상, 그 외 여러 미세조류에서 생산하는 carotenoid의 시장 규모도 각각 수억\$에 이르는 것으로 보고됨 (이관용, 2011)
- 2017년 미세조류 활용기술 산업 동향 보고서에 따르면 미세조류의 다양한 산업적 활용 분야와 시장 규모를 [표 2]와 같이 요약하여 발표하였음

표 3.35. 미세조류 활용분야 및 시장규모

활용 분야	주요 내용	시장 규모
농업적 활용	·토양개량제 및 생물비료로 활용 ·주요 미세조류 : <i>Chlamydomonas, Nostoc, Anabaena, Tolypothrix, Aulosira</i>	·세계 생물비료 시장 - 2011년 약 50억 1,310만\$, 2017년 102억 9,850만\$ ·북미의 생물비료 시장 - 2011년 132.9백만\$, 2018년 205.6백만\$
대체	·바이오에탄올, 바이오디젤,	·바이오연료 세계 수요 2030년 1억톤

에너지	amphidinol 생산 ·주요 미세조류 : <i>Chlamydomonas, Tetraselmis, Chlorella, Euglena gracilis, Prymnesium, Amphidinium</i> , 규조류	·수송용 연료 중 바이오연료 비중 9.3% - 미국은 2022년까지 수송용 연료에 바이오에탄올 20% 혼합 - 유럽과 중국은 2020년까지 수송용 연료의 10%를 바이오연료로 사용
식품 및 의약품	·식품, 건강보조식품, 의약품 원료로 활용(색소, 지방산, 항산화제, 항생물질, 항암제) ·주요 미세조류 : <i>Chlorella, Schizochytrium, Aphani-zomenon, Nostoc</i> ,	·클로렐라 전 세계 연간 생산량은 약 5,000~7,000톤 ·건강식품 시장규모 1억\$ 이상, 건강보조식품 시장규모 1천만\$ ·제약 세계시장 규모 1억\$ 이상, 의학적 진단시장 1천만\$ ·의약품의 국내 시장 규모는 연간 500억원 이상
사료 및 첨가제	·생물사료, 사료첨가제 활용 ·주요 미세조류 : <i>Tetraselmis, Chlorella, Spirulina</i> , 규조류	·미국 내 사료 소모량은 900억\$, 세계시장은 4,000억\$ 이상 - 동물사료 시장 연간 100억\$ - 어분사료는 가격은 1,200\$/톤(동물사료의 3배) ·미생물 사료첨가제 시장은 2010년 1.8억\$, 2011년 2.1억\$, 2016년 5억\$, 2011~2016 연평균성장률 19.3%
폐수 처리 및 환경정화	·폐수처리, 중금속 흡착, 환경정화에 활용 ·주요 미세조류 : <i>Chlorella</i>	·2010년 기점으로 높은 성장률 ·2016년 1,100억\$ 이상
기타	·건축재료, 동위원소물질, 기후변화 연구, 우주 개발, 방사능 완화 등 활용 ·주요 미세조류 : <i>Chlorella vulgaris</i>	·동위원소 물질 시장규모는 연간 1,300만\$ 이상

○ 또한 2013년 FAO 보고서에 의하면 미세조류에서 생산되는 식품 및 의약품 원료물질의 시장규모는 아래 표와 같음

표 3.36. 미세조류에서 생산되는 식품 및 의약품 원료물질의 시장규모

미세조류 생산품	종류	이용	추정 가치 (\$/kg)	시장규모 (million \$)
건강식품	클로렐라 등	보충제	10-20	> 100
피코빌리 단백질	남조세균	식품 색소	> 100	10-100
		의학적 진단	> 10,000	< 10
β-카로틴	두날리엘라	식품색소	300	10-100

		건강보조식품	> 500	< 10
동위원소 화합물	다양	의약품	> 1,000	< 10
제약	남조세균	항암제 등	Very high	> 100

나. 정책 및 연구 동향 분석

○ 국외

- 미국의 경우 Technology Vision 2020 보고서에 따르면, 2020년까지 미국 내 화학원료의 20%, 2050년까지는 50%를 식물자원 근원 화합물로 대체하는 목표를 제시하였음
- 2008년 미국 국가정보위원회(National Intelligence Council, NIC)는 2025년까지 미국의 국가 경쟁력에 큰 영향을 미치는 6대 와해성 기술(Disruptive technology) 중 하나로 바이오화학 제품을 선정한 바 있음
- 미국 에너지부는 2010년 5월 국가 조류 바이오연료 기술 로드맵을 발표하였으며, 2010년 6월 미국 에너지부는 조류를 이용한 바이오연료의 상용화연구를 위해 3개 연구단체에 최대 2,400만 달러를 지원한다고 발표
- 유럽의 경우 2005년 2월 폴리머의 환경친환경 생산을 보장하는 자율협정을 체결하였고, 협약에 BASF, Cargill, Novament 등 많은 기업이 참여하여 폴리머 생산 시 국제적으로 인정된 친환경 바이오 플라스틱에 대한 표준안을 준수할 것을 선언하였음
- 유럽은 2015년 까지 기존 석유기반 고분자의 약 5%를 바이오 플라스틱으로 대체하고, 2020년까지 모든 플라스틱에 대해 무독성 재생 가능한 플라스틱 및 재생가능자원으로부터 제조된 플라스틱 제조를 목표로 함
- 폴리머의 친환경 생산을 목표로, 생분해가 가능한 폴리머의 유럽 규격 준수, 별도의 인증제도와 라벨링 제도의 도입을 통해 소비자에게 인증통과 제품에 대한 정보 제공 등을 추진하고 있음
- 세계 각 국가에서 탄소절감을 위해 친환경적 바이오 플라스틱사용을 권장하고 일회용품 및 난분해성 플라스틱의 사용을 제도적으로 규제하고 있으며, 각 국가별로 바이오 플라스틱 구별을 용이하게 하기 위해서 규격 기준, 시험방법 등이 제정되어 식별표시제도 기준에 의한 인증마크를 부여하는 것이 확산되고 있는 추세임. 앞으로는 보다 효과적인 바이오 플라스틱제도 운영을 위해 이러한 인증마크의 국제 표준화를 추진하고자 하고 있음

- 엔지니어링 플라스틱 및 생분해성 바이오플라스틱 단량체인 C9-C12 카르복실산은 석유화합물의 축합반응이나 지방산의 ozonolysis를 통해 대량생산되고 있으나, 반응조건이 harsh하고 오존/과산화수소와 같은 강산화제가 사용되어 환경오염의 위험성이 매우 크고, 에너지 소비량이 높으며, 반응 선택성이 낮아 불특정 부산물들이 다량 생산되는 문제점이 있음. 따라서, 신규 생물전환 공정을 개발하는 등 기존 공정의 문제점을 해결하기 위한 많은 연구가 진행되고 있음 (Catal Sci Technol (2016) 6:971-987, Eur J Lipid Sci Technol (2011) 113:83-91)
- 중국 Cathay Industrial Biotech에서 *Candida tropicalis*를 생촉매로 이용하여 석유유래 하이드로카본으로부터 C9-C12 카르복실산을 생산하고 있고, 생물전환 공정의 생산성을 높이기 위한 연구를 지속적으로 진행하고 있음
- 프랑스 화학기업으로 리시놀레산으로부터 PA11을 생산하고 있는 Arkema에서 바이오플라스틱-장쇄 폴리에스터 생산기술을 개발하고 있음. 독일 Evonik에서 lauric acid methylester로부터 12-aminododecanoic acid 생산 공정을 개발하고 pilot plant를 만들고 대량 생산 준비를 하고 있음
- C9 디카르복실산은 항염증, 항산화 활성뿐만 아니라 다양한 박테리아에 대해 항균활성을 가지고 있어 여드름 치료제 등 다양한 제품 개발이 진행되고 있음 (Skin Pharmacol Physiol (2014) 27:9-17)
- 미국에서는 에너지부(Department of Energy)의 바이오에너지 기술부서(Bioenergy Technologies Office)를 중심으로 2010년부터 매년 3천만달러를 투자하여 2020~2030년까지 상용화를 목표로 미세조류유래 원료에 대한 생산수율을 높이고 생산비용을 줄이기 위한 중장기 연구과제(BETO Algae Program)를 수행중에 있음
- ABO(Algal Biomass Organization)에서는 각 미세조류 종과 배양환경에 따른 조류내 지질 함량과 바이오디젤의 원료인 FAME의 구성성분을 탄소의 개수와 이중결합의 수를 기준으로 체계적으로 DB(Data Base)화 하는 작업을 진행 중에 있음
- 유럽연합은 과학기술분야 혁신을 위해 '제7차 Framework Program (FP7)'을 포함한 3가지 R&D 프로그램을 지원하였으나 이를 통합하고 내용을 수정하여 'Horizon 2020'을 2014년부터 실행하여 화석 연료 기반의 유럽 산업을 재생 가능한 바이오연료 산업구조로 전환을 추진하고 있음
- 탈지조류(lipid extracted algae, LEA)에 대한 재활용 방법에 대한 연구가 EU를 중심으로 진행되고 있으며, 주로 식품이나 사료용으로 활용하고자 시도되고 있

음. 미세조류가 재생에너지인 바이오디젤과 가축 사료의 원료로 주목 받으면서 재생자원과 축산 농업 사이의 연결고리가 한층 강화될 것이라 기대 됨

- 미국 코넬 대학교 연구팀은 탈지조류를 비(非)반추동물 식단에 혼합 사용하는데 따르는 안전성과 효율성을 검토하였으며 대규모 양계업계에 유망하다는 의견을 발표하였음
- 미세조류로부터 바이오연료를 생산하는 방법은 지질 추출 방법 외에 열수액화 공정 (hydrothermal liquefaction, HTL)을 통하여 이루어질 수 있음. 열수액화 반응은 비교적 높은 온도와 압력 하에서 미세조류와 같이 높은 수분 함량을 갖는 바이오매스를 바이오연료로 변환시키는 기술로써, 미시건 대학의 Savage 교수 연구팀은 열수액화 공정을 이용하여 미세조류의 65%를 1분 안에 바이오연료로 전환할 수 있다고 보고하였음
- 미 에너지성 소속 퍼스픽 노스웨스트 국립연구소(PNNL) 연구팀은 미세조류로부터 바이오연료를 생산하는데 있어 열수액화 공정을 도입한 연속적인 화학공정을 개발하였으며, 미국 유타소재의 Genifuel 공사는 이 기술 관련 특허를 내고 그 기술을 사용하는 파일럿 플랜트를 산업 파트너 회사와 함께 짓고 있음

○ 국내

- 2004년부터 국토해양부 주관 하에 본격적으로 ‘마린바이오 21’ 계획이 추진되면서 해양생명공학 기술의 선진화에 힘을 기울이고 있음. 구체적으로 2010년 현재 해양극한생물분자유전체 규명, 해양천연물신약 개발, 해양바이오프로세스 개발, 해양바이오에너지 개발, 해외 생물자원 확보를 위한 연구단이 구성되어 각 분야에서 활발한 연구개발이 수행 중임
- 2016년 해양수산부 보도에 의하면 세계 해양바이오 시장은 연간 약 41억 달러 규모로 연평균 12% 대로 고성장 할 것으로 예상하고 있음. 따라서 정부도 이러한 추세에 발맞추어 해양생명자원을 활용한 해양바이오 헬스케어·산업 소재 개발을 적극적으로 지원하여 국정 과제인 ‘해양 신산업 육성’ 실현을 위하여 최선을 다하겠다고 밝힘
- 2017년 해양수산발전시행계획 보고서에 의하면 신성장 동력 창출을 위한 해양과학기술 개발에 역점을 둘 것이라고 밝혔으며, 세부 방안으로 해양수산생물 유래 건강기능식품·신소재 개발 등 해양생명공학 기술 개발을 강화하겠다고 함
- 2009년 2월 개최된 ‘해양바이오산업 활성화를 위한 간담회’에서 대통령이 해양바이오 연구개발 투자 확대방안 수립을 지시하여 10-14년까지 9,155억원을 투자할 계획임

- 미국의 'National Sea Grant Program'을 모델로 한 지역별 씨그랜트 사업단을 구성하여 각 지역별 해양의 현안 문제를 해결하기 위한 연구를 중점적으로 추진 중임
- 해양미세조류가 생산하는 해양 지질로부터 생물전환을 통해 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체를 생합성하는 연구가 보고 되었고, 해양 거대조류 유래 탄수화물로부터 미생물 발효를 통해 지질/중성지방을 생산하고 이로부터 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체를 생합성하는 연구도 보고되었음
- 최근 해양미세조류가 CO₂로부터 생산하는 해양 지질로부터 고성능 엔지니어링 플라스틱 단량체인 9-hydroxynonanoic acid, 1,9-nonanedioic acid 등을 생합성 할 수 있음이 보고하였음 (2016 해양바이오학회 연례심포지엄, 연합뉴스 등)
- 대기 중의 CO₂가 해양 미세조류에 의해 지질로 전환되고, 이렇게 생산된 지질이 대장균 기반 전세포 생축매에 의해 C9 카르복실산으로 전환되었음
- 해양미세조류 지질로부터 생산된 1,9-nonanedioic acid로부터 생분해성 바이오 폴리에스터를 생합성할 수 있음이 보고되었음. *Candida antarctica* 유래 lipase를 생축매로 이용하여 1,9-nonanedioic acid와 1,6-hexanediol을 축합시켜서 분자량 2-3만 정도의 바이오폴리에스터를 생합성하였음
- 롯데케미칼, 코오롱인더스트리 등의 화학 기업에서 C9 카르복실산을 활용한 바이오폴리에스터/나일론 중합 및 고부가 소재 생산 기술에 많은 관심을 갖고 기술 개발을 추진하고 있음. 롯데케미칼에서 C10 디카르복실산과 C5 다이아민을 활용한 엔지니어링 플라스틱 생산 연구를 수행하고 있음
- 코오롱인더스트리에서 지방산으로부터 C9 디카르복실산 생합성 및 생분해성 바이오 플라스틱 생산 연구를 수행하고 있음. 한국생명공학연구원의 이홍원박사팀에서 *Candida tropicalis*를 이용한 decanoic acid methyl ester로부터 C10 디카르복실산인 1,10-decanedioic acid 생산 공정을 연구개발하고 있음
- 종합적으로 대기 중의 CO₂로부터 생산된 해양 유래 지질로부터 다양한 기능을 갖는 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체가 생합성 될 수 있고, 이들은 쉽게 생분해 될 수 있는 특성을 보유하고 있어 다시 대기 중의 CO₂로 돌아 갈 수 있음
- 해양유래 바이오매스로부터 고부가 소재인 C9 카르복실산의 생합성 기술이 국내 연구진에 의해 세계 최초로 보고 되었으므로, 이를 토대로 집중 연구를 진행한다면 해양유래 바이오매스로부터 고부가 고분자, 바이오플라스틱 및 단량체 생산 공정 개발과 관련된 다양한 원천기술 개발이 가능할 것으로 사료됨
- 해양 생물의 생태 조건은 육상과 많이 다르므로 육상에서 얻을 수 없는 특수한 성질을 나타내는 단백질 생산이 가능하고, 따라서 해양 생명체로부터 인간에게

유용한 단백질을 생산하는 연구에 대한 관심이 최근 급속히 증가하고 있음

- 대표적인 예로 홍합 및 키조개 유래의 접착 단백질, 말미잘 유래의 실크 단백질, 그리고 극지에서 극부적인 어는점을 변화 시키는 결빙 방지 단백질 등이 있음 그러나 이러한 단백질의 구성을 좀 더 자세히 살펴보면 주로 몇 개의 아미노산이 반복적으로 나타나는 구성으로 이루어졌으므로, 해당 유전자를 합성해 대장균 등에서 발현하는 연구가 현재 진행되고 있음
- 이러한 단백질은 염을 포함하는 수용액 상태에서 활성을 유지할 수 있다는 특징이 있으므로 생체 적합성이 뛰어난 재료로써 활용이 가능하여 수술용 재료뿐만 아니라 화장품, 식품 등에도 응용되고 있음
- 또한 해파리에서 발견된 녹색 형광 단백질도 해양 생물 유래의 특수 단백질의 한 예라 할 수 있으며, 이 유전자를 목적 유전자와 융합된 형태로 발현시켜 리포터 단백질로 활용하고 있음. 또한 녹색 형광 단백질의 몇몇 아미노산을 변화 시킴으로써 적색 형광, 청색 형광 등을 구현한 사례도 보고되고 있음
- 해양 생명체 유래 특수 단백질에 대한 연구는 포항공대, KAIST 등 국내 연구진에 의하여 활발히 진행되고 있어 세계적으로 경쟁력이 있다고 할 수 있음. 이를 토대로 특수 단백질 연구를 보다 활발히 진행한다면 아직 미개척 분야인 해양 생명체 유래 특수 단백질 분야의 원천 기술 개발이 가능할 것이라 판단 됨
- 최근 「신·재생에너지법」 상의 신재생에너지 연료 혼합의무화제도(RFS)가 전면 시행 예정('15.7.31~)됨에 따라 현재 바이오디젤이 의무혼합연료에 포함되어 자동차 경유에 공급되어 50만kL까지 증가할 예정이며 시장규모는 7,500억원으로 확대될 것으로 전망되고 있음
- 2018년 이후에는 3.0%까지 혼합비율을 높이는 방안을 검토 중에 있으며 이에 따른 보급량과 시장규모도 각각 60만kL와 9,000억원으로 증가될 것으로 예상되고 있음
- 2017년 해양수산발전시행계획 보고서에 의하면 신성장 동력 창출을 위한 해양과학기술 개발에 역점을 둘 것이라고 밝혔으며, 세부 방안으로 해양바이오 디젤 생산 및 공정 표준화로 해양생명공학 기술 개발을 강화하겠다고 하였음

그림 3.59. RFS시행에 따른 국내 바이오디젤 원료 보급 로드맵

- 열수액화 공정 시 높은 농도의 무기염류를 포함하는 수층이 부산물로 발생하는데, 이를 미세조류 배양에 재활용함으로써 배양 시간을 크게 단축시킬 수 있음. 실제로 바닷물의 경우 낮은 인과 질소 농도 때문에 미세조류의 성장이 느리고 이로 인해 생산성이 떨어진다고 보고되고 있음. 따라서 열수액화 공정에서 부산물로 생성된 무기염류가 풍부한 수층을 활용해 육상에서 1차적으로 미세조류를 고농도로 배양하고, 이를 해양에서의 2차 배양을 통해 바이오연료를 생산한다면 미세조류 배양 시간을 줄일 수 있고 그 결과 바이오연료의 생산성을 크게 높일 수 있을 것으로 기대 됨

3.1.2.3. 의약품천기술분야 (3세부)

가. 시장 분석

- 의약품 개발은 만성질환의 증가추세, 고령화로 인한 종양 및 퇴행성질환 등의 수요 증가, 후발 산업국의 선진국형 의약시장으로의 전환으로 미래 의약품 시장이 크게 확대되고 국가적으로도 사회·경제적 효과가 클 것으로 기대되고 있음
- 특히, 미국 및 유럽을 포함하여 전 세계적으로 인구의 고령화 및 웰빙 열풍에 힘입어 합성의약품 보다는 상대적으로 부작용이 적은 천연물에 대한 관심이 점점 고조되고 있는 가운데, 풍부한 해양생물로부터 다양한 생리활성물질들을 발굴하여 새로운 의약품으로의 성공적인 사례는 고부가 가치를 창출하는 새로운 전략 산업으로 주목을 받고 있음
- 따라서, 해양 생물 기반 의약품 소재를 활용한 보건·의료 융합기술 개발을 통해 인체 부작용을 감소시키고 질병 치료효과를 극대화하려는 신의약 및 의료 신기술 수요가 지속적으로 증가하고, 전체 제약시장에서 해양바이오 메디칼의 비중도 점차 증가할 것으로 사료됨
- 세계 제약시장은 2008년 700조에서 2015년 900조원 시장으로 성장하였으며 2022년에는 1,400조원 규모로 연평균 6% 이상 성장할 것으로 추정됨(IMS Health, 2013). 그 중 해양기원의 제약 시장은 2016년 10조원 정도의 규모이나 2011년과 2016년 사이 연간 12.5%의 증가율을 보여주고 있음 (BCC research)
- 국내 의약품 시장은 19조원 규모로 세계 제약시장(2014년 기준)의 약 1.79%를 차지하고 있으며, 국산 신약의 미국 FDA 승인기준을 토대로 세계 10번째 신약 개발국으로 시장규모와 수출실적으로는 각각 14위와 23위에 해당함 (보건산업브리프 vol 191, 2015; 한국제약협회 공개 자료)
- 특히, 전 세계적으로 의약품관련 지출은 2016년 1조2000억 달러로 추정(출처: IMS Healthcare Informatics, 2016)되며 미국, 유럽, 일본 등 선진국 시장에서는 소비 감소가 예상되는 반면에 파머징 국가 (브라질, 중국, 인도 등)에서는 인구 증가와 경제 성장으로 인해 수요 확대가 이루어질 것으로 예측됨
- 또한, 단백질이나 펩타이드 등을 포함한 바이오의약품의 시장규모는 2010년 1,080억 달러였고, 2014년에는 1,620억 달러를 기록하여 연간 9.4%의 매출 성장세를 보이고 있는 가운데, 향후 지속적인 성장을 계속하여 2020년에는 약 2,780억 달러에 도달할 것으로 예측됨(Persistence Market Research, 2015)

표 3.37. 국내 및 글로벌 제약시장 비교

- 이와 같이, 급성장하는 바이오 의약품 시장의 선점을 위해 신규 단백질 치료제, 바이오베타와 같은 고부가가치 의약품을 비롯하여 해양 생물 기원의 신규 의약품 개발 및 제품화가 필요함
- 키토산(chitosan), 알지네이트(alginate), 카라기난(carrageenan)등을 비롯하여 해양 생물에서 유래된 다당류 고분자 물질들은 생체적합성과 생분해성이 우수해 약물전달시스템 개발 및 조직 재생용 바이오소재에도 널리 활용되고 있음. 따라서 약물전달시스템 시장의 선점을 위해서도 해양생물 기반 약물전달 신소재 개발을 포함한 새로운 의료분야 원천기술을 확보할 필요가 있음
- 미국의 약물전달시장은 2007년 802억 달러로 가장 큰 시장을 형성하고 있으며 2017년까지 연평균 21.1%의 높은 시장 성장이 전망되고 있고, 중국과 인도는 장기적으로 볼 때 약물전달 제품 시장의 큰 수요처가 될 전망이다(아래 표 참조)

표 3.38. 세계 약물전달시스템 시장 현황 및 전망

- 시장 분석 자료 마다 포괄하고 있는 약물전달시스템 시장의 범위와 분석기법의 차이로 전망하고 있는 수치와 성장률은 다르더라도 공통적으로 10% 이상의 고 성장을 전망하고 있음 (BT 기술동향보고서, 생명공학정책연구센터, 2012)
- 따라서 세계 제약시장에서 약물전달시스템의 비중이 점차 증가함을 고려할 때, 다양한 해양 생물에서 유래된 고분자들을 기반으로 한 효과적인 약물전달소재의 발굴은 신약 개발의 산업적 활용도가 매우 높고 고부가가치 창출을 위한 전략적인 분야라고 할 수 있음
- 이러한 세계 의약품 시장의 현황 및 전망, 그리고 해양 생물 기반 신의약 소재 개발의 필요성 부상 등을 토대로, 해양 바이오산업의 시장도 지속적으로 성장할 것으로 전망됨
- 해양 바이오산업의 시장규모 및 국내 시장규모는 조사기관과 방법에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나, 대략적으로 국내 해양바이오 제약시장 점유율이 우리나라 제약시장의 세계시장 점유율과 유사할 것이라는 전제와 세계 해양바이오 제약시장의 2024년 추정치(약 220억달러)를 종합한다면, 2024년 국내 해양바이오 제약산업의 규모는 약 4억6천만-6억 8천만달러(약 5,100억원-7,600억원) 정도로 추정됨 (Ocean and polar research, 2013)

표 3.39. 해양생명공학 산업시장 규모 예측

출처:Ocean and polar research, 2013

나. 정책 및 연구 동향 분석

○ 국외

- 미국, 일본, 호주 등 선진국에서는 일찍부터 신의약품 소재로서 해양 천연물의 중요성을 인식하고, 해양생물유래 신약 후보물질 발굴과 제품화를 21세기 생명공학의 핵심 분야의 하나로 선정하고 국가 차원의 적극적인 지원이 활발하게 이루어지고 있음. 지난 40여 년 동안 보고된 해양 신물질의 수는 34,000종에 달하고 있으며, 이들 중에서 우수한 약리효과를 토대로 신약 개발을 위한 전임상/임상 시험에 진입한 해양천연물이나 합성유도체도 다수 보고되고 있음
- 특히, 미국은 국립암연구소를 중심으로 해양천연물로부터 항암제 개발을 주요 목표로 하는 의약품 신소재 개발에 관한 연구를 활발히 진행하고 있으며, 지리적으로 다양한 해양생물자원을 보유하고 있는 일본도 해양천연물을 중점과제로 채택하여 연구를 진행하는 등 해양 선진국들은 1970년대부터 해양천연물 분야에 막대한 투자를 해오고 있음
- 해면동물을 포함한 해양생물 유래 이차대사 화합물 확보를 위한 노력은 비단 선진국뿐 만 아니라 최근 들어 중국은 급속도로 연구에 박차를 가하고 있으며 매년 신규화합물의 수는 아래 그림에서 각 나라별로 주어진 바와 같이 놀라운 정도로 증가하고 있음

그림 3.60. 지형학별로 분포된 해양 생물 채집 및 해양 천연물의 수
(*Nat. Prod. Rep.*, 2009. 26, 170-244)

- 해양 유래 의약품개발의 현황을 살펴보면 2015년 기준으로 시판 승인을 받은 의약품이 7종, 임상시험 중인 물질이 11개, 전임상단계 물질이 약 1,458종, 해양 천연물의 화학적 구조가 밝혀진 것이 약 8,940으로 알려져 있음 (생명공학 백서, 2015)

- 지금까지 보고된 연구 결과에 따르면 가장 많이 연구된 해양 생물은 분류상으로 아래 [그림2]에서 보여주는 바와 같이 해면동물과 강장동물이 압도적으로 많음. 이 생물들은 화학 구조가 새롭고 생리 활성 면에서도 강한 천연물을 많이 제공하고 있으며 최근까지 이 생물에 대한 연구가 가장 두드러지고 있음. 한 가지 큰 단점은 해면동물은 많은 종이 있으며 또한 넓은 범위에 걸쳐 다양한 화합물을 생산하지만 생물량에는 그 한계가 있어 의약품 개발에서 임상실험과 같이 엄청난 양을 요구하는 연구를 수행할 수 없는 문제점이 있지만 새로운 화합물이 분리되고 이로부터 의약품 후보 물질의 발견 가능성을 높여주기 때문에 최근까지 많은 연구가 진행되고 있음

그림 3.61. 해양 생물에 대한 분류별 분리된 생리활성 물질의 비율

- 해면동물과 강장동물과 같은 해양 무척추동물은 화합물의 다양성면에서는 뛰어나지만 화합물 확보에서는 한계가 있어 점차 배양 가능한 생물로부터 신규 활성 물질 또는 해면 무척추동물에서 분리된 활성화합물을 확보하려는 시도가 많음. 실제 의약품으로 개발된 경우나 임상실험에 사용되고 있는 해양 천연물은 아래 [그림 3(A)]에서 보여주는 바와 같이 다양한 해양 생물에서 분리되었지만 해당되는 화합물의 생산자는 주로 이들 생물과 공생하는 박테리아나, 남세균과 같은 미생물이 그 주체일 것으로 예상하고 있으며 많은 경우 이를 뒷받침하고 있음

그림 3.62. (A) 시판되는 의약품 및 임상 진행 중인 천연물이 분리된 생물 중
(B) 이들 천연물의 생산자

- 현재 해양생물 기반 의약품으로 개발 및 제품화에 성공한 대표적인 예들은, 아래 표에 요약된 바와 같음

표 3.40. 해양의약품의 개발 현황

	Compound Name	Trademark	Marine Organism	Disease Area
FDA- Approved	Brentuximab vedotin(SGN-35)	Adcetris®	Mollusk/ cyanobacterium	Cancer
	Cytarabine(Ara-C)	Cytosar-U®	Sponge	Cancer
	Eribulin Mesylate(E7389)	Halaven®	Sponge	Cancer
	Omega-3-acid ethyl esters	Lovaza®	Fish	Hypertriglyceridemia
	Ziconotide	Prialt®	Cone snail	Severe Chronic Pain
	Vidarabine (Ara-A)	Vira-A®	Sponge	Antiviral (Herpes Simplex Virus)
EU- Approved	Trabectedin(ET-743) (EU Registered only)	Yondelis®	Tunicate	Cancer
Phase III	Plitidepsin	Aplidin®	Tunicate	Cancer
	Tetrodotoxin	Tectin®	Pufferfish	Chronic Pain

출처 : <http://marinepharmacology.midwestern.edu/index.htm>

- 승인된 의약품은 해면에서 추출한 시타라빈 항암제, 청자고둥에서 추출한 지코노티드 진통제, 어류에서 추출한 오메가3지방산 고지혈증치료제, 멍게에서 추출한 트레벡테딘 항암제, 해면에서 추출한 에리블린 항암제 등을 포함함
- 미국의 Elan 사는 열대나 아열대 지방에서 발견되는 바다 달팽이(청자고둥)의 독소로부터 추출한 강력한 진통제, Ziconotide(PROALT®)는 모르핀보다 진통 효과가 1,000배 정도 강하며 기존 진통 효과의 작용기작과 다른 신규 작용기작을 가지며 2004년에 미국 FDA 의 승인을 획득하고 2005년 시판 초기 약 6개월만에 6,000만 달러의 매출을 올렸음 (생명공학 백서, 2015)
- 또한, 스크립스 연구소는 오래 전부터 해양생물체에서 여러 항암물질을 분리하여, 2001년에 바다 무척추동물인 *Bugula neritina*에 공생하는 *Candidatus Endobugula sertula*라는 세균에서 항암제인 브라이오스타틴을 발견하였고, 2003년에는 페니켈 교수 그룹에서 해저 1000미터 이하의 퇴적물을 채집하는 연구장비의 개발하여 해저 토양에서 분리한 살리노스포라 속 (*Salinospora genus*) 세균으로부터 살리노스포라마이드 라는 항암물질 분리에 성공하여 현재 항암제 개발의 임상 1단계에 있음
- 현재 의약품으로 개발 중인 대표적인 해양천연물의 예를 들면, 항암제로

bryostatins(이끼벌레), curacin A(남조류), dolastatins(연체동물), ecteinascidin 743(원색동물), halichondrin B(해면동물) 등이 있고, 항바이러스 치료제 및 면역억제제로 cyclomarin A(방선균), didemnin B(원색동물), discodermolide(해면동물) 등이 있으며, 기타 dibromo-hymenialdisine(해면동물-관절염치료), manoalide(해면동물-소염) 등이 있음. 또한, pseudopterosins(강장동물-소염, 진통)는 의약품으로의 개발 이전에 이미 기능성 화장품으로 개발되어 1990년대 중반부터 시판되고 있음

- 최근에는 호주에 서식하는 연산호로부터 유방암과 자궁암에 탁월한 효과를 보이는 택솔과 유사한 활성을 보여주고 있으나 microtubule-binding 기작이 전혀 다른 eleutherobin이 분리되어 큰 주목을 받고 있음
- 그 밖에도, 아래 표에서 보는 바와 같이 중국도 자체적으로 개발한 해양천연물 제품을 다수 보유하고 있음

표 3.41. 중국의 해양천연약물 제품 현황

구분		제품내용
주요제품		PSS, 감로순연산지, 복어독소TTX, 다희강교환 등
임상시험 제품 및 진단용 약물		TAI, 해성교대혈장, 갈정분류산지, 인슐린, 지혈민, 개천력, 어간유, 장효인슐린주사액 등
건강 보조 식품	해조류	요오드보충제, 비만치료제 등
	진주류	각종 영양제품, 화장품 등
	조개류	아미노산보충제, 조미제품
	기타	강장제(해삼, 해담 등), 약주(해용, 해사 등), 식품첨가제

출처: 해양연구원, 해외 과학기술 동향('08)

- 해양 생물로부터 유래되는 다양한 의공학용 재료들은 높은 생체적합성과 생분해성 등의 특징들을 가지고 있어 약물전달시스템(drug delivery system), 수술용 봉합사와 임플란트 등의 의료분야에서 널리 이용되고 있음
- 특히, 해양무척추동물 유래 골 조직 재생 바이오메디컬 소재를 이용하여 산업적으로 생산되는 제품들이 출시되고 있음. 예를 들면, BoneMedik 제품은 천연 산호의 탄산칼슘이 수산화인회석으로 전환되는 특징을 이용하여 블록형태와 과립형태의 제품을 통하여 골 대체재 및 손상 치료를 위한 목적으로 제품화 되었으며, BoneMedik-S 제품도 천연 산호로부터 유래된 수산화인회석으로 제작되었으며 추가적으로 실리콘을 함유하고 있어 천연산호 기반의 제품들보다 뼈의 성장을 빠르고, 뼈의 강도를 강하게 해주는 제품으로 알려져 있음

- 그 밖에도, 천연 산호에서 유래된 골 재생 및 이식재로 DM Bone제품, 프랑스의 Inoteb사에서 생산되고 있는 98% 이상의 탄산칼슘으로 구성되어 있는 Biocoral, 스위스의 Sic Invent AG사에서 생산되고 있는 SIC nature graft와 Interpore INTL사에서 생산하고 있는 Interpore 200과 Pro-osteon이 있음.
- 해양생물을 활용한 의약품의 개발은 향후 지속적으로 신약개발 파이프라인에 적용될 것으로 예측됨

○ 국내

- 화학적 합성을 통한 의약품들에 비해 천연물로부터 얻어지는 생리활성물질은 상대적으로 생체에 대한 안정성이 높고 부작용이 적기 때문에, 풍부한 해양생물로부터 새로운 의약품 개발하려는 선진국의 노력과 달리 국내에서는 육상 식물에 비해 해양 생물을 기반으로 한 의약품 소재 연구가 미미한 실정이므로, 다양한 해양 생물자원으로부터 신의약품 소재 개발 촉진 및 정부 차원의 지속적인 투자를 통하여 해양 신의약품 개발의 기반 확보가 절실히 필요로 됨
- 국내에서도 해양 생물 기원 천연물 연구는 대학교와 연구소 중심으로 이루어지고 있으며 2013년 보고 자료에 따르면 한국은 신규 화합물을 많이 발표하는 나라 중의 하나에 속하고 있지만 현재 선진국과 비교해 볼 때 논문 인용도가 상대적으로 낮고 이와 함께 개발되는 상품화의 사례가 거의 없는 실정임

그림 3.63. 국가별 해양 생물 기원 화합물보고와 저널 인용 비율 2006 ~ 2011
(*Nat. Prod. Rep*, 2013, 237-323)

- 2004년에 시작된 정부 주도의 장기연구사업인 ‘마린바이오 21사업’에서 비만, 당뇨, 골다공증 등 대사성 질환을 중심으로 천연물을 탐색하고, 유도체 합성 및

전합성, 동물실험을 포함한 해양천연물신약연구를 수행한 사례가 있음

- 또한, 항암제 및 항염제, 비만치료제 등 의약품 및 고기능성 건강식품 분야에서는 국내 대학 및 해양과학 관련 연구소 등에서 기술개발과 함께 특허출원이 이루어졌는데, 2015년 말까지 국내에 등록된 특허 중에서 총 107건의 특허가 해양생물 원료를 이용한 의약품 소재와 관련되어 있음 (암예방 및 항암 11건, 고지혈증 개선 10건, 항염증 10건, 당뇨병 예방 및 치료 9건, 항혈전 및 혈행개선 9건, 고혈압 개선 및 치료 7건, 골관절 기능유지 및 강화 7건, 간기능개선/간질환 예방 및 치료 6건, 면역증강 및 활성화 6건, 치매예방 및 인지능력개선 6건). 국내 해양생물 소재 의약품 개발 특허의 원료생물은 다시마, 감태, 곰피, 파래, 모자반, 매생이 등 해조류가 가장 많으며 동물성 원료는 불가사리가 가장 많고, 해삼, 오징어, 동물성 플랑크톤 등 다양한 소재가 활용되고 있음
- 그러나, 아직까지는 국내에서 해양천연물 신약의 제품화 사례는 없으며, 현재 진행 중인 연구들도 대부분 유효물질 추출과 활성 규명 단계에 머무르고 있는 것으로 판단됨. 지금까지 수행되었거나 진행되고 있는 해양생물 기반 신의약 소재 개발 관련한 일부 연구 사례를 소개하면 다음과 같음
- 제주하이테크산업진흥원 제주생물종다양성 연구소에서는 제주산 갈조류 그물바구니 추출물이 혈액암 세포를 사멸시키는 효과가 있음을 규명하였음.
- 한국해양연구원에서는 우리나라 연안과 남극, 열대태평양에 서식하는 저서군체 동물과 방선균으로부터 생리활성천연물을 분리하여 그 구조를 규명하고 이를 토대로 항암과 항바이러스 효능을 포함한 다양한 질환을 타겟으로 신약 후보물질 도출을 위한 연구를 수행하고 있음
- 생체적합성과 골조직 재생 효능을 보유한 성분을 함유한 해면류는 키틴성분이 풍부하고, 산호와 갑오징어는 탄산칼슘이 풍부하며, 해파리와 전복에는 단백질이 풍부하게 함유되어 있어 이들로부터 유래되는 유용물질들은 골조직 재생으로의 활용 및 가능성이 높은 것으로 보고 되었음 (Kor J Fish Aquat Sci, 2015)
- 메타바이오메드사에서 해양무척추동물 중 산호로부터 유래된 수산화인회석기반의 세포담체를 산업화하였음
- 이 외에도, 홍해삼의 유효성분을 대상으로 홍해삼 유래 피부상처 치료용 의공학 제품 개발에 관한 연구도 수행되고 있고, 해양천연물신약연구단은 정부 지원으로 해양생물 ‘디노피시스 아쿠미나타 (*Dinophysis acuminata*)’의 대량배양에 성공했으며, 이 생물의 독소를 이용한 항암제 개발을 수행하였음
- SK제약에서는 286종의 해양미세조류로부터 의약품소재로 사용이 가능한 신규물질을 탐색하고 있으며, 여러 제약회사들이 해양 바이오의약품에 대한 관심을 가

지기 시작하고 있음

- 바이오케미컬소재C&D연구실에서는 의약품, 화장품, 농업분야에 유용한 소재를 발굴하여 상용화를 위한 개발에 주력하고 있으며, 현재 해양천연물유래 폐암치료제를 개발 중인데 폐암에만 특이적으로 높은 항암활성을 나타내고 연구대상인 해양생물이 이미 식용 가능한 것이라는 점에서 독성 등 부작용의 부담이 상대적으로 낮을 것으로 기대됨
- 국내의 해양 생물자원이 부족하여 해양수산부에서는 2012년부터 현재까지 해외 해양 생물자원 확보 사업을 수행하고 있으며 확보된 해양 생물은 대학교 및 연구기관에 분양하여 기능성 소재 및 의약품 개발 등 해양 생물 활용 사업을 진행 중에 있음

3.1.2.4. 해양생태환경제어 기초원천기술분야

가. 국내외 정책 동향 분석

○ 국외 정책 동향

■ 미국

- 미국 EPA는 유역 기반 관리를 촉진하고 수역 오염을 방지하며 해양 투기장을 관리하고 해안 조건을 평가하며 효과적인 파트너십을 수립하고 공동체 주도 과학 기반 노력을 촉진함으로써 해양 및 연안 생태계를 보호하고 복원하고자 “Oceans and Coasts 프로그램을 실시하고 있음
- 각 분야별 다양한 프로그램을 통해 다양한 연구 사업 추진 및 정책화에 활용하고 다양한 외부 파트너십을 통해 프로그램을 개선하고 필요한 연구 사업을 개발하고 있음

<https://www.epa.gov/oceans-and-coasts>

대분류	소분류	내용
Pollution Prevention	Nutrient pollution	규제 프로그램 감독 봉사활동 파트너십 개발 주정부에 기술 및 프로그램 제공 영양염 저감 활동 자금 조달 연구개발 수행
	Ocean dumping	해양보호, 연구 및 보호 구역법을 통해 모든 물질을 해역으로 운송 및 투기에 대한 규제

	Trash-Free Waters	해양으로 유입되는 소비재에서 흔히 볼 수 있는 쓰레기 양을 줄이기 위한 기원 추적, 독성 및 사례 연구진행 CWA, CERCLA, PPA, RCRA등의 법안 재정
	Vessels, marinas and port	선박 배출수에 대한 문제 진단 및 정책 해양 엔진으로부터의 오염물질 방출 규제 비점오염원으로써 마리나 통제 항만 시설 관리 대기 오염 제한과 같은 국제 협력
Coastal Management	Coastal Nonpoint Pollution Control Program	NOAA와 공동으로 해안 비점오염원 통제 프로그램 개발
	Coastal wetlands	습지의 중요성과 가치를 확인하고, 습지 보호 정책 및 연구 과제 지원
	Hypoxia Task Force	미시시피강과 멕시코만의 저산소층 관리 대책본부 수립, 및 해결방안 강구, 관련 연구 사업 추진
	National Estuary Program	28개 하구역 보호를 위한 네트워크 구축 다양한 커뮤니티와 파트너쉽
Monitoring	Beaches	박테리아 및 미생물에 대한 수질 보호 기준 지침 수립 해안 건강성에 대한 자료 제공 다양한 해안 보호법 개정
	Fish and shellfish advisories	화학오염물질 평가 지침 재정 (2000) 어류 조직에서 다양한 화학물질 농도 자료 제공
	National aquatic resource surveys	통계 조사 디자인을 사용하여 미국 연안 해역의 질을 평가하기 위해 국립 수산자원 조사 실시
Resilience and Adaptation	Climate change impacts on coastal areas	해양 및 연안 보호 프로그램 및 기후 변화 프로그램을 함께 제공하여 기후 변화의 영향에 적응하기 위한 역량 구축
	Climate Ready Estuaries	국립 하구 기후 변화 프로그램 실시 (2008-2016) 연방 기관 및 외부 파트너와 조정
	Ocean and coastal acidification	해양 산성화 오염물질 해결 방안 제시 및 해양 생물 및 화학 모니터링 실시 중

- 미국 해양 보호 법

- ✓ 선박으로부터의 오염 방지법 (APPS)
- ✓ 1987 년 APPS는 해양 플라스틱 오염 연구 및 통제법 (Marine Plastic Pollution Research and Control Act)에 의해 개정됨. MPPRCA는 환경에 대한 부적절한 플라스틱 처분의 영향과 그러한 부작용을 줄이거나 없애는 방법에 대한 연구를 EPA와 NOAA 요구함
- ✓ 해양 파편 연구, 예방 및 감소 법 (MDRPRA)
- ✓ MDRPRA는 국립 해양 대기 관리국 (NOAA)과 미국 해안 경비대 (USCG)가 해양 잔해물을 확인, 결정, 평가, 감소 및 예방하는 프로그램을 수립. 또한 MDRPRA는 NOAA가 의장을 맡은 부처 간 해양 파편 조정위원회를 재가동
- ✓ 해안 보호법 (SPA)
- ✓ SPA는 연안 해역의 도시 및 상업 폐기물 운송에 적용하여 폐기물 운송 선박에 의한 부적절한 폐기물 취급 절차로 인해 파편이 연안 해역에 침전되는 것을 최소화하고자 함. EPA와 해안 경비대 (Coast Guard)가 협의하여 SPA 하에서 규제를 개발.
- ✓ 해양 보호, 연구 및 성역 법 (MPRSA)
해양 투기 법 (Ocean Dumping Act)이라고도 하며 다음과 같은 투기를 금지함
- ✓ 해양 투기 목적을위한 미국으로부터의 물질 운송
- ✓ 미국이 지정한 선박에 의한 해양 투기를 목적으로 한 곳으로부터의 물질 운송
- ✓ 미국 밖에서 미국 영해로 수송 된 물질의 투기.

■ 일본

- 해양환경 분야

- ✓ 일본은 연안 수질 개선을 위해 1979년 총 오염 부하 제어 시스템(Total Pollutant Load Control System, TPLCS)을 시행하여 이를 현재까지 지속하고 있으며, 연안 수역의 수질 개선 및 보존에 중요 정책으로 간주하고 있음
- ✓ 2011년 3월 정부와 관계자 및 연구자, 기술자를 포함한 관계 당사자 간의 TPLCS에 대한 이해를 증진시키기 위해 지침서를 개발하였음

<http://www.env.go.jp/en/water/>

- 해양 생태 분야

- ✓ 일본은 2011년 해양생물 다양성 보전 전략을 수립하고, 국가 생물 다양성 목표중 하나로 해안 지역과 해양지역의 최소 10%에 대한 보존 및 관리를 하나의 목표로 선정함
- ✓ 이를 위해 생태학적 및 생물학적 관점에서 과학적이고 객관적인 접근 방식을 통해 EBSA(Ecologically or Biologically Significant Marine Areas, 생태학적 혹은 생물학적 주요 해역)에 대한 조사를 실시하여, 2011년부터 3년간 연안역에 270개, 외해역에 20개, 해저면에 31개의 EBSA를 확인하였다.

<http://www.env.go.jp/en/nature/biodic/kaiyo-hozen/kaiiki/index.html>

■ EU

- 해양 보호를 위한 해양 지침은 2008년에 채택 되었으며, 2017년 세부 기준과 방법론적 표준을 제정하였으며, 해양 환경에 대한 생태계 구성 요소, 인위적 영향에 대한 내용을 삽입함
- 생물 다양성을 2020년 까지 유지시키는 것을 규제 목적으로 포함하고 있는 GES(Good Environmental Status)를 실시
- 지리적 및 환경 적 기준에 따라 유럽 해양 지역 및 하위 지역을 설정하고 동일한 해역을 공유하고 있는 국가간 협약을 맺도록 함.
- 생물 다양성을 위한 EU의 해양 전략은 6년마다 검토함

http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/index_en.htm

■ 중국

- 해안의 보호 및 사용을 위한 정책으로 해상 및 해양 보호 관리의 법적 근거로 국가 해양 기능 구역 계획(National Marine Functional Zoning Plan)을 실시하여 중국의 해역을 농업/어업, 항구운송, 공업/도시, 광물자원/에너지, 관광/레저, 해양보전, 특수 목적의 해역이용, 이용 제한해역 등 8 가지 기능으로 분류하였으며, 3단계를 통해 2020년 까지 관할 해역의 5% 이상을 해양 보호 구역으로 지정하기로 함
- 관할해역을 발해, 황해, 동중국해, 남중국해, 대만 동쪽 해역으로 구분하고 이를 다시 29개 중점 해역으로 구분하여 각 해역마다 기능을 제시하여 운영토록 함
- 주요 국가에서 해양 생태 보호를 위한 정책의 비교 및 시사점
- 주요 국가에서는 생태계 다양성을 위한 정책 및 법을 제정하고 해양 환경을 관리하고 있음
- 각 해역에 따른 생태 특성을 파악하여 이에 알맞은 보호 정책을 실시하고자 함
- 현재까지 규제와 같은 법제화보다, 연구와 조사를 통한 현상 파악 및 교육과 지침등을 이용하여 자발적인 해양 생태 보호를 유도하고 있음

○ 국내 정책 동향

■ 국내 해양환경 정책의 전환

- [생태계 기반 관리 도입] ⇒ [생태계 기반 관리 정착]
 - ✓ 해양생태계에 대한 관심 증가로 2000년대 후반부터 관련 법률 제정 및 해양 보호구역 제도 도입 등 법제도 정비에 치중해 왔으나,
 - ✓ 앞으로 해양보호구역 지정 확대 및 관리프로그램을 강화하는 한편, 지역경제 발전과 연계성 강화 및 인식증진 사업의 필요성 증대
 - ✓ ‘보호구역 관리 프로그램 정착’ 사업, ‘해양생물 다양성관리계약’ 등 지역경제 발전과 연계사업 및 인식증진을 위한 사업 수행
- [해양수질 중심의 관리] ⇒ [관리대상 확대 및 통합관리]
 - ✓ 그동안 정부는 해수의 COD 농도를 낮추기 위하여 하수처리시설을 확충하거나 선박 배출수 처리 중심으로 해양수질 개선을 주도
 - ✓ 앞으로 COD외에 중금속, 유해화학물질에 대한 관리 필요성이 증대하고, 해양과 연안유역의 연계관리 등 통합 수질관리체제 요구
 - ✓ ‘중금속과 유해화학물질 연안유입관리 강화’ 등 관리대상 확대 사업과 ‘육상기인 오염원 관리 종합관리체제 구축’ 등 통합 수질관리 사업 수행
- [중앙정부 주도형 정책] ⇒ [지역·민간 참여형 정책]
 - ✓ 그동안 중앙정부가 주도하는 규제 중심의 통일되고, 획일적인 해양환경관리 정책을 추진 해 왔으나
 - ✓ 앞으로 지역특화형의 해양환경관리 정책 수립 및 추진이 강조되고, 지방자치단체 및 민간의 정책수행 주체로서의 참여가 중요
 - ✓ ‘육상기인 오염원의 유형별 관리 강화’ 등 지역특화형 사업과 ‘특별관리해역 민관산학협의회 활성화’ 등 지자체·민간 참여 사업 수행
- [국지적·지역적 환경변화 대응] ⇒ [전 지구적 환경변화 대응]
 - ✓ 그 동안 환경보전해역, 특별관리해역 지정을 통한 국내 해양환경 보전 및 지역해 프로그램을 통한 동아시아해역 환경개선에 집중하였으나
 - ✓ 앞으로 양자간·다자간 국제협력 강화를 통해 지역적·지구적 해양환경 현안에 대응하고, 국제적 논의를 주도하여 글로벌 해양강국의 위상 제고
 - ✓ 국제기구 및 선진국 협력 강화’, 개발도상국 지원 확대 등 전 지구적 차원의 기후 변화에 대응 사업 수행

- 제4차 해양환경종합계획 비전 및 목표 (2010-2020년)

- 제4차 해양환경종합계획 중점 추진 전략

3.1.3. 도출과제 세부추진계획

3.1.3.1. 해양생명기초연구분야

○ 해양생물 광합성 광에너지 전환기작 및 해양생물 광합성 고효율화

1. 연구목표			
<p>최종목표: 해양생물 광합성의 광에너지 전환 기작 규명 및 고효율화 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양생물의 광에너지 전환 메커니즘 규명 - 해양미세조류의 광에너지 전환 제어 기작 규명 및 그 활용 기술 개발 - 해양미세조류의 환경변화에 적응하는 광합성 기작 연구와 활용 원천 기술 개발 			
2. 연구내용 및 범위			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양 수생생태에 적응한 해양생물을 대상으로 태양에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 고효율 광에너지 전환 시스템 개량을 위한 원천적 기초 작용기작의 규명이 필수적임. - 해양미세조류에서 광합성 반응의 심도있는 기작 규명을 통해 광에너지 활용의 극대화가 가능한 유용 해양생물 개발 혹은 고효율 대량배양 기술 개발이 가능함. - 효율적 광에너지 활용 기술, 대량배양 기술, 및 관련 미래산업 실용화 연구가 요구됨. <p>○ 연구내용 및 범위</p>			
단계별연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
해양생물 광합성 광에너지 전환기술 /4년	광합성 관련 형태적, 생화학적 특성 연구	8.5억	해양미세조류 대상 광합성 기작 규명 및 광전환 시스템 조절 기작 확립
	광합성 기작 연구를 위한 광수용체 대조조절 연구	9.5억	
	광전환 시스템 조절 기작 연구	10.0억	
해양미세조류의 광합성 고효율화 기술 개발 /6년	광수용체 작용 기작 활용을 통한 광에너지 고효율 전환 기술 개발	10.0억	해양미세조류 대상 광합성 기작 활용을 통한 고효율 광전환 최적화 원천 기술 개발
	광전환 시스템 조절 가능 해양미세조류 개량 기술 개발	11.6억	
	고효율 광합성 개량 기술 이용 바이오매스 향상 기술 개발	15.0억	
3. 성과목표			
<p>○ 해양생물에서 광합성 반응의 광수확체 작용기작 이해와 광에너지 전환 기작 규명</p> <p>○ 해양미세조류 대상의 신규한 광합성 관련 빛수용체 합성경로와 작용 기작의 규명을 통해 고효율 광에너지 전환체 미세조류 개발</p>			
4. 특기사항			
-			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 64.6 억 		

○ 융합오믹스 및 합성생물학 기반 해양생물유래 고기능 생리활성물질 발굴 및 개량 기초원천기술

1. 연구목표																			
<p>최종목표: 융합오믹스 및 합성생물학 기반 해양생물유래 고기능 생리활성물질 발굴 및 개량을 위한 기초 원천기술개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양미생물 자원 확보 - 천연물, 펩타이드, 단백질 등의 고기능 생리활성물질 발굴 - 생리활성물질 개량 																			
2. 연구내용 및 범위																			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양미생물은 고기능 생리활성물질의 보고임. 신약 개발의 핵심요소인 물질의 신규성, 생리활성의 강력함과 다양함, 물질 대량 확보의 용이성 등 3대 요소가 어우러진 최적의 연구대상임 - 최근 유전체분석, 빅데이터 바이오 인포매틱스, 융합오믹스, 합성생물학기술의 발전에 따라, 해양미생물 유전체에 코딩된 막대한 수의 생리활성물질 생합성 집단을 이용하여 신규 고기능성 생리활성 물질을 발굴하고, 합성생물학적 구조변형을 통한 활성개량/최적화 원천기술의 개발이 시급함 <p>○ 연구내용 및 범위</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>단계별 연구내용 /연구기간</th> <th>세부연구내용</th> <th>연구비</th> <th>예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">융합 오믹스 기반 해양생물 유래 고기능 생리활성 물질 발굴/4년</td> <td>해양미생물 유전체 해독/바이오 인포매틱스/오믹스 해독 분석</td> <td>16.5억</td> <td rowspan="2">생리활성물질 발굴 기술 확립</td> </tr> <tr> <td>생합성 융합적 분석을 통한 생리활성물질 발굴 기술 확립</td> <td>18.5억</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">합성생물학기반 생리활성물질 대량 생산 및 개량 원천기술 확립/4년</td> <td>합성생물학/오믹스 기반 생합성 유전자 집단 발현 기술 확립</td> <td>20.2억</td> <td rowspan="2">생리활성물질 활성 최적화 기술 확립</td> </tr> <tr> <td>합성생물학 기반 구조변형을 통한 생리활성물질의 활성 개량 및 최적화 기술 확립</td> <td>25.5</td> </tr> </tbody> </table>	단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	융합 오믹스 기반 해양생물 유래 고기능 생리활성 물질 발굴/4년	해양미생물 유전체 해독/바이오 인포매틱스/오믹스 해독 분석	16.5억	생리활성물질 발굴 기술 확립	생합성 융합적 분석을 통한 생리활성물질 발굴 기술 확립	18.5억	합성생물학기반 생리활성물질 대량 생산 및 개량 원천기술 확립/4년	합성생물학/오믹스 기반 생합성 유전자 집단 발현 기술 확립	20.2억	생리활성물질 활성 최적화 기술 확립	합성생물학 기반 구조변형을 통한 생리활성물질의 활성 개량 및 최적화 기술 확립	25.5			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물																
융합 오믹스 기반 해양생물 유래 고기능 생리활성 물질 발굴/4년	해양미생물 유전체 해독/바이오 인포매틱스/오믹스 해독 분석	16.5억	생리활성물질 발굴 기술 확립																
	생합성 융합적 분석을 통한 생리활성물질 발굴 기술 확립	18.5억																	
합성생물학기반 생리활성물질 대량 생산 및 개량 원천기술 확립/4년	합성생물학/오믹스 기반 생합성 유전자 집단 발현 기술 확립	20.2억	생리활성물질 활성 최적화 기술 확립																
	합성생물학 기반 구조변형을 통한 생리활성물질의 활성 개량 및 최적화 기술 확립	25.5																	
3. 성과목표																			
<p>○ 해양미생물 유전체 기반 신규 고기능 생리활성물질 발굴이 가능한 신규 생태계 조성</p> <p>○ 유용 신규 생리활성물질 생합성 유전자 활용 원천 기술 개발</p>																			
4. 특기사항																			
-																			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 8년 • 연구예산: 80.7억 																		

○ 유전체 편집기술이용 해양생물 형질전환 기술 개발

1. 연구목표			
<p>최종목표: 해양생물 대상의 유전체 편집기술 확보를 통한 유용 형질전환체 개발과 활용</p> <p>- 해양생물 대상 유전체 편집기술의 적용 기술 개발</p> <p>- 적용된 유전체 편집기술의 기술을 활용한 유용 형질전환체 개발과 활용</p>			
2. 연구내용 및 범위			
○ 기술개발의 필요성			
<p>- 최근에 신기술로 각광받고 있는 유전체 편집 기술을 해양생물에 적용시키는 기술의 개발이 필요함</p> <p>- 다양한 특성과 유용성을 갖고 있는 해양생물을 대상으로 유전체 편집 기술을 사용하여 유용 형질전환체를 개발하고 이들의 산업화를 위한 원천 기술 개발 필요함.</p>			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
해양생물 적용가능 유전체 편집기술 개발 /3년	산업적 유용 해양생물종 선별과 유전체 편집기술 활용 가능성 분석	11.4억	유전체 편집 기술의 적용 방법 확립
	유전체 편집기술의 해양생물 대상 적용 시스템 개발	14.6억	
유전체 편집기술 활용한 유용 형질전환체 개발과 활용 /3년	유용 형질전환체 개발을 위한 관련 유전자 유전체 분석 및 전략 구축	10.5억	유용 형질전환체의 개발 및 실용화
	대사공학적 접근을 통한 고효율 유용 해양생물 개발	15.2억	
	특정 유용성분의 특성 변형을 통한 유용 물질 생산 극대화 원천기술 개발	18.2억	
3. 성과목표			
○ 유전체 편집 실현 기술의 해양생물 대상 적용 기법 확립 및 신규 유용 형질전환체 개발			
○ 대량배양 또는 특정 고부가 물질 생산 체계 갖춘 해양생물 대상으로 대량 생산 체계 확보를 통한 신산업화 및 실용화			
4. 특기사항			
-			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> 연구기간: 8 년 연구예산: 69.9 억 		

○ 난배양성 해양생물 배양기술 개발 통한 해양생물 대량 확보 기술 개발

1. 연구목표																			
<p>최종목표: 고부가가치 함유 난배양성 생물 배양기술 통한 제품 후보군 확대</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고부가가치 물질 함유 난배양성 해양생물 발굴 및 성장저해요인 규명 - 물리적 화학적 생육 환경 변화에 따른 난 배양성 해양생물 배양조건 최적화 및 고농도 배양기술 개발 																			
2. 연구내용 및 범위																			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양유래 생물 중 신 소재, 신 의약 신 생리활성물질 등 고부가 가치 물질을 발굴 한 다해도 산업적 이용을 위한 생산성이 떨어지는 경우가 많으므로, 후보 물질을 발굴 후 생산성이 문제되는 생물의 배양관련 기술을 개발 하여 발굴된 물질이 산업화에 이용 되지 못하는 경우의 애로 기술을 해결 해야 함. - 고부가 가치 물질 함유 난 배양성 해양생물 배양기술은, 가치 있는 물질을 산업화 하 는데 필수 기술이며, 원료를 안정적으로 재현성 있게 공급하는 데 중요한 기술임. <p>○ 연구내용 및 범위</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>단계별 연구내용 /연구기간</th> <th>세부연구내용</th> <th>연구비</th> <th>예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">난배양성 해양생물 배양기술 개발/5년</td> <td>고부가가치 해양생물 중 난 배양성 생물 분리</td> <td>10억원</td> <td rowspan="2">고부가가치 함유 난배양성 해양생물 분리 및 배양기술 확립</td> </tr> <tr> <td>해양생물 성장저해요인 규명</td> <td>15억원</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">해양생물 대량확보 기술 /5년</td> <td>난배양성 해양생물 물리적, 화학적 배양조건 최적화</td> <td>10억원</td> <td rowspan="2">난배양성 해양생물 고효율 배양조건 최적화</td> </tr> <tr> <td>난 배양성 생물 저비용, 고효율 고농도 배양기법 개발</td> <td>15억원</td> </tr> </tbody> </table>				단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	난배양성 해양생물 배양기술 개발/5년	고부가가치 해양생물 중 난 배양성 생물 분리	10억원	고부가가치 함유 난배양성 해양생물 분리 및 배양기술 확립	해양생물 성장저해요인 규명	15억원	해양생물 대량확보 기술 /5년	난배양성 해양생물 물리적, 화학적 배양조건 최적화	10억원	난배양성 해양생물 고효율 배양조건 최적화	난 배양성 생물 저비용, 고효율 고농도 배양기법 개발	15억원
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물																
난배양성 해양생물 배양기술 개발/5년	고부가가치 해양생물 중 난 배양성 생물 분리	10억원	고부가가치 함유 난배양성 해양생물 분리 및 배양기술 확립																
	해양생물 성장저해요인 규명	15억원																	
해양생물 대량확보 기술 /5년	난배양성 해양생물 물리적, 화학적 배양조건 최적화	10억원	난배양성 해양생물 고효율 배양조건 최적화																
	난 배양성 생물 저비용, 고효율 고농도 배양기법 개발	15억원																	
3. 성과목표																			
<p>○ 고부가가치 물질 함유 난배양성 해양생물 분리 및 배양기술 확보</p> <p>○ 난배양성 해양생물 배양조건 최적화 및 저비용, 고효율 배양기술 개발</p>																			
4. 특기사항																			
-																			
5. 사업기간/예산		<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 50 억 																	

3.1.3.2. 해양유래 소재

○ 미세조류 유래 지질소재 확보기술 및 미세조류 유용부산물 활용기술

1. 연구목표			
<p>최종목표: 미세조류 이용 신자원 확보기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미세조류 유래 지질소재 확보를 위한 생산 원천기술 개발 - 미세조류 유용부산물 활용을 위한 생산 원천기술 개발 			
2. 연구내용 및 범위			
○ 기술개발의 필요성			
<ul style="list-style-type: none"> - 해양 바이오산업 중 가장 규모가 큰 분야가 조류 산업임. 미세조류가 조류의 대부분을 차지함. 미세조류는 바이오에너지는 물론 건강보조식품, 화장품 원료, 의약품 원료, 다양한 고기능 생리활성물질 등의 생산에 이용되는 부가가치 높은 떠오르는 자원임 - 국외의 경우 미국, 호주, 독일, 일본, 인도 등을 중심으로 고부가가치 식품이나 의약품 생산원료로의 유용물질 확보를 위한 연구 및 생산이 활발히 이루어지고 있음 - 반면 국내 연구의 경우 미세조류 유래 지질의 바이오연료 전환에 연구 및 실증화사업이 편중되어 있고 지질소재 및 유용부산물의 활용은 아직 초보단계이며 제한적으로 이루어지고 있어 기초 원천기술 개발이 필요함 			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
미세조류 유래 지질소재 확보기술/4.5년	미세조류 균주 선별 및 개량 기술 확립	10.5 억	미세조류 유래 지질확보 및 기능성 지질소재 생산기술
	미세조류 배양 및 수확 기술 확립	11 억	
	지질 추출 및 유용물질 분리/정제 기술 확립	8.5 억	
미세조류 유용부산물 활용기술/5.5년	지질추출 잔사 유래 유용부산물 탐색	11.4 억	미세조류 지질추출 잔사 유래 유용물질 생산기술
	지질추출 잔사 유래 유용물질 분리/정제 기술 확립	11.8 억	
3. 성과목표			
○ 신규 균주 발굴, 개량 및 대량배양 기술개발을 통한 바이오매스 확보			
○ 지질 추출 및 유용물질 분리/정제 기술개발을 통한 지질소재 확보			
○ 미세조류 지질추출 잔사 유래 유용물질 발굴 및 생산기술 확보			
4. 특기사항			
-			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 53.2 억 		

○ 난분해성 해양플라스틱 생분해 및 고부가가치 화합물 전환 기초 원천기술

1. 연구목표			
최종목표: <ul style="list-style-type: none"> - 해양 플라스틱 생분해를 위한 융합오믹스 데이터베이스 개발 - <i>in silico</i> 모델과 합성생물공학을 통해 해양폐기물을 소재로 한 고부가가치 화합물 전환 기초 원천 기술 개발 			
2. 연구내용 및 범위			
○ 기술개발의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 난분해성 플라스틱 쓰레기 해양유입으로 인해 인간의 건강에 미치는 악영향과 생태계 파괴 문제 해결 시급 - 현재 국내 대응 정책은 해양폐기물 모니터링과 총량제 도입에 그치고 있음 - 해양 플라스틱을 효율적으로 분해하고, 더 나아가 이로부터 고부가가치 화합물을 생산하는 융합오믹스 및 합성생물학 기술 도입 필요 - 최근 난분해성 플라스틱을 분해하는 미생물의 존재가 보고되었으나 이를 응용한 부재 			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용 /연구기간	세분연구내용	연구비	예상결과물
난분해성 해양플라스틱 생분해기술/4년	융합오믹스 기술을 활용하여 해양플라스틱을 분해할 수 있는 균주 및 유전자를 발굴	10억	해양폐기물 처리 및 유용산물 전환 기술
	대사경로 분석 및 생분해경로 <i>in silico</i> 모델 확립	10억	
고부가가치 화합물 전환 기초원천기술/4년	<i>in silico</i> 모델 및 합성생물학을 이용한 고부가가치로의 전환 방법 설계	12억	
○ 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 폐플라스틱 및 해양 미세플라스틱을 제거 - 합성생물학으로부터 개량된 균주를 통해 다양한 폐자원으로부터 고부가가치 화합물을 생산 가능 			
3. 성과목표			
○ 해양 플라스틱 생분해를 위한 융합오믹스 데이터베이스 개발 ○ 해양폐기물을 소재로 한 고부가가치 화합물 전환			
4. 특이사항			
-			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 8 년 • 연구예산: 32 억 		

○ 바이오플라스틱 고분자 단량체 생합성을 위한 원천 기술 개발

1. 연구목표			
최종목표:			
- 해양미세조류 지질을 비롯한 해양바이오매스로부터 바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 기술 개발을 위한 원천 기술 개발			
- 바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 용 신규 경로 및 고성능 효소/전세포 촉매 개발			
2. 연구내용 및 범위			
○ 기술개발의 필요성			
- 해양지질을 비롯한 해양바이오매스의 생산/확보 기술은 날로 발전하고 있으나, 이를 활용한 고부가 산업 용 신소재 생합성 기술은 낮은 수준에 머물러 있음.			
- 해양지질/해양바이오매스의 고부가 가치화 기술이 개발되면 해양 유기물 저감화를 통해 해양 유래 CO ₂ 발생 감소를 비롯하여 지구적 탄소 순환에 상당한 기여를 할 것으로 예상됨.			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 경로 및 효소 개발/6년	해양지질/해양바이오매스로부터 바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 경로 디자인 및 관련 효소 확보	12.6억	해양지질/해양바이오매스로부터 고부가 바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 기술
	생합성 경로 구축 및 성능 평가	12.0억	
효소/전세포 촉매의 엔지니어링 기술 개발 /4년	효소 구조 분석 및 구조재설계를 통한 생물전환 활성 향상	12.5억	
	대사공학/합성생물학 기술 기반 전세포 촉매의 생물전환 활성 향상	12.5천	
3. 성과목표			
○ 해양지질/해양바이오매스로부터 고부가 바이오플라스틱/고분자 단량체의 생합성 경로 및 관련 효소 개발 (특허 2건 및 SCI논문(IF 상위 20%) 3편 이상 발표)			
○ 해양지질/해양바이오매스 생물전환 용 효소/전세포 촉매 구축 기술 개발 (특허 2건 및 SCI논문(IF 상위 20%) 6편 이상 발표)			
○ 해양지질/해양바이오매스 생물전환 용 효소/전세포 촉매의 엔지니어링 기술 개발 (특허 2건 및 SCI논문(IF 상위 20%) 3편 이상 발표)			
4. 특기사항			
- 최근 국내연구진에 의해 해양지질로부터 생분해성 바이오플라스틱 생산 용 C9 단량체 생산 기술이 국제 특급 저널(Biores Technol)에 보고되었음. 따라서, 국내에서 해양지질/해양바이오매스로부터 바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 원천 기술 개발의 가능성이 매우 높다고 사료됨.			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> 연구기간: 10 년 연구예산: 49.6 억 		

○ 특수단백질의 생합성 기술 개발 및 개량원천기술 개발

1. 연구목표			
<p>최종목표: 해양생물자원을 활용한 특수단백질의 탐색 및 고부가화 기술을 통하여 해양 유래 산업용 특수단백질 생산 및 개량 원천기술 확립</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대장균 등의 일반 세균을 이용한 해양 유래 특수단백질의 생합성 기술 개발 - 단백질공학 기술을 이용한 특수단백질 물성 개량 및 이를 통한 고부가화 기술 개발 - 해양 유래 산업용 특수단백질 생산 원천기술 확립 			
2. 연구내용 및 범위			
○ 기술개발의 필요성			
<ul style="list-style-type: none"> - 해양 생태 환경은 육상과 많이 다르므로 육상에서 얻을 수 없는 특수한 성질의 단백질 생산이 가능하나 현재까지 연구되고 있는 분야는 매우 한정적임 (말미잘 유래 실크단백질, 홍합 유래 접착단백질, 해파리 유래 녹색형광단백질 등). - 이러한 단백질은 염을 포함하는 수용액 상태에서 활성을 유지할 수 있다는 특징이 있으므로 생체적합성이 뛰어난 재료로써 활용이 가능하여 수술용 재료뿐만 아니라 화장품, 식품 등에도 응용이 가능함. 			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
특수단백질 탐색 /2년	해양생물자원 기반 특수단백질 발굴	4.5억	특수단백질 발굴 및 메커니즘 규명
	단백질 구조 및 활성 메커니즘 규명	5.4 억	
특수단백질 개량 및 생합성 기술 개발 /4년	대장균을 이용한 해양 유래 특수단백질 생산기술 확립	7.5 억	해양 유래 산업용 특수단백질 생산 원천기술 확립
	특수단백질 물성 개량 및 이를 통한 고부가화 기술 개발	8.0 억	
3. 성과목표			
○ 해양생물자원 활용 특수단백질 생산 원천기술 확립 (특허 2건 및 SCI 논문 3편 이상 발표)			
○ 특수단백질의 물성 특이성 연구 및 육상에서 생산되는 일반단백질과의 구조적 차이점 규명 (SCI 논문 3편 이상 발표)			
○ 특수 물성을 결정짓는 단백질의 모듈 결정 및 이를 개량한 engineered protein 생산 (특허 2건 및 SCI 논문 3편 이상 발표)			
4. 특기사항			
- 일부 해양생명체 유래 특수단백질에 대한 연구는 포항공대, KAIST 등 국내 연구진에 의하여 활발히 진행되고 있어 세계적으로 경쟁력이 있다고 할 수 있음. 이를 토대로 특수단백질 연구를 보다 활발히 진행한다면 아직 초기 연구 단계인 해양생명체 유래 특수단백질 분야의 원천 기술 개발이 가능할 것이라 판단됨.			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 6년 • 연구예산: 25.4 억 		

○ 특수단백질의 생합성 기술 개발 및 응용원천기술 개발

1. 연구목표																			
<p>최종목표: 기 개발된 해양생물자원 유래 특수단백질의 생합성 기술을 이용한 산업용 특수단백질 생산 원천기술 개발</p> <p>- 천연단백질을 모사한 단백질 (natural protein-like protein) 생합성 기술을 통한 특수단백질의 대량 생산 기술 확립</p> <p>- 고부가화 기술을 통한 가격 경쟁력이 있는 해양 유래 특수단백질 대량 생산 및 산업화 응용 원천기술 확립</p>																			
2. 연구내용 및 범위																			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <p>- 본 과제에서 개발되거나 또는 다른 사업을 통해 개발된 해양 유래 특수단백질의 경우 대부분 특수한 물성 때문에 학문적으로는 그 의의가 매우 크나, 생산성이 낮아 산업화에 어려움이 있음.</p> <p>- 기존에 개발된 모사 단백질 (elastin-like protein, silk-like protein 등) 생산 기술을 활용하여 대장균에서 해양 특수단백질을 대량으로 생산할 수 있는 기술을 개발함으로써 산업화 응용원천 기술을 확립하고자 함.</p> <p>○ 연구내용 및 범위</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>단계별 연구내용/연구기간</th> <th>세부연구내용</th> <th>연구비</th> <th>예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">특수단백질 대량 생산 기술 확립 /2년</td> <td>모사 단백질 생합성 기술을 이용한 해양 특수단백질 생산</td> <td>8.3 억</td> <td rowspan="2">대장균에서의 해양 특수단백질 대량 생산기술 확립</td> </tr> <tr> <td>해양과 육상에서 생산된 특수단백질 물성 비교</td> <td>2.5 억</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">물성이 개량된 engineered protein 생산 기술 개발 /2년</td> <td>단백질공학 기술을 이용한 특수단백질의 안정성 향상</td> <td>5.8 억</td> <td rowspan="2">가격 경쟁력이 있는 특수단백질 생산 기술 확립</td> </tr> <tr> <td>아미노산 치환을 통한 물성이 개량된 고부가가치 단백질 생산</td> <td>7.8 억</td> </tr> </tbody> </table>	단계별 연구내용/연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	특수단백질 대량 생산 기술 확립 /2년	모사 단백질 생합성 기술을 이용한 해양 특수단백질 생산	8.3 억	대장균에서의 해양 특수단백질 대량 생산기술 확립	해양과 육상에서 생산된 특수단백질 물성 비교	2.5 억	물성이 개량된 engineered protein 생산 기술 개발 /2년	단백질공학 기술을 이용한 특수단백질의 안정성 향상	5.8 억	가격 경쟁력이 있는 특수단백질 생산 기술 확립	아미노산 치환을 통한 물성이 개량된 고부가가치 단백질 생산	7.8 억			
단계별 연구내용/연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물																
특수단백질 대량 생산 기술 확립 /2년	모사 단백질 생합성 기술을 이용한 해양 특수단백질 생산	8.3 억	대장균에서의 해양 특수단백질 대량 생산기술 확립																
	해양과 육상에서 생산된 특수단백질 물성 비교	2.5 억																	
물성이 개량된 engineered protein 생산 기술 개발 /2년	단백질공학 기술을 이용한 특수단백질의 안정성 향상	5.8 억	가격 경쟁력이 있는 특수단백질 생산 기술 확립																
	아미노산 치환을 통한 물성이 개량된 고부가가치 단백질 생산	7.8 억																	
3. 성과목표																			
<p>○ 모사단백질 기술을 활용한 해양 특수단백질 생산 원천기술 확립 (특허 1건 및 SCI 논문 3편 이상 발표)</p> <p>○ 단백질공학 기술을 이용하여 안정성이 향상되고 가격 경쟁력이 큰 해양 특수단백질 대량 생산 기술 확립 (특허 2건 및 SCI 논문 3편 이상 발표)</p>																			
4. 특기사항																			
<p>- 그 동안 국내에 축적된 해양생명체 유래 특수 단백질 (예로 홍합접착 단백질, 해양 말미잘 실크 단백질 등)의 탐색 및 생산/고부가화 기술을 활용한다면 향후 산업용 특수단백질 개발 분야에서 국제경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 사료됨.</p>																			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> 연구기간: 4 년 연구예산: 24.4 억 																		

3.1.3.3. 의약원천기술분야

○ 해양생물 기원화합물 라이브러리 구축 및 신규화합물 발굴 기술

1. 연구목표			
최종목표:			
<ul style="list-style-type: none"> - 해양생물유래 분리된 화합물과 생리활성 화합물 생산 해양미생물 균주 라이브러리 구축 - 육상천연물과 차별되는 신규 골격 화합물 발굴 기술 및 미량 성분 구조 분석 기술 개발 			
2. 연구내용 및 범위			
○ 기술개발의 필요성			
<ul style="list-style-type: none"> - 해양생물에서는 육상과 다른 새로운 화학적 구조와 강력한 생리활성 갖는 해양 천연물 발견 빈도가 높아 향후 난치성 질환 치료제 개발에 유리 - 의약품 개발에서 원천 기술 확보는 체계적인 화합물 라이브러리가 필수적이며 특히 화학조합보다 골격이 상이한 다양한 천연 화학구조의 화합물이 필요 - 화합물 라이브러리는 질환별 활성을 갖는 화합물 탐색에 적용되며 유용 화합물은 미생물을 이용하여 대량 생산으로 전환 가능 - 선진국 수준의 미량의 화합물 구조 분석 기술 개발이 요구됨 			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용/연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
해양생물 기원화합물 라이브러리 구축 /5년	육상식물에서 분리되지 않은 화합물 라이브러리 구축	20억	해양 생물 기원 기지 및 신규 화합물 연간 50개 확보
	해양 기원 화합물을 분비하는 해양 미생물 탐색	10억	유용 생리활성 화합물을 분비하는 미생물 2종 발굴
신규화합물 발굴 기술 /5년	미량 성분 및 거대 분자에 대한 화학구조 규명	10억	선진국 수준의 신규 화합물 화학구조 기술 확보
	데이터베이스 및 질량분석 융합 해양 생물 기원 화합물 분석 기술	10억	
○ 기대효과			
<ul style="list-style-type: none"> - 향후 해양 유래 의약품 선도 물질 개발에 활용 - 원천기술 확보를 위한 필수 기반 기술 보유 			
3. 성과목표			
○ 분류별 해양생물로부터 생리활성 화합물의 확보 연간 50개			
○ 해양 생물 유래 상이한 골격의 신규 활성 화합물 5종이 이상 발굴과 활성 화합물을 생산하는 해양 미생물로부터 2종 이상 탐색			
4. 특기사항			
-			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 50 억 		

○ 해양생물 생리활성 선도물질 개량 및 생체전달 최적화 기술

1. 연구목표			
최종목표: 선도물질의 성능 개선과 생체 전달 최적화 기술 확립을 통한 해양 신의약 소재의 실용화 기반 확보			
2. 연구내용 및 범위			
○ 기술개발의 필요성			
- 해양 생물 유래 생리활성 물질들은 다양한 분야에 치료학적 응용 및 산업적 활용도가 높아서 해양 생물 기반의 환자 친화적 새로운 치료제 및 기능성 소재 발굴에 대한 미래 시장 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예측됨.			
- 발굴된 생리활성 물질들이 궁극적으로는 사람에게 투여 가능한 형태로 제조 가능해야 됨을 고려할 때, 유망 생리활성 물질과 고효율 생체 전달 기술의 접목은 발굴된 선도물질의 산업화 성공 가능성을 높이고 글로벌 시장 경쟁력 제고에 필수 불가결한 요소임.			
- 따라서, 해양 신의약 소재의 수요 맞춤형 임상 개발의 성공률 제고를 위한 핵심 기술로 선도물질 최적화를 위한 성능 개량 기술 및 고효율 생체 전달 원천 기술 확립이 시급함.			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
선도물질 개량 및 최적화 /3 년	- 빅데이터 기반 유망 선도물질 발굴 및 활성 개량 - 선도물질의 효능 및 물성 최적화 - <i>In vitro/ in vivo</i> 질환 모델 및 평가 기술 확립	30억	선도물질 성능 개선 및 개량 기술 확립
생체전달 최적화 기술 확립 /3 년	- 수요 맞춤형 생체 전달 기술 개발 - 선도물질 탑재 및 기술 검증 - 유효성 평가 및 범용성 검증	30억	고효율 생체 전달 플랫폼 기술 확립
○ 기대효과			
- 해양 신의약 소재의 치료학적 응용을 위한 기반기술 확립을 통해 해양 생물 유래 생리활성 물질의 임상적 활용 및 제품화 성공 가능성을 극대화 함.			
3. 성과목표			
○ 화합물 개량 기술 확립 및 유망 선도물질 확보			
○ 수요 맞춤형 임상 개발을 위한 생체 전달 원천 기술 확립 및 시작품 제작			
4. 특기사항			
-			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 6년 • 연구예산: 60억 		

○ 해양미생물 빅데이터 이용 가상세포구축 기술 및 고부가 바이오소재 생산 세포공장 구축 기술

1. 연구목표			
<p>최종목표: 해양미생물 빅데이터 분석기반 가상세포구축 기술 및 이를 기반으로 한 고부가 바이오소재(코스메슈티컬 등) 생산 세포공장구축 기초원천기술 확립</p> <p>-신규 해양미생물 바이오 빅데이터 활용/가상세포 구축</p> <p>-단백질 구조 분석 및 세포 이미징 등 바이오 융합기술을 이용한 해양자원 전환 메커니즘 규명</p> <p>-고부가 바이오소재(코스메슈티컬 등) 확보 세포공장구축을 위한 원천 기술 개발</p>			
2. 연구내용 및 범위			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <p>- 고부가 바이오소재(코스메슈티컬 등) 로 활용될 수 있는 가능성 있는 해양자원이 막대하며, 지속 가능한 산업을 위한 이들 해양자원의 활용 원천 기술 개발이 요구됨</p> <p>- 해양자원으로부터 고부가 바이오소재(코스메슈티컬 등) 전환을 위한 신규 해양미생물 확보 및 전환 메커니즘 규명 등 원천기술 개발을 통한 기술선점이 필요함</p> <p>- 해양미생물 빅데이터 및 이를 활용한 가상세포 구축을 통해 고부가 바이오소재(코스메슈티컬 등) 확보 세포공장구축 기초원천기술 개발이 필요함</p>			
○ 연구내용 및 범위			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물
해양미생물 빅데이터 기반 가상세포 구축 /5년	해양자원 고속 전환 신규해양미생물 발굴	5억	세포공장구축 원천기술 개발
	발굴 해양미생물 활용 원천기술개발	10억	
	고부가 바이오소재 전환 세포공장구축 원천기술 개발	5억	
고부가 바이오소재 생산 세포공장 구축 /5년	해양자원 전환 단백질 구조 및 전환 메커니즘 규명	10억	단백질 활성 증대
	단백질 분자진화과정 규명 및 활성 증대	10억	
	이미징 기반 살아있는 세포 내 타겟 단백질 검출을 통한 메커니즘 규명	5억	해양자원 전환메커니즘 규명,표현형 변형 규명
	단일세포 수준에서 생체물질 정량화 및 분포 획득을 통한 표현형 변형 규명	5억	
3. 성과목표			
<p>○ 신규해양미생물 발굴을 통한 유용자원 확보 및 원천기술 개발</p> <p>○ 단백질구조 규명 및 해양자원전환 메커니즘 규명</p> <p>○ 단일세포 이미징 원천기술 개발 및 해양자원 전환 메커니즘, 표현형 변형 규명</p>			
4.특기사항			
-			
5. 사업기간/예산		연구기간: 10 년/ 연구예산: 50 억	

3.1.3.4. 해양생태환경제어 기초원천기술분야

○ 연소미세먼지 저감기술을 통한 고부가 해양유래 바이오소재 확보 기초원천기술

1. 연구목표															
<p>최종목표:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연소미세먼지 저감기술을 위한 IOT 기반 고부가 소재-수생바이오매스 대량생산 기초원천기술 개발 및 환경개선 모니터링 															
2. 연구내용 및 범위															
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 석탄*석유화학산업 위기 및 선진국과의 기술격차 극복을 위해 태동기 수생바이오 고부가 소재산업에 대한 정부차원 선제적 지원육성 시급 - 국내 연소 미세먼지 요인 30%이상 화력발전소의 기여하고 있어, 이로 인한 국민 건강피해를 진단 및 예방 노력 필요 <p>○ 연구내용 및 범위</p>															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>단계별 연구내용 /연구기간</th> <th>세부연구내용</th> <th>연구비</th> <th>예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>수생바이오매스 대량생산기반 및 IOT 시스템 조성 /5년</td> <td>수생바이오 고부가 신소재 및 IOT 융합 대량생산시스템 기술확립</td> <td>20억</td> <td>바이오신소재산업의 산업 신규 생태계</td> </tr> <tr> <td>수생바이오 고부가소재 탐색 및 대량 생산기술 개발 /5년</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> - 특화분야를 지원하기 위한 장비 구축 - 최적 배양조건, 정제기술, 대량생산 공정기술 확립 </td> <td>30억</td> <td>수생바이오 고부가소재 탐색 및 대량 생산기술</td> </tr> </tbody> </table>				단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	수생바이오매스 대량생산기반 및 IOT 시스템 조성 /5년	수생바이오 고부가 신소재 및 IOT 융합 대량생산시스템 기술확립	20억	바이오신소재산업의 산업 신규 생태계	수생바이오 고부가소재 탐색 및 대량 생산기술 개발 /5년	<ul style="list-style-type: none"> - 특화분야를 지원하기 위한 장비 구축 - 최적 배양조건, 정제기술, 대량생산 공정기술 확립 	30억	수생바이오 고부가소재 탐색 및 대량 생산기술
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물												
수생바이오매스 대량생산기반 및 IOT 시스템 조성 /5년	수생바이오 고부가 신소재 및 IOT 융합 대량생산시스템 기술확립	20억	바이오신소재산업의 산업 신규 생태계												
수생바이오 고부가소재 탐색 및 대량 생산기술 개발 /5년	<ul style="list-style-type: none"> - 특화분야를 지원하기 위한 장비 구축 - 최적 배양조건, 정제기술, 대량생산 공정기술 확립 	30억	수생바이오 고부가소재 탐색 및 대량 생산기술												
<p>○ 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 화력발전소 기반 미세먼지 및 온배수 활용을 통해 연애 환경 개선 - IOT 기술 도입으로 효율적 생물 기술 강화 															
3. 성과목표															
<ul style="list-style-type: none"> ○ 고부가 소재-수생바이오매스 대량생산 기초원천기술 개발 ○ 연소미세먼지 저감기술을 위한 IOT 기반 환경개선 모니터링기술 개발 															
4. 특기사항															
-															
5. 사업기간/예산		<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 50 억 													

○ 해양생태계구조 및 기능 평가 기술개발

1. 연구목표																	
<p>최종목표: 해양생태계 구조 및 기능 평가를 위한 첨단 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양생태진단 동위원소 기술 개발 - 해양생태진단 동위원소 활용 기술 고도화 - 수권생태계 구조 및 기능 평가 정확도 향상 																	
2. 연구내용 및 범위																	
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양생태계 보전 및 복원 전략 수립을 위하여 해양생태계 구조와 기능의 특성을 이해하기 위한 평가 기술 개발이 필요함 - 담수 및 하구역 환경 변화에 따른 수권생태계 구조와 기능 변화를 진단 평가하기 위한 기술 개발이 시급함 <p>○ 연구내용 및 범위</p>																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단계별 연구내용 /연구기간</th> <th style="text-align: center;">세부연구내용</th> <th style="text-align: center;">연구비</th> <th style="text-align: center;">예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">해양생태진단 동위원소 기술 개발/4년</td> <td style="text-align: center;">다원소 동위원소 분석을 통한 해양생태계 먹이망 구조 평가 기술 개발</td> <td style="text-align: center;">8억5천</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">해양생태계 에너지 흐름과 주요 생물군의 생태적 지위 평가 기술 개발</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">분자수준 동위원소 분석 기술 개발 및 적용 시도</td> <td style="text-align: center;">11억</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">수권생태진단 동위원소 활용 기술 고도화/6년</td> <td style="text-align: center;">동위원소 및 생체지표 분석 기술 융합을 통한 수권생태계 구조 및 기능 평가 기술 개발</td> <td style="text-align: center;">15억5천</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">환경변화에 따른 수권생태계 변화 진단을 위한 첨단 기술 개발</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">분자수준 동위원소 분석 기술 개발 및 활용 기법 정립</td> <td style="text-align: center;">15억</td> </tr> </tbody> </table>		단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	해양생태진단 동위원소 기술 개발/4년	다원소 동위원소 분석을 통한 해양생태계 먹이망 구조 평가 기술 개발	8억5천	해양생태계 에너지 흐름과 주요 생물군의 생태적 지위 평가 기술 개발	분자수준 동위원소 분석 기술 개발 및 적용 시도	11억	수권생태진단 동위원소 활용 기술 고도화/6년	동위원소 및 생체지표 분석 기술 융합을 통한 수권생태계 구조 및 기능 평가 기술 개발	15억5천	환경변화에 따른 수권생태계 변화 진단을 위한 첨단 기술 개발	분자수준 동위원소 분석 기술 개발 및 활용 기법 정립	15억
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물														
해양생태진단 동위원소 기술 개발/4년	다원소 동위원소 분석을 통한 해양생태계 먹이망 구조 평가 기술 개발	8억5천	해양생태계 에너지 흐름과 주요 생물군의 생태적 지위 평가 기술 개발														
	분자수준 동위원소 분석 기술 개발 및 적용 시도	11억															
수권생태진단 동위원소 활용 기술 고도화/6년	동위원소 및 생체지표 분석 기술 융합을 통한 수권생태계 구조 및 기능 평가 기술 개발	15억5천	환경변화에 따른 수권생태계 변화 진단을 위한 첨단 기술 개발														
	분자수준 동위원소 분석 기술 개발 및 활용 기법 정립	15억															
3. 성과목표																	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 고도화된 해양생태계 구조 및 기능 평가 기법 정립 ○ 수권생태계 보전 및 관리 방안 수립에 활용 																	
4. 특기사항																	
-																	
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 50 억 																

○ 해양생물생리 및 생태계 변화과약을 위한 분자 생태학적 진단기술개발

1. 연구목표																			
<p>최종목표: 해양생물 생리 생태 변화 진단 및 예측 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양생물 생리 및 생태 진단을 위한 분자수준 기술 개발 - 분자생태학적 진단 기술 현장 적용 																			
2. 연구내용 및 범위																			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 환경스트레스는 해양생물의 생리 및 생태 변이를 초래하고 해양생태계에 영향을 줄 수 있어 이에 대한 기술 개발이 요구됨 - 해양생태계로부터 안전하고 지속적인 수산자원 확보를 위해 외부환경에 의한 생리, 생태적 변화를 이해할 필요가 있음 <p>○ 연구내용 및 범위</p>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">단계별 연구내용 /연구기간</th> <th style="width: 40%;">세부연구내용</th> <th style="width: 15%;">연구비</th> <th style="width: 25%;">예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">환경스트레스 진단에 적합한 모델 생물종 선정 및 오믹스 정보 확보/5년</td> <td style="text-align: center;">모델 생물종 선정 및 기후변화와 환경오염물질에 따른 급/만성 독성평가</td> <td style="text-align: center;">15억</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">모델 생물종 선정 및 독성평가, 관련 오믹스 정보 확보</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">환경스트레스에 반응하는 단백질체 라이브러리 및 지방산 조성 자료 확보</td> <td style="text-align: center;">10억</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">환경스트레스에 반응하는 분자생태학적 진단 기술 개발/5년</td> <td style="text-align: center;">주요 유전체 발현, 단백질체, 지방산 동정 및 대사</td> <td style="text-align: center;">10억</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">환경노출 오믹스 결과 및 대사경로 확인, 오염해역 생태독성모니터링</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">환경오믹스 결과에 기반한 대사체 경로 파악 및 실증 적용</td> <td style="text-align: center;">15억</td> </tr> </tbody> </table>				단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	환경스트레스 진단에 적합한 모델 생물종 선정 및 오믹스 정보 확보/5년	모델 생물종 선정 및 기후변화와 환경오염물질에 따른 급/만성 독성평가	15억	모델 생물종 선정 및 독성평가, 관련 오믹스 정보 확보	환경스트레스에 반응하는 단백질체 라이브러리 및 지방산 조성 자료 확보	10억	환경스트레스에 반응하는 분자생태학적 진단 기술 개발/5년	주요 유전체 발현, 단백질체, 지방산 동정 및 대사	10억	환경노출 오믹스 결과 및 대사경로 확인, 오염해역 생태독성모니터링	환경오믹스 결과에 기반한 대사체 경로 파악 및 실증 적용	15억
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물																
환경스트레스 진단에 적합한 모델 생물종 선정 및 오믹스 정보 확보/5년	모델 생물종 선정 및 기후변화와 환경오염물질에 따른 급/만성 독성평가	15억	모델 생물종 선정 및 독성평가, 관련 오믹스 정보 확보																
	환경스트레스에 반응하는 단백질체 라이브러리 및 지방산 조성 자료 확보	10억																	
환경스트레스에 반응하는 분자생태학적 진단 기술 개발/5년	주요 유전체 발현, 단백질체, 지방산 동정 및 대사	10억	환경노출 오믹스 결과 및 대사경로 확인, 오염해역 생태독성모니터링																
	환경오믹스 결과에 기반한 대사체 경로 파악 및 실증 적용	15억																	
3. 성과목표																			
<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경스트레스에 반응하는 모델 생물종의 오믹스 정보 및 대사체 생성 경로 파악 ○ 분자생태학적 진단 기술을 이용한 해양오염진단기술의 최적화 																			
4. 특기사항																			
-																			
5. 사업기간/예산		<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 50 억 																	

○ 수권환경 오염물질의 생물위해성 평가기술 개발

1. 연구목표																			
<p>최종목표: 수권 환경 오염물질의 생물위해성 평가 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 분자생체지표 스크리닝 기술 개발 - 분자독성기작 평가 기법 개발 																			
2. 연구내용 및 범위																			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현재 생물위해성 관련 독성 평가 결과는 환경 노출 및 한 단계의 섭식에 대한 영향에 국한되어 수행되고 있음 - 보다 정확한 위해성 평가를 위해 다매체 생물이용성 및 먹이를 통한 오염물질 이동과 이용성, 체내 축적 기관과 같은 정보가 필요함 <p>○ 연구내용 및 범위</p>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단계별 연구내용 /연구기간</th> <th style="text-align: center;">세부연구내용</th> <th style="text-align: center;">연구비</th> <th style="text-align: center;">예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">분자 생체지표 스크리닝 기술 개발/4년</td> <td style="text-align: center;">생물체내 오염물질의 축적 및 이동 가능성에 대한 검증 기술 개발</td> <td style="text-align: center;">12억</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">현재 위해성평가 기술의 한계 제시 및 오염물질의 매체별 생물이용성에 대한 정보 확보</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">생물이용성을 고려한 오염물질 노출 모델</td> <td style="text-align: center;">12억</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">분자 독성기작 평가 기술 개발/6년</td> <td style="text-align: center;">생물위해성 평가지표 탐색 및 생물체내 독성 기작 규명</td> <td style="text-align: center;">18억</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">생물위해성 평가 기법의 최적화 및 매뉴얼화</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">분자반응기작과 독성종말점 상관관계 규명</td> <td style="text-align: center;">18억</td> </tr> </tbody> </table>				단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	분자 생체지표 스크리닝 기술 개발/4년	생물체내 오염물질의 축적 및 이동 가능성에 대한 검증 기술 개발	12억	현재 위해성평가 기술의 한계 제시 및 오염물질의 매체별 생물이용성에 대한 정보 확보	생물이용성을 고려한 오염물질 노출 모델	12억	분자 독성기작 평가 기술 개발/6년	생물위해성 평가지표 탐색 및 생물체내 독성 기작 규명	18억	생물위해성 평가 기법의 최적화 및 매뉴얼화	분자반응기작과 독성종말점 상관관계 규명	18억
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물																
분자 생체지표 스크리닝 기술 개발/4년	생물체내 오염물질의 축적 및 이동 가능성에 대한 검증 기술 개발	12억	현재 위해성평가 기술의 한계 제시 및 오염물질의 매체별 생물이용성에 대한 정보 확보																
	생물이용성을 고려한 오염물질 노출 모델	12억																	
분자 독성기작 평가 기술 개발/6년	생물위해성 평가지표 탐색 및 생물체내 독성 기작 규명	18억	생물위해성 평가 기법의 최적화 및 매뉴얼화																
	분자반응기작과 독성종말점 상관관계 규명	18억																	
3. 성과목표																			
<ul style="list-style-type: none"> ○ 고도화된 해양생태계 구조 및 기능 평가 기법 정립 ○ 수권생태계 보전 및 관리 방안 수립에 활용 																			
4. 특기사항																			
-																			
5. 사업기간/예산		<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 50 억 																	

○ 환경변화에 따른 하구 생태계 반응예측 기술개발

1. 연구목표																			
<p>최종목표: 인공 담수호 기원 영양물질 유입에 대한 하구생태계 반응 예측기술 개발</p> <p>- 환경변화에 따른 하구생태계 반응 진단 기술 개발</p> <p>- 연안 및 하구생태계 변화 예측 기술 개발</p>																			
2. 연구내용 및 범위																			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <p>- 인공담수호 기원의 영양물질 유입에 대한 저서생태계와 연계한 하구생태계 차원의 반응 연구는 수행된 바가 없음</p> <p>- 담수역의 인공 보나 하굿둑의 구조변경, 기후변화 등으로 하구환경 변화가 예상되고 있는 실정에서 이러한 변화에 대한 하구생태계 차원의 반응을 예측할 수 있는 생태계 모델 개발이 요구됨</p> <p>○ 연구내용 및 범위</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>단계별 연구내용 /연구기간</th> <th>세부연구내용</th> <th>연구비</th> <th>예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">인공담수호로부터 유입되는 영양물질의 농도와 확산범위, 해양생물 군집 파악 /7년</td> <td>인공담수호 유입 영양물질 유비형태와 부유/저서생물의 군집 조사</td> <td>17억</td> <td rowspan="2">인위적 영양물질 유입량, 월별 또는 방류전후 영양물질 및 군집 변화량 파악</td> </tr> <tr> <td>담수 방류 전후의 영양물질 농도와 하구생태계의 환경 및 생물군집을 조사</td> <td>15억</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">인위적 영양물질 유입 영향 모의하는 하구생태계 모델 개발/3년</td> <td>생태계 모델의 목적 및 개념도를 설정하고 생태계 모델의 주요입력계수 산정실험과 모델 보정 및 검증</td> <td>18억</td> <td rowspan="2">하구생태계 모델 개념도와 산정된 주요 입력계수 및 모형을 통해 환경변화에 따른 하구반응 예측 기술 개발</td> </tr> <tr> <td>검증된 생태계 모델을 활용하여 시나리오별 영양물질 유입의 영향을 예측</td> <td>6억</td> </tr> </tbody> </table>	단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	인공담수호로부터 유입되는 영양물질의 농도와 확산범위, 해양생물 군집 파악 /7년	인공담수호 유입 영양물질 유비형태와 부유/저서생물의 군집 조사	17억	인위적 영양물질 유입량, 월별 또는 방류전후 영양물질 및 군집 변화량 파악	담수 방류 전후의 영양물질 농도와 하구생태계의 환경 및 생물군집을 조사	15억	인위적 영양물질 유입 영향 모의하는 하구생태계 모델 개발/3년	생태계 모델의 목적 및 개념도를 설정하고 생태계 모델의 주요입력계수 산정실험과 모델 보정 및 검증	18억	하구생태계 모델 개념도와 산정된 주요 입력계수 및 모형을 통해 환경변화에 따른 하구반응 예측 기술 개발	검증된 생태계 모델을 활용하여 시나리오별 영양물질 유입의 영향을 예측	6억			
단계별 연구내용 /연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물																
인공담수호로부터 유입되는 영양물질의 농도와 확산범위, 해양생물 군집 파악 /7년	인공담수호 유입 영양물질 유비형태와 부유/저서생물의 군집 조사	17억	인위적 영양물질 유입량, 월별 또는 방류전후 영양물질 및 군집 변화량 파악																
	담수 방류 전후의 영양물질 농도와 하구생태계의 환경 및 생물군집을 조사	15억																	
인위적 영양물질 유입 영향 모의하는 하구생태계 모델 개발/3년	생태계 모델의 목적 및 개념도를 설정하고 생태계 모델의 주요입력계수 산정실험과 모델 보정 및 검증	18억	하구생태계 모델 개념도와 산정된 주요 입력계수 및 모형을 통해 환경변화에 따른 하구반응 예측 기술 개발																
	검증된 생태계 모델을 활용하여 시나리오별 영양물질 유입의 영향을 예측	6억																	
3. 성과목표																			
<p>○ 인위적 영양물질 유입과 하구환경/생태계 변동을 조사하고, 이를 토대로 유입 변화에 대한 하구생태계 반응을 예측하는 모델을 개발함</p> <p>○ 환경변화에 대한 하구생태계 반응 예측기술 확보와 하구둑의 구조변경, 기후변화 관련 하구생태계의 지속 가능한 관리에 기여함</p>																			
4. 특기사항																			
-																			
5. 사업기간/예산	<ul style="list-style-type: none"> 연구기간: 10 년 연구예산: 56 억 																		

○ 첨단분석기술/장비를 활용한 해양환경 중 신규 유해화학물질 감식

1. 연구목표																			
<p>최종목표: 첨단 분석 기술/장비를 활용한 해양환경중 신규 유해화학물질 감식 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 비표적스크리닝 분석법 개발 및 자료처리기법 최적화 - 해양환경 신규 유기오염물질의 해양환경 거동 및 생체축적 기작 이해 																			
2. 연구내용 및 범위																			
<p>○ 기술개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 신규화학물질의 사용증가에 따른 해양환경 오염 증가로 다양한 생물영향을 나타내며, 이는 고래류의 영향이나 수산물 오염을 통하여 인간에게 악영향을 초래함 - 해양환경에서 잔류하는 오염물질은 지속적 이용과 인간의 건강에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으나, 해양으로 유입되는 오염물질에 대한 정보는 매우 제한적임 <p>○ 연구내용 및 범위</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>단계별 연구내용 연구기간</th> <th>세부연구내용</th> <th>연구비</th> <th>예상결과물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">비표적스크리닝 분석법 개발 및 자료처리기법 최적화 /4년</td> <td>다매체 해양시료에 대한 전처리 및 기기분석 기법 최적화</td> <td>12억</td> <td rowspan="2">비표적 해양환경 오염물질 감식 기술 확립 및 D/B 구축과 기존/신규 오염물질 거동 파악 가능</td> </tr> <tr> <td>오염물질 자료처리기법 개발 및 기존/신규오염물질 거동 파악</td> <td>12억</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">해양생물 오염물질 인벤토리 구축과 생체축적 기작 규명 및 오염물질 감식 체계 구성/6년</td> <td>생태계 먹이영양단계별 오염물질 인벤토리 구축 및 대사체 추적</td> <td>18억</td> <td rowspan="2">생물먹이 영양단계별 생물축적 기작 이해와 생체 내 대사과정 파악을 통한 해양환경 기존/신규 오염물질 감식 체계 마련</td> </tr> <tr> <td>해양생태계 통합적 오염물질 인벤토리 구축 및 대사체를 포함한 오염물질 감식체계 구성</td> <td>18억</td> </tr> </tbody> </table>				단계별 연구내용 연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물	비표적스크리닝 분석법 개발 및 자료처리기법 최적화 /4년	다매체 해양시료에 대한 전처리 및 기기분석 기법 최적화	12억	비표적 해양환경 오염물질 감식 기술 확립 및 D/B 구축과 기존/신규 오염물질 거동 파악 가능	오염물질 자료처리기법 개발 및 기존/신규오염물질 거동 파악	12억	해양생물 오염물질 인벤토리 구축과 생체축적 기작 규명 및 오염물질 감식 체계 구성/6년	생태계 먹이영양단계별 오염물질 인벤토리 구축 및 대사체 추적	18억	생물먹이 영양단계별 생물축적 기작 이해와 생체 내 대사과정 파악을 통한 해양환경 기존/신규 오염물질 감식 체계 마련	해양생태계 통합적 오염물질 인벤토리 구축 및 대사체를 포함한 오염물질 감식체계 구성	18억
단계별 연구내용 연구기간	세부연구내용	연구비	예상결과물																
비표적스크리닝 분석법 개발 및 자료처리기법 최적화 /4년	다매체 해양시료에 대한 전처리 및 기기분석 기법 최적화	12억	비표적 해양환경 오염물질 감식 기술 확립 및 D/B 구축과 기존/신규 오염물질 거동 파악 가능																
	오염물질 자료처리기법 개발 및 기존/신규오염물질 거동 파악	12억																	
해양생물 오염물질 인벤토리 구축과 생체축적 기작 규명 및 오염물질 감식 체계 구성/6년	생태계 먹이영양단계별 오염물질 인벤토리 구축 및 대사체 추적	18억	생물먹이 영양단계별 생물축적 기작 이해와 생체 내 대사과정 파악을 통한 해양환경 기존/신규 오염물질 감식 체계 마련																
	해양생태계 통합적 오염물질 인벤토리 구축 및 대사체를 포함한 오염물질 감식체계 구성	18억																	
3. 성과목표																			
<ul style="list-style-type: none"> ○ 비표적스크리닝 분석기법을 이용한 해양환경 감식기술 개발을 통한 해양환경 개선 ○ 첨단분석기술을 이용한 해양환경내 신규 유해화학물질 감식기술 확립 																			
4. 특기사항																			
-																			
5. 사업기간/예산		<ul style="list-style-type: none"> • 연구기간: 10 년 • 연구예산: 60 억 																	

4. 연구개발 추진계획 및 투자전략 수립 로드맵

4.1. 연구개발 추진계획

본 기획연구는 해양 미생물 및 동식물의 자원화를 위한 신의약/신소재 개발의 원료 생물로서 대량배양이 용이하며, 다양한 생물군을 이루고 있는데 비해 아직 발굴되지 않은 생물 분류인 미세조류와 원생동물에 대한 연구에 연구개발 초기에 집중적인 투자를 하는 것을 제안한다. 여기서 규명된 생명현상과 신소재, 신의약 생산기술을 바탕으로 해양동식물의 원료물질 발굴 및 형질전환 기술의 적용 등에 이용하고 이후 앞선 기술들의 융합과 지구시스템 내에서의 상호관계에 대한 연구를 진행하도록 한다.

4.1.1. 해양생명 기초연구분야

4.1.2. 해양유래 소재 연구분야

4.1.3. 의약품첨기술분야

4.1.4. 해양생태환경제어 기초원천기술분야

4.2. 투자전략 수립 로드맵 및 예산확보 전략

4.2.1. 투자전략 수립 로드맵

4.2.2. 예산확보 전략

- 세계의 주요 국가들이 경쟁적으로 해양분야의 R&D 투자를 확대하고 있으며, 이를 통해 지속적인 경제 성장과 부가가치 창출에 연구 집중

국가	국내외 해양분야 예산동향
미국	<ul style="list-style-type: none"> - Geosciences R&D예산 3,087백만달러 - 국가과학재단(NSF) 기초 해양과학기술 중점지원
중국	<ul style="list-style-type: none"> - 해양생물자원개발, 중점 구축기술에 포함
일본	<ul style="list-style-type: none"> - 일본해양과학기술연구센터 (JAMSTEC), 해양생명공학연구소 (MBI), 수산종합연구센터 (FRA), 경제산업성 (METI) 등을 중심으로 단기간에 집중적 연구개발 투자와 산학연 협력 활성화로 해양생명공학 국가로 급부상 - 바이오 선도국 부상을 목표로 COE (Center of Excellence) 프로그램을 산학연 공동으로 추진, 해양 신약개발을 활발하게 진행 중, 지난 10년간 해양바이오 세계최고 투자국 - 일본의 해양생명공학 기술개발에 대한 투자는 지난 10년간 연간 약 10억 달러로 세계 최대의 투자국
유럽	<ul style="list-style-type: none"> - 유럽 국가간 공동동대응전략 중 오믹스연구, 대양연구, 생물자원관리 3대전략 중점

본보고서 내 국외 해양분야 기술개발 동향 및 전망

- 우리나라의 해양 바이오연구는 선진국에 비해 최근에 추진되어 (2004년 국토 해양부의 마린 바이오21 사업으로부터), 축적된 성과가 아직 미미한 상황임
- 2016년 우리나라는 총 19조원 규모의 국가 연구개발(R&D) 예산이 집행되었으며, 생명공학기술 분야는 17.3%인 3조 3000억원이 투입되었음. 이 중 해양수산부가 390억원, 과학기술정보통신부가 70억원으로 생명공학 기술분야 연구비 대비 1.4%인 460억원만이 투자되어 해양바이오 분야의 연구투자가 여전히 부족한 수준임. 상대적으로 미국의 경우에는 국가전체 연구예산이 77조 8,800억원, 그중 바이오관련 예산은 61.2%인 47조 7,000억원, 이 중에서 해양수산 연구비는 3.3%인 1조 5,873억원이다.

	미국*	대한민국	비고
국가전체 연구비	77조 8,816억 (기초과학분야)	19조 (국가전체)	우리나라 해양바이오 총 연구비 460억원은 미국의 해양바이오 총 연구비 1조 5,873억 원의 2.9%에 해당
생명공학 총 연구비	47조 7,000억(61.2%)	3조 3,000억(17.3%)	
해양바이오 총연구비	1조 5,873억(3.3%)	460 억(1.4%)	

* SOURCE: National Science Foundation, National Center for Science and Engineering Statistics, Higher Education Research and Development Survey.

** 본 연구 본문내용 참조

○ 과학기술 정보 통신부내 해양분야 연구비

부처	사업명/과제명	연구내용	'16 예산 (백만원)
과학기술 정보 통신부	해양극지원천기술개발사업		7,053
	해양원천기술개발사업	해양생명체 유래의 유용생물자원 발굴 및 해양환경 보전기술 확보 등 해양분야 기초원천기술개발·활용 촉진	4,453
	극지원천기술개발사업	극지 관측거점을 활용한 극지 환경 변화 분석 및 예측 기초·원천기술 개발	2,600

- 국내의 해양바이오 분야의 투자는 해양수산생물에 치우쳐있다. 따라서, 아직 발굴되지 않은 생물 분류인 미세조류와 미생물 포함 해양생물에 대한 연구에 연구개발 초기에 집중적인 투자 필요
- 선진국대비 (우리나라 해양바이오 총 연구비 460억원은 미국의 해양바이오 총 연구비 1조 5,873억 원의 2.9%에 해당) 해양바이오 예산이 부족하여 향후 먹거리 산업인 해양바이오 산업이 크지 못하고 있음.
- 그 이유는 해양관련 사업과 연구개발이 전통 수산과 물류 수송 등에만 집중되

어서 기초연구에 투자가 부족 하여 고부가 가치 창조가 가능한 해양분야 바이오 산업이 크지 못하는 이유임.

- 따라서 기존 예산의 재편보다는 해양바이오분야 기초연구 투자에 대한 신규 예산 을 확보하는 것이 절실함
- 본 기획에서 기획된 기초연구들을 중심으로 해양바이오 기초연구를 활성화하고 거기서 개발된 기술이 해양수산업 및 다른 사업에 연계되어 해양바이오산업이 발전할 수 있는 선순환구조를 만들어야 함.
- 본 연구 내용을 기초로 하여 정부 R&D 투자의 효율성을 위한 해양 분야의 투자 전략 수립 로드맵을 도출하고 예산 확보에 대한 방안을 모색해양함.
- 아래그림에서 보면 4차 국가과학기술 기본 계획 하에 과학기술부의 원천 과학 기술 사업기획 내에 해양극지원천기술 개발사업 만이 지속되고 있음
- 과학기술 정보통신부의 원천기술 사업으로서 본연구보고서의 해양분야 원천기술 연구개발 사업을 시작하여 해양에서 얻을 수 있는 고부가가치 산업을 창출의 시대를 열어야 함

4.2.3 해양분야 기초원천 연구개발 분야의 예산확보 타당성

○ 해양분야 기초원천 연구개발 총론

- 해양생물 기반 원천기술 개발을 위해서는 해양생물자원 신규 발굴과 활용 기술의 개발, 해양생물 대상의 생명현상의 근본적 생리적 기능 규명, 유전자 기능 규명, 또한 이들의 기능의 활용 기술 개발 등이 반듯이 밀받침되어야함.
- 원천기술을 기반으로 하는 해양바이오 산업의 시장규모가 미래 산업에 미치는 성장잠재력이 매우 높을 것으로 예상된 상황에서 해양생물 자원의 활용사업 발전을 위한 관련기술의 개발 및 연구지원은 해양생물자원의 중요성을 인식한 미국, 중국, 유럽 등의 국가를 중심으로 해양바이오산업에 대한 투자가 증가되는 있음.
- 해양 경제는 2030년 총 부가가치가 2010년 대비 2배로 증가하는 등 경제 성장 및 고용 창출에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 예상되는데, 지난 2013년 37억 달러(4조1436억원) 규모였던 세계 해양바이오 산업 시장 규모는 2018년 49억 달러까지 성장할 것으로 예상되고, 2018년 이후 연평균 성장률은 높을 때는 10~12%, 낮을 경우에는 4~5% 정도를 기록할 것이란 전망이 우세함. 또한 이러한 광대하고 미개척의 해양 자원 활용을 통해 미래성장 잠재력이 매우 큰 분야인 해양생명 연구는 해양 생물자원과 생명 공학이 경제적, 사회적 진보에 기여할 수 있는 실용적이고 현실적인 접근법을 제공할 것임.
- 따라서 적극적인 연구 투자를 바탕으로 해양 생물자원의 원천 기초 연구를 통한 활용과 응용 가치 증대 가능성을 확인하고, 이를 바탕으로 해양 생명 연구를 통한 활용에 대한 정부의 적극적인 투자와 연구 성과로 신산업의 창출과 고부가가치의 신규 시장의 선점을 주도할 수 있을 것으로 기대됨.

○ 해양 생명 기초연구분야

- 해양생물 광합성 고효율화 분야 연구 타당성은, 해양미생물에서 광합성 반응의 심도 있는 기작 규명을 통해 광에너지 활용의 극대화 뿐 만 아니라 유기 화합물 혹은 바이오매스, 바이오연료 등의 대량 생산을 위한 고효율 대량배양 기술 개발로의 활용이 가능할 것임. 대량 배양 기술개발을 통해 실용화 사업의 신산업 창출과 같은 성과를 기대할 수 있는 원천기술을 확보할 수 있을 것임.
- 유전체 편집기술이용 해양생물 형질전환 기술 개발은, 해양생명 분야의 기술 특성상 생물학적, 유전학적 빅데이터 처리를 기반으로 해양생명 현상 규명을 통한 해양생물 기반 고기능성 바이오소재, 유용물질, 바이오매스 등을 생산, 활용, 응용할 수 있는 해양생명 분야 유망 원천기술 개발이 요구되며, 이를 통해 국내외적 신성장 산업을 개척하는 파급효과가 기대됨.
- 다양한 유용성을 갖고 있는 해양생물을 대상으로 유전자 편집 기술을 활용한 유

용 형질전환체를 개발하고 이를 산업적으로 활용할 수 있는 기초 연구가 수행되어야 할 것임.계 연구에서는 개발된 유전체 편집기술을 활용해 유용형질전환체 개발과 활용을 목표로 제작된 해양생물을 대상으로 대량 배양 혹은 특정 물질, 유용 산물의 생산을 도출할 수 있는 원천기술 개발과 확보된 원천기술을 바탕으로 신 산업화 기술 확보가 가능함. 이를 통해 고부가 바이오소재 확보가 가능한 해양생물을 확보하고 이를 세포배양 혹은 세포공장 구축을 통한 실용화를 기대할 수 있음.

○ 해양유래소재

- 미세조류유래 지질소재 확보기술 및 미세조류 유용부산물 활용원천기술 개발분야의 기술개발의 필요성은 해양 바이오산업 중 가장 규모가 큰 분야인 미세조류는 바이오에너지는 물론 건강보조식품, 화장품 원료, 의약품 원료, 다양한 고기능 생리활성물질 등의 생산에 이용되는 부가가치 높은 떠오르는 자원이기 때문임. 국외의 경우 미국, 호주, 독일, 일본, 인도 등을 중심으로 고부가가치 식품이나 의약품 생산원료로의 유용물질 확보를 위한 연구 및 생산이 활발히 이루어지고 있음

- 반면 국내 연구의 경우 미세조류 유래 지질의 바이오연료 전환에 연구 및 실증화사업이 편중되어 있고 지질소재 및 유용부산물의 활용은 아직 초보단계이며 제한적으로 이루어지고 있어 기초 원천기술 개발이 필요함.

- 해양생물자원을 활용한 특수단백질의 탐색 및 고부가화 기술을 통하여 해양 유래 산업용 특수단백질 생산 및 개량 원천기술 분야 연구는, 대장균 등의 일반 세균을 이용한 해양 유래 특수단백질의 생합성 기술 개발하고, 단백질공학 기술을 이용한 특수단백질 물성 개량 및 이를 통한 고부가화 기술을 개발함. 이를 통해 해양 유래 산업용 특수단백질 생산 원천기술 확립 함. 이는 해양 분야 신소재 개발의 원천기술이 될 것 임. 해양 생태 환경은 육상과 많이 다르므로 육상에서 얻을 수 없는 특수한 성질의 단백질 생산이 가능하나 현재까지 연구되고 있는 분야는 매우 한정적임 (말미잘 유래 실크단백질, 홍합 유래 접착단백질, 해파리 유래 녹색형광단백질 등). 이러한 단백질은 염을 포함하는 수용액 상태에서 활성을 유지할 수 있다는 특징이 있으므로 생체적합성이 뛰어난 재료로써 활용이 가능하여 수술용 재료뿐만 아니라 화장품, 식품 등에도 응용이 가능함. 이렇게 개발된 해양생물자원 유래 특수단백질의 생합성 기술을 이용한 산업용 특수단백질 생산 원천기술 개발을 통해, 천연단백질을 모사한 단백질 (natural protein-like protein) 생합성 기술을 개발함. 이는 특수단백질의 대량 생산 기술을 개발하고 고부가화 기술을 통한 가격 경쟁력이 있는 해양 유래 특수단백질 대량 생산 및 산업화 응용 원천기술을 확립 할 수 있는 원천기술이 될 것 임.

○ 의약 원천기술개발분야

- 세계 제약시장은 2008년 700조에서 2015년 900조원 시장으로 성장하였으며 2022년에는 1,400조원 규모로 연평균 6% 이상 성장할 것으로 추정됨(IMS Health, 2013). 특히, 전 세계적으로 인구의 고령화 및 웰빙 열풍에 힘입어 합성의약품 보다는 상대적으로 부작용이 적은 천연물에 대한 관심이 점점 고조되어 있어, 풍부한

해양생물로부터 다양한 생리활성물질들을 발굴하여 새로운 의약품으로의 성공적인 제품화를 통한 고부가가치 창출이 새로운 전략 산업으로 주목을 받고 있음.

- 따라서, 해양 생물 기반 의약품 소재를 활용한 보건·의료 융합기술 개발을 통해 인체 부작용을 감소시키고 질병 치료효과를 극대화 하려는 신의약 및 의료 신기술 수요가 지속적으로 증가하고, 전체 제약시장에서 해양바이오메디칼의 비중도 점차 커질 것으로 사료됨.

- 우리나라는 천연물 신약 개발 분야에 우수한 연구기반을 가지고 있으므로, 이러한 연구기반을 바탕으로 의약품 소재로서 해양생물자원의 활용가치에 대한 인식을 높이고 정부의 적극적인 투자, 국내 최첨단 바이오 기술과의 연계 및 이로부터 얻어진 신물질의 특허출원 활성화 등을 통하면 빠른 시일 안에 고부가가치의 해양바이오의약품 시장의 선점이 가능할 것으로 기대됨.

- 특히, 해양생물 기반의 환자친화적 새로운 치료제 및 기능성 소재 발굴에 대한 미래 시장 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예측되며, 적절한 제형 기술의 접목은 발굴된 선도물질의 산업화 성공 가능성을 높이고 글로벌 시장 경쟁력 제고에 크게 기여할 것임.

- 또한, (i) 우수한 약리작용을 지닌 많은 후보물질들이 낮은 생체이용률, 용해도 등의 문제점으로 인해 '연구'단계에서 '개발'단계로 진입하지 못하고 신약 후보물질로서의 가치를 상실하는 경우가 많고 (Nature Reviews Drug Discovery, 2003), (ii) 발굴된 생리활성 물질들이 궁극적으로는 사람에게 투여 가능한 형태로 제조 가능해야 됨을 고려할 때, 신의약 소재 발굴 단계에서부터 생리활성 물질의 부적합한 물성의 최적화 및 생체전달 기술의 개발은 신의약 소재의 성공적인 상용화에 매우 중요함. 특히, 천연물 유래 생리활성 물질들이 전반적으로 난용성이고 생체이용률이 낮기 때문에 천연물질의 가용화를 위한 범용적 플랫폼 기술의 접목과 전달 효율 개선 등을 포함한 신약 후보 물질의 성능 개선에 관한 연구 및 투자가 후보물질 발굴 단계에서부터 절실하게 필요로 됨.

- 이러한 병렬적/통합적 신약개발 전략은 글로벌 다국적 제약회사들이 신약 개발 R&D 성공률을 극대화하고 가속화하기 위해 적극적으로 수용하고 있는 전략으로서, 이러한 국제적인 신약개발전략 변화에 적극적으로 대응할 필요가 있음.

○ 해양생태환경제어 기초원천 기술분야

- 연소미세먼지 저감 기술을 위한 IOT 기반 고부가 소재-수생바이오매스 대량생산 기초원천기술 개발 및 환경개선 모니터링 기술개발을 통해, 석탄*석유화학산업 위기 및 선진국과의 기술격차 극복을 위해 태동기 수생바이오 고부가 소재산업에 대한 정부차원 선제적 지원육성 시급 함. 국내 연소 미세먼지 요인 30%이상 화력발전소의 기여하고 있어, 이로 인한 국민 건강피해를 진단 및 예방 노력 필요 함. 화력발전소 기반 미세먼지 및 온배수 활용을 통해 연애 환경 개선이 될 것 임.

- 해양생태계 구조 및 기능 평가를 위한 첨단 기술 개발은, 해양생태계 보전 및 복원 전략

수립을 위하여 해양생태계 구조와 기능의 특성을 이해하기 위한 평가 기술 개발이 필요함
담수 및 하구역 환경 변화에 따른 수권생태계 구조와 기능 변화를 진단 평가하기 위한 기술 개발이 시급함

- 수권 환경 오염물질의 생물위해성 평가 기술 개발은, 생물위해성 관련 독성 평가 결과는 환경 노출 및 한 단계의 섭식에 대한 영향에 국한되어 수행되고 있음. 따라서 분자수준의 독성 판단기술개발이 필요함.

- 환경변화에 따른 하구 생태계 반응예측 기술개발의 필요성은, 인공 담수호 기원 영양물질 유입에 대한 하구생태계 반응 예측기술 개발이 그 주요목적임. 인공담수호 기원의 영양물질 유입에 대한 저서생태계와 연계한 하구생태계 차원의 반응 연구는 수행된 바가 없음
담수역의 인공 보나 하굿둑의 구조변경, 기후변화 등으로 하구환경 변화가 예상되고 있는 실정에서 이러한 변화에 대한 하구생태계 차원의 반응을 예측할 수 있는 생태계 모델 개발이 요구됨

- 분석 기술/장비를 활용한 해양환경 중 신규 유해화학물질 감식 기술 개발은, 비표적 스크리닝 분석법 개발 및 자료처리기법 최적화, 해양환경 신규 유기오염물질의 해양환경 거동 및 생체축적 기작이해 기술이 필요함. 신규화학물질의 사용증가에 따른 해양환경 오염 증가로 다양한 생물영향을 나타내며, 이는 고래류의 영향이나 수산물 오염을 통하여 인간에게 악영향을 초래함. 해양환경에서 잔류하는 오염물질은 지속적 이용과 인간의 건강에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으나, 해양으로 유입되는 오염물질에 대한 정보는 매우 제한적임. 이를 해결하기 위해 위와 같은 연구들이 필요함.

4.2.4. 연구비 투자 전략

- 현 시대 국내 필요 기술 분석
 - 현재 경쟁력이 뒤진 수송 물류 해양 분야 1차 산업 대신 해양생물 자원화 통한 신 산업시대 도래로 투자가 시급한 해양바이오 분야에 대한 분석 진행
 - 최근 논문, 특허분석 연구개발 포트폴리오 분석을 통해 요소기술 도출

- 국내 해양분야 기술개발동향
 - 국내 해양연구관련 SWOT 분석 결과로 국내 해양분야 기초원천기술 개발투자 10%미만이며, 전체 생명공학 예산의 1.4%에 불과
 - 과학기술정보통신부는 2017년까지 예산 증가액율과 해양극지사업 연구비 증가율이 일치함
 - 해양수산부는 해양바이오 분야 사업비로 전체 R&D 예산의 9%만 투자
 - 해양바이오분야에 대한 지속적인 투자 증액을 통해 기술격차 줄이고 고부가 산업창출에 이바지

- 연구비 도출 전략
 - 해양산업 관련 현시대는 수송 물류 등 해양 분야 1차 산업이 경쟁력을 잃어가는 시점임
 - 과거 교과부 등 20여개 원천기술개발 사업들이 축소됨
 - 현재 연구 사업들도 즉각적인 산업화에 만 집중되어 있음, 기초원천기술 없는 상용화사업으로 성공률 저하
 - 해양생명공학 기초원천분야는 대학 위주로 논문 성과 보유, 기업보다는 대학이 장기간 개발해야함
 - 바이오산업의 주요 대상이 육상 소재 고갈로 해양생물로 빠르게 전환 중
 - 해양기초원천기술은 위의 기대 결과물에서 오는 파급효과가 크므로 과감한 투자가 요구됨

- 본 기획과제에서 투자가 필요한 해양바이오분야와 그에 대한 핵심기술, 기대성과를 아래 표와 같이 제안하는 바임

도출과제 분야	해양분야 원천기술	
	도출과제 내용	기대성과
해양생명기초 연구분야 (247.2억원 /10년)	<ul style="list-style-type: none"> • 광에너지 전환기술 • 융합오믹스 이용 • 유용성분 발굴 유전체 편집기술 • 난배양성 해양생물 배양 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 광에너지전환 기술 개발되면 미세조류로 생산할 수 있는 <u>바이오디젤, 기능성식품군(아스타크잔틴 등)의 세계시장을 확대 석권</u> - 난배양성 해양생물 배양기술 개발하면 개발가치는 있는데 상업화 물량이 부족한 물질을 <u>상업화 및 신약 개발 가능</u>
해양유래 신소재/ 신의약 원천기술개발 분야 (344.6억원 /10년)	<ul style="list-style-type: none"> • 미세조류 유래 소재 • 바이오플라스틱 생합성 및 분해 • 특수단백질 발굴 및 개량 • 해양유래 화합물 이용 신규화합물 • 해양유용물질 생체전달 • 바이오소재 생산 해양세포 배양 	<ul style="list-style-type: none"> - 미세조류유래 소재 및 지방산 활용제품 개발 - <u>생분해성 바이오플라스틱 생산, 특수단백질 발굴 신약개발 가능</u> - <u>해양유래 합성 화합물 발굴로 신약개발가능</u> - 특수단백질 신약화합물의 신체 전달 특허기술 개발로 플랫폼 원천기술 분야 개척
해양생태 환경제어 기초원천 기술분야 (316억원 /10년)	<ul style="list-style-type: none"> • 수생 바이오매스이용 기술 • 해양생태 진단 동위원소 기술 • 분자생체지표이용 환경 스트레스 및 독성 관리 • 인공담수호 유입 영양물질 농도범위확산 해양생물 군집과악 	<ul style="list-style-type: none"> - 해양생태계 구조, 기능 평가 기술 개발 및 해양환경개선 기술 확대 - 환경감시체계에 동위 원소 및 분자수준의 감시기술 개발

5. 기대성과 및 활용방안

5.1. 기대성과

5.1.1. 기술적 기대효과

- 원천기술의 해외특허 출원이 가능하므로 해양·바이오 분야의 세계적인 기술우위 선점이 가능
- 유전체, 전사체, 단백질체, 대사체 등 오믹스 고속 대용량 분석 플랫폼 구축을 통해 연계된 타 분야로의 응용 또는 신 분야의 개척이 가능

5.1.2. 경제·산업적 파급효과

- 고기능성 생리활성물질 및 의약품 개발을 통해 건강향상은 물론 의료비용 절감을 통해 국민 삶의 질 향상
- 3면이 바다로 둘러싸인 풍부한 해양자원에 대한 원천기술 선점 및 고용창출
- 국제 특허 등을 통하여, 기술을 보유하지 못한 국가를 상대로 기술을 이전하는 등 신기술을 이용한 이윤을 창출

5.2. 활용방안

- 해양생명 분야의 원천기술을 개발 하여 해양 생물유래 신소재 및 신의약 소재 개발에 요소 기술로 삼는다. 이 요소 기술들은 다양한 고부가 가치 물질을 해양으로부터 얻어 내는 기술로서 활용됨
- 융상 자원과 차별화된 유용 해양 미생물 확보 및 자원화 관련 생리활성 물질의 발굴과 유용물질 생산공정 확립을 통한 산업화 기반 기술 제공
- 즉, 심해, 수압, 염분, 일사량 등에서 육상 생물과 차별화되는 생물 특성을 연구하여, 육상 자원과 합성 물질의 자원이 고갈되는 이 시대에 서, 해양은 최후로 남겨진 신물질 발굴의 보고이다. 해양생명 원천기술은 그러한 해양 유래 고부가 가치의 후보 생물을 개발하는 요소 기술로서 활용
- 해양신소재 개발 분야는 심해 생물의 특성, 과도한 일사량을 버티내는 생물의 생명력, 해저의 다양한 환경에 적응하는 생물의 특성을 연구하

- 여 다양해 지는 생활환경의 신소재 및 자연환경 보전을 위한 자원으로
로서 건축 생활 가전 등에 신소재를 공급하게 될 것임
- 해양신의약에서는 해양환경에 적응하는 생물 생리 등의 연구를 통해
인체의 혈압이나 혈액관련 질병 등에 신의약 분야를 소개 해 줄 수
있는 유망기술 개발 분야임
 - 해양생태환경제어 분야는 각종 오염원으로 위협 받는 생물자원을 보
호하는 기술 개발을 통해 고갈되고 오염되어 가는 육상 생물의 교혼
을 깨닫고 해양 환경 보호를 통해 식량자원 확보와 수증 환경보호 기
술개발을 통해 지구의 70%에 해당하는 해양환경을 보호하는 기술로
서 개발 활용될 것임
 - 기획 및 선행 연구결과를 통해 도출한 독창적이고, 탁월한 핵심개발기
술을 이용하여 향후 다양한 차세대 혹은 산업계에 필요한 미래 융합
기술 분야에 대한 기술적, 경제적 분석을 통해, 응용연구분야의 도출
과 세계적인 기술 및 시장을 주도할 수 있는 핵심 원천기술 개발에
활용함
 - 국내외 기술동향, 논문/특허 분석, 산업화/시장동향 조사 등 기술분석
을 통해 해양·바이오분야 산업화 유망기초원천기술을 발굴하고 중점
육성 분야의 기반을 마련함
 - 산학연 관련 전문가와 연구토론회 등을 통한 민간 전문가와 함께 해
양관련 원천기술 중 핵심기술/공백기술을 도출하고 해양·바이오 분
야의 중장기적인 기술개발로드맵을 수립하여 지속적인 연구가 가능한
토대를 마련함
 - 타부처 또는 과거 진행된 연구개발과제와의 중복성을 피하고 해양·
바이오 분야의 대형 연구프로그램을 발굴하여 기술적인 우위를 선점
하도록 함

[첨부 1] RFP 요구사항 대비 연구내용 요약

<p>연구목표</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>국내 해양기술의 혁신적 도약, 미래 신성장 동력 창출 및 글로벌 미래시장 개척의 범국가차원 요구에 부응하는 『해양기초원천기술 개발로드맵』 수립</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ○ 과학기술 발전이 가속화되고 기술주기가 짧아져 해양분야 유망기초원천기술 로드맵의 재수립 필요 제기 ○ 『해양산업』은 해양을 이용, 개발 또는 보전, 보호하는 모든 (생산적) 활동을 총칭하며, 국내외 기술동향 및 환경, 국가정책분석을 바탕으로 미래시장 대비를 위한 새로운 패러다임으로 파급효과가 큰 유망기초원천기술개발 발굴 및 전략제시 필요 ○ 수립된 국가 상위계획 추진체계의 전략적 연계성 강화 및 연구과제간 중복성이 근본적으로 해소된 해양관련 기초원천 기술 분야를 우선 고려하고 최근의 수요를 반영하는 연구개발 포트폴리오 수립
<p>해양 세부분야 에 대한 정의</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수권의 개념(Hydrosphere) <ul style="list-style-type: none"> - 수권은 지구시스템 구성요소 중 지구를 덮고 있는 해양, 지표수, 지하수, 빙하 등을 뜻함 - 수권의 변화는 기권, 지권과 상호작용을 통해 기후시스템 및 자연재해에 다양한 영향을 미침 - 수권은 지구시스템 내 생명자원의 생존에 필수요소인 물을 공급하며 생물학적 다양성을 유지시키는 주요한 역할을 수행 <p style="text-align: center; margin-top: 20px;"><수권과 생물권의 상호작용에 따른 세부분류></p>

	<p>○ 수권의 구성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양은 수권의 대부분(97%)을 구성하고 있으며, 여분의 열과 이산화탄소를 흡수하여 지구시스템 안정화에 기여 <ul style="list-style-type: none"> ※해수온도 상승은 빙하를 녹여 해수면 상승은 물론 염분농도를 저하시켜 열염분순환이 방해받거나 방향이 바뀌어 기상이변 발생 ※빙하는 가장 많은 담수를 고체상태로 저장하고 있으며, 수권-극권의 상호작용을 통해 기후변화에 영향을 미침 - 지표수는 지면에 흐르는 하천(강), 저수지, 호수 등에 있는 물을 말하며, 유량변동이 계절별로 크고 오염에 취약함 <ul style="list-style-type: none"> ※여름철 녹조현상은 용존산소의 공급을 차단시키고 독소를 내뿜어 하천 생태계를 파괴시키는 것은 물론 상수원에 영향을 주어 국민 삶의 질을 저하시킴 - 지하수는 지표면 밑으로 흐르는 물을 뜻하며, 육상에 있는 수권(민물)의 20% 정도를 차지하는 육상생태계에 필수적인 청정 수자원임 <ul style="list-style-type: none"> ※지하수는 water cycle에서 저수지로 표현되며, 가뭄기간동안 지표수의 부족을 보충하는 역할을 수행
--	---

국내외 해양 R&D 동향	○ 국외 해양 R&D 기술개발 동향	
	국가	동향
	미국	<ul style="list-style-type: none"> - 2010년 지속가능한 해양이용을 위한 국가해양정책 수립: 해양경제(해양에너지, 해양바이오자원), 연안 및 해양복원(기후변화대응) - 해양생명자원의 Omics 분석을 통한 신소재, 에너지 등 신성장분야 연구 확대 - 전세계 해양 미생물의 환경 유전체 분석 프로젝트 진행
	중국	<ul style="list-style-type: none"> - 2015년 중국은 전국해양경제조사를 통해 해양경제 발전가속화 기반 마련 - 2016년 초 11개 중점 연구분야 중 해양자원 개발이용, 해양생태와 환경보호, 대형 해양 공정기술과 장비가 우선과제로 선정 - 중점 연구개발 분야로 8개 최첨단 선도영역 개발 추진 우선과제로 해양기술이 선정
	일본	<ul style="list-style-type: none"> - 해양생태계 변화, 해양환경 보전 및 복원기술, 해양생명공학 기술 등에 관한 연구개발과 해저지진, 태풍, 해양재해 저감기술등이 연구개발 - COE (Center of Excellence) 프로그램을 추진하며 해양 신약개발을 활발하게 진행 중 - 일본의 해양생명공학 기술개발에 대한 투자는 지난 10년간 연간 약 10억 달러로 세계 최대의 투자국
유럽	<ul style="list-style-type: none"> - 영국은 Bioscience 2015 장기발전계획에 맞추어 강력한 지원을 통해 해양바이오 분야 육성 - 독일은 BioIndustry 2021을 추진함으로써 산.학.연 협력을 통해 해양생명공학 분야의 산업기반을 확대 - 프랑스는 해양연구소(IFREMER)의 주도로 심해 생태계 조사 및 심해열수 조사, 해양미생물 유래 유용물질 발효생산 연구 	

○ 국내 해양 R&D 기술개발 동향

- 우리나라의 해양 바이오연구는 선진국에 비해 최근에 추진되어 (2004년 해양수산부의 마린 바이오21 사업이 시초), 축적된 성과가 미미한 상황
- 범부처 차원의 「해양바이오 연구개발 활성화 대책」 ('09.7) 에 근거, 국토부, 농림부, 지경부, 환경부 등과 해양바이오 연구를 공동 추진키로 하고, 과학기술정보통신부는 해양생명 기능연구 등 3개 분야를 대상으로 '10년부터 사업 착수 (20억 원)
- ※ 「해양·극지 기초원천기술개발사업」 은 '해양생명기능연구 / 해양바이오 신소재연구 / 해양바이오 신의약소재 연구'의 3개 연구분야로 구분
- 해양수산부의 기초연구에 투자는 산업화 연계 강화 전략에 따라 2014년 대비 43.1%로 기초연구비가 급감
- 따라서, 해양수산 R&D 중장기계획 수립 시 관련 기초연구 분야 기획은 과기부가 전담하는 것으로 부처간 협의

<해양수산부 주요 사업의 R&D 투자 특징>

<과학기술정보통신부의 R&D 예산 총액 및
해양극지기초원천사업 투자금 증감>

이슈 및

<p>시사점 도출</p>	<p>○ 국내외 동향 이슈</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양수산부의 경우 9개 분야에 20개의 R&D 사업을 진행 중에 있으나, 해양자원 분야에 연구비 기준 27% 이상, 연구과제 기준 50% 이상의 편중된 사업을 진행 중에 있으며, 해양생명, 해양신소재, 해양신의약 등 해양바이오 관련 기초연구와 해양환경, 해양안전 등의 분야에 대한 연구지원이 미흡한 실정임 - 과학기술정보통신부는 해양 R&D 사업 현황은 생명기능 및 신소재, 신의약 등 해양과학기술 기술분류체계 중에서 해양생명공학 기초원천기술 개발에 집중 - 과학기술정보통신부는 다양한 분야의 연구진이 참여가 가능하도록 과제에 대한 프로그램 개발로 참여기관을 다양화하고 학제간 융합을 유도하도록 함 - 특히, 과학기술정보통신부는 기술수준 및 격차, 연구비 투자 비율이 낮은 해양생명, 해양신소재, 해양신의약, 해양환경, 해사안전 분야에 대해 적극적인 연구 사업 진행 하여 균형적인 기초원천 기술의 발전과 국가 신성장 동력원 확보를 통해 국가 비전을 제시함
<p>해양생명/신소재/신의약 분야 연구개발 투자 확대 방안</p>	<p>○ 해양생명/신소재/신의약 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내외적으로 해양 분야 중 기술수준과 격차가 보이는 분야에 대해 정부의 R&D 투자가 중복되지 않도록 해양수산부, 산업자원부 등의 산업화 연계강화 전략과 맞물리지 않는 과기부의 기초연구 및 공공성이 높은 기술에 대한 투자 확대를 제안함 - 해양바이오 분야는 해양산성화, 지구온난화, 녹조/적조 등을 용이하게 해결하면서 유용물질을 생산할 수 있는 높은 잠재력을 가지고 있으면서 집중투자시 단기간에 세계수준으로 도달 가능 - 국내외 해양분야 기술개발 동향 및 정책 분석을 기반으로 지속가능한 미래사회에 대한 대비를 위한 해양생명, 해양신소재, 해양신의약 분야의 유망기초원천기술을 발굴하고 추진전략을 제시할 필요가 있음 <p>○ 전문가 의견수렴 및 특허/논문맵을 통한 유망기초원천기술 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양생명, 해양신소재, 해양신의약분야의 전문가 brain storming을 통한 연구키워드 도출 후 논문맵, 특허맵, 설문조사를 통해 각 분야의 유망기초원천기술을 도출함 - 해양생명/해양신소재/해양신의약/해양생태환경분야별 논문조사 및 특허조사를 위한 검색키워드 수정 후 각 분야별로 논문은 4,927건, 10,779건, 2,995건, 3,012건으로 총 21,713건 논문을 확보, 특허는 1,978건, 1364건, 1,287건, 및 1286건으로 총 5,915건 특허를 확보 - 확보된 특허 5,915건에서 중복키워드 및 분야별 연구참여자의 노이즈 제거를 통해 유효특허 2,785건에 대한 특허맵 도출 - 도출된 특허맵으로부터 주요공백기술을 탐색한 후 전문가 설문조사를 통해 전략적 중요성, 경제적 파급효과, 기술달성 가능성에 대한 요소기술 선정

○ 해양생명 분야 유망기초원천기술 분야

- 해양생물 자원, 공정, 신소재 가공 등의 해양 생명 분야는 해양 극지 연구 분야 중에서 연구 투자 비율이 최근 3년간 4% 수준에 머물고 있어 장기적이고 안정적인 연구 개발 계획이 필요
- 2014년 수립된 ‘차세대 해양생명공학 육성전략’사업은 경제적 가치 창출과 세계 해양바이오 시장 점유율 향상, 원천기술 확보를 위한 5개 전략과 4대 중점 R&D 분야를 기반으로 2023년까지 추진할 목표로 제시하여 수행중임. 이에 경제적 가치 창출 생산 유발 1조 천억 원 이상, 1만 명이상 취업 유발 분야로 예상
- 적극적인 연구 투자를 바탕으로 해양 생물자원의 원천 기초 연구를 통한 활용과 응용 가치 증대 가능성을 확인하고, 이를 바탕으로 해양 생명 연구를 통한 활용에 대한 정부의 적극적인 투자와 연구 성과로 신산업의 창출과 고부가가치의 신규 시장의 선점을 주도할 수 있을 것으로 기대

연구과제	해양생명 기초원천기술개발 핵심기술
해양생물 광합성 광에너지 전환기작 및 해양생물 광합성 고효율화	<ul style="list-style-type: none"> • 해양생물의 광에너지 전환 메커니즘 규명 • 해양미세조류의 광에너지 전환 제어 기작 규명 및 그 활용 기술 개발 • 해양미세조류의 환경변화에 적응하는 광합성 기작 연구와 활용 원천 기술 개발
융합오믹스 및 합성생물학 기반 해양생물유래 고기능 생리활성물질 발굴 및 개량 기초원천기술	<ul style="list-style-type: none"> • 융합 오믹스 기반 해양생물 유래 고기능 생리활성 물질 발굴 • 합성생물학기반 생리활성물질 대량 생산 및 개량 원천기술 확립
유전체 편집기술 이용 해양생물 형질전환 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해양생물 대상 유전체 편집기술의 적용 기술 개발 • 적용된 유전체 편집기술의 기술을 활용한 유용 형질전환체 개발과 활용
난배양성 해양생물 배양기술 개발 통한 해양생물 대량 확보 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 고부가가치 물질 함유 난배양성 해양생물 발굴 및 성장저해요인 규명 • 물리적 화학적 생육 환경 변화에 따른 난배양성 해양생물 배양조건 최적화 및 고농도 배양기술 개발

○ 해양신소재 분야 유망기초원천기술 분야

- 해양 산업용 신소재 발굴 및 상용화 분야의 우수한 연구기반을 바탕으로 필요한 기초 원천기술 연구에 정부의 적극적인 투자, 국내 최첨단 바이오 기술과의 연계 및 신소재의 특허출원 활성화 등을 통하면 빠른 시일 안에 고부가가치의 해양바이오 신소재 시장의 선점이 가능
- 국내에 축적된 해양 생명체 유래 특수 단백질 (예로 홍합접착 단백질, 해양 말미잘 실크 단백질 등)의 탐색 및 생산/고부가화 기술을 활용한다면 향후 산업용 특수단백질 개발 분야에서 국제경쟁력 확보 가능

연구과제	해양신소재 기초원천기술개발 핵심기술
미세조류 유래 지질소재 확보기술 및 미세조류 유용부산물 활용기술	<ul style="list-style-type: none"> • 해양미세조류 유래 지질소재 확보를 위한 생산 원천기술 개발 • 미세조류 유용부산물 활용을 위한 생산 원천기술 개발
난분해성 해양플라스틱 생분해 및 고부가가치 화합물 전환 기초 원천기술	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 플라스틱 생분해를 위한 융합오믹스 데이터베이스 개발 • <i>in silico</i> 모델과 합성생물공학을 통해 해양폐기물을 소재로 한 고부가가치 화합물 전환 기초 원천 기술 개발
바이오플라스틱 고분자 단량체 생합성을 위한 원천 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해양미세조류 지질을 비롯한 해양바이오매스로부터 바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 기술 개발을 위한 원천 기술 개발 • 바이오플라스틱/고분자 단량체 생합성 용 신규 경로 및 고성능 효소/전세포 촉매 개발
특수단백질의 생합성 기술 개발 및 개량원천기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 대장균 등의 일반 세균을 이용한 해양 유래 특수단백질의 생합성 기술 개발 • 단백질공학 기술을 이용한 특수단백질 물성 개량 및 이를 통한 고부가화 기술 개발 • 해양 유래 산업용 특수단백질 생산 원천기술 확립
특수단백질의 생합성 기술 개발 및 응용원천기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 천연단백질을 모사한 단백질 (natural protein-like protein) 생합성 기술을 통한 특수단백질의 대량 생산 기술 확립 • 고부가화 기술을 통한 가격 경쟁력이 있는 해양 유래 특수단백질 대량 생산 및 산업화 응용 원천기술 확립

○ 해양신의학 분야 유망기초원천기술 분야

- 최근 세계적으로 해양 생물 탐색 기술, 새로운 작용기작을 갖는 신규 화합물 발견, 이와 함께 유용 해양 미생물 분리 및 배양 기술 발전을 기반으로 한 의약품과 기능성 소재 개발에 해양 생물을 활용하는 연구가 활발하게 진행
- 해외 자원의 적극적인 활용과 지역적 특이성을 갖는 해양 미생물 탐색 및 배양을 기초로 국내에서도 생리활성이 우수한 선도 물질을 발굴할 잠재력 가능성이 충분히 높음

핵심기술	해양생명 기초원천기술개발
해양생물 기원화합물 라이브러리 구축 및 신규화합물 발굴 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 해양생물유래 분리된 화합물과 생리활성 화합물 생산 해양미생물 균주 라이브러리 구축 • 육상천연물과 차별되는 신규 골격 화합물 발굴 기술 및 미량 성분 구조 분석 기술 개발
해양생물 생리활성 선도물질 개량 및 생체전달 최적화 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 선도물질의 성능 개선과 생체 전달 최적화 기술 확립을 통한 해양 신의약 소재의 실용화 기반 확보
해양미생물 빅데이터 이용 가상세포구축 기술 및 고부가 바이오소재 생산 세포공장 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 해양미생물 바이오 빅데이터 활용/가상세포 구축 • 단백질 구조 분석 및 세포 이미징 등 바이오 융합기술을 이용한 해양자원 전환 메커니즘 규명 • 고부가 바이오소재(코스메슈티컬 등) 확보 세포 공장구축을 위한 원천 기술 개발

해양환경,
해양안전
분야
연구개발
투자
방안

○ 해양 환경 제어 기술의 중요성

- 중국지역에서의 해양폐기물 발생이 많아 서해안지역의 해양 환경은 점차 나빠지고 있는 것으로 조사됨에 따라, 해양환경 개선을 위한 연구 및 기술 개발 필요
- 국외 연구 동향과 해양수산부 해양환경종합관리 정책 그리고 전문가 설문 조사 결과를 참고하여 해양환경생태분야에서 최근 사회 경제적 이슈가 되고 있으나 국내에서 연구 개발이 뒤쳐져 있는 핵심 기술 분야에 대한 과제 도출을 시도
- 특히 통합적 관점의 지구시스템 연구 관점에서 해양을 포함한 수권 환경 생태 분야의 시급한 문제들(해양 산성화, 녹조/적조 발생 등)에 대한 다양한 해결 방안을 제안하기 위해 수권 환경생태시스템의 기초적인 메커니즘 규명에 관한 연구 필요

핵심기술	해양생명 기초원천기술개발
연소미세먼지 저감기술을 통한 고부가 해양유래 바이오소재 확보 기초원천기술	<ul style="list-style-type: none"> 연소미세먼지 저감기술을 위한 IOT 기반 고부가 소재-수생바이오매스 대량생산 기초원천기술 개발 및 환경개선 모니터링
해양생태계구조 및 기능 평가 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 해양생태진단 동위원소 기술 개발 해양생태진단 동위원소 활용 기술 고도화 수권생태계 구조 및 기능 평가 정확도 향상
해양생물생리 및 생태계 변화과약을 위한 분자 생태학적 진단기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 해양생물 생리 및 생태 진단을 위한 분자수준 기술 개발 분자생태학적 진단 기술 현장 적용
수권환경 오염물질의 생물위해성 평가기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 분자생체지표 스크리닝 기술 개발 분자독성기작 평가 기법 개발
환경변화에 따른 하구 생태계 반응예측 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 환경변화에 따른 하구생태계 반응 진단 기술 개발 인공 담수호 기원 영양물질 유입에 대한 연안 및 하구생태계 변화 예측 기술 개발

○ 해양 재해 대응 기술의 중요성 및 연구 기획에 대한 제언

- 해양안전정보시스템 등을 이용한 범국가적 해양재난안전 관리 체제를 마련하여 해양 안전 분야의 업무 효율성을 제고하고자 국가적인 노력이 지속되고 있지만, 아직까지는 해양 선진국의 현황에 비해 낮은 수준으로 향후 지속적인 투자를 통해 경쟁력을 향상이 요구됨
- 해양안전 분야 투자방안은 현재 수행하는 기획과제와 성격도 많이 다르고 투자의 범위가 광대하므로, 별도의 기획사업을 통해 새로운 전문가 집단을 확보하여 도출하는 것이 바람직할 것으로 사료됨 (중간보고서에서도 위와 같이 제안하였음)

<p>해양관련 정책 수립 시 미래부 역할 강화 방안</p>	<p>○ 해양분야 투자전략 수립 로드맵</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양 미생물 및 동식물의 자원화를 위한 신의약/신소재 개발의 원료생물로서 대량배양이 용이하며, 다양한 생물군을 이루고 있는데 비해 아직 발굴되지 않은 생물 분류인 미세조류와 원생동물에 대한 연구에 연구개발 초기에 집중적인 투자를 하는 것을 제안 - 여기서 규명된 생명현상과 신소재, 신의약 생산기술을 바탕으로 해양동식물의 원료물질 발굴 및 형질전환 기술의 적용 등에 이용하고 앞선 기술들의 융합과 지구시스템 내에서의 상호관계에 대한 중장기적인 연구를 진행
----------------------------------	--

<해양생명자원 기준 중장기 투자전략 로드맵>

- 기획 및 선행 연구결과를 통해 도출한 독창적이고, 탁월한 핵심개발기술을 이용하여 중장기적으로 다양한 차세대 혹은 산업계에 필요한 미래 융합 기술 분야에 대한 기술적, 경제적 분석을 통해, 응용연구분야의 도출과 세계적인 기술 및 시장을 주도할 수 있는 핵심 원천기술 개발에 활용

<핵심기술 기준 투자전략 로드맵>

○ 예산확보를 위한 과기부 역할 강화 방안

- 세계의 주요 국가들이 경쟁적으로 해양분야의 R&D 투자를 확대하고 있으며, 이를 통해 지속적인 경제 성장과 부가가치 창출에 연구 집중
- 우리나라의 해양 바이오연구는 선진국에 비해 최근에 추진되어 (2004년 해양수산부의 마린 바이오21 사업이 시초), 축적된 성과가 아직 미미한 상황

- 2016년 생명공학 기술분야 연구비 대비 1.4%인 460억원만이 투자되어 해양바이오 분야의 연구투자가 여전히 부족한 수준임
- 해양수산부에서 투자를 진행 중인 과제는 주로 해양수산물 연구로, 과기부에서 아직 발굴되지 않은 생물 분류인 미세조류와 원생동물에 대한 연구에 연구개발 초기에 집중적인 투자 필요
- 본 연구 내용을 기초로 하여 정부 R&D 투자의 효율성을 위한 해양 분야의 투자전략 수립 로드맵을 도출하고 예산 확보에 대한 방안을 모색
- 본 기획과제에서 투자가 필요한 해양바이오분야와 그에 대한 핵심기술, 기대성과를 아래 표와 같이 제안하는 바임

도출과제 분야	해양분야 원천기술	
	도출과제 내용	기대성과
해양생명 기초 연구분야 (247.2억 원 /10년)	<ul style="list-style-type: none"> • 광에너지 전환기술 • 융합오믹스 이용 • 유용성분 발굴 유전체 편집기술 • 난배양성 해양생물 배양기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 광에너지전환 기술 개발되면 미세조류로 생산할 수 있는 바이오디젤, 기능성 식품군(아스타크잔틴 등)의 세계시장을 확대 석권 - 난배양성 해양생물 배양기술 개발하면 개발가치는 있는데 상업화 물량이 부족한 물질을 상업화 및 신약 개발 가능
해양유래 신소재/ 신의약 원천기술 개발분야 (344.6억 원 /10년)	<ul style="list-style-type: none"> • 미세조류 유래 소재 • 바이오플라스틱 생합성 및 분해 • 특수단백질 발굴 및 개량 • 해양유래 화합물 이용 신규화합물 • 해양유용물질 생체전달 • 바이오소재 생산 해양세포 배양 	<ul style="list-style-type: none"> - 미세조류유래 소재 및 지방산 활용제품 개발 - 생분해성 바이오플라스틱 생산, 특수단백질 발굴 신약 개발 가능 - 해양유래 합성 화합물 발굴로 신약개발가능 - 특수단백질 신약화합물의 신체 전달 특허기술 개발로 플랫폼 원천기술 분야 개척
해양생태 환경제어 기초원천 기술분야 (316억원 /10년)	<ul style="list-style-type: none"> • 수생 바이오매스이용 기술 • 해양생태 진단 동위원소기술 • 분자생체지표이용 환경스트레스 및 독성관리 • 인공담수호 유입 영양물질 농도범위확산 해양생물 군집과악 	<ul style="list-style-type: none"> - 해양생태계 구조, 기능 평가 기술 개발 및 해양환경개선 기술 확대 - 환경감시체계에 동위 원소 및 분자수준의 감시기술 개발

- 해양 경제는 2030년 총 부가가치가 2010년 대비 2배로 증가하는 등 경제 성장 및 고용 창출에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 예상
- 해양 생명 연구를 통한 활용에 대한 정부의 적극적인 투자와 연구 성과로 신산업의 창출과 고부가가치의 신규 시장의 선점을 주도할 수 있을 것으로 기대됨

[첨부 2] 수정·보완 요구사항 반영내역

- 과제명 : 해양분야 기초원천 연구개발 및 투자전략 수립 연구
- 주관연구기관(책임자) : 인하대학교(이철균)

전문기관의 수정·보완요구사항	수정·보완요구사항 반영내용 요약	적용 페이지
<ul style="list-style-type: none"> - 전반적으로 도출되어진 각각의 분야별로 해양생명분야, 해양신소재개발, 해양신의약, 해양생태환경제어 및 에너지 분야 및 과제별로 연계한 추진체계 및 방법은 완성도가 높은 것으로 사료됨. 그러나 모든 분야의 총괄 추진체계 및 방법에 대한 기술이 필요한 것으로 사료됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 2장 연구목표를 연구목표 및 내용으로 수정하고, 해양분야에 대한 기획연구의 범위 및 총괄 추진체계, 추진전략 등에 대한 내용을 추가하여 기획과제의 전체적인 분야를 총괄하여 기획연구추진 내용을 수정보완하였음 	p.42~46
<ul style="list-style-type: none"> - 도출된 신규분야 RFP에 대한 구체적인 예산 확보 전략이 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> - 수정보완 요청에 따라 4장 기술개발로드맵 제안과 함께 예산확보전략을 추가하여 내용을 보완하였음 	p.204~209
<ul style="list-style-type: none"> - 도출된 신규분야의 일괄적인 예산 배분에 대한 수정이 필요한 것으로 사료됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 분야별 기술의 중요도에 따라 전문가 분석을 통해 가중치를 추가하여 예산에 중요도가 반영되도록 수정하였음 	p.186~203
<ul style="list-style-type: none"> - 목표를 달성하기 위한 재료 생물로써 지금까지 발굴이 많이 이루어진 해양 거대 동식물이 아닌 미세조류 또는 원생생물 등의 자원에 초점을 맞춘 서술이 좀 더 필요한 것으로 사료됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 해양 동식물과 미생물을 전부 다루는 것 보다는 해양산성화, 지구온난화, 녹조/적조 등을 용이하게 해결하면서 유용물질을 생산할 수 있는 미세조류와 원생동물 연구에 우선적으로 집중하고 중장기적으로 해양 동식물 및 기존연구를 융합할 수 있는 전지구적인 접근하는 것으로 수정보완하였음 	p.204
<ul style="list-style-type: none"> - 목차 구성의 적절성, 쪽 번호 매기기, 오타 확인 등 기본적인 보고서의 요건 충족 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 목차 수정 및 쪽번호 매기기 추가, 오타 확인/수정 작업을 통해 신중하게 보완하였음 	보고서 전체 수정
<ul style="list-style-type: none"> - RFP 요구사항과 그에 대응하는 기획결과를 표로 정리하여 첨부 및 요약본으로 제출할 것 	<ul style="list-style-type: none"> - RFP 요구사항과 대응하는 기획결과를 요약하여 표로 보고서 및 본 첨부파일에 추가하였음 - 해양 세부분야에 대해 '1.2.3.수권(해양) 세부분야의 분류 및 정의'를 통해 	p.234~243 p.17~

전문기관의 수정·보완요구사항	수정·보완요구사항 반영내용 요약	적용 페이지
	<p>서술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 해양 R&D 조사분석에 대해 '1.3~1.6'을 통해 시사점을 도출함 - 과기부 주도 연구개발 확대방안에 대해 3장 연구의 내용 및 범위를 통해 공백기술을 도출하고 투자확대 방안에 대해 기술함 - 해양환경, 해양안전 분야 투자방안은 현재 수행하는 기획과제와 성격도 많이 다르고 투자의 범위가 광대하므로, 별도의 기획사업을 통해 새로운 전문가 집단을 확보하여 도출하는 것이 바람직할 것으로 사료됨 (중간보고서에서도 위와 같이 제안하였음) - 과기부 역할 강화에 대해서 '4.2 기술개발로드맵 제안 및 예산확보 전략'을 통해 해양분야의 과기부 투자전략에 대해 제언하였음 	<p>18 p.19~ 41</p> <p>p.47~ 203</p> <p>p.41</p> <p>p.209~ 218</p>