

발 간 등 록 번 호
79-6500000-000651-01



지역 간 연계협력형 제주 해양바이오 생산기지 및 소재개발 연구

최 종 보 고 서

2020. 12.

[제 출 문]

제주특별자치도지사 귀하

본 제주대학교에서는 귀 기관에서 의뢰한 「지역 간 연계
협력형 제주 해양바이오 생산기지 및 소재개발 연구」 용역
최종 보고서를 제출합니다.

2020년 12월 24일



< 목 차 >

제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	1
제2절 연구내용 및 방법	3
제3절 예상 사업 및 기대효과	6
 제2장 해양바이오 산업 현황	7
제1절 해양바이오 산업 개요	7
제2절 해양바이오 시장 동향	13
제3절 해양바이오 기술 동향	19
제4절 국내외 해양바이오 정책 동향	25
제5절 해양바이오 신소재산업	34
 제3장 제주-서해안벨트 여건 및 환경	46
제1절 제주-서해안벨트 해양바이오 현황	46
제2절 지역정책 및 관련 사업 검토	51
제3절 제주-서해안벨트 해양바이오 SWOT 분석	64
 제4장 제주지역 해조류 소재화 여건	72
제1절 제주 해조류 현황	72
제2절 제주 대발생 파래(Ulva) 활용 산업화	76

제3절 감태의 생태 특성 및 활용 현황	88
제4절 우뚝가사리 생태 특성 및 활용 현황	97
제5절 시사점	108
제5장 해조류(Red Gold) 사업 현황	110
제1절 국내·외 현황	110
제2절 추진 전략	121
제3절 시사점 및 기대효과	123
제6장 제주-서해안벨트 초광역협력사업	126
제1절 초광역협력사업 구상	126
제2절 제주-서해안벨트 해조류 고부가가치화 사업	130
제3절 국비확보 방안 및 정책 제언	155
<참고문헌>	166

< 표 목 차 >

<표 2-1> 해양바이오 산업의 정의	8
<표 2-2> 해양수산물과학기술 분류체계에 따른 해양바이오의 범위	10
<표 2-3> 해양바이오 산업의 분류	11
<표 2-4> 해양바이오 산업 고부가가치화 사례	12
<표 2-5> 세계 해양바이오 지역별 시장 규모	14
<표 2-6> 한국 해양바이오 시장 규모 전망치	14
<표 2-7> 한국 해양바이오 산업 현황(2016년)	15
<표 2-8> 해양바이오 주요기업	16
<표 2-9> 국내 해양바이오 유망 스타트업 기업	18
<표 2-10> 유럽 해양위원회에서 제시한 해양바이오소재 정책 과제	26
<표 2-11> 중국 해양바이오제약 클러스터 추진 주요 내용	28
<표 2-12> 국내 해양바이오 정책 추진경과	29
<표 2-13> 해양생명공학 핵심 기술분야	31
<표 2-14> 해양생명공학기술개발사업 투자계획 및 현황	31
<표 2-15> 해양바이오 신소재산업의 연관구조	36
<표 2-16> 해조류의 구분	37
<표 2-17> 해조류 이용분야	38
<표 2-18> 해조류 관련 산업의 분류	39
<표 3-1> 국내 해양바이오 기업 지역별 분포 현황(2016년)	46
<표 3-2> 우뚝가사리 생산금액	48
<표 3-3> 우뚝가사리 생산량	50
<표 3-4> 제주특별자치도 바이오산업진흥계획의 6대 분야와 중점사업	55
<표 3-5> 제주특별자치도 해조류 관련사업	57
<표 3-6> STEEP 분석을 통한 미래트렌드 전망	65
<표 3-7> TOWS 매트릭스를 이용한 전략 도출	67
<표 3-8> 제주-서해안 벨트 해양바이오 산업 SWOT	71
<표 4-1> 제주 해조류 현황	73
<표 4-2> 파래와 고등어의 영양성분 비교	79
<표 4-3> 파래의 효능	80
<표 4-4> 파래의 활용 사례	82

〈표 4-5〉 시중 판매 숯과 해조류 유래 숯의 비교	85
〈표 4-6〉 감태 추출물 및 성분 연구	91
〈표 4-7〉 감태 활용 관련 특허	92
〈표 4-8〉 제주산과 모로코산 우뭇가사리 성분 비교 분석	99
〈표 4-9〉 제주산과 모로코산 한천 품질 비교 분석	100
〈표 4-10〉 일본 무역 통계: 우뭇가사리 수입 실적	101
〈표 4-11〉 지역별 우뭇가사리 한천 수율 비교	101
〈표 4-12〉 우뭇가사리 생리활성	102
〈표 4-13〉 우뭇가사리 산업 활용 가능 분야	103
〈표 4-14〉 우뭇가사리 이용 가능 분야	105
 〈표 5-1〉 우뭇가사리 배양액 조성표	 114
〈표 6-1〉 분석수준 및 분석범위에 따른 기대효과: 파래 기반 산업화	138
〈표 6-2〉 파래 활용 제품화 및 산업화 사업 연계협력 방안	139
〈표 6-3〉 파래 기반 산업화 후 역량 개발 전망	140
〈표 6-4〉 연도별 투자계획(파래 활용 제품화 및 산업화 사업)	140
〈표 6-5〉 분석수준 및 분석범위에 따른 기대효과: 감태 기반 산업화	145
〈표 6-6〉 감태 활용 기능성 제품개발 사업 연계협력 방안	146
〈표 6-7〉 감태 기반 산업화 후 역량 개발 전망	147
〈표 6-8〉 연도별 투자계획(감태 활용 기능성 제품개발 사업)	147
〈표 6-9〉 분석수준 및 분석범위에 따른 기대효과: 우뭇가사리 기반 산업화	152
〈표 6-10〉 우뭇가사리 활용 고부가가치 소재개발 사업 연계협력 방안	153
〈표 6-11〉 우뭇가사리 기반 산업화 후 역량개발 전망	154
〈표 6-12〉 연도별 투자계획(우뭇가사리 활용 고부가가치 소재개발 사업)	154
〈표 6-13〉 육상양식 對 해상양식 비교	161

< 그림 목 차 >

<그림 1-1> 연구추진 체계도	5
<그림 2-1> 해양바이오 기술과 산업	8
<그림 2-2> 해양바이오 관련 산업	12
<그림 2-3> 세계해양바이오 시장 규모 추정치	13
<그림 2-4> Cyanotech社 해조류 양식시설 및 제품	17
<그림 2-5> AQUAPHARM社 시설 및 제품	18
<그림 2-6> 해양바이오 소재 기반 화장품 및 의약품의 기능	21
<그림 2-7> 해양수산 신산업 전략의 비전과 목표	33
<그림 2-8> 해조류 분포도	38
<그림 2-9> 바이오파이너리와 오일리파이너리 비교	39
<그림 2-10> 바이오파이너리의 분류	42
<그림 2-11> 해조류를 이용한 바이오소재 및 바이오에너지 공정 과정	43
<그림 2-12> 해조류 바이오매스 유용성분 및 에너지 회수 통합공정 개요도	44
<그림 2-13> 아가로스로부터 새로운 플랫폼 화합물을 생산할 수 있는 통합적 공정 과정	45
<그림 3-1> 연도별 우뚝가사리 생산금액	47
<그림 3-2> 연도별 우뚝가사리 비중(생산금액 기준)	48
<그림 3-3> 연도별 우뚝가사리 생산량	49
<그림 3-4> 연도별 우뚝가사리 비중(생산량 기준)	50
<그림 3-5> 국내 한천 생산량	50
<그림 3-6> 제주 해양수산 당면과제와 정책방향	53
<그림 3-7> 전라남도 바이오클러스터	60
<그림 3-8> 미래트렌드와 해양산업 연관성	66
<그림 4-1> 국내 파래 대발생 지역	76
<그림 4-2> 파래 효능	81
<그림 4-3> 파래 활용사례	83
<그림 4-4> 파래 활용 숲	85
<그림 4-5> 세계 신재생에너지 시장 현황	88
<그림 4-6> 감태(Ecklonia cava)의 주요 폴리페놀 성분	90
<그림 4-7> 해조 자원 감태 활용 분야	95
<그림 4-8> 아가로스(agarose) 화학 구조	99
<그림 4-9> 우뚝가사리 기반 연관 산업 분야	106

〈그림 5-1〉 국가별 우뭇가사리 및 한천 수확량	112
〈그림 5-2〉 전 세계 우뭇가사리 생산량	113
〈그림 5-3〉 우뭇가사리 육상양식 사례	114
〈그림 5-4〉 세계 우뭇가사리 수확량	117
〈그림 5-5〉 서해 해조류 평화벨트	117
〈그림 5-6〉 남북 공동 해양 글로벌 프로젝트 추진 및 선포식	118
〈그림 5-7〉 Red Gold 사업을 위한 글로벌 네트워크 구성	120
〈그림 5-8〉 Red Gold 사업의 글로벌 협력체계	121
〈그림 5-9〉 Red Gold 사업을 통한 바이오이코노미 실현	122
〈그림 6-1〉 초광역협력사업의 Tripolar Cooperation System	132
〈그림 6-2〉 완도군 해상양식 시험 양식장	142
〈그림 6-3〉 세계 양식정책 동향	163
〈그림 6-4〉 스마트 양식시스템 구성도	164

제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

- 최근 모로코 정부의 우뭇가사리 수출량 감축정책 실시로 우뭇가사리 공급체인에 큰 장애요인 발생
 - 가격상승, 실험실 기본재료인 한천사용의 타격으로 연구소, 병원, 대학, 산업체 등 심각한 타격 예상
 - 우뭇가사리를 활용한 신규 해조소재개발로 해양바이오 기술가치 극대화(우뭇가사리 10-12천원/kg, 한천(agar) 50-60천원/kg, 고급 한천(noble agar) 1,800-5,000천원/kg)
- 세계 해양산업은 2020년까지 전반적으로 고성장을 나타낼 것으로 전망되는 가운데 해양바이오산업은 2010-2020년 중 100% 성장이 예상되는 고성장 산업군으로 분류
- 미국, 중국, 일본, 유럽 등 주요 선진국에서는 해양바이오 분야의 미래성장 가능성과 개별산업으로서의 중요성을 인식하고 있음
 - 해양바이오산업 육성전략 추진을 위해 필수 유망소재 발굴과 지역 단위의 해양바이오 클러스터를 구축하기 위한 국가차원의 노력을 기울이고 있음
- 과학기술정보통신부의 제4차 과학기술기본계획(2018~2022)에서는 바이오매스, 바이오리파이너리 등 탄소저감 차세대기술 중점을 제시하고 있고, 제1차 해양수산생명자원관리 기본계획(2019.1)에서는 해양바이오 전략소재개발 및 상용화를 제시하고 있음
 - 해조류 활용(대량양식, 고부가가치 소재개발, 기능성 물질의 의약품 제조, 연구개발 등)을 통한 해양바이오산업의 확장
- 제주특별자치도 해양산업육성 종합계획(2015~2019)의 6대 해양산업에 해양바이오가 포함되어 있으며, 3대 추진 전략 중 제주 해양생물자원의 고부가가치

화 전략에서는 제주 해양생물자원 유래 펩타이드 소재 개발, 용암해수를 활용한 염생식물 재배기술개발의 추진 과제가 포함되어 있음

○ 제주 해양경제시범도시 기초 연구(2018)의 해양자원의 미래 산업화 추진 전략에 용암해수 활용 규조류 소재 산업화, 항노화 해양자원 연구센터 건립이 중점 사업으로 제시되고 있음

- 용암해수 활용 규조류 소재 산업화는 규조류에서 silica를 분리 정제하여 천연소재로서 피부 노화 방지 등의 화장품 개발, silica를 나노화하여 미세먼지 저감 필터 개발 등 다양한 분야에 산업 소재로 활용하는 사업
- 항노화 해양자원 연구센터 건립은 육지식물보다 요오드를 1,000배, 칼슘을 100배, 마그네슘과 구리를 10배 더 저장하여 생명을 유지시켜 주는 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있는 제주 해조류 자원을 활용한 항노화 연구를 추진할 수 있는 센터를 조성하는 사업

○ 타 지역(지자체)과 연계한 연계협력사업 발굴을 통해 지역 간 균형발전 도모

- 해양바이오산업을 중점 분야로 육성하고 있는 지자체는 강원, 경북, 충남, 제주, 전남, 인천 등
- 제주-서해안벨트의 경우 인천이 해양바이오에너지 생산기술개발을 추진하고 있고 남북해조류 공동시험양식을 추진할 예정으로 있으며, 전남은 해양바이오에너지산업을 육성하고 있는데 완도군은 해조류 바이오에너지 산업 육성하기 위해 2009년 해조류 에너지 연구센터 등을 건립
- 제주-서해안벨트(제주, 전남, 인천) 연계협력사업 발굴

○ 초광역협력사업 등 정부의 균형발전정책에 부합되는 연계협력사업으로 국비 확보(국비공모사업 선정) 가능성 제고

○ 본 연구는 다음과 같은 목적을 가진 기획 및 기초연구

- 제주해조류 육상양식 및 해양바이오 소재개발 실현을 위한 기초연구
- 제주-서해안벨트 해양바이오 연계협력 프로젝트 수립을 위한 기초연구
- 초광역연계협력을 위한 연계협력사업 발굴
- 발굴 초광역연계협력사업에 대한 5개년 로드맵 및 사업계획 수립

제2절 연구내용 및 방법

○ 해양바이오산업에 관한 이론적 고찰 및 문헌 연구

- 해양바이오 산업의 정의, 분류, 특성 등 검토
- 세계 및 한국 해양바이오 시장 및 해양바이오 주요 기업 동향
- 해조류를 중심으로 국내외 해양바이오 기술 동향 조사
- 국내외 해양바이오 분야 정책 동향 조사
- 해양바이오 신소재산업 조사

○ 해양바이오분야의 제주-서해안벨트 지자체 여건 및 환경 분석

- 제주-서해안벨트 지자체 해양바이오 현황
- 제주-서해안벨트 지자체 해양바이오산업 관련 계획 및 추진사업 검토
- STEEP(Society, Technology, Environment, Economy, Politics)을 이용한 해양바이오산업의 미래트렌드 분석
- 해양바이오분야에 대한 **SWOT**분석을 이용한 추진전략 도출

○ 해외 해양바이오분야 사업 사례 조사

- 중국 최대의 해양산업을 보유하고 있으며, 특히 바이오 의약 관련 분야에 경쟁 우위를 보이고 있는 광둥 해양경제종합시험구 조사
- 독일의 우뭇가사리 육상양식 기술 조사 및 스페인의 우뭇가사리 육상양식 사례 조사
- 바이오리파이너리의 개념, 시스템, 분류 및 동향 검토
- 해외 우수사례 분석을 통해 도출된 시사점을 토대로 제주-서해안벨트 지역에 적용방안 제시

○ 제주 해조류의 바이오산업 소재화 여건 분석

- 제주 대발생 파래(Ulva) 활용 산업화 분석
- 제주연안 해조 감태(Ecklonia cava)의 생태 생리적 특성 및 감태 활용 바이오산업 현황 분석
- 제주 우뚝가사리(Gelidium amansii)의 특성 및 우뚝가사리 고부가가치화 산업 현황 분석

○ 국내 해조류 (Red Gold) 사업 및 글로벌 차원의 연구진행 사례 조사

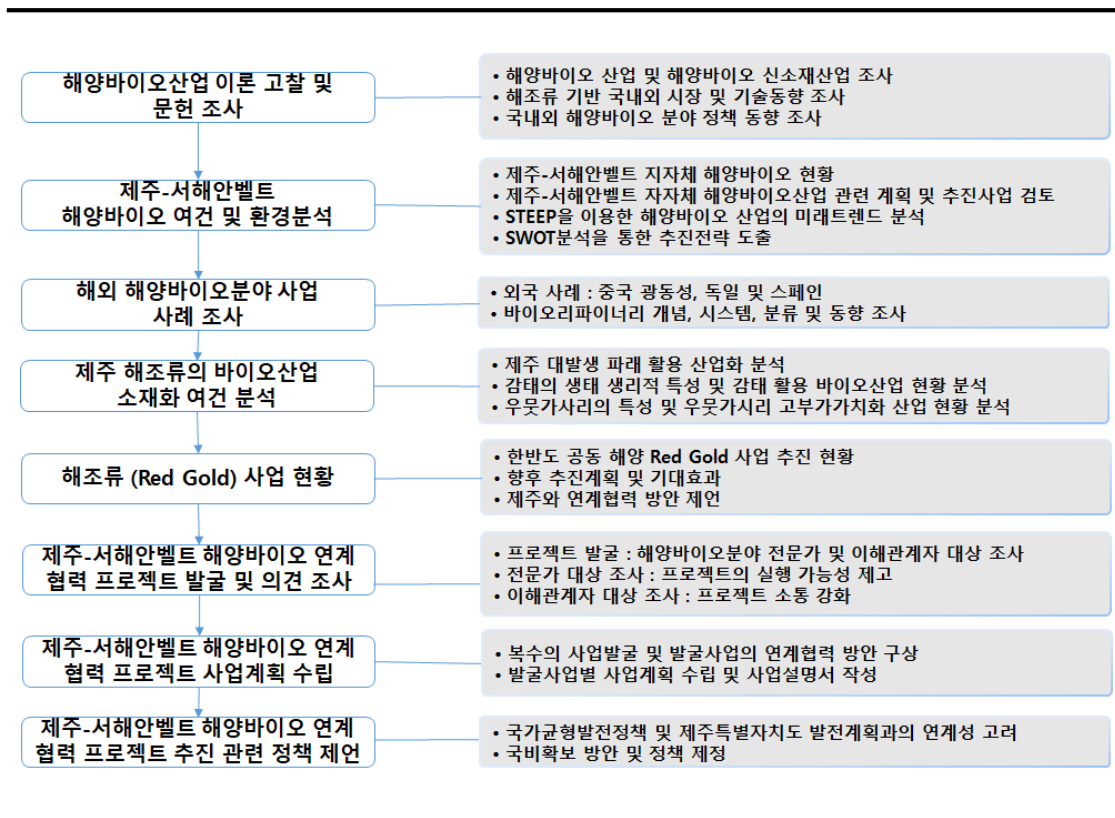
- 인천시는 옹진군을 중심으로 남북 해양바이오 협력기술기반의 한반도 해조류 평화벨트 사업을 추진·계획 중에 있음
- 향후 남북 최초 옹진-마라도 간 공동해역종합연구센터를 설립하고 AI/IoT를 접목한 스마트 친환경 해조류육상양식장 구축 및 육상 스마트팜 평화관광 산업 구축을 목표로 한 Red Gold 사업이 접경지 특화사업 우선순위 과제로 선정됨
- 겐트대학교 글로벌캠퍼스는 Red Gold사업을 위한 사전 작업으로 14개국(한국, 북한, 중국, 일본, 미국, 러시아, 영국, 독일, 캐나다, 네덜란드, 인도, 벨기에, 칠레, 스페인) 연구진과의 컨소시엄을 구축하고 국제 심포지엄을 통해 남북공동 학술조사를 제안하였음
- 글로벌 연구 개발 및 교류를 통해 접경지 취약지역의 균형발전을 위한 산업으로 육성하여 글로벌 비교우위 확보를 추구

○ 해양바이오분야 전문가 및 이해관계자를 대상으로 한 조사에 기반을 두어 ‘제주-서해안벨트 해양바이오 연계협력 프로젝트’를 발굴

- 전문가를 대상으로 표적집단면접법(FGI)을 실시하여 ‘제주-서해안벨트 해양바이오 연계협력 프로젝트’의 실행 가능성(feasibility) 제고
- 이해관계자들을 대상으로 의견을 조사하여 ‘제주-서해안벨트 해양바이오 연계협력 프로젝트’에 대한 소통 강화

- ‘제주-서해안벨트 해양바이오 연계협력 프로젝트’ 사업계획 수립(5개년 로드맵 포함)
 - 복수의 사업 발굴 및 발굴사업의 연계협력 방안 구상
 - 발굴사업별 사업계획을 수립하고 각 사업계획에는 효과적으로 추진을 위한 사업설명서를 작성
- ‘제주-서해안벨트 해양바이오 연계협력사업’ 추진방향에 대한 정책 제언
 - 국가균형발전정책, 제주특별자치도 발전계획 등과의 연계성을 고려한 국비확보 방안 및 정책 제언

〈그림 1-1〉 연구추진 체계도



제3절 예상 사업 및 기대효과

- 제주-서해안벨트 연계협력사업으로 해조류를 이용한 소재개발 및 고부가가치 제품 개발 사업 발굴
 - 제주 대발생 파래 활용 산업화로 맥주, 술, 비료, 바이오강화제 개발
 - 감태의 스마트 대량생산기지 및 치매치료제로 활용 가능한 해양성 폴리페놀 소재개발
 - 우뚝가사리의 스마트 대량생산기지 및 고급한천소재개발
 - 국비 사업으로 추진
 - 사업계획 수립 및 예산조달방안 마련
- 파래, 감태, 우뚝가사리 등 제주 해조류의 스마트 대량생산방식(해상양식, 육상양식, 배양 등) 및 고부가가치 해양바이오 소재개발로 제주해양산업의 고도화 및 연관 산업 확장
 - 우뚝가사리 육상양식기술 가능성 제시 및 양식기술 체계화
 - 신규 해조소재 확보 및 선진국대비 기술수준 향상
 - 제주가 세계 바이오연구 기본재료의 주 공급지로 도약
 - 미래성장동력이 되는 해양바이오 소재 상용화를 통한 산업경쟁력 확보
 - 환경친화적이고, 지속가능하며, 자원재순환의 바이오이코노미(생명과학에서 유래하여 만들어지는 제품이나 서비스 및 새로운 연구와 관련된 경제활동) 달성

제2장 해양바이오산업 현황

제1절 해양바이오 산업 개요

1. 해양바이오 산업의 정의

- 바다는 지구 표면의 70% 이상을 덮고 있고 지구 생물권의 90%를 차지하고 있어 해양생명자원으로 부터 가치를 창출할 수 있는 잠재력이 클 것으로 평가되어, 육상생명자원의 고갈과 다양성의 한계에 대한 대안으로 부상하고 있음
- 해양바이오자원은 현재까지 밝혀진 육상바이오자원에 비해 상대적으로 종류가 적지만, 고부가가치 제품 개발 가능성이 높다는 측면에서 주목받고 있음
 - 바이오경제는 육지와 바다에서 재생 가능한 생명자원을 이용하여 식량, 자재 및 에너지로 전환하는데 중점을 두고 있음
- 이러한 해양바이오 산업의 정의는 국가별·연구자별로 통일된 것은 없으나, OECD는 “생물 또는 무생물 재료를 바꾸어 지식 및 재화를 생산하고자 해양자원의 살아있는 유기체는 물론 그 유기체의 부분, 산물, 모델에 관한 과학기술의 응용과 관련된 경제활동”으로 정의하고 있음¹⁾
- 우리나라의 해양바이오 산업의 정의는 「해양수산생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률」에서 살펴볼 수 있음
 - 「해양수산생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률」 제2조(정의) 제12호는 ‘해양수산생명공학’을 “해양수산생명자원을 이용하여 산업적으로 유용한 생산물을 만들거나 생산공정을 개선할 목적으로 생물학적 시스템, 생체유전체 또는 그들로부터 유래되는 물질을 연구·활용하는 학문과 기술을 말한다”라고 정의하고 있음
- 장정인·박광서·김주현(2016)의 연구에서는 “해양바이오 자원과 해양바이오 기술을 활용하여 인류에게 편익을 가져다줄 수 있는 상품과 서비스를

1) OECD(2013), Marine Biotechnology: Enabling Solutions for Ocean Productivity and Sustainability

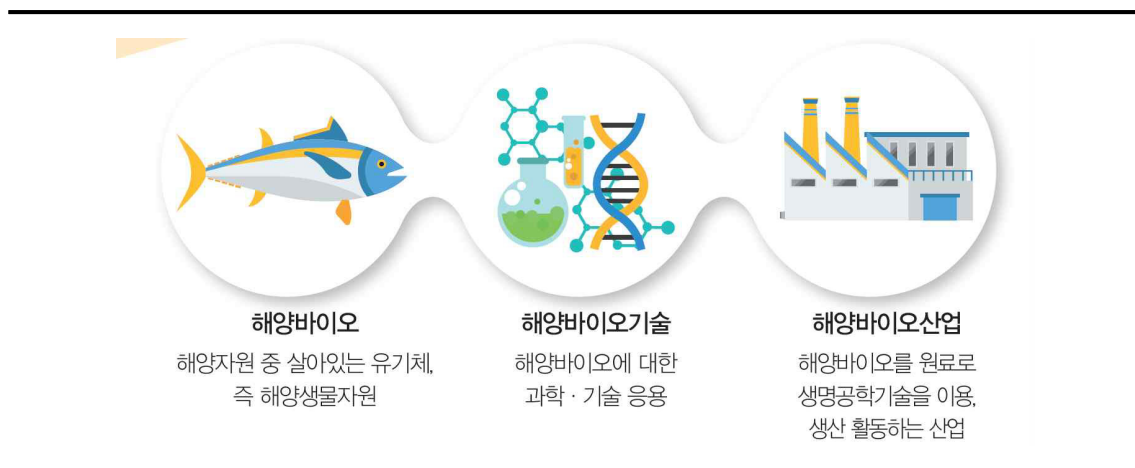
생산, 제공하는 산업으로, 자원, 식품, 의약, 화학, 에너지, 환경, 기기장비, 연구·개발 및 서비스”로 정의하고 있음

- 「해양수산생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률」과 장정인·박광서·김주현(2016)의 연구를 토대로 “해양 생물자원을 이용하거나 해양 생물자원이 가지고 있는 구성성분, 시스템 공정, 기능, 유전정보 등을 생명공학기술을 활용하여 연구함으로써 궁극적으로 인간 복지를 위한 상품과 서비스를 제공하는 산업 혹은 학문”으로 해양바이오 산업을 정의할 수 있음²⁾

〈표 2-1〉 해양바이오 산업의 정의

구 분	해양바이오 산업 정의
OECD(2013)	생물 또는 무생물 재료를 바꾸어 지식 및 재화를 생산하고자 해양자원의 살아있는 유기체는 물론 그 유기체의 부분, 산물, 모델에 관한 과학기술의 응용과 관련된 경제활동
해양수산생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률(2012)	해양수산생명자원을 이용하여 산업적으로 유용한 생산물을 만들거나 생산공정을 개선할 목적으로 생물학적 시스템, 생체유전체 또는 그들로부터 유래되는 물질을 연구·활용하는 학문과 기술
장정인·박광서·김주현(2016)	해양바이오 자원과 해양바이오 기술을 활용하여 인류에게 편익을 가져다줄 수 있는 상품과 서비스를 생산, 제공하는 산업으로, 자원, 식품, 의약, 화학, 에너지, 환경, 기기장비, 연구·개발 및 서비스

〈그림 2-1〉 해양바이오 기술과 산업



자료: 해양수산부(2018). 2016 해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업

2) 과학기술정보통신부(2019), 2019 생명공학백서

2. 해양바이오 산업의 분류

- 해양바이오의 분류는 2017년 개정된 「해양수산과학기술 분류체계」의 기술 적용의 분류기준과 2018년 시행된 「해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업」의 최종 사용용도에 따른 산업분류가 적용되고 있음

(1) 해양수산과학기술 분류체계

- 「해양수산과학기술 분류체계」에서는 해양수산생명의 기술분야를 해양수산생물자원, 해양수산생명현상규명, 해양수산신소재개발, 해양수산생물공정의 4개의 중분류로 구분하고 있으며, 각각의 중분류는 소분류 분야들로 구성되고 있음
- (해양수산생물자원) 국내외 해양수산생명자원을 확보·보존하기 위한 연구와 유전공학 기술을 이용한 각종 해양생물 신품종을 연구·개발하는 제반기술
 - 해양수산생물 종다양성 확보기술, 해양수산생물계통·개체군관리기술, 해양수산생물자원 생산기술 등
- (해양수산생명현상규명) 해양생물자원 및 유전자원을 활용하여 생명현상 기능규명 등 유용 생명시스템 제반기술
 - 유전체 기술, 단백질체 기술, 대사체 기술 등
- (해양수산신소재개발) 해양생물이 생산하는 대사물질이나 생체기능을 이용하여 산업용, 의약품, 건강기능증진용 및 미래에너지용 생물소재를 개발하고 실용화하기 위한 기술
 - 기능성 소재 개발기술, 의약 소재 개발기술, 환경 에너지소재 개발기술 등
- (해양수산생물공정) 해양생명자원을 이용한 생물공정 기술을 식품 및 의약품 등에 적용하여 고부가가치의 유용한 물질을 생산하는 제반 기술
 - 배양 발효공정 기술, 생물전환공정 기술, 분리정제공정 기술 등

〈표 2-2〉 해양수산과학기술 분류체계에 따른 해양바이오의 범위

대분류	중분류	소분류
해양수산생명(MBT)	해양수산생물자원MBT01	해양수산생물 종다양성 확보기술
		해양수산생물계통·개체군관리기술
		해양수산생물자원 생산기술
		달리 분류되지 않는 해양수산생물자원기술
	해양수산생명현상규명MBT02	유전체 기술
		단백질체 기술
		대사체 기술
		달리 분류되지 않는 해양생명현상규명기술
	해양수산신소재개발MBT03	기능성 소재 개발기술
		의약 소재 개발기술
		환경 에너지소재 개발기술
		달리 분류되지 않는 해양수산 신소재 개발기술
	해양수산생물공정MBT04	배양 발효공정 기술
		생물전환공정 기술
		분리정제공정 기술
		달리 분류되지 않는 해양수산생물공정기술

자료: 해양수산부(2017), 해양수산과학기술 분류체계

(2) 해양바이오산업 분류체계

- 「해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업」에서는 최종적 사용용도에 따라 해양바이오 산업을 해양바이오 자원, 해양바이오 식품, 해양바이오 의약, 해양바이오 화학, 해양바이오 에너지, 해양바이오 연구개발 및 서비스의 6가지 분야로 구분하고 있음
- (해양바이오 자원) 해양 생물체 또는 해양바이오 기술을 이용하여 새로운 기능을 위한 생물체를 발굴, 제작하여 재배 또는 사육하는 산업 활동
- (해양바이오 식품) 해양 생물체로부터 분리 정제기술 혹은 해양바이오 기술을 연구개발 또는 생산과정에 이용하여 각종 음식료품 및 동물사료, 동식물성 유지 등을 제조 및 수입, 연구·개발하는 산업 활동
- (해양바이오 의약) 해양 생물체를 대상으로 해양바이오 기술을 연구·개발 또는 생산 과정에 이용하여 인간 또는 동물의 각종 질병을 진단, 예방, 치료하는데 사용되는 의약품 및 의료용품을 제조 및 수입, 연구·개발하는 산업 활동³⁾

3) 의료기기 및 진단기기는 해양바이오 의약의 범위에서 제외함

- (해양바이오 화학) 해양바이오 기술 혹은 분리정제기술을 연구·개발 또는 생산과정에 이용하여 해양생물체로부터 화합물을 제조 및 수입, 연구·개발하는 산업 활동
- (해양바이오 에너지) 해양 생물체 혹은 해양바이오 기술을 연구·개발 또는 생산과정에 이용하여 에너지를 획득하는 산업 활동, 해양바이오에너지는 해양바이오매스로부터 화학적, 생물학적 전환공정을 거쳐 생산되는 대체 연료물질을 뜻함
 - 예시: 해양 미세조류를 활용한 바이오 연료와 해양 세균을 활용한 바이오 수소 등
- (해양바이오 연구개발 및 서비스) 해양바이오 기술을 이용하여 연구·개발을 대행하거나 분석평가 관련 컨설팅 및 생물정보를 제공하는 산업 활동⁴⁾

〈표 2-3〉 해양바이오 산업의 분류

대분류	정의
해양바이오 자원	해양생물자원에 생명공학기술을 적용하여 새로운 기능을 위한 생물체를 발굴, 제작하여 재배 또는 사육하는 산업 활동
해양바이오 식품	해양생물자원을 원료로 생명공학기술을 적용하여 생산한 각종 음 식료품, 건강기능식품, 동물사료
해양바이오 의약	해양생물자원을 원료로 생명공학기술을 적용하여 인간 또는 동물 의 각종 질병을 진단, 예방, 치료하는 데 사용되는 의약품 및 기초의약품
해양바이오 화학	해양생물자원을 원료로 생명공학기술을 적용한 향수, 화장수, 화장품, 생활화학 제품, 치약, 비누, 세제, 계면활성제, 방향제, 광택제 등의 화학제품
해양바이오 에너지	바이오디젤, 바이오에탄올 등 해양바이오매스로부터 화학적 생물학적 전환공정을 거쳐 생산되는 대체 연료물질, 바이오수소 등 해양생물에 의한 생물학적 공정의 결과물로 생산되는 연료 물질
해양바이오 연구개발 및 서비스	해양생명공학 지식과 기술을 이용하여 위탁자로부터 계약에 의해 임상·비임상 연구개발을 수행하거나 그러한 수행을 지원하는 서비스, 해양생명공학 기술 관련 제품 개발에 필요한 연구개발을 대행 하는 용역형태 서비스

자료: 해양수산부(2018). 2016 해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업

3. 해양바이오 산업의 특성

- 해양바이오산업은 생명자원 확보의 난이도가 높은 반면, 확보될 시 소재개발의 부가가치가 높은 특성을 가지고 있어 국가적 지원이 요구되는 분야임

4) 타 기업으로부터 수탁 받아 해양바이오 제품을 제조하는 활동은 제외함

- 해양생명자원 확보를 위해 선박 등 특수 장비를 활용한 탐사 및 대량 생산시설 등의 전문적 인프라가 필요하며 생명자원에 대한 의존도가 크며, 소재와 기술의 확보 시 제품의 부가가치가 급격하게 증가함

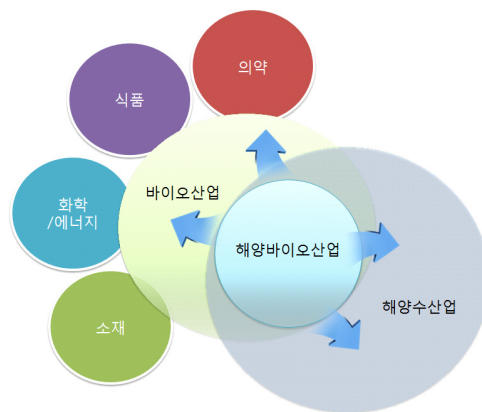
〈표 2-4〉 해양바이오 산업 고부가가치화 사례

우뭇가사리	기능성소재	해 조 유래 의약 Alginate
4천 원/kg	1만5천 원/kg	400만원/kg

자료: 한국과학기술기획평가원(2019), 해양바이오 디지털 혁신생태계 구축전략, KISTEP ISSUE PAPER(Vol.259)

- 해양바이오산업은 생물자원탐사에서 시장진입에 이르는 가치사슬 전반에 여러 분야의 지식과 자본이 집약된 기술 중심 산업으로, 기술개발 과정에서 기술창업·이전, 연구개발서비스 등 부가가치 창출이 가능함
- 해양 생물체나 해양바이오 기술에 기반을 두고 있지 않았던 기존 개별 산업의 제품도 향후 기술수준 및 시장성에 따라 해양바이오제품으로 대체 가능
 - 의약, 화학·에너지, 식품, 환경 분야 등에서 해양바이오 기술 및 산업용 해양바이오 신소재의 수요가 확대될수록 해양바이오산업의 활성화

〈그림 2-2〉 해양바이오 관련 산업



자료: 한국해양수산개발원(2016), 국내 해양바이오 산업화 동향과 정책 방향

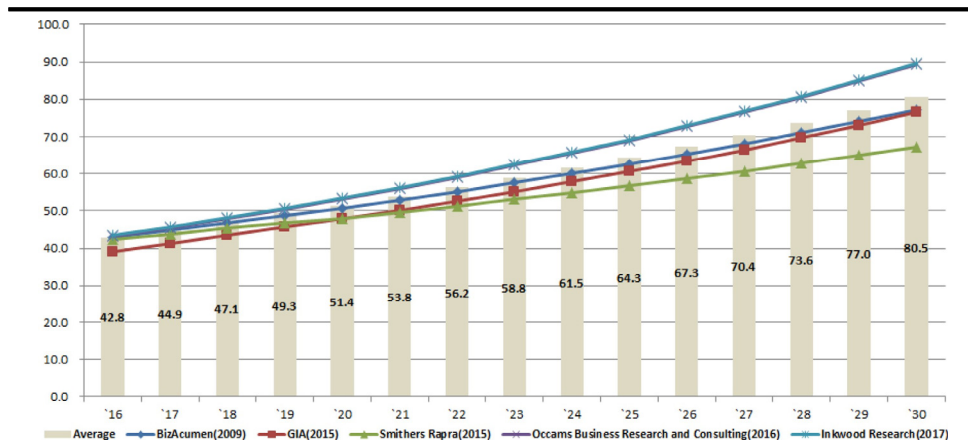
- 해양바이오 산업은 전문적 인프라의 필요성으로 인해 민간에서 자체적으로 해양생명자원을 확보하기 어려워, 주요국에서는 다양한 해양생명자원 확보사업과 산·학·연 공동연구를 활성화하고 있음

제2절 해양바이오 시장 동향

1. 세계 해양바이오

- 세계 해양바이오산업의 매출액은 2016년 42.8억 달러로 추정되고 있으며, 이후 연평균 4.6% 증가하여 2030년에는 80.5억 달러로 전망되고 있음⁵⁾
- 해양바이오 관련 보고서(BizAcumen(2009), GIA(2013, 2015), Inkwood Research(2017), Occams Business Research and Consulting(2016) Smithers Rapra(2015))의 연도별 추계 값에 각 연구에서 제공하고 있는 연평균 증가율을 적용하여, 향후 해양바이오 시장 규모에 대한 장기 추계 값을 적용함
- 2016년 기준 건강, 소비재 등 바이오소재 가공제품 분야의 시장규모가 약 38억 달러로 전체 시장규모의 87%를 차지하여, 해양바이오 분야의 소재 의존성이 높음을 알 수 있음⁶⁾

〈그림 2-3〉 세계해양바이오 시장 규모 추정치



자료: 장덕희 외(2017), 바이오 기업의 해양바이오 분야 진입을 위한 기업수요 분석

- 2020년 국가별로는 미국(35.6%), EU(25.2%), 일본(13.9%)이 세계 시장의 74.7%를 차지하고, 한국은 약 2% 수준으로 추정됨⁷⁾
- 상기 국가들의 비중이 증가추세를 보이는 가운데 아시아-태평양 지역이 연평균 5.4%로 성장하여 새롭게 부상할 것으로 전망됨

5) 장덕희 외(2017), 바이오 기업의 해양바이오 분야 진입을 위한 기업수요 분석, Ocean and Polar Research, Vol. 39(3) : 233~244

6) 한국과학기술기획평가원(2019), 해양바이오 디지털 혁신생태계 구축전략, KISTEP ISSUE PAPER(Vol.259)

7) 과학기술정보통신부(2019), 2019 생명공학백서

- 산업 부문별로는 의약품(54%), 식품 및 화장품 등의 소비재(33%), 환경(8%), 화학(3%), 자원(2%) 순의 점유율을 보이며, 미래 해양바이오 시장은 의약품, 기능성 식품, 화장품 분야가 80%이상을 유지하며 주도할 것으로 전망됨

〈표 2-5〉 세계 해양바이오 지역별 시장 규모

(단위: 백만 달러, %)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR
US	1,325.5 (35.6)	1,397.9 (35.8)	1,476.9 (35.9)	1,556.8 (35.8)	1,633.2 (35.7)	1,705.4 (35.6)	5.0
Canada	115.7 (3.1)	121.4 (3.1)	128.1 (3.1)	134.5 (3.1)	140.5 (3.1)	146.1 (3.1)	4.6
Japan	504.3 (13.5)	531.4 (13.6)	563.4 (13.7)	598.4 (13.8)	632.0 (13.8)	664.2 (13.9)	5.5
Europe	951.7 (25.3)	987.5 (25.3)	1,033.8 (25.1)	1,089.2 (25.1)	1,151.2 (25.2)	1,206.7 (25.2)	4.3
Asia-Pacific	491.5 (13.3)	518.6 (13.3)	548.8 (13.3)	583.4 (13.4)	614.9 (13.4)	645.7 (13.5)	5.4
Rest of World	336.0 (9.0)	350.0 (9.0)	365.8 (8.9)	384.3 (8.8)	401.8 (8.8)	417.8 (8.7)	4.2
Total	3,724.7 (100)	3,906.8 (100)	4,116.8 (100)	4,346.6 (100)	4,573.6 (100)	4,785.9 (100)	4.8

자료: GIA(2015). A global strategic business report: marine biotechnology. Global Industry Analyst

2. 한국 해양바이오

- 한국 해양바이오산업의 매출액은 2016년 5,369억 원으로 추정되고 있으며, 이후 연평균 5.9% 증가하여 2030년에는 1.2조 원으로 전망되고 있음

〈표 2-6〉 한국 해양바이오 시장 규모 전망치

구분	2016년	2022년	2030년
해양바이오 시장규모	5,369억 원	8,100억 원	1.2조 원

자료: 해양수산부(2019). 해양수산 신산업 육성으로 해양부국 실현, 보도자료

- 2016년 해양바이오산업의 부문별 매출액은 식품부문이 3,878억 원(72.2%)으로 가장 높게 나타나고 있으며, 연구개발 서비스(581억 원, 10.8%), 화학(498억 원, 9.3%), 의약 (407억 원, 7.6%) 순으로 조사됨⁸⁾

- 국내 바이오산업 기준으로 가장 시장규모가 큰 부문은 의약부문이나, 해양 바이오의 경우 식품부문이 가장 크게 나타나는 것은 해양바이오 소재를

8) 해양수산부(2018). 2016 해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업

이용한 의약품 개발이 아직까지는 상대적으로 활성화되지 못함을 시사하고 있음⁹⁾

- 2016년 해양바이오산업의 부문별 사업체 수를 살펴보면 식품부문이 180개(45.5%)로 가장 높게 나타나고 있으며, 화학(107개, 27.0%), 의약(67개, 16.9%), 연구개발(38개, 9.6%) 순으로 조사됨
- 2016년 해양바이오산업의 부문별 종사자 수를 살펴보면 식품부문이 1,621명(54.6%)으로 가장 높게 나타나고 있으며, 연구개발(602명, 20.3%), 화학(399명, 13.4%), 의약(308명, 10.4%) 순으로 조사됨

〈표 2-7〉 한국 해양바이오 산업 현황(2016년)

구분	매출액		사업체		종사자	
	억 원	%	개	%	명	%
합계	5,369	100.0	396	100.0	2,968	100.0
식품	3,878	72.2	180	45.5	1,621	54.6
의약	407	7.6	67	16.9	308	10.4
화학	498	9.3	107	27.0	399	13.4
에너지	6	0.1	4	1.0	38	1.3
연구개발	581	10.8	38	9.6	602	20.3

자료: 해양수산부(2018). 2016 해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업

3. 주요 기업

(1) 해외

- 해양바이오산업의 주요기업은 주로 미국과 유럽국가에 집중되어 있으며, 주력 산업 분야는 의약과 화학 및 기능성식품으로 분석됨
- 해양바이오산업에서 최대 시장을 보유하고 있는 미국의 기업이 다수를 차지하며 주력 분야는 자원, 의약, 화학 등으로 비교적 다양함
- 유럽국가 중에서는 영국과 노르웨이 기업의 활동이 활발한 양상을 보이며, 기능성 화장품 및 식품 산업에 특화

9) 한국과학기술기획평가원(2019), 해양바이오 디지털 혁신생태계 구축전략, KISTEP ISSUE PAPER(Vol.259)

〈표 2-8〉 해양바이오 주요기업

국가	기업명	주력 분야	대표 제품/ 기술
미국	CP Kelco	미생물 발효 통해 다당류 생산	GENU® Carrageenan
	Sea Run Holdings, Inc.	연어혈액을 이용한 생물학적 제제 및 약품 생산과 연구	Sea-Block™, Sea- Grow™ F
	Cyanotech Corp.	미세조류 추출물질 이용한 면역성 진단 및 영양보조제 생산	BioAstin® Natural Astaxanthin
	Nutrex Hawaii	스피루리나와 같은 영양보조제 및 기능성식품 생산	Hawaiian Spirulina Pacifica®
	FMC Corp.	농업, 산업용 화학제품 생산에 특화. 기능성 식품 및 영양보조제에 특화된 FMC Health and Nutrition 운영	
	New England Biolabs Inc	재결합제 효소의 개발과 상업화에 특화	BioLux®
	Prolume Ltd	해저의 생체발광물질로부터 유래된 새로운 유전자 개발 및 발굴	
영국	PML Applications Ltd.	해양 생화학, 생물다양성과 해양생태계에 초점을 맞춘 연구 수행, 해양 박테리아 및 배양균 추출물 수집 등에 특화	
	Aquapharm Biodiscovery Ltd	제약업에 주력. 기능성 화장품 및 식품으로 영역 확대 중	SeaRch™ 기술 활용 제품
	GlycoMar Ltd.	바이오 헬스케어 및 화장품 영역	
노르웨이	Aker BioMarine AS	제약업, 크릴새우 유래물질 상품에 특화	
	Aqua Bio Technology ASA	기능성화장품	Aquabeautine XL®
	Pronova BioPharma ASA	지질치료(lipid therapies)에 관련된 질병예방 제품 판매. omega-3 관련제품의 선도 기업	
아일랜드	Jazz Pharmaceuticals plc	바이오 제약업에 특화	ERWINAZETM
스위스	Lonza Group Ltd	활성성분(유효성분) 및 화학적 중간물질 개발에 특화	분말해산단백질
독일	oceanBASIS GmbH	해양미생물 유래의 천연화합물을 활용한 화장품 개발	
스페인	PharmaMar S.A	해양조식을 이용한 항암치료제 개발	Yondelis®, Aplidin®
네덜란드	Royal DSM N.V	해양 진균 및 해양 미세조류에서 유래된 물질을 통해 영양보조제 생산	life' sDHATM, life' sGLATM
프랑스	Biotech Marine	해양 미세조류 추출 물질을 이용한 화장품생산	
호주	Marinova Pty Ltd	수산식물을 이용한 의약품 개발	Maritech® Fucoidan Extracts

자료: 한국해양수산개발원(2016), 국내 해양바이오 산업화 동향과 정책 방향

1) 미국 Cyanotech社

- Cyanotech는 하와이 주립 자연에너지 연구소(Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority)에 위치하고 있으며 해조류 추출물질을 이용한 면역성 진단 및 영양보조제를 생산하고 있음

- Cyanotech는 1983년 Gerald Cysewski 박사에 의해 설립되었으며, 현재 36만 평방미터의 해조류 양식시설, 가공시설, 현장 추출공장, 사무실 및 연구시설을 포함하는 규모로 성장
- 주요 제품으로는 BioAstin과 Natural Astaxanthin이 있으며, BioAstin 제품은 1999년 미국 FDA로부터 Astaxanthin을 함유한 안전한 제품으로 최초로 승인을 받음
- Cyanotech는 해조류 양식 분야의 세계적인 리더로서 2017 Kailua-Kona Kohala Chamber of Commerce Business Innovation Award를 수상¹⁰⁾

〈그림 2-4〉 Cyanotech社 해조류 양식시설 및 제품



2) 영국 Aquapharm社

- Aquapharm은 2000년 영국 스코틀랜드에서 설립된 영국 최초의 해양바이오회사 중 하나로서 다양한 해양 미생물에 기반을 둔 혁신적인 제품 개발을 개척하는 혁신적인 회사
- AquaPharm은 해양 박테리아 및 곰팡이의 배양 및 발효에 대한 전문 지식을 활용하여 제약 및 산업 시장의 충족되지 않은 임상 요구를 충족시킬 수 있는 새로운 항생제, 항염증제 및 항암제를 연구개발하고 있음
- 해양 미생물의 수집, 배양, 수확 및 지능적으로 선별할 수 있는 전문성과 정보를 축적

10) Cyanotech社 홈페이지(<https://www.cyanotech.com/>)

- 또한 과학 기술을 활용하여 기능성 식품(비타민, 산화 방지제 및 차단제) 및 산업용 화합물(안료, 화장품 및 바이오 촉매제 등)의 고부가가치 상품을 생산

〈그림 2-5〉 AQUAPHARM社 시설 및 제품



(2) 국내기업

- 2019년 해양수산부에서 발표한 국내 해양바이오 유망 스타트업 기업은 다음과 같음

〈표 2-9〉 국내 해양바이오 유망 스타트업 기업

연번	기업명	주요제품/기술	설립년도
1	네이처글루텍(주)	홍합 활용 생체 접착제	2015
2	바이오피이드(주)	수산물 활용 애견애묘건강식	2016
3	보비씨엔이(주)	굴껍질을 활용한 항산화 기능성 원료	2013
4	아무르콜라겐(주)	불가사리 추출물 활용 기능성 화장품	2014
5	(주)마린테크노	마린콜라겐 활용 기능성 화장품	2014
6	(주)밸리스	배스 활용 사료 제조	2017
7	(주)비엔에프솔루션	송어에서 추출한 의약소재	2013
8	(주)선도소프트	생물종 관별을 위한 유전정보 탐색 및 인터페이스	2014
9	(주)스타스테크	불가사리를 이용한 친환경 제설제	2017
10	푸름바이오(주)	해수 고농축 및 미세조류 배양기술	2017

자료: 해양수산부(2019.05.09.), 해양수산부-해양수산 유망 스타트업 53개사 발표

제3절 해양바이오 기술 동향

- 해양바이오 기술은 여러 분야에 적용되어 사용되고 있으나 최근 수요가 증가하고 있는 바이오소재를 중심으로 기능성 식품, 화장품, 의약품 및 의료용 제품에 관한 기술 동향에 대하여 서술함

1. 기능성 식품

- 높은 분자량과 표면전하 혹은 친수성 등 천연 고분자의 특성이 장을 통한 흡수를 방해하여 건강 개선 효과를 기대하기 어렵다는 점에서 해양바이오 소재를 이용한 건강기능식품의 개발은 미비한 수준이었음
- 그러나 최근 해양바이오 지식의 축적과 관련기술의 발전에 따라 해양유래 천연 고분자 기반의 고부가가치 건강기능식품이 등장하고 있음
- 최근 해조류유래 천연고분자인 한천을 섭취하였을 때 수분을 함유한 고분자가 포만감을 주지만 흡수율이 낮다는 점에 착안하여 한천이 다이어트 식품으로 개발, 시판되고 있음
 - 해양수산부 ‘수산식품산업 기술개발사업’의 성과로 우뚝가사리를 이용하여 체지방 감소에 도움 주는 건강기능식품 소재를 개발함
 - 우뚝가사리 추출물이 체지방 감소에 도움을 주는 효능을 입증하여 식약처로부터 ‘건강기능식품 기능성 원료 인정(2019-9호, 우뚝가사리 추출물)’을 취득함
 - 우뚝가사리 추출물은 지방 분화와 관련된 주요 유전자(PPAR- γ , C/EBP- α)의 발현을 억제하고, 지방 합성 및 축적과 관련된 유전자 발현도 억제하여 지방 합성과 축적을 줄이는 것으로 확인됨
 - 인체적용시험을 통해 소재의 안전성을 평가한 결과, 임상적으로 양호한 안전성을 보였으며, 실험대상자가 우뚝가사리 추출물을 섭취했을 때 체지방 개선 및 체중 감소 효과를 보임
- 전남 해양바이오 연구원은 해양생물자원인 김을 활용한 건강기능식품과 젤리형 일반식품을 개발하여 국내 특허 등록과 상표 출원을 마쳤으며, 수협유통 등 대

형 유통업체와의 판매계약을 진행함

- 우리나라에서 생산되는 대표적 해조류인 ‘김’을 활용한 고부가가치 가공식품을 생산함으로써, 김 주산지인 전남지역의 수산물 가공산업 활성화에 기여함

- 이 외에도 키토산, 키토올리고당, EPA/DHA 제품 등은 꾸준한 시장을 형성하고 있어 향후 새로운 소재 및 기능성에 대한 소비자의 관심이 커짐에 따라 해양생물유래 건강기능식품의 수요는 더욱 증가할 것으로 예상됨

2. 화장품

- 최근 들어 천연추출물 또는 바이오공정을 통해 얻은 피부친화적 생체분자를 함유하고 피부노화방지, 미백 등의 기능성을 강조한 기능성바이오화장품에 대한 관심이 높아지고 있음

- 화장품에 미백, 주름개선, 노화 예방 및 염증 감소 등 다양한 기능성을 부여하고자 해양바이오 기술이 활용되어 왔음

- 키틴/키토산은 하이드로겔(hydrogel), 나노섬유(nanofiber), 나노 입자(nanoparticle)와 같은 다양한 형태로 변환되어 흡수성이 뛰어난 보습제 제조에 활용되는 한편 항균 및 항산화 활성을 통한 상처 치료를 목적으로 이용되기도 함

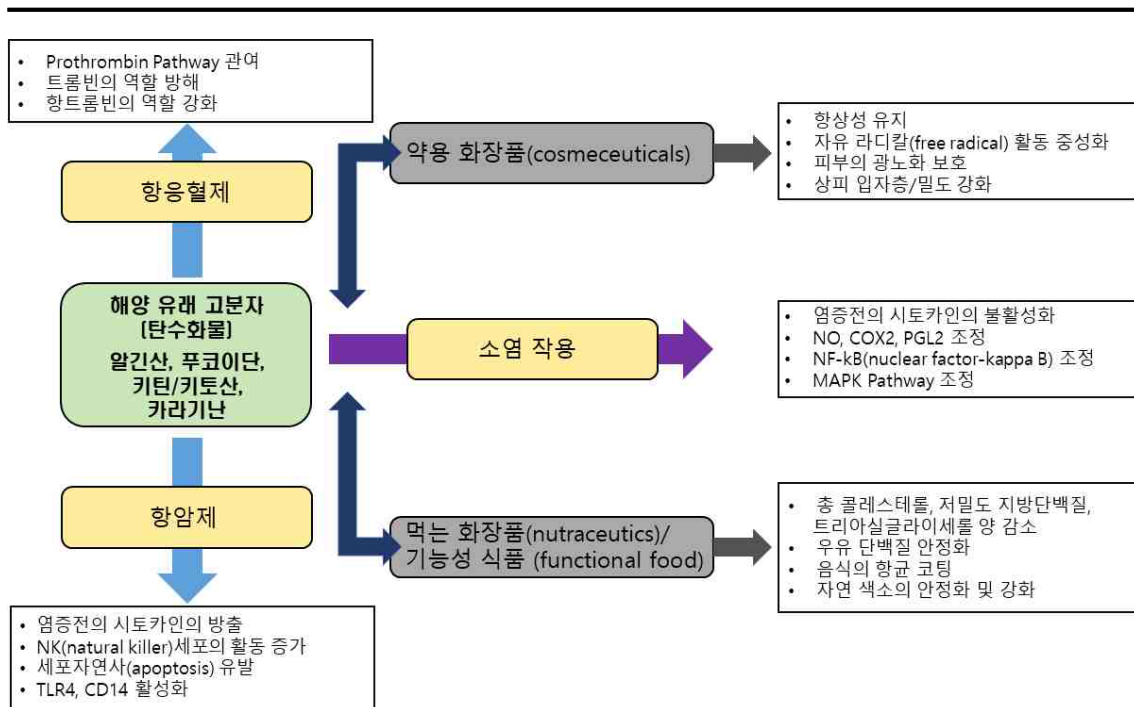
- 키틴은 피부의 항상성을 유지하고 라디칼의 활성을 중화하며 활성 약물의 경피적 투과를 유도하는 특징을 보인다고 알려져 있으며, 키토산 나노섬유는 상피층의 과립 밀도를 증가시키고 다양한 피부 보호 효과를 보이는 동시에 비타민, 카로티노이드 및 콜라겐 등의 피부 투과를 촉진시키는 것으로 알려짐

- 콘드로이틴황산은 우렁챙이와 미더덕의 껍질에 있는 탄수화물의 일종이며 끈적이는 액체형태의 산성 무코 다당류로 피부, 근육, 장기 등의 생체 조직의 수분과 영양분을 축적하는 기능을 담당하는 물질로써 피부 노화와 관련되어 있다고 알려져 있음

- 콘드로이틴황산은 피부미용 뿐만 아니라 노화 방지, 동맥경화 억제, 세균 감염 억제 등의 효능이 보고되고 있음

- 남조류(cyanobacter)가 세포 외로 분비하는 바이오폴리머의 일종인 세포외 다당류(extra-cellular polysaccharide)는 건조한 환경에서도 수분을 유지시켜줄 뿐만 아니라 뛰어난 미백효과를 보이기 때문에 다양한 화장품 개발을 위한 원료로 사용되고 있음
- 히알루론산은 천연자원 유래 고분자소재 가운데 가장 큰 시장 규모와 성장률을 보이고 있는 바이오소재로, 육상생물자원에서 추출하여 사용할 뿐만 아니라 해양생물자원으로부터 얻어질 수 있다는 장점이 있음
 - 최근에는 히알루론산의 뛰어난 보습력이 알려지면서 시중에서 판매되고 있는 화장품이나 마스크팩 가운데 히알루론산이 첨가되지 않은 경우를 찾아보기 힘들 정도로 화장품 소재로 널리 사용되고 있음
- 화장품의 대표적인 기능으로 피부보습, 항산화·자외선보호, 주름개선, 미백, 여드름방지 등이 있으며 해양 유래 소재를 이용한 해양바이오 화장품은 천연소재, 웰빙, 안티에이징, 동안피부 등의 키워드와 함께 앞으로 더욱 성장해 나갈 전망

〈그림 2-6〉 해양바이오 소재 기반 화장품 및 의약품의 기능



자료: 생명공학정책연구센터(2019). 해양유래 천연고분자 기반 바이오소재 개발 동향

3. 의료용 바이오소재

(1) 키토산

- 키토산은 생체적합성, 생분해성, 무독성, 비면역성 등의 특징을 갖고 있어 의료용 바이오소재에 이용되고 있음
 - 이러한 특성으로 인해 지혈과 통증 완화작용을 바탕으로 상처 치료 효과가 있을 뿐만 아니라 인체조직과 친화성이 우수하여 거부반응이 낮다는 장점을 갖고 있음
 - 난용성 약물을 인체 내의 원하는 부위에 전달시킬 수 있는 약물전달체 및 유전자전달체 개발을 위하여 키토산 기반의 바이오소재가 활발히 사용되고 있음
- 키토산은 피부 재생을 촉진하고 상처에서 분비되는 삼출액의 제거를 위해서도 사용되고 있음
 - 특히 상처 치료용 패치, 드레싱 등으로 활용되고 있으며 상처부위의 접합과 상처의 회복속도를 빠르게 해주는데 효과를 보여 여러 가지 상용화된 제품들이 시판되고 있음
 - 최근에는 상처 치료용 하이드로겔에서 화장품 분야의 보습용 마스크 팩, 국소 부위 겔 패치 등으로 이용이 확대되고 있음
- 이외에도 키틴이나 키토산은 항균성을 이용하여 치약에 첨가제로 이용되어 충치를 예방하는 목적으로도 사용되고 있음
 - 구강 충치발생에 관여하는 충치균을 흡착하고 치아의 부식이나 플라그 형성을 방지하는 등 충치억제제로서 응용이 가능함
- 또한 안과 분야에서는 키틴이나 키토산을 이용하여 렌즈의 투과성을 높이고 안구의 상처부위 치료를 촉진하기 위한 용도로 사용되고 있음
- 특히 키토산은 지혈 및 상처치료를 위한 드레싱에 이용되는 소재로서 이미 제품 개발을 마치고 상용화에 성공함
 - 키토산 자체의 항염, 항균, 생분해성 등의 기능성 특징을 바탕으로 한 지혈과 상처치료를 목적으로 사용되고 있음

(2) 알긴산

- 알긴산은 미역, 다시마와 같은 갈조류의 중요 구성성분으로 알긴산은 생체 적 합성이 뛰어나고 독성이 낮으며 가격이 비교적 저렴한 장점이 있음
 - 알긴산 하이드로겔은 다량의 수분을 함유하고 있어 생체조직 내 세포외기질의 기능을 모방함으로써 세포들에게 일정한 공간을 제공하고 물과 영양분을 용이하게 공급하는 기능을 갖게 됨
 - 조직공학에 있어서 알긴산 하이드로겔은 현재 연골, 뼈, 근육, 혈관 등 많은 조직 재생연구에 많이 응용되어지고 있음
 - 현재 알긴산은 화상부위, 수술 후 상처부위, 만성위궤양 등에 이용되는 상품이 개발되어 있음
- 알긴산과 키토산의 경우 단순 추출에 의한 저부가가치성 천연고분자 생산뿐만 아니라 고부가가치 생체의료분야 소재로의 발전 가능성을 보여주고 있음

(3) 히알루론산

- 대표적인 천연고분자인 히알루론산은 해양생물자원으로부터 추출되면서부터 해양유래 천연고분자로 인식되기 시작
 - 히알루론산은 뛰어난 보습력과 낮은 면역부작용으로 인해 다양한 화장품과 필러로 개발되어 사용되고 있을 뿐만 아니라 다양한 의약품 소재로도 활용되고 있음
- 히알루론산은 안구의 주요 구성 성분으로 안구 건조증 및 염증성 눈 질환 등 다양한 눈 질환 치료제로 사용되고 있으며, 관절 활액의 주성분이기도 하여 관절의 연골 손상 및 관절염 등 다양한 관절 질환의 치료를 위한 치료제로 개발되어 사용되고 있음
- 최근에는 히알루론산이 암과 관절염 같은 다양한 염증성 질환의 질병 세포에 과 발현되는 CD44 수용체와 특이적으로 결합한다는 사실이 알려지면서 질병세포 내부로 약물을 전달하기 위한 약물전달체를 개발하고자 하는 다양한 연구가 보고되고 있음

(4) 홍합접착단백질 유래 고분자

- 최근 국내 연구팀이 바다에서 자라는 홍합의 접착 단백질의 주된 구성성분인 아미노산 고분자를 이용하여 홍합 유래 의료용 접착제를 개발
- 홍합은 바다에서 바위, 수초, 이끼 등 다양한 표면에 부착하여 서식하여, 수중 환경에서 거센 파도에도 버틸 수 있는 강한 접착력을 가질 뿐만 아니라 접착의 범위가 매우 넓음
 - 홍합의 접착은 단백질로 만들어진 족사(byssus)라는 가느다란 섬유실에 의해 매개된다고 알려져 있는데 홍합 족사는 구조적으로 가느다랗고 긴 섬유(thread) 끝에 납작한 패드(pad)가 달려 있고, 이 패드부분이 다양한 표면에 부착하는 역할을 한다고 보고되고 있음
 - 또한 인체에 해가 적으며, 물이 있는 환경에서도 사용할 수 있고, 생분해성을 갖추는 등의 의료접착제의 조건을 만족하고 있음
- 세계 의료봉합 및 접합 시장 규모는 연간 140억 달러 (한화 15조 원) 규모로 홍합유래 조직접착제 상용화가 성공한다면 수술용 실을 대체 할 수 있는 고부가가치 소재로 세계 시장을 선점 할 수 있을 것으로 예상됨
- 최근 홍합의 족사 구조에 존재하는 카테콜아민 성분을 키토산에 화학적으로 결합하여 키토산-카테콜 생체 접착제를 합성한 후 이를 이용해 주삿바늘을 코팅함으로써 주사 과정의 마찰력을 견디고 혈액과 즉각적 접착막을 형성하는 무출혈 주삿바늘이 국내 연구진에 의해 개발

(5) 감태 추출 물질을 이용한 의료기기

- 해양 갈조류인 감태에 함유된 ‘플로로탄닌’의 기도(氣道) 협착증 억제 기능을 밝혀내고, 플로로탄닌을 적용하여 기도협착증을 예방하는 기도삽관튜브 시제품을 개발
- 플로로탄닌은 구토설사 등 여러 부작용이 있는 기존 약물(mitomycin C)을 대체할 수 있는 안전한 천연물 소재로서, 향후 수술용 차단막 등 다양한 의료기기에 활용될 수 있다는 점에서 높은 평가를 받음

제4절 국내외 해양바이오 정책 동향

1. 해외 정책동향

- 세계 주요국은 해양바이오분야에 대한 국가 계획을 제시하고 식품용, 의료용, 화장품용 등의 소재개발 R&D에 투자하고 있으며, 특히 주요국은 지역 해양 혁신클러스터를 조성하여 산·학·연 협력을 활발히 전개하고 있음

(1) 미국

- 2000년대 초반 미국은 바이오에너지 분야를 중심으로 해양생명공학 산업을 육성하였으며, 최근 의료소재 개발의 관점에서 해양바이오 연구개발에 투자하고 있음
 - 미국은 전 세계에서 가장 높은 수준의 R&D 역량 및 시장규모를 보유하고 있으며, 해양생명자원을 활용한 다양한 분야에 투자, 특히 의료산업 및 유전체 연구에 집중 투자하고 있음
 - 항암제 등 의약품 개발을 포함한 의료산업, 유전체 연구 영역 등에서 해양생명자원을 활용한 소재개발에 많은 관심을 보이고 있음
- 미국의 경우 해양바이오풀을 일반적인 바이오산업 영역 내에서 다루고 있는데, 대표적인 것이 2012년에 수립된 '국가 바이오 경제 청사진(National Bioeconomy Blueprint)'임
 - 이 계획에서 해조류를 이용한 바이오 디젤 에너지 생산 정책 등 해양바이오산업에 관한 내용을 포함하고 있음
- 2013년 백악관 과학기술정책위원회 산하 해양과학기술 소위원회에서는 해양수산자원의 관리와 활용도 제고를 위한 연구 등을 우선순위로 설정함
- 또한 미국은 해양바이오 육성을 위해 NSF(National Science Foundation)와 NIH(National Institute of Health) 등을 통한 프로그램 단위의 사업지원과 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administrations)의 'The Sea Grant Program' 등을 추진하고 있음

- 씨그랜트 프로그램은 1990년대 초부터 시작된 해양바이오와 관련된 연구기관을 지원하는 사업임
- 미국은 산학연관 협력체제 구축과 이를 위한 R&D 투자에 집중하면서 해양바이오 산업의 실질적인 성과와 발전을 도모함

(2) 유럽

- 유럽(EU)은 미국과 함께 해양바이오 산업분야의 양대 축으로 유럽 각국이 공동으로 중장기적인 측면에서 해양바이오 산업육성을 위한 전략을 마련함
- 유럽(EU)은 해양산업 기반의 지속가능한 경제성장과 일자리 창출을 도모하고 있으며, 해양바이오 정책방향과 정부-민간 역할을 설정함
 - 해양산업을 통하여 매년 약 540만개의 일자리, 5천억 유로의 경제 효과와 광범위한 파급 효과가 가능할 것으로 전망함
 - 해양바이오, 수산양식, 해양관광, 해양에너지, 해양광물 등 5개 분야를 발전 가능성이 높은 주요 해양산업으로 분류함
 - 유럽 해양위원회(European Marine Board)는 해양바이오 기술과 민간 경제의 연계성을 높이기 위한 두 가지 정책과제로 바이오매스 생산 및 공정, 제품 혁신 및 차별화를 제시함

<표 2-10> 유럽 해양위원회에서 제시한 해양바이오소재 정책 과제

구분	정책 과제(2020 ~ 2030)
바이오매스 생산 및 공정 (Biomass production and processing)	· 조류(algae)를 포함한 해양생명자원의 지속가능한 공급 · 연속공정 정제와 혼합 사료의 통합 공정을 포함한 차세대 해양바이오매스 정제
제품 혁신 및 차별화 (Product innovation and differentiation)	· 신종 해양생물 유래 맞춤형 식품 및 통합 식량생산 · 새로운 생물학적 체계와 공정 개발을 위하여 합성생물학의 잠재력을 최대한 생물학적 지표 및 센서 개발

자료: European Marine Board(2017)

- 유럽의 각국은 지역경제 활성화를 위해 프랑스, 노르웨이, 아이슬란드, 스페인 등에 해양혁신 클러스터를 조성
- 프랑스 해양 클러스터에는 약 700여 개의 회원사가 가입되어 있으며, 3억2천만 유로의 공공 연구개발 기금을 포함 총 14억 유로의 R&D 투자가 이루어짐

- 특히 브르타뉴 아틀랑틱 해양 클러스터(Poles Mer Bretagne Atlantique)는 해양 화장품의 선도지역으로 380개 이상 기업 및 로스코프 해양연구소, 프랑스국립과학연구원(Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS) 등이 연결되어 있음
- 아이슬란드 레이카비크 해양클러스터는 대서양에서 잡히는 대구 등 수산물 기반의 항구 지역 산업생태계를 수산업 중심에서 복합 산업 중심으로 혁신하고 있으며, 현재 50개 이상의 기업이 참여하고 있음
- 전통 수산업에 첨단 바이오 기술을 결합하고, 참여기업에 대한 인큐베이팅, 컨설팅, 연구개발 지원 등을 수행
- 노르웨이는 14개 분야 산업클러스터를 지정하여 식품, 제약, 바이오기업 및 금융기관, 정책, 법제도 연구기관, 대학 등이 참여하는 클러스터 내 기업, R&D, 교육의 전략적 연계를 유도
- 스페인의 카나리아 해양클러스터는 카나리아 제도의 해양 개발 및 국제 경쟁력을 증진시키는 것을 목표로 하는 비영리 조직으로 60여개의 기업, R&D 센터, 정부기관 등 81개 회원사로 구성됨

(3) 일본

- 일본은 2013년 해양기본계획을 수립하여 해양바이오 산업창출을 위한 2가지 전략 방향을 제시함
 - 해양생물 및 해저자원의 생물학적 특성 및 다양성에 관한 데이터베이스를 구축함
 - 새로운 유용자원 활용을 위한 해양생물 및 해저자원 연구개발함
- 일본 해양연구개발기구(JAMSTEC)는 해양관련 연구활동을 총괄하고 있으며, 산하 해양생물 자원연구그룹에서 식량, 의료, 화장품, 산업소재의 응용개발에 초점을 맞추어 연구 추진 중임
- 일본의 경우 현을 중심으로 지방 차원에서 해양바이오 산업에 대한 관심이 높게 나타나고 있음

- 일본 토호구 지역 이와테현에서는 JAMSTEC과 키타사토대학 등을 중심으로 산학연 기관들이 연계된 해양바이오 거점이 조성되어 지방 차원의 해양바이오 산업 발전을 도모하고 있음

(4) 중국

- 과거 안정적 식량 확보에 초점을 맞춘 해양생명공학 프로그램에 투자하였으나, 최근 신약개발에 초점을 두고 해양바이오산업 육성을 추진하고 있음
- 2010년 중국은 「해양과학기술 2050 로드맵」 수립, 해양생명자원 및 해양생명공학을 우선 과제로 선정하여 해양바이오 산업에 관한 육성정책을 시행함
- 2017년 중국 국가발전 및 개혁위원회, 국가해양국의 <전국 해양경제발전 13·5 계획(全国海洋经济发展“十三五”规划)>에서는 해양바이오제약 클러스터 추진 계획을 발표함

<표 2-11> 중국 해양바이오제약 클러스터 추진 주요 내용

구분	주요 내용
해양바이오제약	· 해양바이오제약, 해양바이오제품, 해양바이오재료 등의 발전 촉진 · 상하이(上海), 칭다오(青岛), 샤먼(厦门), 광저우(广州) 등 지역을 중심으로 해양바이오기술 및 해양약물 연구센터를 구축

자료: 제주연구원(2017), 중국 해양경제발전 13·5 계획 주요내용

- 해양바이오산업에 대해서는 신약개발을 중심으로 한 육성전략을 추진하고 있으며, 유용해양생명자원 확보와 기업활동 역시 지속적으로 육성하고 있어 향후 중국 해양바이오 시장 규모가 확대될 것으로 예상됨

2. 국내 정책동향

(1) 추진경과

- 해양수산부는 2004년 ‘마린바이오21 사업(2004~2013)’을 시작으로 해양바이오 정책을 추진하여 왔음
- 2008년 ‘해양생명공학육성기본계획(2008~2016)’, 2009년에는 ‘해양바이오 연구개발 활성화 대책(2010~2014)’을 수립함

- 2017년 「해양생명자원의 보존·관리 및 이용 등에 관한 법률」을 제정하여 해양생명자원의 확보와 체계적이고 효율적인 관리 및 이용을 위한 제도를 마련함
- 2018년 ‘해양바이오 산업육성 전략(안)’ 과 ‘제1차 해양수산물과학기술 육성 기본계획(2018~2022)’ 을 수립함
- 2019년 ‘해양수산 신산업 혁신전략’에서는 해양바이오 산업, 치유·생태관광 등 해양관광 신산업, 친환경선박 연관산업, 첨단해양장비 산업, 해양에너지 산업의 5대 핵심 해양신산업 중점 육성하기 위한 전략을 발표함

〈표 2-12〉 국내 해양바이오 정책 추진경과

연도	내용	주관기관
1993	• 생명공학육성기본계획 수립(1993~2006)	관계부처합동
2003	• 해양바이오21 사업 기획연구 실시	해양수산부
2004	• 마린바이오21 사업 3개 연구단 연구 착수	해양수산부
2006	• 한국해양과학기술진흥원으로 관리업무 이관	해양수산부
2007	• 해양생명자원종합관리 마스터플랜 수립	해양수산부
2008	• 해양생명공학육성 기본계획(Blue-Bio 2016) 수립	국토해양부
2009	• 해양바이오산업 활성화를 위한 간담회 • 해양바이오 R&D 투자 확대 후속 조치 지시	국토해양부
2014	• 해양수산 R&D 중장기 계획(2014~2020) 국가과학기술위원회 의결	해양수산부
2015	• 국립해양생물자원관 설립	해양수산부
2017	• 해양수산 생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률	해양수산부
2018	• 해양바이오 산업 육성 전략(안) 마련 • 제1차 해양수산물과학기술 육성 기본계획(2018~2022) 수립	해양수산부
2019	• 제1차 해양수산생명자원 관리 기본계획(2019~2023) 수립 • 해양수산 신산업 혁신전략 마련	해양수산부

(2) 주요정책

1) 해양수산생명자원의 보존·관리 및 이용을 위한 통합 법령체계 마련

- 해양수산부는 해양생명자원과 수산생명자원으로 이원화된 법령을 정비해 「해양수산 생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률」(2017.6.)을 마련함
 - 동 법에는 나고야의정서 발효(2014.10.)에 따른 해양수산생명자원의 이용에 대한 이익공유의 근거 규정과 국내 해양생명자원의 해외반출 등에 대한 보호 강화 규정을 마련함

2) 해양수산생명공학 유망분야 핵심기술 개발

- 2018년 ‘제1차 해양수산과학기술 육성 기본계획(2018~2022)’에서는 ‘풍요롭고 안전한 바다 실현을 위한 해양수산과학기술 육성’이라는 비전 아래 4대 전략과 8대 추진과제를 제시함
 - 4대전략: ①신산업 육성 및 좋은 일자리를 위한 해양수산과학기술 집중 육성, ②사회문제 해결을 위한 해양수산과학기술 기반 확보, ③정부의 연구개발 지원체계 혁신, ④해양수산과학기술의 지속 발전을 위한 생태계 조성
 - 스마트 항만, 스마트 양식 등 4차 산업혁명 기술 융합 분야¹¹⁾와, 해양에너지, 해양바이오 등 5대 전략분야¹²⁾에 집중 투자
- 해양바이오부문에서는 ‘해양수산생명공학기술개발사업’을 추진 중이며, 해양수산생명공학의 기술경쟁력 확보 및 산업화 성과 창출을 위해, 국내외 해양생명자원확보, 해양생물을 활용한 건강기능 식품, 화장품, 의료용 신소재 및 바이오 에너지 원천기술 및 산업화 기술 개발의 세부과제를 추진함
 - (해양수산생명자원 확보 및 활용기반 구축) 국내외 해양수산생명자원의 확보, 효율적인보존 및 관리, 유용자원의 활용 연구
 - (해양수산바이오 신소재 개발) 해양수산생물이 생산하는 유용한 대사물질과 생체기능을 이용한 산업용 바이오 신소재 개발
 - (해양바이오 에너지 개발) 해양생물 유래 친환경 바이오에너지(바이오수소 및 디젤) 생산원천기술 확보 및 대량생산 체계 구축
 - (해양생명현상 활용 연구) 해양생물의 생명현상, 환경적응 기작 및 신규 생물소재로서의 활용 가능성을 규명하고, 유용 생명시스템 개발

11) 자율운항선박, 스마트 해상물류, 스마트 양식

12) 해양에너지, 해양바이오, 해양장비·로봇, 친환경 선박, 수산양식

〈표 2-13〉 해양생명공학 핵심 기술분야

구분	주요 내용
해양수산생명자원 확보 및 활용기반구축	국내외 해양수산생명자원을 확보·보존하고 자원의 정보화 및 통합 DB 구축
해양수산바이오신소재 개발	유용한 해양수산생물이 생산하는 대사물질 또는 생체 기능을 이용한 산업용 바이오 신소재 개발
해양바이오에너지개발	해양생물 유래 친환경 바이오에너지(바이오알콜, 디젤 및 수소) 생산원천기술 확보 및 대량생산
해양생명현상활용연구	해양생물자원 및 유전자원을 활용하여 생명현상 기능 규명 등 유용 생명시스템 개발
포스트게놈 다부처 유전체	유용 유전자원의 산업적 가치 발굴을 위한 해양생물 전장유전체 대량 해독 및 발굴, 수산양식생물 고부가가치 신제품 개발을 위한 유용유전자 확보
해양바이오 전락소재 개발	해양생물자원을 대상으로 제품개발에 활용가능 한 핵심성분(지표성분, 효능성분 등)을 지닌 소재개발
대량생산시스템 및 고도화 공정개발	산업적 활용가치가 높은 해양생물 유래 유용물질 대량 생산 및 고도화, 소재의 표준화 및 대량생산공정 시스템 개발
기술 상용화 지원	대량생산이 가능한 유용 해양생물소재의 작용 기전(대사과정) 연구 및 제품화 연구

자료: 과학기술정보통신부(2019), 2019 생명공학백서

〈표 2-14〉 해양생명공학기술개발사업 투자계획 및 현황

(단위: 백만 원)

세부사업/내역사업	'16년까지	'17년예산	'18년예산	'19년예산	20년예산
해양수산생명공학 기술개발	231,358	30,558	30,242	24,892	11,292
해양수산생명자원 확보 및 활용기반 구축	55,659	8,058	7,922	7,918	6,766
해양수산바이오 신소재 개발	85,537	12,462	12,550	11,036	3,399
해양바이오에너지 개발	52,353	8,838	8,400	3,783	-
해양생명현상활용 연구	37,809	1,200	1,370	1,152	672
기획평가관리비	-	-	-	1,003	455

자료: 해양수산부(2019), 2020년 해양과학기술육성 시행계획

3) 해양바이오산업 육성

- 해양바이오산업은 해양생명자원과 해양생명공학 기술에 대한 의존성이 높은 분야로서, 해양생물 확보를 위해서는 해양에 접근하기 위한 선박 등 전문 인프라가 필요하며 산업화를 위한 자원의 대량 확보에 어려움이 있음
- 이러한 배경 하에 해양수산부는 해양바이오 산업진흥을 위해 산업화 기반 정책을 추진하였으며, 2016년 해양 바이오산업 분류체계를 마련하고, 2017년

1월부터는 국내 해양바이오기업의 기술수준, 매출액, 보유인력 등 현황 파악을 위한 해양바이오 산업 실태조사를 실시함

- 아울러 해양수산부 산하 국립해양생물자원관의 전문인력과 확보된 유용 해양생물 자원을 활용하여 산업화 헬프데스크를 구축하고, 해양생명자원 정보, 기술 산업화 정보서비스 및 산업화 지원 컨설팅 등을 제공함

○ 2018년 해양바이오 산업육성 전략을 수립하여 체계적 자원 확보 기반구축, 자원통합관리 및 활용도 제고, 맞춤형 R&D 추진, 해양바이오산업 생태계 조성을 위한 정책을 마련함

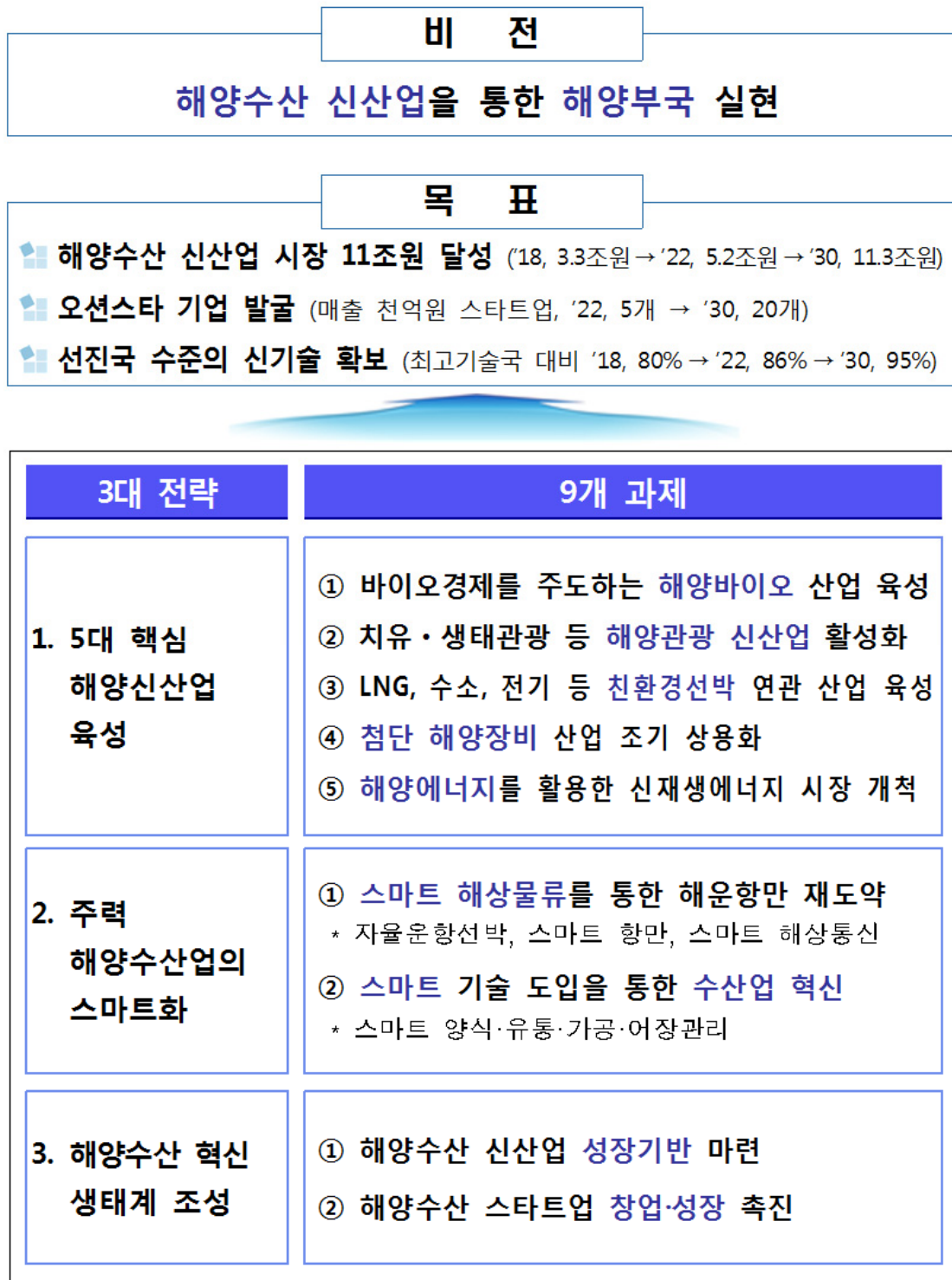
- 해양바이오 산업육성 전략은 국가차원의 육성전략 수립을 통해 태동기 단계인 해양바이오 산업을 선점하여 신성장 동력으로 발전시키고 양질의 일자리도 창출한다는 계획을 제시함

- 특히 2019년에는 기업중심의 소규모·경쟁형 R&D 추진을 통해 소재 대량생산 시스템 구축 및 실용화 성과창출에 집중하고 있음

○ 2019년 ‘해양수산 신산업 전략’에서는 2030년까지 11.3조원의 해양수산 신시장 창출하고, 20개의 오션스타 기업(매출 천억 원 달성 기업) 발굴, 최고기술국 대비 95% 수준의 해양수산 신기술 확보 목표로 하는 해양정책을 발표함

- 5대 핵심 신산업: ①해양바이오 산업, ②치유·생태관광 등 해양관광 신산업, ③친환경선박 연관산업, ④첨단해양장비 산업, ⑤해양에너지 산업

〈그림 2-7〉 해양수산 신산업 전략의 비전과 목표



자료: 해양수산부(2019). 해양수산 신산업 전략, 보도자료

제5절 해양바이오 신소재산업

1. 해양바이오 신소재산업

- 해양바이오 신소재산업은 해양수산 신소재개발 기술을 활용하여 해양바이오 자원, 식품, 의약, 화학, 환경, 에너지 제품을 생산하거나 서비스를 제공하는 산업으로 정의할 수 있음
 - 해양바이오 신소재는 기본적으로 의약품, 식품, 생활용품, 산업용품 등의 제조원료 또는 중간체로 제공되기 위해 분리된 모든 화합물을 지칭하며, 경우에 따라서는 2차 가공을 거치지 않고 직접 상품으로 이용되는 경우도 포함
- 해양수산부의 해양수산과학기술분류체계에서 해양수산 신소재기술은 '해양수산물에서 생산하는 대사물질이나 생체기능을 이용한 산업적 신소재 개발'로 정의되고 있음
 - 해양수산 신소재기술은 기능성소재 개발기술, 의약소재 개발기술, 환경에너지 소재 개발기술, 기타 해양수산신소재 개발기술을 포함
 - 해양수산물 유래물질이나 대사산물을 이용하여 기능성을 가진 유용한 소재 개발, 항암 등 약리적 기능을 가지는 의약소재 개발, 산업적 신소재 및 에너지 자원소재 개발 기술을 의미
- 최근에는 식품, 화장품, 의약품분야에서 상호간의 기술 및 소재를 공통적으로 포함하는 융합산업(Fusion Industry)의 형성이 급증하고 있는데, 약효식품(Nutraceuticals), 코스메디컬(Cosmeceuticals), 미용식품(Beauty Foods), 분자신 의약, 바이오신약 등 새로운 융합 신산업군을 형성하는 추세로 성장 잠재력이 부각되고 있음

2. 해양바이오 신소재산업 특성

(1) 해양바이오 신소재의 기술적 특성

- 해양바이오 신소재 기술은 높은 기술수준과 자본이 요구되는 대표적인 하이리스크 하이리턴(High-Risk, High-Return) 연구개발 분야임
- 해양생물의 특성, 즉 해양생물 확보를 위한 접근의 제한성, 해양생물의 다양성, 해양환경 및 해양생태계의 특이성 등에 기초해 기존 생명공학 연구와 차별화된 전략적 연구 추진이 필요
- 해양생물은 육상생물과 기본적인 구조나 기능은 비슷하지만 수중환경에 적응하기 위한 독특한 특징을 갖고 있음
 - 해양에서는 친냉성, 빈영양성, 호염성, 친압성 등의 특성을 지닌 해양미생물과 해조류, 해양동물 등이 서식
- 해양생물에는 지금까지 알려지지 않았던 유용한 유전자원이 존재할 것으로 판단되어, 다양한 고부가가치 기능성 소재의 자원이 될 것으로 예견되고 있음
 - 해양미생물, 미세조류 등은 산업 특성에 맞는 유용물질의 효율적 생산을 가능하게 하는 유전자 재조합이 용이한 측면을 가지고 있음

(2) 해양바이오 신소재의 산업적 특성

- 해양바이오 신소재산업은 유용한 자원 또는 원료 생산, 자원과 원료를 가공·제조하기 위한 제조 공정, 생산된 신소재를 활용한 제품생산 등으로 구성
- 해양바이오 신소재산업은 해양바이오산업 전반에 걸쳐 관련되어 있어 해양생물 자원 및 광물자원 유래소재 발굴, 가공 및 공정 등의 산업전반을 포함하고 있음
- 자원 및 원료를 활용한 소재개발 부분은 기초연구로 국가연구기관 및 대학에서 주도적으로 진행되고 있으며, 개발된 원천 기술이 관련 기업으로 이전되어 산업화가 진행되고 있음
 - 산업화 단계에서 중소기업 위주의 제품화가 이루어지며 대기업은 아웃소싱형태로 참여하여 중소기업의 제품을 활용한 완전 소비재(화장품, 의약품, 기능성 제품) 등을 생산
- 해양바이오 신소재산업의 산업구조는 해양바이오 신소재 원료를 기준으로 전방산업과 후방산업으로 구분할 수 있음

- 전방산업: 해양바이오 신소재 원료를 생산하는 수산양식업, 미세조류 배양업, 기초원재료 생산 등
- 후방산업: 건강 기능성 식품, 화장품, 의약품, 기타산업(해양바이오 신소재를 원료(향료, 도료, 색소 등)로 활용한 제품)

〈표 2-15〉 해양바이오 신소재산업의 연관구조

전방산업	해양바이오 신소재산업	후방산업
수산양식 미세조류 배양 기타 원재료 생산	해양바이오 신소재 개발 해양바이오 신소재 생산 해양바이오 신소재 가공	기능성 건강식품 기능성 화장품 천연 의약품 의료 첨가제 등

자료: 권혁준 외(2019), 경상북도 해양바이오 신소재산업 육성방안

3. 해조류를 이용한 바이오신소재

(1) 해조류와 바이오신소재

- 해양바이오 산업용 신소재는 해양생물을 이용하는 신소재를 개발 이용하는 것으로 대표적으로 우리가 일상에서 쉽게 보고 있는 해조류와 미생물 효소가 다양한 분야에서 많이 이용되고 있는데 해조류의 종류는 다음과 같음
 - 갈조류는 조류 중에서 가장 잘 분화된 체계를 가지고 있고, 극히 소수를 제외하고는 모두 바다에 살고, 크기는 큰 것은 수십 미터에 달하는 것도 있고, 매우 빠른 성장속도를 나타내며, 산업적으로 중요한 종류가 많은데 대표적인 것으로 미역, 다시마, 모자반, 바탕말 등이 있음
 - 녹조류는 서식환경에 따라 담수산과 해산 녹조류로 구분하고, 생존방식에 따라 부유성과 고착성으로 구분되고, 갈파래, 파래와 대마디말과 같은 녹조류는 조간대 상부에 서식하지만, 초록갈파래는 해저 10~30m에서 서식함
 - 우리나라 연안에 분포하는 약 600종의 저서 해조류 중 홍조류가 70%를 차지하고 있는데 대부분이 바다에 살며 적색 또는 적자색을 띠고 조간대 하부, 해수가 고여 있는 조수 웅덩이, 약한 빛이 있는 곳이나 다른 해조류로 덮여 있는 그늘진 곳에서 주로 서식하고 있으며, 대표적인 것으로

톳, 개도박, 개서실 등이 있음

- 해조류는 해양에서 광합성 생물을 통칭하는 것으로서, 어떤 특정한 분류군을 지칭하는 분류학적 용어가 아니라 매우 다양한 분류군을 포함하는 광의적인 일반 용어로서 미세조류(micro-algae)와 대형해조류(macro-algae)로 분류
 - 홍조류인 우뭇가사리에서 추출한 한천으로 미생물용 배지와 의료 시약 및 샴푸, 크림, 화장수 등의 소재로 이용하고 있음
 - 녹조류인 파래로부터 환경오염키트를 개발하여 수질관리 영역에 있어서 생태독성 진단에 적용하고 있음
 - 규조류¹³⁾는 정수기용 필터, 음향기 스피커, 살충제, 방부제, 에나멜 광택제 등으로 이용함
 - 미세조류는 건강식품의 소재로 큰 각광을 받고 있으며, 이를 이용하여 다당류, 올리고당, 레반, 후고이단 등을 포함한 다양한 생리활성 물질들을 생산하고 있음

〈표 2-16〉 해조류의 구분

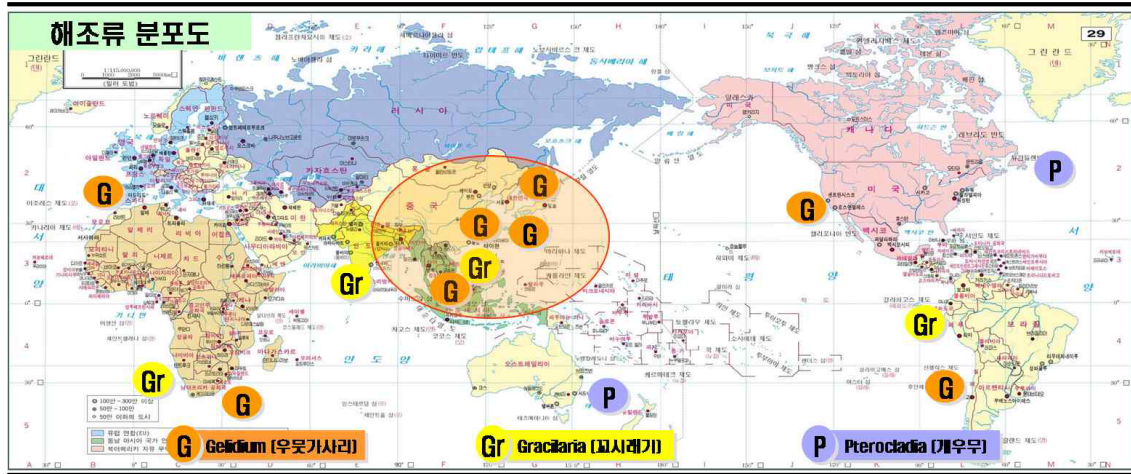
구분	미세조류(Microalgae)	대형 해조류(Macroalgae)
크기	현미경적 크기	육안으로 볼 수 있는 크기
분류군	갈조류를 제외한 모든 분류군에 속함	녹조류, 갈조류, 홍조류로 대별
서식환경	해양 및 담수	대부분 해양
대표종	담수산(Chlorella, Scenedesmus 등) 해수산(Tetraselmis, Nannochloropsis 등)	미역, 다시마, 모자반, 김, 우뭇가사리, 파래 등
생산방식	실내에서 배양조 이용	현행 해조류 양식방법(건홍식 등)
주 대상성분	지질	탄수화물

자료: 국립수산물연구원 해조류연구센터 농림수산물식품부 양식관리과 회의자료(2009. 4)

- 해조류의 세계분포는 다음 그림과 같으며, 해조류 중에서 양식되고 있는 분류군은 5개 속에 국한되어 있는데 구체적으로는 홍조류에 속하는 김속(Porphyra), 유큐우마속(Eucheuma) 및 꼬시래기속(Gracilaria)과 갈조류에 속하는 다시마속(Laminaria) 및 미역속(Undaria)임

13) 돌말류 또는 규조류(硅藻類, Diatom)는 해양성 독립영양 원생생물로 약 100,000여종으로 추정될 정도로 흔한 식물성 플랑크톤의 한 종류임

〈그림 2-8〉 해조류 분포도



자료: 완도군 홈페이지(<http://www.wando.go.kr/expo/seaweed/meaning>)

- 해조류는 식품(음료, 식자재, 주류 등) 식용으로 활용될 뿐만 아니라, 사료, 미용 화장품, 건강기능성 식품, 해수 정화, 공업, 의약, 제지 등에도 다각적으로 이용되고 있음(〈표 2-17〉 참조)

〈표 2-17〉 해조류 이용분야

이 용 분 야	대 상 해 조 류 예
자연생태계 복원, 수산자원 회복(산란장, 바다목장)	모든 해조류
식품, 식품첨가물, 기능성 건강식품, 음료, 주류 등	김, 다시마, 미역, 우뚝가사리 등
사료	미역, 다시마, 톳 등
해조육 요법	갈조류, 홍조류
미용·화장품	김, 갈조류
화학공업, 식품가공, 한천공업, 염료공업, 의약, 제지·섬유공업	꼬시래기류, 갈조류, 홍조류, 녹조류 등
바이오에너지(바이오티셀, 바이오에탄올 등)	갈조류, 녹조류, 홍조류 등
하이테크(초전도세라믹 섬유)	갈조류
바이오센서(세포선택, 조직화학, 면역학 조사 등)	김 등
이산화탄소 저감	미역, 다시마 등
생리활성 물질(기능성)	다시마, 미역, 김, 우뚝가사리, 감태 등

자료: 한국해양수산개발원(2009), 해조류양식의 바이오산업화를 위한 전략과 정책방향

- 해조류 관련 산업을 분류하면, 해조류는 크게 식용부문과 비식용 부문으로 분류할 수 있음

- 식용 부문: 유용 해조류를 대량 생산하는 양식 산업과 해조류를 원료로 사용하여 건강기능식품, 발효식품, 식품첨가물 등을 생산하는 식품산업
- 비식용 부문: 생물의약품산업, 생물화학산업, 생물환경산업, 바이오에너지산업 등

〈표 2-18〉 해조류 관련 산업의 분류

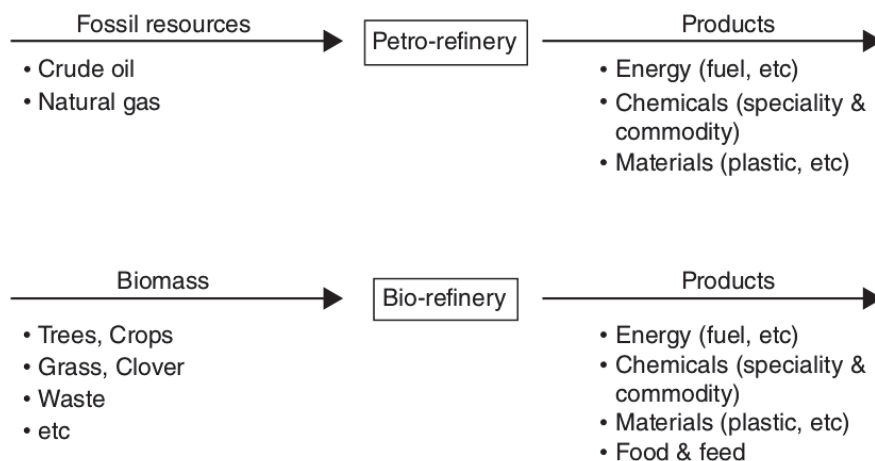
부 문		주요 내용
식용 분야	양식산업	유용 해조류 자원의 생산(김, 미역, 다시마, 우뚝가사리 등)
	식품산업	해조류자원을 이용한 건강기능식품, 발효식품, 식품첨가물, 사료 첨가제, 기타바이오식품(다시마환, 다시마국수, 조미김 등)
비식용 분야	생물의약품산업	해조류의 유용생리기능성을 활용한 각종 의약품 소재 및 제품
	생물화학산업	해조류자원을 활용한 고분자재료, 산업용 및 연구용 시약류, 바이오화장품 및 생활화학품, 생물농약및비료, 펄프및제지등
	생물환경산업	해조류 자원을 이용한 생물환경 제품(바이오 플라스틱 등)
	바이오에너지 산업	해조류 자원을 이용한 바이오연료(바이오디젤, 에탄올), CO2저감 CDM인증

자료: 한국해양수산개발원(2009), 해조류양식의 바이오산업화를 위한 전략과 정책방향

(2) 해조류를 이용한 바이オリ파이너리

- 바이オリ파이너리(Bio-refinery)란 석유화학산업에서 오일리파이너리(Oil-refinery)와 유사한 개념으로 바이오매스를 원료로 바이오테크놀로지(Bio-technology)를 이용하여 바이오연료, 바이오에너지, 바이오 기반 생산물을 만드는 종합적인 플랜트 시스템을 말하는데 〈그림 2-9〉가 이를 잘 나타내 주고 있음

〈그림 2-9〉 바이オリ파이너리와 오일리파이너리 비교



자료: Clark and Deswarte(2015)

- 생태계에서 생산한 모든 유기물질과 더불어 이들의 가공공정 등에서 발생하는 모든 원료 유기물질로 정의되는 바이오매스의 변천을 살펴보면, 제1세대 바이

오매스는 곡물을 이용하여 만들었고, 제2세대 바이오매스는 비식용 곡물, 폐기물, 잡초 등을 이용하여 만들었으며, 제3세대 바이오매스는 해조류로 만들었고, 제4세대 바이오매스는 식물기름 등에 기반하고 있음

○ 거대조류(갈조류, 홍조류, 녹조류)와 미세조류 등 해조류 바이오매스는 곡물 바이오매스에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있음

- 첫째, 해양으로부터 풍부한 양의 비식용 원료를 수확할 수 있어 낮은 단가로 바이오에너지를 생산할 수 있어 경제적임
- 둘째, 바이오매스를 위한 해조류의 연안해 양식은 질소, 인 같은 무기질의 농도를 감소시키고 용존산소를 해수에 공급하여 부영양화로부터 연안을 보호할 수 있음
- 해조류는 광합성 암반응 작용을 통한 이산화탄소의 흡수 능력이 식물에 비해 월등히 높아 효율적인 온실가스 저감효과가 있음

○ 바이오기술은 그린 바이오(Green BT), 레드 바이오(Red BT), 화이트 바이오(White BT)로 구분되는데 화이트 바이오의 핵심기술이 바이오리파이너리임

- 그린 바이오(Green BT) : 농업, 임업, 수산업에서 기능성 소재 및 제품 생산, 식품종자개발 및 환경 제어와 관련된 바이오기술
- 레드 바이오(Red BT) : 의약품 및 질병의 예방, 진단 및 치료와 관련된 바이오기술
- 화이트 바이오(White BT) : 바이오에너지와 석유기반 화학제품을 대체할 수 있는 친환경제품을 생산하는 바이오기술

○ 바이오리파이너리에서 진행되는 활동은 크게 3 단계로 구분할 수 있음

- 1단계 : 바이오매스를 바이오리파이너리에서 처리하기 편한 상태로 공급하기까지 필요한 활동
- 2단계 : 바이오매스를 플랫폼 화합물(platform molecules)¹⁴⁾ 등으로 바꾸는 전환공정/기술개발 과정으로 주로 사용하는 공정은 생화학적 전환과

14) Farmer and Mascal(2015)은 바이오매스를 바탕으로 만드는 기본요소 화합물(building block chemicals)을 플랫폼 화합물이라고 정의하고 있는데 20세기 후반에 바이오매스에서 작고 간단한 화합물을 만들고 이를 기반으로 가치가 높은 화합물을 생산하는 것이 가능해지면서 플랫폼 화합물이라는 개념이 탄생

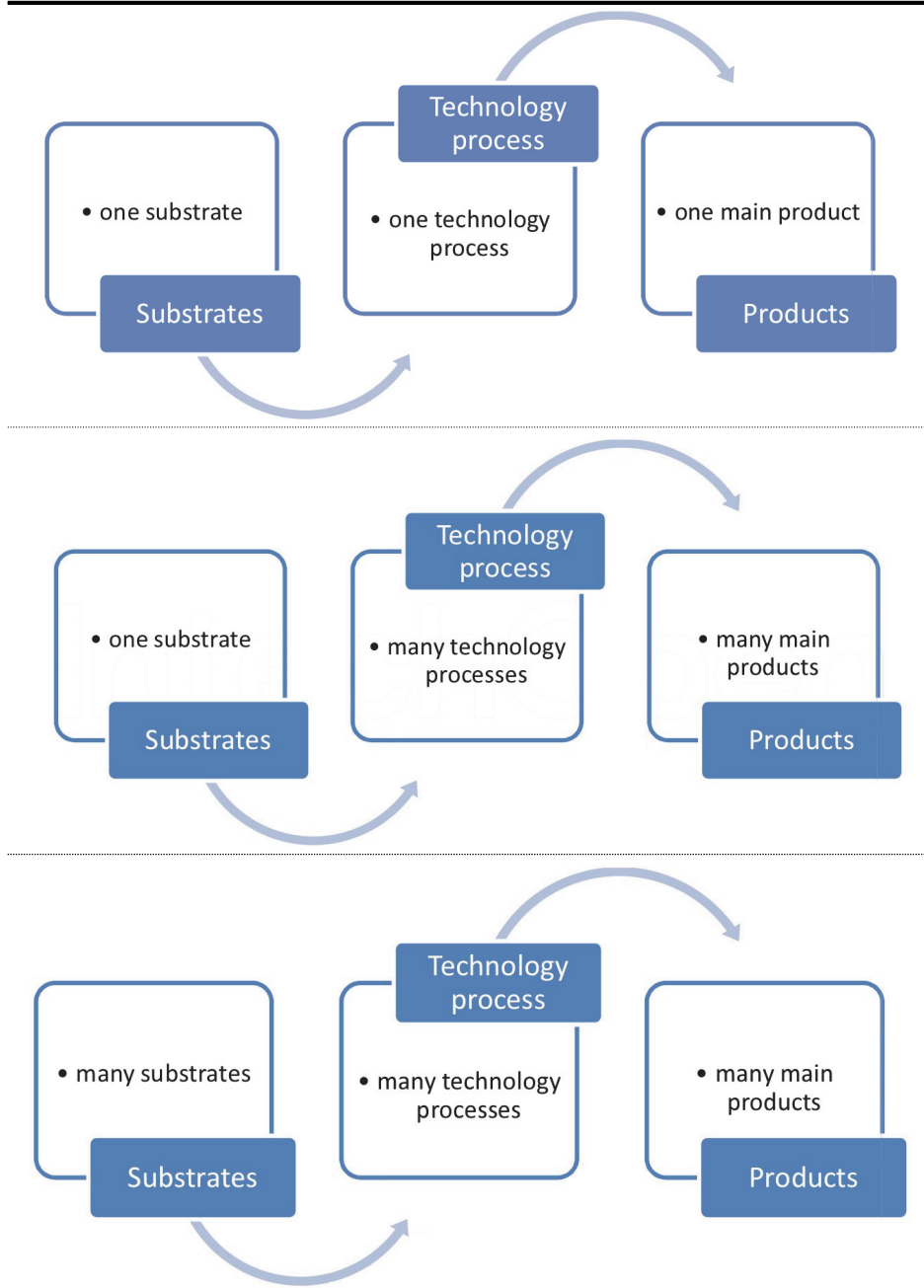
화학적 전환 그리고 열화학적 전환임

- 3단계 : 플랫폼 화합물에서 바이오 연료와 바이오 화학제품 같은 바이오 기반 생산물을 만드는 제품개발 과정

○ 바이오리파이너리는 기본원료, 공정, 생산물의 개수를 중심으로 3가지로 분류되는데 <그림 2-10>과 같음

- 제1단계 바이오리파이너리 : 기본원료와 전환공정과 최종 생산물이 모두 1가지인 바이오리파이너리로 예를 들면, 식물성 기름을 이용하여 바이오 디젤을 생산하는 바이오리파이너리가 있음
- 제2단계 바이오리파이너리 : 기본원료는 한 가지이지만 전환공정과 최종 생산물이 다수인 바이오리파이너리로 예를 들면, 시리얼 곡물을 기초원료로 투입하고 전처리과정, 효소공정(enzymatic process), 발효 등과 같은 복수의 전환공정을 거쳐, 단백질, 유기산(organic acids), 식이섬유(dietary fibres) 등과 같은 여러 종류의 생산물을 만드는 바이오리파이너리가 있음
- 제3단계 바이오리파이너리 : 기본원료와 전환공정 그리고 최종 생산물도 복수인 바이오리파이너리로 예를 들면, 목질바이오리파이너리, 곡물바이오리파이너리, 그린바이오리파이너리, 해양바이오리파이너리 등이 있음

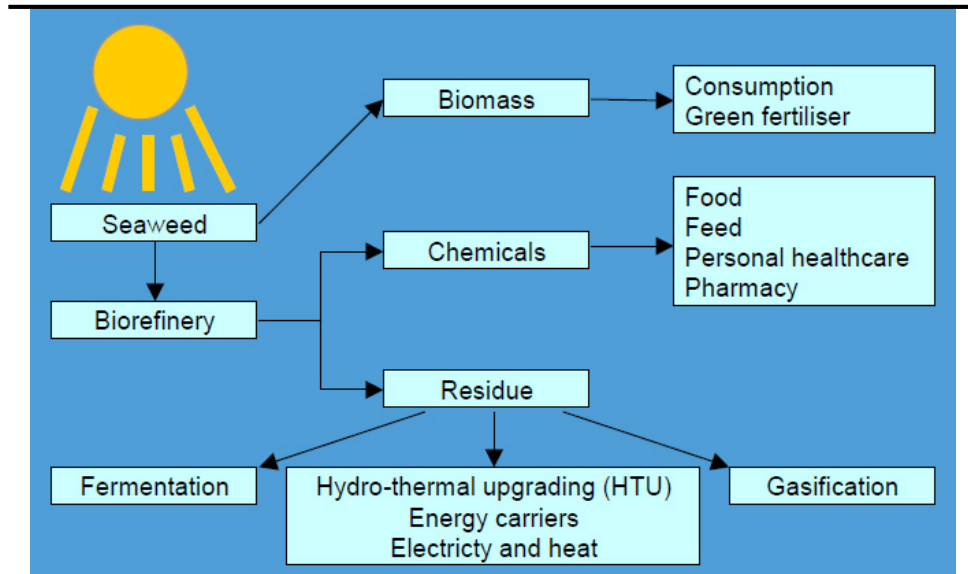
〈그림 2-10〉 바이오리파이너리의 분류



자료: Biernat and Grzelak(2015)

- 해조류로부터 유용물질(식품, 의약품, 화장품 원료 등)을 회수하고 그에 따른 부산물(Residue)을 이용하여 바이오에너지(에탄올, 가스 등)를 추출하는 과정을 도식화하면 〈그림 2-11〉과 같음

<그림 2-11> 해조류를 이용한 바이오소재 및 바이오에너지 공정 과정

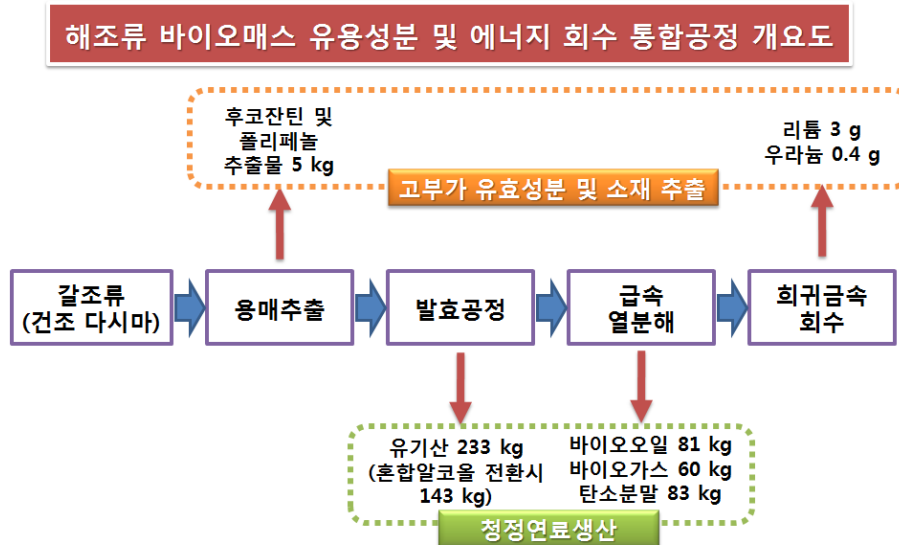


자료: Willem A. Brandenburg(2016), Sustainable farming at sea, Wageningen University

- 2010년 농림수산식품부는 ‘해조류 바이오매스의 에너지화 및 통합적 활용 기반구축 연구’를 통하여 해조류 바이오매스로부터 고부가 바이오소재 및 에너지를 회수하는 통합기술을 구성을 실현¹⁵⁾
 - 국내외 최초로 해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술을 확보
 - 건조 다시마 1톤(기준)을 용매추출하여 부가가치가 높은 유용성분인 후코잔틴 및 폴리페놀 추출물 5kg을 회수하였고, 남은 고형물 975kg을 미생물로 무산소 발효시켜 혼합유기산 233kg(혼합알코올 전환시 143kg)을 생산
 - 유기산은 분리정제해서 화학원료로도 사용할 수 있고, 혼합알코올(에탄올, 프로판올, 부탄올 등이 주된 성분임)로 간단한 화학적 처리에 의해 전환되어 자동차의 청정연료로 사용될 수 있음
 - 혼합유기산을 얻은 후 남은 슬러지 230kg을 급속열분해시켜 바이오오일 81kg을 얻음
 - 최종적으로 희귀금속 리튬(3g)과 우라늄(0.4g) 등을 회수함

15) 농림수산부(2010), 해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치 소재 동시생산기술 최초확립, 보도자료

〈그림 2-12〉 해조류 바이오매스 유용성분 및 에너지 회수 통합공정 개요도

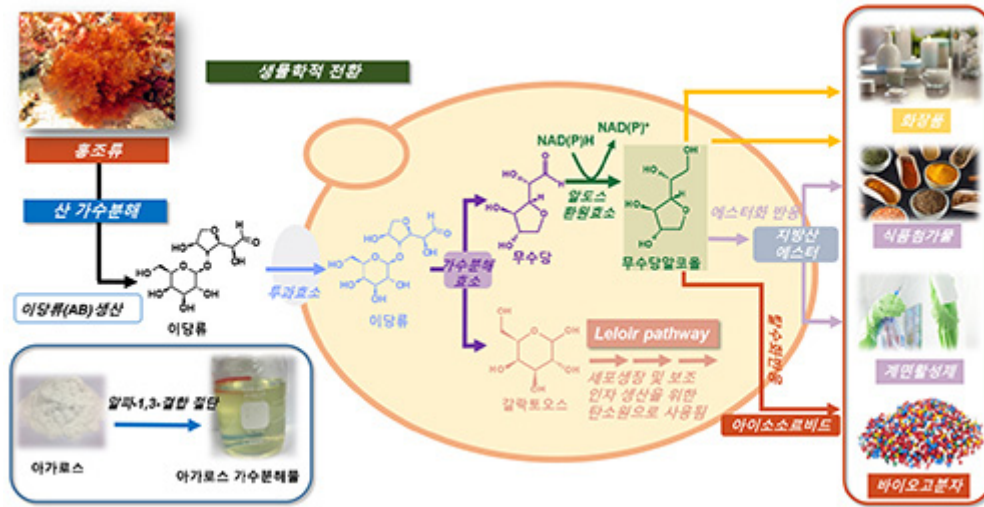


자료: 농림수산부(2010), 해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치 소재 동시생산기술 최초확립, 보도자료

- 2020년 식품공학과 김경현 교수(김동현 박사, 윤은주 박사, 유소라 박사과정)와 미국 일리노이대 진용수 연구팀(이재원 박사, Jing Jing Liu 박사)은 공동 연구를 통해 홍조류 자원을 이용하여 바이오에너지 및 바이오화학물질을 생산하는데 성공¹⁶⁾
- 홍조류의 대표 다당류인 아가로스로부터 무수당을 손쉽게 생산할 수 있는 화학 공정 및 생산된 무수당의 알데하이드 그룹을 생물학적으로 환원을 시킬 수 있도록 대사공학기법을 이용한 재조합 효모를 만들어서 생물학적 공정을 통해 열 안정성이 높은 알코올 형태인 무수당알코올(AHGoI)로 전환할 수 있는 통합 공정을 구축
- 이 무수당알코올은 비누, 화장품, 의약품, 살충제 등에 사용되는 중요한 플랫폼 화합물인 지방산에스테르로 전환 될 수 있어 의미가 크며, 물 한 분자를 더 제거함으로써, 플라스틱, 습윤제, 협심증 치료제 등에 사용되는 범용 화합물인 이소소르비드(isosorbide)로 전환될 수도 있음

16) 고려대학교 식품공학과 홈페이지(<https://foodscience.korea.ac.kr/foodscience>)

<그림 2-13> 아가로스로부터 새로운 플랫폼 화합물을 생산할 수 있는 통합적 공정 과정



자료: 고려대학교 식품공학과 홈페이지(<https://foodscience.korea.ac.kr/foodscience>)

제3장 제주-서해안벨트 여건 및 환경

제1절 제주-서해안벨트 해양바이오 현황

1. 해양바이오 기업

- 2016년 국내 해양바이오 사업체의 지역별 분포를 살펴보면 서울이 102개 (25.8%)로 가장 높게 나타나고 있으며, 경기(69개, 17.4%), 부산(54개, 13.6%), 전남(32개, 8.1%), 충북(28개, 7.1%) 순으로 조사됨
- 제주지역은 18개 사업체가 소재하고 있어, 17개 광역자치단체 중 6번째로 높은 비중(4.5%)을 차지하고 있음
 - 제주지역 사업체를 업종별로 살펴보면 식품(12개, 66.7%)이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 화학(3개, 16.7%), 연구개발(3개, 16.7%) 등으로 나타남
 - 전국에서 제주지역 사업체가 차지하는 비중을 업종별로 살펴보면 연구개발 7.9%, 식품 6.7%, 화학 4.5%로 나타남
- 제주-전남-인천 등 제주-서해안벨트에는 총 65개의 사업체가 소재하고 있으며, 전국에서 대비 비중은 16.4%로 나타남
 - 제주-서해안벨트 사업체를 업종별로 살펴보면 식품부문이 36개(55.4%)로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 화학(17개, 26.2%), 연구개발(8개, 12.3%), 의약 및 에너지 각각 2개(3.16%)의 순으로 나타남
 - 전국에서 제주-서해안벨트 사업체가 차지하는 비중을 업종별로 살펴보면 에너지 50.0%, 연구개발 21.1%, 식품 20.0%, 화학 15.9%, 의약 3.0%로 나타남

〈표 3-1〉 국내 해양바이오 기업 지역별 분포 현황(2016년)

(단위: 개)

구분	합계	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	세종
전체	396	102	54	4	15	-	8	2	1
식품	180	50	21	1	2	-	4	2	-
의약	67	19	2	-	2	-	1	-	1
화학	107	30	22	2	9	-	3	-	-
에너지	4	1	-	-	1	-	-	-	-
연구개발	38	2	9	1	1	-	-	-	-

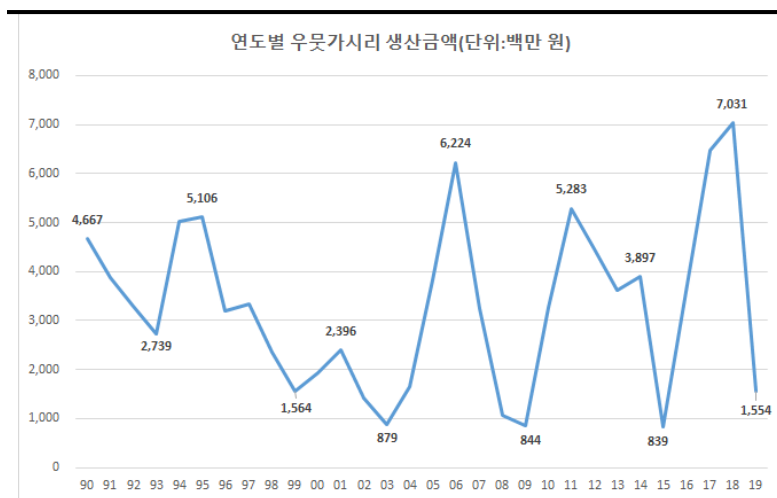
구분	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
전체	69	17	28	15	4	32	14	13	18
식품	25	8	12	7	3	22	3	8	12
의약	25	1	12	4	-	-	-	-	-
화학	16	3	3	2	-	5	5	4	3
에너지	-	-	-	-	-	1	1	-	-
연구개발	3	5	1	2	1	4	5	1	3

자료: 해양수산부(2018), 2016 해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업

2. 우뚝가사리 생산

- 우뚝가사리는 하천의 유입이 없고 외양에 면한 곳에 잘 생육하며 주요 채취기는 5-6월임
- 우뚝가사리는 양식이 거의 이루어지지 않고 자연적으로 채취하여 생산되고 있음
- 우뚝가사리 생산 현황(생산금액 기준)을 살펴보면 <그림 3-1>과 같음
 - 1990년 4,667백만 원에서 1993년 2,739백만 원으로 하락하다가 1995년 5,106백만 원으로 반등한 이후 하락하는 추세를 보여 2003년 879백만 원까지 하락함
 - 2003년 이후 2019년까지 4-6년의 주기로 큰 폭의 순환을 보였는데 2018년 7,031백만 원으로 최고 수준에 달하였고 2019년은 1,554백만 원으로 급락함

<그림 3-1> 연도별 우뚝가사리 생산금액



○ 제주지역의 생산 현황(생산금액 기준)을 살펴보면 <표 3-2> 및 <그림 3-2>와 같음

- 1990년 2,839백만 원으로 전국에서 차지하는 비중은 60.8%였는데 이후 상승하는 추세를 보여 2000년은 1,892백만 원으로 98.4%, 2002년 100%에 달하였으나 이후 하락하여 2005년 2,399백만 원으로 62.8%까지 하락
- 2005년 이후 2015년까지 큰 폭의 변동을 보이며 등락을 거듭하다가 2016년 90%, 2017년 92.9%, 2018년 99.5%, 2019년 95.9%에 이르는 등 큰 폭의 변동 없이 90% 이상을 유지하고 있음

○ 한편, 제주-전남-인천 등 서해안벨트의 생산 현황(생산금액 기준)을 살펴보면 1990년 74.0%, 2005년 62.8%, 2009년 72.0% 등 3개년을 제외하고는 85% 이상의 높은 비중을 유지하고 있음

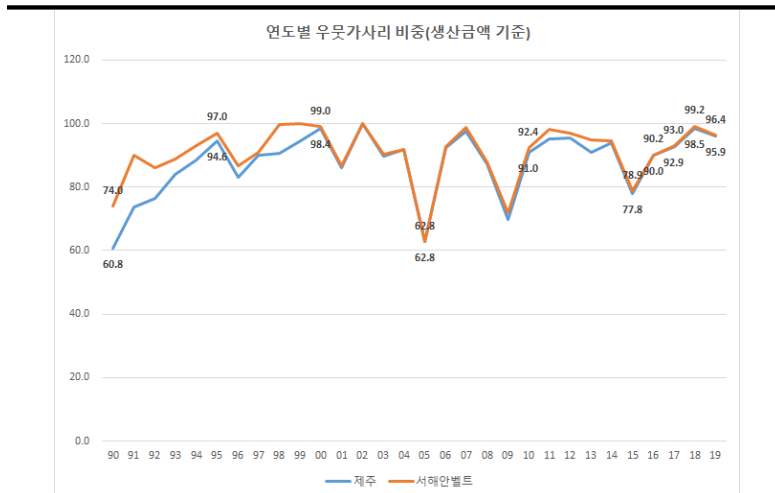
<표 3-2> 우뭇가사리 생산금액

(단위 : 백만 원, %)

구분		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
전남		614	122	12	3	44	9	7
제주	금액	2,839	4,833	1,892	2,399	2,980	653	1,491
	비중	60.8	94.7	98.4	62.8	91.0	77.8	95.9
서해안벨트	금액	3,453	4,955	1,904	2,402	3,024	662	1,498
	비중	74.0	97.0	99.0	62.9	92.4	78.9	96.4
전국		4,667	5,106	1,923	3,821	3,273	839	1,554

자료: 어업통계생산, KOSIS.

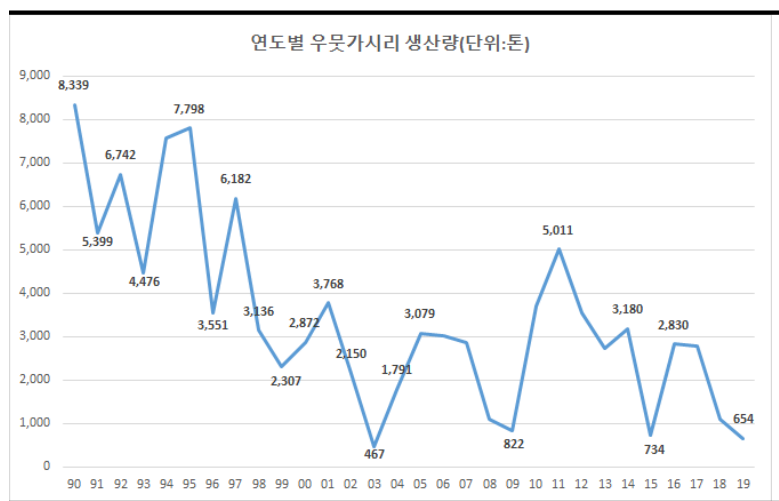
<그림 3-2> 연도별 우뭇가사리 비중(생산금액 기준)



○ 우뭇가사리 생산 현황(생산량 기준)을 살펴보면 <그림 3-3>과 같음

- 1990년 8,339톤에서 큰 폭의 순환을 보이면서 하락하는 추세를 보여 2003년 최저 수준인 467톤까지 하락함
- 2003년 이후 2019년까지 4~6년의 주기로 큰 폭의 순환을 보이면서 약간 상승하는 추세를 보여 2011년 5,011톤으로 최고 수준에 달하였고 2019년은 654톤으로 급락함

<그림 3-3> 연도별 우뭇가사리 생산량



○ 제주지역의 생산 현황(생산량 기준)을 살펴보면 <표 3-3> 및 <그림 3-4>와 같음

- 1990년 4,506톤으로 전국에서 차지하는 비중은 54.0%였는데 이후 상승하는 추세를 보여 2000년은 2,831톤으로 98.6%, 2002년은 100%에 달하였으나 이후 하락하여 2005년 2,152톤으로 69.9%까지 하락
- 2005년 이후 2015년까지 큰 폭의 변동을 보이며 등락을 거듭하다가 2016년 86.6%, 2017년 87.1%, 2018년 92.4%, 2019년 91.6%에 이르는 등 큰 폭의 변동 없이 90% 이상을 유지하고 있음

○ 한편, 제주-전남-인천 등 서해안벨트의 생산 현황(생산량 기준)을 살펴보면 1990년 66.9%, 1992년 84.5%, 1997년 81.7%, 2003년 79.7%, 2005년 70.0%, 2009년 79.7%, 2015년 76.6% 등 7개년을 제외하고는 85% 이상의 높은 비중을 유지하고 있음

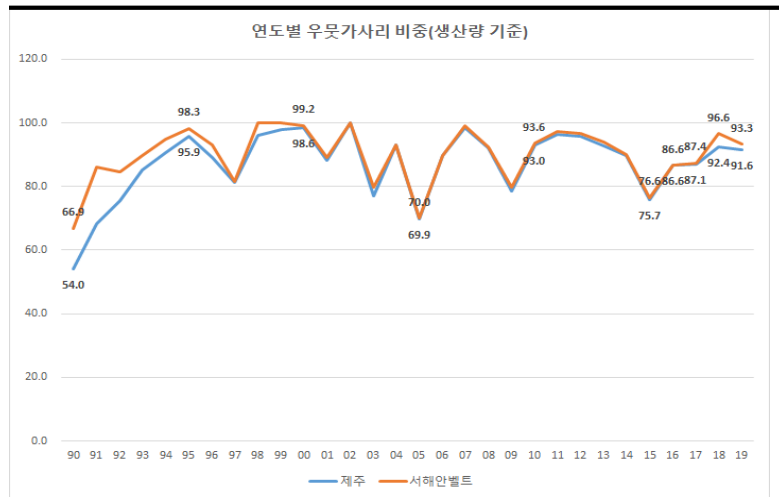
〈표 3-3〉 우뚝가사리 생산량

(단위 : 백만 원, %)

구분		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
전남		1,070	192	18	4	23	6	11
제주	금액	4,506	7,477	2,831	2,152	3,455	556	599
	비중	54.0	95.9	98.6	69.9	93.0	75.7	91.6
서해안벨트	금액	5,576	7,669	2,849	2,156	3,478	562	610
	비중	66.9	98.3	99.2	70.0	93.6	76.6	93.3
전국		8,339	7,798	2,872	3,079	3,715	734	654

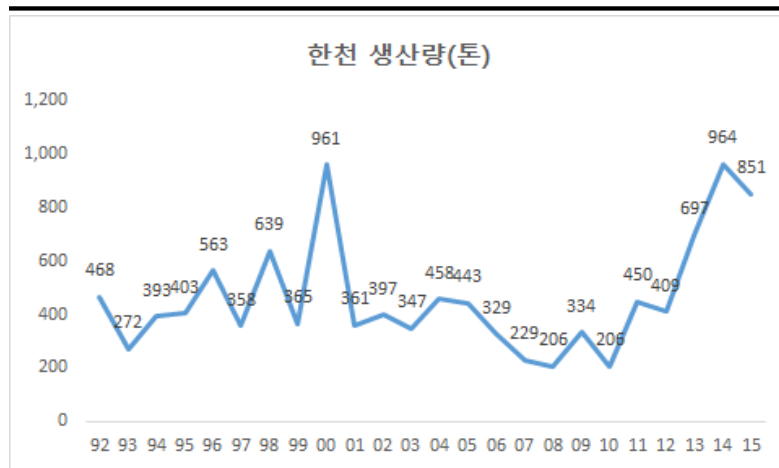
자료: 어업통계생산, KOSIS.

〈그림 3-4〉 연도별 우뚝가사리 비중(생산량 기준)



- 우리나라 한천 생산량을 살펴보면 〈그림 3-5〉와 같은데 1992년부터 2010년까지 2000년을 제외하고는 206톤~639톤 범위에서 변동을 보였으나, 2011년 이후 빠른 속도로 증가하여 2015년 851톤을 생산함

〈그림 3-5〉 국내 한천 생산량



제2절 지역정책 및 관련 사업 검토

1. 제주특별자치도

(1) 해양수산 주요정책

1) 주요현안

- FTA 체결 등 제주 수산업의 경쟁력 약화에 따른 미래수산업 혁신 체계의 구축의 필요성
- 기후온난화 및 연안오염에 따른 청정 해양 및 생태계 보전 필요
- 해양자원을 활용한 해양치유산업에 대한 전 세계적 관심 및 수요증가
- 대도시 소비시장 원거리 및 유통 불리, 물류비용 과다
- 광어중심의 양식산업과 항생제, 백신 과다사용으로 제주 친환경 양식 이미지 훼손
- 제주 해양생물산업 육성을 위한 연구개발 역량 및 인프라 등 산업생태계 구축

2) 주요정책

- 수산업어촌 분야
 - 제주 미래수산업 발전: 수산물유통, 가공산업의 고도화, 제주 광어 양식 산업의 체질개선
 - 어업인 복지 기반 개선: 6차산업 활성화 및 어업인 밀착형 종합서비스 제공, 어선원 삶의 질 향상을 위한 중장기 계획 수립
 - 체계적인 연안어장 수산자원 조성 및 관리: 지속 가능한 연안어장 자원조성 및 관리, 마을어장 관리 수범적 경영 모델 창출

○ 해양관광분야

- 제주의 강점을 살린 해양관광 산업 육성: 요트마리나 및 해양관광 기반 조성, 특화된 어항개발을 통한 어촌 관광 활성화, 제주 수중비경 관광자원화
- 해양관광 복합 다기능 국가어항 개발: 국정과제와 연계한 아름다운 어항(김녕항) 개발, 피서리나형 위미항 개발
- 어촌경제 중심의 어항, 레저관광 특화개발: 어촌, 어항 특화개발 확대 및 신해양 R&D 역량 강화, 민국복합형 관광미항 지역발전사업 추진
- 제주해녀문화 가치 확산 및 세계화브랜드 가치제고: 유무형의 해녀문화 유산을 활용한 향토 문화산업 활성화, 해녀문화의 가치 확산을 위한 사회교육 강화

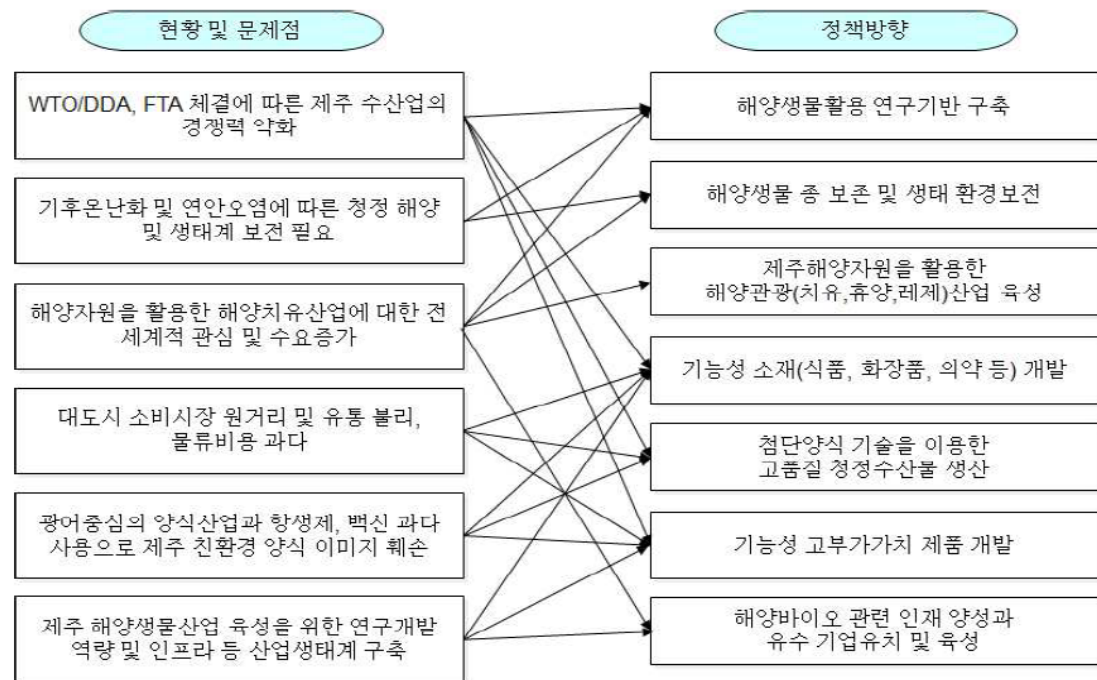
○ 해운물류 분야

- 지역경제 활성화를 위한 크루즈시장 다변화: 아시아크루즈협회 등 신규노선유치 및 국제홍보 강화, 크루즈관광 질적 성장 및 지역경제 낙수효과 극대화 · 동북아거점 항만 물류 기반을 위한 인프라 구축: 국제규모의 항만을 위한 제주의항 2단계 개발, 지역거점별 특성에 맞는 연안항 항만 시설 개발

○ 연안 환경 분야

- 청정과 공존의 가치 제고를 위한 조화로운 연안관리: 연안지역 환경복원과 상습 피해시설 보강 및 침식 방지, 청정 제주바다 보전
- 쾌적한 제주해안의 체계적 관리: 청정제주 바다 지킴이 확대 운영, 제주해안의 보전 관리 등

〈그림 3-6〉 제주 해양수산 당면과제와 정책방향



자료: 제주특별자치도(2019). 제주특별자치도 바이오산업진흥계획

(2) 해양바이오산업 주요정책

- 2003년 제주특별자치도는 ‘제주생물산업기술발전 10개년 계획’을 수립하여 제주의 특화 바이오산업으로 향장품산업, 건강기능성식품산업 및 종자산업을 포함하는 뷰티생물산업(Beauty Bio-industry)을 도출하였으며 6대 분야 35개 중점사업을 추진함
 - 6대 분야: 향장품산업, 농업바이오, 건강기능식품, 감귤산업, 해양생물산업, 기술혁신 인프라
- 2019년 ‘제주특별자치도 바이오산업진흥계획’에서는 4차산업혁명 시대를 맞이하여 ‘제주생물산업기술발전 10개년 계획’을 연계하고 첨단기술변화를 반영한 6대 분야 39개 중점사업 계획을 수립함
 - 6대 분야: 헬스푸드 산업, 농생명바이오 산업, 해양바이오 산업, 향장품산업, 천연물 의약품 소재산업, 특화 바이오산업 육성 기반조성

○ 본 연구의 목적인 제주해양바이오 소재개발과 관련되어서는 동 계획의 해양바이오산업이 직접적인 연관관계가 있으며, 향장품 산업, 천연물 의약품 소재산업, 특화 바이오산업 육성 기반조성 사업이 간접적으로 연계되어 있음(<표 3-4> 참조)

- 해양바이오산업 분야 연관사업

- 제주해양특산자원 활용 건강기능식품 개발
- 해양자원 활용 해양치유 소재 및 프로그램 개발

- 헬스푸드산업 분야 연관사업

- 제주형 고품질·고부가가치 식품 기술개발
- 제주 특산자원 활용 발효식품 기술개발
- 이너뷰티 식품 소재 및 제품 개발

- 향장품산업 분야 연관사업

- 제주형 코스메슈티컬 화장품 소재 및 제품 개발
- 제주형 푸드코스메텍(이너뷰티) 소재 및 제품 개발

- 천연물 의약품 소재산업 분야 연관사업

- 제주 천연물 기반 노화제어 신약 후보물질 발굴 및 유용 천연물 재배법 확립
- 코스메슈티컬 의약품화 기술개발
- 제약기업 연계를 통한 천연물 의약품 산업화 및 미래 바이오기술 개발

- 특화 바이오산업 육성 기반조성 분야 연관사업

- 제주 건강뷰티바이오산업 핵심기술 기반 조성
- 건강뷰티바이오산업 육성 국가 중핵 거점연구기관 유치
- 제주 국가 천연물의약품소재개발연구소 설립
- 건강 뷰티 바이오 인력 양성 및 유치 활용
- 제주생명공학연구원 설립 운영
- 국내 산학연관 네트워크 및 해외 지자체간 협력사업
- 한·중·일 국제 생물정보 교류센터 기획 및 유치

〈표 3-4〉 제주특별자치도 바이오산업진흥계획의 6대 분야와 중점사업

구분	과제명	
헬스푸드 산업 TRM	① 제주형 고품질·고부가가치 식품 기술개발 ② 제주 특산자원 활용 발효식품 기술개발 ③ 제주형 간편식품(HMR) 기술 및 제품 개발	④ 생애주기 맞춤 제주형 식품소재 및 제품 개발 ⑤ 제주형 개인 맞춤형식품 기술 및 제품 개발 ⑥ 이너뷰티 식품 소재 및 제품 개발
농생명 바이오산업 육성 전략 및 TRM	① 친환경·지속가능농업을 위한 농생명 소재 활용 안전농산물 생산 기술 개발 ② 친환경 발효 미생물 활용 폐자원 비료화 연구 및 제품화 사업 ③ 제주천연자원을 활용한 건강증진·질병예방용 농생명 신소재 개발 ④ 기후변화 대응 신품종 육종 기술 개발 ⑤ 제주 생물종다양성 기반 농업환경(생태계)개선 기술 개발 ⑥ 제주 농산물 및 농식품 안전성 증진 기반 구축 ⑦ 제주 천연기념 축산물의 고품질 생산과 품질관리 시스템 개발 ⑧ 아열대·열대 작물 신소재 기능성 연구 ⑨ 제주 농업미생물 발효 기능성 소재 발굴 및 사업화	
해양 바이오 산업 육성 전략 및 TRM	① 제주해양특산자원 활용 건강기능식품 개발 ② 해녀어업 연계 해양생물자원 활용 기능성 화장품 소재 및 제품 개발 ③ 제주 수산물 가공식품 및 유통관리 기술 개발 ④ 차세대 첨단 양식기술 플랫폼 구축 ⑤ 해양생태계 보전 및 관리 기술 개발 ⑥ 해양자원 활용 해양치유 소재 및 프로그램 개발	
향장품 산업 TRM	① 제주형 코스메슈티컬 화장품 소재 및 제품 개발 ② 제주형 푸드코스메텍(이너뷰티) 소재 및 제품 개발 ③ 4차 산업혁명 대응 개인 맞춤형 바이오제품 기술개발 ④ 6차 산업형 제주 특산 향기 소재·제품 및 향기마을 조성 기반 구축	
천연물 의약품 소재산업 육성 전략 및 TRM	① 제주 천연물 기반 노화제어 신약 후보물질 발굴 및 유용 천연물 재배법 확립 ② 코스메슈티컬 의약품화 기술개발 ③ 제약기업 연계를 통한 천연물 의약품 산업화 및 미래 바이오기술 개발	
특화 바이오 산업 육성 기반조성 전략 및 중점사업	① 제주 건강뷰티바이오산업 핵심기술 기반 조성 ② 아열대 글로벌 생물다양성 파크(Biodiversity park) 조성 ③ 지역문제 해결형 R&SD 사업단 설치 및 Living Lab 운영 ④ 건강뷰티바이오산업 육성 국가 중핵 거점연구기관 유치 ⑤ 제주 국가 천연물·의약품소재개발연구소 설립 ⑥ 건강 뷰티 바이오 인력 양성 및 유치 활용 ⑦ 제주사이언스파크 구축사업 시즌 II 추진 ⑧ (가칭) 제주생명공학연구원 설립 운영 ⑨ 바이오 원료자원 안전성 평가분석 센터 설치 운영 ⑩ 국내 산학연관 네트워크 및 해외 지자체간 협력사업 ⑪ 한·중·일 국제 생물정보 교류센터 기획 및 유치	

자료: 제주특별자치도(2019). 제주특별자치도 바이오산업진흥계획

(3) 해조류 관련 정책

1) 제주해조산업 특화육성사업(지역연고산업 육성사업)

○ 사업기간 : 2010년 ~ 2013년

○ 총사업비 : 3,086.9백만 원(국비 1,937, 도비 388, 민간 761.9)

○ 주요내용

- 특화 해조류 활용 산업을 활성화하여 제주형 해조산업을 정착
- 해조류 제품과 기술을 시장에 접목하기 위한 제주형 마케팅 시스템 구축

2) 제주 우뭇가사리 고부가가치화사업(지역향토산업 육성사업)

○ 사업기간 : 2012년 ~ 2014년

○ 총사업비 : 3,000백만 원(국비 50%, 지방비·자부담 50%)

○ 주요내용

- 제주산 우뭇가사리 자원을 향토자원으로 발굴, 단순생산, 수협 계통 출하 체계인 1차산업에서 1·2·3차를 연계한 융·복합된 6차산업화 추진
- 우뭇가사리 제품 개발, 가공시설 구축 및 포장디자인 및 시제품 개발

3) 제주 톳 웰니스산업 육성사업(지역향토산업 육성사업)

○ 사업기간 : 2017년 ~ 2020년

○ 총사업비 : 4,000백만 원(국비 1500, 지방비 900, 자부담 600)

○ 주요내용

- 제주 ‘자연산 톳’의 역사·문화적 가치를 조명하고, 건강 기능성 효능

음료·식품·화장품 등 기능성 소재를 생산

- 톳을 이용한 제품연구개발·제품화, 홍보·마케팅과 가공공장 및 가공 최적화 설비를 구축

4) 장수의 섬 제주 해양본초사업(도지사 공약사업)

○ 사업기간 : 2018년 ~ 2022년

○ 총사업비 : 7,300백만 원(국비 1,500, 도비 5,800)

○ 주요내용

- 제주 해조류 등 해양생물 적극 활용을 위한 기초연구 및 사업화 기반 마련
- 청정 바다와 불로초 섬 브랜드 활용 제주형 본초사업 추진으로 신규 미래형 먹거리 산업 창출

〈표 3-5〉 제주특별자치도 해조류 관련사업

사업명	사업기간	주요내용	사업비	비고
제주해조산업 특화육성사업	2010~2013년	특화 해조류 활용 산업 활성화	30.9억 원	지역연고산업 육성사업
제주 우뭇가사리 고부가가치화사업	2012~2014년	우뭇가사리 제품 개발 및 기업지원	30억 원	향토산업 육성사업
제주 톳 웰니스산업 육성사업	2017~2020년	톳 제품 개발 및 기업지원	40억 원	향토산업 육성사업
장수의 섬 제주 해양본초사업	2018~2022년	제주 해조류 등 해양생물 활용을 위한 기초연구 및 사업화 기반 마련	73억 원	도지사 공약사업

2. 전라남도

(1) 해양수산 주요정책¹⁷⁾

1) 주요현안

○ 지구온난화 등 기후변화 영향 증대

- 해수수온 상승은 해수면상승과 더불어 생물다양성의 훼손 및 수산어획량 감소 등
- 세계는 지속가능개발 세계정상회의, 기후변화협약 등을 계기로 경제활동에 대한 환경적 규제가 강화되면서 환경요인의 중요성이 부각되면서 녹색산업 강화 전망

○ 해양자원의 선점을 위한 경쟁 심화

- 육지자원의 한계성에 따른 새로운 에너지와 자원에 대한 수요 증가로 해양에서 새로운 에너지와 자원을 확보하기 위한 노력 강화

○ 과학기술 발전에 따른 해양신산업 대두

- 해양과학기술을 토대로 발전하는 해양바이오산업(BT)은 해양생물기반기술, 해양생물생산기술, 해양신소재개발기술, 해양생태환경보전기술 측면에서 해양의 중요한 산업을 형성할 것으로 전망
- 기후변화, 탄소배출권 등에 따른 친환경 해양에너지원(해상풍력, 해양바이오에너지 등) 확보가 대두

○ 삶의 질에 대한 가치 인식변화

- 사회경제적 여건변화와 더불어 삶의 질을 추구하는 생활패턴은 웰빙문화를 빠르게 확산시켜 친환경 웰빙산업이 발전할 것으로 전망
- 해양관광시장의 지속적 성장에 따라 체험적인 환경친화형 해양레저 활동들이 각광받아 해양관광산업도 변화될 것으로 전망

17) 전라남도 제3차 종합계획 수정계획(2012)의 내용정리

○ 동북아경제권 부상과 국제교류 확대

- 세계 물류산업의 지속적인 고성장과 더불어 물류시장은 거대 경제권체제로 전환되고 글로벌 복합운송 네트워크가 정착 될 전망

2) 주요정책

○ 살고 싶은 어촌과 섬 개발

- 어촌과 섬에 거주하는 주민의 생산중심인 어항시설, 생산기반시설 등 어촌의 소득기반시설 확충

○ 해양관광산업 인프라 구축

- 비교우위 해양자원인 해변, 갯벌, 섬, 낙조 등을 활용하여 체류형 관광과 여가활동중심 공간으로 개발을 위한 해양관광 거점시설 확충

○ 항만 물류산업 성장기반 구축

- 광양항을 동북아 물류중심 항만으로, 목포신항을 대중국 전진기지 항만으로 개발을 위한 배후단지 개발 및 활성화

○ 수산업의 지속 가능한 친환경 생명산업 육성

- 수산업을 친환경과 기업, 규모화 등 어촌경제 구조재편과 8대 전략품목의 수출산업육성을 통한 국제경쟁력 강화

○ 해양생물산업 육성 및 가공·유통시설 현대화

- 고부가가치 창출을 위한 해양생물산업 R&D 기반구축과 관련기업 육성을 통한 해양생물산업 클러스터 구축

○ 깨끗한 바다 생태환경 보전 및 연안지역관리

- 깨끗한 해양생태환경 보전으로 청정 수산물 공급기지 구축

○ 해양자원을 활용한 미래 녹색산업 개발

- 화석연료를 대체할 해양생물을 이용한 해양바이오 에너지개발 및 바이오 소재산업생산기반 구축

(2) 해양바이오산업 정책

- 전라남도는 국가균형발전정책에 따른 지역전략산업으로 ‘생물산업’을 선정하고 2002년 ‘전남생물산업육성조례’를 제정하였으며, 이를 근거로 ‘전남생물산업진흥원’을 설립하고, 도내 6개 시군, 나주, 화순, 장성, 장흥, 완도, 곡성에 분산형 미니클러스터 형태로 특화연구센터를 구축함
 - 나주(식품산업연구센터), 화순(생물의약품연구센터), 장성(나노바이오연구센터), 장흥(천연자원연구센터, 한방산업진흥원), 완도(해양바이오연구센터), 곡성(친환경농생명연구센터)

〈그림 3-7〉 전라남도 바이오클러스터



자료: 황재연(2019). 바이오 산업과 전남 바이오-메디컬 허브 육성전략, 광주전남연구(15호)

- 2010년 완도군은 지역특화 작물인 해조류를 고부가 수산가공식품으로 개발하기 위해 해조류건강·바이오특구로 지정받음
 - 특구명 : 완도해조류·바이오특구
 - 지정일 : 2010. 11. 16
 - 사업기간 : 2010~2017년(8년)
 - 사업비 : 722.5억 원(국비 313.5, 도비 98, 군비 96, 민자 215)
 - 위치 : 전남 완도군 완도읍 죽청리, 신지면 대곡리 일원
 - 면적 : 138,964m²

○ 완도해조류·바이오특구 주요 사업

- 해조류 웰빙축제(완도국제해조류박람회)
- 해조류 수중체험(해조류 박람회 연계)
- 해조류 헬스팜단지(해양테마펜션단지) 조성
- 해양생물 신약연구단지(민자유치)
- 해조류 건강바이오식품 연구단지(민자유치)
- 해조류 연구소 건립
- 해양생물 연구교육센터 지원(조선대)
- 해조류 스파랜드 건립
- 해양바이오연구센터 운영

○ 완도군 해조류 바이오에너지 육성 사업

- 위치 : 완도군 일원
- 조성기간 : 2009 - 2020
- 사업비 : 2,850억 원(공공 487, 민자 2,363)
- 사업추진 1단계(2009 ~ 2014) : 해조류에너지연구센터 건립, 대규모 양식장 조성
- 2단계(2014 ~ 2016) : 해양바이오연료 Pilot plant 구축, 해양바이오에너지 청정도시 운영
- 3단계(2016 ~ 2020) : 해조류 해양관광레저단지 조성, 바이오에너지 생산공장 유치

○ 2020년 4월 완도군은 전남해양수산물과학원 완도지원과 업무 협약 체결을 시작으로 신지면과 청산면, 금당면 3개 해역에 감태 양식 시설을 설치

- 2021년까지 2년간 완도 해역의 감태 대량 양식 가능성 조사와 타 해조류와의 경제성 분석을 통해 감태 양식 보급 유무를 결정할 계획

3. 인천광역시

(1) 해양수산 주요정책¹⁸⁾

1) 주요현안

○ 4차 산업혁명

- ICT, IoT, 빅데이터, 인공지능, 드론 등 4차산업 기술의 확산으로 수산업·어촌 등을 포함한 사회 전반의 변화 예상¹⁹⁾

○ 기후변화 심화

- 50년간(1969~2018년) 한반도해역 표층 해수온이 약 1.23℃ 상승하여 수산자원 변동성 심화, 고수온 등 어업재해 발생 우려 상존

○ 시장개방 확대

- FTA 체결 확대, 국제적으로 과잉어획을 유발하는 수산보조금 폐지 논의 가속화 및 비관세장벽 강화

○ 북미 갈등의 교착

- 한반도를 둘러싼 북미관계 냉각화에 따른 안전조업 지원 및 수산분야 남북 교류협력 추진

○ 항만산업 개선

- 스마트 및 친환경 항만 도입 M&A를 통한 글로벌 거대선사 경쟁구도 정착 및 스마트 항만 및 친환경 항만 도입, 컨테이너 선박 초대형화로 항만 설계 기준 개선 필요성 대두

2) 주요정책

○ 어촌 활력·재생을 위한 인프라 구축

- 어항 및 항·포구를 중심으로 인접한 배후 어촌마을을 포함한 통합정비로 사회·문화·경제·환경적으로 어촌지역의 활력 유도

18) 인천광역시 해양항공국 주요업무계획, 각년도

19) 스마트양식, 유통·가공시스템, 불법어업 단속, 어촌개발 등 전 분야에 걸쳐 변화가 예상됨

- 300여개의 어촌어항 현대화를 통해 해양관광 활성화와 어촌의 혁신 성장 견인

○ 풍요로운 바다 조성을 위한 수산자원 조성 확대

- 인공어초 시설 및 연안바다목장화 사업 등을 통한 수산생물 서식공간 조성으로 지속가능한 어업 생산 기반 구축

○ 서해 평화시대 대비 남북교류 활성화 및 조업질서 확립

- 수산분야 남북경협을 통하여 남북 긴장관계 해소 및 어업 환경이 열악한 서해 5도에서의 새로운 어업 소득원 개발

(2) 해양바이오산업 정책

1) 해양바이오에너지 생산기술개발²⁰⁾

- 2010년 인천광역시는 인하대학교와 공동으로 미래 화석연료를 대신할 해양바이오에너지 생산기술 개발사업을 추진
- 인천시는 국토해양부가 주관하는 국책연구개발사업 공모에서 인하대 산학협력단과 함께 제안서를 제출한 ‘해양바이오에너지 생산기술개발’이 선정
- 해양바이오에너지 생산기술개발은 해조류인 적조와 녹조 등을 원료로 신재생 에너지인 바이오디젤과 알코올을 생산하기 위한 사업임

2) 남북해조류 공동시험양식²¹⁾

- 2020년 인천광역시는 남북 긴장관계 해소를 위한 수산분야 남북 교류 협력 사업을 추진하며, 세부사업으로 남북 해조류 공동시험양식, 남북 공동수산자원조사, 남북공동 수산종자방류행사를 시행할 예정임
- 협업기관 및 역할
 - 수산자원연구소: 남북 학술교류 및 남북 공동수산자원조사
 - 수산기술지원센터: 해조류(우뭇가사리 등) 남북 공동시험양식

20) 인천광역시(2018), 인천광역시 균형발전계획 수립

21) 인천광역시 해양항공국(2020년), 주요업무계획

제3절 제주-서해안벨트 해양바이오 SWOT 분석

1. 해양바이오 산업 STEEP 분석

- 미래트렌드는 미국 국가정보위원회, 유엔 미래포럼, 다보스포럼, RIO+20 등에서 논의된 각 분야 미래전망에 기초하여 STEEP 분석법²²⁾을 적용하여 분석함
 - 미래 트렌드 전망은 향후 해양정책 및 산업에 영향을 미치는 요인을 각 분야에 걸쳐 전망하였으며 제주의 해양정책 방향 설정에 기본으로 활용하고자 하였음
- STEEP 분석법을 적용한 미래 트렌드 전망은 다음과 같음
 - 인구구조 변화(S_Society)에서는 저출산 및 고령화 급진전, 신흥국의 세계인구 성장 견인, 도시인구 성장 지속, 신흥국 중심 중산층 성장, U-City화, 소비 중심 이동 등이 전망됨
 - 산업기술구조 혁신(T_technology) 분야에서는 IT(정보기술), NT(나노기술), BT(바이오기술), ET(환경기술)의 융합화, 녹색산업의 부상, 전통 제조업의 그린화, 거대도시 등 사회 자본시설(SOC) 사업 증대 등이 나타날 것으로 보임
 - 자원·에너지 시장 변혁(E_economy) 부문에서는 구조적 수급 타이트, 자원고갈 위험, 원료가격 슈퍼사이클 진입, 자원·에너지·해양 안보 경쟁, 신재생에너지 비중 확대 등이 예견됨
 - 기후변화와 환경규제(E_environment) 영역에서는 국제 환경규제 강화, 차별적 규제적용, 환경무역 분쟁, 물 부족 및 식량난 가중, 환경 관련 시장 고성장, 친환경기술(Green-Tech) 등이 지속적으로 발전할 것으로 전망됨
 - 국가 간 힘의 이동(P_power)과 관련하여서는 중국 및 인도 부상, 세계 성장축 다원화, 지역분쟁 증가, 문화 충돌, 국제금융시장의 다극화로 전환, 지역적 경제블록화가 진전될 것으로 예상됨

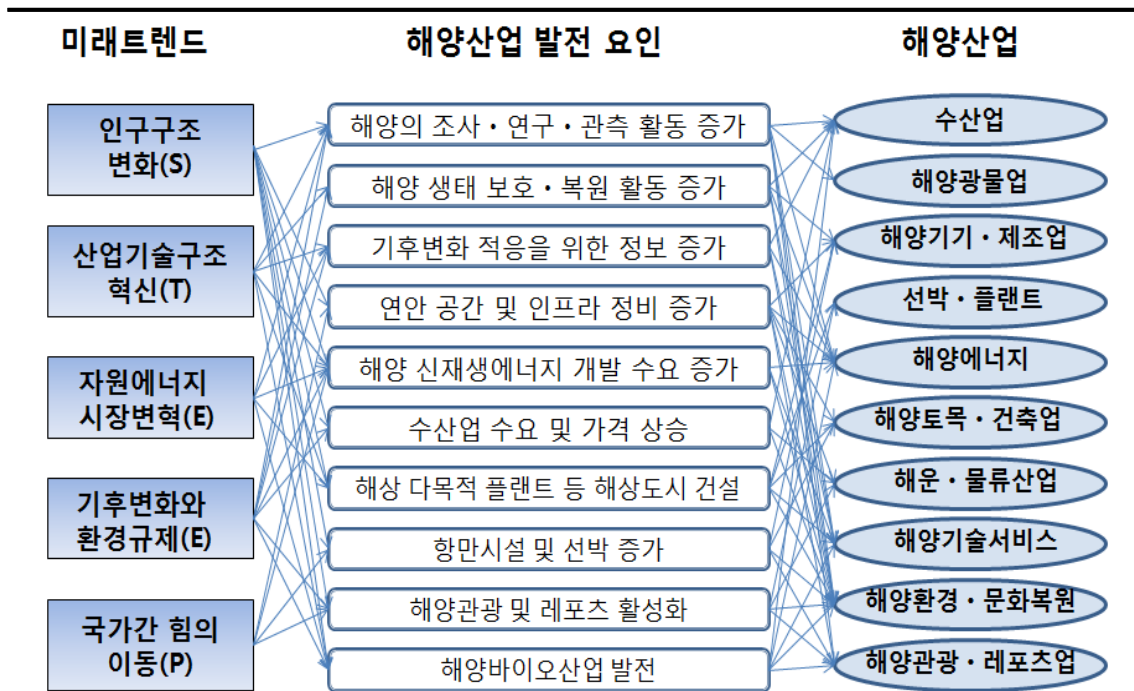
22) STEEP 분석법은 미래 트렌드를 사회(Social), 기술(Technological), 환경(Ecological), 경제(Economic), 정책·법규(Political and Legal)의 5가지 분야로 분석하는 방법(POSCO, LG, Booz&Company 등에서 활용)

〈표 3-6〉 STEEP 분석을 통한 미래트렌드 전망

사업명	전망
인구구조 변화(S)	• OECD 국가 등 선진국 인구 감소 및 고령화(저성장으로 인한 산업화 정체) • 중국, 남미 등 신흥개도국의 인구증가(산업화 확산) • 실업 및 노동문제 • 부의 집중과 빈곤의 심화(양극화 심화) • 1인 가구 확산 (가족의 해체) • 교육, 위생, 보건, 의료 문제 심화 • 유전자 변형 및 유기농 확산 • 친환경, 고효율 마이크로 주택 확산 • 도시화 확산(1,000만 명 이상의 대도시 확산) 등
산업·기술구조 혁신(T)	• 제4차, 제5차의 산업군 발생(전문직의 개인사업자 산업별 융합화 등) • 우주산업 및 로봇산업 급성장(의료, 군사, 구조, 장애보조 수단 등) • 운송수단 발달(공중부양 수송수단 상용화, 개인용 비행수단 등 등) • 인체공학 발달 • 전자상거래 확산(유통구조의 변혁) • 1차 산업의 진화(도시 아파트형 농장 확산 등) • 사물 인터넷 일상화 • 3D 프린팅 확산으로 제조업의 가정화
자원·에너지 시장 변혁(E)업	• 자원보호주의 확산 • 수자원 고갈 • 대체에너지 개발 확대 • 비전통 에너지 개발, 생산 확대 • 우주 자원개발 추진 • 해양자원 활용 확산(양식, 해수농업, 담수화, 대체에너지, 해상도시 건설 등)
기후변화와 환경 규제(E)	• 지구온난화 가속으로 피해 속출(폭풍, 태풍 등) • 기후변화 관련 국가 간 소송 증가 • 국제기구를 통한 환경규제 강화, 개별국의 환경규제 강화 • 환경(대기, 토양, 수질 등) 복원 확산 • 물 부족 지역 확산(깨끗한 수자원 및 안정적인 수량(水量) 확보) • 신종 질병 위협(신종 바이러스 등)
국가 간 힘의 이동(P)	• 중국의 대두 및 미국의 권력약화 • 민주화 및 자본주의에 대한 요구 확산 • 아시아로의 권력이동 • 국적이 아닌 직업을 위한 이민자 증가 • 인종갈등, 종교 갈등 심화 • 테러 우려(사이버 테러, 자살테러 등)

- 미래트렌드 변화에 따라 세계 해양산업은 2000년 대 들어 그 중요성이 증가하고 있고, 주요 선진국을 중심으로 해양산업 정책을 추진하고 있음
 - 특히, 미국, 중국, EU, 일본 등 주요국은 국가차원의 해양정책을 수립하고 있으며 노르웨이, 대만, 인도네시아 등도 해양정책 전담 부처 신설 및 확충을 하고 있음
- 해양산업은 미래트렌드와도 적합하면서 기존 타 산업에 비해 상대적으로 무한한 성장잠재력이 있기 때문에 국제적 관심이 증가하고 있음
 - 이는 저성장 기조에 있는 세계경제의 새로운 성장 동력으로 가능성을 의미함

〈그림 3-8〉 미래트렌드와 해양산업 연관성



자료: 한국해양과학기술진흥원(2011)의 연구 자료를 활용하여 작성하였음

2. STEEP 분석을 기반으로 한 해양바이오 산업 기회·위협 (OT) 분석

- SWOT 분석은 기업 및 산업의 경영환경을 종합적으로 분석하기 위한 도구로서 전략수립에 용이한 특성이 있으며, STEEP 분석을 통해서 인식한 환경적 요인 (기회·위협)과 이에 대응하는 조직 및 산업생태계의 역량 (강

점·약점)을 기술하게 됨

- TOWS 매트릭스는 SWOT 분석에서 인식한 환경적 요소와 역량 요소를 조합하면 4가지 전략을 도출하는 것으로, 구체적 전략도출은 지역 간 협의를 통하여 향후 과제에서 논의하고자 함

〈표 3-7〉 TOWS 매트릭스를 이용한 전략 도출

구 분	강점(Strengths)	약점(Weakness)
기회 (Opportunities)	SO 전략: 공격적 전략 기회를 활용하여 강점을 더욱 부각시키는 전략	WO 전략 : 다각화 전략(리스크 헷지) 외부환경의 위험요소를 회피하면서 자사의 강점을 활용하는 전략
위협 (Threats)	ST 전략: 국면전환 전략 약점을 보완하여 기회를 살리는 전략	WT 전략 : 방어적 전략 자사의 약점을 보완하고 외부환경의 위험요소를 회피하거나 최소화하는 전략

- 기존 연구²³⁾에서 도출된 해양바이오 산업에 대한 기회요인은 다음과 같음

- 연구/상용화 성공 사례 증가로 연구 성장/확대 및 투자 확대 진행
- 바이오산업 전체에 대한 관심도 및 각 부처별 R&D의 증가
- 바이오 시장에서 해양바이오 소재의 질적 경쟁력 확보
- 소재의 식품/의학/화학 분야 융복합 시 높은 시너지 발생
- 타 국가의 연구/제품 개발도 미진하여, 수출 시 높은 부가가치: 선진국을 중심으로 대안 Market 형성 가능성

- STEEP 분석을 기반으로 추가적으로 도출한 기회요인은 다음과 같음

- 노령화 및 개도국 인구증가에 따른 바이오 산업 전반에 대한 수요확대
- 삶의 질 향상에 따른 웰빙 수요의 증대

23) 해양바이오 산업 실태조사 및 정보제공 사업 (2018)

- 바이오 기술 및 연계 기술 가용성 확대
- 해양자원 이용확대 필요성에 대한 공감대 증가
- 1차 산업의 진화 및 융복합화 추세
- 비전통 에너지 개발 및 생산 확대에 대한 정부 지원
- 각종 질병 증가에 따른 해양바이오 산업 중요성 증대
- 제주의 경우, 정부의 지역산업진흥계획의 특화분야로 바이오산업이 선정되어 제주바이오산업육성사업 지속 추진되는 등 중앙-제주도 정책 목표가 일치

○ 기존 연구²⁴⁾에서 도출된 해양바이오 산업에 대한 위협요인은 다음과 같음

- 자원 가공, 설비, 입지 등 인프라 부족문제 지속: 고부가 산업으로 성장 제약
- 국내 해양자원이 고갈, 해양환경 오염 등으로 자원 수급 불안정성
- 해양자원 수급과 관련된 어업인-기업체 갈등
- 해외 자원 수급 시 생명자원의 국가 간 이동에 관한 국제협약(나고야 의정서, ABS) 발효
- 현재 R&D 자금 부족과 낮은 성공률 등으로 우수 인력이 해양 바이오 분야 기피

○ STEEP 분석을 기반으로 추가적으로 도출한 위협요인은 다음과 같음

- 기후변화, 환경오염 등으로 생물다양성 감소
- 인접국 남획 등으로 해양자원 생태계 고갈 가속화
- 자원보호주의 확대에 따른 가용 생물자원 감소

24) 해양바이오 산업 실태조사 및 정보제공 사업 (2018)

3. 제주-서해안벨트 해양바이오 강점·약점(SW) 분석

○ 기존 연구²⁵⁾에서 도출된 해양바이오 산업에 대한 강점요인은 다음과 같음

- 육상 바이오의 대안 물질로서 가능성: 연구와 상용화 성공 시 높은 부가가치
- 국내 수요자들의 해양바이오 제품에 대한 선호도 증가, 시장 성장세
- 높은 경제성: 미생물, 동물 등은 대량 증식 및 양어 비용이 저렴
- 삼면의 바다 모두 해양 생태계가 다양하여, 연구조건, 자원 조달 조건 우수
- 수산업이 발달하여, 해양 자원 충족 시 조달 방식/경로가 용이

○ STEEP 분석 및 제주-서해안 벨트의 특성을 고려하여 추가적으로 도출한 강점요인은 다음과 같음

- 아열대성 기후지역으로 풍부한 생물종다양성자원을 보유
- 우수한 지하수 및 심층수 자원 보유
- 청정지역이라는 브랜드 가치 보유 및 차별화 용이
- 1차 산업 및 관광산업 기반이 잘 구축되어 있어서 관광객 기반으로 한 6차 산업화 용이
- 해조류 관련 지역 거점 연구 인프라 구축
- 해조류 관련 고부가가치화 및 산업화 시도 경험 보유
- 해상 및 육상 양식에 대한 산업 인프라 보유
- 항노화 관련 산업 육성을 통한 노령화 트렌드 포지셔닝
- 제주의 경우, 청정 바이오 원료 기반의 식품 및 향장품산업 클러스터 형성단계에 있음
- 전라남도의 경우, 해조류 및 바이오 특구 보유

25) 해양바이오 산업 실태조사 및 정보제공 사업 (2018)

○ 기존 연구²⁶⁾에서 도출된 해양바이오 산업에 대한 약점요인은 다음과 같음

- 기업의 영세성(자금, 인력, 인프라, 정보)
- R&D에 많은 시간이 소요, 낮은 성공률
- 전문인력 부족 및 관련 교육기관 부족, 특정 대학 편중 현상
- 성공사례 부족으로 투자처 부족 (기업 자체 조달, 일부 정부출연과제가 전부)
- 생산 비용 부담: 자원 조달 (해양 채산의 어려움), 고가 장비 소요
- R&D → 상용화 → 생산 → 판매 → 재투자의 선순환 생태계 형성 미흡

○ STEEP 분석 및 제주-서해안 벨트의 특성을 고려하여 추가적으로 도출한 약점요인은 다음과 같음

- 하이테크 바이오 기술기반이 취약하고, 대표적인 바이오기술혁신 선도기업 부재
- 재정자립도가 열악하여 지자체 차원의 과학기술투자 확대의 어려움
- 지역 거점 대학의 기초연구경쟁력 열위 및 프론티어 연구거점기관의 부족으로 과학기술 기반 취약하고, 국가연구개발재원 확보 경쟁력 부족
- 바이오 신기술사업화 성공사례의 부재 및 바이오기업 경영전문가 부족
- 우수한 고급두뇌의 지속적인 유출
- 벤처캐피탈, 엔젤 투자와 같은 모험자본 부족

26) 해양바이오 산업 실태조사 및 정보제공 사업 (2018)

〈표 3-8〉 제주-서해안 벨트 해양바이오 산업 SWOT

SWOT 분석	
기회(Opportunities) O 01. 연구 성장/확대 및 투자 확대 진행 O 02. 바이오산업 관심도 및 R&D의 증가 O 03. 해양바이오 소재의 질적 경쟁력 확보 O 04. 소재의 융복합 시 높은 시너지 발생 O 05. 수출 시 높은 부가가치 O 06. 노령화 등 바이오 산업 수요확대 O 07. 삶의 질 향상에 따른 웰빙 수요의 증대 O 08. 바이오 기술 및 연계 기술 가용성 확대 O 09. 해양자원 이용확대 공감대 증가 O 10. 1차 산업의 진화 및 융복합화 추세 O 11. 비전통 에너지 개발/생산 정부 지원 O 12. 질병 증가로 바이오 산업 중요성 증대 O 13. (제주)의 경우, 정부의 지역산업진흥계획의 특화분야로 바이오산업이 선정	위협(Threats) T 01. 인프라 부족으로 고부가 산업 성장 제약 T 02. 해양자원 고갈/오염으로 자원 수급 불안정 T 03. 해양자원 수급 관련 어업인-기업체 갈등 T 04. 생명자원의 국가 간 이동에 관한 국제협약 T 05. 우수 인력이 해양 바이오 분야 기피 T 06. 생물다양성 감소 T 07. 인접국 남획 등으로 해양자원 생태계 고갈 T 08. 자원보호주의 확대에 따른 가용 생물자원 감소
강점(Strengths) S 01. 육상 바이오의 대안 물질로서 가능성 S 02. 해양바이오 제품에 대한 선호도 증가 S 03. 높은 경제성 S 04. 삼면 해양 다양성으로 연구/조달조건 우수 S 05. 해양 자원 충족 시 조달 방식/경로가 용이 S 06. 풍부한 생물종다양성자원을 보유 S 07. 우수한 지하수 및 심층수 자원 보유 S 08. 청정지역이라는 브랜드 가치 S 09. 관광객 기반으로 한 6차 산업화 용이 S 10. 해조류 관련 지역 거점 연구 인프라 구축 S 11. 해조류 고부가가치화 및 산업화 시도 경험 S 12. 해상/육상 양식에 대한 산업 인프라 보유 S 13. 항노화 관련 산업 육성 경험 S 14. 제주의 경우, 청정 바이오 원료 기반의 식품 및 향장품산업 클러스터 형성단계에 있음 S 15. 전라남도의 경우, 해조류 및 바이오 특구 보유	약점(Weakness) W 01. 기업의 영세성(자금, 인력, 인프라, 정보) W 02. R&D에 많은 시간이 소요, 낮은 성공률 W 03. 전문/교육기관 부족, 특정 대학 편중 현상 W 04. 성공사례 부족으로 투자처 부족 W 05. 생산 비용 부담: 자원 조달 W 06. R&D → 상용화 → 생산 → 판매 → 재투자의 선순환 생태계 형성 미흡 W 07. 하이테크 바이오 기술기반이 취약 W 08. 지자체 차원 과학기술투자 확대의 어려움 W 09. 지역 거점 대학의 기초연구경쟁력 열위 및 프론티어 연구거점기관의 부족으로 과학기술 기반 취약하고, 국가연구개발재원 확보 경쟁력 부족 W 10. 신기술사업화 성공사례/경영전문가 부족 W 11. 우수한 고급두뇌의 지속적인 유출 W 12. 벤처캐피탈, 엔젤 투자 등 모험자본 부족

제4장 제주지역 해조류 소재화 여건

제1절 제주 해조류 현황

1. 제주지역 해조류 활용 현황

- 제주 지역에는 700여 종의 해조류가 서식하는 것으로 알려져 있으며, 2019년 ‘장수의 섬 제주 해양본초사업’에 데이터 베이스화된 자료는 43종임
 - ‘장수의 섬 제주 해양본초사업’에서는 제주 해양본초 자원의 실태조사를 하기 위해 고문헌 및 과학적 증거에 기반을 둔 해양본초 자원을 스크리닝

(1) 제주 해양본초 자원 실태조사

- 후보종 선발 155종 선발
- 선발기준: 기존에 보고된 자원 또는 현재 활발히 연구가 진행되고 있는 자원 위주로 후보종 선발
 - 해양무척추동물: 가죽해면 등 43종
 - 어류: 자바리 등 28종
 - 해조류: 모자반 등 84종
- 해양본초자원 선발 및 자료 수합(돌기해삼 등 107종)
 - 해양무척추동물: 돌기해삼 등 38종
 - 어류: 자바리 등 23종
 - 해조류: 모자반 등 46종

(2) 과학적 증거기반 제주 해양본초 자원 스크리닝

○ 해양생물자원 101종에 대한 항산화, 항염증 스크리닝 실시

(3) 제주 해양본초 자료집 발간

○ 돌기해삼 등 100종 선발

○ 선발기준: 전통자료 및 논문·특허 등 가치가 있는 종 우선 선발

- 해양무척추동물: 돌기해삼 등 35종
- 어류: 자바리 등 52종
- 해조류: 모자반 등 43종
- 전통자료, 학술자료, 생태자료 등 수록

〈표 4-1〉 제주 해조류 현황

명칭	효능관련 논문(편)	효능관련 특허(건)	용도	생리활성 및 활용여부
구멍갈파래	5	6	약용, 식용	생리활성: 주름개선, 면역증강, 항진균, 항염증 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
납작파래	1	4	약용, 식용	생리활성: 주름개선, 면역증강, 항진균, 항염증 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
모란갈파래	1	2	약용, 식용	생리활성: 항진균, 면역증강, 주름개선 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
창자파래	2	2	약용, 식용	생리활성: 항진균, 주름개선, 면역증강 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
잎파래	1	2	약용, 식용	생리활성: 항진균, 주름개선, 면역증강 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
청각	2	11	약용, 식용	생리활성: 탈모방지, 혈전분해, 관절염치료, 항염증, 항균, 항암, 면역증진 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
그물바탕말	3	2	-	생리활성: 인지능력향상, 항균, 주름개선, 항염증 등 활용여부: -
넓패	4	7	약용, 식용	생리활성: 항염증, 면역질환예방, 항당뇨, 혈당강하, 탈모방지 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
패	4	10	약용, 식용	생리활성: 주름개선, 항비만, 항당뇨,

명칭	효능관련 논문(편)	효능관련 특허(건)	용도	생리활성 및 활용여부
				신경보호, 피부건강 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
모자반	2	10	약용, 식용	생리활성: 피부건강, 골다공증예방, 신경보호, 근육질환예방, 간보호 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
툇	32	22	약용, 식용	생리활성: 피부건강, 탈모방지, 골다공증예방, 신경보호, 근육질환예방, 간보호 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
괭생이모자반	4	16	약용, 식용	생리활성: 고혈압예방, 피부건강, 미백, 면역증진, 항아토피, 항알러지, 항염 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
경단구슬모자반	7	10	약용, 식용	생리활성: 항비만, 항스트레스, 항알러지, 피부건강, 주름개선, 염증질환 예방 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
큰잎알송이 모자반	7	-	약용, 식용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
지충이	12	7	약용, 식용	생리활성: 항노화, 항비만, 항암, 주름개선, 피부건강 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
큰열매모자반	7	-	약용, 식용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
파배기모자반	14	1	약용, 식용	생리활성: 항비만 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
잘록이고리매	1	3	약용, 식용	생리활성: 근육질개선, 주름개선, 항당뇨 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
넓미역	2	2	약용, 식용	생리활성: 항염증, 탈모방지 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
미역	11	9	약용, 식용	생리활성: 항바이러스, 항산화, 항염증, 항비만, 주름개선, 피부보습, 치주질환 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
미역쇠	5	1	약용, 식용	생리활성: 간보호 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
감태	4	46	-	생리활성: 항아토피, 항비만, 항균, 항산화, 항염, 항당뇨, 여성건강 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
바다고리풀	4	-	약용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: -
단박	-	2	약용, 식용	생리활성: 항비만, 항염증 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
돌가사리	2	-	식용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
개서실	3	1	약용, 식용	생리활성: 주름개선 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)

명칭	효능관련 논문(편)	효능관련 특허(건)	용도	생리활성 및 활용여부
진두발	3	1	약용	생리활성: 주름개선 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
참산호말	3	-	약용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
해인초	4	-	약용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
다발우뚝가사리	2	3	약용	생리활성: 항노화, 항산화, 항염증, 주름개선, 미백, 치주질환 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
우뚝가사리	5	6	약용, 식용	생리활성: 항노화, 항산화, 항염증, 주름개선, 미백, 치주질환 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
불등풀가사리	3	2	약용, 식용	생리활성: 미백, 치매예방 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
참풀가사리	3	-	약용, 식용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
잎꼬시래기	-	9	약용, 식용	생리활성: 피부보습, 항염증, 항알러지, 항비만, 항당뇨, 자외선차단 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
꼬시래기	4	9	약용, 식용	생리활성: 피부보습, 항염증, 항알러지, 항비만, 항당뇨, 자외선차단 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
개도박	3	-	약용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
큰개우무	-	1	약용	생리활성: 주름개선, 미백, 탈모방지, 항염증, 항비만 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
잇바디돌김	1	6	약용, 식용	생리활성: 피부재생, 치주질환, 간보호 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
벚붉은잎	4	-	약용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
석목	-	-	-	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
애기돌가사리	-	-	약용, 식용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)
흑돌잎	-	-	약용	생리활성: 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: -
갈래곰보	-	-	약용, 식용	생리활성: 성 항균, 피부건강, 항고요산증, 항암 등 활용여부: 식용가능(식약처 등재)

자료: 제주특별자치도(2019), 사업보고서-2019 장수의 섬 제주 해양본초 사업-을 재정리

제2절 제주 대발생 파래(Ulva) 활용 산업화

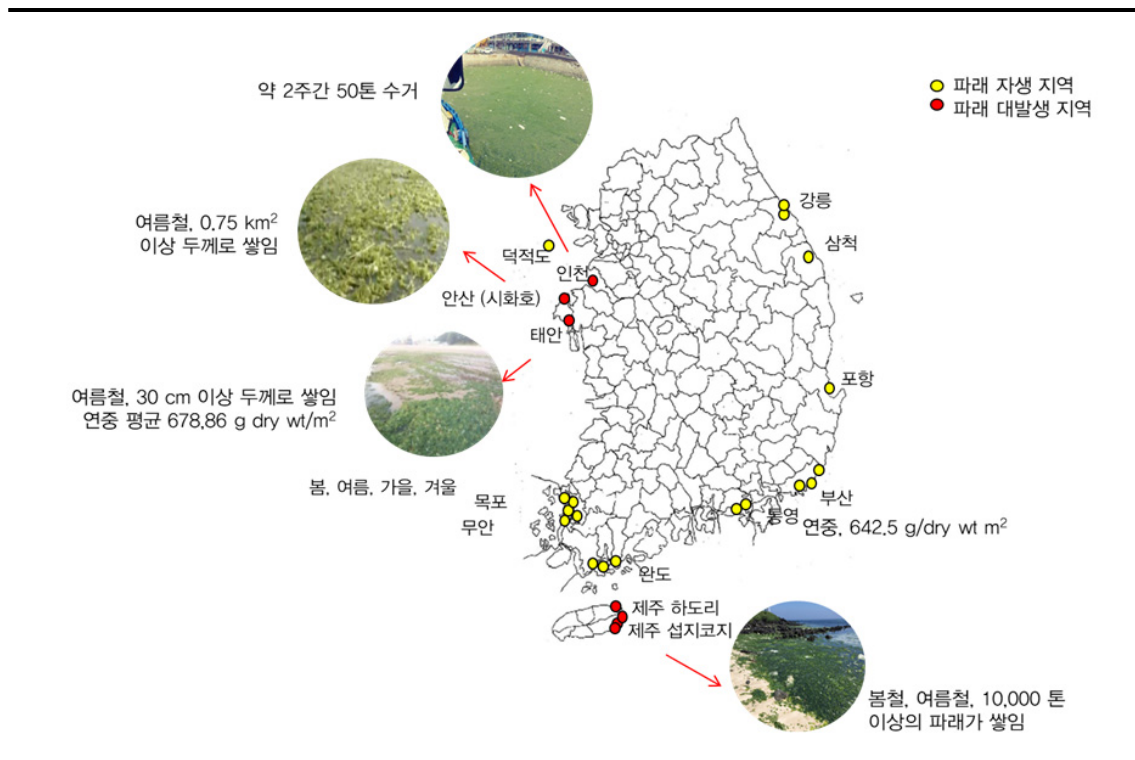
1. 기술 개발 필요성

(1) 국내·외 파래 대발생 현황

1) 국내

- 우리나라 연안에서 기하급수적으로 발생하는 파래류 (Ulva sp.)는 처리비용 면에서도 비경제적이고 처리되지 못한 파래들은 건조시기 때 부패되거나 건조되어 연안 수질오염과 심한 악취 등 주변 생태계로부터 거주환경 및 관광 사업까지 부정적인 영향을 미침 (<그림 4-1>)

<그림 4-1> 국내 파래 대발생 지역



- 제주 서귀포시는 지난 2000년대 초부터 대발생한 파래로 인해 바지락이 폐사하는 등 어민들이 피해를 입은 바 있으며 지난 2010년 이후 수년간 많은

비용을 들여 수 천 톤의 파래를 수거하였으나 파래의 번식속도가 워낙 빠르고 또한 수거된 파래의 폐기 및 보관에 추가 예산 투입이 불가피 하였음

- 2017년 인천 서해 앞바다에 가시파래가 대발생하여 긴급 수거작업을 하였고 인천지방해양수산청과 해양환경관리공단이 1주간 총 50톤 가량 수거하였음
- 태안반도에서는 2008년 백사장에 쌓인 약 30 cm 높이의 파래 더미가 기온이 올라감에 따라 부패하여 악취를 유발하고 해충이 증가하여 지역 관광산업에 큰 폐를 끼친 바 있음
- 이를 해결하기 위해 대량 발생한 파래를 수거하여 농가 퇴비로 제공하는 등 다양한 자원화 방안을 시도하였으나 아직까지 경제성으로 미흡하다는 평가를 받은 바 있음

2) 국외

- 파래의 전 세계 지리적 분포성을 고려했을 때, 파래 대발생 사례는 국내뿐만 아니라 국외에서도 발견되며, 먼저 중국에서는 2008년 칭다오 연안에서 발생된 약 2,000만 톤의 파래 대발생으로 약 100만 톤의 파래 제거에 1억 달러 이상 비용이 소비되어 경제적으로 큰 손실이 발생함
- 2001년 미국 의회 보고서에 따르면, 미국에서 발생한 해조류를 제거하기 위해 매년 4,900만 달러를 투입하고 있음
- 1989년 프랑스 Brittany Lannion Bay에서 대발생한 파래는 연안을 따라 이동하여 약 69,225 m³ 부피를 차지하였고 파래 수거에만 약 61만 유로의 비용이 소비되었음
- 그 외에도 남아메리카 지역 (멕시코, 파타고니아), 유럽 (스웨덴, 독일, 포르투갈), 일본, 오스트레일리아 서부 등에서 파래 대발생 현상으로 인해 저서성 군집 생물 다양성이 감소하고 해변가에 축적되어 여가활동을 저해시키는 등의 다양한 피해를 발생시킴

(2) 대발생 파래의 경제·사회적 피해

1) 경제·사회·문화적 피해

- 국내·외 공통적으로 대발생한 파래를 처리 시 큰 비용이 발생하고 처리되지 못한 파래들은 부패되어 수질오염 및 심한 악취를 유발하고 주변 생태계, 관광산업에 부정적인 영향을 끼침
- 일부 지역에서는 파래발생관리 비용으로 관광객에서 환경부담금을 도입하자는 주장이 제기되어 논란이 발생된 바 있음
- 파래 대발생으로 인해 꽃게나 주꾸미와 같은 해산물 대신 파래만 그물에 걸려 올라와 어민들의 조업에 큰 피해를 끼쳐 결과적으로 수산물 가격 변동에 문제로 발생

2) 생태학적 피해

- 대발생으로 인해 형성된 두꺼운 파래 매트 아래에 생육하는 소형 조류들의 광합성을 저해시키고 하층을 가해 성장·번식에 피해를 유발함
- 수체 내 용존산소량을 감소시켜 어류 폐사와 저서동물의 질식 유발 및 패류 수를 감소시킴
- 파래의 영양염분 독점으로 다른 미세조류들의 생장률 감소 및 사멸시킴
- 파래가 부패하여 발생한 황화수소가스로 인해 인근 포유동물들 사멸시킨 사례가 보고되었고 새우 등 무척추동물을 사멸시킴
- 부패 시 발생하는 질소, 인 등으로 인해 부영양화를 유발하여 파래 대발생 문제가 반복됨

2. 파래의 가치

(1) 파래의 성분 및 가치

1) 파래 성분

- 국내 파래 활용사례를 살펴보면 대부분 식품영양학적 또는 비료, 사료화 등에 집중되어 있음
- 파래는 성분을 살펴보면, 단백질이 약 20-30%, 무기염류 10-15%, 비타민 500 IU 정도 함유함 (<표 4-2>)
- 특히 알칼리성 원소가 많고 가용성 식이 섬유질이 다량 함유되어 있음

<표 4-2> 파래와 고등어의 영양성분 비교

성분	함량		성분	함량	
	파래 100g 기준	고등어 100g 기준		파래 100g 기준	고등어 100g 기준
나이아신	0.0004	0.0075	비타민 E	0.001	0.0015
나트륨	0.64	0.064	식이섬유	4.6	-
단백질	3.1	19.4	아연	0.003	0.00075
당질	1.9	200	엽산	0.0001	0.000006
베타카로틴	2.24	-	인	0.043	0.201
비타민 A	0.37	0.00004	지질	0.5	20.8
비타민 B1	0.00009	0.00012	철분	0.008	0.0012
비타민 B2	0.00017	0.00048	칼륨	0.678	0.259
비타민 B6	0.00012	0.00027	칼슘	0.085	0.024
비타민 C	0.013	0.001	회분	4.3	1

2) 파래 효능

- 파래는 이미 많은 문헌 자료를 통해 의학적으로 그 효능이 입증된 바 있음
- 파래는 항산화, 항노화 효과를 가진 폴리페놀 성분 (g 당 약 9 mg)을 함유하여 미역, 다시마, 툇, 김 보다 뛰어난 효능을 지님

- 파래 10-20 g에는 철분의 하루 섭취 권장량이 들어있고, 풍부한 비타민 A와 C 성분은 철분의 체내 흡수율을 높여 빈혈에 효과적임
- 파래가 함유한 메틸메티오닌과 비타민 A 성분은 간 기능을 활성화시켜 체내에 쌓여있는 니코틴 해독에 도움을 주고, 폐 점막을 재생·보호하여 흡연자, 폐질환자, 결핵 등에 효능이 있음
- 파래의 요오드 성분은 혈액을 맑게 해주고 인체 내 산을 제거하여 피로회복에 도움을 줌
- 파래의 칼슘과 칼륨 등 미네랄 성분이 홍조류인 김보다 약 5배 풍부하여 골다공증 예방에 효과적임
- 파래는 식물성 섬유질이 풍부하여 대장의 연동운동을 도와 변비 예방 및 개선에 효과적이고 파래의 클로로필 성분은 구취제거에 도움을 주며 특히 이 클로로필 성분은 인체 신진대사를 도와 위궤양이나 십이지장 궤양을 예방 및 진정하는 역할에 도움을 줌
- 그 외에도 파래에는 아세트 콜린이라는 물질이 풍부함. 이 성분은 뇌 속에 있는 다양한 신경전달 물질들의 분해를 억제하는 효능이 있음. 이런 효능은 기억력과 집중력을 향상시키는데 도움을 주어 치매를 예방하는데 도움이 됨

〈표 4-3〉 파래의 효능

효능	내용
항산화, 항노화	항산화, 항노화 효과를 가진 폴리페놀 성분 (g 당 약 9 mg)을 함유하여 미역, 다시마, 톳, 김 보다 뛰어난 효능을 지님
빈혈 예방	파래 10-20 g에는 철분의 하루 섭취 권장량이 들어있고, 풍부한 비타민 A와 C 성분은 철분의 체내 흡수율을 높여 빈혈에 효과적임
니코틴 해독	파래가 함유한 메틸메티오닌과 비타민 A 성분은 간 기능을 활성화시켜 체내에 쌓여있는 니코틴 해독에 도움을 주고, 폐 점막을 재생·보호하여 흡연자, 폐질환자, 결핵 등에 효능이 있음
피로회복	파래의 요오드 성분은 혈액을 맑게 해주고 인체 내 산을 제거하여 피로회복에 도움을 줌
골다공증 예방	파래의 칼슘과 칼륨 등 미네랄 성분이 홍조류인 김보다 약 5배 풍부하여 골다공증 예방에 효과적임
변비 예방	파래는 식물성 섬유질이 풍부하여 대장의 연동운동을 도와 변비 예방 및 개선에 효과적임
구취 제거	파래의 클로로필 성분은 구취 제거에 효과적임
내장질환 진정	파래의 클로로필 성분은 인체의 신진대사를 도와주고, 위궤양이나 십이지장 궤양을 예방·진정 역할
두뇌건강	파래의 아세트콜린 성분은 뇌 속에 있는 다양한 신경전달 물질들의 분해를 억제하는 효능이 있음

〈그림 4-2〉 파래 효능



3) 국내·외 파래 활용 사례

- 파래를 활용한 다양한 산업화 사례가 보고되었으며 국내에서는 제주 해양수산자원연구소에서 파래를 발효시켜 전복의 사료를 제조하는 연구를 수행하였고 기존 사용 사료와 비교하여 1년 소비되는 비용의 5배를 절감할 수 있음
- 가시파래 분말을 활용한 생면 제조에 대한 연구가 수행되었고 또한, 제주 농업기술원에서는 구멍갈파래를 이용한 청정발효액비가 개발된 바 있음
- 한국해양연구원은 파래를 이용한 바이오에탄올을 생산하였고 10만 톤의 파래에서 바이오에탄올을 생산하면 약 30억 원 정도의 경제적 효과를 얻을 수 있다고 발표한 바 있음
- 제주 해안 파래더미에서 발견된 해양균류인 *Penicillium jejuense*를 해조류 폐기의 친환경적 처리 및 다당류 분해효소 활성이 높아 해조류 이용 의약품, 건강보조식품 개발에 활용한 연구가 수행중임
- 나주시에서는 천연 염색문화재단에서 해조류를 이용한 천연 펄프, 섬유 및 천연염색 소재 개발과 산업화 연구를 수행 중

- 인천 겐트대학교 글로벌캠퍼스는 벨기에 본교와의 공동연구를 통해 제주 대발생 파래를 이용하여 ‘SEER (Seaweed + Beer)’ 이라 불리는 해조류 맥주를 개발하였고 이 맥주는 Bijloke 수도원 맥주에 비교할 만한 공정을 거쳐 7.5% 알코올 함유량의 최고급 발효맥주임
- 일본에서는 가시파래의 미네랄과 비타민 함유량을 이용하여 생산품을 제조하였고 그물흙파래를 섞어 ‘AONORI’ 라는 상업적 식품을 개발하였음
- 인도는 전통과자인 ‘PAKODA’ 의 재료로 파래를 이용하였고 단백질, 식이섬유, 칼슘, 마그네슘, 철 함유량을 증가시킨 과자를 생산함

〈표 4-4〉 파래의 활용 사례

구분		내용
활용 사례	한국	제주 해양수산자원연구소에서 파래를 발효시켜 전복의 사료를 제조하는 연구를 수행하였고 기존 사용 사료와 비교하여 1년 소비되는 비용의 5배를 절감할 수 있음
		가시파래 분말을 활용한 생면 제조에 대한 연구가 수행되었고 또한, 제주 농업기술원에서는 구멍갈파래를 이용한 청정발효액비가 개발된 바 있음
		한국해양연구원은 파래를 이용한 바이오에탄올을 생산하였고 10만 톤의 파래에서 바이오에탄올을 생산하면 약 30억 원 정도의 경제적 효과를 얻을 수 있다고 발표한 바 있음
		제주 해안 파래터미에서 발견된 해양균류인 <i>Penicilium jejuense</i> 를 해조류 폐기의 친환경적 처리 및 다당류 분해효소 활성이 높아 해조류 이용 의약품, 건강보조식품 개발에 활용한 연구가 수행중임
		나주시에서는 천연 염색문화재단에서 해조류를 이용한 천연 펄프, 섬유 및 천연염색 소재 개발과 산업화 연구를 수행 중
		인천 겐트대학교 글로벌캠퍼스는 벨기에 본교와의 공동연구를 통해 제주 대발생 파래를 이용하여 ‘SEER (Seaweed + Beer)’ 이라 불리는 해조류 맥주를 개발하였고 이 맥주는 Bijloke 수도원 맥주에 비교할 만한 공정을 거쳐 7.5% 알코올 함유량의 최고급 발효맥주임
	중국	파래를 이용한 비료를 개발하여 동남아시아, 중동, 유럽 등 20여개 나라에 수출함. 2014년 파래 비료브랜드 “해장원818”은 중국 내 저명 브랜드로 지정됨
	일본	일본에서는 가시파래의 미네랄과 비타민 함유량을 이용하여 생산품을 제조하였고 그물흙파래를 섞어 ‘AONORI’ 라는 상업적 식품을 개발하였음
	인도	인도는 전통과자인 ‘PAKODA’ 의 재료로 파래를 이용하였고 단백질, 식이섬유, 칼슘, 마그네슘, 철 함유량을 증가시킨 과자를 생산함
	베트남	베트남에서 파래의 높은 영양성분과 생활성물질을 이용하여 기능성 식품, 의약품, 비료 등을 개발하는 연구를 수행하였고 전통 디저트인 ‘CHE’ 의 재료로도 활용함
	호주	전복 양식을 위해 어린시기의 전복의 사료로 파래를 활용하였으며 이를 통해 전복의 생장률과 건강성이 증진됨

- 베트남에서 파래의 높은 영양성분과 생활성물질을 이용하여 기능성 식품, 의약품, 비료 등을 개발하는 연구를 수행하였고 전통 디저트인 ‘CHE’의 재료로도 활용함
- 전복 양식을 위해 어린시기의 전복의 사료로 파래를 활용하였으며 이를 통해 전복의 생장률과 건강성이 증진됨

〈그림 4-3〉 파래 활용사례



3. 파래 신규 가치화: 숯

(1) 파래 숯 개발 필요성

1) 기존 숯 문제점

- 국내에서 숯 소비량이 가장 많은 바비큐 시설 등에 사용되는 숯의 연소과정에서 배출되는 물질을 분석한 결과, 납, 카드뮴 등의 유해 중금속류가 검출되었고 심지어 음식까지 전이가 가능하다는 사실이 보고되었음. 뿐만 아니라, 휘발성 유기화합물 및 다환 방향족 화합물, 황 화합물, 알데히드류가 검출되는 것으로 보고된 바 있음

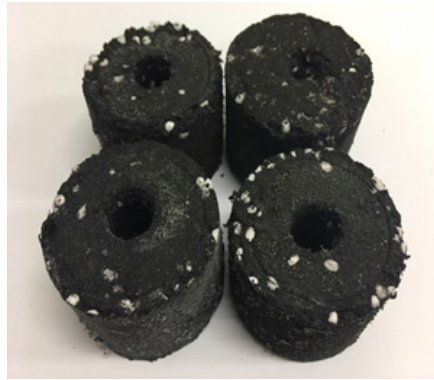
- 이러한 문제는 참숯 보다는 성형 숯에서 더욱 두드러지며, 일반적으로 국내 요식업체에서 사용하는 톱밥을 뭉쳐 만든 인도네시아산 성형 숯인 열탄에는 석유 정제 찌꺼기인 피치가 혼합되어 있고, 이는 아스콘 원료의 발암 물질 덩어리로서 숯을 태울 때 중금속, 포름알데히드, 바륨, 다이옥신 등과 더불어 일산화탄소와 이산화탄소에 의한 인체의 치명적인 코발트 생성을 촉진함
- 눈 및 호흡기 점막을 자극하는 특성을 가지고, 국제발암성연구소 (IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 인체 발암성 가능 물질 (Group 2A)로 분류한 포름알데히드는 숯과 성형 착화탄에서 평균 125.20 ppm 검출된 바 있음
- 그러나 이런 열탄의 연소 시 공해 물질 발생에 대한 국내 환경부나 식약처의 기준치는 아직 없어 별다른 관리 없이 방치되고 있는 실정임
- 2017년 조사에 의하면 국내 12개 목탄 생산업체 중 6개 업체가 부적합 판정을 받은 것으로 드러났으며, 수입산의 경우는 더 심한 것으로 나타남
- 이러한 이유로, UN환경계획에서는 숯의 연소과정에서 배출되는 잔류성 유기 오염물의 위험성에 대해 경고하고 있고, 캐나다 정부에서는 숯을 유해성분 방출원으로 규정하여 숯의 위험성과 친환경 숯 개발의 필요성을 강조함
- 세계 각지에서 수입되는 숯의 가격은 약 5,000~10,000원대로 굉장히 저렴한 편이나, 캄보디아와 같은 개발도상국의 경우 불법벌목에 대한 관리가 부실하기 때문에 이로 인해 생산된 화목이나 숯이 시장에서 낮은 가격으로 판매되고 있음.
 - 이로 인해 합법적으로 생산된 화목이나 숯, 또는 더 친환경적인 연료의 시장 진입을 방해한다는 사실이 보고된 바 있음

2) 숯 원료로써의 파래 유용성

- 앞서 설명했던 파래의 활용사례를 살펴보면 대부분 식품분야, 의약분야, 그 외 비료 및 사료화 등에 집중되어 있어 파래의 2차 폐기물 발생에 대한 논란이 여전하기 때문에 파래 폐기물을 완전하게 처리할 수 있는 방안이 시급함

- 겐트대학교 글로벌캠퍼스 연구진은 기존 숯 연료와 비교하였을 때, 김 펠렛 연료가 기존 숯에 비해 연소율과 에너지 효율성 모두 우수하게 나타나 기존 숯보다 효율적인 연소를 한다는 점을 확인한 바 있음

〈그림 4-4〉 파래 활용 숯



- 시중의 숯은 셀룰로오스 등을 주성분으로 하는 수목으로부터 제조된 고체연료로, 셀룰로오스가 다량 함유된 파래는 고체연료 활용도를 지님
- 총 28개 해조류 회분별 칼로리를 비교한 연구에서 파래의 경우, 회분 대비 가장 높은 칼로리를 함유한 사실이 증명되어 숯으로서의 유용성을 확인함
- 폐기 처리되는 식용 김을 이용하여 제조된 김펠렛 고체연료는 연소율 및 효율이 우수하고 5060 kcal/kg의 저위발열량 그리고 친환경 소재 사용으로 연소 시 배출되는 금속성분양이 고체연료가 가져야 할 법제상의 조건을 충족한다고 밝혀짐

〈표 4-5〉 시중 판매 숯과 해조류 유래 숯의 비교

종류		연료의 에너지 (cal/g)	연소율 (%)
시중 판매되는 제품	백탄	31.2	13.6
	열탄	185.6	78.6
	목재 숯	205	69.8
김펠렛 숯		92.4	70.0
파래 숯		167.7	71.5

(2) 숯의 용도

1) 흡수, 흡착 효과

- 숯은 내부의 다공구조를 이용한 수분조절효과를 가지며 옷장, 벽장안의 습기를 빨아들여 결로나 곰팡이 방지가 가능하고 공구의 녹 생성을 방지함
- 표백효과를 가져 세제 대체하여 사용 가능
- 숙성을 촉진하는 에틸렌 가스를 흡수하여 신선도 유지가 가능
- 악취를 흡수하여 탈취효과를 가지고 소독 냄새가 심한 수돗물을 숯으로 여과하여 냄새를 제거할 수 있음
- 나무와 달리 탄화된 숯은 도체로써의 특성을 가져 실내공간의 전자파를 흡수 및 차단하여 유해전자파나 방사선(라돈) 등을 차단함
- 내부 다공질 구조를 바탕으로 강한 물리적인 흡착력을 가지고 방독마스크(활성탄) 등에 이용됨
- 숯의 다공성 구조는 치석이나 치태를 흡착하고 담배나 커피에 포함된 타닌과 반응하여 치아 미백효과를 유도함
- 간암과 폐암을 유발하는 유독성 발암물질인 아플라톡신 B1을 생성하는 진드기 퇴치에 효과적임

2) 방출 효과

- 숯은 탄소 덩어리로서 탄소가 발생시키는 음이온을 이용할 수 있고 음이온 방출을 통해 주변의 신선도를 유지하고 부패균의 발생을 억제하여 방부효과를 나타냄
- 기본적으로 목재는 다량의 미네랄을 함유하고 있어 탄화된 목재에는 미네랄 성분이 약 4-5배 농축되고 물에 숯을 넣으면 미네랄 성분이 방출되어 물맛을 좋게 함

3) 기타 효과

- 솥은 항균 및 해독 기능을 가져 위염, 장염, 식중독 치료에 효과적이고 벌레, 모기 등에 물렸을 때, 화상을 입었을 때, 염증 등에 효과적이고 인체 내 유해 바이러스 및 균류 배출 작용을 도움
- 또한 유용미생물의 증식을 위한 서식처를 제공함
- 솥은 토양개량제로써 활용이 가능하여 식물의 뿌리의 뻗음과 흡수력을 강화시켜 양분 흡수를 돕고 비료 유출을 방지하고 살포된 농약을 흡착/분해하여 토양오염을 방지함

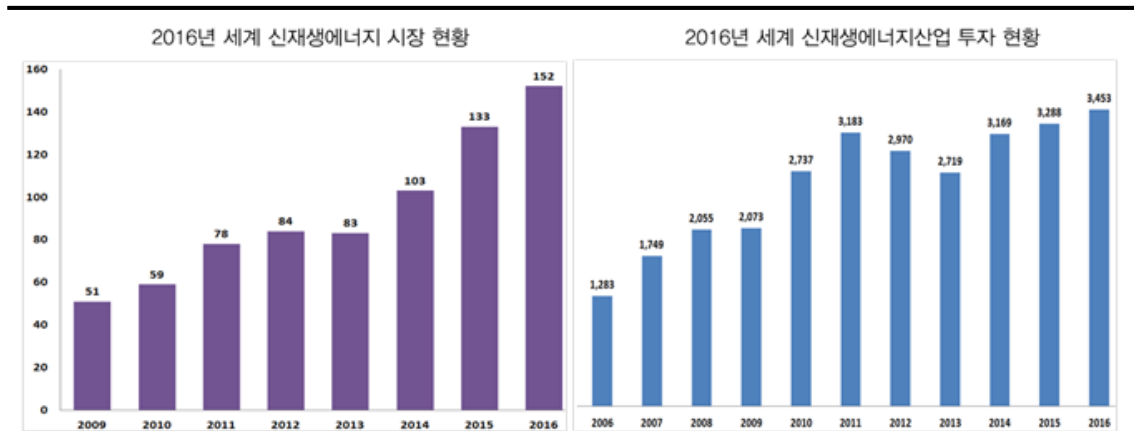
(3) 솥의 경제적 가치

1) 솥 시장

- 인천항으로 수입되는 솥은 월 200-300 컨테이너 (1컨테이너; 1,200 상자, 1상자; 12 kg, 28,000원)
- 우리나라 솥 생산량 매년 7,000-8,000 톤 (36,000 원/15 kg)
- 현재 국내시장은 국내산 참솥과 동남아시아산 솥, 열탄시장 등으로 형성되어 있는데, 국내산 백탄은 너무 고가이고 동남아시아 열탄은 품질이 낮아 고객 만족도가 낮음 (뉴스원, 2014)
- 2006년 개발된 대나무 솥의 경우, 솥 제품 시장 거래액은 1억 US 달러에 달함
- 캠핑 시장의 경우, 국내 캠핑 산업 규모는 2008년 200억 원에서 2014년 6,000억 원으로 성장하여 전년 대비 33%의 성장률을 보였으며 캠핑 인구도 기하급수적으로 늘면서 2013년 기준 전 세계 캠핑 인구는 약 1억 3,000만 명 수준인 것으로 파악됨

- 야외 캠핑 그릴 시장의 경우, 미국에서는 숯 사용 바비큐그릴이 39%를 차지하고 있고, 8,000억 원 규모의 시장을 가지고 있으며 매년 150%의 성장률을 보임
- 국내의 경우 70억 원 규모의 시장, 매년 200%의 성장률을 보이며 현재 숯의 95%는 전량 수입에 의존하고 있음

〈그림 4-5〉 세계 신재생에너지 시장 현황



제3절 감태의 생태 특성 및 활용 현황

1. 감태의 생태 생리적 특성 분석

(1) 감태의 종류 및 분포종류 및 분포

1) 감태의 종류

- 감태는 다년생 갈조류로 감태과(Lessoniaceae), 감태속(Ecklonia) 식물로 학명은 *Ecklonia cava* 임
 - 감태는 수지상 부착기, 원주상 경상부 및 잎 형태의 엽상부로 구성되며, 경상부는 50 cm, 엽상부는 1 m 이상 자라기도 함

- 유사종으로 검둥감태(*Ecklonia kurome*), 곰피(*E. stolonifera*), 대황(*Eisenia bicylis*)이 있으나 제주 해안에서는 분포도가 매우 낮음

2) 감태의 분포

- 감태는 국내에서 대량 번식지가 제주도 이외에는 거의 형성되지 않은 제주 특산 해조 자원임
- 감태는 제주 연안 수심 25 m 까지 분포하며 수심 10-15 m에서 생물량이 가장 많음
- 현재 제주도에서 감태는 바다속 패류(소라, 전복 등)의 먹이 자원으로 어장 보호차원에서 제주도 조례에 따라 인위적 채취는 금지하고 있음
 - 그러나 가을 태풍에 의하여 많은 양의 감태가 바람의 영향으로 부착기가 탈착되어 해안가로 떠밀려 오고 있음
 - 태풍에 떠밀려 온 감태를 제주에서는 풍태라고 부르며, 현재 풍태를 수거하여 건조한 후 산업용 원료로 가공하고 있음
- 이러한 수동적 형태의 감태 원료 공급은 감태 활용 바이오산업의 발전에 걸림돌이 되고 있으며, 향후 감태의 대량 양식 기술 개발을 통하여 이를 극복하여야 함

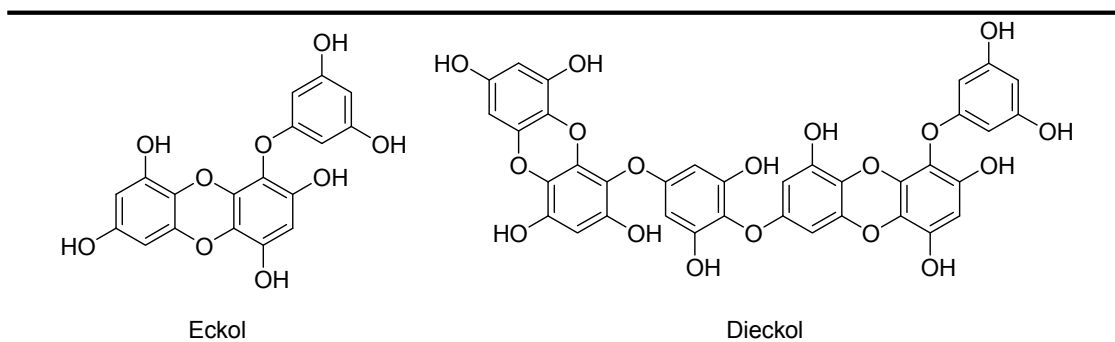
(2) 감태의 특성

1) 감태의 폴리페놀 성분

- 감태는 제주에서 오래 전에 알긴산 등의 원료로 각광 받은 적이 있었음
 - 근래 도내 알긴산 생산 시설이 없어지면서 감태의 효용 가치가 감소하여 미(未)이용 해조 자원으로 방치되고 있었음
- 최근 감태의 폴리페놀 성분이 다양한 활성을 갖고 있음이 밝혀지면서 감태는 바이오산업 소재로 재인식되고 있음

- 감태의 폴리페놀 중 주요 성분은 에콜(eckol)과 다이에콜(dieckol)로 알려져 있으며, 육상식물에서는 찾아볼 수 없는 독특한 폴리페놀 구조를 하고 있음
- 감태의 폴리페놀은 강력한 항산화효과와 더불어 다양한 단백질과 결합할 수 있는 탄닌(감태 탄닌을 플로로탄닌이라고 부름) 성질을 갖고 있기 때문에 다양한 생리활성을 나타내고 있음

〈그림 4-6〉 감태(*Ecklonia cava*)의 주요 폴리페놀 성분



- 플로로탄닌을 함유한 해조류에 대한 연구가 이루어져 있으나, 감태의 플로로탄닌 함량이 유사한 해조류에 비하여 월등히 높게 나타나고 있음
- 따라서, 감태는 플로로탄닌 활용 바이오산업 소재로서 가치가 매우 크다고 하겠음

2) 감태의 생리활성

- 감태 플로로탄닌 연구의 출발점은 1985년 일본 오츠카제약회사의 Fukuyama 박사 연구팀이 일본 자생 감태인 *Ecklonia kurome*에서 에콜(eckol)과 다이에콜(dieckol)의 구조를 밝힌 논문(Chemistry Letter, p 739-742, 1985년)에서 시작됨
- 이어지는 연구(Agricultural and Biological Chemistry 1989년; Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 1990년)에서 Fukuyama 연구팀은 에콜 성분이 강력한 혈전용해효과를 지니고 있으며, 심장병 질환 치료제로 사용가능함을 밝히고 있음
- Fukuyama 연구팀의 발표 이후, 감태에서 에콜 및 다이에콜 이외의 여러 가지 플로로탄닌 성분들이 분리 동정되었으며 다양한 생리활성 연구가 아직까

지 새롭게 보고되고 있음

- 2006년 이후 새롭게 보고된 감태 추출물 및 성분 유래 생리활성 성분 연구 결과는 <표 4-6>에 요약되어 있음
- 특히, 감태 플로로탄닌에서 얻어지는 가장 강력한 효과는 항산화효과로서 카테킨 폴리페놀이 대량 함유된 육상식물의 녹차에 비견할 수 있음

<표 4-6> 감태 추출물 및 성분 연구

연번	논문 제목	개요	발표 논문	발표기관 (발표년도)
1	Inhibition of Oxidative Damage by Phlorotannins from Ecklonia cava in Normal Human Fibroblasts	감태 추출물이 피부 섬유아세포의 산화적 손상에 보호효과가 있음	Journal of Marine Bioscience and Biotechnology	부경대학교 (2006)
2	Elastase and Hyaluronidase Inhibition Activities of Phlorotannins Isolated from Ecklonia cava	감태에서 분리한 플로로탄닌 성분이 피부 탄력 향상에 도움을 줄 수 있음	생약학회지	제주대학교 (2006)
3	Effects of Heat and pH Treatments on α -Amylase Inhibitory Activity of Ecklonia cava Ethanol Extract	당뇨 개선 기능성 식품으로 활용하기 위한 감태 추출물 연구	한국수산과학회지	부경대학교 (2011)
4	Ecklonia cava Polyphenol Protects the Liver against Ethanol-induced Injury in Rats	감태 유래 폴리페놀 성분이 쥐실험에서 에탄올에 의한 간손상을 보호하는 효과가 있음	Biochimica et Biophysica Acta	오사카대학교(일본) (2012)
5	Anti-inflammatory Effects of Fucoidan Extracted from Ecklonia cava in Zebrafish Model	제브라피쉬 이용 실험에서 감태 유래 푸코이단 성분의 항산화 효과 규명	Carbohydrate Polymers	제주대학교 (2013)
6	Radio-protective Effect of Polysaccharides Isolated from Lactobacillus brevis-fermented Ecklonia cava	감태 발효 산물인 다당류의 방사선 방호효과 규명	International Journal of Biological Macromolecules	제주대학교 (2013)
7	Antioxidant and Cellular Protective Activities of Ecklonia cava Extracts against Reactive Oxygen Species	감태 추출물의 항산화 효과 규명 및 항산화 화장품 소재 이용 가능성 제시	대한화장품학회지	서울과학기술대학교 (2015)
8	Efficacy of Algal Ecklonia cava extract against Viral Hemorrhagic Septicemia Virus (VHSV)	감태 추출물의 양식 어류 폐사의 원인 VHSV 바이러스에 대한 항바이러스 효과 규명	Fish and Shellfish Immunology	전남대학교 (2018)
9	Inhibitory Activity of Minor Phlorotannins from Ecklonia cava on α -Glucosidase	감태 유래 플로로탄닌 성분의 α -Glucosidase 저해 효과 규명	Food Chemistry	전남대학교 (2018)
10	Anti-inflammatory and Anti-allergic Effects of Phlorofucofuroeckol A and Dieckol Isolated from Ecklonia cava	감태 유래 Phlorofucofuroeckol A 및 Dieckol 화합물의 항염 및 항알러지 효과 규명	Journal of Life Science	계명대학교 (2018)
11	Cellular Protective Effect of Ecklonia cava Extract on Ultra-fine Dust (PM2.5)-induced Cytotoxicity	초미세먼지(PM2.5)로 유도된 세포 독성에 대하여 감태 추출물의 세포 보호효과 규명	Korean Journal of Food Science and Technology	경상대학교 (2019)

2. 감태 활용 해양바이오산업 현황 분석

(1) 감태의 활용 가능 분야

- 감태 추출물은 2005년 (주)휴림에 의하여 한국식약처로부터 수면개선 건강기능식품(2015-6)으로 개별 인정을 받은 바 있음
 - 한국식약처 자료에 의하면 2018년 국제 건강기능식품 업체수는 500개이며 시장 규모는 4조 4300억 원에 이르고 있음
 - 휴림, 고려은단, 천호엔케어, 일양약품 등이 감태추출물이 들어간 영양제를 출시하고 있으며 감태 관련 건강기능식품시장 규모가 연간 100억 원을 상회하고 있음
 - 감태에 함유된 플로로탄닌 성분이 GABA 수용체 활성화에 기인하여 동물실험 및 인체적용 실험에서 수면개선 효과를 나타내고 있음
- 감태 주정 추출물은 다이에콜을 유효성분 하여 혈중 콜레스테롤 개선제로 건강기능식품 원료(2012-28)로 등재되어 있음
- 감태의 산업적 활용 가능 분야는 공개된 특허를 통하여 확인 가능한데 <표 4-7>과 같음

<표 4-7> 감태 활용 관련 특허

연번	특허명	국내 특허번호 (특허년도)	출원인
1	감태 추출물을 포함하는 중간엽 줄기세포 배양용 배지 조성물	0038966 (2015)	(주)에스티씨나라
2	해마, 감태 및 우뚝가사리 추출물을 함유하는 항노화 화장품 조성물	1541289 (2015)	(주)코스메카코리아 (주)더마랩
3	감태 추출물을 이용한 여드름 피부용 화장품 조성물	0762181 (2007)	신라대학교
4	피부 미백활성을 갖는 감태 추출물	0097293 (2010)	부경대학교
5	항산화 활성효능을 가진 원적외선건조에 의한 감태의 에탄올 추출물	0021260 (2010)	태림상사(주)
6	초임계 이산화탄소를 이용하여 제조한 높은 항산화 활성을 갖는 감태 추출물 및 이의 제조 방법	0004758 (2008)	코스맥스(주)

연번	특허명	국내 특허번호 (특허년도)	출원인
7	감태 에틸아세테이트 분획물 또는 이로부터 분리된 디에콜 유효성분을 함유하는 리파제 저해제	0139999 (2012)	부경대학교
8	감태 효소 추출물을 유효성분으로 포함하는 국수용 소스 조성물	0111057 (2012)	양순복(제주)
9	디에콜을 함유하는 탈모방지 또는 발모촉진용 조성물 및 이의 제조 방법	0058695 (2012)	아쿠아그린텍(주)
10	알콜성 간손상에 대한 간보호 활성을 지닌 곰피 또는 감태의 주정 추출물과 그로부터 분리한 플로로탄닌류를 함유하는 간보호용 조성물	0121308 (2012)	부경대학교
11	감태 유래 마이톨과 후코이단 혼합물을 유효성분으로 함유하는 아토피 피부용 개선용 화장품 조성물	0138308 (2012)	강릉원주대학교
12	중금속 노출에 대응하는 감태의 유전자 및 이를 이용한 해양 생태계 환경 오염 진단 방법	0023670 (2014)	한국해양과학기술원
13	감태 추출물을 포함하는 전립선의 예방 및 치료용 조성물	0006149 (2014)	카톨릭대학교
14	비만 억제에 기능을 가지는 갈조류 감태의 n-부탄올 추출물	0024539 (2013)	한국해양대학교
15	감 및 감태를 포함하는 이성분 복합 천연염료 및 이를 이용한 천연염색 방법	1680480 (2016)	제주대학교
16	감태 및 생균체를 유효성분으로 함유하는 사료첨가제 및 이의 용도	0065510 (2015)	(주)미래자원엠엘 강원대학교
17	감태 부탄올 분획물을 함유하는 역류성 식도염의 예방 또는 치료용 조성물	0054172 (2016)	한림대학교
18	감태 염료 및 이를 이용한 천연염색 방법	1680475 (2016)	제주대학교
19	감태 추출물을 유효성분으로 함유하는 통증의 완화, 예방 또는 치료용 조성물	0145313 (2015)	한국식품연구원
20	감태 추출물을 포함하는 유산균 증식 촉진제	0062150 (2015)	제주대학교
21	체중 감소용 감태 추출물 및 이의 제조방법	1624713 (2016)	주영엔에스(주)
22	감태 추출물을 포함하는 로타바이러스 감염의 예방 또는 치료용 조성물	0086474 (2011)	한국생명공학연구원
23	감태를 이용한 기능성 한과 제조 방법	1787377 (2017)	포동청년영농조합 법인
24	감태 추출물과 팽생이모자반 추출물을 이용한 항알레르기 조성물	1816742 (2018)	전남대학교 제주대학교
25	감태 추출물을 유효성분으로 포함하는 다낭성 난소 증후군 관련 질환의 예방, 개선 또는 치료용 조성물	1907849 (2018)	한국한의학연구원
26	감태의 유효성분인 디에콜과 후코이단을 함유하는 감태추출혼합물의 제조방법	1860137 (2018)	한국해양바이오콜 러스터(주)
27	함초 추출물 및 감태 추출물을 포함하는 피부 보습용 화장품 조성물	1924353 (2018)	한국콜마(주)
28	함초 추출물 및 감태 추출물을 포함하는 피부 트러션 예방 또는 개선용 조성물	1924355 (2018)	한국콜마(주)

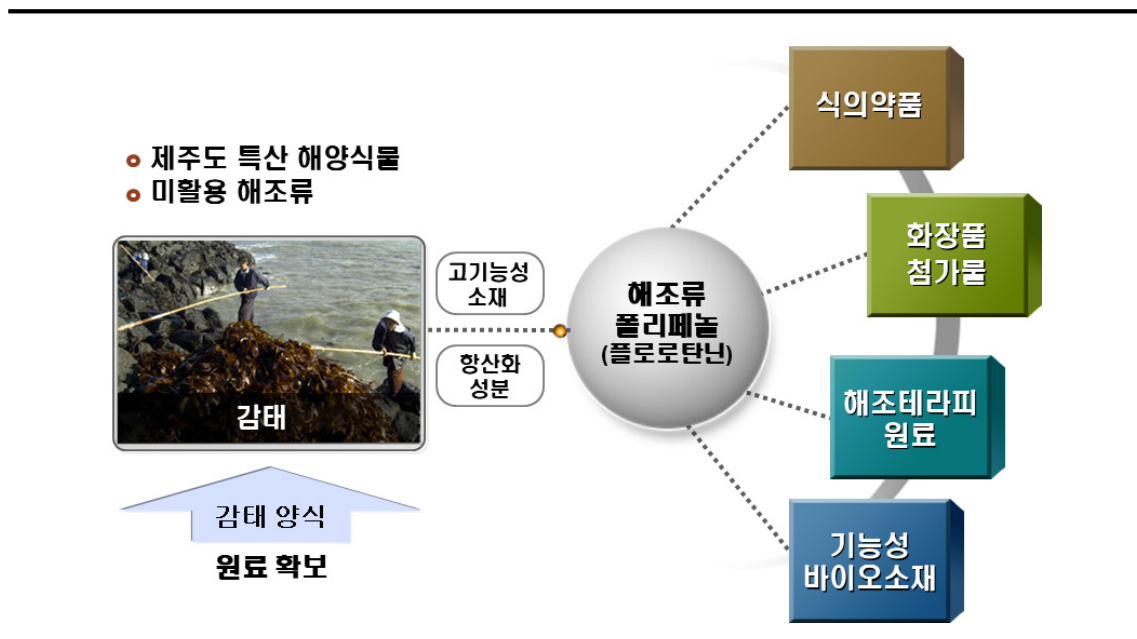
연번	특허명	국내 특허번호 (특허년도)	출원인
29	효소 처리 감태 추출물을 포함하는 피부 미백용 조성물	0017159 (2013)	(주)아모레퍼시픽
30	감태 추출물 또는 이로부터 분리한 폴로로탄닌계 화합물을 유효성분으로 포함하는 인플루엔자의 예방 또는 치료용 조성물	0052258 (2018)	조선대학교
31	감태 추출물, 이의 제조방법 및 이를 유효성분으로 함유하는 혈관계 질환의 예방 또는 치료용 약학적 조성물	1936930 (2019)	가천대학교 제주대학교
32	감태 추출물과 팽생이 모자반 추출물을 이용한 면역억제용 조성물	0120037 (2018)	제주대학교 전남대학교
33	감태 추출물과 팽생이 모자반 추출물을 이용한 항염증용 조성물	0117812 (2018)	전남대학교 제주대학교
34	감태 추출물을 이용한 산화방지 조미김의 제조방법	1992643 (2019)	대구카톨릭대학교
35	감태 추출물을 포함하는 두피보호용 조성물	2014902 (2019)	바이오스펙트럼 (주)
36	감태 추출물을 포함하는 식이조질 조성물 및 이의 제조방법	2055879 (2019)	아쿠아그린텍(주)
37	미역귀 추출물, 감태 추출물 및 글리코사미노글리칸을 포함하는 항노화 기능성 화장료 조성물	0035444 (2019)	제주대학교 (주)아이투비
38	발효 감태 염료 및 이의 제조방법	0022436 (2018)	제주대학교 쑥부쟁이(영)
39	감태 및 화산송이의 복합 추출물을 유효성분으로 포함하는 항산화 및 항염 조성물 및 그 제조법	0002498 (2020)	(주)송이산업 단국대학교
40	감태 추출물과 팽생이모자반 추출물을 이용한 아토피 피부염 개선용 조성물	0060631 (2019)	전남대학교 제주대학교
41	감태 추출물을 함유하는 면역기능증진용 과립제 식품 조성물 및 그 제조방법	0998280 (2017)	유병혁
42	감태 추출물을 포함하는 항염증성 및 염증성 신경퇴행성 질환의 예방 또는 치료용 약학적 조성물	0080896 (2018)	단국대학교
43	감태 열수추출물의 추출방법 및 추출된 감태 열수추출물을 이용한 어묵 제조방법	0034394 (2020)	국립수산과학원
44	감태 추출물 또는 분획물을 유효성분으로 함유하는 인체 파필로마바이러스(HPV) 감염치료, 개선 또는 예방용 조성물	0058143 (2020)	성균관대학교
45	감태와 피조개 혼합 추출물을 포함하는 조성물	0069880 (2020)	동신대학교
46	감태 추출물의 혼합물을 유효성분으로 함유하는 인지기능 장애 예방 또는 개선용 조성물	0038187 (2020)	경상대학교 덕성여자대학교

○ 특허를 살펴보면 식품, 화장품 및 의약품 분야에서 감태의 활용 가능성은 매우 높다고 하겠음

- 식품분야에서는 항산화 효능, 항노화 효과, 당뇨 개선 효과, 간보호 효과, 비만 억제 효과, 면역 억제 효과 등을 지닌 기능성식품 제조 및 활용 가능성이 제시되고 있음

- 화장품 분야에서는 미백 활성, 여드름 완화 활성, 피부 노화 방지, 아토피 피부 개선, 튼살 예방, 탈모 방지, 두피 보호 등의 효능을 지닌 기능성화장품 제조 활용 가능성이 있음
 - 의약품 분야에서는 전립선 치료, 역류성 식도염 치료, 통증 완화제, 다낭성 난소 증후군 치료, 인플루엔자 예방 및 치료, 혈관계 질환 치료, 신경 퇴행성 치료, 파필로 바이러스 감염 치료, 인지 기능 장애 예방 및 치료 등에 활용 가능성이 제시되고 있음
 - 기타 사료 첨가제, 천연 염료 소재, 줄기세포 배양 배지, 해양 생태계 환경 오염 진단 시약 등의 활용 가능성이 제시되고 있음
- 바이오산업 소재로서 감태의 우수성은 강력한 항산화성 물질인 플로로탄닌 성분에 근거하고 있음
- 플로로탄닌은 매우 독특한 생리활성 성분으로 해조류 중에서 감태에서만 고함량 분포하고 있음
 - 플로로탄닌을 기반으로 한 감태 활용 가능성은 매우 크다고 하겠음

〈그림 4-7〉 해조 자원 감태 활용 분야



(2) 감태 활용 바이오기업 현황

1) (주)보타메디(www.botamedi.com)

- (주)보타메디는 제주도에 본사가 위치해 있으며, 국내에서 감태 유래 폴리페놀 (상품명, 씨놀[®] Seanol[®])을 전문적으로 취급하는 대표적인 회사임
 - 2001년 대전에서 라이브캠(주)으로 창업하여 일관되게 감태 유래 폴리페놀 성분의 산업화에 노력하고 있음
 - 본사를 제주도로 옮긴 후에 2011년 법인명을 (주)보타메디로 변경함
- 씨놀[®]은 감태 추출물에서 다이에콜을 중심으로 한 플로로탄닌 성분을 분획한 물질임
 - Seanol[®]은 2008년 국내 최초 FDA NDI(New Dietary Ingredient) 승인을 얻은 바 있음
 - Seanol[®]은 또한 2018년 유럽 NFI(Novel Food Ingredient) 인증을 획득
- (주)보타메디는 씨놀[®]을 중심으로 하여 원료사업, 기능성식품, 화장품, 반려동물 제품, 음료 등의 사업 영역을 가지고 있음

2) (주)아쿠아그린텍(www.aquat.co.kr)

- (주)아쿠아그린텍은 2005년 양식장 어류의 면역증강을 위한 기능성 사료 개발 사업을 진행하기 위하여 제주도 본사로 설립되었음
- 이후 사업 영역을 제주 연안 해조류 활용 분야로 확대하여, 현재 식품 및 화장품 분야 제품 개발과 판매를 주력으로 하고 있음
- 특히, 감태를 효소 가수분해하여 얻은 추출물을 주원료로 하여 다양한 기능성 제품을 출시하고 있음
 - 감태 다이에콜이 고농도로 함유된 추출물을 이용하여 혈행개선과 체중조절용 소재로 건강기능식품 개별 인증을 받기 위한 임상시험을 현재 진행 중에 있음

제4절 우뚝가사리 생태 특성 및 활용 현황

1. 우뚝가사리의 특성 분석

(1) 우뚝가사리의 정의

1) 우뚝가사리의 종류

○ 우뚝가사리(학명: *Gelidium amansii*)는 식물분류학상 홍조류에 속하며 우뚝가사리목 우뚝가사리과(Gelidaceae)에 속하는 종류를 총칭하고 있음

- 우뚝가사리류는 종류수가 5속 30종으로 알려져 있으며 제주도를 비롯하여 국내에 서식하는 천초의 대부분은 *Gelidium amansii* 품종임
- 지역별로 우미(제주도), 가사리(부산), 우무(기장), 홍초(구룡포) 등 조금씩 다른 이름(사투리)으로 불리고 있음
- 우뚝가사리는 한천 원료로서 가장 적합한 특성을 지님
- 우뚝가사리는 다년생(2, 3년) 해조류이며 포자에서 발아한 것은 1개월 만에 성숙해서 가지 위 부분에 작은 가지가 밀생하여 사분포자 또는 과포자를 형성함
- 몸의 크기는 보통 10-15 cm, 큰 것은 25-30 cm에 달하고 있으며 가지의 폭은 0.5-2 mm 정도임

○ 우뚝가사리 속에는 *Gelidium amansii* 이외 유사 품종으로는 왕우뚝가사리(*G. pacificum*), 애기우뚝가사리(*G. divaricatum*), 먹우뚝가사리(*G. vagum*), 평초(*G. subcostatum*) 등이 있음

2) 우뚝가사리의 분포

○ 우뚝가사리는 아시아 지역의 한국, 일본을 비롯하여 유럽 권역에서 스페인, 모로코, 포르투갈 그리고 남아메리카 칠레 해안이 주요 서식지로 알려져 있음

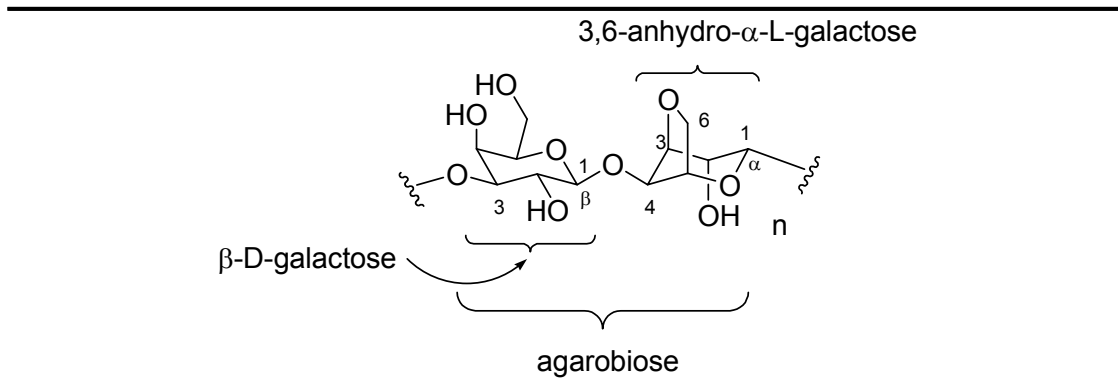
- 일반적으로 해안대 간조선에서 20-30m까지의 암초 상에서 착생하며, 가장 번무한 수심은 2-4m 되는 곳임
 - 북쪽 지방으로 갈수록 얕은 수심에서 서식하고 남쪽 지방일수록 깊은 수심에서 생육하게 됨
- 우리나라에서는 동해안의 함경도 이남과 서해안의 백령도 이남의 전 지역에 걸쳐 분포하고 있음
 - 수온 상으로는 월 평균 수온 2° C 이하인 해역에서는 분포하지 않음
- 최근 Nature 논문에서는 북한 서해안 웅진반도 부근 마합도가 우뚝가사리 군락지로 제시하고 있으며, 우뚝가사로 종류 및 생산량에 대한 자세한 사항은 추가 조사가 필요한 실정임

(2) 우뚝가사리의 특성

1) 우뚝가사리 다당류의 화학적 특성

- 우뚝가사리(*Gelidium amansii*)의 구성 성분은 탄수화물계(우무, 섬유소 등)와 비탄수화물계(단백질, 회분 등)로 나눌 수 있음
- 우뚝가사리의 특징은 특이한 다당류 성분인 한천(agar)에 있는데 우뚝가사리의 열수 추출물을 우무라고 하며, 우무에서 물을 제거한 성분을 한천(agar)이라고 함
 - 한천(agar)의 구성 성분은 유기용매인 클로로포름에 녹는 성분인 아가로스(agarose)와 녹지 않는 아가로펙틴(agarpectin)으로 되어 있고 구성 비율은 아가로스 60-80%, 아가로펙틴 20-40%임
- 아가로스(agarose)는 β -D-galactose와 3,6-anhydro- α -L-galactose가 β -1,4 결합을 하고 있는 선형(linear) 다당체임
 - <그림 4-8>에서 보여주고 있는 것처럼 두 개의 갈락토스가 연결된 단위체를 아가로비오스(agarobiose)라고 하며, 아가로는 아가로비오스가 반복되어 연결된 균일한(homogeneous) 고분자 물질임

〈그림 4-8〉 아가로스(agarose) 화학 구조



○ 아가로펙틴(agarpectin)은 아가로스과 달리 화학 구조가 일정하지는 않음.

- 아가로펙틴은 구성당인 갈락토스의 1/3이 6-O-methyl-D-galactose이며, 아가로비오스 잔기에 sulfate(3.5-9.7%), 피루브산(0.04-2.9%), D-glucuronic acid 등이 에스터(ester) 결합을 하고 있는 산성인 다당류임
- 이러한 구성 성분과 아가로비오스 사이 에스터 결합 위치는 일정하지 않음

2) 제주산 우뚝가사리의 품질 특성

- 해외 우뚝가사리 생산지로는 모로코가 가장 잘 알려져 있는데 제주산과 모로코산을 비교 분석한 자료를 보면 <표 4-8>와 같은데 제주산 우뚝가사리의 탄수화물(섬유소 포함) 함량이 높게 나타나고 있음
- 탄수화물 함량이 높으면 우뚝가사리의 특성을 나타내는 한천(agar)의 함량이 높다고 예측할 수 있음

〈표 4-8〉 제주산과 모로코산 우뚝가사리 성분 비교 분석

구분	Cellulose (섬유소)	Galactan (다당류)	Carbohydrate (탄수화물)	Protein (단백질)	기타 (Lipid, Ash)
제주산 우뚝가사리	23.0	56.4	79.4	11.8	8.8
모로코산 우뚝가사리	16.6	55.2	75.2	21.1	3.7

자료: 김철(2010), Saccharification of *Geldium amansii* by Acid Hydrolysis to Generate Mixed Sugars, 경희대 대학원 논문, p 27, 2010.2.

- 제주산과 모로코산 우뭇가사리에서 DMSO를 이용하여 아가로스와 아가로펙틴 부분을 추출 정제하여 겔강도를 비교 분석해 본 결과 <표 4-9>와 같은데 제주산 우뭇가사리의 겔 강도가 535 g/cm²로서 모로코산 258 g/cm²보다 2배 이상 높은 수치를 나타내었음
- 겔 강도의 주요 결정 인자는 한천에 존재하는 황산기의 함량, anhydroseagalactose의 함량 및 한천의 분자량 등으로 알려져 있음
 - 겔 강도는 한천의 품질을 나타내는 지표로 활용되고 있으며 겔 강도가 높을수록 고부가가치 제품인 아가로스 활용도가 높아서 우수한 품질로 평가 받고 있음
 - 한천으로부터 아가로를 제조한 후 겔 강도가 약하면, 장시간의 전기영동 중 buffer tank 내의 겔 온도가 올라갔을 때 망상구조의 변화를 가져와 밴드의 진행속도가 구간별로 달라져 밴드의 일그러짐이나 smiling 현상이 일어남
 - 또한 겔 조작 시 잘 찢어져 운반이나 slicing 할 때 문제를 야기할 수 있어서 고품질 아가로스에는 고강도 겔 유지가 필수적임
 - 따라서 제주산 우뭇가사리가 고품질 아가로스 제조에 더욱 적합한 우수 제품이라고 평가할 수 있음

<표 4-9> 제주산과 모로코산 한천 품질 비교 분석

구분	겔 강도(g/cm ²)	황산기의 함량(%)
제주산 우뭇가사리	535	0.8
모로코산 우뭇가사리	258	1.2

자료: 강태환(2011), 제주산 우뭇가사리로부터 DMSO 추출과 EDTA 수세법에 의한 상용화 아가로스 제조

- 제주산 우뭇가사리의 우수성은 일본 무역 통계 자료에서도 잘 나타나 있음
 - 일본은 우뭇가사리 수요가 가장 많은 국가로서 매년 해외에서 원초를 수입하여 한천 등을 제조하고 있음
 - 2011년 1월부터 7월까지 7개월 간 일본이 수입한 우뭇가사리는 1,154톤으로 나타났으며, 한국(제주산)에서 409.5톤 및 모로코에서 509.5톤은 수입하였음
 - 이어서 칠레, 남아프리카공화국, 인도네시아 등에서 우뭇가사리를 수입하였음

- 수입단가를 보면 제주산이 10kg 당 4,304엔으로 모로코산 2,461엔, 칠레산 2,607엔 등에 비하여 2배 가까이 높은 가격을 유지하고 있음

〈표 4-10〉 일본 무역 통계: 우뭇가사리 수입 실적(2011년 1월-7월)

수입국가	수입물량(톤)	수입단가(엔/kg)
한국(제주)	409.5	4304
모로코	509.5	2461
칠레	97.8	2607
남아프리카공화국	78	2670
인도네시아	37.6	2268
중국	12	-
합계	1154	

자료: 한국농수산식품유통공사(www.kati.net/board/)

- 국내 다른 지역과 제주 지역에서 수확한 우뭇가사리에서 한천을 추출하여 수율을 비교 분석한 결과, 〈표 4-11〉에서 보듯이 제주지역 한천의 추출 수율이 높게 나타남
- 우뭇가사리의 산업적 용도가 한천에 출발한다는 점에서 보아 제주지역 우뭇가사리 품질이 우수하다고 평가할 수 있음

〈표 4-11〉 지역별 우뭇가사리 한천 수율 비교

지역	한천의 수율(%)
다대포	38.4
송도	31.6
광안리	36.0
대변	34.3
일광	33.0
제주도	43.6
울릉도	46.8

자료: 도정룡(1997), 우뭇가사리로부터 한천의 추출 및 정제, 한국식품개발원

2. 우뚝가사리 해양바이오산업 현황 분석

(1) 우뚝가사리 생리활성

- 문헌에 언급되어 있는 우뚝가사리의 생리활성 데이터는 <표 4-12>와 같이 정리할 수 있음

<표 4-12> 우뚝가사리 생리활성

연번	논문 제목	개요	발표 논문	발표기관 (발표년도)
1	The Antimicrobial and Growth Inhibitory Effects of <i>Geldium amansii</i> L., Fractions on Cancer Cell Lines	우뚝가사리 분획물이 항균 및 암세포 성장 억제효과 있음을 밝힘	Journal of Marine Bioscience and Biotechnology	신라대학교 (2007)
2	제주도 토착 우뚝가사리의 항산화활성 및 HaCaT 세포 재생 효과	제주 우뚝가사리 추출물의 항산화활성 및 세포 재생 효과 규명	대한피부미용학회지	제주한라대학교 (2010)
3	Use of <i>Geldium amansii</i> as a Promising Resource for Bioethanol: A Practical Approach for Continuous Dilute-Acid Hydrolysis and Fermentation	가수분해/발효 과정을 통하여 우뚝가사리는 바이오에탄올로 쉽게 전환될 수 있음	Bioresource Technology	한국생산기술연구원 (2012)
4	Preparation of Commercial Agarose from Jeju Seaweed, <i>Geldium amansii</i> using DMSO Extraction and EDTA Washing	제주 우뚝가사리를 이용하여 아가로스 제조 방법 제시	한국수산과학회지	제주대학교 (2011)
5	Immunomodulatory Activities of <i>Geldium amansii</i> Gel Extracts on Murine RAW 264.7 Macrophage	대만 자생 우뚝가사리 추출물의 항염 관련 활성 규명	Journal of Food and Drug Analysis	대만의과대학 (2013)
6	Bioethanol Production from Seaweed <i>Geldium amansii</i> for Separated Hydrolysis and Fermentation	바이오에탄올 생산을 위한 우뚝가사리의 분리당발효 최적 조건 제시	Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal	부경대학교 (2013)
7	Red Algae (<i>Geldium amansii</i>) Reduces Adiposity via Activation of Lipolysis in Rats with Diabetes Induced by Streptozotocin-nicotinamide	쥐 대상 실험에서 우뚝가사리 추출물이 지방 축적 억제 효과 증명	Journal of Food and Drug Analysis	국립대만수산대학교 (2015)
8	Popular Edible Seaweed, <i>Geldium amansii</i> Prevents Against Diet-induced Obesity	쥐 대상 실험에서 우뚝가사리 추출물이 비만 억제 효과 증명	Food and Chemical Toxicology	제주대학교 (2016)
9	Red Algae (<i>Geldium amansii</i>) Hot-water Extract Ameliorates Lipid Metabolism in Hamsters Fed a High-fat Diet	쥐 대상 실험에서 우뚝가사리 열수 추출물이 비만 억제 효과 증명	Journal of Food and Drug Analysis	국립대만수산대학교 (2017)
10	<i>Geldium amansii</i> Extract, a Potent α -Glucosidase and α -Amylase Inhibitor, Alleviates Postprandial Hyperglycemia in Diabetic Mice	당뇨쥐 대상 실험에서 우뚝가사리 추출물이 혈당 강하 효과 증명	Journal of Life Science	부산대학교 (2019)
11	Agar Hydrolysates Obtained from Jeju Island Attenuates the LPS-induced Inflammation in Vitro and in Vivo Zebrafish Embryos	제주산 우뚝가사리 한천 유래 가수분해물의 항염 활성 효과 규명	Journal of Marine Bioscience and Biotechnology	제주대학교 (2019)

- 우뭇가사리는 앞 장에서 언급한 감태와 달리 폴리페놀 성분이 거의 없으며 대부분 다당류로 이루어져 있음
- 우뭇가사리 추출물에 대한 효능은 식이섬유소인 다당류에 근거하여 비만 억제, 혈당 억제 등이 잘 알려져 있음
- 우뭇가사리 추출물은 또한 항염 및 항균 효과에 대한 연구 결과가 보고되어 있음

(2) 우뭇가사리 활용 가능 분야

- 우뭇가사리의 산업적 활용 가능한 범위는 우선 공개된 특허를 통하여 유추할 수 있는데 <표 4-13>과 같음

<표 4-13> 우뭇가사리 산업 활용 가능 분야

연번	특허명	국내 특허번호 (특허년도)	출원인
1	우뭇가사리 추출물을 포함하는 기능성 식품	0029847 (2014)	차의과학대학교
2	신경세포 구축의 발달 및 복잡성을 촉진하는 해양 조류 우뭇가사리의 에탄올 추출물, 및 이의 제조방법	0112201 (2013)	부경대학교
3	우뭇가사리, 미역, 밀싹 및 베르가못 혼합 추출물을 함유하는 항산화 효과 및 피부 노화 예방 효과를 갖는 화장용 조성물	0129601 (2012)	이상록
4	피부 주름 개선 효능을 갖는 우뭇가사리 주정추출 유산균 발효물 및 이를 유효성분으로 함유하는 제품	1409764 (2014)	(주)한국야구르트
5	해마, 감태 및 우뭇가사리 추출물을 함유하는 항노화 화장료 조성물	1541289 (2015)	(주)코스메카코리아 (주)더마랩
6	우뭇가사리를 이용한 펄프의 제조방법	1847039 (2018)	(주)마린펄프
7	우뭇가사리 추출물을 포함하는 치주 질환 예방 및 치료용 조성물	1978355 (2019)	동의대학교
8	우뭇가사리 추출물 및 함초 추출물을 포함하는 항비만용 조성물	0014992 (2020)	동의대학교

- 우뭇가사리 추출물에 대한 항비만 조성물에 대한 산업적 활용 가능성이 제시되어 있음
- 우뭇가사리의 세포간 충전 물질인 점질 다당류를 열수에 용출시켜 얻은 것을 우무라고 하며, 한천은 우무에서 물을 제거한 건조품임

- 우무의 한천질은 친수성이 강하여 일반적인 천일 건조법으로는 잘 건조되지 않음
 - 이러한 우무를 1660년부터 일본에서 자연 활용 동결건조법으로 건조하기 시작하여 오늘에 이르고 있음
- 한천의 용도는 응고성, 보습성, 점성, 촉감 등 물성을 이용하는 것인데, 한천의 응고력은 젤라틴의 7-8배가 되며 비교적 용점이 높고 잘 부패하지 않음.
- 한천은 식물 섬유 중에서 가장 칼로리가 낮은 다이어트 식품으로 식품 첨가제로 많이 사용됨
 - 특히, 식품 성분의 지지체로 유용하게 사용되고 있는데 대표적인 것이 양갱, 젤리, 푸딩, 아이스크림, 요구르트 등의 부형제임
- 아가로스 겔은 그물 모양을 하고 있으며 물과 혼합하면 강한 응고성을 갖는 겔(gel)로 변함
- 아가로스 제조에 대한 연구는 1937년 일본의 Araki에 의하여 한천으로부터 초산 및 클로로포름을 사용하여 아가로스과 아가로펙틴 분획을 출발점으로 하고 있음
 - 1961년 Hjerten은 한천을 분획하여 아가로스를 얻었고 1969년 Takahashi는 아가로스를 사용하여 DNA 전기영동에 성공하였음
 - 1990년대 게놈 프로젝트에 의하여 생물에서 DNA 염기배열이 차례로 밝혀지면서 아가로스를 이용한 겔 전기영동은 생화학 실험실에서 없어서는 안 될 시험이 되었음
 - 전기영동법에서는 DNA 조각을 크기별로 분리할 수 있는 담체로 이용되고 있음
 - 아가로스 겔을 완충액 속에 담그고 그 양쪽에 전극을 넣어서 시료 분자를 통과시키면 분자의 성질에 따라 속도가 달라짐
 - 크기가 크거나 모양이 이상하게 꼬여 있으면 잘 통과 하지 못하고 얇거나 작은 것은 잘 통과하게 됨

- 이러한 원리를 이용하여 아가로스 겔 상에서 DNA 조각을 크기별로 분리할 수 있음
- 핵산(DNA, RNA)의 분자량 크기에 따라 전기영동을 효율적으로 수행하기 위하여 다양한 형태의 아가로스 제품이 사용되고 있음
 - 범용 아가로스(normal agarose)는 일반적인 핵산(500 bp -23 kb) 분리에 사용되고 있으며, 적정 사용 농도는 0.5-2% 겔 농도임
 - 고강도 아가로스(high gel strength agarose)는 고분자 핵산(25 kb - 10 Mb) 분리에 사용되며, 저농도(0.2 - 1%)에서 겔 형성이 가능함
 - 저융점 아가로스(low melting agarose)는 낮은 분자량의 핵산(500 bp 이하) 분리에 이용되며, 고농도(4% 이상)에서 겔을 형성함
- 우뭇가사리의 이용 가능 분야는 <표 4-14>와 같이 식품, 음료, 향장품, 펄프, 바이오에너지, 복합소재 및 아가로스 관련 분야로 요약할 수 있음

<표 4-14> 우뭇가사리 이용 가능 분야

이용 분야	내 용
식품	- 단순 가열 추출: 우무묵, 우무채 - 한천을 이용한 젤리, 푸딩, 양갱, 면, 죽 등 다양한 파생상품 생산 가능
음료	- 겔 타입 파우치 형태의 음료 - 한천을 저분자화한 기능성 음료
향장품	- 화장품 원료(다당류) 활용 - 한천을 저분자화하여 활용 가능
펄프 및 제지	- 고급 지종에 적합한 고부가가치 제품 생산 가능 - 친환경적인 간단한 제조 공정 이용 가능
바이오 에너지	- 우무 성분 발효: 메탄 가스 및 에탄올 생산 가능 - 펄프 원료와 연계 활용 가능
바이오 복합소재	- 친환경 천연 고분자 제품 가능: 환경 오염 플라스틱 대체품
아가(agar) 및 아가로스(agarose)	- 미생물 배양 아가(agar) 배지 원료: 생화학 실험실용 - 고순도 아가로스: 고가의 제품(생화학 실험용)

- 우뭇가사리 관련 산업은 1차 해양수산업에서 2차 제조업 및 3차 관광산업을 아우르는 6차산업형 모델로 발전이 가능함
 - 일본의 이나(伊那)식품은 우뭇가사리를 기반으로 하여 고유의 6차산업형 모델을 구축하여 성공한 국제적으로 잘 알려진 대표 사례임

〈그림 4-9〉 우뚝가사리 기반 연관 산업 분야

우뚝가사리 용도 및 산업분야



(3) 우뚝가사리 활용 바이오기업 현황

1) 이나(伊那)식품공업주식회사(www.kentenpp.co.jp)

- 이나(伊那)식품은 일본 나가노(長野)현 이나(伊那)시 소재 한천가공 식품회사임
 - 우뚝가사리 한천 활용 식품제조업에서 세계적으로 업계 1위 회사임(일본 내 점유율 80%, 세계시장 점유율 15%)
- 1958년 창업하여 한천을 이용하여 젤화 식품을 주력으로 하며, 기타 의약품 및 화장품 분야에서도 시장을 창출하고 있음
- 한천사업 한 개의 테마에만 집중하여 세계적 기업으로 성장하였고, 직원 친화형 기업운영으로 많은 주목을 받고 있음
- 기업 성장 기반에는 한천 원료인 우뚝가사리의 안정적 확보가 자리하고 있음
 - 일본 내에서는 물론 해외 지역인 제주도, 남미, 지중해 등 세계 30여 국에서 원료를 확보하고 있음

2) 아가로스(agarose) 생산 기업

- 우뚝가사리가 고부가가치화 되는 과정은 3단계 상품으로 나누어 진행되고 있음
 - 1단계는 우뚝가사리를 원초 형태로 채취하여 자연 건조 후 한천가공업체에 판매하는 1차 상품
 - 2단계는 우뚝가사리를 이용한 우무채 및 우무묵 제조, 혹은 한천을 가공한 후 이를 원료로 하여 젤리 양갱 푸딩 등을 제조 판매하는 2차 식품용 상품
 - 3단계는 DNA 전기영동 용 겔인 아가로스(agarose)를 제조하여 고가의 시약으로 판매하는 3차 상품
- 시약용 아가로스는 정밀 바이오시험에 활용되므로 제품의 질과 신뢰도가 갖추어 져야 함
 - 세계 아가로스 시장은 초대형 규모의 몇 개 바이오기업에 의하여 독점되고 있음
- Sigma-Aldrich는 전 세계에서 가장 큰 정밀화학 및 생화학, 실험실용 제품 제조 판매사로서 자체생산 아가로스는 물론 Vetec과 같은 타사 제품도 라인업으로 확보하여 판매하고 있음
- 미국의 Alfar Aesar는 연구용 시약과 제품을 판매하는 오랜 역사의 회사로 용도별 grade가 다양한 제품을 판매함
- Amresco Inc는 고품질의 바이오 화학제품을 판매하는 회사로 진단의학, 생물학, 의학분야 연구자들에게 여러 가지 겔 강도의 아가로스를 판매함
- 스페인의 Hispanagar는 유럽의 대표적인 아가로스 제조사로서 다양한 종류의 제품을 보유하고 있음
- Acros Organics는 벨기에의 정밀화학 회사로 다양한 범위의 용점을 갖는 DNA 분석용 제품을 제공함

- 중국의 Xiamen Sunma Biotechnology는 정밀화학회사로 형질전환 시약과 생명공학용 아가로스를 전문으로 생산함
- 인도의 Sisco Research Laboratory는 EEO 및 용도에 따른 다양한 grade 제품을 보유하고 있음
- 국내에서 시장 점유율이 가장 높은 아가로스 제품은 Seakem LE로 알려져 있으며 일본 Takara의 한국지사(Takara Korea)에서 공급하고 있음
- E&S(www.agarose.co.kr)는 대전 소재 한국 업체로서 2011년에 설립되어 유전자 분석 관련 시약과 프로토콜을 개발 판매하는 회사로 자체 아가로스 브랜드 및 OEM 제품을 판매하고 있음

제5절 시사점

- 제주 지역에는 700여종의 해조류가 서식하고 있으며 청각, 모자반, 툇, 미역, 우뚝가사리 등이 식용으로 이용되고 있음
- 제주 지역 해조류 중에서 바이오 산업 소재로 활용되고 있는 것은 감태와 우뚝가사리에 제한되어 있는 실정이며, 구멍갈파래 활용에 대한 연구도 진행되고 있음
- 해조 활용 산업에서 가장 중요한 것은 안정적 원물 확보이므로 자연채취 및 양식 기반의 수급 전략이 반드시 마련되어야 함
- 제주 대발생 파래의 경우 지역에 미치는 경제·사회적 피해가 크지만 원물 확보에 문제가 없으므로 비료나 숯 등의 제품개발을 통해 산업화가 가능할 것으로 판단됨
 - 파래는 의학적으로 그 효능이 입증되어 있으므로 양식을 통해 청정파래를 확보할 경우 기능성 식품, 의약품 등 다양한 제품개발이 가능함
- 해조류 고유의 기능성 탄닌 성분을 기반으로 한 갈조류 감태의 산업적 응용 가능성은 매우 크다고 할 수 있음

- 감태의 산업화는 제주도 내에서 일부 기업을 중심으로 진행되고 있음
 - 수면유도 건강기능식품으로 등록되어 있으며, 기타 용도의 건강 기능식품 연구가 계속되고 있음
- 감태의 경우, 제주도 조례에 의하여 자연 채취가 금지되어 있으므로 자연적으로 얻어지는 풍태 외에 양식을 통한 공급이 이루어지도록 대책이 마련되어야 함
- 우뭇가사리의 경우, 1958년 창업 후 지속 발전해 온 일본의 장수기업 이나(伊那)식품의 성공은 시사하는 바가 큼
- 해조산업에서는 단일 원료를 바탕으로 다품종 소량생산 개념으로 다양한 제품을 라인업 하는 전략이 필요함
- 우뭇가사리 활용 산업으로 아가로스 제조 판매가 가장 부가가치가 높은 것은 사실이나 시장 경쟁력을 확보하기가 어려운 실정임
- 연구자가 실험용 시약으로 아가로스를 선택하는 데 가장 중요하게 생각하는 요소는 신뢰성임
 - 특히 실험 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해서 기존 사용 아가로스를 지속 사용하려는 경향이 강함
 - 국내 개발 아가로스는 가격 경쟁력을 갖추고 있다고 판단되지만, 최근에는 중국에서 개발된 제품들과 경쟁해야 하는 구도임
 - 국내에서 아가로스 제품을 최초로 상용화 시킨 사례는 2004년 대전 소재 (주)제노사피엔스(구, www.genosapiens.co.kr)였으나, 최근에 경영난으로 어려운 상태에 있음
 - 우뭇가사리 활용 아가로스 제조 판매는 독자적 운영 보다는 대형 기업과 연계하여 OEM 제조 방식이 바람직하다고 판단됨

제5장 해조류(Red Gold) 사업 현황

제1절 국내·외 현황

1. 국내 · 외 우뚝가사리 생산 현황²⁷⁾

(1) 국내

- 우리나라 주요 우뚝가사리 생산종은 *Gelidium amansii*이고 제주 등에서 수확되는 우뚝가사리에는 여러 종이 보고되고 있으며, 인천 서해의 경우, *G. elegans*와 같은 종이 우점하고 있음
- 1950년부터 1995년까지 연간 우뚝가사리 수확량은 증가하는 추세를 보였으나 현재는 오히려 감소한 추세를 보임 (<그림 5-1> 참조)
- 국가통계포털(KOSIS)에 따르면, 한천 생산량은 해마다 변동이 매우 심하고 우뚝가사리 수확량과의 관계는 다소 낮은 것으로 나타남
- 산업용 한천 수율은 약 11%로 보고됨

(2) 일본

- 일본은 한천 수출을 위해 다양한 우뚝가사리 종을 주로 사용하였고 *Gelidium elegans*을 포함한 여러 우뚝가사리 종이 수확되었지만 주요 종은 *Gelidium amansii*로 보고됨
- 일본의 우뚝가사리 생산은 1912년부터 최초 보고되었고 1940년까지 연간 약 15,000톤까지 지속적으로 증가되었음 (<그림 5-1> 참조)
- 일본은 한천생산을 위해 *Gelidium*을 주원료로 사용하였고 한천생산으로 인해 우뚝가사리 생산이 중단된 1940년대 후반에 대한 데이터는 없는 것으로 나타남

27) Santos R. and Melo R. 2018. Journal of Applied Phycology, Vol. 30, pp 2463-2473.

- 1950~1970년대 사이 우뭇가사리 생산량은 높은 수준으로 유지되었고 1940년대를 제외한 50년간 연간 생산량은 평균 16,200톤으로 보고되었으나 1970년대부터 현재까지 생산량이 최소 2,000-3,000톤으로 감소되었음
- 산업용 한천 수율은 약 19%로 보고됨

(3) 스페인

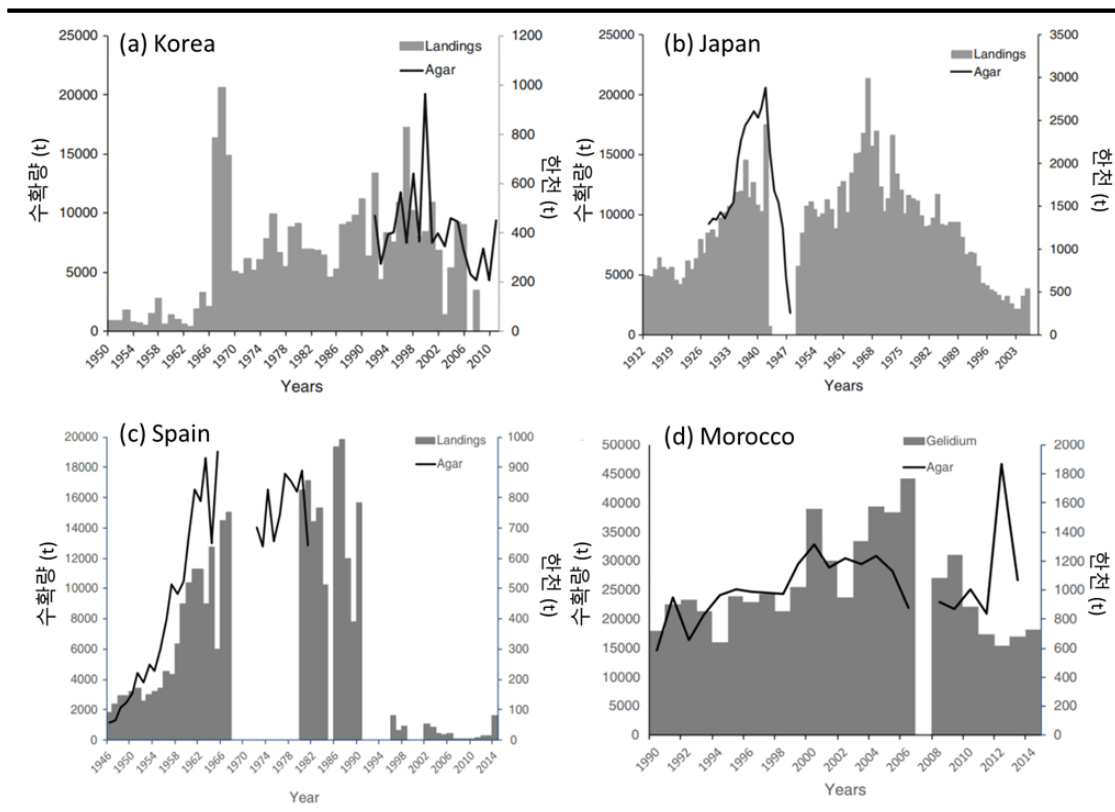
- 스페인의 주요 우뭇가사리는 *Gelidium corneum*으로 보고됨
- 포르투갈이나 스페인 등은 제2차 세계대전 중에 우뭇가사리 수확을 시작하였는데 일본으로부터의 수입이 감소하며 유럽과 북미의 한천 원료로 사용되었음
- 우뭇가사리의 생산량은 최대 자원 이용이 약 6,000톤으로 유지되었던 1980년대까지 꾸준히 증가하였으나 1990년대의 수확량은 약 300톤으로 매우 낮은 수준으로 감소하였고 2000년대에 들어서도 회복되지 않았음 (<그림 5-1> 참조)
- 우뭇가사리 수확량이 높았던 1960년대와 1980년대의 산업용 한천 수율은 약 20%로 보고됨

(4) 모로코

- 모로코의 주요 우뭇가사리 종인 *Gelidium corneum*은 1950년대부터 수확된 것으로 보고됨
- 연간 우뭇가사리 생산량은 1990년대에 안정적으로 유지되었고 2006년에 최대 44,000톤으로 증가했으나 현재는 절반 이상 감소한 것으로 나타남 (<그림 5-1> 참조)
- 모로코의 경우 수확된 우뭇가사리로부터의 한천 생산에 대한 데이터는 없으나 모로코에서 생산된 한천의 대부분이 수출되었으므로 한천 수출 통계자료로 대체하여 사용할 수 있음

○ 산업용 한천 수율은 약 17%로 보고됨

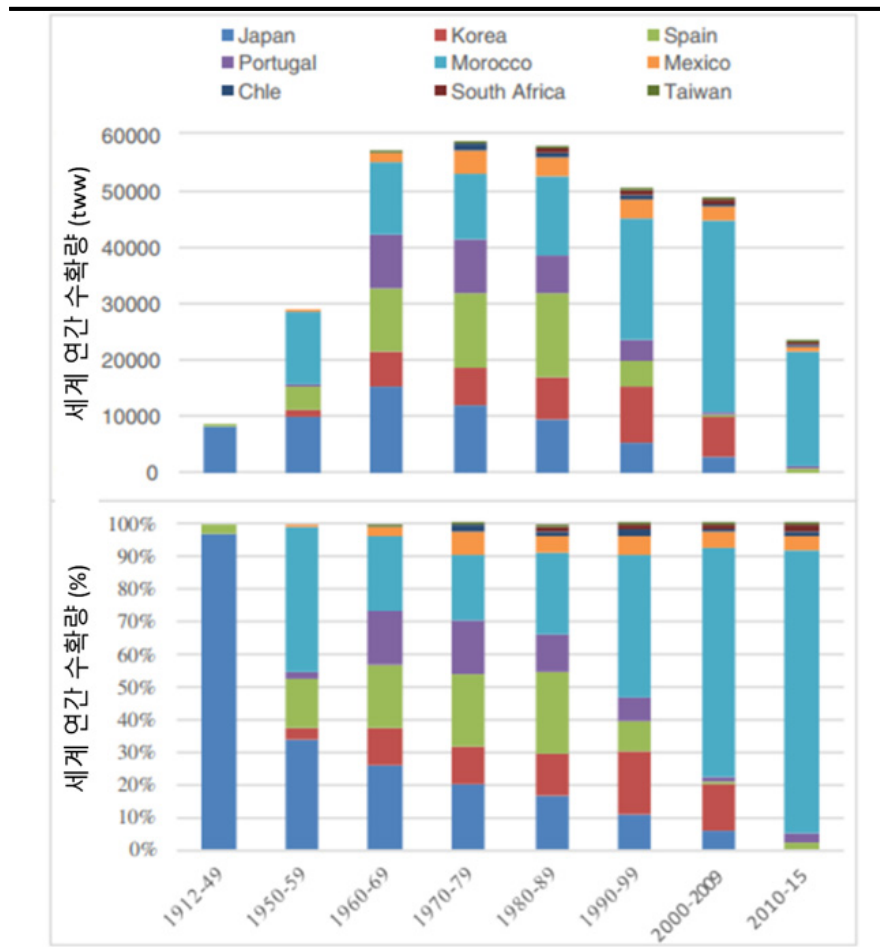
〈그림 5-1〉 국가별 우뚝가사리 및 한천 수확량



(5) 기타 국가

- 포르투갈, 멕시코, 칠레, 남아프리카, 대만, 프랑스 등에서도 우뚝가사리가 생산되었으며 10년간 누적 생산량으로 비교 시 1960~1980년대에는 일본, 스페인, 포르투갈과 같은 국가가 세계 생산의 56%를 차지하였음 (〈그림 5-2〉 참조)
- 1990년대 이후 일본, 스페인 등의 생산량이 감소하며 모로코의 생산량이 급증하게 되었으나 최근 천연자원 보전 및 관리 목적으로 대폭 감소하여 모로코에 대한 전 세계 산업의 의존성은 큰 위협을 받고 있음
- 이러한 관심으로 튀니지 (*Gelidium spinosum*, *G. crinale*), 아르헨티나 (*G. crinale*), 알제리 (*G. corneum*), 말레이시아 (*G. elegans*)에서 최근 새로운 산업용 우뚝가사리 개발을 위한 연구에 착수한 바 있음

〈그림 5-2〉 전 세계 우뭇가사리 생산량



2. 우뭇가사리 육상 양식 사례 -독일 Donat-P Häder 교수-

- 현재 우뭇가사리의 양식 사례는 전 세계적으로 아직까지 성공한 전례가 없으며 국내외 많은 연구자들이 시도하고 있으나 자연에서 채취된 우뭇가사리 만큼의 수율을 얻을 수 없음
- 2020. 11. 12. 제주대학교에서는 우뭇가사리 육상양식 사례조사를 위한 ZOOM 웨비나를 개최하였고 이 세미나는 제주대학교, 인천대학교, 겐트대학교 글로벌캠퍼스, 제주도청. 그리고 독일 프리드리히 알렉산더 대학교에서 식물생리학 분야로 저명한 D-P Häder 교수 등이 웨비나에 참가하여 독일 Häder 교수가 스페인 방문연구 당시 성공시킨 우뭇가사리 육상양식 방법에 대해 논의하였음

- 육상양식시설을 설계하기 위해 해조류 생리학자, 다이버 등이 실제 우뚝가사리가 생육하는 지역의 다양한 기초환경조건 (광량, 수온, 광질, UV, 광합성량, 염분 등)을 조사하여 이를 참고함
- 온실 내 raceway reactor 방식으로 시설을 설계하여 유동배양이 가능하도록 하였으며 유럽에서 우점하는 우뚝가사리 종인 *Gelidium coneum*을 배양하였음 (<그림 5-3>)

<그림 5-3> 우뚝가사리 육상양식 사례



- 해조류 배양 및 생장 촉진에는 인공해수의 영양염류가 매우 중요하며 주요 활성 물질은 <표 5-1>과 같음

<표 5-1> 우뚝가사리 배양액 조성표

Components	Stock solutions (g per 1,000 mL DW)	Final nutrient solution (mL)
NaNO ₃	25	10
CaCl ₂ · 2H ₂ O	2.5	10
MgSO ₄ · 7H ₂ O	7.5	10
K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	7.5	10
KH ₂ PO ₄	17.5	10
NaCl	2.5	10
Micro trace elements		6
Stock solutions of vitamins B12		0.5
Stock solutions of vitamins B1		0.5
Distilled water		933

자료: Schlosser(1997)

- 육상양식에 최적화된 생장 조건을 확립하기 위해 해수의 영양염류뿐만 아니라, 교반 (agitation), 광량, 수온, 이산화탄소 등이 주요 결정 인자이며 이는 다양한 환경실험을 통해 최적 환경조건을 탐색해야 함

3. 한반도 공동 해양 Red Gold²⁸⁾ 사업

(1) 추진배경 및 필요성

- 위기 극복 신동력으로 “해양” 이 지속가능한 자원으로 각광
 - 코로나19 팬데믹을 지나며 위기 상황에 대한 대응과 극복 능력을 위해 “환경 복원력(environmental resilience)” 확보가 강조되고 있음²⁹⁾
 - 해외 ① 해양은 기후변화와 환경오염 등 지구환경문제의 핵심 조절자로서 역할 수행, 글로벌 기후변화와 환경오염 등의 심화로를 해결할 수 있는 Blue Revolution³⁰⁾에 대한 세계 전망 확대
 - ② UN 지속가능발전 목표(UN-SDGs): “2030년까지 지속가능발전을 위해 달성하기로 한 인류 공공의 목표”
 - 국내 ① 해양수산과학기술 육성 기본계획(2018~2022) 추진 중³¹⁾
 - ② 충남 해양바이오 클러스터 조성계획³²⁾
 - ③ 과학기술정보통신부 미래해양기술혁신전략(18.9):
 - “해양과학기술을 통해 거대 이슈를 근본적으로 해결”
 - “해양의 무한한 자원을 효율적으로 활용, 보존”
 - ④ 국가지속가능발전목표 (K-SDGs): “바다의 생태환경과 수산 자원의 서식처를 적극적으로 관리한다.”

28) 홍조류인 우뚝가사리 과잉수확 및 기근으로 인해 최대생산지인 모로코에서 자국자원보호를 위해 수출을 감축함에 따라 실험실 기본재료인 한천 사용이 타격을 받게 되었고, 생산자로부터 정제된 아가를 판매하는 기업들에 의해 가격이 매년 상승하는 추세를 보이게 되었는데 이러한 현상에 돈이 되는 홍조류라는 의미로 레드골드(Red Gold)란 이름이 붙여졌음

29) McKinsey Quarterly, Climate math: What a 1.5-degree pathway would take, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/climate-math-what-a-1-point-5-degree-pathway-would-take>, 2020.04.30

30) 바다의 자원, 특히 해조류와 미세조류를 지속적으로 관리하여 대량의 바이오매스를 확보하고, 이로부터 연료와 기타 고부가가치 물질 및 소재를 확보하여 상품화하고, 동시에 깨끗하고 안전한 바다를 유지하는 사업

31) 현대해양, 해양바이오 R&D 현황, <http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=12126>, 2020.05.12.

32) 한겨레, 장항산단 해양바이오산업 집중 유치, <http://www.hani.co.kr/arti/area/chungcheong/911605.html>, 2019.10.1.

○ 해양의 자원 보존과 자원 활용 극대화로 국가경쟁력 강화

- 세계 해조류 시장 2025년 5.38 billion USD 예상³³⁾, 세계 미세조류 시장 2027년 2.7 billion USD 예상 (Spirulina와 Chlorella 주도)
- 바이오, 제약 등의 산업은 패러다임 변화에 대응할 신성장 동력산업으로 바이오기술은 고령화, 자원부족, 환경오염 등 인류가 당면한 문제를 해결할 기술로 주목받고 있으며, OECD는 2030년에 바이오 경제 시대가 도래할 것으로 전망 (생명공학정책연구센터, 2017)
- 해양의 잠재력 활용은 국가경쟁력 강화의 원동력, 고용유발 효과가 크고 신규 일자리 창출에서도 유망 분야 (2018 서울 바이오 의료 국제컨퍼런스)

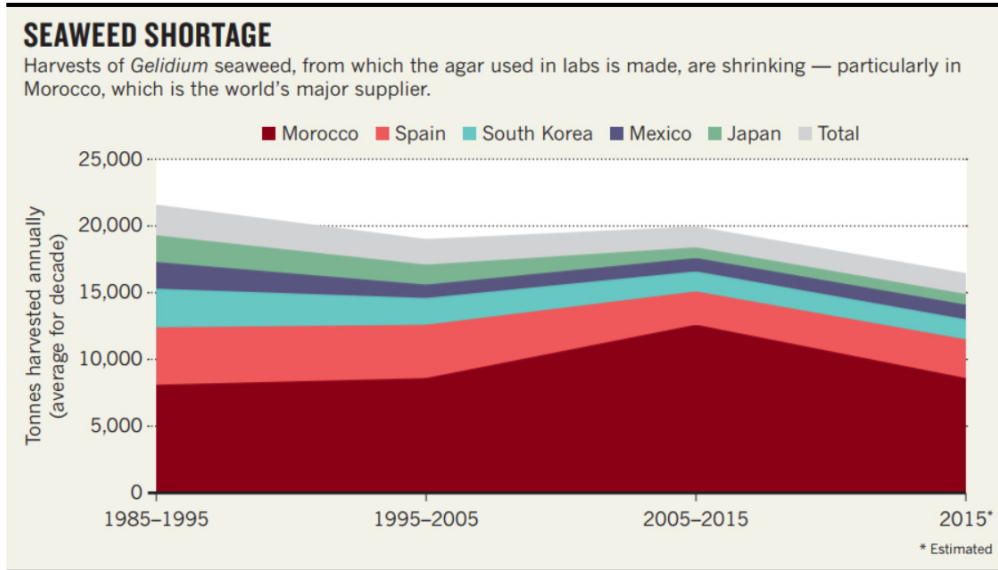
○ Red Gold 주요 소재인 우뚝가사리 자원의 중요성 증대

- Ewen Callaway (2015)³⁴⁾는 세계적인 저널 Nature에 우뚝가사리 세계 최대 생산지인 모로코가 자국자원 보호 조치로 우뚝가사리의 공급 부족 상황을 조망하며 북한의 바다에 다량 서식하고 있음을 언급함(<그림 5-3> 참조)
- 우뚝가사리는 양식이 불가능하여 이로 인한 가격 상승으로 각 연구소, 병원, 대학, 산업체 등 심각한 타격 예상.
- 우뚝가사리는 세포배양액 원료인 한천의 원료이자 치매 치료제와 같은 의약품, 화장품, 식품, 술, 활성탄 등 다양한 고부가가치 산업 소재로 활용되고 있는 해양바이오산업의 선봉임
- 우뚝가사리 체내에는 한천 성분과 형광 단백질, 폴리페놀, 탄수화물 및 미네랄이 존재하여 산업적 이용 가능성이 매우 높음
- 국내 우뚝가사리 시장은 연간 2,000억 원 수준

33) Flor markets, Global Algae Product Market is Expected to Reach USD 5.38 Billion by 2025, <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/01/29/1976747/0/en/Global-Algae-Product-Market-is-Expected-to-Round-USD-5-38-Billion-by-2025-Flor-Markets.html>, 2020.01.29

34) Ewen Callaway, 'Lab staple agar runs low', Nature, Vol. 528, pp 171-172.

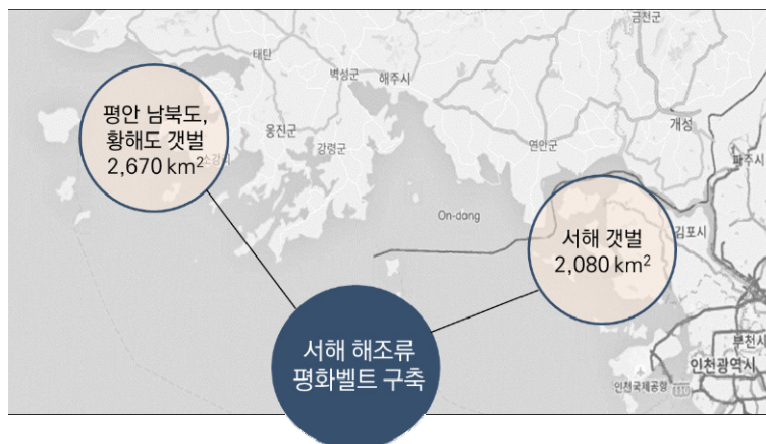
〈그림 5-4〉 세계 우뭇가사리 수확량



○ 남북한 협력과 한반도 평화를 위한 매개 역할 추진

- 남북이 공동으로 한반도 해양자원을 활용한 고부가가치 물질 개발을 통한 블루이코노미 실현
- 남북한 해양 자원의 공유와 기술 교류로 코르디예라 델 콘도르 평화공원과 같은 남북한 접목 매개 역할

〈그림 5-5〉 서해 해조류 평화벨트



(2) 겐트대학교 코리아 추진 현황

- 남북 공동 해양 글로벌 프로젝트 MOU 체결 (겐트대학교-러시아 - 중국 - 북한의 대학간)
 - 남북 공동 해양 글로벌 프로젝트의 사전 준비 작업으로 주변국가 기관과 평양과학기술대학교를 찾아 MOU 체결 (러시아 극동연방대학, 중국 칭다오 해양대학, 북한 평양과학기술대)
- 추진 선포식 및 국제 컨퍼런스 개최 (14개국 대학, 연구기관 참여/ 벨기에 필립 국왕 내외분 방한)
 - 2019년 3월 27일 벨기에 필립 국왕 내외분 방한 기념으로 인천 겐트대학교 글로벌캠퍼스가 주최한 남북 공동 해양 글로벌 프로젝트 추진 선포식과 국제 컨퍼런스 개최 (KBS NEWS)
 - 대한민국, 북한, 벨기에, 중국, 러시아, 독일, 네덜란드, 스페인, 인도, 캐나다, 영국, 미국, 칠레, 일본 등 14개국 기관과 인천대, 가천대 등 국내 대학, 연구기관 등과 공동연구 및 사업추진 컨소시엄 MOU 체결
 - 한반도 평화를 위한 글로벌 공동 해양연구 선포식을 성공리에 마침

<그림 5-6> 남북 공동 해양 글로벌 프로젝트 추진 및 선포식



- 서해5도 스마트 해양산업 육성 및 남북협력방안 마련 토론회 개최
 - 국가균형발전위원회와 인천광역시가 진행 중인 접경지역 균형 발전을 위한 산업 육성 및 남북교류 협력방안 연구 용역의 일환으로 겐트대 주최하여 토론회 개최

- 우뭇가사리와 관련한 서해5도와 북한 마합도 주변 해역에 대한 공동조사를 통해 해조류 평화벨트를 구축하고, 스마트 육상양식 방안 등 서해 해양자원을 활용한 신경제 구상방안을 논의

○ 국가정책 주요 과제로 선정

- 국가균형발전위원회 “접경지역(15개 시·군) 균형발전을 위한 산업육성과 남북교류협력방안 연구” 용역에서 Red Gold 사업이 농축수산업임업식품분야 1순위 과제로 선정
- 해양수산부(예산안 편성 관련 시·도 협의회) 2021년도 신규 사업에 Red Gold 사업이 인천시 대표사업으로 제안

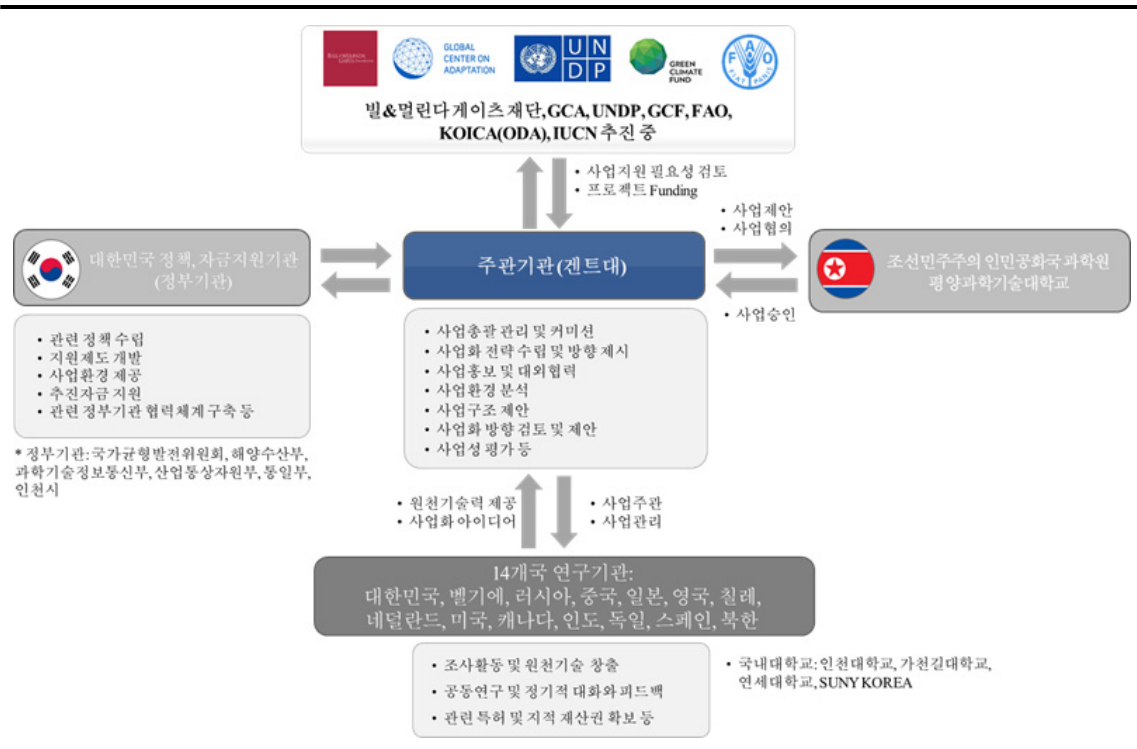
(3) 사업 내용

- 모로코에서 자국자원보호를 위한 우뭇가사리 생산량 감축선언으로 발생한 전 세계 우뭇가사리 가격 급등 현상에 Red Gold라는 닉네임이 붙여짐
- Red Gold 사업은 한반도의 지역적 특성을 가지고 해양소재산업 기반으로 다양한 가공산업 연계 및 확산 가능성이 매우 높으며, 글로벌 비교우위 강화 및 국제 경쟁력을 확보할 수 있는 전략적 핵심 사업임
- 남북 해양바이오협력기술기반의 한반도 해조류 평화벨트사업으로 주요 사업 내용은 다음과 같음
 - 웅진-마합도간 공동해역종합연구센터 설립
 - AI/IoT를 접목한 스마트 친환경 조류육상양식장 구축 및 육상 스마트팜 평화 관광산업 구축
 - 우뭇가사리(Red Gold)와 다시마 관련 연구 및 생산시설 조성
 - 겐트대 글로벌마린연구소 구축
 - 남북한을 포함한 14개국 전문가 중심의 R&D
 - 우뭇가사리 육상 공동양식시설 구축
 - 한천, Agar Rose 외 다른 기능성 물질 추출하여 의약품, 치매개선제, 화장품, 식품, 숯, 활성탄 등 다양한 고부가가치 산업소재로 활용
 - 슈퍼 다시마(2년산) 종묘 및 생산시설(스마트 친환경 양식장) 조성

(4) 사업의 경쟁력

- 겐트대학교: 200년 이상의 역사를 자랑하는 벨기에 대학으로, 상해교통대학 세계대학평가(Academic Ranking of World Universities) 70위 (생명과학분야 41위), 타임즈 세계대학평가(Times Higher Education World University Rankings) 90위(생명과학분야 38위)에 위치하는 유럽을 선도하는 대학이자 연구기관
- 자체 보유 기술: 국제공동 연구를 통한 실내 배양기술 집성화 및 AI-ICT를 적용한 세계 최초 육상양식을 실현, Green-refinery platform 기술로 우뚝가 사리에서 최고급 한천까지 생산가능 (겐트대 보유기술), 분자생물학적 톨과 유효물질스크리닝 (compound screening facility : CSF)의 활용으로 메커니즘 이해 (겐트대와 VIB 보유기술)
- 글로벌 연구·개발 협력체계: 과학기술정보통신부, 인천광역시, GUGC 주관 14개국 연구개발 협력체계 구축

<그림 5-7> Red Gold 사업을 위한 글로벌 네트워크 구성



제2절 추진 전략

1. Red Gold 글로벌 협력체계

○ 글로벌 연구·개발 협력체계 구축

- 과학기술정보통신부, 인천광역시, GUGC 주관
- 14개국 연구개발 협력체계 구축

〈그림 5-8〉 Red Gold 사업의 글로벌 협력체계



○ 해양 바이오 혁신 생태계 구축

- 최근 클라우드, 인공지능, 사물인터넷 등의 ICT 기술은 해양바이오 분야 데이터의 수집, 통합, 활용을 촉진하여 산업화에 기여
- 해양생명자원에 대한 빅데이터를 구축하고 ICT 기술을 접목하면 기존 R&D의 비효율성을 극복하고 관련 신소재 개발의 성공률을 높일 수 있음
- 해양생명 유용자원 데이터는 유전학, 화학, 대사공학 등 다양한 분야의 기술과 연결되어, 합성생물학의 산업화도 앞당길 수 있음

○ 기술 사업화 전략

- 다양한 용도의 바이오물질들을 생산 가능한 Green Bio-refinery 플랫폼 기술 개발, 고순도 정제 한천, 안정성이 확보된 국내 미생물 유래 식품용 소재의 상품화를 통한 관련 산업 활성화

〈그림 5-9〉 Red Gold 사업을 통한 바이오이코노미 실현



○ 국내·외 판매 전략

- 원료 견본과 자체 제작한 시제품을 활용한 원료에 대한 기업간 전자상거래 (B2B) 강화
- 과학적인 기능 연구를 통한 개별인정형 건강기능식품 인증 및 미국, 일본, 유럽의 관련 법규와 규정에 따른 인증 추진
- 우뚝가사리 대량 양식에 따른 한천의 가격 경쟁력과 고기능성에 관점을 두고 시장 진입
- 정부의 글로벌 비즈니스 지원사업과 KOTRA 조직을 통한 글로벌 마케팅 실시
- 국제적인 학술논문집, 전문잡지 투고

2. Red Gold 사업 추진 로드맵

○ (1단계) 사업기획~연구단계(2022~2024)

- 갯벌조사 및 우뚝가사리 생물 탐사(남·북한 공동)
- 한반도 서식 우뚝가사리 유전체 조합 및 라이브러리 구축
- 대량 배양/양식시스템 구축
- 스마트 팜 시스템 구축을 위한 모듈 설계

○ (2단계) 고도화 단계(2025~2026)

- 친환경 생태통합양식장(SMART IMTA) 플랫폼 구축
- 산업화 협의 및 준비
- 산업시설 건설 및 생산

제3절 시사점 및 기대효과

1. Red Gold 사업의 시사점

- 국제사회 글로벌 이슈 해결 요구에 적합
- 국가정책 비전 및 전략과제의 구체화 과정
- 융·복합적 기술·개발 측면의 현실성 상존
- 통일대비 정부 정책 국가 방향에 기여
- 글로벌 협력 연구를 통한 국가외교 강화

2. Red Gold 사업 기대효과

(1) 연구

- 아가 겔 시간 당 50g 생산
- 색소단백질 분리 정제(순도 80% 이상)
- 바이오차르 일 당 1.2톤
- 신경퇴행성질환 의약품 개발 및 임상연구
- SCI(E)논문 130편(Nature, Science 또는 Bioenergy and Environmental Science 지 포함)
- 특허 출원, 등록 총 85건

(2) 경제

- 2024년 26조 원 규모로 예상되는 세계 해조류 관련 시장 주도권 확보
- 직접적 경제효과: 초, 고순도 Agar, 고순도 PE/PC, 식품첨가용 Agar agar powder, 효소(β -agarose), 바이오차르 생산 판매
- 간접적 경제효과: 해양바이오산업단지 조성 시 산업연관효과

(3) 환경

- 2차 환경오염 위험성 없고 폐기물이 남지 않는 순환형 블루기술 창출 및 친환경적인 소재 가치화 툴박스 구축으로 환경보전
- 우뚝가사리를 이용한 재활용에너지 생산 및 CO₂ 제거와 저장 기술개발로 기후변화 적응 및 글로벌 기후환경 개선

- 국제협약 이행, 글로벌 네트워크 강화로 국제공조기반의 지속 가능한 해양생태계 보전

(4) 사회

- 남북 갯벌 UNESCO 자연유산 동시가입 추진, 남북한 통합 갯벌환경보호를 통한 민간교류 활성화
- 치매 개선 효과 소재 개발 성공 시 남북한 공동 노벨상 수상
- 국내 생육하는 특화 해조류의 가치화를 통한 남북한 경제 협력 및 동시 활성화 기초 확립
- 기후변화, 자원고갈위기, 물 부족, 식량 위기 등의 글로벌 위기상황에 대해 새롭고 지속 가능한 해결책
- 남북한 우수 연구 인력 배양 및 산학연관 공동 네트워크 실현과 한반도 평화 체계 정착

제6장 제주-서해안벨트 초광역협력사업

제1절 초광역협력사업 구상

1. 초광역협력사업 개요

(1) 정의

- ‘초광역’이란 광역자치단체의 행정구역을 초월하는 영역을 의미함
- ‘초광역협력사업’이란 광역적 이슈를 넘나드는 영역을 초월하는 문제-광역자치단체 혼자서 풀기 어려워 광역자치단체간 공통적으로 해결해야 하는 사안-를 광역자치단체가 서로 협력하여 해결하고자 하는 사업’을 의미함
 - 광역적 이슈를 넘나드는 영역을 초월하는 문제란 다양한 사회적 문제와 지역, 환경, 재난 등 광역자치단체 혼자서 풀기 어려운 복합적이 이슈를 의미함
- 행정안전부의 「지방자치단체 협력·갈등관리 업무 편람」에 의하면 지방자치단체는 다른 지방자치단체로부터 사무의 공동처리, 사무처리의 협의·조정·승인 또는 지원요청이 있는 경우 법령(「지방자치법」 제147조)의 범위 내에서 협력하는 것을 협력사업이라고 함
- 문재인 정부에서의 초광역 개념은 시도외 범위를 넘어서는 것을 의미함
- 초광역협력사업의 목적은 지방에 혁신을 이루어 지역균형발전을 추구하는 것으로 이해할 수 있음

(2) 초광역협력프로젝트 제안사업 현황

- 시도, 국책연구원 및 시군구협의회에서 제안한 사업은 크게 SOC분야 및 비 SOC분야로 구분됨

- 8개 시도에서 17개 SOC분야 초광역협력사업을 제안하였는데 경북이 4개로 가장 많고 광주 3개, 대구, 경기, 충북, 충남 각 2개, 경남, 울산 각 1개로 나타남
- 서울, 경기, 제주를 제외한 14개 시도에서 45개 비SOC분야 초광역협력사업을 제안하였는데 강원이 8개로 가장 많고 충남 7개, 울산, 경북, 경남 각 5개, 부산, 전남 각 3개, 경기, 전북 각 2개, 대구, 광주, 대전, 세종, 충북이 각 1개로 나타남
 - 45개 비SOC분야 초광역협력사업 중 강원이 제안한 해양바이오 소재산업 클러스터 구축사업과 본 연구에서 제안하는 사업과 유사하고, 충남이 제안한 국가해양바이오 클러스터 구축사업은 본 연구에서 제안하는 사업과 관련성이 있음
- 국책연구원 및 시군구협의회에서 15개 비SOC분야 초광역협력사업을 제안하였는데 산업연구원, 한국농촌경제연구원, 한국해양수산개발원이 각 3개, 한국문화관광연구원 2개, 한국교통연구원 1개로 나타남
- 시도, 국책연구원 및 시군구협의회에서 제안한 60개 비SOC분야 초광역협력사업의 분야별로 분류해 보면 산업/일자리, 문화/관광, 생태환경/안전, 물류/교통 등 4개 분야로 구분됨
 - 62개(중복 분류 2개 포함) 사업 중 산업/일자리 29개(46.8%)로 가장 많고, 문화/관광 16개(25.8%), 생태환경/안전 15개(24.2%), 물류/교통 2개(3.2%)로 나타남
- 이 외에 광역협력 공간전략의 필요성에 부응하는 사례로 새로운 지역발전축으로서 강호축(강원, 충북, 세종, 전북, 전남, 제주 등 8개 지역 연계 발전)이 부상하고 있으므로 본 연구에서 제시하는 제주-서해안벨트 초광역협력사업에 좋은 기회가 될 수 있음

2. 초광역협력사업 구상 시 유의사항

(1) 문제점

- 초광역협력사업의 목적이 지역균형발전이므로 중앙정부의 중앙집권적인 지역발전정책이 필요하지만 이것이 지나치게 강조되어 중앙정부의 하향식(탑

다운)으로 추진되어 광역경제권 지방자치단체의 거버넌스가 무력화되는 문제가 발생함

- 초광역협력사업은 중앙정부의 광역자치단체에 대한 수직적 거버넌스인 연계(linking)와, 자치단체간의 수평적 거버넌스인 협력(bridging)이 모두 필요한데, 그 동안 추진되어 왔던 초광역협력사업은 연계는 강한 반면 협력은 매우 약한 것으로 나타남
- 초광역협력사업의 사업범위가 유연하지 못하고 광역자치단체라는 행정구역을 기본으로 설정되다 보니, 사업범위가 사업의 성격을 제한하는 모순 발생하는 경우도 있음
- 지역개발사업이 중앙정부가 자치단체에 균등하게 예산을 나누어 주는 포크배럴(pork-barrel) 방식이라는 비판을 받았는데, 초광역협력사업도 지역안배를 고려한 포크배럴 방식이라는 비판이 제기되고 있음
- 초광역협력사업에서 기초자치단체의 참여가 부족하다는 문제점이 제기되고 있는데 그 원인으로는 동 사업이 광역자치단체간의 협력에 중점을 둔 점, 기초자치단체의 역량이 부족한 점, 기초자치단체의 수요와 의견이 충분히 반영되지 못한 상태에서 광역자치단체 중심으로 추진되는 점 등을 들 수 있음
- 중앙정부 부처간, 광역자치단체간, 기초지방자치단체간 거버넌스 시스템이 부족하여 거버넌스 작동은 매우 미흡한 것으로 지적되고 있음
- 현재의 초광역협력사업은 참여하는 개별 기관의 어떠한 자원, 강점을 활용하겠다는 것인지가 불분명하며 개별 광역자치단체의 상황 및 보유자원, 행정역량 파악이 부족함.
- SOC분야는 물론이고 비SOC분야도 사업내용의 상당부분이 대규모 하드웨어적 투자에 치중하는 반면, 추구하는 목표, 로드맵, 정책수단, 성과측정 방법 등은 명확하게 나타나 있지 않음.
- 초광역협력사업으로 선발 이익(initial advantage)을 가지는 자치단체의 선발이익과 효과를 타 자치단체로 파급시킬 메커니즘이 부족함

(2) 유의사항

- 초광역협력사업은 목표달성을 위한 구체적 청사진과 정책수단이 제시되고, 효과가 큰 사업 또는 달성가능성이 높은 사업에 우선순위를 두어야 하며, 목표, 로드맵, 정책수단, 성과측정 방법이 구체적으로 제시되어야 함
- 지방자치와 지방분권 시대에 각 자치단체들이 사업을 추진하는 것이 우선순위이나, 해당 사업을 초광역협력사업으로 추진할 경우 비용이 절감되고 시너지 효과가 창출되는 것이 명확해야 함
 - 초광역협력사업은 광역자치단체 간의 자본, 노동, 정보, 기술과 같은 유동적 생산요소의 상호교환과 협력을 통하여 비용을 절감하고, 개별 광역자치단체 수준에서는 추진이 불가능한 사업을 시행하는 것이 전략적으로 시너지효과를 창출할 가능성이 높음
- 초광역협력사업의 비용을 명확히 한다는 차원에서 수혜자 부담 원칙이 반드시 필요하며, 혜택이 여러 지자체에 돌아간다면 초광역협력사업으로 하되 혜택의 수혜자인 자치단체들은 목표, 로드맵, 정책수단, 인력과 조직, 성과측정 등에 대한 구체적 계획을 수립해야 함
- 지자체간의 선호도의 차이가 없는 경우 초광역협력사업으로 하는 것이 바람직한데 그렇지 않을 경우 각 지자체간에 불만이 발생할 수 있고, 선호도가 약한 지자체의 참여가 저조할 수 있으며, 초광역협력사업에 참여하는 지자체간에 협력(bridging)이 약화될 수 있음
- 각 지자체가 시행하는 것이 오히려 비효율적인 경우, 각 지자체를 넘어 중앙정부 주도로 신속하게 대응할 필요가 있는 경우, 지자체 간 유사·중복투자방지가 필요한 경우 등은 초광역협력사업으로 하는 것이 바람직함
- 초기에 각 지자체별로 시행하기에는 부담스럽고, 중앙정부가 마중물 역할을 수행하여야만 가능한 경우에는 초광역협력사업으로 함
 - 처음에는 초광역협력사업으로 시행하고, 이후 각 지자체로 이전되는 이슈의 경우, 정책 시차, 비용 부담, 권한 이양 등에 대한 조정 필요.

제2절 제주-서해안벨트 해조류 고부가가치화 사업

1. 고부가가치화 사업 구상 방향성

(1) 초광역협력사업 구상의 전제

- 해양바이오 중 해조류를 중심으로 파래, 감태, 우뚝가사리를 3대 핵심 해조류로 선정하여, 접근적 차별화, 시차적 차별화, 초광역 협업을 추구함
- 접근적 차별화는 억제 및 활용방안 발굴의 네거티브 접근과 산업화 지향의 포지티브 접근으로 구분하여 수행함
 - 네거티브 접근: 해양환경오염 해조류 (본 과제 상 ‘파래’)를 기반으로 한 유망소재 개발 및 상용화를 통하여 우회적 활용방안 탐색
 - 포지티브 접근: 원물 희소화 해조류 (본 과제 상 ‘감태’, ‘우뚝가사리’)에 대한 원물 안정수급 방안확보를 기반으로 한 산업화 접근
- 시차적 차별화는 원물확보의 용이성 및 산업화를 통한 기대이익을 기반으로 원물별 단·중·장기적 접근을 추진함
 - 단기적 접근: 원물확보가 용이하고 상업화 R&D 기수행 원물 (본 과제 상 ‘파래’)
 - 중기적 접근: 원물확보 방안이 부분적 확보되고 상업화 R&D 수행 중인 원물 (본 과제 상 ‘감태’)
 - 장기적 접근: 원물확보 R&D 수행이 요구되나 상업화 수행 시 부가가치가 큰 원물 (본 과제 상 ‘우뚝가사리’)
- 초광역 협업화는 제주, 인천, 전남을 협업 참가자로 하여, 제품화 및 생산 단계별 지역적 강점과 지역적 안배를 고려하여 협업 및 분업화 역할을 규정함
 - 제품화 단계는 Lab. R&D → 제품 규격화·인증 → Pilot plant

- 생산 단계는 원물 채집·양식 → 1차 가공³⁵⁾ → 2차 가공³⁶⁾ → 부가가치 생산³⁷⁾ 및 고부가가치 생산³⁸⁾
- 개별 원물에 대한 상이한 접근을 수행지만, 바이오 리파이너리를 기반으로 한 생태계 조성을 고려한 로드맵 구성
- 파래 활용 제품화 및 산업화 사업, 감태 활용 기능성 제품 개발 사업, 우뚝가사리 활용 고부가 소재 개발 사업 등 3개의 연계협력 사업을 발굴
- 제주-서해안벨트 해조류 고부가가치화 3개 연계협력 사업의 추진 체계는 <그림 6-1>에 있는 Tripolar Cooperation System으로 개별 지자체가 비교우위에 있는 사업을 주도하여 추진하고, 그 성과는 3개 지자체가 공유하며, 우수사례는 남해안, 동해안 지역으로 확산시킴
- 제주-서해안벨트 해조류 고부가가치화 사업을 추진할 사업단을 만들어 컨트롤 타워 역할을 하고, 각 지자체에 지역지원단을 만들어 주관사업 및 협력사업을 추진
 - 각 지자체는 하나의 주관사업 및 두 개의 협력사업에 참여하는데 각 사업의 주관 지자체 지역지원단에서는 참여 지자체의 협의를 거쳐 해당 사업의 사업계획을 작성하고 실행
 - 참여 지자체가 ‘분업과 협업’의 원칙하에 경제성(economy), 능률성(efficiency), 효과성(effectiveness) 등 ‘자원의 효율적 배분’을 달성할 수 있도록 사업을 추진³⁹⁾
- 초광역 협력을 통하여 해양오염 해조류인 파래 제품화 처리 및 산업화 방안을 모색하며, 자연산 채집에 한정된 감태의 양식 활용을 통한 건강기능성 식품 생산 부가가치화 및 의약품 개발 고부가가치를 지향함

35) 정량화, 건조 등 원물 형질 변화 없이 2차 가공을 위한 이동 및 보관용 선가공

36) 정제, 추출 등 원물 형질 변화를 통하여 제품화 투입이 가능한 원재료화 가공

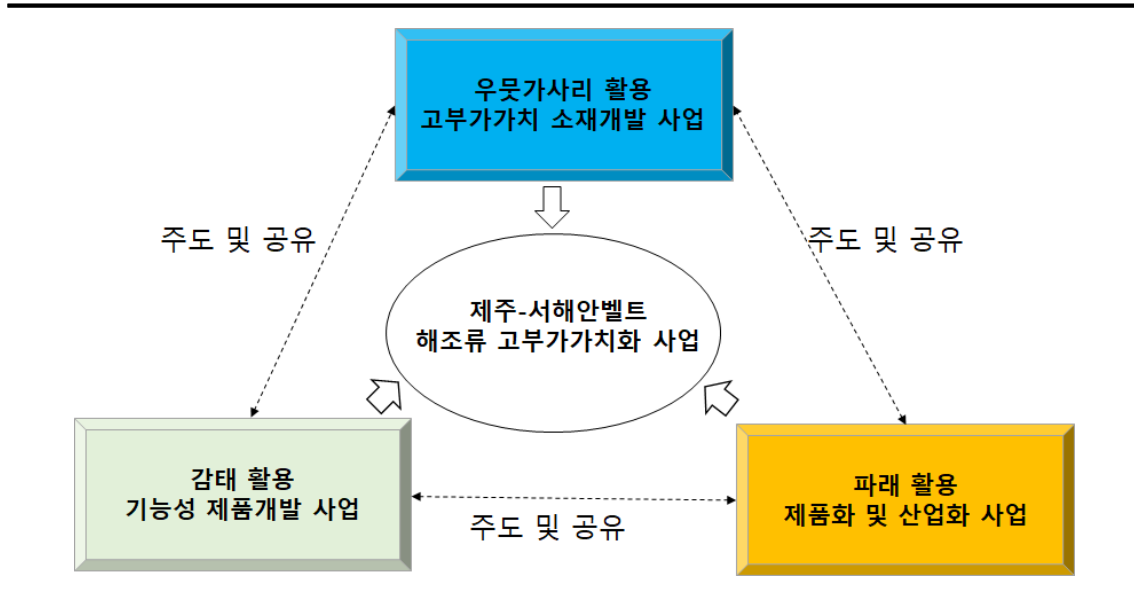
37) 원재료를 기반으로 상품 대량 생산

38) 원재료를 기반으로 고부가가치 상품 선별 생산

39) 경제성은 투입측면에 한정된 개념으로서 투입하는 인적·물적 자원의 비용을 최소화하는 것(spending less)을 말하며, 능률성은 투입대비 산출의 비율을 최대화하는 것(spending well)을 말하고, 효과성은 산출측면에서 의도한 결과를 달성하는 것(spending wisely), 즉 산출물에 의한 기대목적의 달성도를 말함

- 3개 지자체 간 초광역 협력을 국제적 협력으로 발전시켜 우뭇가사리 육상양식 및 고부가 소재 개발 산업생태계 조성을 주도함

〈그림 6-1〉 초광역협력사업의 Tripolar Cooperation System



(2) 해조류 배양에 있어 제주 염지하수 (용암해수)의 자원 특이성⁴⁰⁾

- 제주 용암해수는 바닷물이 화산암반층에 의해 자연여과되어 육지의 지하로 스며든 물로서, 해조류 배양에 요구되는 안전성, 안정성, 청정성 및 기능성을 보유하고 있음
 - 안전성: 암모니아 질소, 페놀류, 수은, 카드뮴 등 유해성분이 검출되지 않고 모델 동물의 급성 독성이 없는 안전성을 확보한 염지하수 자원임
 - 안정성: 해수환경의 계절변화가 없이 연중 일정하여 해조류 배양에 있어 적합한 해수 자원임
 - 청정성: 병원균 및 오염물질 등이 비검출되는 청정한 수자원임
 - 기능성: 기초미네랄⁴¹⁾이 풍부하고 마그네슘, 칼슘, 바나듐 등 유용성분을 함

40) 기업의 경쟁력 원천을 탐구한 이론 중의 하나인 자원기반 관점 (RBV; Resource Based View)에서 가치가 있고(valuable), 희귀하고(rare), 모방이 쉽지 않고(inimitable), 대체 불가능한(not substitutable) 자원을 특이 또는 특유자원이라고 하며, 이는 개별 기업 경쟁력의 원천으로 보고 있음

41) 이러한 미네랄들은 관련 금속효소(metalloenzyme)의 발현 등 해양생물의 대사(화합물 생산)의 생물학적 과

유하며, 지질대사 활성화, 지방간 억제, 항산화 등의 효능을 가짐

- 안정성과 청정성이 입증된 용암해수를 활용하여 해조류를 최적 배양조건 하에서 배양할 경우, 더욱 효율적인 배양이 가능할 것으로 예상됨
 - 담수화 과정에서 농축염수 및 미네랄수가 분리되어 탱크에 저장 및 제공되므로, 이를 기반으로 최적 배양조건 조성 연구가 가능함
 - 스마트팜, 육상양식 시설 및 연구시설을 보유하고 있어, 신속한 연구기반 조성이 가능함
- 원물의 안정적 공급을 통한 산업화를 위해서는 육상배양 및 양식이 필수적이며, 이를 위한 필수적 특이자원으로서 제주 용암해수의 중요성이 강조됨
 - 해양 채취 및 양식은 계절성으로 인하여 원물 공급 변동성이 크며, 후속공정의 균형화 (levelling) 생산이 어려움
 - 산업화에 요구되는 생산공정 안정성을 위한 원부자재의 안정적 공급망 확보를 위해서는 품질 및 납기 안정성이 보장되는 육상배양·양식 선행이 필요함

2. 3대 연계협력 사업

(1) 파래 활용 제품화 및 산업화 사업

1) 추진 배경

- 우리나라 파래 발생지역을 살펴보면 제주는 파래 대발생 지역, 전남의 경우 목포, 무안, 완도 등이 파래 자생 지역, 인천은 파래 대발생 지역 및 파래 자생지역으로 분류되고 있음(<그림 4-1> 참조)
- 제주도는 해마다 여름철 제주 동부지역 해안가 일대에 악취를 풍기는 구멍 갈파래가 유입되고 있어(한겨레 2017), 제주도, 국립환경과학원, 국립인천대학교가 공동으로 원인 찾기에 나서고 있음(YTN, 2017)

정)에 큰 변화를 줄 것으로 예상되어 새로운 천연물 생산 가능성이 높음

- 제주도는 연간 138ha의 범위에서 약 10,000톤의 파래가 대량으로 발생되고 있음
 - 2010-2012년 동안 1억 3,700만 원을 투입하여 파래 3,438톤을 수거함
 - 2015년 5개월 간 3,000만 원을 투입하여 파래 1,002톤을 추가로 제거하였으나 큰 효과가 없어 파래 제거 작업에 8,000만 원을 추가로 투입함
- 인천 앞바다에 가시파래로 추정되는 해조류가 대량으로 나타나 긴급 수거작업을 하여 인천지방해양수산청과 해양관리공단이 50톤 가량을 수거함(연합뉴스, 2017)

2) 목적 및 필요성

- 국내 연안 및 제주에 대발생하여 경제·사회문화·생태학적 피해를 가져오는 파래를 이용하여 대체 활용할 방안을 제품화 및 산업화 관점에서 접근할 필요가 있음
- 대발생된 파래의 산업화를 위해서는 원재료의 소재로서의 위치 및 환경 관련 법제도 검토가 필요함
 - 파래의 경우, 용암해수를 이용해 원료생산이 가능한 종이므로 타 종에 의한 오염 및 불순물 문제 등을 해결할 수 있음
 - 식약처 개별인정형 건강기능성식품 품목 중 장기능 개선 및 당뇨 등 관련 분야에 적용이 가능함
- 청정 제주해양의 환경을 오염시키는 파래 처리의 사회적 비용을 고려한 정책적 접근이 필요함
 - 관련 연구비용
 - 제품화 및 생산비용 보조

3) 국내외 사례

○ 파래를 활용하여 사료, 식품, 비료, 바이오 에탄올 등 다양한 제품화 및 산업화 사례가 보고되었는데 국내 사례는 다음과 같음

- 제주특별자치도 해양수산자원연구소에서는 파래를 발효시켜 전복의 사료를 제조하는 연구 수행
- 가시파래 분말을 첨가한 생면 제조에 관한 연구
- 파래 이용 파래 해초액 제조 및 사업화에 관한 연구
- 제주특별자치도 농업기술원에서는 구멍갈파래를 이용한 청정발효액비 개발
- 일동후디스에서는 파래를 이용한 유기농 쌀과자를 개발하여 판매
- 한국해양연구원은 파래를 이용한 바이오에탄올을 생산
- 인천 겐트대학교 글로벌캠퍼스는 제주 대발생 파래를 이용하여 ‘SEER(Seaweed + Beer)’ 라는 해조류 맥주를 개발

○ 파래를 활용하여 비료, 기능성 식품, 의약품 등 다양한 제품화 및 산업화 사례가 보고되었는데 국외 사례는 다음과 같음

- (중국) 파래 잎 비료를 개발하여 동남아시아, 중동, 유럽 등 20여 개국에 수출하였고, 파래 비료브랜드 ‘해장원(解狀元) 818’ 은 2014년 중국 내 저명 브랜드로 지정됨
- (일본) 가시파래의 미네랄과 비타민 함유량을 이용한 제품을 제조하였고, 파래와 그물홀파래를 섞어 ‘AONORI’ 라는 상업적 식품을 개발
- (인도) 파래를 인도 전통과자인 ‘PAKODA’ 의 재료로 이용하였고, 파래를 과자 재료로 사용하여 과자의 단백질, 식이섬유, 칼슘, 마그네슘, 철 함유량을 증가시킴
- (베트남) 파래의 높은 영양성분 함유량과 생리활성물질을 이용하여 기능성 식품, 의약품, 비료 등을 개발하는 연구를 하였고, 파래를 전통 디저트인 ‘CHE’ 의 재료로 이용함

4) 주요 사업내용

(과제 1) 파래를 이용한 해조류 맥주 산업화

- 제주 연안에 발생하는 파래를 이용하여 맥주의 주요 원료인 당(탄수화물) 대체 소재로 개발
 - 향후 양식에 의한 청정파래 활용 가능
- 수입 의존적인 홉 대체 해조류 소재 개발
- 벨기에 전통 양조 기술과 파래 발효 공법을 융합시킨 프리미엄 맥주 개발

(과제 2) 파래와 모자반을 활용한 천연숯 제조 및 파생제품 개발

- 해조류 숯의 성능 검증 및 제품화를 위한 유효성과 안전성 확인 및 기능성 탐색을 통해 화장품, 의약품 소재 등 적용 가능한 파생산업군 선별
- 최종 검증된 해조류 숯과 그 기능에 대한 지적재산권을 확보하고 기술 라이선싱을 통해 해조류 숯 생산 자원화 및 파생산업제품화를 통한 수익 창출

(과제 3) 바이오설계에 기반을 둔 해조류 비료 및 바이오강화제 생산

- 파래를 활용하여 식물 성장 및 병충해 예방이 가능한 Phyto Mulching 제품을 개발
- 제주 파래 및 모자반 대발생 지역에서의 가장 효율적인 지속가능한 원료 공급 방안 확립을 위해 실내 대량 무한배양 시스템 구축 확보

5) 기대효과

- 기대 및 파급효과를 살펴보기 위하여 지리적 범위에 따라서 수준을 설정하고, 기능적 차원에서 분석범위를 구분함
 - 분석수준은 지역에서 광역으로 확대하면서 제주 관점 · 초광역 관점 · 국가적 관점으로 구분함

- 분석범위를 경제·산업적 측면, 기술적 측면, 사회·문화적 측면으로 구분하여 살펴봄
- 경제·산업적 측면에서는 대발생으로 인해 높은 처리비용으로 관리되는 파래를 새로운 고부가가치 소재로 활용함으로써 쓰레기 개념에서 수익 창출 원으로의 전환기대할 수 있음
 - 제주 관점에서는 해외 브랜드의 제품을 초광역 역내 생산하여 수입 제품에 대한 세금과 유통마진을 줄여 타사의 프리미엄 제품보다 높은 수익 창출이 가능해짐
 - 초광역 관점에서는 폐기물 처리비용 절감과 신 수익원 창출과 함께, 역내 일자리 창출과 제조업의 비중을 높여 산업구조 다양화에 기여할 수 있음
 - 국가 관점에서는 전량수입에 의존하고 있는 숯 수입대체효과 및 수출 기회 포착할 수 있으며, 환경보전 비용 절감 및 관련기술 개발 촉진 효과로 동반 산업군의 활성화를 유도할 수 있음
- 기술적 측면에서는 환경처리 기술과 소재개발 기술 부분에서의 혁신을 기대할 수 있음
 - 제주 관점에서는 환경처리 및 저부가가치 소재 개발 관련 기술 개발
 - 초광역 관점에서는 기후변화, 자원고갈위기 등 역내 공동 위기상황에 대한 지속 가능한 기술적 해결책
 - 국가 관점에서는 국내 해양생물 자원의 활용을 위한 주도권을 확보하고 지속적인 응용 및 연구를 통해 국제 자원전쟁에 우위를 점할 필요가 있음
- 사회·문화적 측면에서는 대발생 파래와 같은 환경문제를 생산적 방향으로 전환하는 성공사례를 전파하는 효과가 있을 것으로 보임
 - 제주 관점에서는 대발생 파래에 대한 직접적 피해지역이므로 해양 환경생태계 보존에 대한 단기적 효과를 가지게 됨
 - 초광역 관점에서는 해조류 비료를 기반으로 안전한 농산물 생산과 친환경적 농업 생태계 보존에 기여 가능

- 국가 관점에서는 대발생으로 인해 높은 처리비용으로 관리되는 파래를 새로운 고부가가치 소재로 활용함으로써 쓰레기 개념에서 수익 창출원으로서의 전환하는 패러다임을 확산 및 전파할 수 있을 것임

〈표 6-1〉 분석수준 및 분석범위에 따른 기대효과: 파래 기반 산업화

분석범위 분석수준	경제·산업적 측면	기술적 측면	사회·문화적 측면
제주 관점	-해외 브랜드 프리미엄 제품으로 수익증대	-환경처리 및 저부가가치 기술개발	-대발생 대응 해양생태계 보전
초광역 관점	-지역경제 활성화	-역내 공동환경문제 기술개발	-친환경 농업생태계
국가 관점	-수출 수입대체 -환경보전 비용 절감 -관련 기술 기반 동반산업화	-중자 자원전쟁에 대비한 경쟁력 확보	-폐기물 처리 패러다임 전환

6) 추진 주체

- 대발생 등에 의하여 원물공급은 충분한 상황이며 제품화 R&D가 상당 수준 진척된 것으로 인식하고, 이에 대한 산업적 활용 방향으로 접근함
- 본 사업의 수행과 관련하여 다음 사항에 대한 선제적 고려가 필요함
 - 대발생에 의한 일시 원물 대량공급 및 미공급의 원재료 공급의 변동성 통제
 - 활용 가능 제품들에 대한 제품화 단계 파악
 - 제품화 및 생산비용 산출을 통하여, 비교 대상 제품과의 경쟁 상황에서의 지속가능성 여부
- 현재 각 협업 지자체들의 핵심역량을 기반으로 한 제품화 및 생산단계별 지역적 연계협력 안(案)은 <표 6-2>와 같음
- 제품화 관련 지자체별 협업 구상은 다음과 같음
 - Lab 상 R&D는 송도에 위치한 겐트대학교 글로벌캠퍼스를 중심으로 인천 지역에서 다양한 상업화 연구가 진행되고 있음

- 제품 규격화·인증은 기존 연구성과를 보유한 인천을 중심으로 진행하는 경우, 빠르게 산업화로 전개할 수 있을 것으로 보임
- Pilot Plant 운영을 위해서는 원물의 적시 공급이 중요하므로, 대발생 또는 육상수조 배양이 가능한 제주에서 수행하는 것으로 계획함

○ 생산 관련 지자체별 협업 구상은 다음과 같음

- 원물 채집은 매년 구멍갈파래가 발생하는 제주 및 전남에서 수행함
- 상업화가 진행되는 경우, 해상양식은 전남에서 수행하면서 전처리 중심의 1차 가공을 담당함
- 제주는 대발생 파래에 대한 대응관점에서 사료·비료·숯 등의 부가가치 가공을 위한 1·2차 가공을 담당함
- 정제·추출 등의 2차 가공은 연구 및 산업단지 기반이 있는 인천에서 담당하며, 이를 기반으로 부가가치 생산을 전남에서 담당함
- 파래는 의약품 등의 고부가가치 생산 가능 원물로서의 가능성이 낮을 것으로 판단함

<표 6-2> 파래 활용 제품화 및 산업화 사업 연계협력 방안

구분	제품화			생산					
	Lab. R&D	제품 규격화·인증	Pilot plant	원물 채집	원물 양식	1차 가공	2차 가공	부가가치 생산	고부가가치 생산
제주	○	○	○/◆	○		○/◆	○/◆		
인천	○/◆	○/◆		○			◆		
전남	○	○		○	◆	○/◆	○	◆	

※ 범례: ○-미약, ○-성장, ◎-도약, ●-성숙, ●-글로벌 수준, ◆-협업구상

- 제주가 ‘분업과 협업’, ‘자원의 효율적 배분’의 대전제 하에 인천 및 전남과 연계협력 하에 이 사업으로 주도하고, 사업의 성과는 모든 참여 지자체가 공유하며, 우수사례는 남해안, 동해안 지역으로 확산시킴
- 예를 들어, 제품화 및 생산의 전 과정에서 참여 지자체의 시너지 효과를 극대화할 수 있도록 역할을 분담

○ 초광역 협업 과정에서 지자체간 상호학습과 협력은 지자체 내 역량이 인접 공정으로 확대될 것으로 보이는 바, 협업이 이루어지면서 변화될 것으로 보이는 제품화 및 생산단계별 지역별 역량변화는 <표 6-3>과 같음

- 제주와 전남은 협업과정에서 연구역량이 강화되어 독자적 상품화 등이 가능해지며, 제품 규격화·인증 부분에서 주도적이지는 않지만 협업이 가능한 수준으로 성장할 것으로 보임
- 인천은 2차 가공의 전 단계인 원물 양식 및 1차 가공 부분에서 부분적인 자립기반 역량을 보유하게 될 것으로 전망됨

<표 6-3> 파래 기반 산업화 후 역량 개발 전망

구분	제품화			생산					
	Lab. R&D	제품 규격화·인증	Pilot plant	원물 채집	원물 양식	1차 가공	2차 가공	부가가치 생산	고부가가치 생산
제주	○	●	●	●		●	●		
인천	●	●			○	○	●		
전남	○	○		●	●	●		●	

※ 범례: ○-미약, ○-성장, ○-도약, ●-성숙, ●-글로벌 수준

7) 연도별 투자계획

○ 파래 활용 제품화 및 산업화 사업의 총사업비는 90억 원이며, 연도별 투자계획은 <표 6-4>와 같음

<표 6-4> 연도별 투자계획(파래 활용 제품화 및 산업화 사업)

(단위 : 억 원)

연도	2022	2023	2024	2025	2026	2026년 이후	합계
과제 1	6	6	6	-	-	-	18
과제 2	4	4	4	-	-	-	12
과제 3	12	12	12	12	12	-	60
합계	22	22	22	12	12	-	90

(2) 감태 활용 기능성 제품개발 사업

1) 추진 배경

- 감태는 국내에서 대규모 자생 군락지가 제주도 외에는 거의 형성되지 않은 제주 특산 해조 자원임
- 현재 제주도의 감태는 바다속 패류(소라, 전복 등)의 먹이 자원으로 어장 보호차원에서 제주도 조례에 따라 인위적 채취는 금지하고 있음
 - 풍태 수거 및 육상 원물생산 시설을 동시에 갖춘다면 산업체에 안전한 원료 공급이 가능함
- 다만, 제주와 전남에서 지역별로 원물생산이 이뤄질 경우, 양식을 위한 해수 특징이 서로 다르므로 원물 상호 비교를 위한 연구가 선행되어야 함

2) 목적 및 필요성

- 가을 태풍에 의하여 떠밀려 온 감태를 제주에서는 풍태라고 부르며, 현재 풍태를 수거하여 건조한 후 산업용 원료로 가공하고 있음
- 이러한 수동적 형태의 감태 원료 공급은 감태 활용 바이오산업의 발전에 걸림돌이 되고 있으며, 향후 감태의 대량 양식 기술 개발을 통하여 이를 극복하여야 함
- 현재 풍태 형태로만 원물채취가 가능하여, 안정적 원물확보를 위한 해상 및 육상 양식 방안이 제시되어야 함
- 식약처 개별인정형 건강기능성식품 품목 중 70%이상을 차지하는 노화방지, 골관절염, 당뇨, 고혈압 등 관련분야에서 노화로 인해 유발되는 대사질환과 관련된 천연소재 원료개발 및 산업화 축진을 통하여 해조류 관련 1차산업-2차산업-3차산업의 동반성장을 목표로 함

3) 국내외 사례

- 해상양식의 경우, 완도군에서 2020.4 - 2021.12.의 일정으로 감태 시험양식⁴²⁾을 추진 중임
 - 3개 권역에서 끼우기식(20%)과 감기식(80%)의 시설방법과 수심별 시험양식을 수행
 - 본 시험양식의 목적은 전복먹이 공급 및 폴리페놀 추출임

〈그림 6-2〉 완도군 해상양식 시험 양식장



- 폴리페놀 성분을 중심으로 기능성 식품·화장품·의약품 소재 개발 R&D가 수행되어 왔음

4) 주요 사업내용

(과제 1) 스마트팜을 응용한 복합양식 시스템 개발

- 용암해수를 이용한 육상양식으로 원료의 차별화
- 감태 단독양식을 탈피하여 어패류와 함께 복합양식 시스템을 운영함으로써 경제성 확보

42) 총 사업비 40.5 천만 원 규모임

(과제 2) 암환자식 등 기능식부터 일반 조미식까지의 식품 라인업 개발

- 감태에 다량 함유된 해양성 폴리페놀 성분은 인체 유해 활성산소를 제거하여 암세포 발생을 억제할 뿐 아니라 방사선 방호효과가 있는 것으로 알려져 있음
 - 반면에, 폴리페놀의 과잉작용으로서 혈소판 합성저해에 의한 출혈 등이 있으며, 활성산소의 제거작용 과정에서 면역기능 약화를 초래할 가능성이 있음⁴³⁾
 - 폴리페놀 성분은 즉각적 효과는 높지만 효과의 지속성이 길지 않아서, 식품을 통하여 소량을 꾸준히 복용하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있음⁴⁴⁾
- 감태는 현재 한국식약처로부터 각각 수면장애 개선, 콜레스테롤 저하, 식후 혈당 저하효과를 지닌 건강기능식품으로 허가를 얻어 판매되고 있음
 - 비만 예방 건강식품 등 기타 분야에서도 개발이 진행되고 있으므로 추가 건강기능식품 소재로 이용될 것으로 기대됨
- 암환자 식품대용, 기능성 식품, 일반 조미식까지의 식품 라인업 구축이 가능함
 - 감태는 암환자의 식품대용으로 사용하고 있는 푸코이단 함유 식자재 개발의 원료를 사용될 수 있음
 - 풍부한 알긴산균을 보유하고 있어 다양한 체지방 감소 관련 원료 개발에도 사용될 수 있음
 - 항산화제, 간보호, 노인성근위축 등 관련 기능성 식품으로 개발이 확대 될 수 있으며, 현재 혈행개선, 수면개선, 항비만 등에 대해서는 개별인증이 진행되고 있음
 - 다시마와 같은 조미육수용 식품 및 녹차와 같은 차류에 이르는 일상 식품에서의 산업화를 수행할 수 있음

(과제 3) 스마트 대량생산을 통한 의약품 소재 개발

- 감태의 폴리페놀 성분은 의약품 소재로서 치매치료제로 연구 개발이 진행되고

43) <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=KAR2011055163>

44) <https://newsvn.tistory.com/255>

있음

- 감태는 향후 건강기능식품 및 의약품 소재로 개발될 가능성이 높지만 원물 확보의 어려움이 걸림돌로 작용하고 있음
 - 스마트 양식으로 통한 대량생산 시스템을 구축하여 산업기반을 확보하는 것이 향후 중요한 과제임

5) 기대효과

- 감태는 제주지역에서만 생산되고 있어, 공급망 상류에 제주가 자리매김 하면서 초광역 협업 효과를 주도할 수 있을 것으로 보임
 - 비소 등 중금속을 생리적으로 제거할 수 있는 배양방법으로 건강기능식품, 화장품 및 의약품원료로 추진이 가능할 것으로 파악됨
 - 해조류의 세척, 건조, 가공 등이 수행될 1, 2차 가공시설이 선제적으로 필요함
- 경제·산업적 측면에서는 전복 등의 양식기반에 대한 안정적 먹이 공급체계 구축부터 첨단 기능성 식·의약품 상품화까지를 기대할 수 있음
 - 제주 관점에서는 감태 기반 기능성 식품 생태계 조성을 통하여, 다양한 건강기능성식품 생산지로서의 청정 제주 브랜딩을 추진할 수 있음
 - 초광역 관점에서는 스마트팜을 통한 육상양식 가능 시, 전복양식 먹이의 안정적 공급을 통하여 양식어업인의 안정적 소득원 창출을 기대함
 - 국가 관점에서는 일자리 창출과 제조업의 비중을 높여 산업구조 다양화에 기여하고 고부가가치화를 통한 산업구조의 고도화에 기여하는 등 지역경제 활성화에 큰 기여를 할 수 있음
- 기술적 측면에서는 육상배양·양식 기반 산업화 로드맵을 실현해 갈 수 있을 것으로 전망됨
 - 제주 관점에서는 용암해수 기반 육상배양·양식 테스트베드를 확보할 수 있을 것으로 보임
 - 초광역 관점에서는 치매 치료제 등 의약품에 사용될 감태 기반 추출물 공급

으로 고부가가치 창출

- 국가 관점에서는 바다라는 특수한 환경에서 생육하고 있는 까닭에 물질 대사의 경로도 특이하여 육상식물과는 다르게 새로운 구조를 갖는 생리활성 물질을 생산할 수 있는 잠재성을 갖고 있음

○ 사회·문화적 측면에서는 양식어업과 공존하면서, 노동집약형 어업이 기술집약형으로 전환되도록 하는 징검다리가 될 수 있을 것임

- 제주 및 초광역 관점에서는 특정 어패류에 집중된 양식 다변화 및 복합양식 등 새로운 패러다임 제시가 가능함
- 국가 관점에서는 기후변화, 자원고갈위기 등 글로벌 위기상황에 대한 지속 가능한 해결책을 모색할 수 있음

〈표 6-5〉 분석수준 및 분석범위에 따른 기대효과: 감태 기반 산업화

분석범위 분석수준	경제·산업적 측면	기술적 측면	사회·문화적 측면
제주 관점	-기능성 식품 생태계 구축	-육상양식 테스트 베드	-양식다변화 및 복합양식 등 새로운 패러다임 제시
초광역 관점	-양식어업 먹이 공급 안정화	-추출물 기반 고부가가치 상품화 기술	
국가 관점	-역내 산업구조 다양화 및 고도화를 통한 경제 활성화	-신생리활성물질 기반 기술영역 선점	-글로벌 위기 대응 지속 가능 대안 탐색

6) 추진 주제

○ 전복에 대한 먹이공급을 위하여 자연산 채취가 금지된 상태에서, 육상 및 해양 양식을 통한 안정적 원물 확보가 전제되어야 함

- 원물의 해상 및 육상 양식 가능성 및 경제성
- 제품 지향점별 기업 생태계 조성

○ 현재 각 협업 지자체들의 핵심역량을 기반으로 한 제품화 및 생산단계별 지역적 연계협력 안(案)은 <표 6-6>과 같음

○ 제품화 관련 지자체별 협업 구상은 다음과 같음

- Lab 상 R&D는 각 지자체가 서로 다른 지향점을 가지고 진행하여 왔으며, 개별적으로 역량을 보유하고 있는 상황임
- 제품 규격화·인증은 원물이 생산되는 제주와 기능성 지향의 인천을 중심으로 진행하는 two-track 전략으로 구상함
- Pilot Plant는 원물이 공급되는 제주에서 수행하는 것으로 계획함

○ 생산 관련 지자체별 협업 구상은 다음과 같음

- 원물 채집은 풍태 형태로 채취되는 제주에서 수행함
- 원물 양식은 해상양식 시범사업을 전개하고 있는 전남에서 수행하는 바, 육상양식이 가능한 제주와 해상양식이 가능한 전남에서 각기 전처리 중심의 1차 가공을 담당함
- 정제·추출 등의 2차 가공, 부가가치 생산은 감태를 전복 먹이·건강 기능성 가공 등으로 다양하게 접근할 수 있는 전남과 제주에서 진행함
- 인천은 의약품 지향의 고부가가치 생산을 지향하면서, 기능성 소재는 통제된 환경에서 양식이 가능한 제주로부터 공급받는 협업구조를 구성함

<표 6-6> 감태 활용 기능성 제품개발 사업 연계협력 방안

구분	제품화			생산					
	Lab. R&D	제품 규격화·인증	Pilot plant	원물 채집	원물 양식	1차 가공	2차 가공	부가가치 생산	고부가가치 생산
제주	○/◆	○/◆	○/◆	○/◆	◆	○/◆	○/◆	○/◆	
인천	○/◆	◆							◆
전남	○/◆				○/◆	◆	◆	◆	

※ 범례: ○-미약, ○-성장, ◎-도약, ●-성숙, ●-글로벌 수준, ◆-협업구상

○ 전남이 ‘분업과 협업’, ‘자원의 효율적 배분’의 대전제 하에 제주 및 인천과 연계협력 하에 이 사업으로 주도하고, 사업의 성과는 모든 참여 지자체가 공유하며, 수범사례는 남해안, 동해안 지역으로 확산시킴

- 예를 들어, 제품화 및 생산의 전 과정에서 참여 지자체의 시너지 효과를 극대화할 수 있도록 역할을 분담

○ 초광역 협업 과정에서 지자체 건 상호학습과 협력은 지자체 내 역량이 인접 공정으로 확대될 것으로 보이는 바, 협업이 이루어지면서 변화될 것으로 보이는 제품화 및 생산단계별 지역별 역량변화는 <표 6-7>과 같음

- 제주는 제품화 관련하여 성숙 수준의 역량을 가지는 한편, 생산부문에서 글로벌한 경쟁력을 확보하면서 용암해수 기반 육상양식 역량을 가질 것으로 보임
- 전남은 채집된 원물을 전복먹이 공급으로 처리하는 중심으로 산업화가 진행되며, 고부가가치 부분에 대한 추진이 후순위 과업으로 배정될 것으로 전망됨
- 인천은 글로벌한 연구 및 인증 역량을 확보하며, 고기능 고부가가치 생산에 한정되어 역량을 확보할 것으로 보임

<표 6-7> 감태 기반 산업화 후 역량 개발 전망

구분	제품화			생산					
	Lab. R&D	제품 규격화 · 인증	Pilot plant	원물 채집	원물 양식	1차 가공	2차 가공	부가가치 생산	고부가가치 생산
제주	●	●	●	○	○	●	●	●	◎
인천	●	●							●
전남	●				●	◎	◎	◎	◎

※ 범례: ○-미약, ○-성장, ◎-도약, ●-성숙, ●-글로벌 수준

7) 연도별 투자계획

○ 감태 활용 기능성 제품개발 사업의 총사업비는 165억 원이며, 연도별 투자계획은 <표 6-8>과 같음

<표 6-8> 연도별 투자계획(감태 활용 기능성 제품개발 사업)

(단위 : 억 원)

년도	2022	2023	2024	2025	2026	2026년 이후	합계
과제 1			13	13	14	-	40
과제 2			10	10	10	-	30
과제 3				25	25	100	150
합계			23	48	49	100	220

(3) 우뭇가사리 활용 고부가가치 소재개발 사업

1) 추진 배경

- 우뭇가사리는 자연산 채취만 이루어지고 있으며, 원물 고갈과 공급국가(모로코)의 수출통제 등으로 원물가치가 상승하고 있음
- 국내 생산 및 유통 대부분이 제주도에서 이루어지고 있으며, 북한 내 서북도서에서 대규모 군락이 있다는 보고가 있음
- 우뭇가사리 원물의 안정적인 공급을 위해서는 양식이 필요하며, 고품질의 고부가가치 소재개발을 위해서는 육상양식이 필요한데, 독일 연구진의 스페인 연구실 규모의 육상양식 보고에 대해서는 연구자와 웨비나(2020년 11월 12일)를 통해 가능성 확인함
- 우뭇가사리의 연간 생산기간은 2개월 정도로, 생산기간의 연중 확대를 통하여 관련 산업체에 안전한 원료 수급이 가능해야 산업화가 추진될 것임
 - 육상 원물생산 시설을 통하여 기능성 소재를 생산하는 방식을 통하여 자연산 우뭇가사리에 대한 브랜드 및 부가가치를 높일 수 있음
 - 자연산 가치 상승을 통하여 지역주민의 소득 증가 및 경제활동의 활성화를 가져올 수 있음

2) 목적 및 필요성

- 해외 우뭇가사리 생산지로는 모로코가 가장 잘 알려져 있는데 제주산과 모로코산을 비교 분석한 자료를 보면 제주산 우뭇가사리의 탄수화물(섬유소 포함) 함량이 모로코산보다 높게 나타나고 있음
 - 탄수화물 함량이 높으면 우뭇가사리의 특성을 나타내는 한천(agar)의 함량이 높다고 예측할 수 있음

- 제주산과 모로코산 우뭇가사리에서 아가로스과 아가로펙틴 부분을 추출 정제하여 겔강도를 비교 분석해 본 결과 제주산 우뭇가사리의 겔 강도가 모로코산보다 2배 이상 높은 수치를 나타냄
 - 겔 강도는 한천의 품질을 나타내는 지표로 활용되고 있으며 겔 강도가 높을수록 고부가가치 제품인 아가로스 활용도가 높아서 우수한 품질로 평가받고 있음
- 제주산 우뭇가사리가 고품질 아가로스 제조에 더욱 적합한 우수 제품이라고 평가받고 있고, 용암해수를 이용한 육상양식으로 제주 우뭇가사리를 세계 최고 품질의 고부가가치 소재로 개발할 필요가 있음

3) 국내외 사례

- 국내의 경우 2006년 2월부터 2007년 11월까지 2년간 새로운 해조류 양식품종인 '홍조류 우뭇가사리의 양식 적용 시범 사업'⁴⁵⁾이 수행 완료되었다는 보고가 있으나, 이후 진척된 사항은 보이지 않음
- 우뭇가사리 육상양식의 국외 사례는 다음과 같음
 - 독일 프리드리히 알렉산더 대학교에서 식물생리학 분야로 저명한 D-P Häder 교수가 제주대학교에서 개최된 웨비나에 온라인으로 참가하여 스페인 방문연구 당시 성공시킨 우뭇가사리 육상양식 방법에 대해 설명하고 추후 과제에 대해 논의하였음
 - 육상양식시설을 설계하기 위해 해조류 생리학자, 다이버 등이 실제 우뭇가사리가 생육하는 지역의 다양한 기초환경조건(광량, 수온, 광질, UV, 광합성량, 염분 등)을 조사하여 이를 참고함
 - 온실 내 수로식 배양(raceway reactor) 방식으로 시설을 설계하여 유동배양이 가능하도록 하였으며 유럽에서 우점하는 우뭇가사리 종인 *Gelidium coneum*을 배양하였음

45) 여수지방해양수산청 장흥해양수산사무소 수행

4) 주요 사업내용

(과제 1) 우뚝가사리 자원 인벤토리 및 생육 메커니즘 확보

- 한반도 서식 우뚝가사리 라이브러리 구축
- 분자생물학적 툴(tool)과 유효물질스크리닝(compound screening facility) 활용
- 자연배양 우뚝가사리에 대한 생리특성 및 배양조건 연구
- 우뚝가사리 유전자원 기초 정보 확보

(과제 2) AI-ICT 기술을 적용한 세계 최초 육상양식 개발

- 국제공동연구를 통한 우뚝가사리 양식기술 집성화
- 용암해수를 이용한 세계 최초 육상양식 개발

(과제 3) Green Bio-refinery 플랫폼 기술 개발

- 우뚝가사리에서 한천(agar)부터 고부가가치 아가로스(agarose)까지 생산 가능
- 안정적 소재공급을 위한 자동제어 바이오매스 생산시스템 구축
- 바이오매스, 바이오파이너지, 환경모니터링 등 해양생물자원 활용 및 보존 플랫폼 기술 확보

5) 기대효과

- 우뚝가사리는 초광역을 넘어 한반도 평화 기반 구축에 기여할 수 있는 아이টে
으로, 국내 지역별 분업 뿐 아니라 국제적 협업을 통한 시너지 창출에 주목할
필요가 있음

- 경제·산업적 측면에서는 지역 간 및 국가 간 협업을 통한 해조류 기반 산업 생태계를 우뚝가사리 R&D 및 산업화 과정에서 구축하게 될 것임
 - 제주 및 초광역 관점에서는 바이오리파이너를 위한 일관화 공정을 초광역 협업으로 구축하면서, 우뚝가사리 기반 산업생태계를 구축하게 될 것임
 - 국가 관점에서는 해양생명자원의 고부가가치화 및 산업적 활용 뿐 아니라, 세계 바이오연구 기본 재료의 주공급지 역할을 수행하면서 글로벌 공급망에 대한 지배력을 선점할 수 있음
- 기술적 측면에서는 해조류 관련 기초연구 역량을 글로벌 스탠다드 관점에서 축적할 수 있는 계기가 될 것으로 판단됨
 - 제주 및 초광역 관점에서는 해조류 유래의 다양한 생리활성을 갖는 천연소재의 개발은 제약, 기능성원료, 기능성화장품 등 다양한 분야에 기술적 접목이 가능한 기초연구분야로서 중요한 역할을 할 것으로 기대됨
 - 국가 관점에서는 특정 생물에 대한 보유국의 주권을 인정하고 국가 간 생물자원 이동을 제한하는 다양한 국제 협약들이 체결⁴⁶⁾되면서 발생하는 생물자원에 대한 연구환경 악화와 연구성과 권리 축소 상황에 대응력을 확보하게 됨
- 사회·문화적 측면에서는 장기 과제 기간 동안 식자재와 기능성 소재 구분을 통한 소모적 논쟁 미연 방지부터 한반도 평화기조 구축 기여까지의 다양한 갈등 관리가 이루어 질 것으로 예측됨
 - 제주 관점에서는 자연산 식자재와 기능성 소재 영역 명확화를 통하여, 어업인 및 해녀 생존권 보장 및 고수익 추구 가능성을 제시할 수 있음
 - 초광역 관점에서는 국제적 연대 협업 경험을 공유하면서, 지자체 차원의 국제협업 성과를 가시화할 수 있음
 - 국가 관점에서는 국내 지역 간 균형발전 뿐 아니라, 접경지역 협업과업 발굴을 통한 한반도 평화기조 구축의 계기를 삼을 수 있음

46) 국제식물 신품종 보호협약(UPOV)에 따라 2012년부터 법적 권리가 해조류까지 적용됨에 따라 해양생물 종자확보 경쟁 가속화되며, 선진국들을 중심으로 해양생물자원 확보가 다양한 방식으로 진행되고 있음

〈표 6-9〉 분석수준 및 분석범위에 따른 기대효과: 우뭇가사리 기반 산업화

분석범위 분석수준	경제·산업적 측면	기술적 측면	사회·문화적 측면
제주 관점	-우뭇가사리 기반 산업생태계 조성	-해조류 유래 기능성 소재 관련 기초연구 역량 배양	-해녀 생존권 보장 및 고수익 추구
초광역 관점			-지자체 차원 국제협업 성과 가시화
국가 관점	-원물 경쟁력 기반 고부가가치 산업구조 개편 -글로벌 공급망 지배력 선점	-국제식물 신품종 보호협약(UPOV) 대응력 확보	-한반도 평화기조 구축의 계기

6) 추진 주체

○ 본 수행과 관련하여서는 다음 사항에 대한 선제적 고려가 필요함

- 자연산 채집 우뭇가사리와 카니발라이제이션 지양
- 육상 양식 가능성 및 (가능 시) 후보 지역별 경쟁력 및 경제성 검토
- 장기 R&D 에 따른 기술로드맵 세분화
- R&D 과정 내 변동성 관리를 위한 국제적 협업 체계 운영

○ 현재 각 협업 지자체들의 핵심역량을 기반으로 한 제품화 및 생산단계별 지역적 연계협력 안(案)은 <표 6-10>과 같음

○ 제품화 관련 지자체별 협업 구상은 다음과 같음

- Lab 상 R&D 및 제품 규격화·인증은 국제적 네트워크를 유지 및 조성할 수 있는 인천을 중심으로 진행함
- Pilot Plant는 정제 해수의 지속적 제공 및 연구 인프라가 구축된 제주에서 수행하는 것으로 계획함

○ 생산 관련 지자체별 협업 구상은 다음과 같음

- 원물 채집은 우뭇가사리 군락 서식지가 존재하는 제주에서 수행함
- 원물 육상양식은 제주에서 해상양식은 전남에서 수행하면서 각기 전처리 중

심의 1차 가공을 담당함

- 정제·추출 등의 2차 가공 및 부가가치 생산은 연구 및 산업단기 기반이 갖추어 질 것으로 생각하면서, 제주와 전남에서 담당함
- R&D 인프라 구축을 전제로 고부가가치 생산은 육상양식 특이자원(용암해수)이 있는 제주에서 담당함

<표 6-10> 우뭇가사리 활용 고부가가치 소재개발 사업 연계협력 방안

구분	제품화			생산					
	Lab. R&D	제품 규격화·인증	Pilot plant	원물 채집	원물 양식	1차 가공	2차 가공	부가가치 생산	고부가가치 생산
제주	○	○	○/◆	○/◆	◆	○/◆	○/◆	○/◆	◆
인천	○/◆	◆							◆
전남				°	◆	○/◆	◆	◆	

※ 범례: °-미약, ○-성장, ◎-도약, ●-성숙, ●-글로벌 수준, ◆-협업구상

○ 인천이 ‘분업과 협업’, ‘자원의 효율적 배분’의 대전제 하에 제주 및 전남과 연계협력 하에 이 사업으로 주도하고, 사업의 성과는 모든 참여 지자체가 공유하며, 수범사례는 남해안, 동해안 지역으로 확산시킴

- 예를 들어, 제품화 및 생산의 전 과정에서 참여 지자체의 시너지 효과를 극대화할 수 있도록 역할을 분담

○ 초광역 협업 과정에서 지자체 간 상호학습과 협력은 지자체 내 역량이 인접 공정으로 확대될 것으로 보이는 바, 협업이 이루어지면서 변화될 것으로 보이는 제품화 및 생산단계별 지역별 역량변화는 <표 6-11>과 같음

- 제주는 제품화 중 연구 및 Pilot plant 관련하여 성숙 수준의 역량을 가지는 한편, 생산부문 전반에서 글로벌한 경쟁력을 확보하면서 고부가가치 생산 도약을 추구할 것으로 보임
- 전남은 해상양식에 따른 원물 공급 변동성으로 생산 부분에서 성숙 수준으로 발전하게 될 것으로 전망됨

- 인천은 글로벌한 연구 및 인증 네트워크를 기반으로 기능성 제품 연구개발 및 생산으로 부가가치 고도화를 추구할 것으로 보임

〈표 6-11〉 우뭇가사리 기반 산업화 후 역량개발 전망

구분	제품화			생산					
	Lab. R&D	제품 규격화 · 인증	Pilot plant	원물 채집	원물 양식	1차 가공	2차 가공	부가가치 생산	고부가가치 생산
제주	●	○	●	●	●	●	●	●	●
인천	●	●							●
전남	○	○			●	●	●	●	○

※ 범례: ○-미약, ○-성장, ○-도약, ●-성숙, ●-글로벌 수준

7) 연도별 투자계획

- 우뭇가사리 활용 고부가가치 소재개발 사업의 총사업비는 300억 원이며, 연도별 투자계획은 〈표 6-12〉와 같음

〈표 6-12〉 연도별 투자계획(우뭇가사리 활용 고부가가치 소재개발 사업)

(단위 : 억 원)

연도	2022	2023	2024	2025	2026	2026년 이후	합계
과제 1	20	20	20				60
과제 2			30	30	30		90
과제 3				20	30	100	150
합계	20	20	50	50	60	100	300

제3절 국비확보 방안 및 정책 제언

1. 국비확보 방안

- 제주-서해안벨트 해조류 고부가가치화 사업의 경우 현재 정부가 추진하고 있는 초광역협력프로젝트를 통해 국비를 확보할 수 있을 것으로 판단됨

(1) 초광역협력프로젝트 제안사업 현황

- 시도, 국책연구원 및 시군구협의회에서 제안한 사업은 크게 SOC분야 및 비SOC분야로 구분됨
- 8개 시도에서 17개 SOC분야 초광역협력프로젝트를 제안하였는데 경북이 4개로 가장 많고 광주 3개, 대구, 경기, 충북, 충남 각 2개, 경남, 울산 각 1개로 나타남
- 서울, 경기, 제주를 제외한 14개 시도에서 45개 비SOC분야 초광역협력프로젝트를 제안하였는데 강원이 8개로 가장 많고 충남 7개, 울산, 경북, 경남 각 5개, 부산, 전남 각 3개, 경기, 전북 각 2개, 대구, 광주, 대전, 세종, 충북이 각 1개로 나타남
 - 45개 비SOC분야 초광역협력프로젝트 중 강원이 제안한 해양바이오 소재산업 클러스터 구축사업이 본 연구에서 제안하는 사업과 유사하고, 충남이 제안한 국가해양바이오 클러스터 구축사업은 본 연구에서 제안하는 사업과 관련성이 있음
- 국책연구원 및 시군구협의회에서 15개 비SOC분야 초광역협력프로젝트를 제안하였는데 산업연구원, 한국농촌경제연구원, 한국해양수산개발원이 각 3개, 한국문화관광연구원 2개, 한국교통연구원 1개로 나타남
- 시도, 국책연구원 및 시군구협의회에서 제안한 60개 비SOC분야 초광역협력프로젝트의 분야별로 분류해 보면 산업/일자리, 문화/관광, 생태환경/안전,

물류/교통 등 4개 분야로 구분됨

- 62개(중복 분류 2개 포함) 사업 중 산업/일자리 29개(46.8%)로 가장 많고, 문화/관광 16개(25.8%), 생태환경/안전 15개(24.2%), 물류/교통 2개(3.2%)로 나타남
- 이 외에 광역협력 공간전략의 필요성에 부응하는 사례로 새로운 지역발전 축으로서 강호축(강원, 충북, 세종, 전북, 전남, 제주 등 8개 지역 연계 발전)이 부상하고 있으므로 본 연구에서 제시하는 제주-서해안벨트 초광역협력프로젝트에 좋은 기회가 될 수 있음

(2) 초광역협력프로젝트 구상 시 유의사항

1) 문제점

- 그 동안 추진되어 온 초광역협력프로젝트의 문제점을 ‘초광역’ 국가균형발전정책과 연계하여 고려하면 다음과 같이 요약됨
- 초광역협력프로젝트의 목적이 지역균형발전이므로 중앙정부의 중앙집권적인 지역발전정책이 필요하지만 이것이 지나치게 강조되어 중앙정부의 하향식(탑다운)으로 추진되어 광역경제권 지방자치단체의 거버넌스가 무력화되는 문제가 발생함
 - 초광역협력프로젝트는 중앙정부의 광역자치단체에 대한 수직적 거버넌스인 연계(linking)와, 자치단체간의 수평적 거버넌스인 협력(bridging)이 모두 필요한데, 그 동안 추진되어 왔던 초광역협력프로젝트는 연계는 강한 반면 협력은 매우 약한 것으로 나타남
- 초광역협력프로젝트의 사업범위가 유연하지 못하고 광역자치단체라는 행정구역을 기본으로 설정되다보니, 사업범위가 사업의 성격을 제한하는 모순 발생하는 경우도 있음
- 지역개발사업이 중앙정부가 자치단체에 균등하게 예산을 나누어 주는 포크배럴(pork-barrel) 방식이라는 비판을 받았는데, 초광역협력프로젝트도 지역안배를 고려한 포크배럴 방식이라는 비판이 제기되고 있음

- 초광역협력프로젝트에서 기초자치단체의 참여가 부족하다는 문제점이 제기되고 있는데 그 원인으로는 동 사업이 광역자치단체간의 협력에 중점을 둔 점, 기초자치단체의 역량이 부족한 점, 기초자치단체의 수요와 의견이 충분히 반영되지 못한 상태에서 광역자치단체 중심으로 추진되는 점 등을 들 수 있음
- 중앙정부 부처간, 광역자치단체간, 기초지방자치단체간 거버넌스 시스템이 부족하여 거버넌스 작동은 매우 미흡한 것으로 지적되고 있음
- 현재의 초광역협력프로젝트는 참여하는 각각의 기관의 어떠한 자원, 강점을 활용하겠다는 것인지가 불분명하며 각각의 광역자치단체의 상황 및 보유자원, 행정역량 파악이 부족함.
- SOC분야는 물론이고 비SOC분야도 사업내용의 상당부분이 대규모 하드웨어적 투자에 치중하는 반면, 추구하는 목표, 로드맵, 정책수단, 성과측정 방법 등은 명확하게 나타나 있지 않음.
- 초광역협력프로젝트로 선발 이익(initial advantage)을 가지는 자치단체의 선발 이익과 효과를 타 자치단체로 파급시킬 메커니즘이 부족함

2) 유의사항

- 초광역협력프로젝트는 목표달성을 위한 구체적 청사진과 정책수단이 제시되고, 효과가 큰 사업 또는 달성가능성이 높은 사업에 우선순위를 두어야 하며, 목표, 로드맵, 정책수단, 성과측정 방법이 구체적으로 제시되어야 함
- 지방자치와 지방분권 시대에 각 자치단체들이 사업을 추진하는 것이 우선순위가, 해당 사업을 초광역협력프로젝트로 추진할 경우 비용이 절감되고 시너지 효과가 창출되는 것이 명확해야 함
 - 초광역협력프로젝트는 광역자치단체간의 자본, 노동, 정보, 기술과 같은 유동적 생산요소의 상호교환과 협력을 통하여 비용을 절감하고, 개별 광역자치단체 수준에서는 추진이 불가능한 사업을 시행하는 것이 전략적으로 시너지효과를 창출할 가능성이 높음

- 초광역협력프로젝트의 비용을 명확히 한다는 차원에서 수혜자 부담 원칙이 반드시 필요하며, 혜택이 여러 지자체에 돌아간다면 초광역협력프로젝트로 하되 혜택의 수혜자인 자치단체들은 목표, 로드맵, 정책수단, 인력과 조직, 성과측정 등에 대한 구체적 계획을 수립해야 함
- 지자체 간의 선호도의 차이가 없는 경우 초광역협력프로젝트로 하는 것이 바람직한데 그렇지 않을 경우 각 지자체간에 불만이 발생할 수 있고, 선호도가 약한 지자체의 참여가 저조할 수 있으며, 초광역협력프로젝트에 참여하는 지자체 간에 협력(bridging)이 약화될 수 있음
- 각 지자체가 시행하는 것이 오히려 비효율적인 경우, 각 지자체를 넘어 중앙정부 주도로 신속하게 대응할 필요가 있는 경우, 지자체 간 유사·중복투자방지가 필요한 경우 등은 초광역협력프로젝트로 하는 것이 바람직함
- 초기에 각 지자체별로 시행하기에는 부담스럽고, 중앙정부가 마중물 역할을 수행하여야만 가능한 경우에는 초광역협력프로젝트로 함
 - 처음에는 초광역협력프로젝트로 시행하고, 이후 각 지자체로 이전되는 이슈의 경우, 정책 시차, 비용 부담, 권한 이양 등에 대한 조정 필요.

3) 국비확보 및 인프라 구축을 위한 협의체 운영

- ‘초광역협력프로젝트’가 광역자치단체간 공통 현안을 광역자치단체가 상호 협력하여 해결하고자 하는 사업임을 고려할 때, 관련 지자체간 이해관계가 첨예하게 대립될 개연성이 있음
 - 인접 광역자치단체간에는 자원 및 역량의 공통성으로 인한 주도권 다툼의 개연성이 있음
 - 수도권 R&D 및 산업기반 집적화에 따라서, 수도권 對 비수도권 간 협업시 고부가가치 역할의 수도권 할당 문제가 발생할 수 있음
- 제주 해조류 기반 해양바이오소재개발 협의체 구성·운영을 통하여 도내 지향점 합의 및 전략도출이 되어야 타 광역자치단체와의 협상에 대한 우위를 점할 수 있음

- 협상을 통한 협업을 통한 국비확보 과정에서는 현 보유 자원 및 능력에 기반을 둔 역할 분담이 이루어질 개연성이 큼
 - 고부가가치 분야 역할 요구 증대를 위해서는 도내 내적 합의가 선행되어야 함
- 도 주도로 산·관·학·연 연계 협의체 운영을 통하여 실행력을 담보하고 타 지자체와의 협상력을 증대시킬 필요가 있음
- 정무부지사 산하 해양수산국(해양산업과)을 주축으로 기획조정실(제주개발공사 관련)·환경보전국(용암해수산업단지 관련)·미래전략국(제주테크노파크 및 바이오산업 관련)이 참여하는 도청 내 T/F와 산·학·연 연계 체계 구성이 요구됨

2. 정책 제언

(1) 제주 보유 자원특성을 고려한 초광역 협업 전략 고려

- 초광역 협업에 있어서는 각 지역별 특이자원, 상대적 우위, 원물 및 시장 접근성 등을 기준으로 지역별 분업이 이루어지게 됨
- 특이자원은 타 지역에서 보유하고 있지 못한 독특한 역량으로 해당 지역에서만 특정 부문 수행이 가능하도록 하는 독점적 지위를 부여함
 - 상대적 우위는 수행 가능한 복수 지역 중 상대적 효율성이 높은 경우이며, 이를 기반으로 수행지역을 선정하거나 타 지역 역할과의 균형조율에 사용됨
 - 원물 및 시장접근성은 비용 및 매출구조에 영향을 주며, 경제성 관점에서 최적의 역할 분담을 규정하는 데 사용됨
- 우뚝가사리 육상양식을 위한 제반 조건 구성에서 정제된 해수(filtered seawater)는 필수적인 바, 제주의 염지하수(용암해수)는 해조류 육상양식 수행에 있어 차별적인 특이 자원임
- 제주용암해수산업단지 인프라⁴⁷⁾를 이용하여 육상양식을 위한 다양한 성장조건

47) 제주용암해수센터 내에 소규모 육상양식 시설을 보유하고 있으며, 정제수에 대한 조합이 가능하도록 염지하

조합이 가능함

- 성분추출 및 기능성 제품 생산에 대하여 제주용암해수산업단지 입주기업들과의 협업이 가능함

○ 염지하수 추출 농축염수 및 미네랄수 파이프라인 연결 시, 육상양식의 지역적 한계를 넘을 수 있는 것은 제주육상양식의 특이 자원임

- 용암해수산업단지 담수화 과정에서 발생하는 농축염수는 대부분 바다로 방류되는 방식⁴⁸⁾으로 폐기되고 있음
- 농축염수와 미네랄수를 담수와 섞는 방식으로 해조류 양식에 적절한 염 농도의 해수를 제공할 수 있음
- 이는 농축염수 및 미네랄수 파이프 연결을 통하여 삼다수 생산지인 중산간에서도 육상양식을 수행할 수 있는 가능성을 시사함
- 육상양식 경제성에서 논점이 되는 높은 토지 가격 관련 논점과 해수 온난화에 대한 대안으로 고려될 수 있음

○ 제주의 육상양식 산업생태계 및 해양 R&D 인프라는 상대적 우위요소라고 할 수 있음

- 제주 동부해안을 중심으로 광범위하게 분포하고 있는 육상양식 산업은 광어 등 특정 어류에 편중된 양식으로 시장 변동성에 취약한 특성이 있음
- 복합양식을 전제로 한 해조류 양식은 육상양식의 경제성 확보 및 기존 제주 육상양식 산업생태계의 다양성 확보에 기여할 수 있음
- 육상양식에 기반이 되는 염지하수를 기반으로 한국해양과학기술원 제주연구소 및 제주테크노파크 생물종다양성연구소 등의 R&D 인프라가 해조류 육상양식을 지원하고 있음

○ 파래·감태·우뭇가사리는 제주 해안에서 발생·수거·채취되고 있으며, 특성물질 함량 등에서 우수성을 보이고 있음

- 원물 획득 및 1차 가공이 집적화되어 있는 반면, 2차 및 부가가치 가공 인프라는 미약한 상황임

수 원수 뿐 아니라, 농축염수·담수·미네랄수로 분류하여 제공하고 있음
48) 용암해수산업단지 내에 농축염수를 활용한 제염 기업들이 일부 존재함

(2) 원물 가공 지향 차별화를 통한 어업인과의 카니발라이제이션 지향

- 해수 온난화 등에 의하여 우뚝가사리 등의 해조류 채취 난이도는 증가하고 있는 상황에서, 육상양식이 어업인 및 해녀들의 생계 기반 중의 하나인 해조류 채취에 대한 카니발라이제이션⁴⁹⁾이 발생할 수 있음
 - 동일한 고객군에게 같은 제품을 제시하는 상황에서는 기술에 의한 노동대체가 일어나며, 이 과정에서 수작업 및 수공업 쇠퇴는 필연적임
 - 이는 상이한 고객군에게 상이한 제품이 제공되도록 하는 표적시장(segments) 차별화 상황에서는 이러한 현상이 발생하지 않음을 시사함
 - 장인의 수작업을 기반으로 한 제품에 대한 명품인식 및 자연산에 대한 선호 등이 이를 반영하고 있음
- 육상양식을 통하여 생산된 원물은 바이오리파이너를 위한 원자재로 사용될 것이며, 채취를 통한 원물이 식용으로 유통되는 것과 포지셔닝이 다를 수 있음을 명확히 하여야 함
 - 육상양식 생산 원물은 기능성 제품에 소재로 사용될 것이며 최종고객은 기업이 될 것이므로, 저비용 생산이 주 지향점이 됨
 - 해상양식 및 채취 원물은 식자재로 사용될 것이며 최종고객은 일반 소비자가 될 것이므로, 자연산·친환경 등 차별화가 주 지향점이 됨

〈표 6-13〉 육상양식 對 해상양식 비교

방식	주체	용도	최종고객
육상양식	공공기관 기업	기능성 소재용 원자재	화학 및 의생명공학 기업
해상양식 및 채취	어업인 해녀	식자재	일반 소비자

- 경제적 관점 및 마케팅적 관점에서 두 제품 간의 카니발라이제이션 발생 개연성은 극히 적으나, 필요 시 육상양식 생산 원물의 식자재 유통제한 등을 통하여 어업인들의 기술지향 어업 동참 유도가 필요함

49) 신제품이 매출 향상 등 긍정적인 영향을 기대할 수 있지만 기존 제품의 판매량과 수익성에 악영향을 끼치는 경우가 있는 바, 이러한 현상을 ‘카니발라이제이션’(cannibalization)이라고 함

(3) 어업자원 고갈에 대한 선제적 대비

- 남획 등 규제적 방법으로 통제가능한 원인 뿐 아니라 해수 온도 상승 등 통제 불가능한 환경적 요인으로 인하여 어업자원의 지역 간 이동 및 고갈이 지속될 것으로 전망됨
- 해수 고수온이 김을 포함한 해조류 양식생산량 감소 뿐 아니라 전복먹이용 미역 감소로 인한 전복 양식생산까지 영향⁵⁰⁾을 미치고 있음
 - 동일한 시기에 겨울철 수온이 안정적이었던 경기도에서의 김 생산량이 사상 최대치⁵¹⁾를 기록한 것은 해수 고수온의 영향력이 지역별로 다르게 영향을 미칠 것을 시사함
 - 단기적으로는 남해안에서 서해안으로의 해조류 양식 이동이 있겠지만, 해수 고수온 지속 및 해황 불안정성은 해상양식 불투명성과 변동성 증가의 주 원인이 될 것임
- 장기적으로는 노동집약적 채집형 어업에서 기술집약적 양식형 어업으로의 전환이 이루어질 때, 수익성 개선 및 변동성 통제가 가능할 것으로 보임
 - 우리나라의 기존 양식의 경우, 노동집약적 생산·소규모 자본·자연자원의 과다 소모·환경오염·생태계 교란·자연의존적인 문제점⁵²⁾을 가지고 있었음
 - 국제적 동향은 ‘지속가능한 양식업’ 및 ‘책임 있는 양식업’ 이행을 위하여 네트워크 기반의 IT 및 BT 등 기술융합이 이루어지고 있는 추세⁵³⁾임
 - 기술에 기반을 두어 통제된 환경에서 키우는 어업으로의 점진적 변화를 지향하면서 어업 경영의 지속가능성을 확보할 수 있을 것임

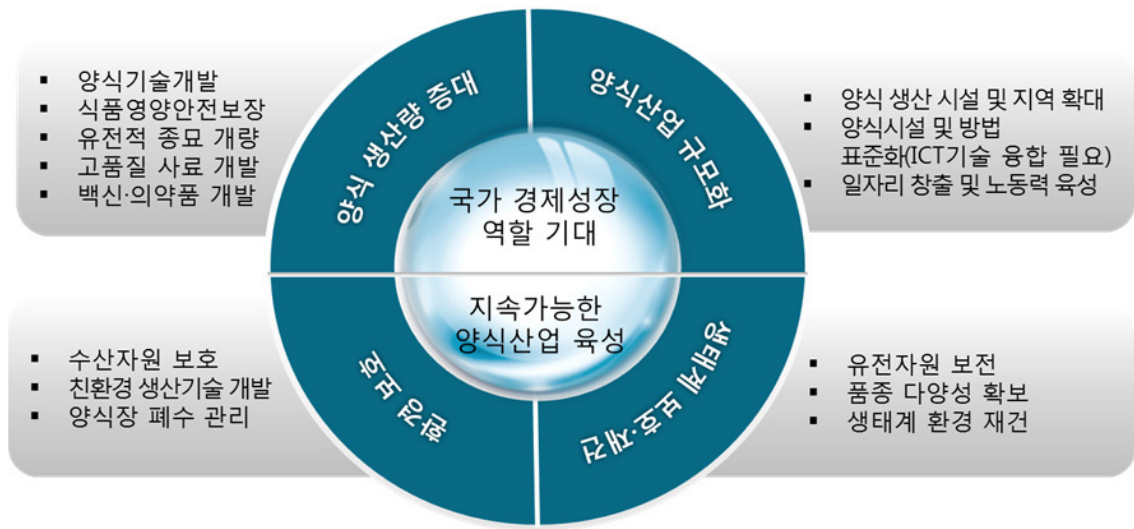
50) 현대해양, 2020.4.3. “김 생산 적신호, 관성적 채묘 중단해야”

51) GNB뉴스, 2020.5.28. “경기도, 김 양식 생산량 사상 최대치 기록… 올해 ‘물김 2만9000t’ 생산”

52) 한국해양수산개발원(2015), 첨단양식기술의 산업화 연구 p.44

53) 한국해양수산개발원(2015), 첨단양식기술의 산업화 연구 p.23

〈그림 6-3〉 세계 양식정책 동향



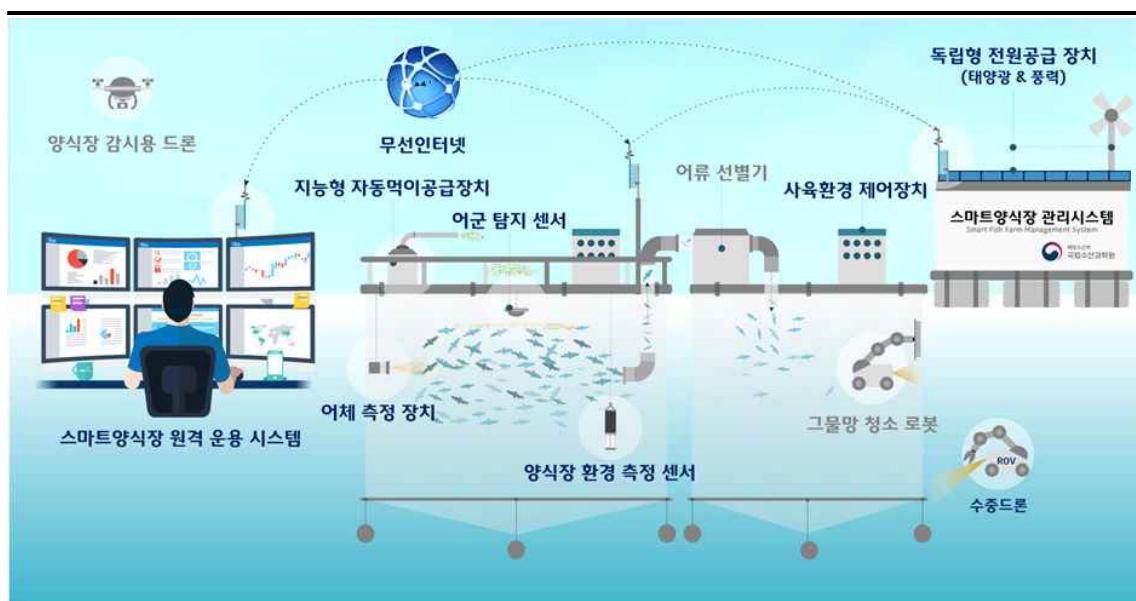
자료: 한국해양수산개발원(2015), 첨단양식기술의 산업화 연구 p.18 재인용

(4) 미세조류 부문 대상 확대 및 스마트양식 적용

- 미세조류는 바이오파이너리 및 친환경 양식 등에 대한 활용 폭이 넓으므로, 스마트양식 기술과 접목한 생력화 기반 생산성 증대를 기할 필요가 있음
- 생장속도가 빠르고 대량생산이 가능한 미세조류는 1차 생산자로서 생태계에서 중요한 역할을 할 뿐 아니라, 오염물질 처리능력 및 바이오연료·바이오플라스틱으로서의 잠재력을 가지고 있음
 - 미세조류는 다량의 지질을 함유하고 있어 바이오디젤, 바이오에탄올 등의 생산에 사용될 수 있음
 - 육상양식으로 생산될 해조류가 바이오 리파이너리의 원재료로 사용될 것을 감안하며, 바이오연료 부문에 특화될 수 있는 미세조류까지 초광역 협업과제 발굴을 확대할 필요가 있음
- 식물 플랑크톤인 미세조류를 바이오플락(biofloc) 양식시스템에 사용하는 경우, 고밀도 사육을 친환경 양식으로 구현할 수 있음
 - 단위면적당 수확량 증가를 통한 수익성 개선이 기대됨
 - 외부 유입수에 기인한 질병 차단으로 피해방지가 가능함

- 물을 환수하지 않아도 되므로 물관리가 용이하고 양식 사육수 비용이 절감됨
- 기존 양식산업이 가지고 있던 환경부하 문제, 자연재해 취약성 등에 대한 대응기술로서의 스마트 양식기술이 노르웨이를 필두로 하는 유럽연합, 미국, 캐나다, 일본, 중국 등으로 확대되고 있음 (유재범, 2019)
- 1단계 원격제어: 사물인터넷 기반 수온·염분·pH 등 실시간 수질환경 모니터링 및 원격제어 시스템 구축
 - 2단계 복합·자동제어: 데이터에 기반을 둔 복합 수질환경 모니터링 및 자동제어 시스템 구축
 - 3단계 지능화: 빅데이터·인공지능에 기반을 둔 최적의 생육환경 자동 구현하는 지능형 양식시스템 구축
 - 4단계 자율경영: 시장수요 예측 및 생산량 자율조절 등 최적의 양식경영 시스템 구축
- 1단계 및 2단계 수준 스마트 양식은 IT기술 적용 및 데이터 분석을 통하여 가능한 바, 최적 생육환경 파악을 위한 양식 빅데이터 및 이에 기반을 둔 실증체계가 요구됨

〈그림 6-4〉 스마트 양식시스템 구성도



자료: 유재범 (2019), 스마트 양식산업의 현황과 향후과제 p.2 재인용

(5) 제도개선 및 선제적 인프라 구축을 통한 규제환경 대응

- 양식산업발전법이 2020년 8월 28일자로 시행되고 있으나, 해조류의 분류·채취규제·발생위치 등에 따라서 다양한 규제적 환경이 상존하고 있음
 - 산업화 방향성에 따라서 규제적 환경이 유연하여야 하나 법제도는 현실에 후행하는 것이 일반적임
 - 규제개혁 샌드박스 등의 활용을 통하여, 산업발전 방향성을 규제적 환경이 저해하는 것을 최소화할 필요가 있음
- 육상에 적치된 해조류가 해양폐기물로 분류되는 등의 규제에 대한 대응책으로 해조류 전(前)처리 시설 인프라를 갖추는 방법이 있음

참고문헌

<국내문헌>

- 강태환(2011), 제주산 우뚝가사리로부터 DMSO 추출과 EDTA 수세법에 의한 상용화 아가로스 제조
- 과학기술정보통신부(2019), 2019 생명공학백서
- 국가균형발전위원회(2020), 접경지역 균형발전을 위한 산업육성 및 남북교류협력방안 연구, 2020.2.
- 국가균형발전위원회·국토교통부(2019), 정부·지자체 협력기반 한국형 계획계약제 발전방안 연구, 2019.1.
- 국립수산물과학원(2009. 4), 해조류연구센터 농림수산물부 양식관리과 회의자료
- 권혁준 외(2019), 경상북도 해양바이오 신소재산업 육성방안
- 김철(2010), Saccharification of *Geldium amansii* by Acid Hydrolysis to Generate Mixed Sugars, 경희대 대학원 논문, p 27, 2010.2.
- 농림수산부(2010), 해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치 소재 동시생산기술 최초확립, 보도자료
- 도정룡(1997), 우뚝가사리로부터 한천의 추출 및 정제, 한국식품개발원
- 생명공학정책연구센터(2019), 해양유래 천연고분자 기반 바이오소재 개발 동향
- 유재범(2019. 12), 스마트 양식산업의 현황과 향후과제
- 인천광역시 해양항공국(2020년), 주요업무계획
- 인천광역시(2018), 인천광역시 균형발전계획
- 장덕희 외(2017), 바이오 기업의 해양바이오 분야 진입을 위한 기업수요 분석
- 전라남도(2012), 제3차 종합계획 수정계획
- 제주연구원(2017), 중국 해양경제발전 13·5 계획 주요내용, CHINA INFO vol.13
- 제주테크노파크(2020), 2019 장수의 섬 제주 해양본초 사업보고서
- 제주테크노파크(2010), 제주지역 바이오산업 실태 분석
- 제주특별자치도(2019), 제주특별자치도 바이오산업진흥계획
- 제주특별자치도(2011), 제2차 제주국제자유도시 종합계획
- 제주특별자치도(2003), 제주생물산업기술발전 10개년 계획
- 한국과학기술기획평가원(2019), 해양바이오 디지털 혁신생태계 구축전략, KISTEP ISSUE PAPER(Vol.259)

한국지역개발학회(2020), 국가균형발전을 위한 초광역협력사업 추진전략.
 한국해양수산개발원(2016), 국내 해양바이오 산업화 동향과 정책 방향
 한국해양수산개발원(2015), 첨단양식기술의 산업화 연구
 한국해양수산개발원(2009), 해조류양식의 바이오산업화를 위한 전략과 정책방향
 해양수산부(2019), 2020년 해양과학기술육성 시행계획
 해양수산부(2019), 해양수산 신산업 육성으로 해양부국 실현, 보도자료
 해양수산부(2019), 해양수산부-해양수산 유망 스타트업 53개사 발표, 보도자료
 해양수산부(2018), 2016 해양바이오산업 실태조사 및 정보제공 사업
 해양수산부(2017), 해양수산과학기술 분류체계
 황재연(2019), 바이오 산업과 전남 바이오-메디컬 허브 육성전략, 광주전남연구(15호)

<외국문헌>

Ewen Callaway(2015), 'Lab staple agar runs low' , Nature, Vol. 528, pp 171-172.
 GIA(2015), A global strategic business report: marine biotechnology. Global Industry Analyst
 OECD(2013), Marine Biotechnology: Enabling Solutions for Ocean Productivity and Sustainability
 Santos R. and Melo R.(2018), Journal of Applied Phycology, Vol. 30, pp 2463-2473
 Willem A. Brandenburg(2016), Sustainable farming at sea, Wageningen University

<웹사이트>

고려대학교 식품공학과 홈페이지(<https://foodscience.korea.ac.kr/foodscience>)
 완도군 홈페이지(<http://www.wando.go.kr/expo/seaweed/meaning>)
 한겨레, 장항산단 해양바이오산업 집중 유치, <http://www.hani.co.kr/arti/area/chungcheong/911605.html>, 2019.10.1.
 현대해양, 김 생산 적신호, 관성적 채묘 중단해야, <http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=11913>, 2020.4.3.
 현대해양, 해양바이오 R&D 현황, <http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=12126>, 2020.05.12.
 Cyanotech homepage(<https://www.cyanotech.com/>)
 European Marine Board(<https://www.marineboard.eu/>)

Flor markets, Global Algae Product Market is Expected to Reach USD 5.38 Billion by 2025, <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/01/29/1976747/0/en/Global-Algae-Product-Market-is-Expected-to-Reach-USD-5-38-Billion-by-2025-Fior-Markets.html>, 2020.01.29

Mckinsey Quarterly, Climate math: What a 1.5-degree pathway would take, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/climate-math-what-a-1-point-5-degree-pathway-would-take>, 2020.04.30.

연구진 및 자문위원

☐ 연구진

소속	직위	성명	비고
제주대학교	경제학과 교수	강기춘	연구책임자
제주대학교	화학·코스메틱학과 교수	이남호	연구원
제주대학교	경영학과 교수	조부연	연구원
젠트대학교 코리아	선임연구원	박지혜	연구원
인천대	생명과학부 교수	박준태	연구원
제주대학교	경제학과 시간강사	황중돈	연구보조원

☐ 자문위원

소속	직위	성명	비고
젠트대학교 코리아	총장	한태준	