

바다사막화 대응 해양생태블럭 개발

Development of Marine EcoBlock
Countermeasuring the Ocean
Desertification

연구사업 기획결과보고서

2016. 12.

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 2016년도 창의사업의 일환으로 수행한 「해양생태블럭개발 연구사업 기획」의 최종결과물로 제출합니다.

2016. 12.

과제 책임자: 윤길림(연안개발연구센터)

참여 연구원: 오명학, 이진학, 한택희, 김선빈,
이상혁(연안개발연구센터)
김민석, 오승용, 유옥환, 최동한,
황선완, 박진우(생태기반연구센터)
오철홍(제주특성연구실)

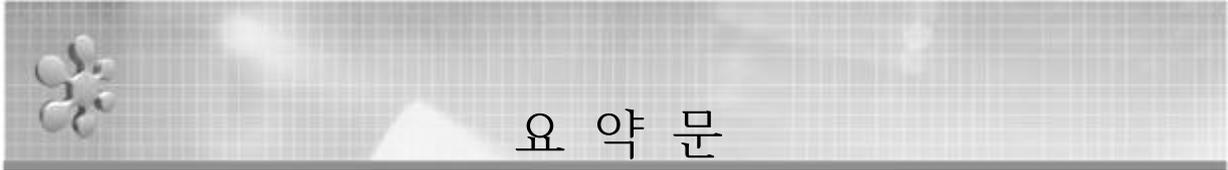
외부기획위원: 노재호, 조인성((주)JNT)

양은익(강릉원주대)

윤인석(인덕대)

이주하(수원대)

박헌우(포항산업과학연구원)



□ 사업의 필요성

- 현재 지구는 해양오염과 기후변동 그리고 남획으로 인한 해양생태계의 변화가 우리의 예상보다 빠르게 진행되고 있으며, 이러한 변화로 수산자원 생산량은 이미 한계에 도달해 있는 실정이며, 특히 급속도로 확산되고 있는 갯녹음 현상은 연안생태계의 건강성을 악화시키고 있음.
- 바다의 사막화현상이 가속화 되면 바다에는 생명이 살 수 없게 되고, 어업인과 기업은 생산거점을 잃게 될 것임. 이러한 이유로, 바다 사막화의 심각성과 연안생태계 복원의 시급성에 대해 국민적 인식과 사회적 공감대를 형성하고, 갯녹음 해역에 바다숲을 조성하고 체계적인 관리로 연안생태계를 복원하여 국내 수산자원을 안정적으로 확보할 필요성이 대두되었음.
- 우리나라 연안의 갯녹음 발생 면적은 2014년 기준으로 여의도 면적의 66배인 19,100 ha이며, 지난 10년 사이 3배 가까이 증가하였으며, 1990년 제주도에서 갯녹음 현상이 처음 발견된 이후 동해연안으로 확장되었고, 최근에는 남·서해까지 확대되어 연간 약 1,200 ha 갯녹음 해역 증가 추세에 있음. 갯녹음이 진행되면 해조류가 사라질 뿐 아니라 바다숲을 기반으로 사는 해양생물들 또한 서식지를 잃게 되어 수산자원의 감소를 초래함.
- 이에 따라 정부와 수산자원관리공단은 황폐화 된 연안생태계를 복원하기 위하여 2009년부터 바다숲 조성사업을 시작하여 2015년까지 21개소 3,078 ha가 조성되어, 2030년까지는 260개소 35,000 ha의 조성을 목표로 약 3,110억 원을 투입할 계획이며, 바다숲 조성은 해중림초 시설, 수중저연승법, 포자주머니법, 이식패널법, 잘피이식 등의 방법으로 이루어지고 있음.
- 그러나, 바다숲 조성면적(연간 약 985 ha/6년간(2009~2014) 연평균) 보다 새롭게 증가되는 갯녹음 발생면적(연간 약 1,200 ha (누계 '04년 7천 ha → '14년 19천 ha)이 많아 전반적으로 사업의 실효성이 낮은 상태임.
- 더욱이, 조성된 바다숲도 전복, 고등류, 군소, 성게류 등의 조식동물에 의해 또다시 황폐화 되고 있음이 확인되었는데, 특히, 성게류에 의한 바다숲 파괴는 심각한 수준으로



알려져 있음.

- 이러한 갯녹음 현상은 우리나라에만 국한된 현상은 아니며, 세계 곳곳에서 발생되고 있는 현상으로 이에 대한 대책연구도 정부차원에서 활발히 진행되고 있음. 미국의 경우 캘리포니아 연안 위원회 같은 조직을 구성하여 연안역 보존활동을 계속 해오고 있으며, 특히 이 위원회에서는 1,000마일 이상 되는 캘리포니아 연안을 보존하고 바다숲을 복원하는 것을 목적으로 하고 있음.
- 일본에서는 수산업적인 측면에서 갯녹음에 대한 연구가 100여 년 전 부터 이루어졌음. 갯녹음 발생을 억제하기 위하여 인공어초 및 콘크리트 블럭을 설치하였으며, 갯녹음 현상 및 발생원인 연구를 통해, 갯녹음에 대한 피해의 직접적인 원인 가운데 조식동물의 영향이 큰 것으로 파악하였음. 해조류의 증식 촉진을 위해 해조류 착생면 갱신, 착생면 조성, 천적구제 진입방지, 모조투입 등을 활용하고 있으며, 조식생물 진입방지를 위한 에어포켓, 고망 등과 같은 구조물은 효과가 큰 것으로 분석되어짐.
- 타이완의 경우 테트라포드 중앙에 생분해형 맹그로브 씨를 넣어, 테트라포드 안에 맹그로브가 성장하여 해수 수질 향상, 해안보호, 관광자원으로 활용할 수 있도록 기술을 개발하는 등 해양 생태계 복원을 위한 다양한 시도를 하고 있음.
- 이렇게 범지구적인 갯녹음 피해를 최소화하기 위해서는 갯녹음 발생 해역에 대한 바다숲 조성 기술의 효율을 높이면서도 조성된 바다숲의 안정적이고 체계적인 관리기술개발이 절실한 실정임.

□ 사업의 목표

- 주요 목표
 - 바다사막화가 점점 심화되고 있는 우리나라 해안의 생태계 복원을 위하여 해양산성화와 갯녹음을 억제시키고 생물 서식을 촉진시킬 수 있는 친환경 생태블럭 개발
 - 현재 정부에서 막대한 예산을 들여 진행 중인 “바다숲 조성사업”의 문제점을 궁극적으로 보완하여 그 실효성을 높이는 기술 개발
- 부수적 목표
 - 조식동물의 조식압(식해)은 낮고 엽상 해조류의 착생률은 높은 해중립생태블럭을 개발
 - 해양생물의 생태(습성)를 접목한 맞춤형 구조물 개발 및 정치 기술 개발
 - 시멘트 콘크리트에 의한 갯녹음 현상의 예방과 해양식생에 이로운 인공어초를 포함한 콘크리트 구조물 제작에 필요한 친환경 생태블럭용 콘크리트 재료 개발



- 친환경 생태블럭용으로 적합한 재료 개발과 제작 기술 및 내구성 증진 기술 개발
- 친환경 생태블럭의 해양생물의 식생에 미치는 영향 확인 및 내구성 검증 기술 개발
- 기존 해양구조물 건설재료의 문제점을 보완할 수 있는 다당류 기질을 이용한 바이오필름 형성 기술 개발
- 해양생물 친화적 공간을 제공하며, 블럭 내 해양생물 가입 유도하는 기술 개발

○ 목표성과물

- 한국형 바다사막화에 대응하는 친환경 생태블럭 제품관련 특허기술 및 제작기술
- 해양생태블럭에 적합한 생물부착용 표면처리 및 코팅 특허 및 신기술
- 친환경 생태블럭에 포함되는 해양생물 유도 미생물 발효물 제작
- 생태블럭 기반 유용생물자원 유인 및 조성기술(유용생물자원 분야)
- 대상생물에 대한 기호·기피물질 추출 기술(유용생물자원 분야)
- 생태블럭 구조물 설계 및 기능 특허(유용생물자원 분야)
- 생태블럭의 국내 해안에 적합한 설치기술 및 공법개발

□ 사업내용

○ 위 사업목표를 달성하기 위하여 2개 세부과제를 구성함

- 세부과제 I : 해양 생태환경 복원기술 및 지속적인 활성화에 적합한 생태블럭 개발 연구(유용해양생물자원의 자원조성 효과 증대 및 친환경적인 연안역 관리를 위한 신개념 해양생태블럭 개발)
- 세부과제 II : 해양 환경오염을 최소화 하며, 해양환경에 적합한 해양생태블럭 및 해양 구조물의 재료연구(해양생태계 복원 및 안정의 극대화를 위한 친환경 재료 개발)

○ [세부과제 I]의 목표는 유용해양생물자원의 자원조성 효과 증대 및 친환경적인 연안역 관리를 위한 신개념 해양생태블럭 개발을 통하여 해양 생태계의 복원 및 활성화기술 개발

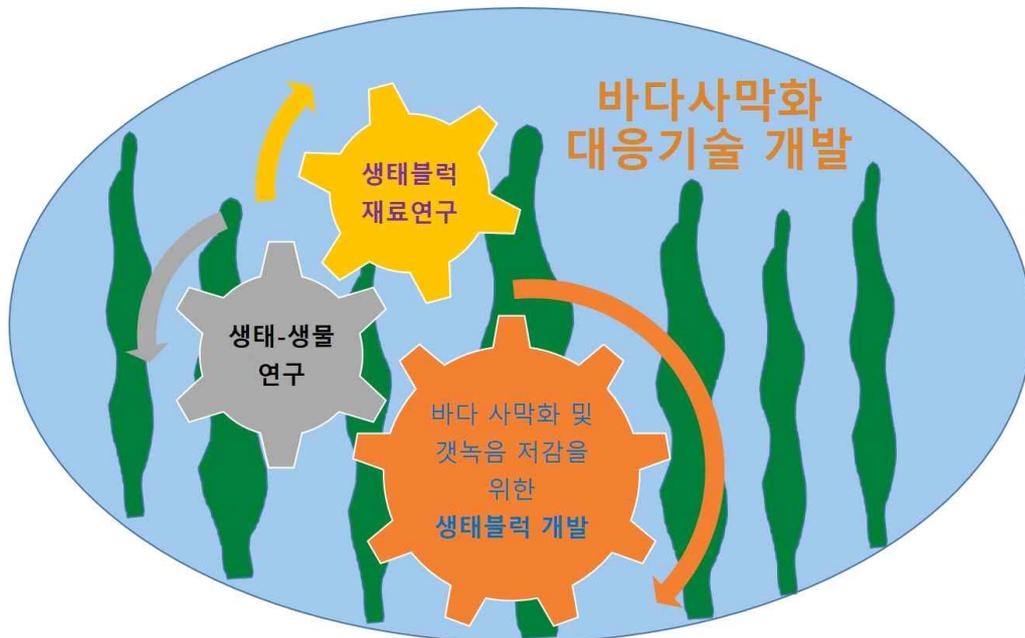
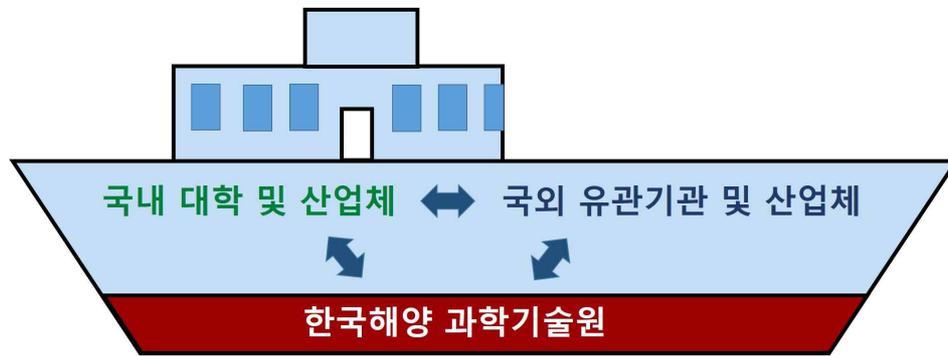
과제명	해양생태블럭 개발을 위한 생물·생태분야 연구
연구목표	갯녹음(백화) 현상 등 바다황폐화 원인을 분석하여, 생태계를 복원 및 활성화 시키고 지속적으로 유지될 수 있는 기술개발
연구내용	1. 갯녹음(백화)현상 대응기술 개발 2. 해양생물 친서식환경 생태블럭 개발 3. 유용생물자원 조성기술 개발



- [세부과제 II]의 목표는 해양산성화 등의 해양오염을 최소화 하면서 갯녹음을 억제시키고 생물 서식을 촉진시킬 수 있는 생태블럭 재료 개발

과제명	해양생태블럭 개발을 위한 재질 및 재료분야 연구
연구목표	해양 콘크리트 구조물의 문제점들을 바탕으로 해양오염을 최소화하며, 해양조건에서 재료의 내구성을 향상시킬 수 있는 재료의 개발
연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 친환경 콘크리트 기술 개발 2. 생태 안전성 및 적합성 평가기술 개발 3. 콘크리트 재료의 내구성 향상기술 개발 4. 생물 친환경 블럭 제작 및 어장 조성기술 개발

□ 추진체계





□ 로드맵

구분	단계	단계별 연구목표	연차	연차별 연구목표
세부과제 I	1단계 (5년)	갯녹음(백화) 현상 원인을 분석하여, 생태계를 복원 및 활성화 시키고 지속적으로 유지될 수 있는 기술개발	1	- 엽상 해조류 착생기질 파악
				- 블럭 기질에 따른 엽상 해조류의 착생률
				- 유용해양생물자원 기호 및 조식동물 기피물질 탐색 및 선정
			2	- 다당류 기질별 바이오필름 형성 확인
				- 유용 미생물군을 이용한 해양생물 발효액 제조
				- 소형구조물을 통한 다양한 성계 오름 방지 블럭 제작
			3	- 엽상 해조류에 대한 조식동물의 반응
				- 기능성 물질 분리 및 적용 방법 개발 - I
				- 다당류 기질에 따른 소형 해양생태블럭 내 월별 해양생물 가입현상 확인
			4	- 발효 상등액 및 침전물을 이용한 소형 구조물 제작 및 해양생물 유도성 확인
- 엽상 해조류에 대한 조식동물의 조식압 제어 기술				
- 기능성 물질 분리 및 적용 방법 개발 - II				
5	- 해양생물의 수중 은폐 공간 제작			
	- 엽상 해조류에 대한 조식동물의 조식압 제어 기술 개발			
	- 다목적 해양생태블럭 개발 및 기능 물질 처리 공법 개발			
2단계 (3년)	○ 실 해역 적용 및 배치 실증연구		- 해양생물 친화적 복합 생태블럭 제작	
			- 해중림 전용 생태블럭 개발	
세부과제 II	1단계 (5년)	해양 콘크리트 구조물의 문제점들을 바탕으로 해양오염을 최소화하며, 해양조건에서 재료의 내구성을 지속시킬 수 있는 재료의 개발	1	- 개발된 생태블럭 해역별 장기 모니터링 및 평가
				- 해양생태블럭의 요구 성능파악 및 최적 형태 도출
				- 친환경생태블럭 (SOC 콘크리트 구조물 및 인공어초용) 콘크리트 제조 및 물성 실험
			2	- 해양생태블럭의 용출 분석 및 백화원인 구명
				- 생물친화형 블럭개발
- 콘크리트 중의 알칼리 및 중금속 등의 해양 식생 성분의 해수 용출 방지에 의한 친환경 생태블럭 개발 연구				
- 콘크리트 내부에 해양 식생에 유효한 심물질을				



				<ul style="list-style-type: none"> 함유하는 친환경 생태블럭 개발 연구 - 해양생태블럭의 용출에 따른 pH 상승 규명 - 생물친화형 블럭의 실험 적용 						
				3	<ul style="list-style-type: none"> - 콘크리트 표면 다공성 형태 개질기법 개발 및 표면개질 콘크리트의 해양 식생 생육에 미치는 영향 확인 - 친환경 생태블럭용 콘크리트의 내구성 실험 - 해양생태블럭의 위집성능 확보 					
					<ul style="list-style-type: none"> - 해양생태블럭 콘크리트의 염해침투로 인한 내구성 저하 - 생물친화형 블럭의 실험 적용 					
					<ul style="list-style-type: none"> - 친환경생태블럭 설치기술 개발 - 친환경생태블럭 시제품 제작 및 현장 침지를 통한 실증 실험 					
				4	<ul style="list-style-type: none"> - 해양생태블럭 콘크리트의 철근부식으로 인한 내구성 저하 - 생물친화형 블럭의 효과 검증 및 실용화 추진방안 수립 					
					<ul style="list-style-type: none"> - 해양 인공블럭의 무선 모니터링 방안 구축 - 친환경생태블럭 시제품 제작 및 현장 침지를 통한 실증 실험 					
					<ul style="list-style-type: none"> - 해양 침지된 친환경 생태블럭 모니터링 - 연구결과 해석 및 친환경 해양생태블럭 매뉴얼 작성 					
				5	<ul style="list-style-type: none"> - 해양생태블럭 콘크리트의 열화 및 수명 예측 - 생물친화형 블럭의 상용화 추진 					
					<ul style="list-style-type: none"> - 현장실증연구와 해역별 장기 모니터링 및 평가 					
				2단계 (3년)	실 해역 적용, 배치 및 실증연구					

□ 소요예산

○ 연차별

(단위 : 억원)

구 분	연 도 별					합 계
	'18	'19	'20	'21	'22	
정 부	25	30	35	40	40	170
민 간	2	3	3	4	4	16
합 계	27	33	38	44	44	186



※ 국비투입 타당성

- 바다 사막화로 인한 해양생태계 황폐화 문제는 범지구적인 현상으로 지방자치단체나 민간 차원에서의 해결이 불가능하여, 정부 예산의 투입이 반드시 필요한 부분이다.
- 국외 선진 국가들의 경우에도 바다 사막화의 진행을 억제하기 위하여 국가적인 사업으로서 대규모 예산을 들여 지속적인 연구를 진행해 오고 있다.

□ 기대효과

○ 기술적 측면

- 전국연안의 위협생물 대량발생에 따른 갯녹음 현상의 심화에 의한 수산물 생산 감소로부터 해중림의 생산성 유지 및 효율적 관리에 요구되는 기반기술 확보
- 위협생물에 대한 효율적 대처와 공간계획 수립 및 선제적 위협생물 대응체계 수립
- 갯녹음 관련 국가 연구기관 및 시행기관, 관련 기업으로의 기술 이전 및 핵심 정보 제공을 통한 연구 성과 극대화
- 현재 활발히 진행되고 있는 바다숲 조성사업에 적용가능하면서 성공률이 높은 복원 기술 제시
- 바다숲 조성의 효율성을 높여 연안 해중림 생태계의 안정성을 높일 수 있음

○ 경제적 파급효과

- 바다 사막화를 저감시키고 해중림 생태계를 복원/안정화시킴으로써 건강한 해양생태계를 유지하고 나아가 연안어업생산성 증가에 긍정적으로 기여할 수 있음
- 바다 사막화에 대한 대책으로 막대한 정부 예산이 투입되어 진행 중인 바다숲 조성사업의 효용성을 극대화 하여 예산의 낭비를 막을 수 있음



목 차



- ▣ 요약문 i
- ▣ 목 차 viii
- ▣ 그림목차 x

- I. 기획 연구의 개요 1**
 - 1. 기획 연구의 개요 1
 - 2. 기획 연구의 내용 및 범위 4

- II. 국내외 연구개발 현황 및 환경 분석 6**
 - 1. 국내 해양생태블럭 연구 관련 동향 및 성과 6
 - 2. 국외 해양생태블럭 연구 관련 동향 및 성과 9

- III. 연구 목표 설정 및 연구 개발 추진 계획 수립 11**
 - 1. 연구 개발 최종 목표 11
 - 2. 연구 목표 및 내용 11
 - 3. 추진 전략 및 기술 개발 로드맵 12
 - 4. 연구 개발 추진 체계 13
 - 5. 연차별 연구 개발 소요 예산 14

- IV. [세부과제 I] 생물-생태분야 연구 15**
 - 1. 생태블럭 개발을 위한 기반연구(1)-갯녹음 대응기술 개발 15
 - 2. 생태블럭 개발을 위한 기반연구(2)-생물자원 조성기술 개발 ... 33
 - 3. 해양생물 서식환경 조성을 위한 연구 44



V. [세부과제 II] 생태블럭 재질·재료분야 연구	47
1. 친환경 해양생태블럭 신재료 개발	47
2. 생태블럭의 내구성 평가 연구	66
3. 생물친화형 블럭제작 및 어장조성 기술 개발	75
VI. 연차별 추진 계획	86
1. 연차별 연구목표 및 연구내용	86
2. 연차별 소요예산	88
3. 연구추진 방향 및 전략	90
4. 기대효과 및 활용 방안	91
VII. 참고문헌	92
VIII. 경제성 평가	94
1. 편익분석	94
2. B/C ratio분석	135
3. 참고문헌	137



그림 목 차



[그림 2-1-1] 왕돌초 해역에서 보라성게 제거 수중작업	7
[그림 3-3-1] 정상 암반과 갯녹음 암반	12
[그림 3-3-2] 연구개발 추진체계	13
[그림 4-1-1] 정상 암반과 갯녹음 암반	16
[그림 4-1-2] 갯녹음 발생 모식도그림	17
[그림 4-1-3] 국내·외 갯녹음 발생 해역	17
[그림 4-1-4] 2014년 초분광항공영상을 활용한 동해연안 갯녹음 탐지 결과	18
[그림 4-1-5] 2014년 동해안 갯녹음 현황	18
[그림 4-1-6] 2015년 남해 연안 갯녹음 현황	19
[그림 4-1-7] 바다숲 조성 면적 및 예산 누계 추이	20
[그림 4-1-8] 바다숲 조성 기법	21
[그림 4-1-9] 성계와 사막화된 대항군락지	22
[그림 4-1-10] 조식동물로부터 해중림 보호를 위한 노력	22
[그림 4-1-11] 왕돌초 해역에서 보라성게 제거 수중작업	23
[그림 4-1-12] 잠수부에 의한 울릉도 성계/불가사리 구제 작업	24
[그림 4-1-13] 갯녹음 대책 추진과정과 갯녹음 제거 기술(KMI, 2010)	25
[그림 4-1-14] 갯녹음 대책 가이드라인 전파 예	25
[그림 4-2-1] 수산자원량 및 어획량 추이	33
[그림 4-2-2] 2006~2010년 시설된 상위 10대 어초 모식도	35
[그림 4-2-3] 해중림초 모식도	35
[그림 4-2-4] 특수처리 입상비용을 이용한 포러스콘크리트의 해조류 부착특성	38
[그림 4-2-5] 해조류 부착특성	38
[그림 4-2-6] 친환경콘크리트에 착상 및 서식하는 해조류들	39
[그림 4-2-7] 대서양 넙치의 후각과 미각 신경을 자극하는 프롤린	40
[그림 5-1-1] 연도별 설치 및 운영되고 있는 인공어초	48
[그림 5-1-2] 운영 중인 인공어초의 재질별 사업비	49
[그림 5-1-3] 운영 중인 인공어초의 재질별 설치량	49
[그림 5-1-4] 일반적으로 사용되는 콘크리트 해양생태블럭 형태	50
[그림 5-1-5] 연구개발 흐름도	63



[그림 5-2-1] 시멘트계 재료의 수화물	69
[그림 5-2-2] 염소이온 및 용존산소량에 따른 철근부식 실험	71
[그림 5-2-3] 해양생태블럭 환경을 묘사한 염소침투 해석모델 구축 추진 전략	72
[그림 5-3-1] 인공어초(바다숲) 시설 및 조성과정	75
[그림 5-3-2] 자연석 투석 사업	76
[그림 5-3-3] 생물친화형 블럭의 활용 모식도	77
[그림 5-3-4] 생물친화형 블럭의 활용 방안	77
[그림 5-3-5] 식해동물 제어 방법	78
[그림 5-3-6] 슬래그활용 해조류 바다숲 조성(북해도)	79
[그림 5-3-7] 생물친화형 블럭 제작 및 어장조성기술개발 절차	80
[그림 5-3-8] 송지형 바다숲 모식도	82
[그림 5-3-9] 어장조성 추진체계도	84
[그림 8-1-1] 연간 진행되는 바다목장 개소 수 산정	96
[그림 8-1-2] 기존 생태블럭과 연구단 개발 생태블럭의 발생 편익 차이 비교	115
[그림 8-1-3] 방파제·항만 콘크리트 구조물 시장 규모 도출 과정	120
[그림 8-1-4] 어항기본사업 및 어항정비사업 추정	122



I 기획 연구의 개요

1) 기획 연구의 개요

1.1. 기획의 배경 및 목적

1.1.1 기획의 배경

- 현재 지구는 해양오염과 기후변동 그리고 남획으로 인한 해양생태계의 변화가 우리의 예상보다 빠르게 진행되고 있음. 이러한 변화로 수산자원 생산량은 이미 한계에 도달해 있는 실정이며, 특히 급속도로 번지고 있는 갯녹음 현상은 연안생태계의 건강성을 악화시키고 있음.
- 바다가 사막화되면 바다에는 생명이 살 수 없으며 이를 근간으로 하는 어업인과 기업은 생산거점을 잃게 됨. 이러한 이유로 바다 사막화의 심각성과 연안생태계 복원의 시급성에 대해 국민적 인식과 사회적 공감대를 형성하고 갯녹음 해역에 바다숲을 조성 및 체계적인 관리로 연안생태계를 복원하여 국내 수산자원을 안정적으로 확보할 필요성이 대두되었음.
- 현재 우리나라의 연안은 환경오염으로 인한 지구의 기후 변화와 무분별한 개발, 해양오염 등으로 인하여 바다 사막화(갯녹음, 백화현상 등)가 급속하게 진행되며 해양생태계가 파괴되어 가고 있음. 이러한 현상은 어획량의 감소에 직접적으로 영향을 주고 있으며, 장기적으로 수질의 악화, 바다의 CO₂ 흡수기능의 약화, 생물의 다양성 감소 등의 문제를 지속적으로 야기 시켜 해양생태계를 더욱 악화시키는 악순환이 되고 있음.
- 바다숲은 ‘바다 밑의 해조류나 해초류가 무리지어 살고 있는 장소’로 우리나라 연안에는 800여종의 해조류가 서식하며 기초 생산력이 매우 높은 장소임. 이런 이유로 어류가 산란장/보육장으로 이용하여 서식하기에 적합함.
- 그런데 이와 같은 연안환경이 ‘갯녹음’ 현상으로 황폐화되어 점점 바다 사막화가 진행되고 있음. 갯녹음이란 “고수온현상과 오염물질, 조식동물(해조류를 먹는 동물)의 번성 등으로 인해 해조류가 고사되고 단단한 무절석회조류가 번식하면서 각종 수산생물이 서식처를 잃게 되는 현상”을 말하며, 일명 백화현상이라고도 함.
- 우리나라 연안의 갯녹음 발생 면적은 2014년 기준으로 여의도 면적의 66배인 19,100 ha이며, 지난 10년 사이 3배 가까이 증가하였으며, 1990년 제주도에서 갯녹음 현상이 처음 발견된 이후 동해연안으로 확장되었고, 최근에는 남·서해까지 확대되어 연간 약 1,200 ha 갯녹음 해역 증가 추세에 있음. 갯녹음이 진행되면 해조류가 사라질 뿐 아니라, 바다숲을 기반으로 사는 해양생물들 또한 서식지를 잃게 되어 수산자원의 감소를



초래함.

- 이에 따라 정부와 수산자원관리공단은 황폐화 된 연안생태계를 복원하기 위하여 2009년부터 바다숲 조성사업을 시작하여 2015년까지 21개소 3,078 ha가 조성되어, 2030년까지는 260개소 35,000 ha의 조성을 목표로 약 3,110억 원을 투입할 계획이며, 바다숲 조성은 해중림초 시설, 수중저연승법, 포자주머니법, 이식패널법, 잘피이식 등의 방법으로 이루어지고 있음.
- 그러나, 바다숲 조성면적(연간 약 985 ha/6년간(2009~2014) 연평균) 보다 새롭게 증가되는 갯녹음 발생면적(연간 약 1,200 ha (누계 '04년 7천 ha → '14년 19천 ha)이 많아 전반적으로 사업의 실효성이 낮은 상태임.
- 더욱이, 기존에 조성된 바다숲도 전복, 고둥류, 군소, 성게류 등의 조식동물에 의해 또 다시 황폐화 되고 있음이 확인되었는데, 특히, 성게류에 의한 바다숲 파괴는 심각한 수준으로 알려져 있음. 그러므로 조식동물로부터 바다숲을 보호하지 않고서는 갯녹음 지역을 이전의 바다숲으로 복원하는 일은 요원한 것으로 판단됨.
- 이러한 이유로, 조식동물로부터 바다숲을 보호하기 위해 스쿠버다이버를 이용한 직접 구제, 수중저연승법을 이용한 해중림 조성 등 많은 노력이 이루어지고 있으나 그 효과는 매우 낮은 실정임. 따라서 갯녹음 해역에 바다숲 조성과 더불어 이의 안정적이고 체계적인 관리기술개발이 절실한 실정임.
- 또한, 해안선에 건설된 많은 구조물들로 인한 해안선 변화와 해양환경 변화는 해양생태계의 변화를 야기 시키고 있음. 특히, 구조물의 70%를 차지하고 있는 콘크리트 재질의 구조물에서 방출되는 물질들은 해양환경 및 해양생태계에 영향을 주고 있음.
- 더군다나, 산업화 이후 대기에 이산화탄소 농도가 증가하고 있으며, 많은 양의 이산화탄소가 해수로 유입되고 녹으면서 해수의 수소이온을 상승시켜 약 알칼리성 상태인 해수의 pH(약 8.1-8.2)를 중성(7.0)쪽으로 감소시키는 해양산성화가 가속되어지고 있어, 이에 따라 탄산염 골격을 가진 해양생물(산화, 극피동물, 이매패류 등)의 골격 형성을 방해하며 성장을 억제시키거나 사망하게 하여 해양생태계의 안정성이 위협받고 있음.
- 또한, 기후변화에 의한 대기의 많은 양의 이산화탄소가 해수에 유입되면 해수에 분포하고 있는 석회를 더 녹게 하고, 이는 석회조류의 번식을 증가시키는 매개체 역할을 하고 있으며, 다양한 콘크리트 해양구조물에서 방출되는 석회가루는 연안의 갯녹음을 가속화 시키는 주요 요인 중의 하나로 여겨지고 있으나 이에 대한 구체적인 평가는 이루어지지 않고 있음.
- 한편 해수 속에 과포화 된 석회수가 바닥으로 침적하게 되면 석회조류들까지 몰살시켜 분홍색 석회조류들까지 하얀 석회로 변화시키는 백화현상이 극심해지고, 이런 현상은



주기적으로 반복되고 있는 실정임. 따라서 기후변화에 의해 나타나는 해양산성화에 따른 해양생태계 영향과 백화현상을 억제하기 위한 해양생태블럭의 해양생태계 안정성 적합 평가가 필수적임.

- 지금까지 국내에서 해양생물의 성장을 촉진시킬 수 있는 다양한 인공구조물의 경우, 구조물에 이용된 재료의 공급 한계로 인한 경제성 제한으로 인하여 일반적인 해양구조물에 적용시키기에는 한계점이 있음.
- 더군다나 국내에서 이용되는 해양구조물들은 갯녹음 방지 등 환경 현안에 대한 고려는 없었으며, 더욱이 해양산성화저감 등의 부차적 효과에 대해서도 고려한 바 없음.

1.1.2 기획의 목적

- 향후 2030년까지 추진이 계획되어 있는 “바다숲 조성사업”에는 막대한 국가 예산이 투입되어 왔고, 투입될 예정이다. 따라서 현재 적용되고 있는 여러 가지 공법들의 단점과 발생되고 있는 부수적인 문제들을 보완할 때 예산낭비를 막을 수 있을 뿐만 아니라 바다사막화가 심화되고 있는 우리나라 연안의 생태계 복원에 기여할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 단순한 바다 식목사업이 아니라 생태계 복원이라는 거시적인 목적을 가지고 해양 생태 블럭의 개발뿐만 아니라 기존 공법의 문제점들을 보완한 대책공법을 마련하여야 한다. 결과적으로 해양생태계의 구성원 중에서도 특히 어류, 해조류, 극피동물 등의 연구를 바탕으로 해양 생태계의 복원과 복원된 생태계의 지속적인 유지에 도움이 될 수 있는 새로운 개념의 해양생태 블럭의 개발이 필요하다.
- 기존 해양에 설치된 각종 블럭을 포함한 콘크리트 구조물에서 방출되는 각종 유해물질은 해양생태계의 파괴를 가속화 시키고 있다. 특히 석회가루는 연안의 갯녹음을 더욱 악화 시키는 주요 요인 중의 하나로 여겨지고 있으나, 이에 대한 구체적인 평가는 이루어지지 않고 있어, 해양에 설치된 콘크리트 구조물에서 발생하는 유해물질에 대한 연구에 따른 대책 마련이 시급하다.
- 또한 해양환경에 적용되는 사회기반시설물의 계획단계에서부터 충분한 장기 내구성능을 갖도록 함은 국가 경쟁력과 직결되는 사항으로, 다양한 해양 블럭뿐만 아니라 해양 환경에 적용중인 콘크리트 구조물 성능저하의 주요요인을 검토하여 사용성 및 내구성능 향상을 최적화하기 위한 기술정보를 축적하고, 해양구조물의 품질관리, 내구성 향상 기술 및 친환경성 부여를 통한 수명을 연장할 수 있는 기술 개발이 필요하다.



2 기획 연구의 내용 및 범위

- 해양생태블럭 개발을 위한 해조류 연구
 1. 엽상 해조류 착생기질 파악 및 블럭 기질에 따른 엽상 해조류의 착생률
 2. 엽상 해조류에 대한 조식동물의 반응: 엽상 해조류의 종류별 조식동물(전복, 군소, 고등류, 성게류, 조식성 어류 등)의 식해활동 반응
 3. 엽상 해조류에 대한 조식동물의 조식압 제어 기술: 엽상 해조류의 종류별 조식동물(전복, 군소, 고등류, 성게류, 조식성 어류 등)의 조식압 제어 기술 탐색
 4. 해조류 성장 촉진물질 탐색 및 적용기술 개발: 대상생물별 성장 촉진 물질 탐색(질소, 인, 철 등), 혼합비율, 용출기간, 가공 등 처리 방법 구축, GIS 기반 현장 실증(효과 검증) 및 환경영향 평가
- 유용해양생물자원의 자원조성 효과 증대 및 친환경 연안역 관리를 위한 신개념 해양생태블럭 개발 및 기 개발된 일반어초의 생태블럭 개념 적용 방안 구축
 1. 집어용 유인물질 탐색 및 적용기술 개발
 2. 해조류 성장 촉진물질 탐색 및 적용기술 개발
 3. 조식동물들의 섭식활동에 대한 대응 방안
- 해양생물 서식환경 조성을 위한 연구
 1. 다당류 기질을 이용한 바이오필름 형성
 2. 해양생물 친화적 공간 마련 및 블럭 내 해양생물 가입 유도
- 친환경 해양생태블럭 신재료 개발
 1. 시멘트 콘크리트에 의한 갯녹음 현상의 예방과 해양식생에 이로운 인공어초를 포함한 콘크리트 구조물 제작에 필요한 친환경 생태블럭용 콘크리트 재료 개발
 2. 친환경 해양생태블럭용 콘크리트 재료를 이용한 콘크리트 구조물의 제작
 3. 친환경 해양생태블럭의 해양생물의 식생에 미치는 영향 확인
 4. 친환경 해양생태블럭의 내구성능 검증
- 블럭재료의 내구성 향상 기술 개발
 1. 국내 해양블럭 환경 특성 및 콘크리트에 대한 영향 분석
 2. 해조식물의 식생을 방해하는 콘크리트의 용출에 대한 실험기법 개발
 3. 해양생태블럭 콘크리트의 정량적 내구성능 평가기법의 개발



- 4. 해양생태블럭 콘크리트의 내구수명 예측기법의 개발
 - 생물친화형 신블럭 제작 및 어장조성 기술 개발
 - 1. 자연석 투하사업(투석사업) 대체용 블럭 개발
 - 2. 해양생물의 생태(습성)를 접목한 맞춤형 블럭 제작 및 개발
 - 3. 시제품의 구조적 안정성 검토: 내파, 내구성 등 설계에 반영



II 국내외 연구 개발 현황 및 환경 분석

1 국내 해양생태블럭 연구 관련 동향 및 성과

1.1. 해양생태블럭 개발을 위한 생물·생태 연구 [세부과제 I]

- 국내에서는 1980년대 이후부터 제주도와 남해안 일대의 해역에서 갯녹음 현상이 나타나기 시작하였으며 1990년대 이후부터는 동해 연안까지도 갯녹음 현상이 발생하여 피해가 일어나면서 조식동물에 의한 피해의 심각성이 부각되었으며, 현재는 잠수부를 통한 직접 구제 작업이 유일한 방법으로 활용되고 있음[그림 2-1-1].



[그림 2-1-1] 왕돌초 해역에서 보라성게 제거 수중작업(<http://www.google.co.kr>, 2016.12.12.)

- 한국과 일본은 공동으로 양국의 수산 발전을 위해 지난 1993년부터 창립된 한일해협 연안 시·도·현 교류 회의를 실시하는데 한국에서는 제주와 부산, 경남, 전남, 일본에서는 사가현과 후쿠오카현, 나가사키현, 야마구현 등이 매년 순회 하면서 지구온난화, 기후변화 등에 대응하고 갯녹음 해역에 대한 해중림 조성사업을 한·일 공동 연구과제로 8 개 시·도·현이 참가하여 수행하고 있음.



- 경상북도에서는 갯녹음 지역에 바다숲(40개소)을 조성하기 위하여 2007년부터 2009년까지 총 80억원의 예산을 투입한 바 있으며, 2016년부터는 동해안 연안 바다속을 푸르게 가꾸기 사업에 총력을 기울여 수산자원 회복에 일환으로 동해안 갯녹음 피해예방 대책을 수립해 연차적으로 예산을 증액하여 “갯녹음 예방의 성공적 사업추진을 위해서 동해안 5개 시·군의 수산행정의 당면 제1의 과제로 갯녹음 대책을 적극 추진해 나갈 계획”으로 노력하고 있음.
- 정부에서는 ‘바다 숲 가꾸기 사업’, ‘해중림 조성 사업’ 등 막대한 재원을 투자 하여 자원회복과 백화현상의 해결방안으로 2030년까지 전국 연안에 357억원 투자하여 역대 최대규모인 3만 5000 ha규모의 바다숲을 조성하고 현재 860만톤 수준인 연근해 수산자원량을 2020년까지 1,100만톤 수준으로 회복시켜 수산물 자급률과 어업인의 소득을 높여나갈 계획 중임.
- 조식동물 제어 효과가 2.4~6.9배 높은 효과를 보이는 강철로 제작한 방지막을 개발하였으며, 인공어초 시설 초기에 조식동물의 조식압 제어용 방지막을 설치할 경우 뛰어난 효과를 보임.
- 바다숲 조성을 방해하는 조식동물을 그물형상의 포획부 내로 유인하여 포획하는 장치인 ‘조식동물 포획장치’가 개발됨.
- 해조류의 인공종묘를 생산하여 실내에서 배양한 후 보호망을 이용하여 조식동물들의 섭생으로부터 피해를 예방하는 중간양성단계를 거쳐 황폐화된 해역에 이식하여 해중림을 조성하는 기술이 개발됨.
- 수생동물을 유인하기 위해서는 섭식촉진물질이 필요함. 수중에서 서식하는 특성이 있기 때문에 섭식촉진물질은 비휘발성 물질로서 수용성이며, 물을 통해 확산이 가능해야함. 그러나 인지질과 같은 비 수용성 물질의 효과도 있다고 보고됨.
- 대부분 아미노산이 자극물질로 작용하는 경향을 나타내지만 아미노산 부패 시에는 이로 인해 발생하는 암모니아가 먹이섭이를 거부하는 물질로도 작용할 수 있음.
- 특허 동향을 살펴보면, 어류 유인 기능을 갖는 로프(1996), 어류 유인 기능을 갖는 그물(1996), 어류 유인 물질 조성물(2000), 해상풍력발전기 기초구조물 내의 어류 유인 혼합물(2013) 등이 등록되어 있음.
- 어류 유인물질에 대한 연구는 소수 어류를 대상으로 제한적으로 이루어져 있어, 다양한 어류의 유인물질 개발 및 위집 효과에 대한 연구가 필요함.
- 질소계 및 인계의 입상비료를 수지 코팅한 포러스 콘크리트를 이용해 해조류의 부착특성에 관한 연구를 진행한 결과, 포러스 콘크리트가 일반 콘크리트에 비해 월등하게 해



조류의 부착력이 높았으며, 제작 조건은 코팅두께 1.0 mm, 목표공극률 및 입상비료의 혼입률은 20%로 제작하는 것이 가장 효과적이었다고 보고됨.

- 자연석보다 높은 철분(약 20%)을 함유하고 있는 제강슬래그를 이용하여 해조류 서식에 긍정적인 효과를 확인하였으며(김과 박, 2007) 이를 이용해 해중림 조성에 활용함.
- 슬래그골재를 이용한 친환경콘크리트의 해양생물의 착상 및 서식활성을 조사한 결과 공극률이 증가할수록 착상 및 서식공간이 증대됨이 보고되었음.

1.2. 해양생태블럭 개발을 위한 재질·재료 연구 [세부과제 II]

- 최근 정부의 바다목장화 사업으로 인하여 인공어초에 관한 많은 연구가 진행되었으나 기존의 연구는 인공어초의 새로운 형상 제작이나 재료 변화에 국한되어 전체적인 인공어초를 비롯한 해양 생태계용 콘크리트 구조물 전반에 적용할 수 있는 친환경 해양생태블럭 개발에 대한 연구는 시도되지 않았음.
- 인공어초 외에 전체 해양콘크리트 구조물에 해조류 및 어류를 위집할 수 있는 해양 식생의 성장에 이로운 환경을 제공하는 것을 기반으로 하는 신기능을 부여한 친환경 해양생태블럭의 기능성 인공어초의 연구는 국내만이 아니라 해외에서도 일천한 상황임.
- 또한 해양환경에 맞는 해조의 종류에 따라서 포자의 부착 또는 성장이 잘 될 수 있는 새로운 재질의 기질 환경을 마련하기 위해서 인공적 콘크리트 구조물의 재료를 개질하고 인공 구조물에 포자의 착생을 도울 수 있는 요철의 정도에 대한 공학적 검토와 표면을 개질하는 연구개발 또한 아직 초기 단계에 있는 실정임.
- 인공어초에 대한 기술력이 뛰어난 것으로 인정되는 일본의 경우, 해중림 조성 및 바다목장화 사업이 우리보다 20여년 앞선 것으로 보고되고 있으며 이를 극복하기 위해서는 전체 해양 콘크리트 구조물이 해양 식생에 기여하는 기반을 조성하여 적극적인 인공어초의 기능을 부여하는 친환경 해양생태블럭의 개발이 필요함.
- 국내에서 개발된 내구성 관련 해석기법은 선진외국에서 개발한 것을 이용하고 있으며, 실제로 개발된 사례는 전무한 실정임. 또한, 관련분야의 실험기법도 국외에서 개발된 것을 이용하고 있으며 독창적으로 개발한 사례도 전무함.
- 국내의 연안어장 환경 복원을 위한 사업은 주로 인공어초(바다숲) 시설, 투석사업 및 어장정화사업 등이 있음.
- 식해동물 제어 기술에 대한 지속적인 연구 및 사업 수행 중에 있음.



2 국외 해양생태블럭 연구 관련 동향 및 성과

2.1. 해양생태블럭 개발을 위한 생물·생태분야 연구 [세부과제 I]

- 미국 캘리포니아 연안 위원회는 연안역 보존활동 의제 20의 법률에 의해 1972년 11월에 설립되어 연안보존 활동을 계속 해오고 있으며, 이 위원회에서는 1,000마일 이상 되는 캘리포니아 연안을 보존하고 바다숲을 복원하는 것을 목적으로 하고 있음.
- 일본에서는 수산업적인 측면에서 갯녹음에 대한 연구가 100여 년 전 부터 이루어졌으며, 인공어초 및 콘크리트 블럭을 설치하였음.
- 일본 수산청은 2004년부터 '갯녹음 대책 검토위원회'를 설치하여, '긴급 갯녹음 현상대책 모델사업'을 추진하였으며, 해조군락과 그 변동, 갯녹음 현장 조장의 회복·잔존 사례, 갯녹음 현상의 회복사업, 갯녹음 현상 대책과 문제점을 파악하고 있음(후지타 다이스케, 2005). 검토위원회는 2007년 기존 갯녹음 관련 연구 성과를 분석하고 17개 지자체와 연구기관이 공동으로 참여하여 '갯녹음 대책 가이드라인'을 만들었음.
- 일본 수산청에서는 갯녹음 대책 가이드라인을 전국 각지로 전파하여 정착시키기 위해 2007년부터 2009년까지 '전국 풍부한 바다만들기 추진협회'에 사업을 위탁시키고 있음. 사업내용은 첫째, 해조류 조식어류의 낚시로 구제, 둘째, 전문가 및 강습회를 활용한 갯녹음 대책 가이드라인 강습회 개최, 해조장 조사 강습회 개최(해조장 조사 방법 등), 넷째, 갯녹음 대책 성공사례 발굴 및 전파 등임.
- 아미노산의 경우 류신과 발린의 조합으로 만들어진 유인 물질이 가장 많은 유인효과를 나타냈다고 보고됨.
- 대부분의 어류 먹이 유인 물질은 아미노산 화합물이며 대상 종의 주요 먹이와 관련한 화합물이 유인 효과가 있는 것으로 판단됨.

2.2. 해양생태블럭 개발을 위한 재질·재료 연구 [세부과제 II]

- Xiaoyan 등(2016)은 슬래그 혼합 페이스트를 적용하여 인공어초의 물성과 관련한 연구를 수행하여 수중 안정성 및 pH 확보관련 연구를 수행함.
- Chatchawin and Payom(2015)은 seadome형태의 인공어초를 크기별, 설치 수심, 파고 등으로 구분하여 총 2625개의 변수에 대해 해안파도 감쇠영향에 대해 해석적 연구를 수행.
- Liu and Su(2013)은 인공어초의 유동장에 관해 수치해석적인 연구를 수행하였으며 단



일 인공어초에 대한 영향이 아닌 2개 이상이 설치된 경우 발생하는 복합적인 영향을 중심으로 분석하였음.

- 해양 콘크리트의 내구성능 평가방법 : 국외에서 개발된 평가방법으로서, 콘크리트의 장, 단기적 성능을 평가할 수 있는 방법을 정리한 것이 아래 [표 2-2-1]이다. 아래 방법들은 해양블록에 바로 적용하기에는 어려운, 확산작용에 의한 염해 실험방법으로서, 해양블록 콘크리트와 같이 심해에 적용할 수 있는 새로운 실험방법이 필요함.

[표 2-2-1] 염해 내구성 실험방법의 비교

	촉진실험			실제 모사실험
	RCPT	Dhir's test	RCM	침지실험
규격코드	ASTM C 1202	-	NT Build 492	AASHTO T356
조건	정상흐름상태	정상흐름상태	비정상흐름상태	비정상흐름상태
데이터	총통과전하량	확산지수	확산계수	확산계수 염소프로파일
실험시간	6 시간	6 시간	1 일	최소 1년 이상
시험편 두께	50 mm	50 mm	50 mm	규정 없음
데이터 신뢰도	좋지 않음	보통	우수	매우 우수

- 해양생태블록에서 유해이온에 의해 발생하는 철근부식은 콘크리트 구조물의 성능저하를 일으키는 가장 중요한 요인으로 인식되고 있기 때문에 1980년대 이후로 선진외국을 중심으로 높은 관심을 갖고 꾸준히 연구되어 온 분야임.
- 해양생태블록의 특정물질이 수질로 용출되는 현상은 일본, 프랑스와 같은 원자력 구조물이 발달한 선진외국의 주요연구 주제임. 최근 해당국가에서는 용출현상에 의한 미세구조의 변화 및 콘크리트 내구성능 저하에 대한 원인 규명 및 해석 기법에 대한 연구가 진행되고 있음.
- 연안 환경복원을 위해 새로운 재질의 어초 및 해조초 개발은 일본, 유럽을 중심으로 활발히 연구가 진행되고 있음.
- 일본에서는 철강슬래그를 이용한 인공어초, 해조초 및 항만용 구조물 개발에 많은 노력을 기울인 결과, 많은 성과를 내고 있다. 일본의 연구활동은 정부와 기업체 그리고 대학 및 연구기관이 협동으로 연구하여 기존 재료를 대체 및 구조 디자인 등에서 많은 결과를 내놓고 있음.



III 연구 목표 설정 및 연구 개발 추진 계획 수립

1 연구 개발 최종 목표

본 연구는 바다 사막화가 심화되어 파괴된 해양생태계의 복원을 목적으로 하고 있다. 생태계 복원 문제는 체계적으로 접근하여 궁극적인 원인을 제거함으로써 해결 할 수 있는 문제이기 때문에 바다 생태계를 구성하고 있는 해조류, 어류에 대한 연구뿐만 아니라 해조류의 생존을 위협하는 조식동물 등에 대한 연구결과를 바탕으로 해양생태블럭을 개발하고자 한다. 여기에는 해양환경 오염을 최소화하며, 해양환경에서 내구성이 좋은 재료에 대한 연구가 동시에 진행되어 새로운 개념의 해양생태블럭 개발뿐만 아니라 해양에 적용되는 각종 콘크리트 구조물 설치 시에도 환경오염을 최소화하여 해양생태계를 활성화하는데 기여하고자 한다.

2 연구 목표 및 내용

본 기획 연구에서 검토한 연구 프로그램의 세부분야별 연구목표 및 내용은 다음과 같다.

- 해양생태블럭 개발을 위한 생물·생태 연구 분야 [세부과제 I]
 - 갯녹음 현상의 원인을 생물-생태학적으로 분석하여, 해양의 생태계를 복원 및 활성화 시키고 지속적으로 유지될 수 있는 기술개발
- 해양생태블럭 개발을 위한 재질·재료연구 분야 [세부과제 II]
 - 기 설치된 콘크리트 구조물의 문제점들의 검토를 바탕으로 해양오염을 최소화하며, 해양조건에서 재료의 내구성을 지속시킬 수 있는 재료의 개발



3 추진 전략 및 기술 개발 로드맵

3.1. 추진전략

○ 해양재료공학, 해양생물·생태 분야의 융합연구 및 산·학·연 연구를 통한 연구추진



[그림 3-3-1] 추진전략

3.2. 기술개발 로드맵

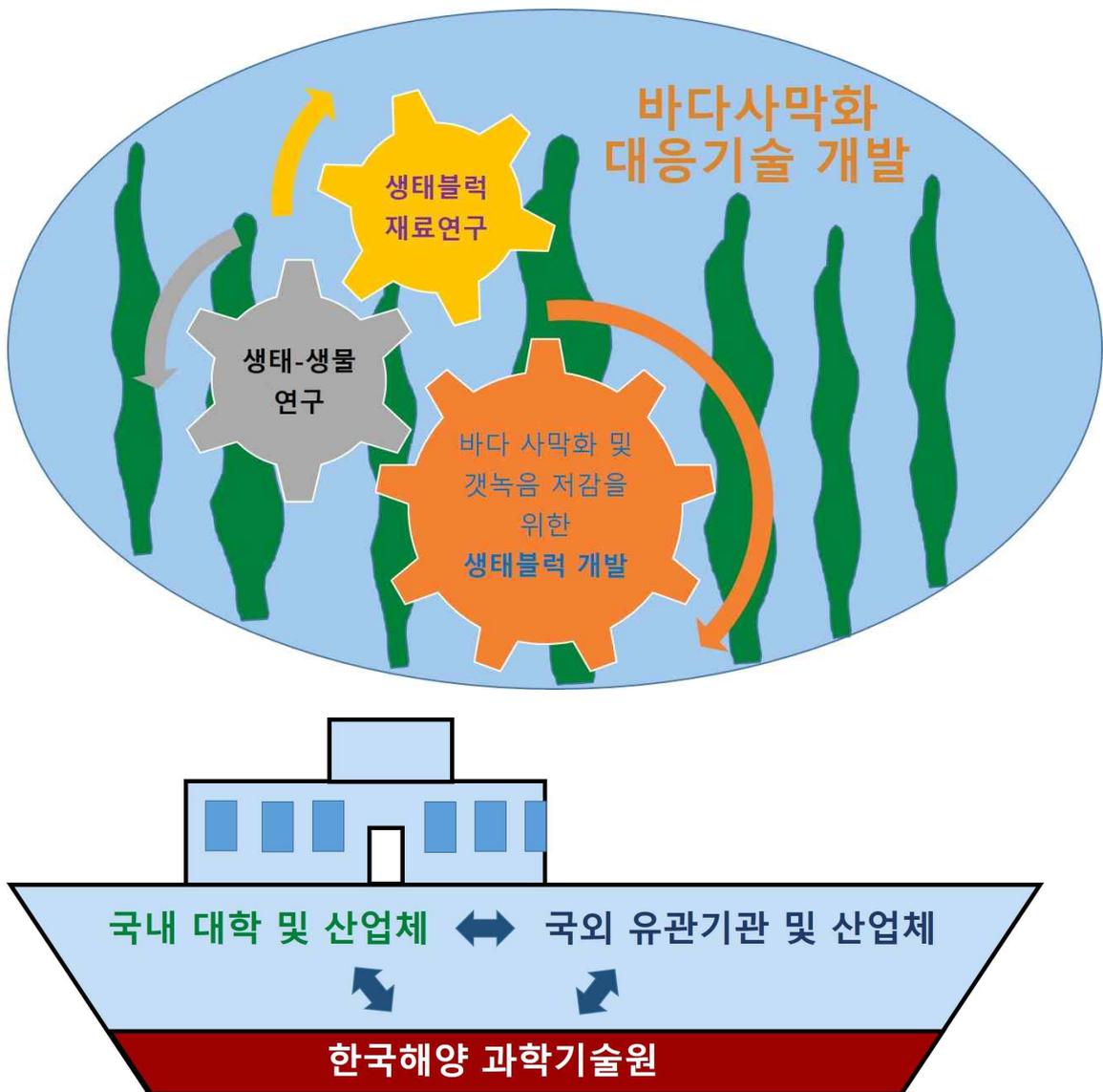
	세부프로그램/ 연구목표	1단계					2단계
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
세부과제 I [해양생태블럭개발을 위한 생물·생태 연구]	갯녹음(백화)현상 대응기술 개발						▨
	유용생물자원 조성 기술 개발						▨
	해양생물 서식 환경 조성을 위한 연구						▨
세부과제 II [해양생태블럭개발을 위한 재료 연구]	친환경 해양생태블럭 재료 개발						▨
	해양생태블럭의 내구성 평가 연구						▨
	생물친화형 블록 제작 및 어장조성 기술 개발						



4 연구 개발 추진 체계

연구목표와 연계된 주요 연구분야별 연구내용과 연구 방법은 아래와 같다.

- 주요 연구분야: 해양생태블럭 개발을 위한 생물-생태 연구 분야 [세부과제 I]
 해양생태블럭 개발을 위한 재료 연구 분야 [세부과제 II]
- 연구수단별 연구내용: 연구분야별 연구내용을 달성하기 위하여 다양한 창조적인 시험기
 법 적용과 가용한 모든 검토 기법을 총동원하여 연구항목을 수행한다.



[그림 3-3-2] 연구개발 추진체계



5 연차별 연구 개발 소요 예산

(단위:억)

단계 예산항목		1단계				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
직·간접비	갯녹음(백화)현상 대응기술 개발	4.0	6.0	6.0	8.0	8.0
	유용생물자원 조성기술 개발	5.0	6.0	7.0	9.0	9.0
	해양생물 서식환경 조성을 위한 연구	5.0	6.0	7.0	8.0	8.0
	친환경 해양생태블럭 재료 개발	7.0	8.0	9.0	9.0	9.0
	생태블럭의 내구성 평가 연구	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0
	생물친화형 블럭제작 및 어장조성 기술 개발	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0
합계 (정부투자비)		25.0	30.0	35.0	40.0	40.0
5개년 총 예산규모 = 170억						

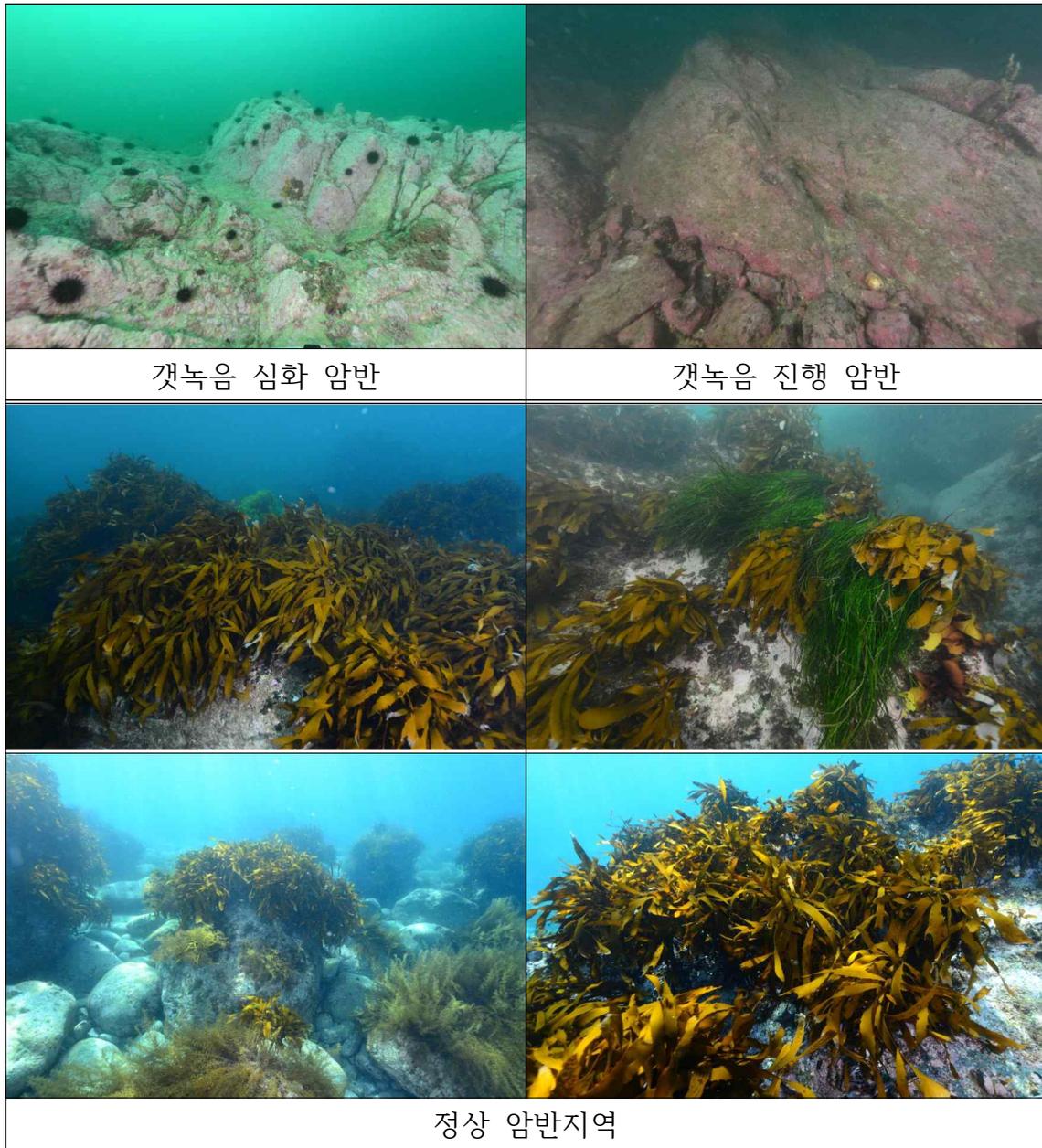


IV [세부과제 I] 생물·생태분야 연구

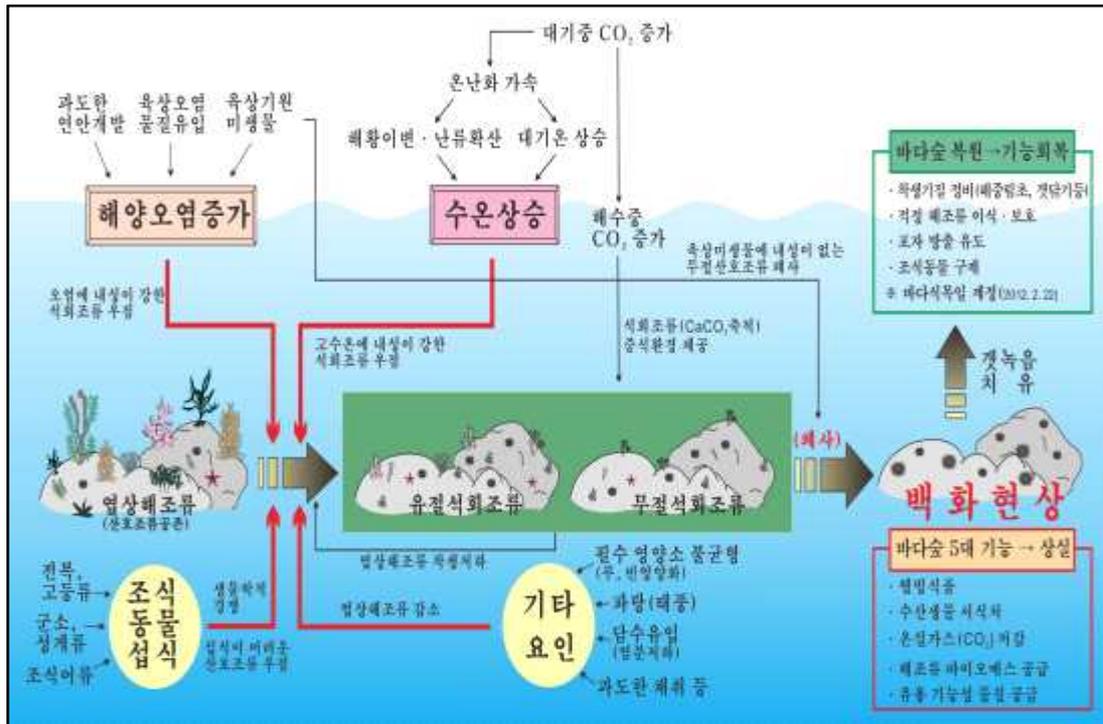
1 생태블럭 개발을 위한 기반연구(1)-갯녹음(백화) 대응기술 개발

1.1 연구의 필요성

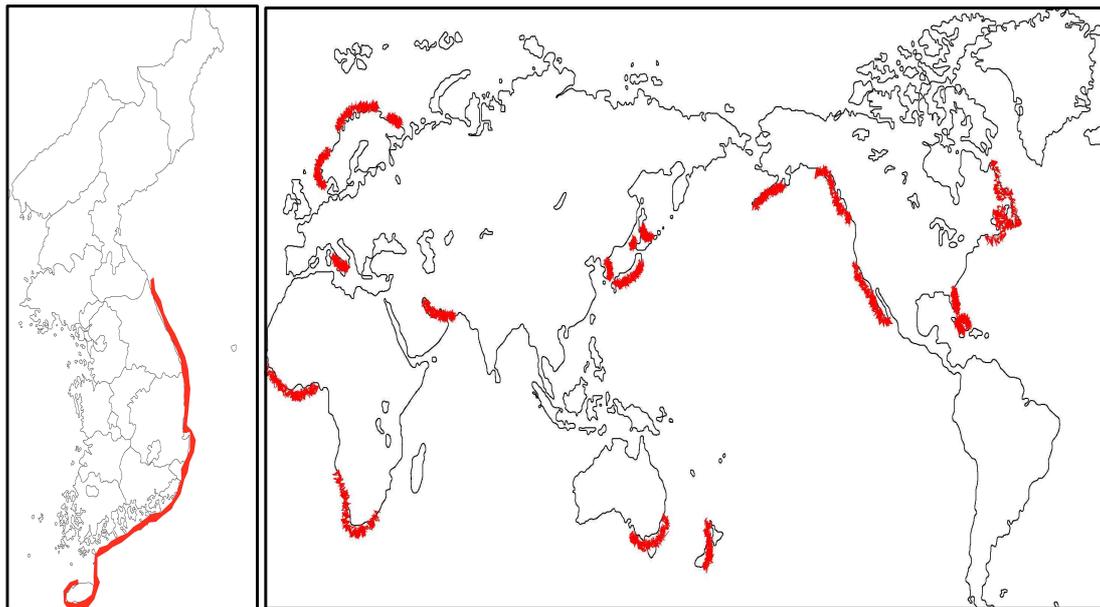
- 바다숲은 ‘바다 밑의 해조류나 해초류가 무리지어 살고 있는 장소’로 우리나라 연안에는 800여종의 해조류가 서식하며 기초 생산력이 매우 높은 곳이다. 이런 이유로 어류가 산란장/보육장으로 이용하기에 적합하다. 그런데 이와 같은 연안환경이 ‘갯녹음’ 현상으로 황폐화되어 점점 바다 사막화가 일어나고 있다[그림 4-1-1]. 갯녹음이란 ‘고수온 현상과 오염물질, 조식동물(해조류를 먹는 동물)의 번성 등으로 인해 해조류가 고사되고 단단한 무절석회조류가 번식하면서 각종 수산생물이 서식처를 잃게 되는 현상’을 말하며, 일명 백화현상이라고도 한다[그림 4-1-2]. 우리나라 연안의 갯녹음 발생 면적은 2014년 기준으로 여의도 면적의 66배인 19,100 ha이며, 지난 10년 사이 3배 가까이 증가한 상황이다. 갯녹음이 진행되면 해조류가 사라질 뿐 아니라, 바다숲을 기반으로 사는 해양생물들 또한 서식지를 잃게 되어 수산자원의 감소를 초래한다. 정부는 황폐화된 연안생태계를 복원하기 위하여 2009년부터 바다숲 조성사업을 시작하여 2015년까지 21개소 3,078 ha가 조성되어, 2030년까지는 260개소 35,000 ha를 조성할 계획을 가지고 있다.
- 현재 지구는 해양오염과 기후변동 그리고 남획으로 인한 해양생태계의 변화가 우리의 예상보다 빠르게 진행되고 있다. 이러한 변화로 수산자원 생산량은 이미 한계에 도달해 있는 실정이며, 특히 급속도로 번지고 있는 갯녹음 현상은 연안생태계의 건강성을 악화시키고 있다. 국내의 갯녹음 발생은 1992년 제주해역에서 최초로 보고된 이후 동해연안으로 확장되었고, 최근에는 남.서해까지 확산되고 있다[그림 4-1-3].
- 2014년 하반기에 동해 연안해역의 12개 시·군의 수심 15 m 이내에서 한국수산자원관리공단이 실시한 초분광항공영상 촬영 및 항공레이저 측량 결과[그림 4-1-4], 전체 암반면적은 17,054 ha이고, 이중 정상 암반은 6,536 ha, 갯녹음 심화 또는 진행 중인 면적은 10,518 ha인 것으로 분석되었다[그림 4-1-5]. 이를 비율로 나타내면 전체 암반면적 중 정상 암반은 38%, 갯녹음 발생면적은 62%에 해당한다.



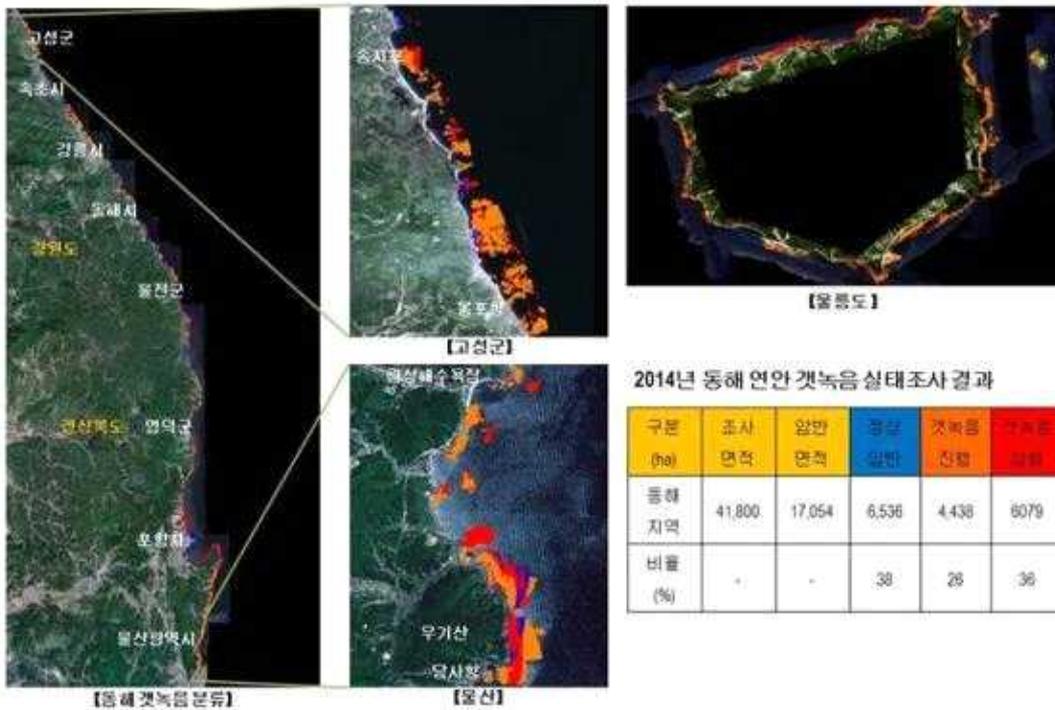
[그림 4-1-1] 정상 암반과 갯녹음 암반



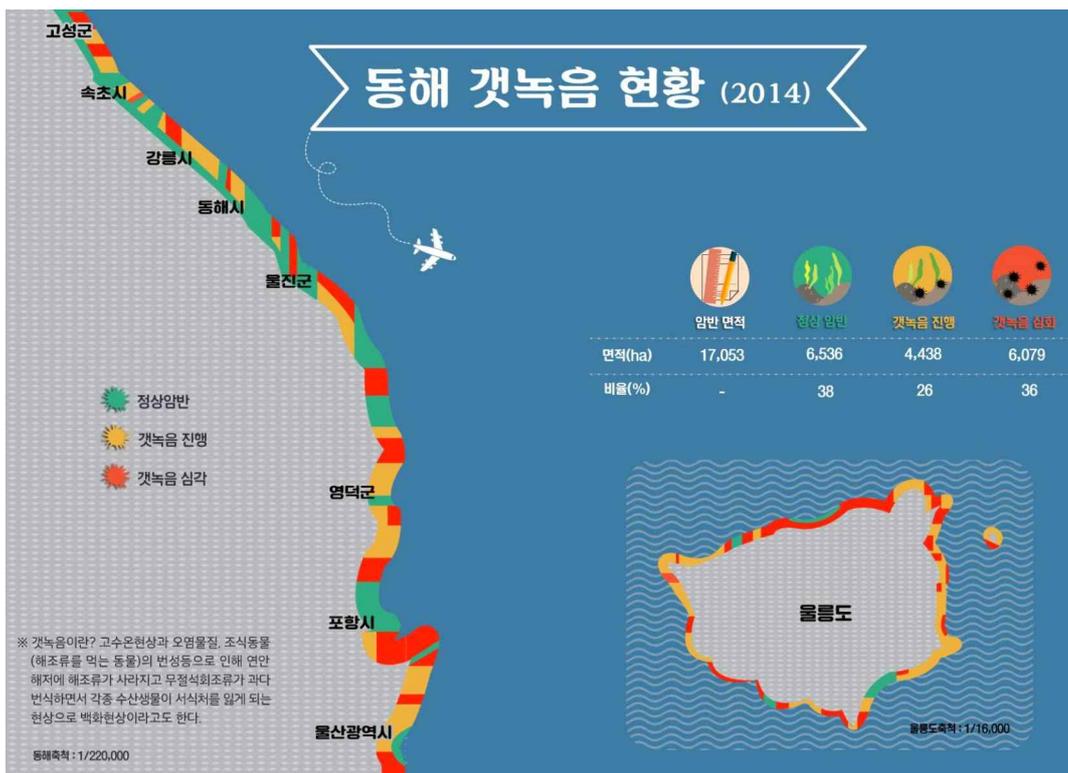
[그림 4-1-2] 갯녹음 발생 모식도



[그림 4-1-3] 국내·외 갯녹음 발생 해역(—).



[그림 4-1-4] 2014년 초분광항공영상을 활용한 동해연안 갯녹음 탐지 결과 (한국수자원관리공단)



[그림 4-1-5] 2014년 동해안 갯녹음 현황(한국수산자원관리공단)



- 2015년 남해안 19개 시·군의 연안 수심 10 m이내를 대상으로 초분광항공영상 촬영기술을 이용하여 갯녹음 면적을 산출한 결과, 남해안 전체 암반면적(8,234 ha) 중 33%(2,737 ha)에서 갯녹음이 진행 중인 것으로 분석되었다[그림 4-1-6].

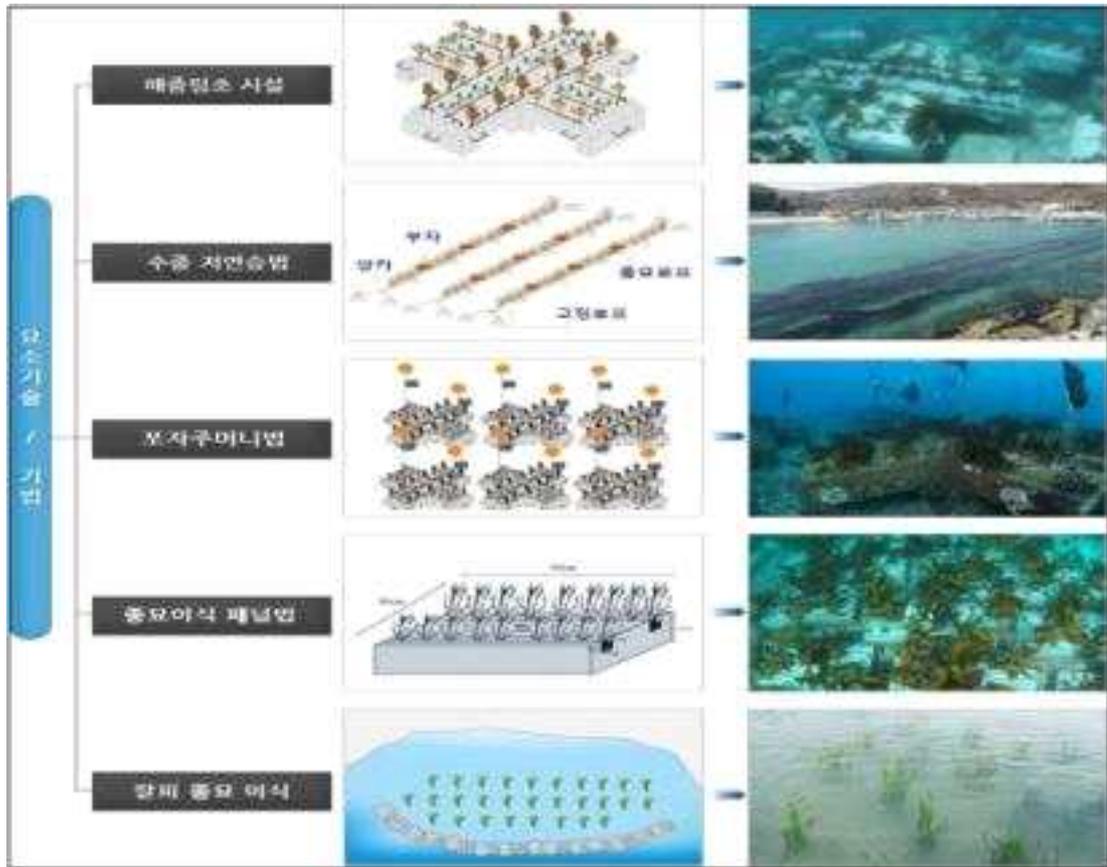


[그림 4-1-6] 2015년 남해 연안 갯녹음 현황(한국수산자원관리공단).

- 바다가 사막화되면 바다에는 생명이 살 수 없게 되고, 어업인과 기업은 생산거점을 잃게 될 것이다. 이러한 이유로, 바다 사막화의 심각성과 연안생태계 복원의 시급성에 대해 국민적 인식과 사회적 공감대를 형성하고, 갯녹음 해역에 바다숲을 조성 및 체계적인 관리로 연안생태계를 복원하여 국내 수산자원을 안정적으로 확보할 필요성이 대두되었다.
- 1990년 제주도에서 갯녹음 현상이 처음 발견된 이후 동해안까지 확대되어 갔으며 연간 약 1,200 ha 갯녹음 해역 증가 추세에 있다. 이에 따라 정부와 수산자원관리공단은 오는 2030년까지 35,000 ha에 약 3,110억 원을 투입해 바다숲을 조성할 계획이며(그림 4-1-7), 바다숲 조성은 해중립초 시설, 수중저연승법, 포자주머니법, 이식패널법, 잘피 이식 등의 방법으로 이루어지고 있다[그림 4-1-8].



[그림 4-1-7] 바다숲 조성 면적 및 예산 누계 추이



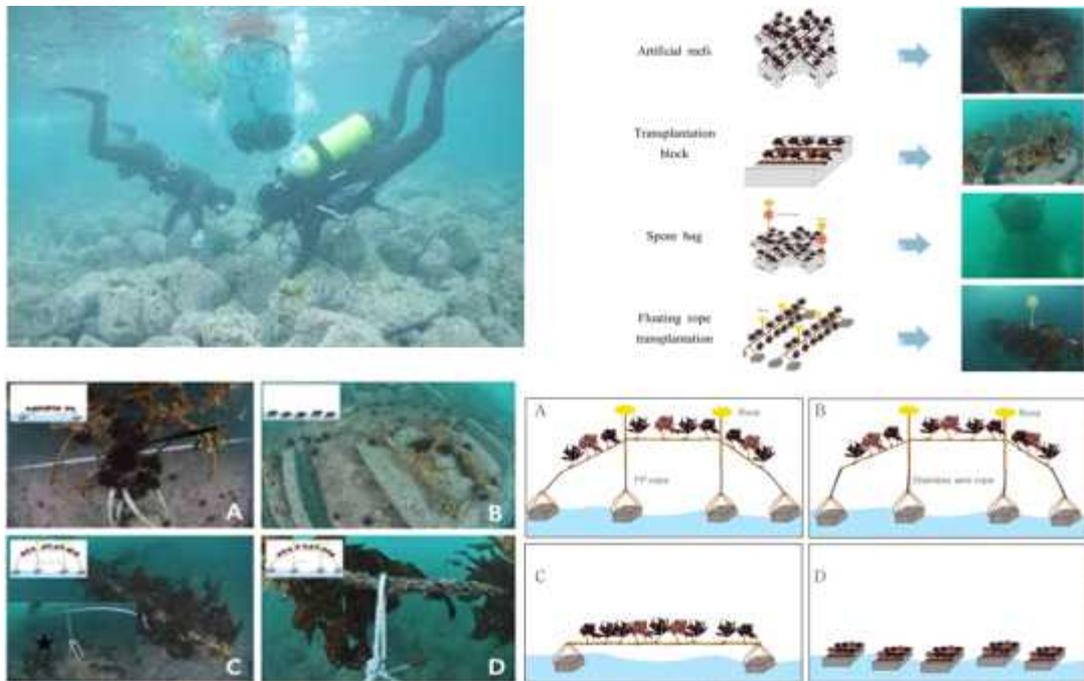
[그림 4-1-8] 바다숲 조성 기법(한국수자원관리공단)

- 그러나, 바다숲 조성면적(연간 약 985 ha/6년간(2009~2014) 연평균) 보다 새롭게 증가되는 갯녹음 발생면적(연간 약 1,200 ha (누계 '04년 7천 ha → '14년 19천 ha)이 많아 전반적으로 사업의 실효성이 낮은 상태이다.
- 더욱이, 조성된 바다숲도 전복, 고둥류, 군소, 성게류 등의 조식동물에 의해 또다시 황폐화 되고 있음이 확인되었는데, 특히, 성게류에 의한 바다숲 파괴는 심각한 수준으로 알려져 있다[그림 4-1-9].
- 그러므로, 조식동물로부터 바다숲을 보호하지 않고서는 갯녹음 지역을 이전의 바다숲으로 복원하는 일은 요원한 것으로 판단된다.
- 이러한 이유로, 조식동물로부터 바다숲을 보호하기 위해 스쿠버다이버를 이용한 직접 구제, 수중자연승법을 이용한 해중림 조성 등 많은 노력이 이루어지고 있으나[그림 4-1-10], 그 효과는 매우 낮은 실정이다.



[그림 4-1-9] 성게와 사막화된 대항군락지

(<http://www.google.co.kr>, 2016.12.12)



[그림 4-1-10] 조식동물로부터 해중림 보호를 위한 노력

(<http://www.google.co.kr>, 2016.12.12)

- 따라서, 갯녹음 해역에 바다숲 조성과 더불어 이의 안정적이고 체계적인 관리기술개발이 절실한 실정이다.



1.2 국내·외 연구 동향

1.2.1. 국내 동향

- 국내에서는 1980년대 이후부터 제주도와 남해안 일대의 해역에서 갯녹음 현상이 나타나기 시작하였으며 1990년대 이후부터는 동해 연안까지도 갯녹음 현상이 발생하여 피해가 일어나면서 조식동물에 의한 피해의 심각성이 부각되었으며, 현재는 잠수부를 통한 직접 구제 작업이 유일한 방법으로 활용되고 있음[그림 4-1-11~4-1-12]



[그림 4-1-11] 왕돌초 해역에서 보라성게 제거 수중작업
(<http://www.uljintimes.co.kr>, 2016.12.12)

- 한국과 일본은 공동으로 양국의 수산 발전을 위해 지난 1993년부터 창립된 한일해협 연안 시·도·현 교류 회의를 실시하는데 한국에서는 제주와 부산, 경남, 전남, 일본에서는 사가현과 후쿠오카현, 나가사키현, 야마구현 등이 매년 순회 하면서 지구온난화, 기후변화 등에 대응하고 갯녹음 해역에 대한 해중림 조성사업을 한·일 공동 연구과제로 8개 시·도·현이 참가하여 수행하고 있음



[그림 4-1-12] 잠수부에 의한 울릉도 성계/불가사리 구제 작업 (자료출처 대구일보 2016.06.15.)

- 경상북도에서는 갯녹음 지역에 바다숲(40개소)을 조성하기 위하여 2007년부터 2009년까지 총 80억원의 예산을 투입한 바 있으며, 2016년부터는 동해안 연안 바다속을 푸르게 가꾸기 사업에 총력을 기울여 수산자원 회복에 일환으로 동해안 갯녹음 피해예방 대책을 수립해 연차적으로 예산을 증액하여“갯녹음 예방의 성공적 사업추진을 위해서 동해안 5개 시·군의 수산행정의 당면 제1의 과제로 갯녹음 대책을 적극 추진해 나갈 계획”으로 노력하고 있음
- 제주해양수산연구원에서는 기능성 어초 개발과 해조류 착생 등 인위적인 바다숲 조성 기술 개발 사업을 추진하였음
- 2013년도 제주도의 CM 바이오텍이라는 회사에서 ‘유용미생물을 이용한 바다숲 살리기 사업’에 참여하여 모판에 유용미생물 처리 과정을 거친 부분과 그렇지 않은 부분을 비교한 결과, 미생물 처리한 부분에서 7일 만에 모자반이 착생함
- 농림수산식품부 (현 해양수산부)에서는 2009년부터 시작하여 2012년까지 전국 연안 38개소에 바다숲을 조성하기 위하여 약 540억 원을 투입
- 갯녹음 해역에 해조숲을 조성하기 위하여 국립수산과학원을 중심으로 해중림초(seaweed reef)에 해조류를 이식하여 투하하는 방법과 자연적인 포자 가입(spore recruitment)을 유도하기 위하여 해중림초와 포자백을 함께 이용하는 방법, 그리고 왕



성한 해조류 섭식자인 성게의 접근을 억제하기 위한 수중 저연승방법을 이용함

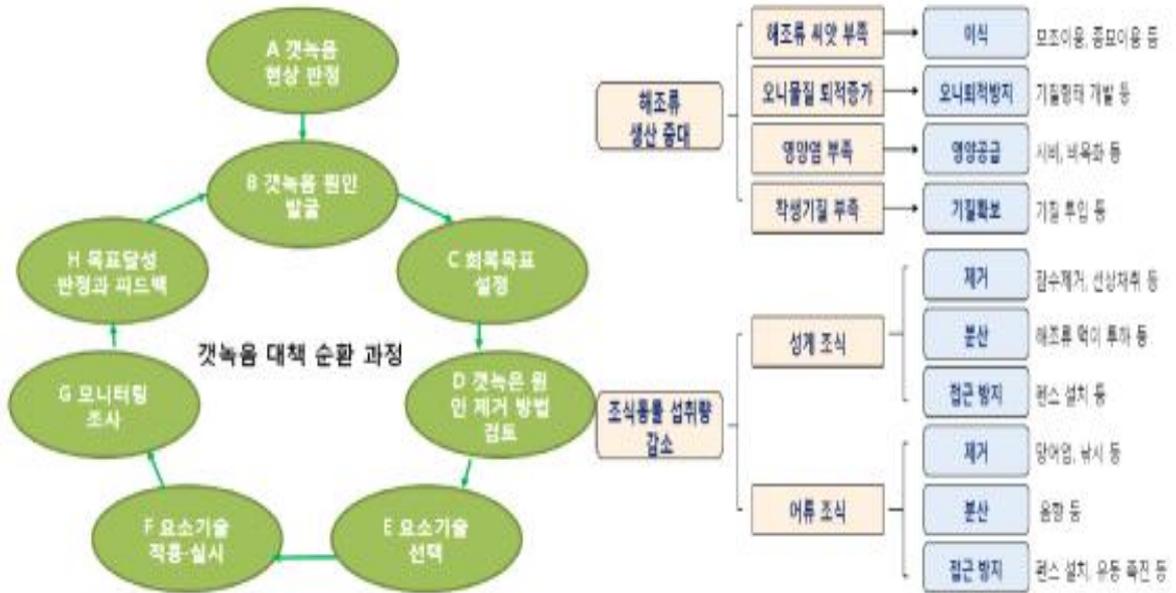
- 정부에서는 ‘바다 숲 가꾸기 사업’, ‘해중림 조성 사업’ 등 막대한 재원을 투자 하여 자원회복과 백화현상의 해결방안으로 2030년까지 전국 연안에 357억원 투자하여 역대 최대 규모인 3만 5000 ha규모의 바다숲을 조성하고 현재 860만톤 수준인 연근해 수산 자원량을 2020년까지 1,100만톤 수준으로 회복시켜 수산물 자급률과 어업인의 소득을 높여나갈 계획 중임
- 조식동물 제어 효과가 2.4~6.9배 높은 효과를 보이는 강철로 제작한 방지막을 개발하였으며, 인공어초 시설 초기에 조식동물의 조식압 제어용 방지막을 설치할 경우 뛰어난 효과를 보임
- 수산자원관리공단은 2009년부터 바다숲 조성사업을 시작해 ‘민동 바다’ 66곳에 5,909 ha의 바다 숲을 조성함. 조성된 해조에 도루묵 등의 자원 증가의 효과가 나타남
- 조식성 동물 차단시설(iron cage)을 이용하여 해중림을 조성한 사례가 있음
- 바다숲 조성을 방해하는 조식동물을 그물형상의 포획부 내로 유인하여 포획하는 장치인 ‘조식동물 포획장치’가 개발됨
- 바다숲을 조성하기 위한 와이어에 결합되는 제 1 가압판과 제 2 가압판이 탄성부재에 의해 연결됨에 따라 조식동물이 와이어를 따라 올라오는 경우 상기 제 1 가압판과 제 2 가압판이 해류에 의해 서로 밀착되었다 떨어졌다는 반복하여 조식동물을 압착시켜 제거할 수 있는 ‘수중파를 이용한 조식동물 제어장치’가 개발됨
- 해조류의 인공종묘를 생산하여 실내에서 배양한 후 보호망을 이용하여 조식동물들의 섭생으로부터 피해를 예방하는 중간양성단계를 거쳐 황폐화된 해역에 이식하여 해중림을 조성하는 기술이 개발됨

1.2.2. 국외 동향

- 미국 캘리포니아 연안 위원회는 연안역 보존활동 의제 20의 법률에 의해 1972년 11월에 설립되어 연안보존 활동을 계속 해오고 있으며, 이 위원회에서는 1,000마일 이상 되는 캘리포니아 연안을 보존하고 바다숲을 복원하는 것을 목적으로 하고 있음
- 미국 메인주의 캐나다 센트로렌스만과 뉴펀들랜드에 이르는 2,000 km의 광대한 갯녹음 해역을 형성하고 있음
- 일본에서는 수산업적인 측면에서 갯녹음에 대한 연구가 100여 년 전부터 이루어졌으며, 인공어초 및 콘크리트 블럭을 설치하였음



- 일본 도호쿠(동북)제국대학 엔도기치사부로는 1902년 해조 갯녹음 조사보고를 낸 후 1911년에 갯녹음에 대해 체계적으로 기술하였으며, 북해도대학에서는 1994년부터 갯녹음 현상을 이해하고 원인을 분석하였음
- 1991년 일본 나가사키시 신미에 지역에서 발생한 갯녹음으로 인해 해조류가 급감하며 성게 알이 차지 않아 상품가치가 하락하는 등 어촌계에 직접적인 손실을 입힘. 주요 원인은 성게, 어류 등 해조류를 먹고 사는 생물이 늘어난 때문으로 파악되었음.
- 일본 수산청에서 갯녹음 현상에 대한 효율적인 대책으로 1998~2002년에 걸쳐서 갯녹음 진단위원회를 구성하여 갯녹음의 진단방법, 갯녹음의 발생과 지속 요인, 여러 해역의 갯녹음 실태를 정리하고 갯녹음 진단 지침을 작성함
- 일본 수산청은 2004년부터 '갯녹음 대책 검토위원회'를 설치하여 '긴급 갯녹음 현상대책 모델사업'을 추진하였으며, 해조군락과 그 변동, 갯녹음 현장 조장의 회복·잔존 사례, 갯녹음 현상의 회복사업, 갯녹음 현상 대책과 문제점을 파악하고 있음(후지타 다이ске, 2005). 검토위원회는 2007년 기존 갯녹음 관련 연구 성과를 분석하고 17개 지자체와 연구기관이 공동으로 참여하여 '갯녹음 대책 가이드라인'을 만들었음
- 갯녹음 대책 가이드라인은 '긴급 갯녹음 대책 모델 사업'의 결과를 정리한 것으로 갯녹음 대책 과정과 갯녹음 제거 기술을 수록하여 어업인이 갯녹음 발생과 지속 원인을 파악하여 그것을 제거하고 해조류 증대를 위한 최적 기술을 선택함으로써 갯녹음 치유와 해조류 회복에 대한 성과를 올리는데 목적이 있음(그림 4-1-13)
- 일본 수산청에서는 갯녹음 대책 가이드라인을 전국 각지로 전파하여 정착시키기 위해 2007년부터 2009년까지 '전국 풍부한 바다 만들기 추진협회'에 사업을 위탁시키고 있음. 사업내용은 첫째, 해조류 조식어류의 낚시로 구제, 둘째, 전문가 및 강습회를 활용한 갯녹음 대책 가이드라인 강습회 개최, 해조장 조사 강습회 개최(해조장 조사 방법 등), 넷째, 갯녹음 대책 성공사례 발굴 및 전파 등임[그림 4-1-14]



[그림 4-1-13] 갯녹음 대책 추진과정과 갯녹음 제거 기술(KMI, 2010)



[그림 4-1-14] 갯녹음 대책 가이드라인 전파 예



- 또한, 바다숲 조성사업을 ‘풍부한 바다의 숲 조성사업 또는 갯녹음 대책 사업’으로 부르고 있으며, 중앙정부(수산청)와 지자체(도도부현)에서는 수산기본계획, 어항어장정비장기계획 또는 자체사업으로 바다숲을 복원 및 조성해 왔음
- 일본의 해조류 증식방법은 착생면 갱신, 착생면 조성, 천적구제 진입방지, 모조 투입, 시비 등 5개의 방법을 활용하고 있으며, 이중 특히 성계에 의한 식해 대책으로 성계 진입방지용 에어포켓(Air pocket), 고망 등과 같은 성계 펜스의 설치로 상당한 효과를 거둠



1.3. 연구 목표 및 내용

1.3.1. 연구 목표

- 본 연구의 목적은 조식동물의 조식압(식해)은 낮고 엽상 해조류의 착생률은 높은 해중림 생태블럭을 개발하여 갯녹음(백화현상)을 치유하여 바다사막화로부터 연안생태계를 보호하는데 있음

1.3.2. 연구 내용

- 엽상 해조류 착생기질 파악
- 블럭 기질에 따른 엽상 해조류의 착생률
- 엽상 해조류에 대한 조식동물의 반응
 - 엽상 해조류의 종류별 조식동물(전복, 군소, 고동류, 성게류, 조식성 어류 등)의 식해활동 반응
- 엽상 해조류에 대한 조식동물의 조식압 제어 기술
 - 엽상 해조류의 종류별 조식동물(전복, 군소, 고동류, 성게류, 조식성 어류 등)의 조식압 제어 기술 탐색



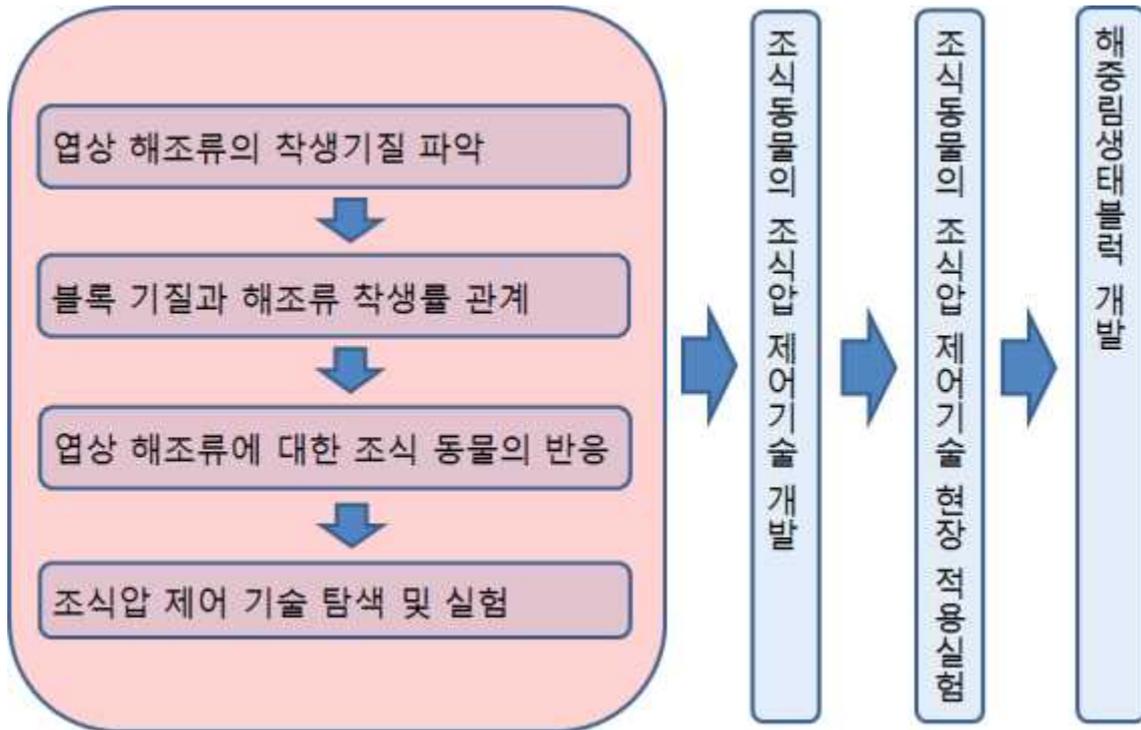
1.3.3. 단계별 목표 및 내용

○ 1단계 연차별 목표 및 내용

구 분		연구개발 목표	연구개발 내용
1 단 계	1차 년도	○ 엽상 해조류 착생기질 파악 ○ 블럭 기질에 따른 엽상 해조류의 착생률	- 엽상 해조류 종류별 착생기질 파악 - 블럭 기질과 엽상 해조류의 착생률 간의 관계
	2차 년도	○ 엽상 해조류에 대한 조식동물의 반응	- 엽상 해조류의 종류별 조식동물(전족, 군소, 고동류, 성계류, 조식성 어류 등)의 식해활동 반응
	3차 년도	○ 엽상 해조류에 대한 조식동물의 조식압 제어 기술	- 엽상 해조류의 종류별 조식동물(전복, 군소, 고동류, 성계류, 조식성 어류 등)의 조식압 제어 기술 탐색
	4차 년도	○ 엽상 해조류에 대한 조식동물의 조식압 제어 기술 개발	- 엽상 해조류의 종류별 조식동물(전복, 군소, 고동류, 성계류, 조식성 어류 등)의 조식압 제어 기술 개발 - 개발 기술의 현장적용 실험
	5차 년도	○ 해중림 생태블럭 개발	- 권역별/지역별 적합 해중림 생태블럭 개발 - 개발 해중림 생태블럭의 효과 평가
2 단 계	○ 실구조물 설치 및 검증을 통한 모니터링 및 실증연구	- 실증과 장기모니터링 - 바다사막화 저감 효과 분석 - 문제점 도출 및 대책수입	



1.4. 추진전략



1.5. 기대성과

1.5.1 기대성과

○ 기술적 측면

- 전국연안의 위협생물 대량발생에 따른 수산물 생산 감소로부터 해중림의 생산성 유지 및 효율적 관리에 요구되는 기반기술 확보
- 위협생물의 효율적 이용을 위한 공간계획 수립 및 선제적 위협생물 대응체계 수립
- 갯녹음 관련 국가 연구기관 및 시행기관, 관련 기업으로의 기술 이전 및 핵심 정보 제공을 통한 연구 성과 극대화
- 현재 활발히 진행되고 있는 바다숲 조성사업에 적합가능하고 성공률이 높은 복원 기술 제시
- 바다숲 조성의 효율성을 높여 연안 해중림 생태계의 안정성을 확보할 수 있음

○ 경제·사회적 측면

- 바다 사막화를 저감시키고 해중림 생태계를 복원/안정화시킴으로써 건강한 해양생태계



를 유지하고 나아가 연안어업생산성 증가에 긍정적으로 기여할 수 있음

1.5.2 연구개발결과의 활용 방안

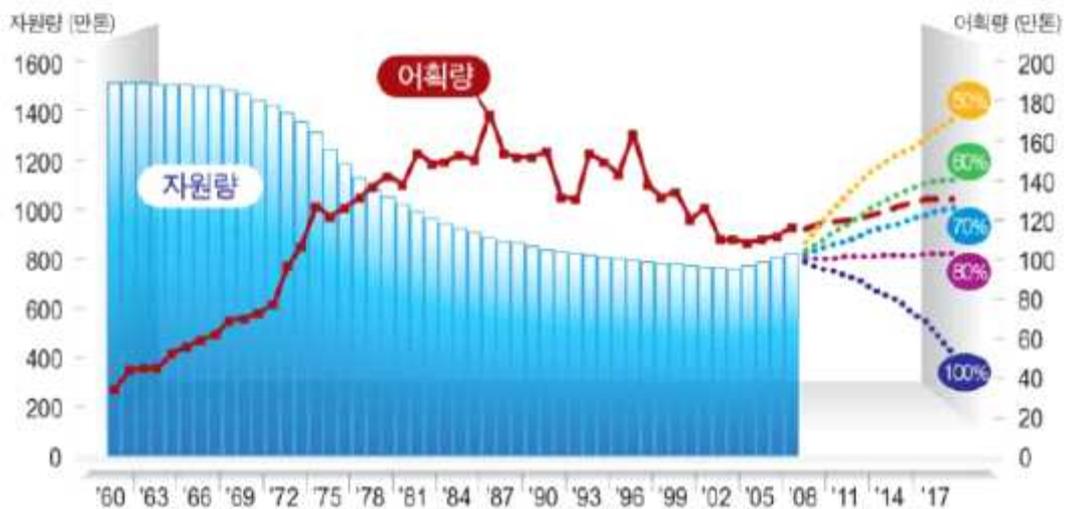
- 바다 사막화(갯녹음, 백화현상) 대응 기반기술로 활용
- 해중림 생태계 복원기술로 활용
- 바다 사막화로부터 해중림 보호 기술로 활용
- 해조류 위협생물 대응 기술로 활용
- 바다숲 조성과 녹색화에 활용
- 바다 사막화 진행 중인 해외에 기술 이전



2 생태블럭 개발을 위한 기반연구(2)-유용생물자원 조성기술개발

2.1 연구의 필요성

- 우리나라 수산 자원량 및 어획량은 1960년 1,500만 톤 이상이였으나, 1970년대 이후로 급격히 감소하고 있으며, 현재 상태로 100% 조업할 경우 향후 자원량은 400만 톤 수준으로 감소할 것으로 전망됨



[그림 4-2-1] 수산자원량 및 어획량 추이(농림수산식품부 자원환경과, 2009)

- 이러한 현상을 타개하기 위해 해양수산부에서는 연간 1,000억 이상의 정부예산을 수산 자원조성사업을 진행하고 있음
- 자원조성사업은 어장관리, 어장조성, 종묘방류 및 바다목장 사업 등 다양하게 진행되고 있음
- 현재 연안지역 자원조성은 대상 해역의 생태학적 특성을 반영한 어장조성 및 자원조성 기술의 연계를 통해 자원관리가 이루어짐
- 핵심 기술 중 하나가 인공어초이며 지속적으로 인공어초를 투하하여 2012년 216,819 ha (993,592백만 원)의 면적에 어초가 시설됨(표 4-1-1)
- 정부에서는 2020년까지 바다 숲 20,500 ha 조성, 바다목장 50개소 조성을 계획하고 있음



표 4-1-1. 연도별 인공어초 시설 현황

연도	수행주체	지역	시설면적(ha)	시설량(개)	소요예산(백만원)
계	지자체	전국 연안	216,819	1,361,226	993,592
'71~'06			193,282	1,289,582	735,264
'07			4,837	15,414	42,313
'08			3,899	11,928	39,154
'09			4,319	13,710	50,453
'10			4,167	12,444	44,334
'11			3,133	10,015	39,263
'12			3,182	8,133	42,811

출처: 한국수산자원관리공단(2014)

- 목적별 시설인공어초의 경우 어류용 어초 총 39종, 패조류용 어초 총 18종이었으며, 이 중 콘크리트 어초가 가장 많이 시설됨(표 4-1-2)

표 4-1-2. 목적별 시설인공어초 현황

(단위: 개, m², %)

	시설물량 및 비율		접지면적 및 비율		공간용적 및 비율	
	물량	비율	면적	비율	용적	비율
합 계	1,343,078		5,721,254		12,627,149	
어류용 어초						
콘크리트어초(13종)	996,665	74.2	4,277,714	74.8	9,290,215	73.6
강제어초(14종)	1,547	0.1	179,948	3.1	1,357,750	10.8
복합형어초(12종)	3,056	0.2	40,989	0.7	147,778	1.2
소 계(39종)		74.6		78.6		85.6
패조류용 어초						
콘크리트어초(11종)	331,322	24.7	1,116,786	19.5	1,596,146	12.6
복합형어초(3종)	6,597	0.5	70,419	1.2	129,411	1.0
해중립초(5종)	3,891	0.3	35,398	0.7	105,849	0.8
소 계(18종)		25.4		21.4		14.4

출처: 한국수산자원관리공단(2014)

- 지금까지 개발된 어초는 형태를 기반으로 한 자원 조성에 초점을 두고 있어 효과가 제한적이고 특정 생물군에 한정되어있어 생태학적 활용 가치가 낮음(그림 4-2-2와 그림 4-2-3)



				
사각어초 (7.73%)*	정심라벨형어초 (5.99%)	2단상지명강제어초 (4.96%)	신요철형어초 (4.87%)	이지형어초 (4.78%)
				
폴리곤어초 (4.74%)	팔각반구형대형강 제어초(4.61%)	반원가지형어초 (4.61%)	팔각반구형중형강 제어초(4.44%)	원통2단강제어초 (4.30%)

[그림 4-2-2] 2006~2010년 시설된 상위 10대 어초 모식도(한국수산자원관리공단, 2014)

				
반뽕니형대중림초	터널형어초	십자형대중림초	복합형대중림초	하우스형대중림초

[그림 4-2-3] 해중림초 모식도(한국수산자원관리공단, 2014)

- 현재 많은 인공어초가 설치된 후 해조류가 착생된 다음 조식동물(성게, 군소 등)에 의한 피해가 지속적으로 보고되고 있지만, 이를 해결하기 위한 연구가 아주 미흡한 상황임
- 성게류의 경우 3 개체/m²의 평균 서식밀도에서 발생하는 섭식량은 국내 천해 양식업의 평균 해조류 생산량(약 5 ton/ha)을 초과하는 것으로 예상(유 등, 2007)
- 즉, 인공어초를 포함한 해상 구조물의 생태계 가치 및 보존, 관리 기능을 높이기 위한 연구개발이 거의 이루어지지 않은 실정임
- 연안용 어초의 구조는 유지자어 보육용의 경우 크고 작은 공간과 해조류가 부착, 서식할 수 있는 구조형태가 필요하며 전복, 소라 등 패류를 대상으로 하는 어초구조는 해조류의 서식 공간 이외에 크고 작은 틈을 갖는 서식공간이 필요함
- 자원조성의 효과뿐만 아니라 낚시와 같은 관광 사업을 위한 유어용 어초 개발도 고려되어야 함
- 인공어초는 구조적인 개발과 함께 자원조성 및 친환경적 관리를 위한 생태·생리학적 측



면에 기반을 둔 연구 개발이 필요함

- 해양생물은 주로 후각과 미각을 이용한 먹이 섭취 활동이 이루어지기 때문에 생리학적 특성과 인공 구조물을 연계한 집어 연구가 필요함
- 또한 연안 해역의 친환경적 복원을 위해서는 가장 기본적인 생태환경 조성이 필요하며, 이를 위해서는 일차 생산자의 기능 회복이 우선적으로 확보되어야 함
- 인공어초의 형태와 형질은 각각의 해역의 생태학적 특성을 고려한 구조물로 개발하여 어장을 조성하는 것이 최대의 효과를 발휘할 수 있는 방법임
- 따라서, 인공 해양 구조물에 적용 가능한 집어용 유인물질, 해조류의 부착, 성장 및 번식에 적합한 성장 촉진물질의 개발과 더불어 조식동물의 피해를 저감할 수 있는 해양 구조물의 설계 및 기능성 물질의 개발을 통해 해양생태계 서비스 가치를 높이고 보존 및 복원을 위한 연구가 필수적
- 이를 바탕으로 대상해역(GIS 기반)의 생태계 특성에 적합한 적용 기술의 개발을 통해 환경 친화적 인공구조물 이용 방안의 구축이 요구됨

2.2 국내·외 연구 동향

2.2.1. 국내 동향

- 어류의 행동에 영향을 미치는 화학물질들은 다양하게 존재함
 - 행동정지물질: 이동하는 동물의 움직임을 멈추게 하는 물질
 - 섭이유인물질: 먹이의 존재를 인식하여 그쪽으로 향하도록 하는 자극 물질
 - 기피물질: 존재를 인식시켜 그것을 기피시키는 자극 물질
 - 섭이개시물질: 섭이를 개시하도록 하는 즉, 맛을 보게 하는 자극 물질
 - 섭이억제물질: 섭이 개시를 저해하는 자극 물질
 - 섭이자극물질: 섭이를 계속하게 하는 자극 물질
 - 섭이저해물질: 섭이 계속을 저해하는 자극 물질
- 이같은 화학물질 중 수생동물을 유인하기 위해서는 섭식촉진물질이 필요함. 수중에서 서식하는 특성이 있기 때문에 섭식촉진물질은 비휘발성 물질로서 수용성이며, 물을 통해 확산이 가능해야함. 그러나 인지질과 같은 비수용성 물질 효과도 있다고 보고됨
- 어류 유인활성물질의 응용에 관한 연구(염 등, 1990)가 일부 진행되었으며 정어리, 멸치, 참갯지렁이가 어류의 유인활성이 높았으며, 붕장어의 경우 생멸치, 냉동정어리의



에탄올 추출물, L-글루타민산, L-글리신, 타우린, L-메티오닌 등이 유인물질로 강한 효과를 나타냄

- 대부분 아미노산이 자극물질로 작용하는 경향을 나타내지만 아미노산 부패시에는 이로 인해 발생하는 암모니아가 먹이섭이를 거부하는 물질로도 작용할 수 있음

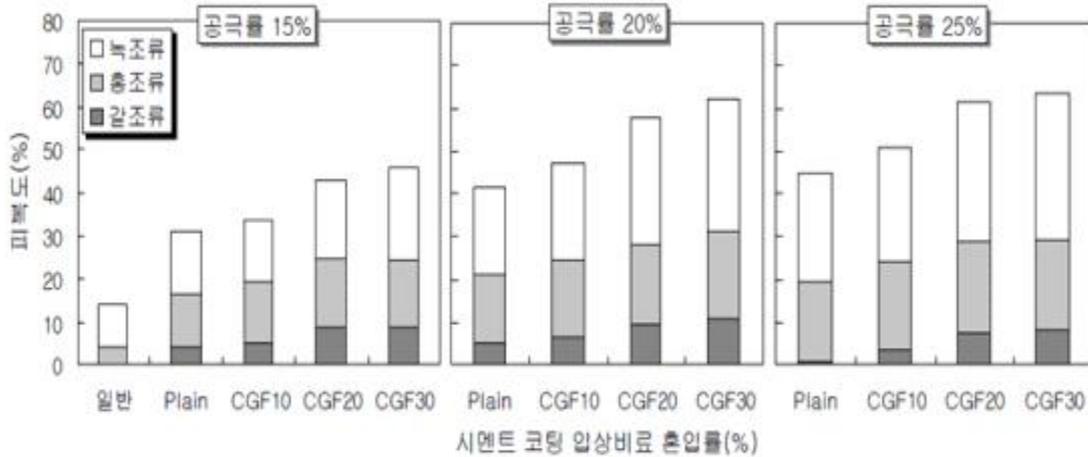
먹이생물		대상어종	섭이자극물질
어류	전갱이류	참돔	Ip, ADP, ATP, 아미노산
갑각류	태평양남바다곤쟁이 새우종류	감성돔 pinfish	Arg, Pro, Ala, 핵산관련물질 Gly, Asp, Ile, Phe, Bet
다모류	눈썹참갯지렁이 두토막눈썹참갯지렁이	참돔 참돔	Gly, Ala, Val, Lys Gly, Ala, Val, 형광물질
기타류	살오징어의 내장 누에번데기 누에번데기	참돔 참돔 잉어	Gly, Ala, Val Gly, Ala, Val 아미노산, 형광물질

출처: www.pdinak.co.kr

- 특허로 어류 유인 기능 로프(1996), 어류 유인 기능 그물(1996), 어류 유인 물질 조성물(2000), 해상풍력발전 구조물 내 어류 유인 혼합물(2013) 등이 등록되어 있음
- 어류 유인 물질 조성물의 경우 핵산, 펩타이드, 아미노산 중 하나 또는 그 이상의 성분을 포함하는 수용성 어류 유인 물질과, 인지질 성분을 포함하는 반수용성 어류 유인 물질의 장점을 조합하여, 수용성 유인 물질로 어류를 순간적으로 유인한 효과를 반수용성 유인 물질로 지속적으로 유인하는 방법임
- 어류 유인 기능을 갖는 로프 및 그물의 경우 로프나 그물을 구성하는 단위사의 내부에 어분을 일체적으로 함침하여 어류 유인 기능을 갖도록 함
- 해상풍력발전 기초구조물 내의 어류 유인혼합물의 경우 산화아연, 산화마그네슘, 산성 백토, 염화칼륨 등의 친환경 물질로 제작한 혼합물을 이용함
- 어류 유인물질에 대한 연구는 소수 어류를 대상으로 제한적으로 이루어져 있어, 다양한 어류의 유인물질 개발 및 위집 효과에 대한 연구가 필요함
- 질소, 인 그리고 철 등의 물질들은 해조류의 성장과 밀접한 관련이 있음
- 질소계 및 인계의 입상비료를 수지 코팅한 포러스 콘크리트를 이용해 해조류의 부착특

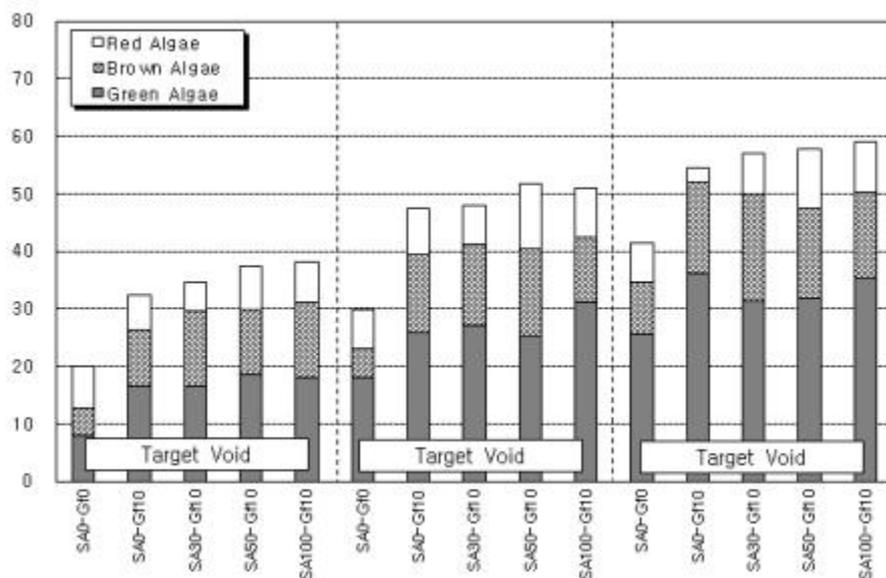


성에 관한 연구를 진행한 결과, 포러스 콘크리트가 일반 콘크리트에 비해 월등하게 해조류의 부착력이 높았으며, 제작 조건은 코팅두께 1.0 mm, 목표공극률 및 입상비료의 혼입률은 20%로 제작하는 것이 가장 효과적이었다고 보고됨[그림 4-2-4]



[그림 4-2-4] 특수처리 입상비료를 이용한 투수 콘크리트의 해조류 부착특성(이 등, 2006)

- 자연석보다 높은 철분(약 20%)을 함유하고 있는 제강슬래그를 이용하여 해조류 서식에 긍정적인 효과를 확인하였으며(김과 박, 2007) 이를 이용해 해중림 조성에 활용함
- 슬래그골재를 이용한 친환경콘크리트의 해양생물의 착상 및 서식활성을 조사한 결과 공극률이 증가할수록 착상 및 서식공간이 증대됨이 보고되었음[그림 4-2-5, 그림 4-2-6]



[그림 4-2-5] 해조류 부착특성



[그림 4-2-6] 친환경콘크리트에 착상 및 서식하는 해조류들

- 해조류 성장과 관련한 특허 동향을 살펴보면, δ -aminolevulinic acid (ALA)를 이용한 해조류 성장 촉진제가 개발되었으며 미세조류 4종 (*Isochrysis galbana*, *Chaetoceros gracilis*, *Chlorella* sp., *Naviculla* sp.)에 ALA를 첨가한 결과, 약 2~1000배 개체수가 증가하였고 해조류 3종 (다시마, 김, 옥덩굴)에 ALA를 첨가한 결과, 약 1.5~3배 성장이 촉진됨
- 조식동물인 성게의 섭식을 최소화하기 위한 방법으로 수중저연승방법을 활용한 해중림 초 이식방법에 대한 연구가 있음(곽 등, 2014)

2.2.2. 국외 동향

- 먹이 유인 물질은 사료 성분으로 첨가될 수 있는 모든 유형의 화합물이 될 수 있으며 어류에 대한 먹이 유인 물질은 일반적으로 자연 발생 화합물에서 유래하거나 이와 유사한 화학적 조성을 갖는 화합물이어야 함
- 연어와 같은 육식성 어류의 경우 유인 물질 효과를 나타내기 위해서는 자연 먹이인 크릴을 기반으로 한 성분을 이용함(Suontama, 2007)
- 무지개송어(Adron and Mackie, 1978)에 대한 주요 자극 물질은 아미노산 혼합물이며 특히 L-형의 아미노산이 자극제로 작용한다고 보고됨. 염기성 아미노산, 인지질, 회분 등의 물질도 일부 어종(미꾸리, 전복, 방어)에 대하여 섭식촉진 효과를 나타내는 것으로 알려짐



- 아미노산의 경우 류신과 발린의 조합으로 만들어진 유인 물질이 가장 많은 유인효과를 나타냈다고 보고됨
- 줄무늬 베스의 경우 필수 아미노산인 알라닌, 세린, 글리신 및 프롤린이 유인물질인 것으로 보고됨(papatryphon and soares Jr., 2000)
- 연어, 송어의 경우 L-프롤린이 강력한 유인물질인 것으로 다양한 연구에서 밝혀졌으며 (Hara et al., 1994; Mearns, 1986), L-알라닌에 대해서도 반응을 보인 것으로 보고됨 (Mearns, 1986; Sutterlin and Sutterlin, 1970)
- 틸라피아와 차넬 메기도 연어 종과 비슷하게 L-알라닌과 L-아르기닌 뿐 만 아니라 L-세린에도 반응을 보였음(Caprio, 1975)
- 대서양 넙치의 후각과 미각 신경을 자극하는 성분으로는 프롤린이 가장 효과적이었으며 그 농도는 10^{-3} M이었음(Yacoob and Browman, 2007)[그림 4-2-7]

Relative stimulatory effectiveness (RSE) of chemical stimuli at 10^{-3} and 10^{-2} M in eliciting taste responses in the facial nerve of the Atlantic halibut

Stimuli	10^{-3} M	10^{-2} M
Proline	100	127.0±5.8
Aspartic acid	0	0
Tryptophan	0	0
Phenylalanine	0	0
Lysine	0	0
Glycine	0	19.5±7.8
Tyrosine	0	0
Glutamic acid	0	27.9±9.4
Asparagine	0	0
Alanine	0	0
Valine	0	0
Serine	0	0
Glutamine	0	0
Methionine	0	0
Betaine	0	164.9±26.9
Taurine	0	0
Inosine	0	0
Taurolithocholic acid	0	0
Lactic acid	0	0
Adenosine monophosphate	80.0±30.7	—
Inosine monophosphate	218.3±26.2	—
Guanosine monophosphate	14.0±4.1	513.3±30.6

The values are expressed as a percentage (mean±S.D.; n=5) of the responses to 10^{-3} M proline; dashes refer not tested.

[그림 4-2-7] 대서양 넙치의 후각과 미각 신경을 자극하는 프롤린



- 큰입 베스와 대서양 넙치의 경우 Inosine-5-monophosphate가 효과적인 먹이 유인 물질이 될 수 있다고 보고했음(Oliveira and Cyrino, 2004; Yacoob and Browman, 2007).
- 식품의 감칠맛 성분인 베타인도 다양한 어류에서 먹이 유인 물질로 효과가 있는 화합물로 알려졌음 참서대의 일종인 Dover sole의 연구에서 베타인을 사료에 첨가 시 먹이 섭취량이 증가했음(Reig et al., 2003)
- 갑각류의 연구도 다양하게 진행되었음 black tiger shrimp의 경우 베타인, 글리신, 아르기닌, 알라닌, 타우린 및 글루타민산을 먹이 유인 물질로 보고했음(Smith et al., 2005)
- 이와 같이 대부분의 어류 먹이 유인 물질은 아미노산 화합물이며 대상 종의 주요 먹이와 관련한 화합물이 유인 효과가 있는 것으로 판단됨

2.3. 연구 목표 및 내용

2.3.1. 연구 목표

- 유용해양생물자원의 자원조성 효과 증대 및 친환경적인 연안역 관리를 위한 신개념 해양생태블럭 개발 및 기 개발된 일반어초의 생태블럭 개념 적용 방안 구축

2.3.2. 연구 내용

- 집어용 유인물질 탐색 및 적용기술 개발
 - 대상생물별 유인물질 탐색
 - 혼합비율, 용출기간, 가공 등 처리 방법 구축
 - 다목적 해양생태블럭 설계 및 기능 물질 처리 공법 개발
 - GIS 기반 현장 실증(안정성 및 효과 검증) 및 환경영향 평가
- 해조류 성장 촉진물질 탐색 및 적용기술 개발
 - 대상생물별 성장 촉진 물질 탐색(질소, 인, 철 등)
 - 혼합비율, 용출기간, 가공 등 처리 방법 구축
 - 다목적 해양생태블럭 설계 및 기능 물질 처리 공법 개발
 - GIS 기반 현장 실증(안정성 및 효과 검증) 및 환경영향 평가
- 조식동물들의 섭식활동에 대한 대응 방안



- 조식동물을 방지할 수 있는 물질 탐색
- 혼합비율, 용출기간, 가공 등 처리 방법 구축
- 조식동물을 방지할 수 있는 블럭, 어초 모형(안) 개발
- GIS 기반 현장 실증(안정성 및 효과 검증) 및 환경영향 평가

2.3.3. 단계별 목표 및 내용

○ 1단계 연차별 목표 및 내용

구 분		연구개발목표	연구개발내용
1 단계	1차 년도	○ 유용해양생물자원 기호 및 조식동물 기피물질 탐색 및 선정	- 집어용 유인물질 탐색 및 선정 - 해조류 성장 촉진 물질 탐색 및 선정 - 조식동물 섭식 방지 물질 탐색 및 선정
	2차 년도	○ 기능성 물질 분리 및 적용 방법 개발 - I	- 집어용 유인물질 처리 방법 개발 및 효과 검증 - 해조류 성장 촉진물질 처리 방법 개발 및 효과 검증 - 조식동물 섭식 방지물질 처리 방법 개발 및 효과 검증
	3차 년도	○ 기능성 물질 분리 및 적용 방법 개발 - II	- 집어용 유인물질 처리 방법 개발 및 효과 검증 - 해조류 성장 촉진물질 처리 방법 개발 및 효과 검증 - 조식동물 섭식 방지물질 처리 방법 개발 및 효과 검증
	4차 년도	○ 다목적·다기능 해양생태블럭 개발 및 기능 물질 처리 공법 개발	- 구조물 설계 및 물질 처리 공법 개발 - 구조물 안전성 검토 - 구조물 시제품 개발
	5차 년도	○ 해역별 현장 적용 실험	- 해양생물 위집 효과 조사 - 해조류 성장 효과 조사 - 조식동물 섭식 차단 효과 조사 - 대상 해역 환경 영향 분석
2 단계		○ 실 해역 적용 및 검증연구	- 해역별 장기 모니터링 및 평가



2.4. 추진전략

- 유용해양생물자원 기호 및 기피물질 탐색 및 선정
 - 유용해양생물자원 기호 및 기피물질 문헌 조사
 - 대상생물의 먹이 선호도 조사 및 해당 먹이 성분 분석
 - 해조류 성장 촉진 물질 탐색 및 분석
 - 조식동물 섭식 방지를 위한 물질 탐색 및 분석
- 기능성 물질 분리 및 적용 방법 개발
 - 해양생물자원 유인물질, 해조류 성장물질 및 조식동물 섭식 방지물질 분리
 - 유인물질, 해조류 성장 촉진물질, 조식동물 섭식 방지물질 적용 기반 기술(혼합비율, 용출기간, 가공방법 등) 구축
- 다목적 해양생태블럭 개발 및 기능 물질 처리 공법 개발
 - 기능성 물질별 구조물 적용 방안(코팅, 내부 혼합 등) 구축
 - 해양 구조물 설계, 모형물 제작 및 안정성 검토
- 해역별 현장 적용 실험
 - 해역별 해양생물 위집, 해조류 성장 및 조식동물 억제 효과 조사
 - 해역별 환경 영향 평가 및 장·단기 모니터링

2.5. 기대성과

- 친환경적인 물질의 이용으로 기존의 구조물로 인한 환경 문제 해결
- 수산자원 회복 및 조성 시스템 구축
- 대상 해역의 환경 개선으로 안정적인 수산물 생산증대
- 어촌 어장 어항의 다양한 자원과 공간의 연계 및 활용으로 복합 산업을 창출하여 산업화 구축
- 해양 관련 산업의 원천기술 선점을 통해 수산분야의 국가 경쟁력 향상



3 해양생물 서식환경 조성을 위한 연구

3.1. 연구의 필요성

해양생태블럭이 수중생태계 내 장기적으로 자리 잡기 위해서 다양한 해양생물들이 상호작용을 하며 지속적으로 살아갈 수 있는 생활환경과 먹이환경이 적절하게 균형이 맞아야 함. 이에 해양생태블럭 개발시 아래와 같은 내용을 해결해야 할 필요성이 있음.

- 미생물 및 미세조류가 기질에 부착하여 군집을 형성하면서 생성하는 바이오필름은 수중 생태계에서 다른 생물들이 부착할 수 있는 토대가 됨. 이에 미생물이 쉽게 성장에 이용 가능한 탄소원을 해양생태블럭에 코팅함으로써 초기 미생물 군집을 빠르게 형성할 수 있도록 도와주고 이로인한 다른 해양생물(해조류, 산호, 해면, 만각류 등)들이 생태블럭 내 정착할 수 있는 기술이 필요함
- 해양생물들은 천적으로부터 자신을 보호하고 자손번식을 위한 산란 공간을 필요로 함
- 해양생물들의 생활환경에 있어 중요한 해조류의 번식 및 위협 생물(성게 등)로부터 생활 터전 보호
- 초기 해양생태블럭 내로 해양생물들을 모이게 할 수 있는 유도 방안 필요

3.2. 연구 목표 및 내용

3.2.1. 연구 목표

- 다당류 기질을 이용한 바이오필름 형성
- 해양생물 친화적 공간 마련
- 블럭 내 해양생물 가입 유도

3.2.2. 연구 내용

- 해양생태블럭 겉면에 다당류 코팅 및 바이오필름 형성 확인
 - 전분, 한천 등 해양미생물이 탄소원으로 이용할 수 있는 다당류를 점질의 액상 형태로 제작하고 부착판에 코팅 후 기간별 바이오필름 형성 확인
 - 바이오필름 형성이 빠르게 진행되는 다당류를 선별하여 소형 구조물에 코팅하고 해안가에서 생물부착 형태를 관찰
 - 바이오필름 형성 미생물들의 meta-genome 법에 의한 군집 분석



- 부착 생물들의 유전학적 종 동정
- 해양생태블럭 제작시 수중 은폐 공간 마련 및 위협생물 오름 방지물 제작
 - 소형블럭 내 수중 해양생물의 은신처 및 산란장으로 활용할 수 있는 공간 제작
 - 수조 내 소형 은폐공간 블럭 설치 후 어류 및 패류 등의 공간 활용성 확인
 - 해조류 위협생물 방지 소형 블럭 제작
 - 위협생물 오름 방지 소형 블럭을 수조에 설치 후 위협생물의 오름 확인
- 발효물을 이용한 해양생태블럭 내 해양생물 유도성 확인
 - 유용 미생물군을 이용한 해양생물 발효액 제조
 - 블럭 제작시 해양생물 발효 상등액 혼합 및 구조물 강도 측정
 - 발효 침전물을 구조물 일부에 향이 밖으로 나갈 수 있도록 포장
 - 발효 상등액을 이용한 구조물 및 침전물을 이용한 포장물을 수조 내 설치 후 해양생물을 구조물 내로 유인 가능한 지 확인

3.2.3. 단계별 목표 및 내용

- 1단계 연차별 목표 및 내용

구 분		연구개발목표	연구개발내용
1 단계	1차 년도	○ 다당류 기질별 바이오필름 형성 확인	- 점성을 갖는 다당류 기질(전분, 한천 등) 제조 및 부착판 코팅 - 일반해수에서 바이오필름 형성능 확인
		○ 유용 미생물군을 이용한 해양생물 발효액 제조	- 해양생물(해조류, 어류 등) 전처리 - 대상 해양생물을 분해시킬 수 있는 미생물 군 확보 - 미생물 군을 이용한 발효액 제조
		○ 소형구조물을 통한 다양한 성계 오름 방지 블럭 제작	- 다양한 성계 오름 방지 블럭 제작 - 오름 방지 블럭 위로 해조류 부착 후 수조내 성계 이동성 분석(오름 방지 블럭이 없는 구조물과 비교)
	2차 년도	○ 다당류 기질에 따른 소형 해양생태블럭 내 월별 해양생물 가입현상 확인	- 해양생태블럭 소재를 활용한 해양 내 생물 가입 현상 확인 - meta-genome을 이용한 미생물 군집 분석 및 가입 생물체의 종 동정



	○ 발효 상등액 및 침전물을 이용한 소형 구조물 제작 및 해양생물 유도성 확인	- 발효 상등액을 혼합한 구조물 제작 및 강도 측정 - 발효 침전물을 개별적으로 포장할 수 있는 간이 구조물 제작 - 발효 상등액 혼합된 구조물 및 침전물이 함유된 구조물을 수조 내 어패류 등과 혼합 배양시 생물 이동성 확인
3차 년도	○ 해양생물의 수중 은폐공간 제작	- 해양생물의 은신처 및 산란장으로 활용 가능한 공간이 포함된 소형 해양생태블럭 제작 - 블럭내 해양생물 서식 실태 확인
4차 년도	○ 해양생물 친화적 복합 블럭 제작	- 바이오필름 형성/해양생물 유인/은신처 및 산란장/성계 오름 방지 등 복합 기능을 가지는 복합 해양생태블럭 제작 - 기간 별 해양생물/생태계 영향 평가
5차 년도	○ 실향역 검증연구	- 개발기술의 실증용 해역설치 - 장기 모니터링을 통한 검증연구

3.3. 추진전략

- 블럭 내 바이오필름 형성 전략
 - 바이오필름 형성을 빠르게 하기 위해서는 고밀도 배양된 미생물액에 블럭을 담가 놓는 것이 방법이나 미생물 배양액 및 설비를 갖추는데 단가가 높게 작용하여 현실성이 떨어짐. 미생물이 부착해 성장에 이용하기 좋은 점질성을 가지는 다당류를 이용해 바이오필름 형성을 빠르게 가져가고자 함
- 서식환경 지속력 있는 블럭 개발
 - 블럭 내 다양한 크기 및 형태를 가지는 해양생물 은신공간을 만듦으로써 천적으로부터 보호되고 산란장으로 이용할 수 있는 블럭을 개발함으로써 블럭 주변의 해양생태계를 지속 가능하도록 만들고자 함
 - 블럭 내 성계 오름 방지 틀을 제작함으로써 블럭 내 형성된 해조류를 보호하고자 함
- 해양생물 접근 유도물질 개발
 - 해양생물이 블럭내 정착가능한 환경 조성 후 발효물의 향을 이용해 해양생물이 구조물 주변으로 빠르게 모여들 수 있는 환경조성

3.4. 기대성과

- 해양생물과의 조화를 통한 지속가능한 형태의 해양생태블럭 제작



V

[세부과제 II] 해양생태블럭 재질·재료분야 연구

1 ① 친환경 해양생태블럭 재료 개발

1.1. 연구의 필요성

1.1.1. 해당 과제의 과학기술, 사회경제적 중요성

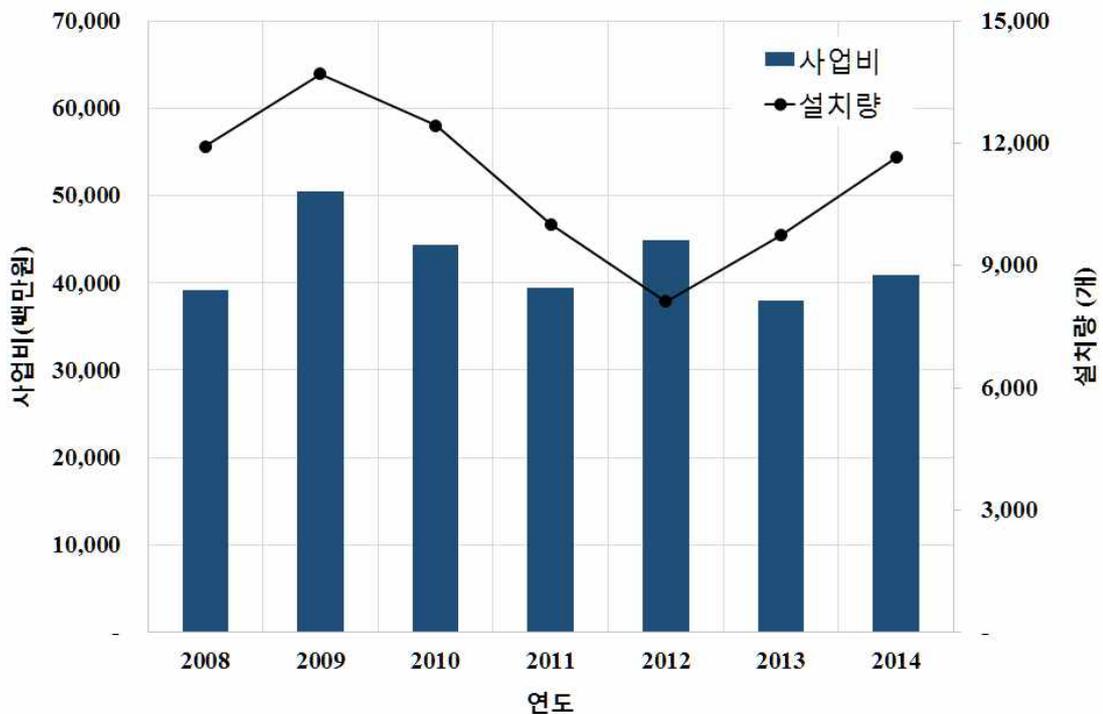
가) 기술적 측면

- 최근 들어 여러 가지 요인으로 인해 암초지대에 서식하는 해조림이 줄어들고 바다 황폐화로 인해 수산자원이 고갈되어 바다생태계에 심각한 영향을 끼치고 있는 실정이다.
- 바다 연안에 극심하게 발생하는 갯녹음(백화) 현상의 적극적인 대처 방안으로써 어초의 효율성을 높여야 하나 지금까지의 인공어초에 사용되는 재료는 대부분 기술적 및 경제적 이유로 일반 콘크리트에 국한되었으며, 관련 연구는 인공어초의 효율성 개선을 위해 형태를 개선하는데 주력해왔다.
- 기존의 해양생태블럭 개념
 - 어류가 서식할 수 있는 환경을 구축하며 물고기들의 서식지 혹은 은신처를 제공하기 위해 해양생태블럭(인공어초)이 사용되어오고 있음
 - 해양생태블럭의 설치는 해조류나 어패류 등의 부착으로 이를 주거지로 하는 어류 및 그 상위 포식자의 생태환경을 조성하여 다양한 생물들의 먹이사슬 구축으로 생태계를 풍부하게 하며 해양 서식지를 보호하는 기능을 하고 있음
 - 해양수산부에서는 인공어초를 다음과 같이 정의하고 있음
 - 인공어초: 인공적으로 해저나 해중에 구조물을 설치하여 대상 해양생물을 정착시키거나 끌어 모으고, 그에 대한 보호와 배양하는 것을 목적으로 하는 어장시설로 해양생물의 생활환경과 특성을 활용한 대표적인 수산자원 조성방법
 - 인공어초의 효과: 어초시설 후 어획량이 평균 2~3배 증가, 13년경과 시 투자비 전액 회수 가능, 30년경과 시 투자비의 약 16배 순익 발생(해양수산부-용어사전)
 - 국내 인공어초 현황
 - 국내에서는 UN 해양법 협약 이후 수산 자원을 보호하고 증가시키기 위해 인공어초사업을 실시
 - 한국수산자원관리공단에 의하면 2015년 기준 국내 전체 사업비 약 1조 700억원, 설

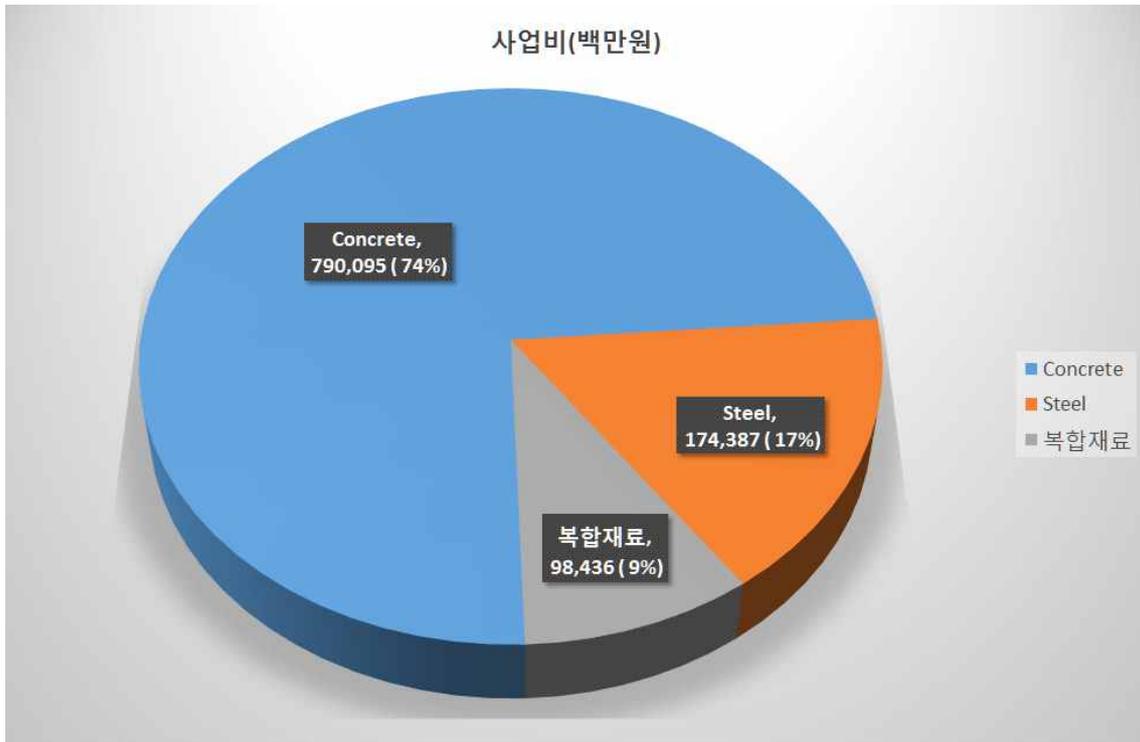


치량 약 140만개 설치 및 관리 중

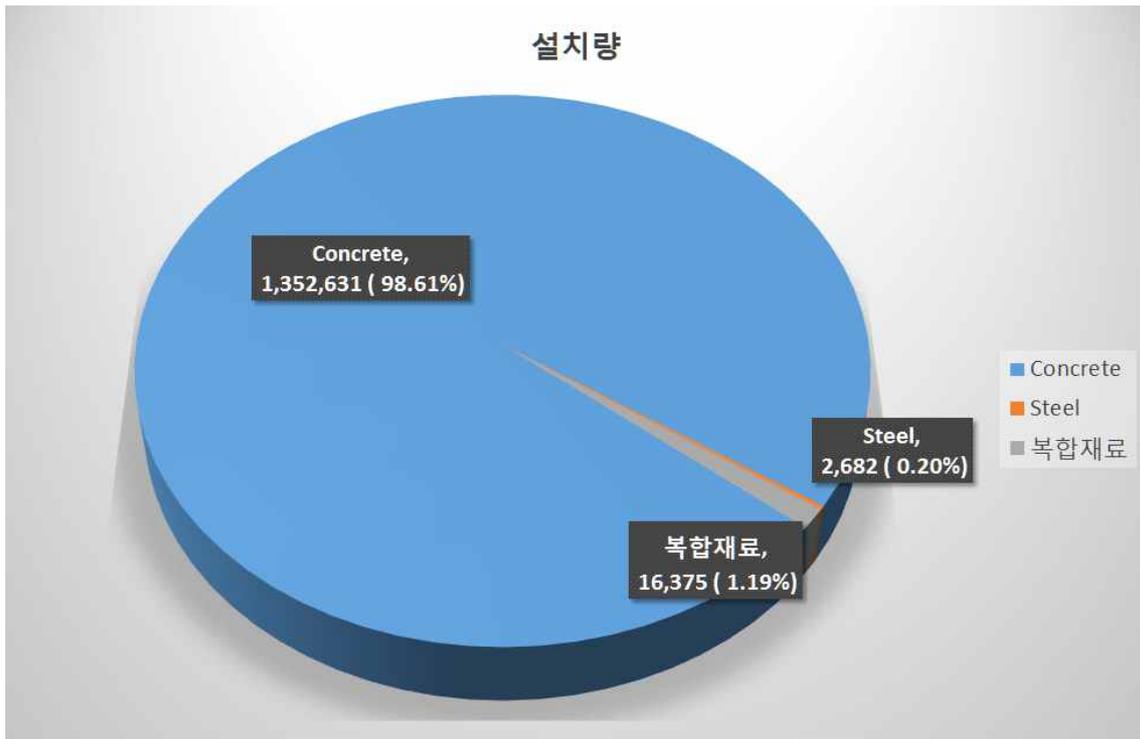
- 현재 국내에서 사용 중인 해양생태블럭은 약 75가지 형태이며 그 중 약 29개의 형태가 콘크리트로 제작되어있으며 [그림 5-1-4]는 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트 해양생태블럭의 형태를 표시함
- 콘크리트 재질의 해양생태블럭은 전체 약 8천억원의 사업비로 약 135만개 이상이 운영 중에 있음
- 전체비율로 산정하였을 때 사업비 약 74%, 운영 수 98%로 거의 모든 해양생태블럭이 콘크리트로 제작 및 운영 중



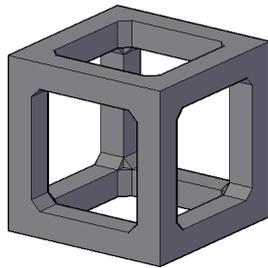
[그림 5-1-1] 연도별 설치 및 운영되고 있는 인공어초(수산자원관리공단)



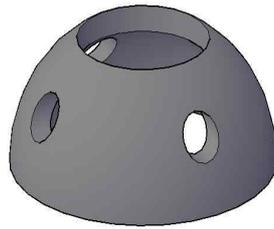
[그림 5-1-2] 운영 중인 인공어초의 재질별 사업비(수산자원관리공단)



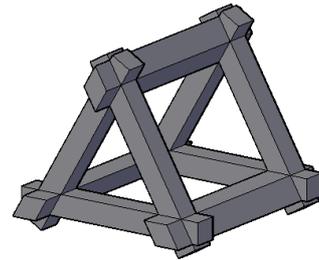
[그림 5-1-3] 운영 중인 인공어초의 재질별 설치량(수산자원관리공단)



(a) 사각형어초
(930,290개)



(b) 반구형어초
(132,163개)



(c) 뿔삼각형어초
(109,806개)

[그림 5-1-4] 일반적으로 사용되는 콘크리트 해양생태블럭 형태
(수산자원관리공단)

- 일반적으로 인공어초에 사용되는 재료는 물리, 화학적으로 수중생물에 영향을 미치지 않아야 하며 수중에서의 내구성이 보증되어야 함
- 때문에, 인공어초의 사용재료는 콘크리트, 석재, 강재가 고려될 수 있으며 경제성을 고려하여 콘크리트가 가장 널리 사용되어오고 있음.
- 한편 인공어초에 대하여 산업부산물 및 폐자원을 활용하는 연구와 인공어초 표면에 해조류 또는 어류에게 기호가 되는 물질을 붙이거나 바른 인공어초의 기능성을 강화한 인공어초의 적용도 추진되고 있는 실정이며 이러한 철제 인공어초, 블럭조립형 인공어초, 세라믹 인공어초 등 기존의 재료를 탈피 또는 한계를 초월한 적용이 적극적으로 추진되고 있으며 또한 좋은 성과를 거두고 있음이 보고되고 있으나 경제적으로 고가인 문제점이 남아있음.

나) 경제·산업적 측면

- 바다 사막화의 피해는 동해안의 경우 1990년대 후반부터 매우 극심해지고 있으며 갯녹음 현상의 피해는 공동어장 감소, 양식 패류의 폐사 및 증식 격감의 형태로 피해를 발생시킨다. 또한 주변의 해조류에도 영향을 미쳐 이에 대한 수확이 크게 감소하므로 어민들의 생계에도 악영향을 미치고 있는 실정이다.
- 이러한 바다생산성의 급감은 바다환경의 오염이 가장 큰 원인이므로 이를 최소화하는 것이 최선책이지만 이것을 실현하기에는 많은 투자와 기간이 필요하다.
- 차선책으로써 연안에 해조의 착생기반을 제공하여 해중림을 조성함으로써 환경 친화적으로 연안의 바다생물자원을 증대시키는 것이 바람직하다.



- 본 연구에서 개발하고자 하는 친환경 생태블럭은 해조류의 부착을 조기에 보장하는 것만이 아니라 장기간에 걸쳐 생태 천이가 이루어질 수 있도록 바다 속 환경기반을 형성하는 것을 목적으로 하며 인공어초만이 아니라 해양 콘크리트 구조물 전체에 적용되어 기존의 콘크리트 구조물 설치가 해양 식생에 악영향을 미치는 효과를 방지하는 수준에서 벗어나 해양식생에 적극적으로 이로운 환경을 제공할 수 있는 것을 목적으로 한다.
- 또한 기존의 인공어초 및 해양 콘크리트와 비교하여 향상된 내구성 증가 제공을 목적으로 하므로 장기적인 해양환경 하에서의 물리화학적 침식 및 강도 저하와 외력에 의한 기능성 저하의 방지가 가능하고 유지기간이 크게 증가하므로 수명주기비용(Life Cycle Cost) 측면에서 경제성이 매우 우수할 것으로 사료된다.

다) 사회·문화적 측면

- 종래의 어업은 수산물을 잡는 어성어업이 중심이 되어왔으나, 어장의 감소와 해황의 변동으로 인해 향후, 바다목장화에 의한 기르는 어업에 희망을 걸고 있다. 그러나 갯녹음 현상으로 해중림을 형성하는 모자반, 감태, 다시마 및 미역 등의 대형 해조류가 부착기반을 상실하여 감소함으로써 전복과 어류 등의 어촌지역 고소득 품종이 생산이 줄어들고 바다생태계 내의 먹이사슬의 구조 변화를 초래하는 등의 악순환이 진행되고 있다.
- 따라서 친환경 해양생태 블럭의 개발은 기존 어촌의 산업기반을 확보할 수 있어 지역 어업 및 어촌 경제의 활성화에 직접적인 기여를 가능하게 한다.
- 또한 친환경 해양생태 블럭의 개발 및 적용에 의한 갯녹음의 예방 및 울창한 바다숲의 보존은 바다의 산업적 가치 뿐 아니라 바다를 관광자원화 하여 레저 스포츠에 의한 해양생태계의 사회적 가치를 높일 수 있으므로 국민의 신체적 정신적 건강에 기여할 수 있다.

1.1.2. 해당 과제의 필요성

가) 해양생태환경유지 및 개선을 위한 필요성

- 연안개발과 인공구조물 설치로 인해 해양생태계의 파괴가 발생하고 있으며 대표적으로 백화현상이 대두되고 있음
 - 백화현상: 갯녹음 혹은 바다사막화 현상이라고도 하며 지역에 따라 복합적인 원인으로 발생하며 수중에 탄산칼슘이 고체 상태로 석출되어 해양을 회색화로 만드는 현상
- 백화현상은 미국, 캐나다 및 일본 등 세계 각지에서 발생하고 있으며 캘리포니아 주 전역의 약 1,500 km에 걸친 연안, 미국 Maine주에서 약 2,000 km에 걸친 광범위한 연



안이 대표적인 백화현상 사례로 거두되고 있음

- 국내에서는 70년대 말 이후로 발견되어 발생 빈도가 높아지고 있어 90년대 이후부터는 동태 연안까지도 백화현상의 피해가 심각해지고 있는 추세이며 이러한 백화현상의 대표적인 원인은 다음과 같음
 - 녹조실물의 광합성 과정에서 탄산수소칼슘 등으로 이산화탄소를 취한 후 남은 탄산칼슘의 침전으로 기타 해조류가 착생하지 못하여 해양생태계파괴로 발생
 - 해조류 성장에 필요한 철 성분은 주로 삼림에서 바다로 공급되어왔지만 연안개발 및 댐과 같은 건설로 공급경로가 원활하게 되지 않아 발생
 - 지구 온난화로 인해 해수온도 상승이 발생하며 해수 및 토양에 포함되어있는 이산화탄소 용해도가 저하되며 탄산칼슘 석출이 가속됨으로 발생
- 국내 현재 사용 중인 해양생태블럭의 90%이상이 콘크리트로 제작되었으며 해양생태환경 조성을 위해 설치하는 해양생태블럭이 오히려 해양생태를 파괴하는 원인으로 대두되고 있음
 - 해양생태블럭(인공어초)의 제작에서 주로 사용되는 재료인 콘크리트는 시멘트(석회석)를 포함하며 탄산칼슘을 발생시킬 수 있어 백화현상의 원인으로 간주될 수 있음
 - 콘크리트의 수화반응: $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$
 - 콘크리트의 중성화에 의한 탄산칼슘생성: $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$
- 더불어 콘크리트의 중성화는 강알칼리성(pH 12~13)의 성분에서 중성화(pH 7)가 되는 현상으로 해수의 pH가 8.3 전후인 점을 감안하면 해양생태블럭 주변은 해조류 및 어류가 서식하기 어려운 생태로 변해감
- 따라서 해양생태환경 구축을 위한 해양생태블럭의 제작 및 설치 시 백화현상을 방지하기 위한 대책이 필요할 것으로 판단됨
- 또한 해양생태블럭의 주재료인 콘크리트 재료물성의 검토가 충분히 이루어져야 하며 백화현상을 저하시키거나 방지하기 위한 기술개발이 필요함

나) 해양생태블럭용 신소재 개발의 필요성

- 보통 콘크리트는 초기 시멘트풀의 유해성분 용출이 많으며 내부식성, 내 화학성에 취약한 경향을 보임
- 콘크리트의 내구성이 확보되지 않은 경우 2차 해양오염이 발생할 수 있음
- 국내 콘크리트 시방서에서도 해수의 작용에 대한 내구성 보완으로 고로슬래그 시멘트,



플라이애시 시멘트 등 혼합시멘트를 사용하여 해양콘크리트의 내구성을 보완하도록 규정되어있으며 최근 연구에서도 수중 내구성 확보를 위한 혼합시멘트적용 방안이 주목되고 있음

- 일반콘크리트가 적용된 해양생태블록은 매끄러운 표면으로 해조류 등이 정착하기에 적합하지 않은 경향을 나타내고 있으며 표면의 거칠기를 향상시키거나 다공질 콘크리트의 제작으로 해양생물이 정착하기 적합한 환경 조성이 필요함
- 현재 가장 많이 사용되고 있는 사각형 인공어초의 경우 파도, 태풍과 같은 재해에 취약한 경향이 있어 구조적 안전성을 확보할 수 있는 신 형태의 해양생태블록의 개발이 요구되고 있는 시점

다) 인공어초의 개념을 확대한 친환경 해양생태블록 개발의 필요성

- 기존의 인공어초 개념의 해양생태블록은 소요되는 비용에 비해 그 적용성에 한계가 있고, 효과를 발휘하는데 요하는 시간이 길고 장기적으로는 내구성 확보에 대한 검토가 없어 인공어초의 효용성이 사회적 문제로써 지적되는 등의 기술적 한계가 존재하고 있는 실정이다.
- 따라서 단순히 인공어초의 형태를 바꾸거나 산업부산물 등을 활용하는 연구에서 벗어나 단순히 인공어초만이 아니라 해양구조물 전반에 사용되는 콘크리트를 보다 친환경적으로 개선하여 인공어초만이 아니라 테트라포트 및 잠제, 이안제 등을 포함한 해양콘크리트 구조물을 해양식생의 성장에 이로운 해양생태블록의 개념으로 활용하는 개발하는 친환경 생태블록에 대한 연구를 실시하여 지금까지의 인공어초 효과에 추가하여 해양콘크리트 구조물의 기능성을 극대화하여 해양콘크리트 구조물의 본래 기능에 새로운 기능을 추가하는 신개념의 기능성 해양복합신소재 개발과 검증은 최근 전 해양에 대해 추진하고 있는 바다목장화 사업과 연계하여 반드시 해결해야 할 과제이다.
- 이를 위해, 본 개발 사업에서는 콘크리트 중의 해양식생에 유해한 물질 함유량을 최소화하고 유해 물질의 외부 용출을 최소화하며 콘크리트 표면에 해조의 포자 부착을 용이하게 하고, 해조의 생육을 용이하게 하며 장기적으로는 내구성이 우수하며 경제성이 고려된 친환경 생태블록용 재료 및 구조물의 개발과 적용을 위한 연구에 대하여 검토하고자 한다.



1.2 국내외 연구 동향

- 국내 인공어초의 시공실적은 단면형상에 따라 다음과 같이 요약할 수 있다.

[표 5-1-1] 어초 형태별 콘크리트 어초의 가능 단면 형상과 적용 예

구분	어류형어초				패, 조류형			
	사각형	잠보형	원통형	어선어초	요철형	반원 가지형	신요철형	기타
실적	12,671	3,533	959	157	2,425	417	127	95
구성비 (%)	61.9	17.3	4.7	0.8	11.9	2.0	1.4	0.07

1.2.1 해양생태환경 조사 및 분석 관련 연구동향

- 권정노 등(2009)은 동해 남부 울산해역, 동해안(강원, 경북해역), 제주해역, 남해안해역에서의 갯녹음(백화현상) 발생 현황을 조사 및 분석하였음
 - 연구에서 각 해역의 생태환경 조사를 수행하였으며 주로 갯녹음현상에 직결되는 해조류, 어류 등의 다양성, 생물량 등을 파악하였음
- 2007년 국립수산과학원에서는 제주연안의 백화현상에 의한 해조류, 어패류 어류 등 어업에 큰 피해가 발생하여 생태환경 복원을 위한 연구를 수행함
 - 연구 보고서에서는 백화현상의 원인에 대해 생태학적 요인 인위적 요인으로 구분하고 있음(생태학적 요인: 지구온난화에 의한 해양생태계 변화, 제주해역의 쿠로시오 해류의 영향, 인위적 요인: 해양생태계와 육상생태계의 차단, 수질오염)
 - 해중림 조성 기술을 개발하기 위해 해중림 대상종 형성, 해조류 착생기질 개발, 해조류 인공종묘기술 개발 등을 제시하고 있음

1.2.2 해양생태블럭개발관련 연구동향

- 최태봉 등(2013)은 연안생태계 복원 및 바다숲 조성을 위한 해조류 인공착생 기술개발에 관한 연구를 수행하였음



- 이문옥 등(2015)은 바다숲 조성어초의 국내외 현황과 전망에 대한 조사를 실시하여 바다숲 조성을 위해서는 대형해조류가 부착할 수 있는 기질을 생물친화적인 재료로 제작해야 한다고 언급함
- 양현민 등(2015)은 인공어초 부착조류의 생장 촉진을 위해 L-arginine 혼입 환경활성 모르타르 개발에 관한 연구를 수행
- 한상묵 등(2005)은 콘크리트대체물질로 매립석탄회를 적용하여 인공어초로 제작하는 연구를 수행하여 일반 콘크리트 인공어초의 대체물질로 사용할 수 있음을 확인
- 최성하 등(2006)은 콘크리트의 위집성능을 극대화하기 위한 포러스 콘크리트에 관한 연구를 수행하여 충분한 개발물질의 위집능력을 확인
- 박성배 등(2007)은 유황콘크리트를 인공어초에 적용하여 사용 가능성을 확인하였으며 개발된 콘크리트의 부착기질이 유리함을 확인하였고, 해수에 적절한 pH가 형성됨을 확인
- 김동하 등(2016)은 유체안전성을 향상시키기 위한 연구를 수행하여 기하학적 형상이 개선된 사각형 인공어초 개발연구를 수행하였으며 총 24개의 인공어초의 형태에 따른 반류(wake)영향에 대해서 연구를 수행하였음
- 페타이어를 이용한 인공어초개발(성민산업개발(대표 조경연)과 제주대 노홍길 교수팀)
- 최근 포스코에 의하여 강재로 만든 강재어초의 개발 및 연구
- 제철 공업에서 발생하는 부산물인 슬래그를 이용한 인공어초 개발(국립수산과학원)
- 폐수지와 제강분진을 결합하여 신소재로 개발한 스톤니펠렛 인공어초(금오공대, 199년)
- 기능성 인공어초(반톱니바퀴형 어초, 수사과학원, 2003)
- 바이오 세라믹 인공어초의 개발((주)해중)
- 세라믹 재질의 인공해조암초 연구(강릉원주대학교)
- 해조증식용 인공해조초 연구(강릉원주대학교)
- 갯녹음현상의 원인규명 및 대책 규명(강릉원주대학교)
- 토종 다시마의 저서양식기술 개발(강릉원주대학교)
- 제강슬래그를 이용한 TTP개발(강릉원주대학교)
- 굴패각을 혼합한 기능성 인공어초의 개발(강릉원주대학교)



1.2.3 현 기술상태의 취약성

- 최근 정부의 바다목장화 사업으로 인하여 인공어초에 관한 많은 연구가 진행되었으나 기존의 연구는 인공어초의 새로운 형상 제작이나 재료 변화에 국한되어 전체적인 인공어초를 비롯한 해양 생태계용 콘크리트 구조물 전반에 적용할 수 있는 친환경 해양생태블럭 개발에 대한 연구는 시도되지 않았다.
- 인공어초 외에 전체 해양콘크리트 구조물에 해조류 및 어류를 위집할 수 있는 해양 식생의 성장에 이로운 환경을 제공하는 것을 기반으로 하는 신기능을 부여한 친환경 해양생태블럭의 기능성 인공어초의 연구는 국내만이 아니라 해외에서도 일천한 상황이다.
- 또한 해양환경에 맞는 해조의 종류에 따라서 포자의 부착 또는 성장이 잘 될 수 있는 새로운 재질의 기질 환경을 마련하기 위해서 인공적 콘크리트 구조물의 재료를 개질하고 인공 구조물에 포자의 착생을 도울 수 있는 요철의 정도에 대한 공학적 검토와 표면을 개질하는 연구개발 또한 아직 초기 단계에 있는 실정이다.
- 인공어초에 대한 기술력이 뛰어난 것으로 인정되는 일본의 경우, 해중림 조성 및 바다목장화 사업이 우리보다 20여년 앞선 것으로 보고되고 있으며 이를 극복하기 위해서는 전체 해양 콘크리트 구조물이 해양 식생에 기여하는 기반을 조성하여 적극적인 인공어초의 기능을 부여하는 친환경 해양생태블럭의 개발이 필요하다.

1.2.4. 국외 동향

- Xiaoyan 등(2016)은 슬래그 혼합 페이스트를 적용하여 인공어초의 물성과 관련한 연구를 수행하여 수중 안정성 및 pH 확보관련 연구를 수행함
- Chatchawin and Payom(2015)은 seadome형태의 인공어초를 크기별, 설치 수심, 파고 등으로 구분하여 총 2625개의 변수에 대해 해안파도 감쇠영향에 대해 해석적 연구를 수행
- Liu and Su(2013)은 인공어초의 유동장에 관해 수치해석적인 연구를 수행하였으며 단일 인공어초에 대한 영향이 아닌 2개 이상이 설치된 경우 발생하는 복합적인 영향을 중심으로 분석하였음



1.3. 연구 목표 및 내용

1.3.1. 연구 목표

- 해양생태환경을 보존하고 바다사막화 현상을 저감하기 위한 친환경 생태블록 개발
 - 시멘트 콘크리트에 의한 갯녹음 현상의 예방과 해양식생에 이로운 인공어초를 포함한 콘크리트 구조물 제작에 필요한 친환경 생태블록용 콘크리트 재료 개발
 - 친환경 생태블록용 콘크리트 재료를 이용한 콘크리트 구조물의 제작 및 거치 안정성 확인
 - 친환경 생태블록의 해양생물의 식생에 미치는 영향 확인 및 성능 개선 방안 수립
 - 친환경 생태블록의 내구성능 검증 및 모니터링 시스템 구축

1.3.2. 연구 내용

- 해양생태블록의 요구 성능 수립 및 최적 형태 도출
 - 해양생태블록의 형태 별 국내외 문헌 및 현황 조사
 - 현 사용 중인 해양생태블록의 현황 및 문제점 파악
 - 해양생태블록의 요구 성능 파악
- 콘크리트에서 용출되어 해양 생물의 식생에 유해한 영향을 주는 콘크리트 중의 알칼리를 저감하는 방법을 개발하고 개발된 기법을 적용한 콘크리트의 알칼리 용출량 및 물리적 성능 확인
 - 고성능 감수제 사용에 의한 콘크리트 중의 시멘트량 및 결합재량 저감을 위한 콘크리트 배합실험 및 물리적 성능, 알칼리 용출량 검증
 - 시멘트 종류 변화에 따른 콘크리트의 알칼리 용출성능 확인을 위한 배합실험 및 물리적 성능, 알칼리 용출량 실험 검증
 - 포틀랜드 시멘트를 저알칼리성 결합재(binder)로 치환한 고내구성 저알칼리성 콘크리트의 배합실험 및 물리적 성능, 알칼리 용출량 확인
 - 다성분계 시멘트 사용에 의한 고내구성 저알칼리성 콘크리트의 배합실험 및 물리적 성능, 알칼리 용출량 검증
 - 비소성 지오폴리머 무시멘트 콘크리트의 배합실험 및 물리적 성능, 알칼리 용출량 검증
- 콘크리트 공극수 중에 포함된 알칼리와 중금속 등의 해양 식생에 유해한 영향을 미칠



- 수 있는 성분의 해수 중으로의 용출을 방지하여 인공구조물이 식생에 미치는 영향을 최소화하는 기법 개발
- 수분산 폴리머 첨가에 의한 고내구성 친환경성 폴리머 콘크리트 제조 및 물리적 성능과 알칼리 및 중금속의 해수 중으로의 용출량 등을 확인
 - 킬레이트 수지 첨가에 의한 친환경성 콘크리트 제조 및 물리적 성능과 알칼리 및 중금속의 해수 중으로의 용출량 등을 확인
 - 콘크리트 표면도장공법에 의하여 처리된 콘크리트 시험체 내부에 함유된 알칼리 및 중금속의 해수 중으로의 용출량 등을 확인
 - 침투성 발수제 도포에 의해 표면이 처리된 콘크리트 시험체 내부에 함유된 알칼리 및 중금속의 해수 중으로의 용출량 등을 확인
- 콘크리트의 표면을 투수성, 혹은 요철 상태의 다공성 형태로 개질하는 기법을 개발하고 이러한 콘크리트 표면 형상 개질 기법으로 제조한 콘크리트가 해양 식생 생육에 미치는 영향 확인
- 투수성 콘크리트(압축강도 영역별; W/B 40% 이상, 30~40%, 30% 이하)의 배합설계 변화에 따른 친환경 생태블럭용 콘크리트의 물리적 성능과 알칼리 용출 성능 및 식생에 미치는 영향 확인
 - 슛블라스트 방법 혹은 고압살수에 의해 콘크리트 표면의 시멘트 페이스트를 제거하는 콘크리트 표면 개질기법 개발 및 개질기법이 해양생태블럭에 미치는 친환경성 확인
 - 거푸집 내면에 화학처리를 실시한 거푸집 및 몰드를 사용하여 제조한 콘크리트의 거푸집 탈형 후, 다공성 상태로 개질된 요철 형상의 표면을 가진 해양생태블럭용 콘크리트의 친환경성 확인
- 해양식생에 이로운 영향을 미치는 방향으로 개발된 친환경생태블럭 콘크리트는 해수 중에 침지되어 장시간 동안 해초의 식생과 어류 자원의 생장에 도움을 주어야 하므로 그 장기적인 내구성에 대한 검증이 필수적이라고 판단되며 그 내구성능에 대하여는 다음의 항목에 대한 연구가 포함되어야 한다.
- 해수 환경 하에서의 황산염해를 고려한 시멘트 및 콘크리트 부식의 메커니즘
 - 황산염해를 고려한 해양 콘크리트 내구성능 촉진실험
- 콘크리트 내부에 해양 식생에 유효한 심물질을 함유하는 친환경 생태블럭 개발 연구
- 식생 및 어류 위집에 유효한 물질 선택 및 투입 방법에 대한 분석 및 개발
 - 갯녹음 원인 저감을 위한 친환경 물질의 선택 및 효율에 대한 정량적 검토
 - 신규 및 기존 생태블럭에 대한 친환경 물질의 적용방법 및 효율성에 대한 정량적 분석



- 각종 심물질의 확산 및 잔류 농도 예측을 위한 성능 검증
- 친환경 생태블록 설치기술 개발 및 해양 인공블록의 무선 모니터링 방안 구축
 - 해저 파력에 대한 최적 인공블록의 설치방안 및 접합기술에 대한 수리학적 안정성 비교 분석
 - 해양 인공블록 결속 강화방안 제안 및 성능 검증
 - 해양 환경을 고려한 무선 모니터링 기술 비교 분석 및 최적 적용 방안 구축
 - 해양 인공블록의 특성을 고려한 현장 모니터링 실시 및 최적 모니터링 시스템 제안

해양생태블록은 그 용도에 따라 크게 그 자체가 해양식생의 성장과 번식에 영향을 미치는 목적과 무관하게 개발된 해양방파제, 테트라포트 등의 콘크리트로 건설되는 연안구조물과 인공어초 등과 같이 해양생물의 성장과 번식에 유익한 영향을 주는 목적으로 설치되는 인공구조물로 크게 분류가 가능하다.

따라서 해양방파제 및 테트라포트 등은 해양식생에 유해한 영향을 주는 요소인 콘크리트에서 용출되는 알칼리량 및 중금속 용출량을 감소하여 인공구조물 설치에 의한 해양생태계 파괴를 방지하고 콘크리트 구조물의 내구성을 증진하는 방향으로 생애주기비용을 최소화하여 경제성을 제고하는 범위에서 연구하는 것이 바람직하고 인공어초 등의 제작에 필요한 비용에 있어서도 경제성을 고려하는 동시에 해양식생의 성장과 식생을 보다 적극적으로 촉진하는 방향으로 연구를 진행하는 것이 바람직하다고 사료된다.

1.3.3. 단계별 목표 및 내용

- 1단계 연차별 목표 및 내용

구 분		연구개발목표	연구개발내용
1 단계	1차	○ 해양생태블록의 요구 성능파악 및 최적 형태 도출	- 국내외 친환경콘크리트 기술 관련 문헌조사 및 특허조사 - 해양생태블록의 현황 및 문제점 분석 - 해양생태블록의 요구 성능 파악 - 문헌조사 및 분석을 통한 해양생태블록의 최적 형태 도출
	년도	○ 친환경생태블록 (SOC 콘크리트 구조물 및 인공어초용) 콘크리트 제조 및 물성 실험	- 해양생태블록 콘크리트의 구성 재료 검토 및 선정 - 해양생태블록 유해성분 용출 저감 기술 개발 - 생태블록 표면 코팅 기술 개발 - 킬레이트 수지 사용에 의한 시멘트 콘크리트 유해성분 용출 저감기법 개발 - 수분산폴리머 사용에 의한 시멘트 콘크리트 치밀화 및



		<p>유해성분 용출 저감기법 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저알칼리성 시멘트 및 콘크리트 복합재료 개발 - 고성능감수제 사용에 의한 시멘트량 저감 콘크리트 배합실험 및 물리적성능, 알칼리 용출량 실험 - 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 배합실험 및 물리적성능, 알칼리 용출량 실험 - 포틀랜드 시멘트를 저알칼리성 결합재(binder)로 치환한 다성분계 결합재 콘크리트의 배합실험 및 물리적성능, 알칼리 용출량 실험 - 다성분계 시멘트로 제조된 콘크리트의 배합실험 및 물리적성능, 알칼리 용출량 실험 - 비소성 지오폴리머 무시멘트 콘크리트의 배합실험 및 물리적성능, 알칼리 용출량 실험
2차 년도	○ 콘크리트 중의 알칼리 및 중금속 등의 해양식생 성분의 해수 용출 방지에 의한 친환경 생태블럭 개발 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 수분산 폴리머 첨가에 의한 고내구성 친환경성 폴리머 콘크리트 배합실험과 물리적성능 측정, 알칼리 및 중금속 용출량 실험 - 킬레이트 수지 첨가에 의한 친환경성 콘크리트 배합실험과 물리적 성능 측정, 알칼리 및 중금속 용출량 실험 - 콘크리트 표면도장공법에 의하여 처리된 콘크리트 시험체 내부에 함유된 알칼리 및 중금속의 해수 중으로의 용출량 확인 실험
	○ 콘크리트 내부에 해양식생에 유효한 심물질을 함유하는 친환경 생태블럭 개발 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 식생 및 어류 위집에 유효한 물질 선택 및 투입 방법에 대한 분석 및 개발 - 갯녹음 원인 저감을 위한 친환경 물질의 선택 및 효율에 대한 정량적 검토 - 신규 및 기존 생태블럭에 대한 친환경 물질의 적용방법 및 효율성에 대한 정량적 분석 - 각종 심물질의 확산 및 잔류 농도 예측을 위한 성능 검증
3차 년도	○ 콘크리트 표면 다공성 형태 개질기법 개발 및 표면개질 콘크리트의 해양식생 생육에 미치는 영향 확인	<ul style="list-style-type: none"> - 투수성 콘크리트(압축강도 영역별: W/B 40% 이상, 30~40%, 30% 이하) 배합실험 및 물리적성능 측정, 알칼리 용출량 및 식생에 미치는 영향 확인 - 슛블라스트 및 고압살수에 의해 콘크리트 표면의 시멘트 페이스트를 제거하는 기법 개발 및 해양생태블럭에 미치는 친환경성 확인 - 거푸집 내면에 화학처리를 실시하여 제조한 다공성 상태로 개질된 요철 표면을 가진 해양생태블럭용 콘크리트의 친환경성 확인
	○ 친환경 생태블럭용 콘크리트의 내구성 실험	<ul style="list-style-type: none"> - 내해수성, 길이변화율, 염소이온침투저항성, 내황산염저항성, 동결융해저항성 등
	○ 해양생태블럭의 위집성능 확보	<ul style="list-style-type: none"> - 해양생태블럭 콘크리트의 조직 개선을 통한 위집성능 확보



4차 년도	○ 친환경생태블럭 설치기술 개발	- 미생물 조기 유착을 통한 친환경 위집성능 향상 기술 개발 - 해저파력에 대한 최적 인공블럭의 설치 및 접합기술에 대한 비교 분석 - 인공블럭 결속 강화방안 검토
	○ 친환경생태블럭 시제품 제작 및 현장 침지를 통한 실증 실험	- 친환경 생태블럭 시제품 제작 및 해수 장기 침지를 통한 효율성에 대한 현장 확인 실험 (4~5차년도)
5차 년도	○ 해양 인공블럭의 무선 모니터링 방안 구축	- 해양 환경을 고려한 무선 모니터링 기술 비교 분석 및 적용 방안 수립 - 해양 인공블럭의 특성을 고려한 최적 모니터링 시스템 구축
	○ 친환경생태블럭 시제품 제작 및 현장 침지를 통한 실증 실험	- 친환경 생태블럭 시제품 제작 및 해수 장기 침지를 통한 효율성에 대한 현장 확인 실험 (4~5차년도)
	○ 해양 침지된 친환경 생태블럭 모니터링	- 해양 침지된 생태블럭 시제품에 대한 현장 모니터링 및 성능 확인
	○ 연구결과 해석 및 친환경 해양생태블럭 매뉴얼 작성	-해양생태블럭의 재료, 배합, 제조, 시공 매뉴얼 개발 연구결과 종합 해석 및 보고서 작성

1.4. 추진전략

- 본 연구개발 과제의 효율적인 수행계획 수립과 선진외국의 연구동향 파악을 위해 단위 과제 책임자는 관련학회 및 해당 산업체와의 자료조사 및 정보교환을 통해 인공어초 및 해양콘크리트 분야의 현황과 문제점을 입수한다. 또한 기존의 기술력을 보유한 해외 기관의 실적과 응용기술에 대한 정보교류를 통해 본 연구과제의 연구방향을 점검하고자 한다.
- 본 사업의 추진에 있어서는 한국해양과학기술원 소속의 해양과학 및 응용기술 전공자들의 주도 하에 건설화학재료 전문가((주)제이엔티아이엔씨) 및 콘크리트 전문가(강릉원주대학교)들이 유기적인 협조체제를 이루어 개발된 기술이 실제 해양식생에 미치는 영향을 모사하고 실험을 통하여 검증하며 그 결과를 상호 피드백(feedback) 하여 최종적으로 친환경 해양생태 블럭의 유효성을 실제 해양 환경 하에서의 모니터링 과정을 거쳐 입증하고자 한다.

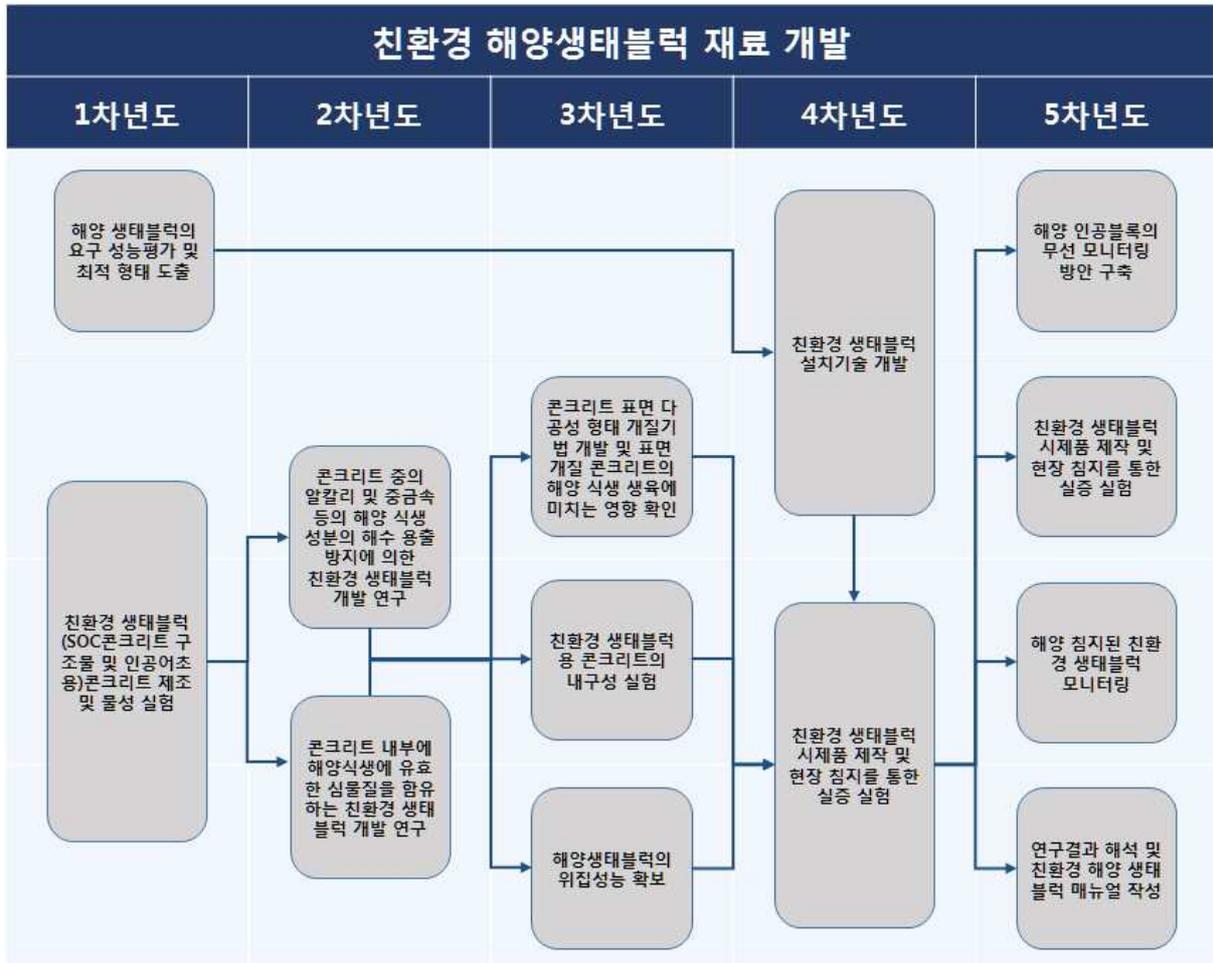


(주)제이엔티아이엔씨
<ul style="list-style-type: none"> 친환경 해양생태 블럭 재료 개발
<ul style="list-style-type: none"> 유해물질 함유량 및 용출량 저감기법 개발
<ul style="list-style-type: none"> 해양생태블럭 표면개질 기법 개발

강릉원주대학교
<ul style="list-style-type: none"> 친환경 해양생태블럭 물리성능 확인
<ul style="list-style-type: none"> 해양생태블럭 결속기술개발
<ul style="list-style-type: none"> 해양생태블럭 내구성능 확인

수원대학교
<ul style="list-style-type: none"> 다성분계 시멘트를 사용한 친환경 생태블럭 개발
<ul style="list-style-type: none"> 지오폴리머 콘크리트 친환경 생태블럭 개발
<ul style="list-style-type: none"> 해양생태블럭 최적형태 연구

한국해양과학기술원
<ul style="list-style-type: none"> 해양생태 블럭 평가 연구
<ul style="list-style-type: none"> 블럭 형태 개발 재료과 식생 성능검증
<ul style="list-style-type: none"> 생태블럭 해중 설치 및 장기모니터링



[그림 5-1-5] 연구개발 흐름도

1.5. 기대성과

1.5.1 친환경 해양생태블럭 제작기술 확보

- pH를 고려하여 해양의 약알칼리성을 유지하기 위해 개발된 복합재료의 적용으로 어패류 및 해조류의 서식환경 보장이 가능함
- 부착생물의 착상을 유도하기 위한 해양생태블럭 복합재료 개발 원천기술 확보
- 콘크리트의 중성화 반응에서 발생하는 탄산가스 등 유해물질의 용출을 저감하여 연안의 백화현상의 원인을 제어할 수 있으며 해양환경 보존
- 연안생태계 보존 및 수산자원 생산력 증대로 수산업 수익증가에 기여 가능
- 내구성이 확보된 해양생태블럭의 제작으로 해양환경에 악영향을 끼치는 물질저감 및 유



지보수비용 절감으로 수중 안정성 확보

- 국내 해양생태블럭 관련 사업의 신기술 적용으로 항만개발 및 바다숲 조성 등에 기여
- 내구연한 증가에 따른 기존 설치물의 공용년수 증가
- 개발된 복합재료의 하천 및 제방 공사 등 다양한 방면으로의 적용으로 관련 업계에 파급효과 기대

1.5.2 해양생태블럭의 안정성 확보

- 파도, 해류와 같은 유체의 흐름에 의해 발생하는 전도, 세굴 등을 방지하기 위한 해양생태블럭 제작 수중 안정성 확보
- 해양생태블럭의 성능평가 기술 개발로 기존 해양생태블럭 및 새로운 생태블럭의 성능평가 가능
- 해양생태블럭의 형태에 따른 안정성 확인으로 관련 기술력 향상
- 향후 해양생태블럭 관련 시장에서 기술적 우위 확보가능
- 해양생태블럭의 Test-bed로 실제 해양에 적용성 확인 등 신제품의 실용성 확보

1.5.3 해양생태블럭의 사회적 인식 제고

- 해양생태계에 친 환경적인 해양생태블럭의 개발로 사회적 인식 향상
- 해양생태블럭의 제작을 위해 개발된 자연친화적 복합재료의 해안, 연안지역의 다양한 구조물 적용으로 해양환경 및 생태계 보전, 복원에 기여

1.5.4 본 연구의 결과로

- 첨단 건설재료 및 기능성 화학소재 기술과 해양생물학 기술을 상호 접목한 융합기술을 친환경 해양생태 블럭 개발 연구에 적용하여 해당 산업 및 기술 분야에 있어서의 국내와 해외 기술 격차를 줄이고 연안어업 및 건설재료 산업의 활성화를 도모한다.
- 국가의 해양 목장화 사업에 활용되는 인공어초의 효율성을 극대화하여 수산자원 증강의 기반으로 활용하며 인공어초뿐만이 아니라 해양 구조물에 요구되는 기존의 기본적 구조적 역할 외에 해양 식생의 성장에 이로운 기능을 부여하여 해양 콘크리트 구조물의 설치가 어민에게 기피 대상이 아니라 친어업 목적으로 기능하도록 하여 항만 구조물의 경제적 가치를 극대화한다.



- 개발된 친환경 해양생태 블록 기술의 전면적 적용에 따른 바다 갯녹음 현상의 예방과 해중림 조성에 기여하여 점증적으로 증가하는 친수 공간의 필요성에 부응함으로써 지역개발 및 레저산업의 활성화에 기여한다.
- 세계적으로도 첨단기술 개발로 인한 세계시장으로의 진출 및 기술 이전 등의 기술 로열티 수입 등의 경제, 산업적 가치를 기대할 수 있다.



2 해양생태블럭의 내구성 평가연구

2.1 연구의 필요성

- 해양환경에서 해양생태 블럭의 개발 계획단계부터 충분한 장기 내구성을 갖도록 함은 국가 경쟁력과 직결되는 사항으로서, 본 연구에서 수행하고자 하는 내구성 설계기법의 개발에 핵심인 재료매개변수 해석기법의 개발은 반드시 필요한 연구임.
- 해양구조물의 성능저하에 대한 주요요인은 콘크리트의 염해임. 지난 수십 년간, 해양성 콘크리트 구조물의 내구성 설계에 대한 많은 연구가 이루어졌으나 그 결과는 서로 상이하다. 콘크리트의 통합적인 내구성 설계 시스템을 개발하기 위해서 염소이온의 침투에 영향을 미치는 재료매개변수를 정립하는 것은 반드시 필요한 연구이다. 따라서 침투계수는 시멘트 및 콘크리트 재료 과학적 지식 기반에 기인하여 합리적으로 정의되어야만 하나 해석적 기법은 각각의 영향인자들이 염소이온 확산계수에 미치는 영향에는 불분명한 문제점이 있었다.
- 해양생태블럭에 작용하는 수압은 해수면 깊이에서 심도가 있을수록 선형으로 상승하게 되며 이로 인하여 염소이온의 침투가 상승될 수 있다. 그래서 해양 구조물의 염소 침투의 주요 구동력으로서 수압작용이 고려되어야 함에도 지금까지 개발된 실험방법 들은 확산작용만이 고려된 것도 주지의 사실이다. 따라서 해양생태블럭 콘크리트의 내구성 평가를 할 수 있는 계측 시스템의 개발을 목적으로 기존에 개발된 염해 성능 평가 방법과 다르게 수압작용에 의해서 염소이온의 침투가 이루어질 수 있는 새로운 실험기법이 필요함.
- 수질에 장기 노출되는 해양블럭 콘크리트는 필연적으로 용출현상을 피할 수 없다. 콘크리트의 용출은 공극수에서 존재하는 이온물질 및 시멘트의 수화물에서 녹아 나오는 특정성분의 증가에 기인한다. 즉, 이온교환이 가능한 물이 콘크리트와 접하면서 콘크리트 외부의 이온교환수와 내부 공극수 사이에 농도 구배가 발생하면서, 상대적으로 농도가 높은 공극수의 수화생성물이 이온 분리되어 낮은 농도의 지하수로 용출(leaching)된다. 용출현상은 콘크리트 내 일정성분 및 수산기 이온을 배출하여 수질 오염의 주범이므로 용출현상에 대한 구명은 친환경 해양블럭 콘크리트의 개발에 반드시 필요하다.
- 기술 및 자원이 부족한 우리나라가 해양 콘크리트의 품질관리, 내구성 향상 기술 및 친환경성 부여 등에서 국제 시장을 선점하고 경쟁력을 키우기 위해선 국내 기술로 우위를 차지할 수 있는 다양한 기술개발과 환경에 적합한 실험방법의 표준화 전략이 필요하다. 본 연구는 국내 기술 개발과 표준 역량의 강화를 통해 국내 기술여건을 최대한 활용하



는 표준화 전략의 구축이 필요한 중요한 기술이다.

- 국내 해양환경 콘크리트 관련 실험 표준화 기술력은 초기부터 외국 기술에 의존해 왔으며 현재까지 선진 외국의 관련 규격에 의존성이 매우 높아서 관련기술 표준화의 역 균형 현상이 매우 심각한 실정이다. 더욱이, 국내 고유 환경에 대한 환경영향 분석 및 체계적인 기술 발전의 정립 없이 설계, 계획 및 시공 단계에서 무분별한 외국기술을 도입되었다. 따라서 국내 실험에 맞는 해양 콘크리트의 성능 평가기법의 필요성이 인식되고 있다.
- 이상으로 설명한 바, 본 연구는 향후, 해양 블록 콘크리트뿐 만 아니라 해양환경에 공용 중인 구조물의 사용성 및 내구성능 향상을 최적화하기 위한 기술정보를 얻는 데 유용할 것으로 생각된다. 이는 장수명의 확보가 가능한 신뢰성 있는 건설구조물을 창출할 수 있다는 기술적인 기여를 할 수 있을 뿐만 아니라 국가 건설기술개발에 대한 대내외적인 경쟁력의 확보에 즉결될 것임을 확신한다.

2.2 국내외 연구 동향

2.2.1. 국내 동향

- 본 연구는 해양환경 콘크리트 구조물 및 콘크리트 블록의 내구성 설계에 대한 연구의 일환으로서, 재료 공학적 실험 및 해석 차원에서 연구가 수행되어야 한다. 그러나 국내에서 개발된 내구성 관련 해석기법은 선진외국에서 개발한 것을 이용하고 있으며, 실제로 개발된 사례는 전무한 실정임.
- 또한, 관련분야의 실험기법도 국외에서 개발된 것을 이용하고 있으며 독창적으로 개발한 사례도 전무함.

2.2.2. 국외 동향

- 해양 콘크리트의 내구성능 평가방법 : 국외에서 개발된 평가방법으로서, 콘크리트의 장, 단기적 성능을 평가할 수 있는 방법을 정리한 것이 아래 [표 5-2-1]이다. 아래 방법들은 해양블록에 바로 적용하기에는 어려운 확산작용에 의한 염해 실험방법으로서 해양블록 콘크리트와 같이 심해에 적용할 수 있는 새로운 실험방법이 필요하다.



[표 5-2-1] 염해 내구성 실험방법의 비교

	촉진실험			실제 모사실험
	RCPT	Dhir's test	RCM	침지실험
규격코드	ASTM C 1202	-	NT Build 492	AASHTO T356
조건	정상흐름상태	정상흐름상태	비정상흐름상태	비정상흐름상태
데이터	총통과전하량	확산지수	확산계수	확산계수 염소프로파일
실험시간	6 시간	6 시간	1 일	최소 1년 이상
시험편 두께	50 mm	50 mm	50 mm	규정 없음
데이터 신뢰도	좋지 않음	보통	우수	매우 우수

- 해양 콘크리트의 내구성 예측 기법 : 선진외국에서 개발된 대표적인 프로그램을 살펴보면 다음과 같이 정리된다.
 - Life 365 : 캐나다 토론토대학의 M. D. A. Thomas, E. C. Bentz에 의하여 개발
 - CIKS : 미국 NIST의 D. Bentz에 의하여 개발된 컴퓨터 통합지식 시스템
 - ConFlux - A Multi-mechanistic Chloride Transport Model : 캐나다 토론토대학의 A. Boddy, E. C. Bentz, M. D. A. Thomas, R. D. Hooton에 의해 개발
 - ClinConc : 스웨덴 Chalmers 공과대학의 L. Tang에 의해 개발
 - HETEK Model : 덴마크 왕실 AEC 연구소에서 개발
- 해양 생태 블럭에서 유해이온에 의해 발생하는 철근부식은 콘크리트 구조물의 성능저하를 일으키는 가장 중요한 요인으로 인식되고 있기 때문에 1980년대 이후로 선진외국을 중심으로 높은 관심을 갖고 꾸준히 연구되어 온 분야임.
- 해양 생태 블럭의 특정물질이 수질로 용출되는 현상은 일본, 프랑스와 같은 원자력 구조물이 발달한 선진외국의 주요연구 주제임. 최근 해당국가에서는 용출현상에 의한 미세구조의 변화 및 콘크리트 내구성능 저하에 대한 원인 규명 및 해석 기법에 대한 연구가 진행되고 있음.



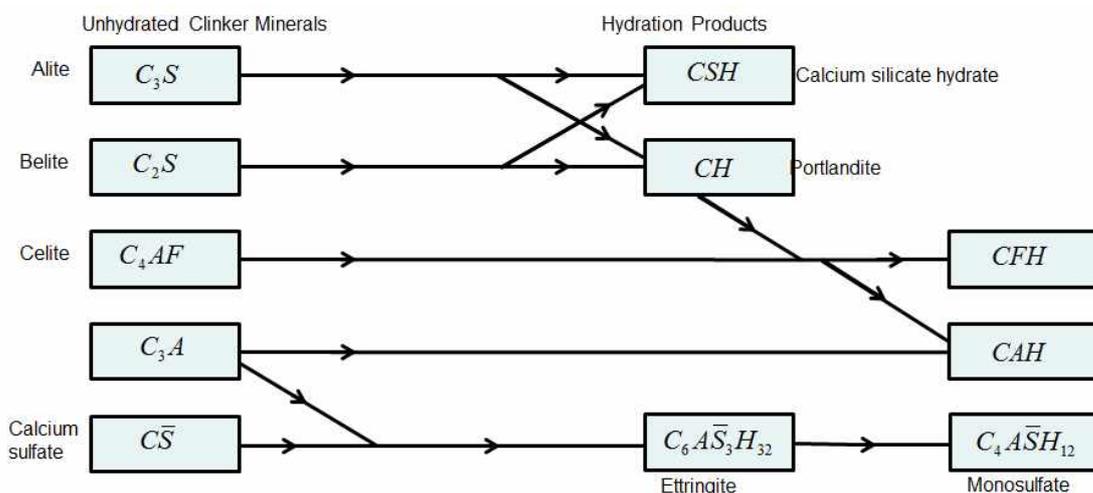
2.3. 연구 목표 및 내용

2.3.1. 연구 목표

- 국내 해양생태블록 환경 특성 및 콘크리트에 대한 영향 분석
- 해조식물의 식생을 방해하는 콘크리트의 용출에 대한 실험기법 개발
- 해양생태블록 콘크리트의 정량적 내염성능 평가기법의 개발
- 해양생태블록 콘크리트의 내구수명 예측기법의 개발

2.3.2. 연구 내용

- 시멘트 내 유해물질의 용출
 - 이온교환이 가능한 물은 해양 블록 콘크리트와 접하면서 해양블록 외부의 이온교환수와 내부 공극수 사이에 농도 구배가 발생하면서, 상대적으로 농도가 높은 공극수의 수화생성물이 이온 분리되어 낮은 농도의 외수로 용출(leaching)됨.
 - 해양블록의 성상(phase), 수화물 내 알칼리성 물질의 유입, 공극수내의 체적량을 토대로 알칼리성 농도와 관련 성분을 분석하고자 함.
 - 본 연구는 아래와 같은 다양한 수화물 및 공극수에 대하여 알칼리량 및 공극 내 체적에 따른 밀도를 추정하여 관련 유해물질량을 추정하고자 함.



[그림 5-2-1] 시멘트계 재료의 수화물

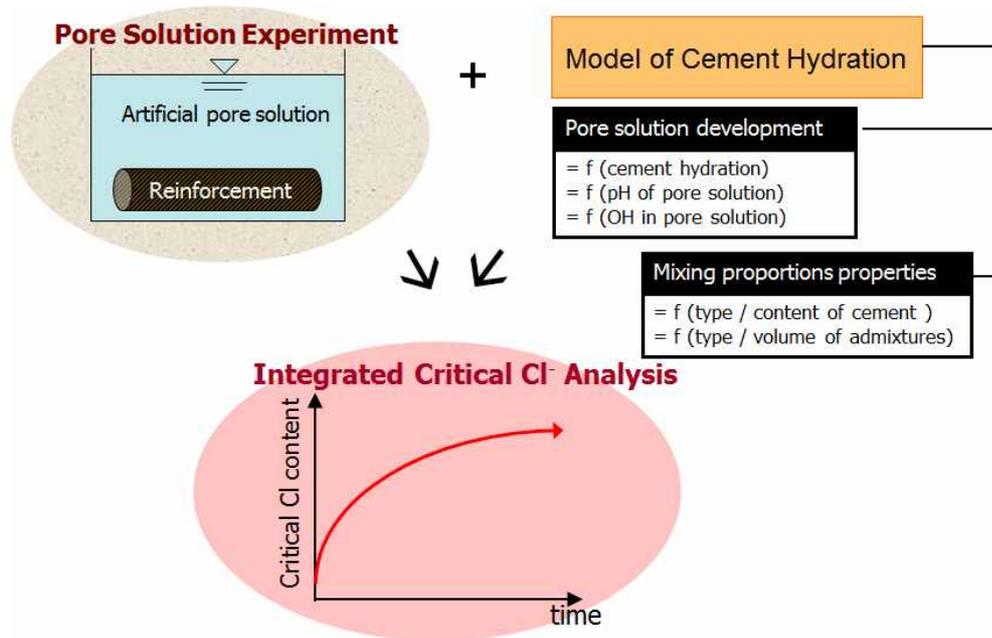


○ 염해에 대한 내구성능 실험

- 해수의 수압은 해수면 깊이에서 심도가 있을수록 선형으로 상승하게 된다. 그래서 해양 블럭과 같은 심해 콘크리트는 수압작용에 의하여 염소이온의 침투가 상승될 수 있다. 그래서 해양 구조물의 염소 침투의 주요 구동력으로서 수압작용이 고려되어야 함에도 지금까지 개발된 실험방법 들은 확산작용만이 고려된 것도 주지의 사실이다.
- 본 연구는 해양생태 블럭의 내구성 평가를 할 수 있는 계측 시스템의 개발을 목적으로 기존에 개발된 염해 성능 평가 방법과 다르게 수압작용에 의해서 염소이온의 침투가 이루어질 수 있는 새로운 실험방법을 개발할 계획이다.
- 이 방법은 수압에 의한 급속 염소이온 침투 등을 고려하여 해양블럭 콘크리트의 내구성 평가를 위한 통합 실험기법으로서 시험편의 두께 및 가압력 등을 자유롭게 하면서 균열이 발생한 콘크리트, 고성능 콘크리트 및 고성능 보수보강 재료 등의 특수 건설재료에도 시험자의 편의를 극대화하면서 실험이 가능하도록 고안된 새로운 실험 시스템이며 성능 및 실험결과의 신뢰성을 구축할 계획이다.

○ 철근부식에 대한 내구성능 실험

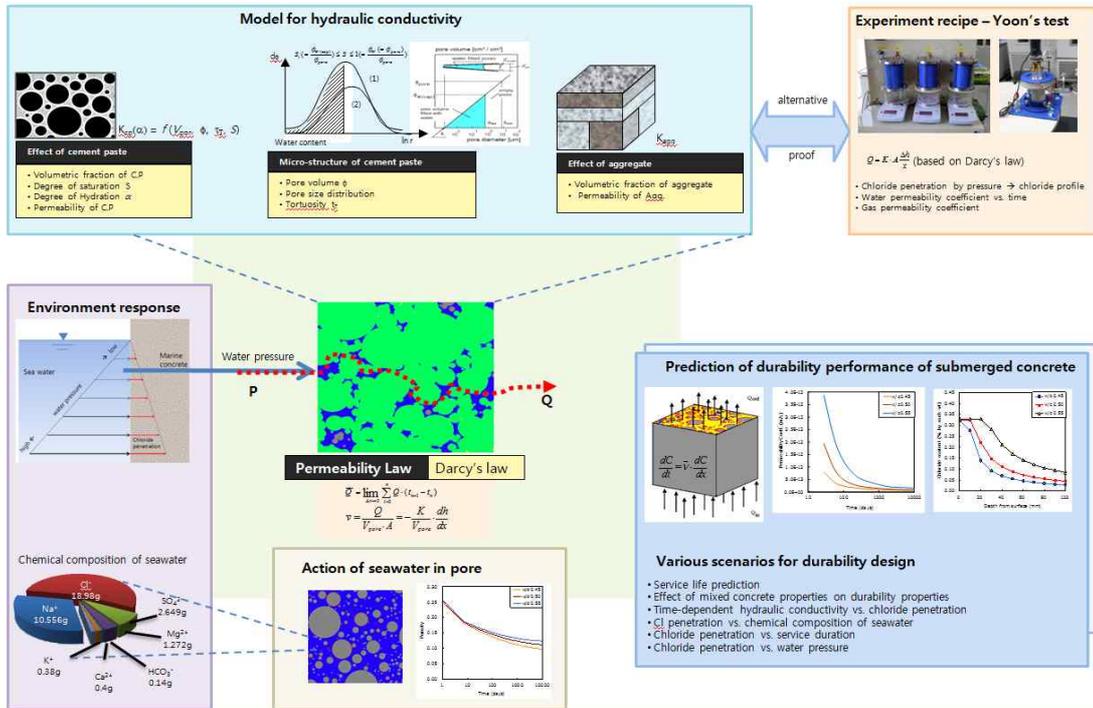
- 콘크리트에서 철근의 부식을 유발하는 판단기준은 임계 염소이온량으로서 관련 연구문헌들을 살펴보면, 각각의 연구범주 내 임의의 배합조건에서 철근부식을 판단할 수 있는 실험적 결과를 기초로 결정되어 왔다. 그러나 그 값은 상호 일치하지 않는데 이는 임계 염소이온량이 다양한 요인들에 의하여 지배되기 때문이다. 임계 염소이온량은 현장에서 건설 기술자들이 콘크리트 구조물의 진단결과를 토대로 건전성을 판단할 수 있는 중요한 기준치임에도 불구하고 연구자마다 결과가 크게 상이하여 더욱 논란의 종점에 있는 분야임.
- 해양 생태블럭의 건전도 평가의 중요한 지표로 임계 염소이온량이 이용될 수 있다는 것은 인정하지만 이것만으로는 철근부식을 판단하는데 한계가 많은데, 이는 물과 산소와 같은 캐소드 반응의 유발 요인들이 있기 때문이다. 그래서 산소량이 임계 염소이온량에 영향을 미칠 수 있는 요인을 실험적 방법에 의하여 구현하여 고찰하고자 하고자 함.



[그림 5-2-2] 염소이온 및 용존산소량에 따른 철근부식 실험

○ 해양생태블록의 수압에 따른 내구성 예측기법 개발

- 해양생태블록은 수압에 의하여 염소이온의 침투가 상승될 수 있다. 더욱이 수압은 해수면 깊이로 들어갈수록 상승하여 투수작용에 의한 해수 침투는 가속화 될 수 있다.
- 해양 환경에 노출된 건설재료 및 콘크리트의 내구성 평가를 할 수 있는 계측 시스템의 개발을 목적으로 기존에 개발된 염해 성능 평가 방법과 다르게 수압작용에 의해서 염소이온의 침투가 이루어질 수 있는 새로운 해석모델을 개발하고자 함.
- 해양 콘크리트 블록의 내구성 설계에 영향을 미치는 침투계수에 대해서는 시멘트 페이스트 및 콘크리트의 공극구조 특성과 재료 매개변수와의 상관성을 구명하는 연구가 경험적 방법에서부터 공극구조 모델링에 의한 이미지 해석방법까지 다양한 접근 방법으로 진행하고자 한다.



[그림 5-2-3] 해양생태블럭 환경을 묘사한 염소침투 해석모델 구축 추진 전략

2.3.3. 단계별 목표 및 내용

○ 1단계 연차별 목표 및 내용

구 분	연구개발목표	연구개발내용
1 단계	1차 년도	○ 해양생태블럭의 용출 분석 및 백화원인 구명
	2차 년도	○ 해양생태블럭의 용출에 따른 pH 상승 규명
	3차 년도	○ 해양생태블럭 콘크리트의 염해침투로 인한 내구성 저하



		법의 제안
4차 년도	○ 해양생태블록 콘크리트의 철근부식으로 인한 내구성 저하	- 철근부식 유발하는 임계 산소량 대비 염소량 - 산소량 및 염소량에 따른 철근부식 특성 - 철근부식 초기 염산소량의 규명 - 철근부식 속도의 모니터링 - 콘크리트의 염해 자생치유능력의 규명
5차 년도	○ 해양생태블록 콘크리트의 열화 및 수명 예측	- 콘크리트 침투 계수의 정량화 - 콘크리트내 염소침투 예측 및 발청시기 예측 - 내구성 확보를 위한 피복두께 결정 - 수압조건에 따른 경년별 수명계산
2 단 계	○ 현장실증연구	- 현장 설치 및 장기모니터링을 통한 검증연구 - 실패역 시공연구

2.4. 추진전략

- 제안자는 유럽 국제 학회인 RILEM의 senior member 및 기술위원으로 활동하고 있다. 최근 RILEM은 내구성 설계 분야 및 유해이온 침투 위원회가 새로이 조직되었는데, 본 연구 책임자는 RILEM의 기술위원들과 국제교류를 하면서, 선진외국의 전문가의 견해를 확보하고 본 연구에 대한 자문을 요청하여 최신의 연구결과를 얻도록 노력할 예정이다.
- 일본 동경대학의 Tetsuya Ishida 교수는 해양 콘크리트 내구성의 세계적 전문가로 관련분야에 대한 수많은 연구 경험이 축적되어 있으며, 연구 제안자와는 세미나, 논문심사 및 연구교류를 한 바 있어서 관련분야의 자문 및 출장으로 세계적 수준의 연구 추진이 가능함.
- 독일 다름슈타트 대학의 Eddie Konders 교수는 콘크리트의 성능기반 해석기법의 세계적 전문가로서 해양 및 내륙 콘크리트의 내구성 및 건조수축에 대한 다수의 연구 경험이 있다. 연구 제안자와는 콘크리트 미세구조 해석에 대한 논문 공동작업을 한 바 있어서 관련분야의 자문 및 출장으로 세계적 수준의 연구 추진이 가능함.



2.5. 기대성과

- 해양 콘크리트의 재료배합에서부터 시공에 이르기까지 성능향상을 위한 방안 구축
- 해양 콘크리트의 과학적인 견전도 평가
- 해양생태블럭의 친환경성능 부여
- 해양 블럭의 내구성 향상 및 성능기반 설계 가능
- 해양환경하 구조물의 합리적인 유지관리의 파급효과



3 생물친화형 블럭제작 및 어장조성 기술 개발

3.1 연구의 필요성

- '90년대 중반이후 국내 연안의 해조류 바다숲이 갯녹음 현상 등의 황폐화 현상이 심화되었고, 기존 복원사업의 효과가 미미하여 대책기술에 대한 요구가 증대되었음.
- 정부에서는 국내의 갯녹음현상 실태조사 및 이를 회복하기 위해 '바다숲 조성사업' 및 '천연해조장 보호 사업'을 추진하고 있음
 - 갯녹음 등으로 해조류가 고사된 해역에 바다숲(해조숲)을 조성
 - '09년부터 사업 시작 (지자체, 해양수산부)
 - 목표 : 2030년까지 54,000 ha 조
 - 실적 : 2016년까지 12,209 ha 조성(1,700억원)
- 바다숲 조성사업은 사전조사, 식해동물제거 등의 기반조성, 사업설계, 해상시설, 사후관리 과정을 거치며 지속적인 사후관리 미흡 시 시설 초기 상태로 복귀됨에 따라 추가적인 비용이 발생 중



[그림 5-3-1] 인공어초(바다숲) 시설 및 조성 과정



- 바다숲 조성사업의 한 방법인 투석사업은 얇은 연안의 암반 또는 암반주변지역에 새로운 해조류 서식 기질을 제공하기 위하여 천연석을 투입하는 사업이다. 그러나 자연석 자원의 고갈과 환경파괴를 동반하는 자연석 채취가 어려워져 현재는 극히 일부지역에서 명맥만 겨우 유지하고 있다. 이러한 해중림 조성용으로 사용되는 투석용 자연석 대체 재료를 개발에 대한 수요는 많으나, 이에 대한 기술 개발은 이에 미치지 못하고 있는 실정임.



[그림 5-3-2] 자연석 투석 사업

- 기존의 바다숲 조성을 위해 사용되는 재료는 자연석 골재이며, 철분 시비 기능과 같은 해조류 서식촉진 가능성이 없으며, 단순 물리적 배합용 재료로만 사용되며 자연석 골재를 생산하기 위해서는 석산 개발 등 환경 파괴를 동반하는 문제점이 있고, 대규모 토목 및 건축을 위해 대량으로 채굴되고 있어 그 부존량이 매우 부족한 실정임
- 해중림 개발 방법의 하나인 “송지형”이라 함은 “땅을 들어올린다”라는 개념에서 시작하며, 해저면의 수심을 구조물(마운드, 투석)에 의해 감소시켜 및 광 강도의 증강을 통해 기존의 자원 조성 기능에 기초 생산력의 부가시킨 방법 임
- 최근 어초관련 연구 개발 동향은 특정 생물을 대상으로 개발 중인 어초가 많음
 - 해삼전용어초, 돛형 인공어초(멍게), 십자형어초(해조류) 등
- 어장환경의 지속적이고 안정적인 개선을 위해서는 안정적이고 효과적인 구조물을 이용하여 해역의 지형 및 자연환경에 유연하게 적응할 수 있는 환경개선기술의 개발이 중요
- 우리나라 연안역의 해역환경변화(침식, 매몰)가 극심하게 발생하고 있으며, 이에 대응하는 구조물의 설치가 연안역을 중심으로 증가하고 있으나, 주로 방재기능을 중심으로 설계되어 있음. 그러나 자원조성기능을 강화하여 다목적 활용을 위한 기반이 마련될 경우 경제적인 효과는 극대화 될 것임.



[그림 5-3-3] 생물친화형 블럭의 활용 모식도

- 따라서, 본 연구는 해양생물의 생리.생태를 접목한 맞춤형 블럭 제작과 정치하는 기술을 개발하여 어.패류의 위집, 은신, 산란, 서식장 효과 및 해조류의 부착 및 포자공급처 역할이 지속적으로 유지될 수 있는 방안을 연구하고자 한다. 또한, 개발된 블럭의 활용 범위를 넓히고자 항만용 구조물이나 연안의 방제용 구조물(돌제, 이안제, 잠재 등)로의 활용 가능성을 타진하고자 한다.



[그림 5-3-4] 생물친화형 블럭의 활용 방안



3.2 국내외 연구 동향

3.2.1. 국내 동향

○ 정부에서는 시범바다목장, 연안바다목장, 바다숲, 인공어초, 종자방류 사업을 통해 수산 자원증대에 기여 중(한국수산자원관리공단)

- 바다숲조성사업

- 목표 : 2030년까지 54,000 ha
- 조성실적 : 2016년까지 12,209 ha 조성(1,400억원)
- 조성기술 : 천연해조장 및 잘피장 DB 구축

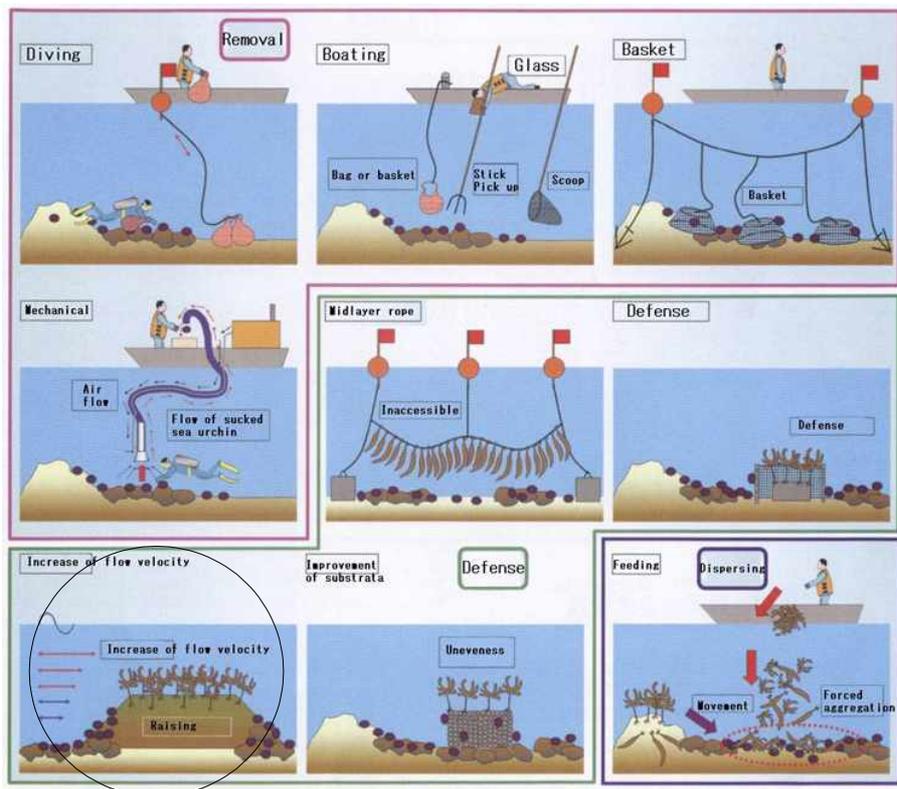
해조류 이식 효율 증대 기법 개발

기후변화 대응 바다숲 조성 기술 개발

저비용 바다숲 조성 기술 개발 등

○ 국내의 연안어장 환경 복원을 위한 사업은 주로 인공어초(바다숲) 시설, 투석사업 및 어 장정화사업 등이 있음

○ 식해동물 제어 기술에 대한 지속적인 연구 및 사업 수행 중



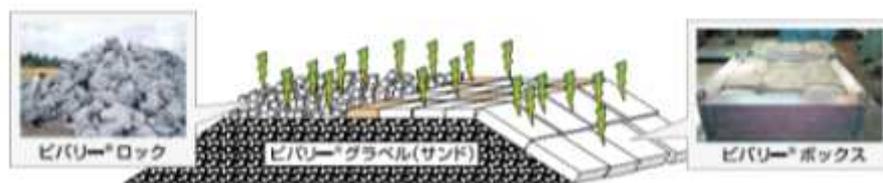
[그림 5-3-5] 식해동물 제어 방법



3.2.2. 국외 동향

- 연안 환경복원을 위해 새로운 재질의 어초 및 해조초 개발은 일본, 유럽을 중심으로 활발히 연구가 진행되고 있음
- 일본에서는 철강슬래그를 이용한 인공어초, 해조초 및 항만용 구조물 개발에 많은 노력을 기울인 결과, 많은 성과를 내고 있다. 일본의 연구활동은 정부와 기업체 그리고 대학 및 연구기관이 협동으로 연구하여 기존 재료를 대체 및 구조 디자인 등에서 많은 결과를 내놓고 있음
 - Vivary Unit : 철분 시비를 목적으로 부식토와 제강슬래그를 혼합하여 만든 해중림 조성용 제품. 북해도 지자체사업 반영('08)
 - 제강슬래그 TTP : 호안 소파용으로 활용되는 통상적인 TTP 제품 및 태풍, 해일에 견고한 고중량의 TTP 제품 생산
 - 제강슬래그와 준설토의 in-situ 혼합처리 및 연안 인공습지 조성기술 개발 중 : 최근 오사카만에서 대규모 시범 적용사업 실시
 - 투석 대응 슬래그 블럭 : 제강슬래그와 고로수재 미분말을 혼합해 만든 투석재로서 와카야마현의 수산기반 정비사업에 반영하여 현재 제품 판매 중
 - 슬래그 수화체 블럭 : 제강 및 고로슬래그로만 이루어진 인공어초 및 해중림초용 제품 개발 중
- 슬래그 블럭을 이용한 해조류 바다숲 조성(북해도)

ビバリー®シリーズを利用した藻場造成機の様態



試験後のコンブの生育状況



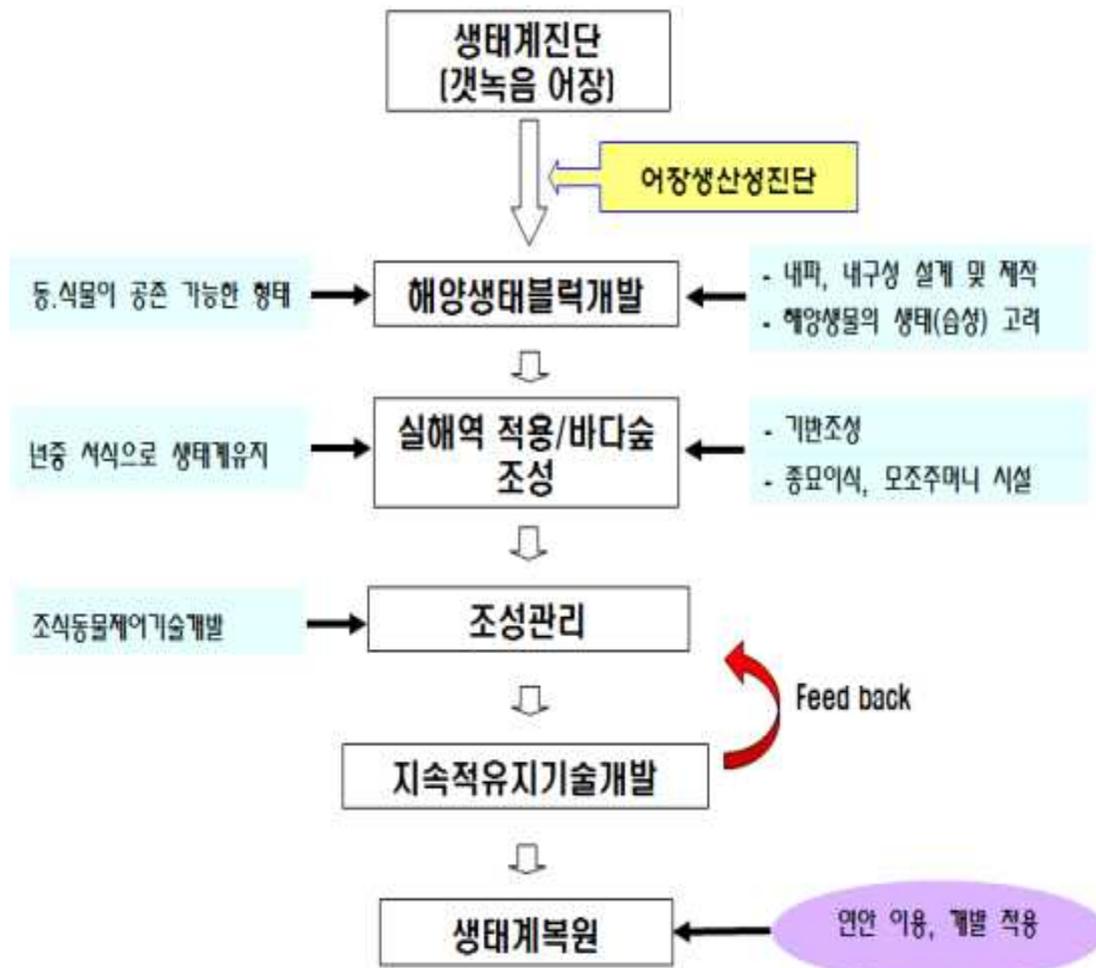
[그림 5-3-6] 슬래그활용 해조류 바다숲 조성(북해도)



3.3. 연구 목표 및 내용

3.3.1. 연구 목표

- 생물친화형 블럭 형태 개발 및 제작
- 해역특성별(수심, 연약지반, 강한조류 등) 정치(투하) 기술 개발
- 기존 해양구조물과의 접목 방안 연구



[그림 5-3-7] 생물친화형 블럭 제작 및 어장조성기술개발 절차



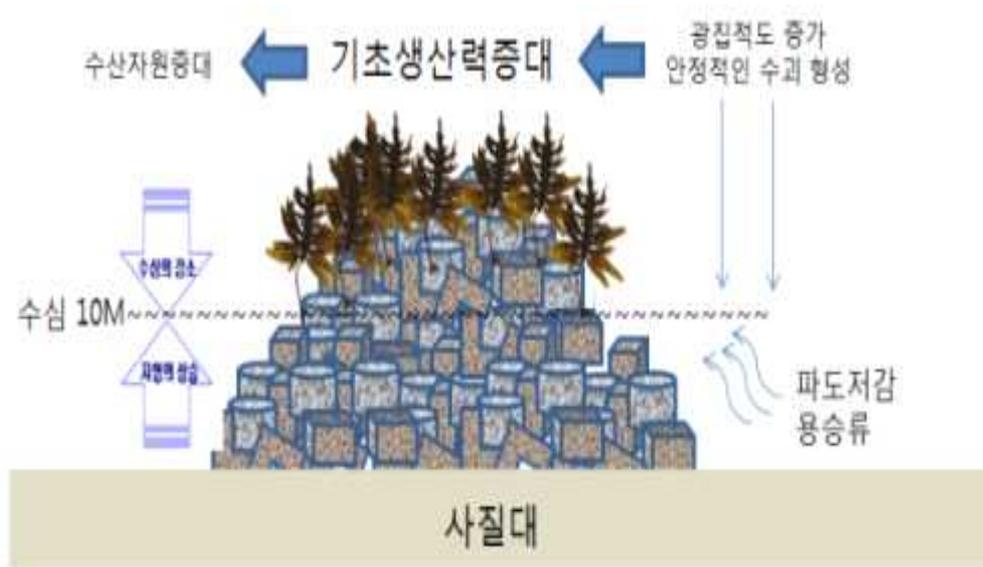
3.3.2. 연구 내용

- 국내외 관련 문헌 및 기술동향 조사
- 생물친화형 블럭 개발 및 제작
 - 자연석 투하 사업(투석사업) 대체용 블럭 개발
 - 해양생물의 생태(습성)를 접목한 맞춤형 블럭 제작 및 개발
 - 시제품 설계 및 제작 : 해양 동·식물의 공생이 가능한 형태 고려
 - 시제품의 구조적 안정성 검토 : 내파, 내구성 등 설계에 반영
- 실효역 적용
 - 사전조사 : 어업인의견, 호응도, 사업방향 등
 - 적지조사 : 해역특성, 생태계구조, 저질 구조, 주변환경 및 여건 등
 - 해류의 유동변화 및 특성, 주변여건 등을 종합적으로 분석하여 어초의 배치 등을 다양화하여 해조류 부착효과를 극대화함
 - 현장시설방안수립
 - 현장여건(수심, 조류, 지층구조, 암반형태)을 고려한 정치(투하)기술 개발
 - 시설높이, 투하방식, 투하형태, 배치 등 기술 개발
 - 해상시설 전 기반 조성 : 적지조사 결과 자료를 바탕으로 사업 효과를 극대화하기 위해 식해동물 제거, 폐기물수거 등 시설 전 기반 조성 실시
 - 해조이식 조성기법 적용이 가능하도록 설계에 반영
 - 현장시설
 - 1단계 : Pilot test
 - 2단계 : Demo
- 효능평가 및 모니터링 : 물리적 변화, 효과조사 등
 - 해조, 부착동물, 유영동물의 부착 및 위집효과 파악
 - 조성관리 및 사후관리
 - 적용 해역별 특성 평가 및 적용방안 수립
- 해양용 구조물로의 적용 가능성 평가
 - 항만용, 연안방제용(잠제 등) 등과 같은 항만친수시설로의 접목 방안 도출



예) 생물친화형 블럭을 활용한 승지형 인공암초 조성 예)

- ※ 다공성 승지(嵩地)형 인공암초 : 수심 10~20 m 해역에 지반을 승지하여 조성하는 바다숲으로 인공암초 형태의 밀식 구조로 설계하여 어류위집효과 및 주변 자연 암반 및 각종 인공구조물에 해조포자 공급자 역할(Seed Supplier)을 할 수 있으며, 다공성 기반으로 조성되어 돌기해삼, 전복 등의 서식처 기능을 함.
- 승지형 하부는 어류의 서식 공간을 증대(크기, 공간을 증대)
- 승지형 상부는 해조의 부착성 증대
- 조류, 파랑 등의 해수 유동을 역이용하여 시설되는 인공어초 주변에 해조류 포자가 오래 머무르면서 기질에 부착될 수 있도록 와류발생에 의한 정체영역을 최대화되도록 설계하는 컨셉으로 진행
- 바다숲 조성과 함께 바다숲 주변 해역의 플랑크톤 서식량을 증대시켜 어류위집 및 서식장, 은신처 조성에도 응용



[그림 5-3-8] 승지형 바다숲 모식도 예



3.3.3. 단계별 목표 및 내용

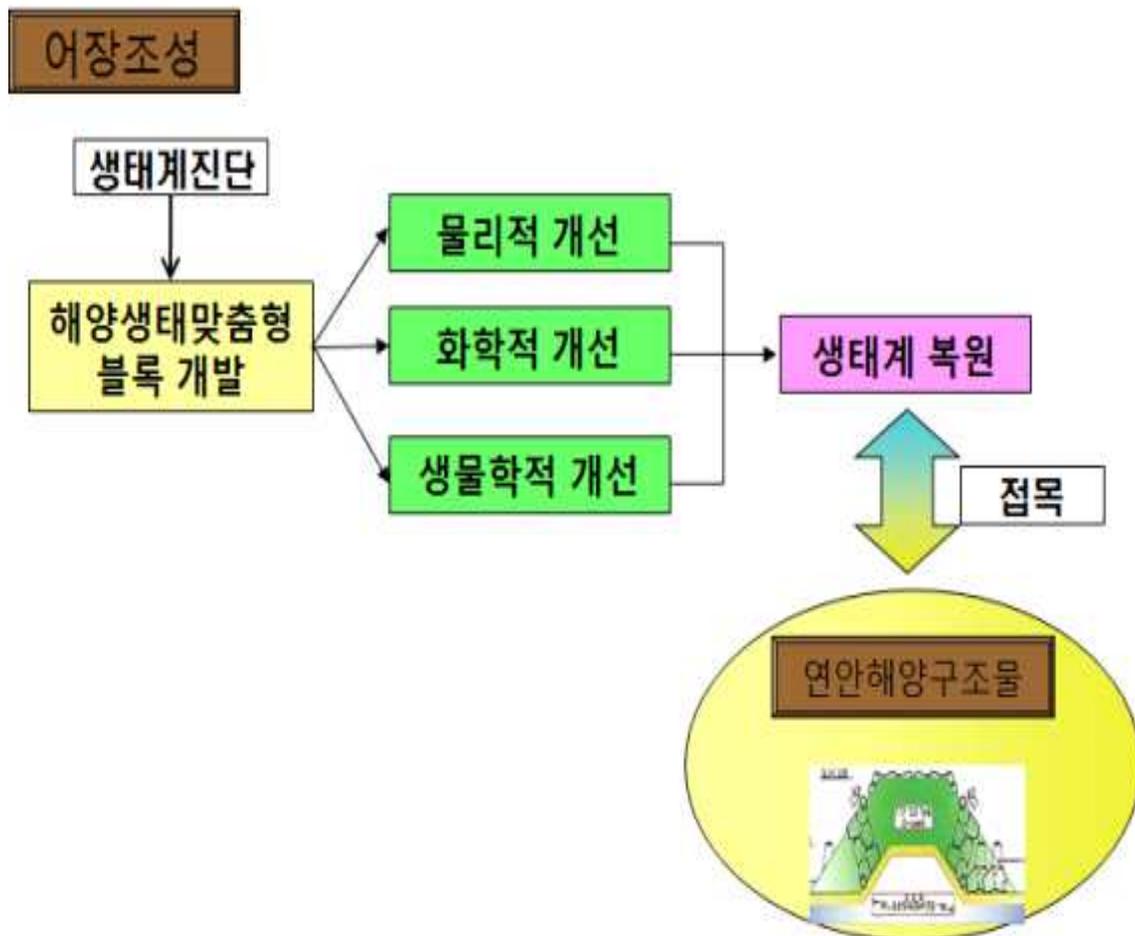
○ 1단계 연차별 목표 및 내용

구 분		연구개발목표	연구개발내용
1 단 계	1차 년도	○ 생물친화형 블럭 개발	- 국내외 관련 문헌 및 기술동향 조사 - 해양생물의 생태 및 습성을 적용한 블럭 형태 개발 - 안정성평가
	2차 년도	○ 생물친화형 블럭의 실해역 적용	- 적용 해역별 투하 기술 개발 - 실해역 현장 적용(Pilot test) - 해양생물천이과정파악
	3차 년도	○ 생물친화형 블럭의 실해역 적용	- Demo 적용 - 해양생물 위집 및 부착효과 모니터링 - 투하방법별(산재형, 승지형)특성 평가
	4차 년도	○ 생물친화형 블럭의 효과 검증 및 실용화 추진방안 수립	- 해양생물 위집 및 부착효과 모니터링(계속) - 생물친화형 블럭의 활용방안 검토 - 효과검증
	5차 년도	○ 생물친화형 블럭의 상용화 추진	- 효과검증 및 사후관리 - 해양생태블럭의 활용 및 적용 방안 도출 - 실용화/상용화



3.4. 추진전략

- 시공 및 제작이 용이한 해양생물친화적 맞춤형 블럭 개발 및 소재특성을 제시
- 해역별 정치하는 기술 개발을 통해 기술적 타당성 분석
- 생태블럭 집중 투하 시 다공성 형태의 인공암반(수중 인공섬)으로 수산자원조성 효과를 검증
- 연안해양구조물에 대한 적용 방안 도출
 - 해역별 특성파악 및 적용모델 설계 및 검증
 - 해역 특성에 적합한 적용방안 도출
- 추진체계도



[그림 5-3-9] 어장조성 추진체계도



3.5. 기대성과

- 갯녹음(백화현상)에 의한 사막화 해역의 생태복원, 어패류 산란 및 서식장 조성으로 어민소득 증대
 - 지역개발기술 활용한 공공이익 사업 발굴 및 관련 지역기업의 전문화, 육성
- 연안구조물의 자원조성기능 강화를 통해서 다양한 연안 방재구조물에 대한 기능성의 증가와 함께 향후 연안개발사업에 대한 새로운 자원조성이라는 새로운 기능적 요소를 강화하여 연안역 관리정책에 새로운 패러다임을 제시할 것임
 - 연안침식 피해지역의 추가침식 방지 및 생태복원용 잠제 구조물로 확대적용 가능(잠제+바다숲 복합기능)
- 기존 바다숲 및 인공어초사업의 방법은 그 적용처가 청정해역에 한정되는 한계를 가지고 있으나, 본 기술은 생태계 복원능력을 동시에 가지고 있어 오염해역의 생태복원에도 효과적인 기술임.
- 기존 바다숲 조성방법의 개선기회
 - 자원조성, 사후관리 효율이 제고된 새로운 방안 요구에 대응
- 주변암반 및 인공구조물에 해조포자 공급처 역할
- 식해동물제거 등 사후관리 용이
- 수산자원조성 다양화에 유리
 - 해수유동과 정체를 이용한 어장조성 유도
 - 다공성 기반구조로 다양한 생물 서식장 제공



VI 연차별 추진 계획

1 연차별 연구목표 및 연구내용

○ 세부과제 I: 연차별 연구목표 및 내용

과제명	해양생태블럭 개발을 위한 생물-생태 연구
연구목표	갯녹음(백화) 현상의 원인을 분석하여, 생태계를 복원 및 활성화 시키고 지속적으로 유지될 수 있는 기술개발
연구내용	1. 갯녹음 대응기술 개발 2. 유용생물자원 조성기술 개발 3. 해양생물 서식환경에 적합한 생태블럭 개발

○ 세부과제 II: 연차별 연구목표 및 내용

과제명	해양생태블럭 개발을 위한 생태블럭 재질·재료분야 연구
연구목표	기 설치된 콘크리트 구조물의 문제점들을 바탕으로 해양오염을 최소화하며, 해양조건에서 재료의 내구성을 향상시킬 수 있는 재료의 개발
연구내용	1. 친환경 콘크리트 기술 개발 2. 생태 안전성(적합성) 평가기술 개발 3. 콘크리트 재료의 내구성 향상기술 개발 4. 생물 친환경 블럭 제작 및 어장 조성기술 개발

○ 연차별 연구목표

구분	단계	단계별 연구목표	연차	연차별 연구목표
세부과제 I	1단계 (5년)	갯녹음 현상의 원인을 분석하여, 생태계를 복원 및 활성화 시키고 지속적으로 유지될 수 있는 기술개발	1	- 엽상 해조류 착생기질 파악
				- 블럭 기질에 따른 엽상 해조류의 착생률
			2	- 유용해양생물자원 기호 및 조식동물 기피물질 탐색 및 선정
				- 다당류 기질별 바이오필름 형성 확인
				- 유용 미생물군을 이용한 해양생물 발효액 제조
				- 소형구조물을 통한 다양한 성게 오름 방지 블럭 제작
				- 엽상 해조류에 대한 조식동물의 반응
				- 기능성 물질 분리 및 적용 방법 개발 - I



		5	- 생물친화형 블럭의 효과 검증 및 실용화 추진방안 수립
			- 해양 인공블럭의 무선 모니터링 방안 구축
			- 친환경생태블럭 시제품 제작 및 현장 침지를 통한 실증 실험
			- 해양 침지된 친환경 생태블럭 모니터링
			- 연구결과 해석 및 친환경 해양생태블럭 매뉴얼 작성
2단계 (3년)	실 해역 적용 및 배치		- 해양생태블럭 콘크리트의 열화 및 수명 예측
			- 생물친화형 블럭의 상용화 추진
			- 해역별 장기 모니터링 및 평가

2 연차별 소요예산

	비목별	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계 (억원)	
		2017	2018	2019	2020	2021		
직접비	갯녹음기 개발	인건비	-	-	-	-	-	-
		학생인건비	-	-	-	-	-	-
		연구장비	-	-	-	-	-	-
		재료비	-	-	-	-	-	-
		연구활동비	-	-	-	-	-	-
		연구과제 추진비	-	-	-	-	-	-
		연구수당	-	-	-	-	-	-
		위탁연구개발비	-	-	-	-	-	-
	소 계	4.0	6.0	6.0	8.0	8.0	32	
	유물소재 개발	인건비	-	-	-	-	-	-
		학생인건비	-	-	-	-	-	-
		연구장비	-	-	-	-	-	-
		재료비	-	-	-	-	-	-
		연구활동비	-	-	-	-	-	-
		연구과제 추진비	-	-	-	-	-	-
		연구수당	-	-	-	-	-	-
위탁연구개발비		-	-	-	-	-	-	
소 계	5.0	6.0	7.0	9.0	9.0	36		
해양생식	인건비	-	-	-	-	-	-	



환경영양연구	학생인건비	-	-	-	-	-	-
	연구장비	-	-	-	-	-	-
	재료비	-	-	-	-	-	-
	연구활동비	-	-	-	-	-	-
	연구과제 추진비	-	-	-	-	-	-
	연구수당	-	-	-	-	-	-
	위탁연구개발비	-	-	-	-	-	-
소 계	5.0	6.0	7.0	8.0	8.0	34	
친환경영양연구	인건비	-	-	-	-	-	-
	학생인건비	-	-	-	-	-	-
	연구장비	-	-	-	-	-	-
	재료비	-	-	-	-	-	-
	연구활동비	-	-	-	-	-	-
	연구과제 추진비	-	-	-	-	-	-
	연구수당	-	-	-	-	-	-
	위탁연구개발비	-	-	-	-	-	-
소 계	7.0	8.0	6.0	8.0	8.0	37	
생태영양연구	인건비	-	-	-	-	-	-
	학생인건비	-	-	-	-	-	-
	연구장비	-	-	-	-	-	-
	재료비	-	-	-	-	-	-
	연구활동비	-	-	-	-	-	-
	연구과제 추진비	-	-	-	-	-	-
	연구수당	-	-	-	-	-	-
	위탁연구개발비	-	-	-	-	-	-
소 계	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	8	
생물자원연구	인건비	-	-	-	-	-	-
	학생인건비	-	-	-	-	-	-
	연구장비	-	-	-	-	-	-
	재료비	-	-	-	-	-	-
	연구활동비	-	-	-	-	-	-
	연구과제 추진비	-	-	-	-	-	-
	연구수당	-	-	-	-	-	-
	위탁연구개발비	-	-	-	-	-	-
	소 계	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	18
	25.0	30.0	35.0	40.0	40.0	170	
간접비							
총계 (직+간접비)	25.0	30.0	35.0	40.0	40.0	170.0	

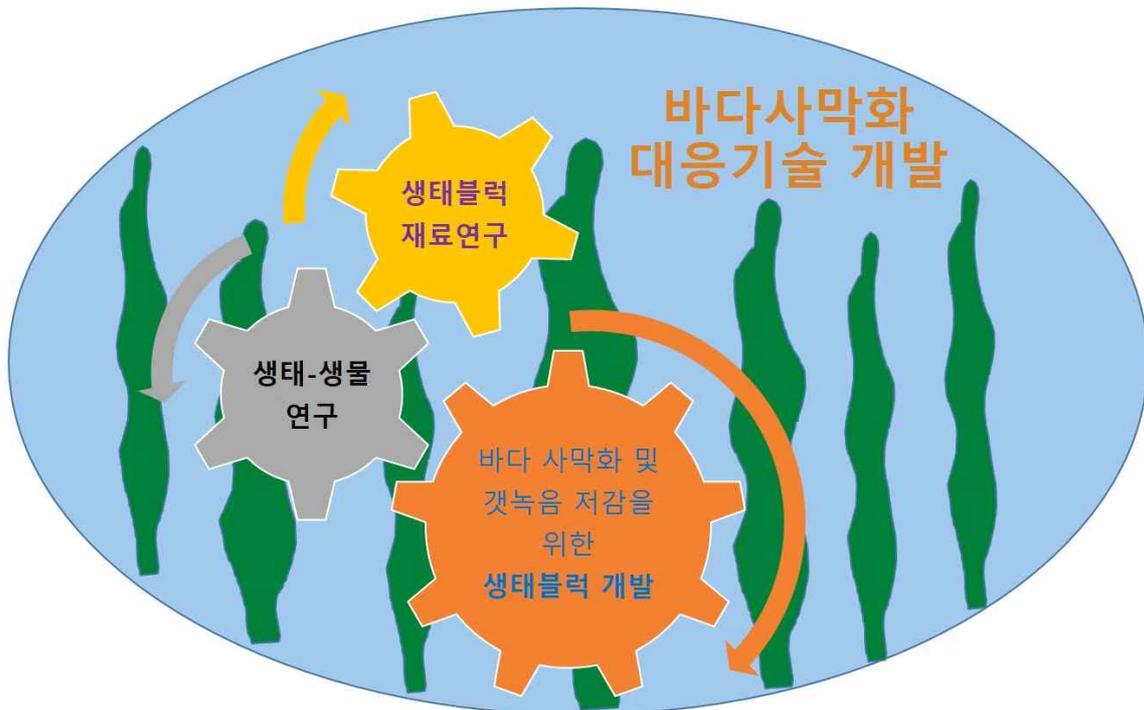
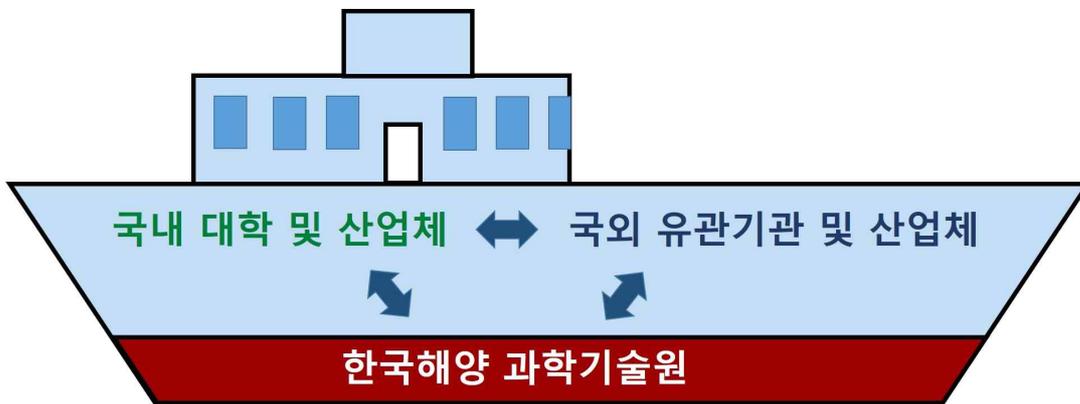


3 연구추진 방향 및 전략

□ 추진체계

연구목표와 연계된 주요 연구분야별 연구내용과 연구 방법은 아래와 같다.

- 주요 연구분야: 해양생태블럭 개발을 위한 생물-생태 연구 분야 [세부과제 I]
해양생태블럭 개발을 위한 생태블럭 재질·재료분야 [세부과제 II]
- 연구수단별 연구내용: 연구분야별 연구내용을 달성하기 위하여 다양한 창조적인 시험기법 적용과 가용한 모든 검토 기법을 총동원하여 연구항목을 수행한다.





4 기대효과 및 활용방안

○ 기술적 측면

- 전국연안의 위협생물 대량발생에 따른 갯녹음 현상의 심화에 의한 수산물 생산 감소로부터 해중림의 생산성 유지 및 효율적 관리에 요구되는 기반기술 확보
- 위협생물에 대한 효율적 대처와 공간계획 수립 및 선제적 위협생물 대응체계 수립
- 갯녹음 관련 국가 연구기관 및 시행기관, 관련 기업으로의 기술 이전 및 핵심 정보 제공을 통한 연구 성과 극대화
- 현재 활발히 진행되고 있는 바다숲 조성사업에 적용가능하면서 성공률이 높은 복원 기술 제시
- 바다숲 조성의 효율성을 높여 연안 해중림 생태계의 안정성을 높일 수 있음

○ 경제적 파급효과

- 바다 사막화를 저감시키고 해중림 생태계를 복원/안정화시킴으로써 건강한 해양생태계를 유지하고 나아가 연안어업생산성 증가에 긍정적으로 기여할 수 있음
- 바다 사막화에 대한 대책으로 막대한 정부 예산이 투입되어 진행 중인 바다숲 조성사업의 효용성을 극대화 하여 예산의 낭비를 막을 수 있다.

○ 연구개발결과의 활용 방안

- 바다 사막화(갯녹음) 대응 기반기술로 활용
- 해중림 생태계 복원기술로 활용
- 바다 사막화로부터 해중림 보호 기술로 활용
- 해조류 위협생물 대응 기술로 활용
- 바다 녹색화에 활용
- 바다 사막화 진행중인 해외 기술 이전



VII

참고문헌

참고문헌

곽철우, 정의영, 김태연, 손수현, 박기열, 김영식, 최한길. 2014. 성계의 조식압 감소를 위한 해조류 이식 방법 비교. 한국자연보호학회지, 32-38.

유재원, 김효진, 이현정, 이창근, 김창수, 홍재상, 홍정표, 김동삼. 2007. 동해안 조식성 무척추동물과 해조류간 상호작용. 한국해양학회지, 125-132.

한국수산자원관리공단, 2014. 2014 업무편람. 225pp.

최임호, 김종식, 곽석남, 김성수, 한명일. 2013. 갯녹음 발생 분포특성 및 효과조사 기법 고찰. 해양환경안전학회지, 308-311

김동하, 정소미, 나원배, 김종규. 2015. 지반경사에 따른 해중림 어초의 후류역. 한국 해양환경·에너지학회 추계학술대회,

김도희. 2010. 지구 온난화에 따른 해양환경 변화와 대책. 해양환경안전학회 춘계 학술발표회.

권혜옥, 김진만, 이석모. 2007. 갯녹음 해역의 해조장 복원 모듈. 한국해양환경공학회 2007년도 추계학술대회 논문집, 71-76

Papatryphon, E., soares, J.R., J.H. 2000 The effect of dietary stimulants on growth performance of striped bass, *Morone saxatilis*, fed-a-plant feedstuff-based diet. *Aquaculture*, v.185, p.329-338.

Suontama, J., Karlsten, A., Moren, M., Hemre, G.-I., Melle, W., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ringa, E., Olsen, R.E. 2007. Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods. *Aquaculture Nutrition* 13: 241-255.

Adron, J.W. and Mackie, A.M. 1978. Studies on the chemical nature of feeding stimulants for rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology* 12: 303-310.



- Hara, T.J., Kitada, Y., Evans, R.E. 1994. Distribution patterns of palatal taste buds and their responses to amino acids in salmonids. *Journal of Fish Biology* 45: 453-465.
- Mearns, K.J. 1986. Sensitivity of brown trout (*Salmo trutta L.*) and Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) fry to amino acids at the start of exogenous feeding. *Aquaculture* 55: 191-200.
- Sutterlin, A.M., Sutterlin, N. 1970. Taste responses in Atlantic salmon (*Salmo salar*) Parr. *Journal Fisheries Research Board of Canada* 27: 1927-1942.
- Caprio, J. 1975. High sensitivity of catfish taste receptors to amino acids. *Comparative Biochemistry and Physiology* 52: 247-251.
- Yacoob, S.Y., Browman, H.I. 2007. Olfactory and gustatory sensitivity to some feed-related chemicals in the Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture* 263: 303-309.
- Oliveira, A.M.B.M.S., Cyrino, J.E.P. 2004. Attractants in plant protein-based diets for the carnivorous Largemouth Bass *Micropterus salmonides*. *Scientia Agricola* 61: 326-331.
- Reig, L., Ginovart, M., Flos, R. 2003. Modification of the feeding behavior of sole (*Solea solea*) through the addition of a commercial flavor as an alternative to betaine. *Aquatic Living Resources* 16: 370-379.
- Smith, D.M., Tabrett, S.J., Barclay, M.C., Irvin, S.J. 2005. The efficacy of ingredients included in shrimp feeds to stimulate intake. *Aquaculture Nutrition* 11: 263-272.



VIII 경제성 평가

1) 편익분석

1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석

1.1.1 국내 해양생태블럭 시장은 '26년 695.3억원에서 '38년 873.0억원 규모로 형성될 것으로 전망됨

- 국내 해양생태블럭 시장은 바다숲 조성 및 바다목장 조성사업시장 중 해양생태블럭 시장과 인공어초 조성시장을 합하여 산정함
- 연도별 바다숲 조성시장 중 해양생태블럭 시장 추정은 국내 해수부의 연도별 '바다숲 조성사업'의 사업비 중 해양생태블럭이 차지하는 비중을 곱하고, 물가상승률을 고려하여 추정함
 - '15년과 '16년 기준 ha당 바다숲 조성사업비는 0.112억원임

표 8-1-1. ha당 바다숲 조성사업비

구 분	2015	2016	평균
바다숲 조성사업 면적(ha)	3,236	3,064	3,150
바다숲 조성사업비(억원)	357	347	352
ha당 바다숲 조성사업비(억원/ha)	0.110	0.113	0.112

* 자료 : 해양수산부 보도자료 기반 KWs분석

- 바다숲 조성사업은 '30년까지 매년 3,000ha규모로 추진될 예정¹⁾이며, ha당 바다숲 조성사업비를 고려할 때, '16년 기준 바다숲 조성사업비는 335.2억원이며, 물가상승률을 고려하면 '26년 405.2억원, '38년 508.8억원으로 전망됨
- 바다숲 조성사업은 '30년까지 계획되어 있으며, '30년 이후에도 바다숲 조성사업이 동일한 규모로 지속적으로 추진되는 것으로 가정함

1) 우리 바다 풍요롭고 아름답게.. 바다숲, 바다목장 조성한다, 해양수산부 보도자료, 2016.12.13



표 8-1-2. 물가지수를 고려한 연도별 바다숲 조성사업비('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연간 바다숲 조성 사업면적(ha)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
물가상승률을 고려한 연간 바다숲 조성사업비(억원)	405.2	413.0	420.9	429.0	437.2	445.5	454.1	462.8	471.6	480.6	489.8	499.2	508.8

* 자료 : KWs 연구진 분석

- 바다숲 조성사업비 중 해양생태블럭 비중은 인공어초사업의 경제성분석 관련 선행연구²⁾에서 도출한 45.1%를 적용하였음
- 바다숲 조성사업비 중 해양생태블럭 비중을 고려한 바다숲 조성사업의 해양생태블럭 시장은 '26년 182.9억원, '38년 229.6억원으로 분석됨

표 8-1-3. 연도별 바다숲 조성사업 중 해양생태블럭 시장 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
물가상승률을 고려한 연간 바다숲 조성사업비(억원)	405.2	413.0	420.9	429.0	437.2	445.5	454.1	462.8	471.6	480.6	489.8	499.2	508.8
바다숲 조성사업비 중 해양생태블럭 비중(%)	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1
바다숲 조성사업 중 해양생태블럭 시장(억원)	182.9	186.4	189.9	193.6	197.3	201.1	204.9	208.8	212.8	216.9	221.1	225.3	229.6

* 자료 : 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구 기반 KWs 연구진 분석

- 연도별 바다목장 조성시장 중 해양생태블럭시장 추정은 국내 해수부의 연도별 '바다목장 조성사업'의 사업개소 및 사업비를 토대로 바다목장 조성시장을 추정한 후, 해양생태블럭이 차지하는 비중을 곱하고 물가상승률을 고려하여 추정함
 - 바다목장 조성사업은 '10년부터 '20년까지 11년간 총 50개소의 바다목장 조성을 목표로 추진되며, 연간 조성사업이 진행되는 바다목장 사업은 4.55개소임³⁾
 - 바다목장 1개소 당 5년에 걸쳐 50억원의 사업비가 투입⁴⁾되며, 연간 1개소당 사업비는 10억원임

2) 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구, 최종두, 2013.

3) 3) 우리 바다 풍요롭고 아름답게.. 바다숲, 바다목장 조성한다, 해양수산부 보도자료, 2016.12.13

4) 4) 우리 바다 풍요롭고 아름답게.. 바다숲, 바다목장 조성한다, 해양수산부 보도자료, 2016.12.13



- 바다목장 1개소가 착공에서 준공까지 총 5년이 소요되므로, 매년 신규 착공이 발생한다고 가정할 경우, 당해년도에 조성사업이 진행되는 바다목장 사업은 $4.55 \times 5 = 22.7$ 개소임



그림 8-1-1. 연간 진행되는 바다목장 개소 수 산정

- 바다목장 조성사업은 매년 22.7개소에서 '16년 기준 개소당 10억원, 총 227.3억원 규모로 추진되며, 물가상승률을 고려하면 '26년 274.7억원 '38년 344.9억원이 될 전망이다

○ 바다목장 조성사업은 '20년까지 계획되어 있으며, '20년 이후에도 바다목장 조성사업이 동일한 규모로 지속적으로 추진되는 것으로 가정함

표 8-1-4. 물가지수를 고려한 연도별 바다목장 조성사업비 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연간 바다목장 조성 사업개소(개소)	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
물가상승률을 고려한 연간 바다목장 조성사업비(억원)	274.7	280.0	285.3	290.8	296.4	302.0	307.8	313.7	319.7	325.8	332.1	338.4	344.9

* 자료 : 해양수산부 보도자료 기반 KWs분석

- 바다목장 조성사업비 중 해양생태블럭 비중은 인공어초사업의 경제성분석 관련 선행연구⁵⁾에서 도출한 45.1%를 적용하였음

5) 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구, 최종두, 2013.



- 바다목장 조성사업비 중 해양생태블럭 비중을 고려한 바다목장 조성사업의 해양생태블럭 시장은 '26년 124.0억원, '38년 155.7억원으로 분석됨

표 8-1-5. 연도별 바다목장 조성사업 중 해양생태블럭 시장 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
물가상승률을 고려한 연간 바다목장 조성사업비(억원)	274.7	280.0	285.3	290.8	296.4	302.0	307.8	313.7	319.7	325.8	332.1	338.4	344.9
바다목장 조성사업비 중 해양생태블럭 비중(%)	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1
바다목장 조성사업 중 해양생태블럭 시장(억원)	124.0	126.3	128.8	131.2	133.7	136.3	138.9	141.6	144.3	147.0	149.9	152.7	155.7

* 자료 : 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구 기반 KWs 연구진 분석

- 인공어초 조성사업비는 보도자료를 토대로 최근 5년간 인공어초 사업비 평균인 400억 원으로 추정함⁶⁾
 - 인공어초의 설치를 주목적으로 하는 사업의 특성을 고려하여 사업비 전액을 해양생태블럭 시장으로 고려함⁷⁾
 - 물가상승률을 고려하면 인공어초 조성사업에서 해양생태블럭 시장은 '26년 483.5억원, '38년 607.1억원으로 분석됨

표 8-1-6. 연도별 인공어초 조성사업 중 해양생태블럭 시장 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
물가상승률을 고려한 연간 인공어초 조성사업비(억원)	483.5	492.8	502.2	511.8	521.6	531.6	541.8	552.1	562.7	573.5	584.5	595.7	607.1

* 자료 : 농수축산신문 보도자료, 통계청의 인공어초 시설현황자료 기반 KWs 연구진 분석

- 바다숲 조성 및 바다목장 조성사업시장 중 해양생태블럭 시장과 인공어초 조성시장을 합한 국내 해양생태블럭시장은 '26년 790.4억원, '38년 992.3억원으로 분석됨

6) 인공어초사업, 이대로 좋은가, 농수축산신문, 2010.8.26.

7) 인공어초 시설현황, 통계청, 2009



표 8-1-7. 연도별 해양생태블럭 시장 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
바다숲 조성사업 중 해양생태블럭 시장(억원)	182.9	186.4	189.9	193.6	197.3	201.1	204.9	208.8	212.8	216.9	221.1	225.3	229.6
바다목장 조성사업 중 해양생태블럭 시장(억원)	124.0	126.3	128.8	131.2	133.7	136.3	138.9	141.6	144.3	147.0	149.9	152.7	155.7
인공어초 사업 시장(억원)	483.5	492.8	502.2	511.8	521.6	531.6	541.8	552.1	562.7	573.5	584.5	595.7	607.1
국내 해양생태블럭 시장(억원)	790.4	805.5	820.9	836.6	852.6	869.0	885.6	902.6	919.8	937.4	955.4	973.7	992.3

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.1.2 연도별 개발 해양생태블럭의 시장점유율을 고려한 매출액은 '26년 237.1억원에서 '38년 750.1억원으로 분석됨

- 연도별 바다숲, 바다목장 및 인공어초 조성 사업비 중 연도별 조성사업비 중 연구단 개발 해양생태블럭의 시장 점유율은 '26년 30%에서 '38년 75.6%로 증가할 것으로 전망됨
- 연도별 조성사업비 중 연구단 개발 해양생태블럭의 시장 점유율은 참여기업 연구진 전망 및 분석 결과를 적용함
 - '06~'10년간 설치된 상위 10대 인공어초 중 콘크리트 어초의 점유율은 32.94%⁸⁾이며, 개발 해양생태블럭은 기존 콘크리트 어초대비 저렴하면서도, 조식동물 피해를 방지하므로 초기 시장 진입 시 기존 콘크리트 어초의 대부분을 대체하고, 10년이 지난 시점에서는 전체 인공어초 시장의 60%이상을 점유할 것으로 전망함

표 8-1-8. 연도별 조성사업비 중 연구단 개발 해양생태블럭의 시장 점유율 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연구단 개발 해양생태블럭의 시장 점유율 (%)	30.0	32.4	35.0	37.8	40.8	44.1	47.6	51.4	56.6	60.0	64.8	70.0	75.6

* 자료 : 참여기업 연구진 전망 및 분석결과 기반 KWs 연구진 분석

- 바다숲 및 바다목장, 인공어초 조성사업에서의 시장 점유율을 고려한 연구단 개발 해양

8) 한국수산자원관리공단 연간통계, 2014

생태블럭 매출액은 '26년 237.1억원에서 '38년 750.1억원으로 증가할 것으로 전망됨

표 8-1-9. 연도별 해양생태블럭 매출액 전망 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
총 해양생태블럭 시장규모(억원)	790.4	805.5	820.9	836.6	852.6	869.0	885.6	902.6	919.8	937.4	955.4	973.7	992.3
연구단 개발 해양생태블럭의 시장 점유율(%)	30.0	32.4	35.0	37.8	40.8	44.1	47.6	51.4	56.6	60.0	64.8	70.0	75.6
연구단 개발 해양생태블럭 매출액(억원)	237.1	261.0	287.3	316.2	348.1	383.1	421.7	464.2	511.0	562.5	619.1	681.5	750.1

* 자료 : 참여기업 연구진 전망 및 분석결과 기반 KWs 연구진 분석

1.1.3 국내 해양생태블럭 매출 편익의 현재가치는 72.9억원으로 분석됨

- 개발기술의 사업기여도는 '연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판'에 따라 현재 추진되고 있는 해양생태블럭 관련 연구개발사업 예산 중 '바다사막화 대응 해양생태블럭 개발' 관련 사업예산이 차지하는 비중 82.1%를 적용함
- '11년 이후 진행된 인공어초·바다숲·해양콘크리트 관련 기술개발 사업 16건의 사업비와 본 연구개발 사업비를 합한 전체 총 사업비 중 본 연구개발 사업비가 차지하는 비중을 산출함
 - (사업기여율)=(본 연구개발 사업비)/(기존 관련 사업비)+(본 연구개발 사업비)=82.1%



표 8-1-10. 바다사막화 대응 해양생태블럭 개발 관련 사업 (`11~`16)

과제명	추진기간	총사업비(백만원)
다목적 인공어초 개발	2015-10-01 ~ 2017-09-30	107.35
갯녹음 제어를 위한 해조모판시트 개발	2015-11-20 ~ 2016-11-19	180.5
인공어초 후류역 성능평가를 위한 후류역 특성 정량화 기법 개발	2015-06-01 ~ 2017-05-31	50
폴리우레탄과 골재를 이용한 친환경 다공성 인공어초 개발	2013-08-01 ~ 2013-11-30	37.5
비소성 무기결합재를 적용한 친환경 인공어초 설계 및 제작기술 개발	2015-07-21 ~ 2015-11-20	30
생물 착생 방지 해양 구조물 도포용 도료 개발	2012-11-01 ~ 2014-07-31	329.59
강릉연안 바다숲의 조성 및 관리 연구	2013-03-01 ~ 2013-12-31	80
해양생물 착생 방지능 평가	2012-11-01 ~ 2014-07-31	119
황토와 고로슬래그를 활용한 새로운 인공어초의 개발	2012-06-01 ~ 2013-05-31	90.02
연안생태계 복원 및 바다숲 조성을 위한 해조류 포자 인공착생 기술 개발	2012-06-18 ~ 2013-06-17	178.42
남해 바다목장 조성을 위한 인공어초의 침하 및 세굴 저감공법 개발	2014-11-01 ~ 2017-10-31	197.2
해양환경 복원을 위한 다용도 해삼 어초 개발	2013-08-01 ~ 2014-07-31	83.75
제주해양생물 해조류와 함께하는 홍해삼 인공어초 제품개발	2014-06-01 ~ 2015-05-31	120.83
해양환경 콘크리트 구조물의 내구수명 예측 소프트웨어 개발	2015-06-19 ~ 2018-06-18	360
해양환경변수에 최적화된 저탄소-친환경 콘크리트 개발 및 적용	2014-11-01 ~ 2017-07-31	89.03
해양설치용 인공리프 블록의 친환경재료 개발	2012-10-09 ~ 2016-10-31	3839.81
계		5893.0

* 자료 : NTIS 세부과제 검색 자료 기반 KWs 연구진 분석



표 8-1-11. 총 사업비 및 사업기여율

구분	종합 결과
기존 해양생태블럭 개발 관련 총 사업비(억원)	58.9
본 연구개발 총 사업비(억원)	270.0
사업기여율(%)	82.1

* 자료 : KWs 연구진 분석

- 개발기술의 R&D 기여도는 '연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판'에서 제시하고 있는 35.4%를 적용함
- 개발기술의 부가가치율은 한국은행 경제통계시스템의 2014년 총 투입산출표에서 해양생태블럭 관련 산업인 콘크리트제품 제조업의 부가가치율 20.2%⁹⁾를 적용함
- 소분류 콘크리트제품 제조업(054)의 총 부가가치계를 총투입계로 나누어 부가가치율을 산출함

표 8-1-12. 콘크리트제품 제조업의 부가가치율

구분	콘크리트제품 제조업
부가가치계(억원)	27,731.19
총투입계(억원)	137,416.6
부가가치율(%)	20.2%

* 자료 : 한국은행 경제통계시스템의 2014년 총 투입산출표 기반 KWs 연구진 분석

- 사업화성공률은 기반이 되는 선행기술의 완성도, 명확한 기술수요처 등을 고려하여 참여기업 연구진 전망 및 분석을 통해 50.0%로 설정함
- 개발 해양생태블럭의 기반이 되는 콘크리트 기술은 저렴한 시멘트 대체재 배합을 통한 저비용 콘크리트가 상용화되었으며, 조식동물 방지 물질도 개발이 된 상황으로 목표수준으로 해양생태블럭 개발가능성은 매우 높음
- 해양수산부의 R&D를 통해 개발되는 해양생태블럭의 대상 시장은 해양수산부에서 추진하는 국내 바다숲, 바다목장, 인공어초 사업의 해양생태블럭 시장으로, 수요처 및 시장 적용 가능성이 매우 높음
- 선행기술의 완성도가 높고 기술수요처가 명확하여 사업화 성공률이 높을 것으로 기대되나, 편익을 보수적으로 산정하는 관점에서 사업화성공률을 50.0%로 설정함
- 현재가치 추정을 위한 할인율은 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 '07~'16년도 10

9) 2014년 산업연관표, 한국은행 경제통계시스템



년만기 국고채 이자율 평균값으로 설정함

표 8-1-13. 국내 해양생태블럭 매출 편익의 현재가치 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	계
연도별 해양생태블럭 매출액(억원)	237.1	261.0	287.3	316.2	348.1	383.1	421.7	464.2	511.0	562.5	619.1	681.5	750.1	
콘크리트제품 제조업의 부가가치율(%)	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
R&D기여율(%)	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4
사업기여율(%)	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1
사업화성공률 (%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
편익(억원)	7.0	7.7	8.4	9.3	10.2	11.2	12.4	13.6	15.0	16.5	18.2	20.0	22.0	171.3
편익의 현재가치(억원)	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.8	6.0	6.3	6.6	6.8	7.1	72.9

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.2 해외기술이전을 통한 기술료 편익 분석

1.2.1 개발 해양생태블럭 기술이전을 고려하는 해외 기업의 해양생태블럭 매출액은 '26년 500억원에서 '38년 1,259.9억원으로 추정함

- 연도별 해양생태블럭 기술이전을 고려하는 해외 기업의 생태블럭 매출액 규모 추정은 참여기업 연구진 전망 및 분석 결과를 기반으로 도출함
- 개발 해양생태블럭은 베트남, 인도네시아, 싱가포르, 중동 등에 기술이전을 고려 중이며, 해외기술이전 기업의 매출액은 '26년 기준 국내시장보다 다소 작은 500억원에서 10년 뒤인 '35년에는 2배 정도 성장한 1,000억원으로 전망함

표 8-1-14. 해양생태블럭 기술이전을 고려하는 해외 기업의 매출액(억원) ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
해양생태블럭 기술이전을 고려하는 해외 기업의 매출액(억원)	500.0	540.0	583.3	630.0	680.4	734.9	793.7	857.2	925.9	1,000.0	1,080.1	1,166.5	1,259.9

* 자료 : 참여기업 연구진 전망 및 분석결과 기반 KWs 연구진 분석

1.2.2 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 기술가치평가시스템에서 제공하는 업종별 기술거래 분석 결과에 의거하여, 편익분석 기간 동안의 기술료 효율은 3.58%로 설정함¹⁰⁾

- 기술가치평가시스템의 업종별 로열티율 정보에서 소재산업 부문의 평균 기술료 효율 값인 3.58%를 적용함
- 기술가치평가시스템의 업종별 로열티율은 매출액대비 경상기술료방식으로 거래된 사례를 바탕으로 산출됨

1.2.3 해외기술이전을 통해 획득되는 기술료는 '26년 17.9원에서 '38년 45.1억원으로 증가할 것으로 전망됨

- 연도별 기술료 수입은 기술이전을 고려하는 해외기업의 연간 매출액에 기술이전 기술료 효율을 곱하여 산출함

10) KISTI 기술가치평가시스템 홈페이지(<http://www.starvalue.or.kr/itechvalue/wsp/main/main.jsp>)



표 8-1-15. 연도별 기술료 수입(억원) ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연도별 해양생태블럭 기술이전을 고려하는 해외 기업의 매출액(억원)	500.0	540.0	583.3	630.0	680.4	734.9	793.7	857.2	925.9	1,000.0	1,080.1	1,166.5	1,259.9
연도별 해양생태블럭 기술이전 기술료 요율(%)	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58
연도별 기술료 수입(억원)	17.9	19.3	20.9	22.6	24.4	26.3	28.4	30.7	33.2	35.8	38.7	41.8	45.1

* 자료 : KISTI 기술가치평가시스템 기반 KWs 연구진 분석

1.2.4 해외기술이전으로 인한 기술료 편익의 현재가치는 24.1억원으로 분석됨

- 개발기술의 사업기여도는 '1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석'에서 산정한 개발기술의 사업기여도 82.1%를 적용함
- 개발기술의 R&D 기여도는 '연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판'에서 제시하고 있는 35.4%를 적용함
- 사업화성공률은 '1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석'에서 산정한 사업화성공률 50.0%를 적용함
- 현재가치 추정을 위한 할인율은 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 '07~'16년도 10년만기 국고채 이자율 평균값으로 설정함

표 8-1-16. 해외기술이전을 통한 기술료 편익의 현재가치 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	계
연도별 해양생태블럭 기술이전을 고려하는 해외 기업의 매출액(억원)	500.0	540.0	583.3	630.0	680.4	734.9	793.7	857.2	925.9	1,000.0	1,080.1	1,166.5	1,259.9	
연도별 해양생태블럭 기술이전 기술료 요율(%)	3.58 %													
연도별 기술료 수입(억원)	17.9	19.3	20.9	22.6	24.4	26.3	28.4	30.7	33.2	35.8	38.7	41.8	45.1	
R&D기여율 (%)	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	
사업기여율(%)	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	
사업화성공율 (%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
편익(억원)	2.6	2.8	3.0	3.3	3.5	3.8	4.1	4.5	4.8	5.2	5.6	6.1	6.6	55.9
편익의 현재가치(억원)	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	24.1

* 자료 : KWs 연구진 분석



1.3 기존 해양생태블럭 대비 제조비용 절감 편익 분석

1.3.1 기존 생태블럭 제조비용은 `26년 109.2만원, `35년 137.1만원으로 전망됨

- 기존 생태블럭 제조비용은 인공어초시설사업의 경제성 분석에 관한 연구(2007)에서 조사된 `00-`02년 생태블럭 제조비용의 평균값에 연간 물가상승률을 곱하여 산정함¹¹⁾

표 8-1-17. 기존 생태블럭 개당 제조비용 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
기존 생태블럭 개당 제조비용 (만원)	109.2	111.3	113.4	115.6	117.8	120.1	122.4	124.7	127.1	129.5	132.0	134.5	137.1

* 자료 : 한국해양수산개발원 연구보고서 기반 KWs 연구진 분석

1.3.2 연구단 개발 해양생태블럭의 제조비용은 `26년 87.4만원, `38년 109.7만원으로 전망됨

- 연구단 개발 해양생태블럭 콘크리트의 1m³당 재료비는 38,860원으로, 기초 및 슬래브에서 일반적으로 사용되는 기존 콘크리트(배합강도 24MPa, 규격 25-24-18)의 1m³당 재료비 48,627원의 79.9% 수준임
- 콘크리트 배합 과정에서 소요되는 시멘트 사용량의 일부를 고로슬래그와 플라이애쉬로 치환하는 경우, 시멘트만 사용하는 경우와 비교하여 재료비가 약 20.1% 절감됨
- 강알칼리성의 시멘트를 타 재료로 치환함으로써 시멘트로 인해 발생하는 알칼리 용출량의 약 60%가 절감되며, 이는 해양생물의 식생에 미치는 악영향 감소로 이어짐
- 이외에도 타 재료로의 치환을 통해 배합 작업에서의 작업성과 강도의 향상, 염소이온 저항성 및 내구성의 향상을 기대할 수 있음

11) 인공어초시설사업의 경제성 분석에 관한 연구(2차), 한국해양수산개발원, 2007.4.

표 8-1-18. 기존 일반 콘크리트 재료비(1m³당)와 개발 해양생태블럭 콘크리트 재료비(1m³당) 비교

재료 구분	기존 일반 콘크리트(1m ³ 당)		연구단 개발 해양생태블럭 콘크리트(1m ³ 당)	
	단가(원/kg)	단위량(km/m ³)	단가(원/kg)	단위량(km/m ³)
물	-	176	-	176
시멘트	83	320	83	128
고로슬래그	55	(미사용)	55	128
플라이애쉬	30	(미사용)	30	64
잔골재	10	1,042	10	763
굵은골재	10	960	10	960
혼화제	80	2.56	80	2.56
계	48,627원		38,860원	

* 자료 : 참여기업 연구진 전망 및 분석결과

- 연구단 개발 해양생태블럭의 개당 제조비용은 `26년 87.2만원, `38년 109.5만원으로 전망됨
- 연구단 개발 해양생태블럭의 개당 제조비용은 기존 생태블럭의 79.9% 수준임을 고려하여, 기존 생태블럭의 제조비용에 79.9%를 곱한 후 물가상승률을 고려하여 산정함

표 8-1-19. 연구단 개발 해양생태블럭 개당 제조비용 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연구단 개발 해양생태블럭 개당 제조비용 (만원)	87.2	88.9	90.6	92.4	94.1	95.9	97.8	99.6	101.5	103.5	105.5	107.5	109.5

* 자료 : 한국해양수산개발원 연구보고서, 참여기업 연구진 전망 및 분석결과 기반 KWs 연구진 분석

1.3.3 기존 생태블럭 대비 연구단 개발 해양생태블럭의 개당 제조비용 절감액은 `26년 21.9만원, `38년 27.6만원으로 전망됨

- 연구단 개발 해양생태블럭 제조비용 개당 절감액은 기존 생태블럭 제조비용에서 연구단 개발 해양생태블럭의 제조 비용을 차감한 값으로 산출함



표 8-1-20. 연구단 개발 해양생태블럭 개당 제조비용 절감액 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
기존 생태블럭 개당 제조비용 (만원)	109.2	111.3	113.4	115.6	117.8	120.1	122.4	124.7	127.1	129.5	132.0	134.5	137.1
연구단 개발 해양생태블럭 개당 제조비용 (만원)	87.2	88.9	90.6	92.4	94.1	95.9	97.8	99.6	101.5	103.5	105.5	107.5	109.5
연구단 개발 해양생태블럭 개당 제조비용 절감액 (만원)	21.9	22.4	22.8	23.2	23.7	24.1	24.6	25.1	25.5	26.0	26.5	27.0	27.6

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.3.4 바다숲 및 바다목장 조성사업에 연간 투입되는 생태블럭 개수와 연구단 개발 해양생태블럭의 시장점유율을 고려한 총 제조비용 절감액은 '26년 240.1억원에서 '38년 301.5억원으로 예상됨

- 연간 투입되는 해양생태블럭의 개수는 '1.1절 국내 해양생태블럭 매출 편익'에서 산정한 바다숲·바다목장·인공어초 각각의 조성사업비 중, 생태블럭이 차지하는 비용을 기존 생태블럭의 제조비용으로 나누어 산출함

표 8-1-21. 연간 투입되는 해양생태블럭의 총 개수 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
바다숲 조성사업의 생태블럭 수 (개)	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627	38,627
바다목장 조성사업의 생태블럭 수 (개)	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640	25,640
인공어초 조성사업의 생태블럭 수 (개)	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127	45,127
투입되는 생태블럭 총 개수(개)	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395

* 자료 : KWs 연구진 분석

- 연구단 개발 해양생태블럭의 총 제조비용 절감액은 연간 생태블럭의 투입 개수에 연도별 해당 제조비용 절감액을 곱하여 산정함
 - 연구단 개발 생태블럭의 시장점유율은 1.1절 ‘국내 해양생태블럭 매출 편익 분석’에서 산정한 값을 적용함

표 8-1-22. 연구단 개발 해양생태블럭의 총 제조비용 절감액 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연구단 개발 해양생태블럭의 해당 제조비용 절감액(만원)	21.9	22.4	22.8	23.2	23.7	24.1	24.6	25.1	25.5	26.0	26.5	27.0	27.6
투입되는 해양생태블럭 개수(개)	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395	109,395
연구단 개발 해양생태블럭의 시장점유율(%)	30.0	32.4	35.0	37.8	40.8	44.1	47.6	51.4	55.6	60.0	64.8	70.0	75.6
연구단 개발 해양생태블럭의 총 제조비용 절감액(억원)	240.1	244.7	249.4	254.2	259.0	264.0	269.0	274.2	279.4	284.8	290.2	295.8	301.5

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.3.5 해양생태블럭 제조비용 절감 편익의 현재가치는 109.8억원로 분석됨

- 개발기술의 사업기여도는 ‘1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석’에서 산정한 개발기술의 사업기여도 82.1%를 적용함
- 개발기술의 R&D 기여도는 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판’에서 제시하고 있는 35.4%를 적용함
- 사업화성공률은 ‘1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석’에서 산정한 사업화성공률 50.0%를 적용함
현재가치 추정을 위한 할인율은 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 `07~16년도 10년만기 국고채 이자율 평균값으로 설정함



표 8-1-23. 연구단 개발 해양생태블럭 제조비용 절감 편익의 현재가치 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	계
연구단 개발 해양생태블럭의 총 제조비용 절감액(억원)	240.1	244.7	249.4	254.2	259.0	264.0	269.0	274.2	279.4	284.8	290.2	295.8	301.5	
R&D기여율 (%)	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	
사업기여율 (%)	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	
사업화성공율 (%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
편익(억원)	10.5	11.5	12.7	14.0	15.4	16.9	18.6	20.5	22.6	24.8	27.3	30.1	33.1	257.9
편익의 현재가치 (억원)	6.5	6.7	7.0	7.3	7.7	8.0	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.8	109.8

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.4 유용해양 생물자원 유인으로 인한 어획량 증대 편익 분석

1.4.1 일반 바다목장 1개소 당 1년 간 사업 시 어획량 추가 수익은 '26년 0.9억원에서 '38년 1.1억원으로 분석됨

- 일반 바다목장 1개소의 어획량 추가 수익은 태안 바다목장 시범사업(이하 태안 시범사업)의 1년간 평균 어획량 추가 수익에 태안 시범사업 사업규모 대비 일반 바다목장의 사업규모 비율과 연도별 물가지수를 곱하여 산출함¹²⁾
- 태안 시범사업의 1년간 평균 어획량 추가 수익은 태안 시범사업의 총 어획량 추가 수익 23억 8천만원을 사업 기간(9년)으로 나눈 뒤 연간 물가상승률을 곱하여 산출함

표 8-1-24. 태안 바다목장 시범사업 1년 시행 시 연도별 어획량 추가 수익 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
태안 바다목장 시범사업 1년 시행 시 어획량 추가 수익(억원)	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2

* 자료 : 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구 기반 KWs 연구진 분석

- 태안 시범사업 규모 대비 일반 바다목장 사업의 사업규모 비율은 일반 바다목장 사업의 1년간 사업비(10억원)를 태안 시범사업의 1년간 사업비로 나눈 값을 적용함
 - 태안 시범사업의 9년간 총 사업비는 337억원으로, 연간 평균 사업비는 37.4억원임

표 8-1-25. 태안 시범사업 규모 대비 일반 바다목장 사업규모 비율 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
태안 시범사업 1년간 사업비 (억원)	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4
일반 바다목장 사업 1년간 사업비 (억원)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
연간 태안 시범사업 규모 대비 일반 바다목장 사업규모 비율(%)	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7

* 자료 : 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구 기반 KWs 연구진 분석

12) 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구, 최종두, 수산경영론집 44권 3호, 2013년, 한국수산경영학회



- 태안 시범사업의 일반 바다목장 1년간 어획량 추가 수익과 일반 바다목장 대비 사업규모 비율을 고려한 일반 바다목장의 1개소 당 1년 시행 시 어획량 추가 수익은 '26년 0.9억원에서 '38년 1.1억원으로 분석됨

표 8-1-26. 일반 바다목장 1개소 당 1년 시행 시 연도별 어획량 추가 수익 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
태안 바다목장 시범사업 1년 시행 시 어획량 추가 수익(억원)	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2
태안 시범사업 규모 대비 일반 바다목장 사업규모 비율(%)	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
일반 바다목장 1개소 당 1년 시행 시 어획량 추가 수익(억원)	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

* 자료 : 해양수산부 보도자료 기반 KWs 연구진 분석

1.4.2 기존 인공어초를 이용한 일반 바다목장의 연간 어획량 추가 수익 총액은 '30년 6.8억원에서 '38년 28.3억원으로 증가가 전망됨

- 일본 수산청에서 펴낸 수산기반 정비 비용 효과 분석 가이드라인(2002)¹³⁾에 의하면 인공어초의 어획량 추가 발생 효과는 시설 착공 후 3년 이후부터 발생하는 것으로 가정하였으며, 기존 생태블럭을 이용한 일반 바다목장의 어획량 추가 수익 분석에서는 위 가이드라인의 기준을 준용함
- 앞서 산출한 일반 바다목장 1개소 당 1년 시행 시 어획량 추가 수익에 '1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익'에서 산정한 연간 바다목장 사업 진행 개소 수 22.7(개소)을 곱하여 연간 추가 어획량 발생 수익 총액을 산정함
 - 기존 해양생태블럭을 적용한 바다목장 조성사업을 '26년부터 시작한다고 가정할 경우, 추가 어획량 발생 효과는 '30년부터 발생하는 것으로 예상됨
- 기존 바다목장 사업에 적용되는 해양생태블럭의 경우 조식동물 피해 저감 기능이 없으므로, 연간 어획량 수익 중 조식동물로 인한 피해액 40%¹⁴⁾를 반영함

13) 水産基盤整備対費用効果分析ガイドライン, 水産庁漁港漁場整備本部, 2002.3

14) “바다사막화(갯녹음)” 현상 심각, 국회의원 김성곤 국정감사 보도자료, 2016.10.



- 조식동물로 인한 피해로 매년 40%씩 어획량 수익이 감소하므로, 이를 반영하여 기존 해양생태블럭의 어획량 증대 효과는 전년도 대비 60% 수준에 머무르는 것으로 설정함

표 8-1-27. 기존 인공어초를 사용한 일반 바다목장의 수익(억원) ('26~'38)

착공 년도(억원)	효과발생 년도												
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
2026년 착공분				6.8	4.1	2.5	1.5	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	
2027년 착공분					7.4	4.4	2.7	1.6	1.0	0.6	0.3	0.2	
2028년 착공분						8.0	4.8	2.9	1.7	1.0	0.6	0.4	
2029년 착공분							8.6	5.2	3.1	1.9	1.1	0.7	
2030년 착공분								9.3	5.6	3.3	2.0	1.2	
2031년 착공분									10.0	6.0	3.6	2.2	
2032년 착공분										10.8	6.5	3.9	
2033년 착공분											11.7	7.0	
2034년 착공분												12.6	
2035년 착공분													
2036년 착공분													
2037년 착공분													
연간 총 누적 어획량 추가 수익				6.8	11.5	14.8	17.5	19.8	21.9	24.0	26.1	28.3	

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.4.3 연구단 개발 기술 적용에 따른 일반 바다목장 연간 추가 어획량 수익 총액은 '27년 6.8억원, '38년 91.7억원으로 전망됨

- 일반 바다목장 1개소 당 1년 시행 시 어획량 추가 수익에 '1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익'에서 산정한 연간 바다목장 사업 진행 개소 수 22.7(개소)을 곱하여 연간 어획량 추가 수익 총액을 산정함
- 참여 연구진의 분석 결과를 바탕으로, 연구단 개발 해양생태블럭은 기존 해양생태블럭과 달리 착공 이듬해부터 유용해양생물자원 조성의 효과가 나타남을 고려하여 '27년부터 수익이 발생하는 것으로 고려함
 - 연구단 개발 해양생태블럭을 적용한 신규 바다목장사업의 시작 시점은 '26년으로 가정할 경우, 추가 어획량 발생 효과는 '27년부터 발생하는 것으로 예상됨



- 참여 연구진 분석 결과를 바탕으로 기존 해양생태블럭 대비 조식동물의 피해 저감률이 80%임을 고려하여, 어획량 수익이 전년도 대비 92% 수준으로 유지되는 것으로 설정함
 - 연구진 분석 결과, 조식동물 차단 시스템 예비 실험에서 조식동물이 완전히 차단되었으나, 실제 설치 환경 등을 감안하여 조류양식 피해액 저감률은 보수적으로 편익을 산정하는 관점에서 80%로 고려함
 - 조식동물로 인한 인공어초 피해가 기존 40%에서 80%저감될 경우 피해규모는 8%가 되며, 차년도에도 생존해 있는 조류는 92%로 산정함

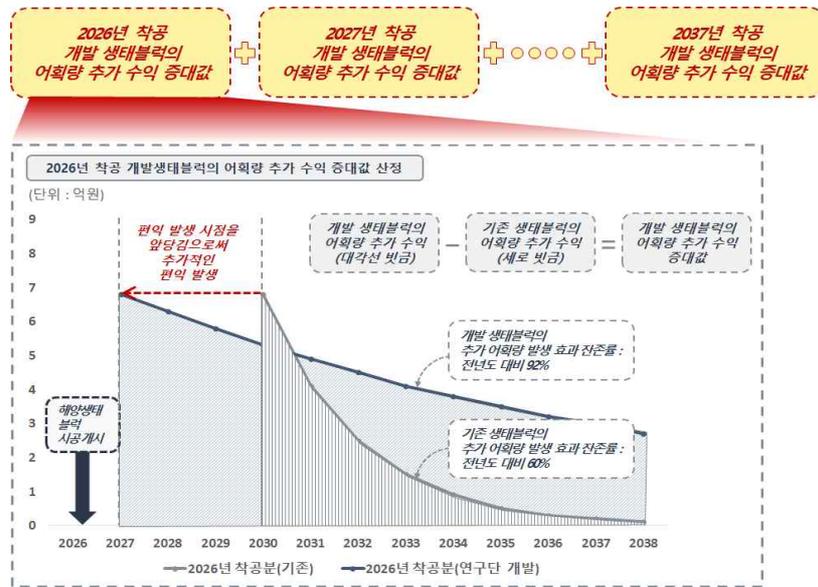
표 8-1-28. 연구단 개발 해양생태블럭을 사용한 일반 바다목장의 수익(억원) ('26~'38)

효과발생 착공 년도(억원)	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
2026년 착공분	6.8	6.3	5.8	5.3	4.9	4.5	4.1	3.8	3.5	3.2	3.0	2.7
2027년 착공분		7.4	6.8	6.2	5.7	5.3	4.9	4.5	4.1	3.8	3.5	3.2
2028년 착공분			8.0	7.3	6.7	6.2	5.7	5.2	4.8	4.4	4.1	3.8
2029년 착공분				8.6	7.9	7.3	6.7	6.2	5.7	5.2	4.8	4.4
2030년 착공분					9.3	8.5	7.9	7.2	6.6	6.1	5.6	5.2
2031년 착공분						10.0	9.2	8.5	7.8	7.2	6.6	6.1
2032년 착공분							10.8	10.0	9.2	8.4	7.8	7.1
2033년 착공분								11.7	10.8	9.9	9.1	8.4
2034년 착공분									12.6	11.6	10.7	9.8
2035년 착공분										13.6	12.5	11.5
2036년 착공분											14.7	13.5
2037년 착공분												15.9
연간 총 누적 어획량 추가 수익	6.8	13.6	20.5	27.4	34.5	41.8	49.3	57.0	65.1	73.5	82.4	91.7

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.4.4 연구단 개발 해양생태블럭 적용 시, 일반 바다목장의 어획량 추가 수익 증대값은 '26년 6.8억원에서 '38년 63.4억원으로 전망됨

- 연구단 개발 해양생태블럭을 일반 바다목장에 적용하였을 경우, 추가 어획량 발생 효과의 높은 잔존률과 편익 발생 시점의 단축으로 어획량 추가 수익이 증대될 것으로 예상된다



[그림 8-1-2] 기존 생태블럭과 연구단 개발 생태블럭의 발생 편익 차이 비교

- 연도별 연구단 개발 해양생태블럭 적용 시 어획량 추가 수익 증대값은 기존 해양생태블럭을 적용했을 경우와의 차이를 통해 산출함

표 8-1-29. 연구단 개발 해양생태블럭 적용 시 연도별 어획량 추가 수익 ('26~'38)

구분	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
기존 해양생태블럭 적용 시 추가 어획량 수익(억원)	-	-	-	6.8	11.5	14.8	17.5	19.8	21.9	24.0	26.1	28.3
연구단 개발 해양생태블럭 적용 시 추가 어획량 수익(억원)	6.8	13.6	20.5	27.4	34.5	41.8	49.3	57.0	65.1	73.5	82.4	91.7
연도별 총 어획량 추가 수익 증대 (억원)	6.8	13.6	20.5	20.6	23.1	27.0	31.8	37.2	43.2	49.6	56.3	63.4

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.4.5 유용해양 생물자원 유인으로 인한 어획량 증대 편익의 현재가치는 24.1억원으로 분석됨

- 개발기술의 사업기여도는 '1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석'에서 산정한 개발기



술의 사업기여도 82.1%를 적용함

- 개발기술의 R&D 기여도는 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판’에서 제시하고 있는 35.4%를 적용함
- 사업화성공률은 ‘1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석’에서 산정한 사업화성공률 50.0%를 적용함
- 현재가치 추정을 위한 할인율은 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 `07~`16년도 10년만기 국고채 이자율 평균값으로 설정함

표 8-1-30. 유용해양 생물자원 유인으로 인한 어획량 증대 편익의 현재가치 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	계
신규기존 해양생태블럭 어획량 수익 차이(억원)	0	6.8	13.6	20.5	20.6	23.1	27.0	31.8	37.2	43.2	49.6	56.3	63.4	
R&D기여율 (%)	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	
사업기여율 (%)	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	
사업화성공률 (%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
편익(억원)	0.0	0.9	1.9	2.8	2.9	3.3	4.0	4.8	5.7	6.7	7.9	9.1	10.5	60.5
편익의 현재가치 (억원)	0.0	0.5	1.0	1.5	1.5	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.4	24.1

* 자료 : KWs 연구진 분석



1.5 조식동물로 인한 조류양식 피해액 저감 편익 분석

1.5.1 연간 조식동물로 인한 조류양식 피해액은 `26년 64.1억원, `38년 80.5억원으로 전망됨

○ `16년 현재 국내 해역 1ha 당 어업소득은 1,147만원으로, 이중 조식동물에 의한 피해액은 40%로, 458만 9천원에 달하는 것으로 조사됨¹⁵⁾

연간 갯녹음 발생 면적 1,200ha에 1ha 당 연간 조식동물에 의한 피해액을 곱하면 `16년 현재 연간 조식동물로 인한 조류양식 피해액은 55.1억원임

○ `16년 현재 조류양식 피해액 55.1억원에 연간 물가상승률을 곱하여 `26년부터 `38년까지의 조류양식 피해액을 산정함

표 8-1-31. 연간 조식동물로 인한 조류양식 피해액 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연간 조식동물로 인한 조류양식 피해액(억원)	64.1	65.3	66.6	67.8	69.1	70.5	71.8	73.2	74.6	76.0	77.5	79.0	80.5

* 자료 : 국정감사 보도자료 기반 KWs 연구진 분석

1.5.2 연구단 개발 기술 적용에 따른 조식동물로 인한 조류양식 총 피해 절감액은 `26년 15.4억원, `35년 48.7억원으로 전망됨

○ 조류양식 총 피해 절감액은 연간 조식동물로 인한 조류양식 피해액에 1.1절 ‘국내 해양생태블럭 매출 편익’에서 산정한 연구단 개발 생태블럭의 시장점유율과 조식동물로 인한 조류양식 피해액 저감률을 곱하여 산출함

○ 연구단 개발 생태블럭 적용 시 조식동물로 인한 조류양식 피해액 저감률은 `26~`38년 80%으로 전망됨

- 연구진 조사 결과, 조식동물 차단 시스템 예비 실험에서 조식동물이 완전히 차단되었으나, 실제 설치 환경 등을 감안하여 조류양식 피해액 저감률은 보수적으로 편익을 산정하는 관점에서 80%로 고려함

15) “바다사막화(갯녹음)” 현상 심각, 국회의원 김성곤 국정감사 보도자료, 2016.10.



표 8-1-32. 연구단 개발 생태블럭 적용 시 조류양식 피해 절감액 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연간 조식동물로 인한 조류양식 피해액(억원)	64.1	65.3	66.6	67.8	69.1	70.5	71.8	73.2	74.6	76.0	77.5	79.0	80.5
연구단 개발 생태블럭 적용시 조식동물로 인한 조류양식 피해액 저감률 (%)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
연구단 개발 기술적용에 따른 조식동물로 인한 조류양식 피해 절감액 (억원)	15.4	16.9	18.6	20.5	22.6	24.9	27.4	30.1	33.1	36.5	40.2	44.2	48.7

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.5.3 조식동물로 인한 조류양식 피해액 저감 편익의 현재가치는 23.4억원으로 분석됨

- 개발기술의 사업기여도는 ‘1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석’에서 산정한 개발기술의 사업기여도 82.1%를 적용함
- 개발기술의 R&D 기여도는 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판’에서 제시하고 있는 35.4%를 적용함
- 사업화성공률은 ‘1.1 국내 해양생태블럭 매출 편익 분석’에서 산정한 사업화성공률 50.0%를 적용함
- 현재가치 추정을 위한 할인율은 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 `07~`16년도 10년만기 국고채 이자율 평균값으로 설정함

표 8-1-33. 조식동물로 인한 조류양식 피해액 저감 편익의 현재가치 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	계
연구단 개발 기술적용에 따른 조식동물로 인한 조류양식 피해 절감액(억원)	15.4	16.9	18.6	20.5	22.6	24.9	27.4	30.1	33.1	36.5	40.2	44.2	48.7	
R&D기여율(%)	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	
사업기여율(%)	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	
사업화성공율 (%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
편익(억원)	2.2	2.5	2.7	3.0	3.3	3.6	4.0	4.4	4.8	5.3	5.8	6.4	7.1	55.1
편익의 현재가치(억원)	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	23.4

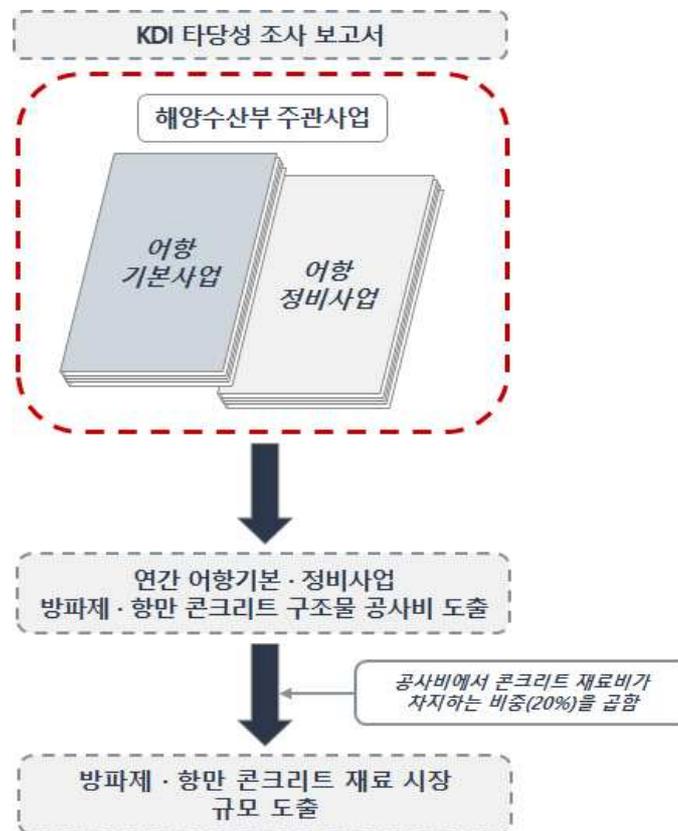
* 자료 : KWs 연구진 분석



1.6 해양구조물용 친환경 고내구성 콘크리트 재료 매출 편의 분석

1.6.1 연도별 해양 콘크리트 구조물 공사비 규모는 '26년 2328.2억원에서 '38년 2557.1억원으로 증가할 것으로 전망됨

- 연도별 해양 콘크리트 구조물 공사비 규모는 해양수산부에서 시행하는 '어항기본사업' 및 '어항정비사업'의 총 사업비에 방파제 및 항만시설의 공사비가 차지하는 비중을 곱하여 추정함
- 최근 10년 이내에 수행된 총 8건의 개별 사업 KDI 예비타당성조사 보고서에서 방파제 및 항만 시설 공사비 비중의 평균을 산출한 후, '어항기본사업'과 '어항정비사업' 각각의 연간 총 사업비에 곱하여 연간 방파제 및 항만시설 구조물 공사 시장 규모를 추정함



[그림 8-1-3] 방파제·항만 콘크리트 구조물 시장 규모 도출 과정

- 공사비 조사 대상 사업(총 8건)¹⁶⁾ : 청산도항 정비사업('16), 장고항 개발사업('14), 동해·묵호항 개발사업('12), 한림항 개발사업('10), 애월항 2단계 개발사업

16) 한국개발연구원(KDI) 홈페이지(<http://kdi.re.kr/search>)



(‘10), 감포항 정비사업(‘09), 죽변항 정비사업(‘09), 안흥항 정비사업(‘07)

상기 항만 개발정비사업은 모두 해양수산부의 ‘항만 및 어항설계기준’을 준용함

- 어항기본사업(항만 신규 개발사업) 사업비 중 평균 방파제 공사비 비중은 37.6%로, 평균 항만 공사비 비중은 14.8%로 분석됨

표 8-1-34. 어항기본사업(신규 개발 사업) 사업비 중 방파제 및 항만 공사비가 차지하는 비중

구분	총 사업비(억원)	방파제 공사비(억원)	항만 공사비(억원)
장고항 건설사업(‘14)	785.4	286.5	127.4
동해·묵호항 개발사업(‘12)	135.0	62.2	15.7
한림항 개발사업(‘10)	15.8	10.2	0.55
애월항 2단계 개발사업(‘10)	46.3	10.9	1.8
총계	982.5	369.8(비중 37.6%)	145.5(비중 14.8%)

* 자료 : KDI 타당성조사 보고서 기반 KWs 연구진 분석

- 어항정비사업(항만 정비 사업) 사업비 중 평균 방파제 공사비 비중은 57.5%로, 평균 항만 공사비 비중은 17.5%로 분석됨

표 8-1-35. 어항정비사업(항만 정비 사업) 사업비 중 방파제 및 항만 공사비가 차지하는 비중

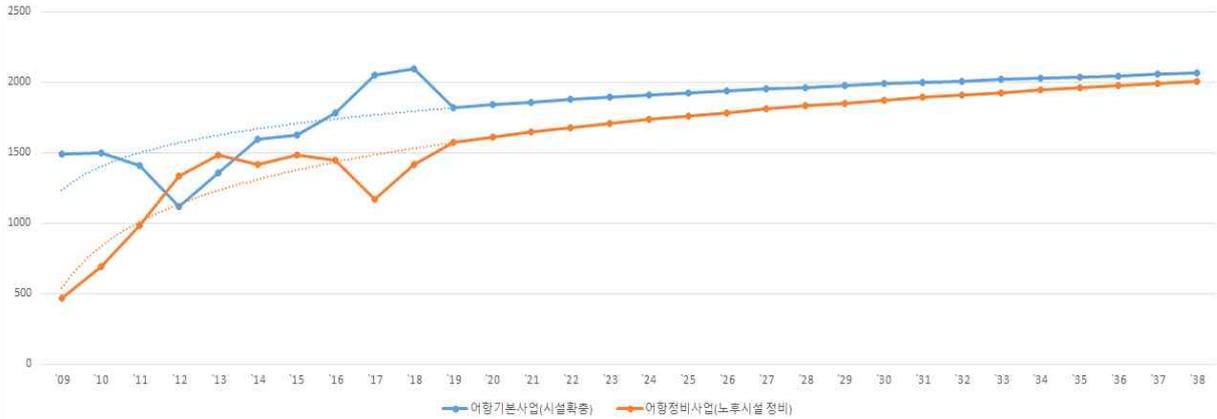
구분	총 사업비	방파제 공사비	항만 공사비
청산도항 정비사업(‘16)	572.0	227.6	42.8
죽변항 정비사업(‘09)	520.0	355.6	26.1
안흥항 정비사업(‘08)	718.5	360.9	300.7
감포항 정비사업(‘09)	404.5	329.2	17.8
총계	2215.1	1273.3(비중 57.5%)	387.3(비중 17.5%)

* 자료 : KDI 타당성조사 보고서 기반 KWs 연구진 분석

- 연간 어항기본사업 및 어항정비사업의 총 사업비 규모는 ‘제1차 어촌어항발전 기본계획’¹⁷⁾ 및 ‘제 2차 어촌어항발전 기본계획’¹⁸⁾에서 제시된 사업비를 기반으로 추정함
- 어항기본사업 및 어항정비사업은 `18년까지 계획되어 있으며, `30년 이후에도 동 사업이 동일한 규모로 지속적으로 추진되는 것으로 가정함
- 2019년 이후의 사업비 규모는 로그 추세를 활용하여 추정함

17) 제1차 어촌어항발전기본계획 (2009~2013), 농림수산식품부, 2008.12

18) 제2차 어촌어항발전기본계획 수정계획(2014~2018), 해양수산부 어촌어항과, 2015.7



[그림 8-1-4] 어항기본사업 및 어항정비사업 추정

표 8-1-36. 어항기본사업 및 어항정비사업의 연간 총 사업비 규모(억원) ('09~'38)

연도	어항기본사업 사업비 규모(억원)	어항정비사업 사업비 규모(억원)
2009	1489	471
2010	1495	691
2011	1406	981
2012	1116	1331
2013	1358	1483
2014	1592.3	1419
2015	1621	1480
2016	1780	1445
2017	2050	1168
2018	2096	1412
2019 (추정)	1817.0	1571.3
2020 (추정)	1838.3	1608.8
2021 (추정)	1857.8	1643.4
2022 (추정)	1875.9	1675.4
2023 (추정)	1892.8	1705.2
2024 (추정)	1908.5	1733.0
2025 (추정)	1923.3	1759.2
2026 (추정)	1937.3	1783.9
2027 (추정)	1950.5	1807.2
2028 (추정)	1963.0	1829.4
2029 (추정)	1974.9	1850.5
2030 (추정)	1986.3	1870.5
2031 (추정)	1997.1	1889.7
2032 (추정)	2007.5	1908.1
2033 (추정)	2017.5	1925.7
2034 (추정)	2027.1	1942.7
2035 (추정)	2036.3	1959.0
2036 (추정)	2045.2	1974.7
2037 (추정)	2053.7	1989.8
2038 (추정)	2062.0	2004.5

○ 어항기본사업의 방파제 구조물 공사비 규모는 `26년 729.1억원에서 `38년 776.0억원으로 증가가 예상됨

- 총 사업비중 방파제 공사비가 차지하는 비중은 KDI의 어항기본사업에 대한 타당성분석 보고서의 사업비목별 비중인 37.67%를 적용함

표 8-1-37. 어항기본사업의 방파제 공사 시장 규모(억원) (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
어항기본사업 규모(억원)	1937.3	1950.5	1963.0	1974.9	1986.3	1997.1	2007.5	2017.5	2027.1	2036.3	2045.2	2053.7	2062.0
총 사업비중 방파제 공사비가 차지하는 규모(%)	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6
어항기본사 업 방파제 공사비 규모(억원)	729.1	734.1	738.8	743.3	747.5	751.6	755.5	759.3	762.9	766.4	769.7	772.9	776.0

* 자료 : KWs 연구진 분석

○ 어항기본사업의 항만 구조물 공사비 규모는 `26년 286.8억원에서 `38년 305.3억원으로 증가가 예상됨

- 총 사업비중 항만 구조물 공사비가 차지하는 비중은 KDI의 어항기본사업에 대한 타당성분석 보고서의 사업비목별 비중인 14.8%를 적용함

표 8-1-38. 어항기본사업의 항만 공사 시장 규모(억원) (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
어항기본사업 규모(억원)	1937.3	1950.5	1963.0	1974.9	1986.3	1997.1	2007.5	2017.5	2027.1	2036.3	2045.2	2053.7	2062.0
총 사업비중 항만 공사비가 차지하는 규모(%)	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
어항기본사 업 항만 공사비 규모(억원)	286.8	288.8	290.6	292.4	294.1	295.7	297.2	298.7	300.1	301.5	302.8	304.1	305.3

* 자료 : KWs 연구진 분석

○ 어항정비사업의 방파제 구조물 공사비 규모는 `26년 1025.4억원에서 `38년 1152.2억원



으로 증가가 예상됨

- 총 사업비중 방파제 공사비가 차지하는 비중은 KDI의 어항정비사업에 대한 타당성분석 보고서의 사업비목별 비중인 57.5%를 적용함

표 8-1-39. 어항정비사업의 방파제 공사 시장 규모(억원) ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
어항정비사업 규모(억원)	1783.9	1807.2	1829.4	1850.5	1870.5	1889.7	1908.1	1925.7	1942.7	1959.0	1974.7	1989.8	2004.5
총 사업비 중 방파제 공사비가 차지하는 규모(%)	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5	57.5
어항정비사업 방파제 공사비 규모(억원)	1025.4	1038.8	1051.6	1063.7	1075.2	1086.3	1096.8	1107.0	1116.7	1126.1	1135.1	1143.8	1152.2

* 자료 : KWs 연구진 분석

○ 어항정비사업의 항만 구조물 공사비 규모는 '26년 311.9억원에서 '38년 350.5억원으로 증가가 예상됨

- 총 사업비중 항만 구조물 공사비가 차지하는 비중은 KDI의 어항정비사업에 대한 타당성분석 보고서의 사업비목별 비중인 17.5%를 적용함

표 8-1-40. 어항정비사업의 항만 공사 시장 규모(억원) ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
어항정비사업 규모(억원)	1937.3	1950.5	1963.0	1974.9	1986.3	1997.1	2007.5	2017.5	2027.1	2036.3	2045.2	2053.7	2062.0
총 사업비 중 항만 공사비가 차지하는 규모(%)	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
어항정비사업 항만 공사비 규모(억원)	311.9	316.0	319.9	323.6	327.1	330.5	333.7	336.8	339.7	342.6	345.3	348.0	350.5

* 자료 : KWs 연구진 분석



- 연간 방파제 구조물 공사비 규모는 `26년 1754.5억원에서 `38년 1928.2억원으로, 항만 구조물 공사비 규모는 `26년 598.8억원에서 `38년 655.8억원으로 증가세가 전망되며, 총 해양콘크리트 구조물 공사비 규모는 `26년 2,353.3억원에서 `38년 2,548.0억원으로 증가가 예상됨
 - 각 구조물의 공사비 규모는 어항기본사업과 어항정비사업의 공사비 규모를 합산하여 산출함

표 8-1-41. 연도별 해양 콘크리트 구조물 공사비 규모(억원) (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
방파제 콘크리트 구조물 공사비 규모 (억원)	1754.5	1772.9	1790.3	1806.9	1822.8	1837.9	1852.4	1866.2	1879.6	1892.4	1904.8	1916.7	1928.2
항만시설 콘크리트 구조물 공사비 규모 (억원)	598.8	604.8	610.5	616.0	621.2	626.1	630.9	635.4	639.8	644.0	648.1	652.0	655.8
해양 콘크리트 구조물 공사비 규모 (억원)	2353.3	2377.7	2400.9	2422.9	2443.9	2464.0	2483.2	2501.7	2519.4	2536.4	2552.9	2568.7	2584.0

* 자료 : KWS 연구진 분석

1.6.2 해양구조물용 친환경 고내구성 콘크리트 재료 매출액은 `26년 141.2억원에서 `38년 227.2억원으로 증가할 것으로 전망됨

- 해양 콘크리트 구조물 공사비 규모 중 콘크리트 재료비가 차지하는 비중은 방파제·항만 구조물 모두 편익기간 동안 20%로 고려함
- 해양 콘크리트 구조물 공사비 중 콘크리트 재료비가 차지하는 비중은 연구진 분석 결과로 도출된 값을 적용함
 - 대부분의 콘크리트 공사에서 거푸집 비용이 60-70%를, 재료비가 20% 수준을 차지한다는 점을 고려하여, 방파제 및 항만 공사비 중 콘크리트 재료비가 차지하는 비중은 모두 20%로 설정함
- 연구단 개발 친환경 고내구성 콘크리트 재료의 시장 점유율은 `26년 30%에서 `38년



44%로 증가할 것으로 전망됨

- 연구단 개발 콘크리트의 방파제 및 항만시설 콘크리트 재료 시장 점유율 예상 수치는 참여기업 연구진 전망 및 분석 결과를 적용함
 - 연구단 개발 콘크리트의 초기 시장 진입 시에는 일부 시설 분야에서 사용되다가 10년이 지난 시점에서는 40% 이상으로 점유율의 증가가 예상됨

표 8-1-42. 개발 콘크리트 재료의 해양구조물 시장 점유율(%) ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
연구단 개발 콘크리트 재료의 시장 점유율 (%)	30	31	32	33	34	35	36	38	39	40	41	43	44

* 자료 : 참여기업 연구진 전망 및 분석결과 기반 KWs 연구진 분석

- 해양 콘크리트 구조물 및 대상 시장 점유율을 고려한 해양구조물용 친환경 고내구성 콘크리트 재료의 매출액은 '26년 141.2억원에서 '38년 227.2억원으로 증가가 전망됨
- 방파제 및 항만시설 콘크리트 구조물 공사 시장에 콘크리트 재료비가 차지하는 비중(20%)과 연구단 개발 친환경 콘크리트 재료의 대상 시장 점유율을 곱하여 총 매출 편익을 산출함

표 8-1-43. 개발 해양구조물용 친환경 고내구성 콘크리트 재료 매출액 전망(억원) ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
해양 콘크리트 구조물 공사 시장 (억원)	2353.3	2377.7	2400.9	2422.9	2443.9	2464.0	2483.2	2501.7	2519.4	2536.4	2552.9	2568.7	2584.0
해양 콘크리트 구조물 중 콘크리트 재료비가 차지하는 비중(%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
연구단 개발 콘크리트 재료의 시장 점유율 (%)	30	31	32	33	34	35	36	38	39	40	41	43	44
연구단 개발 해양구조물용 친환경 고내구성 콘크리트 재료 매출액 (억원)	141.2	147.3	153.6	160.0	166.6	173.5	180.5	187.7	195.2	202.9	210.9	219.1	227.5

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.6.3 친환경 고내구성 해양 콘크리트 재료 매출 편익의 현재가치는 30.8 억원으로 분석됨

- 개발기술의 사업기여도는 ‘1.1 국내 해양생태블록 매출 편익 분석’에서 산정한 개발기술의 사업기여도 82.1%를 적용함
- 개발기술의 R&D 기여도는 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판’에서 제시하고 있는 35.4%를 적용함
- 개발기술의 부가가치율은 ‘1.1 국내 해양생태블록 매출 편익 분석’에서 산정한 콘크리트 산업의 부가가치율 20.2%를 적용함
- 사업화성공률은 ‘1.1 국내 해양생태블록 매출 편익 분석’에서 산정한 사업화성공률 50.0%를 적용함
- 현재가치 추정을 위한 할인율은 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 `07~`16년도 10년만기 국고채 이자율 평균값으로 설정함

표 8-1-44. 해양구조물용 친환경 고내구성 콘크리트 재료 매출 편익의 현재가치 (`26~`38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	계
연구단 개발 친환경 고내구성 콘크리트 재료 매출액(억원)	141.2	147.3	153.6	160.0	166.6	173.5	180.5	187.7	195.2	202.9	210.9	219.1	227.5	
콘크리트제품 제조업의 부가가치율 (%)	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	
R&D기여율 (%)	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	
사업기여율 (%)	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	
사업화성공율 (%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
편익(억원)	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.7	69.4
편익의 현재가치 (억원)	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	30.8

* 자료 : KWs 연구진 분석



1.7 내구수명 향상으로 인한 해상 콘크리트 구조물 재건설 비용 절감 편익 분석

1.7.1 기존 방파제 콘크리트의 연도별 총 재건설 비용은 '27년 3.6억원에서 '38년 59.7억원으로 증가할 것으로 전망됨

- 기존 방파제 콘크리트 재료 시장은 '1.6 콘크리트 재료 매출 편익 분석'에서 산정한 연도별 재료시장의 산정값을 준용함
- 기존 방파제 콘크리트 재료의 내구수명은 30년으로, 콘크리트 구조물의 재건설 비용을 30년에 걸쳐 모두 소진하는 것으로 가정함
 - '10년 2월 방파제 사용연한을 30년으로 확대하는 '공유수면 관리 및 매립에 관한 법률안'이 통과됨¹⁹⁾
- 기존 방파제 콘크리트 재료의 재건설 비용은 기존 연간 방파제 콘크리트 재료시장을 기존 콘크리트의 내구 수명으로 나누어 산출하며, 전년도의 콘크리트 재건설 비용과 누적 값으로 연도별 총 재건설 비용을 산정함

표 8-1-45. 기존 콘크리트를 사용한 방파제 콘크리트 연도별 재건설 비용(억원) ('26~'38)

재건설발생 작공 년도(억원)	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
방파제 콘크리트 재료 시장	105.3	109.8	114.5	119.3	124.3	129.4	134.6	140.1	145.6	151.4	157.3	163.5	169.8
기존 방파제 콘크리트 수명	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
2026년 착공분	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.0	5.2	5.4	5.7
2027년 착공분		3.6	3.7	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	4.9	5.1	5.3	5.6
2028년 착공분			3.6	3.8	4.0	4.1	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.2	5.4
2029년 착공분				3.7	3.9	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	4.9	5.1	5.3
2030년 착공분					3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.2
2031년 착공분						3.9	4.0	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1
2032년 착공분							3.9	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0
2033년 착공분								4.0	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9
2034년 착공분									4.1	4.3	4.4	4.6	4.8
2035년 착공분										4.2	4.3	4.5	4.7
2036년 착공분											4.2	4.4	4.6
2037년 착공분												4.3	4.5
2038년 착공분													4.4
연간 누적 총 재건설 비용(억원)	0.0	3.6	7.4	11.4	15.7	20.2	25.0	30.0	35.4	41.0	46.9	53.2	59.7

* 자료 : KWs 연구진 분석

19) 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률안(대안), 국토해양위원장 제안, 2010.2.25.

1.7.2 연구단 개발 방파제 콘크리트의 연도별 총 재건설 비용은 '27년 2.1 억원에서 '38년 35.8억원으로 증가할 것으로 전망됨

- 연구단 개발 방파제 콘크리트 재료의 내구수명은 50년으로, 콘크리트 구조물의 재건설 비용을 50년에 걸쳐 모두 소진하는 것으로 가정함
 - 방파제 수명에 관한 근래의 연구에서는 장래의 방파제 수명을 50년 이상으로 예상하고 있으며, 이러한 연구 결과를 준용하여 연구단 개발 방파제 콘크리트의 내구 수명을 50년으로 고려함²⁰⁾²¹⁾
- 연구단 개발 방파제 콘크리트 재료의 재건설 비용은 연간 방파제 콘크리트 재료시장을 연구단 개발 콘크리트의 내구 수명으로 나누어 산출하며, 전년도의 콘크리트 재건설 비용과 누적 값으로 연도별 총 재건설 비용을 산정함

표 8-1-46. 연구단 개발 콘크리트를 사용한 방파제 콘크리트 연도별 재건설 비용(억원) ('26~'38)

재건설발생 착공 년도(억원)	재건설발생 년도													
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
방파제 콘크리트 재료 시장	105.3	109.8	114.5	119.3	124.3	129.4	134.6	140.1	145.6	151.4	157.3	163.5	169.8	
개발 방파제 콘크리트 수명	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
2026년 착공분	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.3	3.4	
2027년 착공분		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	
2028년 착공분			2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.3	
2029년 착공분				2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	
2030년 착공분					2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	
2031년 착공분						2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	
2032년 착공분							2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	
2033년 착공분								2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.0	
2034년 착공분									2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	
2035년 착공분										2.5	2.6	2.7	2.8	
2036년 착공분											2.5	2.7	2.8	
2037년 착공분												2.6	2.7	
2038년 착공분													2.6	
연간 누적 총 재건설 비용(억원)	0.0	2.1	4.4	6.8	9.4	12.1	15.0	18.0	21.2	24.6	28.2	31.9	35.8	

* 자료 : KWs 연구진 분석

20) 기후변화 효과를 고려한 케이스 방파제의 시간 의존 성능 설계, 서경덕 외 5인, 한국해양 해양공학회 논문집, 23(3), 215-225.
 21) 반복적인 장기파랑을 받는 콘크리트 케이스 방파제의 피로해석, 김선우 외 4인, 한국콘크리트학회 2014 가을 학술대회 논문집, 147-148.



1.7.3 기존 항만 콘크리트의 연도별 총 재건설 비용은 '27년 0.4억원에서 '38년 7.2억원으로 증가할 것으로 전망됨

- 기존 항만 콘크리트 재료 시장은 '1.6 콘크리트 재료 매출 편익 분석'에서 산정한 연도별 재료시장의 산정값을 준용함
- 기존 항만 콘크리트 재료의 내구수명은 85년으로, 콘크리트 구조물의 재건설 비용을 85년에 걸쳐 모두 소진하는 것으로 가정함
 - 콘크리트 표준 시방서(국토교통부, 2016)에서는 해양 항만용 콘크리트의 내구수명을 85년으로 설정하고 있음
- 기존 항만 콘크리트 재료의 재건설 비용은 기존 항만 방파제 콘크리트 재료시장을 기존 콘크리트의 내구 수명으로 나누어 산출하며, 전년도의 콘크리트 재건설 비용과 누적 값으로 연도별 총 재건설 비용을 산정함

표 8-1-47. 기존 콘크리트를 사용한 항만 콘크리트 연도별 비용(억원) ('26~'38)

재건설발생 착공 년도(억원)	연도												
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
항만 콘크리트 재료 시장	35.9	37.5	39.1	40.7	42.4	44.1	45.9	47.7	49.6	51.5	53.5	55.6	57.7
기존 항만 콘크리트 수명	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
2026년 착공분	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
2027년 착공분		0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
2028년 착공분			0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
2029년 착공분				0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2030년 착공분					0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2031년 착공분						0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
2032년 착공분							0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
2033년 착공분								0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
2034년 착공분									0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
2035년 착공분										0.5	0.5	0.5	0.6
2036년 착공분											0.5	0.5	0.6
2037년 착공분												0.5	0.5
2038년 착공분													0.5
연간 누적 총 재건설 비용(억원)	0.0	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	3.0	3.6	4.3	4.9	5.6	6.4	7.2

* 자료 : KWS 연구진 분석



1.7.4 연구단 개발 항만 콘크리트의 연도별 총 재건설 비용은 '27년 0.3억 원에서 '38년 5.1억 원으로 증가할 것으로 전망됨

- 연구단 개발 항만 콘크리트 재료의 내구수명은 120년으로, 콘크리트 구조물의 재건설 비용을 120년에 걸쳐 모두 소진하는 것으로 가정함
 - 국내 연구에서 해양 콘크리트의 수명을 기존 콘크리트 대비 1.6~3.3배 이상으로 확보하거나, 100년 이상의 내구수명을 달성하기 위한 배합 및 재료에 관한 연구가 진행된 바 있으며, 이러한 연구 결과를 준용하여 연구단 개발 해양 콘크리트의 내구 수명을 120년으로 고려함²²⁾²³⁾
- 연구단 개발 항만 콘크리트 재료의 재건설 비용은 연간 항만 콘크리트 재료시장을 연구단 개발 콘크리트의 내구 수명으로 나누어 산출하며, 전년도의 콘크리트 재건설 비용과 누적값으로 연도별 총 재건설 비용을 산정함

표 8-1-48. 연구단 개발 콘크리트를 사용한 항만 콘크리트 연도별 재건설 비용(억원) ('26~'38)

재건설발생 착공 년도(억원)	재건설발생 년도													
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
항만 콘크리트 재료 시장	35.9	37.5	39.1	40.7	42.4	44.1	45.9	47.7	49.6	51.5	53.5	55.6	57.7	
개발 항만 콘크리트 수명	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	
2026년 착공분	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	
2027년 착공분		0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	
2028년 착공분			0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	
2029년 착공분				0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	
2030년 착공분					0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
2031년 착공분						0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
2032년 착공분							0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
2033년 착공분								0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
2034년 착공분									0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	
2035년 착공분										0.4	0.4	0.4	0.4	
2036년 착공분											0.4	0.4	0.4	
2037년 착공분												0.4	0.4	
2038년 착공분													0.4	
연간 누적 총 재건설 비용(억원)	0.0	0.3	0.6	1.0	1.3	1.7	2.1	2.6	3.0	3.5	4.0	4.5	5.1	

* 자료 : KWS 연구진 분석

22) 내구수명 100년 해양콘크리트의 배합사례, 장봉석, 안정환, 2008년 한국콘크리트학회 춘계 학술발표대회, 1073-1076.

23) 하중조건과 슬래그를 고려한 콜드조인트 콘크리트의 염해 내구수명 평가, 오경석, 한남대학교 석사학위논문, 2007.



1.7.5 방파제 콘크리트 시장에서의 콘크리트 내구수명 향상으로 인한 재건설 비용 절감액은 '27년 1.4억원에서 '38년 23.9억원으로 전망됨

○ 재건설 비용 절감액은 기존 방파제 콘크리트의 연간 재건설 비용과 연구단 개발 방파제 콘크리트의 연간 재건설 비용의 차이로 산정함

표 8-1-49. 콘크리트 내구수명 향상으로 인한 방파제 재건설 비용 절감액 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
기존 방파제 콘크리트 연간 총 재건설 비용(억원)	0.0	3.6	7.4	11.4	15.7	20.2	25.0	30.0	35.4	41.0	46.9	53.2	59.7
연구단 개발 방파제 콘크리트 연간 총 재건설 비용(억원)	0.0	2.1	4.4	6.8	9.4	12.1	15.0	18.0	21.2	24.6	28.2	31.9	35.8
방파제 콘크리트 재건설 비용 절감액(억원)	0.0	1.4	3.0	4.6	6.3	8.1	10.0	12.0	14.1	16.4	18.8	21.3	23.9

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.7.6 항만 콘크리트 시장에서의 콘크리트 내구수명 향상으로 인한 재건설 비용 절감액은 '27년 0.1억원에서 '38년 1.5억원으로 전망됨

○ 재건설 비용 절감액은 기존 하암 콘크리트의 연간 재건설 비용과 연구단 개발 항만 콘크리트의 연간 재건설 비용의 차이로 산정함

표 8-1-50. 콘크리트 내구수명 향상으로 인한 항만 재건설 비용 절감액 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
기존 항만 콘크리트 연간 총 재건설 비용(억원)	0.0	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	3.0	3.6	4.3	4.9	5.6	6.4	7.2
연구단 개발 항만 콘크리트 연간 총 재건설 비용(억원)	0.0	0.3	0.6	1.0	1.3	1.7	2.1	2.6	3.0	3.5	4.0	4.5	5.1
항만 콘크리트 재건설 비용 절감액(억원)	0.0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1

* 자료 : KWs 연구진 분석



1.7.7 내구수명 향상으로 인한 해상 콘크리트 구조물 재건설 비용 절감액은 '27년 1.6억원, '38년 26.0억원으로 전망됨

- 내구수명 향상으로 인한 해상 콘크리트 구조물 재건설 총 비용 절감액은 방파제·항만 구조물에 연구단 개발 콘크리트를 사용했을 경우, 기존 콘크리트를 사용한 경우보다 절감되는 재건설 비용의 합계를 통해 산정함

표 8-1-51. 콘크리트 내구수명 향상으로 인한 재건설 비용 총 절감액 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
방파제 콘크리트 재건설 비용 절감액(억원)	0.0	1.4	3.0	4.6	6.3	8.1	10.0	12.0	14.1	16.4	18.8	21.3	23.9
항만 콘크리트 재건설 비용 절감액(억원)	0.0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1
내구수명 향상으로 인한 재건설 비용 총액(억원)	0.0	1.6	3.2	5.0	6.8	8.8	10.9	13.1	15.4	17.8	20.4	23.1	26.0

* 자료 : KWs 연구진 분석

1.7.8 콘크리트 내구성 향상으로 인한 재건설 비용 절감 편익의 현재가치는 8.7억원으로 분석됨

- 개발기술의 사업기여도는 '1.1 국내 해양생태블록 매출 편익 분석'에서 산정한 개발기술의 사업기여도 82.1%를 적용함
- 개발기술의 R&D 기여도는 '연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판'에서 제시하고 있는 35.4%를 적용함
- 사업화성공률은 '1.1 국내 해양생태블록 매출 편익 분석'에서 산정한 사업화성공률 50.0%를 적용함
- 현재가치 추정을 위한 할인율은 한국은행경제통계시스템에서 제공하는 '07~'16년도 10년만기 국고채 이자율 평균값으로 설정함



표 8-1-52. 콘크리트 내구성 향상으로 인한 재건설 비용 절감 편익의 현재가치 ('26~'38)

구분	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	계
내구수명 향상으로 인한 해상 콘크리트 구조물 재건설 비용 절감액(억원)	0.0	1.6	3.2	5.0	6.8	8.8	10.9	13.1	15.4	17.8	20.4	23.1	26.0	
R&D기여율(%)	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	
사업기여율(%)	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	82.1	
사업화성공율 (%)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
편익(억원)	0.0	0.2	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	22.1
편익의 현재가치(억원)	0.0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	8.7

* 자료 : KWs 연구진 분석



2 B/C ratio 분석

2.1 개요

2.1.1 B/C ratio는 미래 편익흐름의 현재가치 합계가 미래 비용흐름의 현재가치 합계보다 크거나 같은 사업을 선정하는데 활용되는 방법임

- B/C ratio가 1보다 크면 편익이 비용을 상쇄하므로 사업의 경제성은 확보되는 것으로 볼 수 있음
- B/C ratio가 크면 클수록 사업비용 한 단위 당 편익 발생이 크므로 경제적 효과가 큰 사업으로 볼 수 있음
- B/C ratio는 편익과 비용의 비율로 나타내며, 산정식은 아래와 같음

$$B/C \text{ ratio} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

t : 편익/비용 발생시점(년도)

B_t : t 년도에 발생한 편익

C_t : t 년도에 발생한 비용

r : 할인율

- 편익으로 '바다사막화 대응 해양생태블럭 개발과제' 경제적 편익의 현재가치 총합을 투입함
- 비용으로 '바다사막화 대응 해양생태블럭 개발과제' 연구개발 예산의 현재가치를 투입함

2.2 비용산정

2.2.1 '바다사막화 대응 해양생태블럭 개발과제'의 1단계 사업과 2단계 사업 예산을 합한 총 연구개발 예산은 270억원이며, 현재가치를 고려하면 212.5억원으로 분석됨

- 본 개발과제는 해양생태블럭을 개발하는 1단계 사업과 현장적용 검증을 수행하는 2단계 사업으로 구분되어 있으며, 1단계 사업은 170억원, 2단계 사업은 100억원이 소요되는 것으로 설정함



표 8-2-1. 연도별 연구개발 예산 (`18~`25)

구분	1단계 사업					2단계 사업			계
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
연구개발 예산(억원)	25	30	35	40	40	40	30	30	270
연구개발 예산의 현재가치(억원)	23.7	27.0	29.8	32.3	30.6	29.0	20.6	19.6	212.5

2.3 편익분석

2.3.1 ‘바다사막화 대응 해양생태블럭 개발과제’ 편익의 현재가치 총합은 293.9억원임

표 8-2-2. 편익의 현재가치 총합

구분	편익 현재가치(억원)
국내 해양생태블럭 매출 편익	72.9
해외기술이전을 통한 기술료 편익	24.1
기존 해양생태블럭 대비 제조비용 절감 편익	109.8
유용해양 생물자원 유인으로 인한 어획량 증대 편익	24.1
조식동물로 인한 조류양식 피해액 저감 편익	23.4
해양구조물용 친환경 고내구성 콘크리트 재료 매출 편익 분석	30.8
내구수명 향상으로 인한 해상 콘크리트 구조물 재건설 비용 절감 편익	8.7
총계	293.9

2.4 B/C ratio

2.4.1 ‘바다사막화 대응 해양생태블럭 개발과제’ 편익의 현재가치와 연구개발 예산의 현재가치를 고려한 B/C Ratio는 1.38로 동 연구개발 과제는 경제성이 있는 것으로 분석됨

- B/C Ratio는 총 편익의 현재가치를 투입 비용의 현재가치로 나눈 값임
- 편익 항목으로 ‘바다사막화 대응 해양생태블럭 개발과제’의 총 경제적 편익의 현재가치인 293.9억원을 투입함
- 비용 항목으로 ‘바다사막화 대응 해양생태블럭 개발과제’의 총 연구개발 예산의 현재가치인 212.5억원을 투입함



3) 참고문헌

- ❖ Palm Beach gets artificial reef in Gold Coast Budget, Brisbane Times, 2016.6.23.
(<https://goo.gl/uHO3K2>)
- ❖ 水産基盤整備対費用効果分析ガイドライン, 水産庁漁港漁場整備本部, 2002.3
- ❖ 어항·어장·어촌 정비사업 분야별 정보, 일본 수산청 홈페이지
(http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/)
- ❖ 어항어장 정비사업에 대하여(漁港漁場整備法について), 일본 수상관저 홈페이지
(<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/>)
- ❖ 전라남도, 2020년까지 60억 들여 해중림 조성, 중앙일보, 2016.11.14.
- ❖ 인공어초사업, 이대로 좋은가, 농수축산신문, 2010.8.26.
- ❖ 제주특별자치도, 전국 최초 유용미생물로 바다숲 조성, 제주시 공식 홈페이지, 2016.04.19.
- ❖ 일본의 바다숲 조성사업 동향과 시사점, 김대영, 수산동향 2010년 10월호
- ❖ 캘리포니아 연안 위원회 홈페이지 (<https://www.coastal.ca.gov/budget/>)
- ❖ KISTI 기술가치평가시스템 홈페이지
(<http://www.starvalue.or.kr/itechvalue/wsp/main/main.jsp>)
- ❖ 한국개발연구원(KDI) 홈페이지(<http://kdi.re.kr/search>)
- ❖ 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판), KISTEP, 2014. 11.
- ❖ 2013년 R&D사업 예비타당성조사 일관성 제고를 위한 조사 체계 개선 방향 연구, KISTEP, 2014.2.
- ❖ 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구, 최종두, 수산경영론집 44권 3호, 2013년, 한국수산경영학회



- ❖ “바다사막화(갯녹음) 현상 심각, 김성곤 의원 국정감사 보도자료, 2016.10.
- ❖ 우리 바다 풍요롭고 아름답게.. 바다숲, 바다목장 조성한다, 해양수산부 보도자료, 2016.12.13
- ❖ 태안시범바다목장해역내 인공어초사업의 경제적 효과에 대한 연구, 최종두, 2013.

- ❖ 인공어초 시설현황, 통계청, 2009
- ❖ 한국수산자원관리공단 연간통계, 2014
- ❖ 2014년 산업연관표, 한국은행 경제통계시스템
- ❖ 인공어초시설사업의 경제성 분석에 관한 연구(2차), 한국해양수산개발원, 2007.4.
- ❖ 동해·묵호항 3단계 개발사업 예비타당성조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2012.3
- ❖ 장고항 건설사업 타당성재조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2014.
- ❖ 애월항 2단계 개발사업 예비타당성조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2010.
- ❖ 죽변항 정비사업 타당성재조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2009.
- ❖ 청산도항 정비사업 타당성재조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2016.
- ❖ 한림항 2단계 개발사업 예비타당성조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2012.9.
- ❖ 안흥항 정비사업 타당성재조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2007.
- ❖ 흑산도항 건설사업 예비타당성조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2016.
- ❖ 감포항 정비사업 타당성재조사 보고서, KDI 공공투자관리센터, 2009.6.
- ❖ 제1차 어촌어항발전기본계획 (2009~2013), 농림수산식품부, 2008.12
- ❖ 제2차 어촌어항발전기본계획 수정계획(2014~2018), 해양수산부 어촌어항과, 2015.7
- ❖ 2014년 산업연관표, 한국은행 경제통계시스템
- ❖ 기후변화 효과를 고려한 케이슨 방파제의 시간 의존 성능 설계, 서경덕 외 5인, 한국해안 해양공학회 논문집, 23(3), 215-225.
- ❖ 반복적인 장기파랑을 받는 콘크리트 케이슨 방파제의 피로해석, 김선우 외 4인,



- 한국콘크리트학회 2014 가을 학술대회 논문집, 147-148.
- ❖ 내구수명 100년 해양콘크리트의 배합사례, 장봉석, 안정환, 2008년 한국콘크리트학회 춘계 학술발표대회, 1073-1076.
 - ❖ 하중조건과 슬래그를 고려한 콜드조인트 콘크리트의 염해 내구수명 평가, 오경석, 한남대학교 석사학위논문, 2007.
 - ❖ 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률안(대안), 국토해양위원장 제안, 2010.2.25.