보고서 발간 번호

BSPE 9956C - 11422 - 3

생물교란에 의한 갯벌기능 평가 연구 기획

생물교란 (bioturbation)에 의한 갯벌기능 평가 연구 기획

A planning research for the assessment of tidalflat functions affected by macroinvertebrate's bioturbation

2018.02.28

한 국 해 양 과 학 기 술 원

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “생물교란 (bioturbation)에 의한 갯벌기능 평가 연구 기획” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 2. 28

총괄연구책임자 : 구 본 주

참 여 연 구 원 : 유 주 형

“ : 강 정 원

“ : 이 윤 경

“ : 김 민 규

“ : 서 재 환

“ : 장 민 성

위탁연구기관명 : 해랑기술정책연구소

위탁연구책임자 : 백상규

보고서 초록

<table>
<tr><td>과제고유
번호</td><td>PE9956C</td><td>해당단계
연구기간</td><td>2017.08.01.-
2018.02.28</td><td>단계 구분</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">생물교란 (bioturbation)에 의한 갯벌기능 평가 연구 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">구 본 주</td><td>해당단계
참여연구원수</td><td>총 : 7 명
내부: 3 명
외부: 4 명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부: 30,300 천원
기업: 천원
계 : 30,300 천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참여연구원수</td><td>총 : 7 명
내부: 3 명
외부: 4 명</td><td>총
연구비</td><td>정부: 30,300 천원
기업: 천원
계 : 30,300 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소속부서명</td><td colspan="2">한국해양과학기술원
생태기반연구센터</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">해랑기술정책연구소</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서
면수</td><td>63</td></tr>
<tr><td colspan="6">1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발
- 생물교란에 의한 갯벌기능 평가를 위한 Target species 선정 기준 정립
- 갯벌생물 기능군별 생물교란에 의한 유기물 분해 기능 평가 방법 정립
- 생물교란에 의한 유기물 분해디능 및 이산화탄소/메탄 플럭스 실험을 위한 현장관찰구 및 mesocosm 규모 산정
2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술 개발
- 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향의 정량화 방법론 정립
- 닫힌플럭스챔버를 이용한 이산화탄소/메탄 농도 변화량 측정 방법 정립
- 탄소안정동위원소 분석을 통한 이산화탄소와 메탄간 탄소 이동 경로 분석 방법 정립
3. 공간기반 정량화 기술 개발
- 공간기반 정량화를 위한 무인항공기 운용 방법 분석
- 초정밀 생물분포도 생성에 필요한 기술 요구사항 분석
4. 연구개발 추진계획 수립
- 추진전략, 기술개발 로드맵, 추진체계 제시
- 단계별, 요소기술별 개발 로드맵 제시
- 소요예산, 연구기간 제시
5. 연구개발 결과의 기대효과 및 활용방안 제시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">생물교란, 정화기능, 대형저서동물, 이산화탄소/메탄, 원격탐사, 갯벌</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">bioturbation, organic matter decomposition, macroinvertebrate, carbon dioxide/methane, remote sensing, tidal flat</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

생물교란 (bioturbation)에 의한 갯벌기능 평가 연구 기획

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

□ 연구개발의 목적

○ 생물교란에 의한 갯벌 유기물 분해기능 평가 기술 및 온실가스 플럭스 평가 기술 개발과 공간기반 정량화 기술 개발.

□ 연구개발의 필요성

○ 기술적 측면

- 유럽의 경우 갯벌의 물질순환 (질소, 탄소, 인 등), 오염물질 정화 및 미생물 다양성을 평가할 때 생물교란 기능을 고려하여 평가하고 있음.
- 국내의 경우에는 생물교란 관련 연구가 미비하여 갯벌 기능 평가 시 이를 고려하지 못하는 실정임.

○ 학제간 융합 연구를 통한 원천 기술 보유 필요

- 최근 국외의 생물교란 연구는 다양한 학제간 융합연구를 통한 광범위한 연구가 수행되고 있음.
- 학제간 융합연구 및 노하우를 통해 갯벌 저서동물의 생물교란 기능 및 정량화의 원천기술을 확보할 수 있으며, 이에 따라 갯벌 연구에 있어 본 기관이 경쟁력 및 선도적 위치를 선점할 수 있음.

Ⅲ. 연구개발 수행내용

□ 연구내용 및 범위설정

○ 생물교란에 의한 갯벌기능 평가를 위한 Target species 선정 기준 정립

- 생물교란에 의한 갯벌기능 평가를 위한 목표종은 섭식형태에 따라 표층퇴적물식자, 표층하퇴적물식자, 여과물식자로 나누어 선정함.

○ 갯벌생물 기능군별 생물교란에 의한 유기물 분해 기능 평가 방법 정립

- 갯벌생물의 생물교란에 의한 유기물 분해는 기능군별 섭식형태에 따라 각각 다른 평가법을 정립함.

○ 생물교란에 의한 유기물 분해기능 실험을 위한 현장 관찰구 및 mesocosm 규모 산정

- 현장 관찰구의 경우 인위적 교란 없이 갯벌생물의 서식굴 내 환경측정이 가능하게 설계하며, mesocosm의 경우 조석주기와 온도 및 산소를 제어할 수 있도록 설계함.

○ 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향의 정량화 방법론 정립

- 시·공간적 같은 조건하에서 갯벌생물의 서식굴과 대조구 퇴적물에서 이산화탄소와 메탄의 플럭스 산정.

○ 닫힌플럭스챔버를 이용한 이산화탄소/메탄 농도 변화량 측정 방법 정립

- 닫힌플럭스챔버의 온실가스 농도변화는 시간에 따라 증가 또는 감소하며, 플럭스 산출은 선형의 직선 기울기를 보이는 구간으로부터 계산함.

○ 탄소안정동위원소 분석을 통한 이산화탄소와 메탄간 탄소 이동 경로 분석 방법 정립

- 탄소안정동위원소비와 이산화탄소 농도에 대한 상관관계를 통해 챔버의 이산화탄소 기원 파악 및 메탄 산화에 의한 이산화탄소 발생량 평가.

○ 공간기반 정량화를 위한 무인항공기 운용 방법 분석

- 자연환경적 측면, 태양 방위각 및 반사효과, 영상 중복도에 따른 효과, 지상기준점 개수에 따른 영향 분석.

○ 초정밀 생물분포도 생성에 필요한 기술 요구사항 분석

- 무인기용 초다분광 센서, 무인기용 SAR 센서, 무인기용 열적외선 센서 분석.

□ 연구개발 추진계획 수립

□ 기술개발 로드맵 수립

□ 연구개발결과의 기대효과 및 활용방안

Ⅳ. 경제성 분석

○ 정책·기술적 타당석 분석

- '생물교란에 의한 갯벌기능 평가'는 기후변화 대응, 해양 생태계 보존 및 관리, 해양공간 관리, 원격탐사 운용 등의 핵심적인 요소기술로서 관련 정책방향과 명확히 부합됨.

○ 경제성 분석

- 경제성 분석 결과 편익-비용비율은 1.423로서 본 연구개발사업은 경제적으로 타당한 것으로 분석

S U M M A R Y

Ⅰ. Title

A planning research for the assessment of tidalflat funtions affected by macroinvertebrate's bioturbation

Ⅱ. Objective and necessity

□ Objective

○ Technical development for evaluation on organic matter decomposition, greenhouse gas flux and space based quantification by bioturbation

□ Necessity

○ Technical aspects

- In Europe, bioturbation functions are considered when assessing the circulation (nitrogen, carbon, phosphorus), contaminant purification and microbial diversity of tidal flat.
- In Korea, bioturbation functions are not considered in the evaluation of tidalflat functions due to insufficient studies on bioturbation.

○ Necessity for source technology through interdisciplinary convergence research

- Recent overseas bioturbation studies have been conducted extensively through interdisciplinary convergence research.
- Through interdisciplinary convergence research and know-how it is possible to gain the source technology of bioturbation functions and quantification thus KIOST can play a leading role for research on tidal flat.

Ⅲ. Results

□ Set-up research contents and scope

○ Establishment of the criteria for selection of target species for evaluation of tidalflat functions by bioturbation.

- The target species for evaluating tidalflat functions by bioturbation are selected according to the feeding type, surface deposit feeder, subsurface deposit feeder and filter feeder.

○ Establishment of methods for evaluating organic matter decomposition according to functional group by bioturbation

- The methods for evaluating organic matter decomposition by bioturbation are established depending on functional group.

○ Scale estimation of a field observatory and mesocosm for experiment on organic matter composition by bioturbation.

- The field observatory is designed to enable the measurement of environment insode the burrow without disturbance and to control tidal cycle, temperature and oxygen concentration in mesocosm.

○ Establishment of methodology for quantification on effects of bioturbation to carbon dioxide and methane flux

- Carbon dioxide and methane flux estimation on burrow and reference sediments under same spatio-temporal condition.

○ Establishment of method for measurement on fluctuation of carbon dioxide and methane concentration using closed flux chamber

- The concentration of greenhouse gases in a closed flux chamber is increased or decreased over time and flux is calculated from the section with a linear slope.

○ Establishment of method for carbon transfer pathway analysis between

carbon dioxide and methane through carbon stable isotope analysis

- Determination the origin of carbon dioxide in the chamber and evaluation on carbon dioxide production through correlation between carbon stable isotope ratio and carbon dioxide concentration.

○ Analysis of operation method on unmanned aerial vehicle for space based quantification

- Analysis for the effects of natural environment aspects, the solar azimuth and reflection effects, the effects of image overlapping and the number of ground control points.

○ Analysis of technical requirements for generation of precise habitat potential map of macroinvertebrate

- The hyperspectral sensor, SAR sensor and thermal infrared sensor for unmanned aerial vehicle

□ Establishment for strategic plan of research and development

□ Establishment for research and development road map

□ Expected effects and application

Ⅳ. Economic analysis

○ Policy and technical feasibility analysis

- Evaluating tidalflat functions by bioturbation is a key element of climate change response, marine ecosystem preservation and management, marine space management and remote exploration operations and clear aligned with relevant policy direction.

○ Economic analysis

- This research is economically reasonable and benefic-cost ratio is 1.423

C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction
Section 1. Objective of research
1. Technical development for evaluation on organic matter decomposition, greenhouse gas flux and space based quantification by bioturbation 19
Section 2. Necessity of research
1. Technical aspects ····· 19
2. Necessity for source technology through interdisciplinary convergence research ····· 20
3. Necessity of strengthening the capabilities of leading technologies ···· 20

Chapter 2. State of Art
Section 1. Domestic research trend
1. Evaluation on organic matter decomposition by bioturbation ····· 22
2. Evaluation on greenhouse gas flux by bioturbation ····· 23
3. Space based quantification by bioturbation ····· 24
Section 2. International research trend
1. Evaluation on organic matter decomposition by bioturbation ····· 25
2. Evaluation on greenhouse gas flux by bioturbation ····· 29
3. Space based quantification by bioturbation ····· 30

Chapter 3. Contents and results of research
Section 1. Set-up research contents and scope
1. Establishment of the criteria for selection of target species for evaluation of tidalflat functions by bioturbation ····· 31
2. Establishment of methods for evaluating organic matter decomposition according to functional group by bioturbation ····· 32
3. Scale estimation of a field observatory and mesocosm for experiment on organic matter composition by bioturbation ····· 35
4. Establishment of methodology for quantification on effects of bioturbation to carbon dioxide and methane flux ····· 37
5. Establishment of method for measurement on fluctuation of carbon dioxide and methane concentration using closed flux chamber ····· 38

6. Establishment of method for carbon transfer pathway analysis between carbon dioxide and methane through carbon stable isotope analysis · 39
7. Analysis of operation method on unmanned aerial vehicle for space based quantification ····· 40
8. Analysis of technical requirements for generation of precise habitat potential map of macroinvertebrate ····· 45
Section 2. Establishment for strategic plan of research and development 49
Section 3. Establishment for research and development road map
1. Evaluation on organic matter decomposition by bioturbation ····· 52
2. Evaluation on greenhouse gas flux by bioturbation ····· 53
3. Space based quantification by bioturbation ····· 55
Section 4. Expected effects and application
1. Expected effects ····· 57
2. Application ····· 57
3. Public ripple effects ····· 57

Chapter 4. Economic analysis
Section 1. Policy and technical feasibility analysis ····· 60
Section 2. Economic analysis ····· 61

Chpater 5. References ····· 62

*Appendix : Economic analysis report

List of Tables

Table 3-1-1. Classification of macroinvertebrates by feeding types ····· 31
Table 3-3-1. Major points for developing the evaluation on organic matter decomposition by bioturbation ····· 52
Table 3-3-2. Major points for developing the evaluation on greenhouse gas flux by bioturbation ····· 54
Table 3-3-3. Major points for developing the space based quantification by bioturbation ····· 56
Table 4-2-1. Summary of economic analysis results ····· 61

List of Figures

Fig. 1-2-1. Methane flux by burrow activity of macroinvertebrate ····· 20
Fig. 2-1-1. Number of research papers on bioturbation by country from 2000 to 2017 ····· 22
Fig. 2-1-2. Seasonal change of methane flux of Geum river tidal flat ····· 23
Fig. 2-2-1. Number of research papers on annual organic matter decomposition by bioturbation in United States ····· 25
Fig. 2-2-2. Measuring method with Wormcam system ····· 25
Fig. 2-2-3. Number of research papers on annual organic matter decomposition by bioturbation in Europe ····· 26
Fig. 2-2-4. Experiment on organic matter decomposition by bioturbation of *Neohelice granulatain* ····· 26
Fig. 2-2-5. Number of research papers on annual organic matter decomposition by bioturbation in China ····· 27
Fig. 2-2-6. Decomposition of nitrogen by *Perinereis aibuhitensis* ····· 27
Fig. 2-2-7. Number of research papers on annual organic matter decomposition by bioturbation in Japan ····· 28
Fig. 2-2-8. Decomposition of organic matter by *Macrophthalmus japonicus* ····· 28
Fig. 2-2-9. Correlation between carbon transfer pathway and bioturbation of macroinvertebrate ····· 29
Fig. 3-1-1. Process for organic matter decomposition and regeneration ····· 32
Fig. 3-1-2. Fecal pellet produced by feeding of *Scopimera globosa* ····· 32
Fig. 3-1-3. Organic matter decomposition by feeding of *Macrophthalmus japonicus* ····· 33
Fig. 3-1-4. Fecal pellet produced by feeding of *Perinereis aibuhitensis* ····· 33
Fig. 3-1-5. Schematic diagram of experiment for *Ruditapes philippinarum* 34
Fig. 3-1-6. Schematic diagram of field observatory for organic matter decomposition experiment ····· 35
Fig. 3-1-7. Schematic diagram of mesocosm for organic matter decomposition experiment ····· 36
Fig. 3-1-8. Carbon balance of wetland and concept model of exchange between air and carbon ····· 37

Fig. 3-1-9. Coposition of closed flux chamber ····· 38
Fig. 3-1-10. Correlation between carbon transfer pathway and bioturbation of macroinvertebrate ····· 38
Fig. 3-1-11. Solar azimuth and reflective effect ····· 42
Fig. 3-1-12. Topographic elevation map before and after post-processing 42
Fig. 3-1-13. Number of overlap image according to F.D between scripts and S.D between images ····· 43
Fig. 3-1-14. Number of ground reference point and accuracy by distribution ····· 44
Fig. 3-1-15. AisaEagel sensor and AisaFENIX sensor ····· 45
Fig. 3-1-16. AisaKestrel16 sensor ····· 46
Fig. 3-1-17. microCASI sensor ····· 46
Fig. 3-1-18. OCI-U-2000 sensor attached to small unmanned aerial vehicle ····· 47
Fig. 3-1-19. MiniSAR ····· 47
Fig. 3-1-20. FLIR vue thermal infrared sensor and FLIR A655sc thermal infrared sensor ····· 48
Fig. 3-1-21. FLIR star SAFIRE 380-HD sensor ····· 48
Fig. 3-2-1. Strategic plan of research and development ····· 50
Fig. 3-2-2. Annual research and development road map ····· 51
Fig. 3-3-1. Road map of technological development for evaluation on organic matter decomposition by bioturbation ····· 52
Fig. 3-3-12. Road map of technological development for evaluation on green house gas flux by bioturbation ····· 53
Fig. 3-3-3. Road map of technological development for space based quantification ····· 55
Fig. 3-4-1. Three stage road map for R&D project ····· 58

목 차

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발의 목표 ····· 19

제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 19

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 동향 ····· 22

1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 ····· 22

2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 ····· 23

3. 공간기반 정량화 ····· 24

제 2 절 국외 동향 ····· 25

1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 ····· 25

2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 ····· 29

3. 공간기반 정량화 ····· 30

제 3 장 연구개발 수행 내용

제 1 절 연구내용 및 연구범위 설정 ····· 31

1. 생물교란에 의한 갯벌기능 평가를 위한 Target species 선정 기준 정립 ····· 31

2. 갯벌생물 기능군별 생물교란에 의한 유기물 분해 기능 평가 방법 정립 ····· 32

3. 생물교란에 유기물 분해기능 실험을 위한 현장 관찰구 및 mesocosm 규모 산정 35

4. 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향의 정량화 방법론 정립 ····· 37

5. 닫힌플럭스챔버를 이용한 이산화탄소/메탄 농도 변화량 측정 방법 정립 ····· 38

6. 탄소안정동위원소 분석을 통한 이산화탄소/메탄 탄소 이동 경로 분석 방법 정립 39

7. 공간기반 정량화를 위한 무인항공기 운용 방법 ····· 40

8. 초정밀 생물분포도 및 대축척화를 위한 필요 기술 요구사항 분석 ····· 45

제 2 절 연구개발 추진계획 수립 ····· 49
제 3 절 기술개발 로드맵 수립 ····· 52
1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 ····· 52
2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 ····· 53
3. 공간기반 정량화 ····· 55
제 4 절 연구개발 결과의 기대효과 및 활용방안 ····· 57
1. 기대효과 ····· 57
2. 활용방안 ····· 57
3. 공공적 파급효과 ····· 58

제 4 장 경제성 분석
제 1 절 정책·기술적 타당석 분석 ····· 60
1. 추진기술의 정책 부합성 ····· 60
2. 기술적 유사성 검토 ····· 60
제 2 절 경제성 분석 ····· 61
1. 경제성 분석 결과 ····· 61

제 5 장 참고문헌 ····· 62

별첨 : 경제성 분석 결과 보고서

표 목 차

표 3-1-1. 섭식형태에 따른 갯벌생물의 기능군 분류 ····· 30
표 3-3-1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발의 주요 내용 ····· 51
표 3-3-2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술 개발의 주요 내용 ····· 53
표 3-3-3. 공간기반 정량화 기술 개발의 주요 내용 ····· 55
표 4-2-1. 경제성 분석 결과 요약 ····· 60

그 림 목 차

그림 1-2-1. 갯벌 생물의 서식굴 활동에 의한 메탄 플럭스 ····· 19
그림 2-1-1. 2000-2017년의 생물교란 연구 논문 및 국가별 생물교란 연구 논문 ···· 21
그림 2-1-2. 금강 하구언 갯벌의 계절적 메탄 플럭스 변화 ····· 22
그림 2-2-1. 미국의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수 ····· 24
그림 2-2-2. Wormcam system을 이용한 측정 방법 ····· 24
그림 2-2-3. 유럽의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수 ····· 25
그림 2-2-4. *Neohelice granulatain*의 생물교란에 의한 유기물 분해 실험 ····· 25
그림 2-2-5. 중국의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수 ····· 26
그림 2-2-6. 두토막눈썹참갯지렁이의 섭식활동에 의한 nitrogen 분해 ····· 26
그림 2-2-7. 일본의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수 ····· 27
그림 2-2-8. 칠게의 섭식활동에 의한 유기물 분해 ····· 27
그림 2-2-9. 탄소 이동 경로와 저서동물의 생물교란과 상관 구조도 ····· 28
그림 3-1-1. 유기물 분해 및 발생 과정 ····· 31
그림 3-1-2. 표층퇴적물식자인 엽낭게의 섭식활동을 통해 생성된 pellet ····· 31
그림 3-1-3. 칠게의 섭식활동에 의한 유기물 제거 ····· 32
그림 3-1-4. 표층하퇴적물식자인 두토막눈썹참갯지렁이의 섭식활동을 통해 생성된 pellet ····· 32
그림 3-1-5. 여과물식자인 바지락의 실험 모식도 ····· 33
그림 3-1-6. 유기물 분해기능 실험을 위한 현장 관찰구 모식도 ····· 34
그림 3-1-7. 유기물 분해기능 실험을 위한 mesocosm 모식도 ····· 35
그림 3-1-8. 습지의 탄소 수지 및 대기와 탄소 교환 개념 모델 ····· 36
그림 3-1-9. 닫힌플럭스챔버의 구성 ····· 37
그림 3-1-10. 탄소 이동 경로와 저서동물의 생물교란과 상관 구조도 ····· 37
그림 3-1-11. 태양방위각 및 반사효과 ····· 41
그림 3-1-12. 영상 후처리 전과 후처리 후 지형고도맵 ····· 41
그림 3-1-13. 스트립간의 종중복도(F.D)와 영상간의 횡중복도(S.D)에 따른 중복된 영상 수 ····· 42
그림 3-1-14. 지상기준점의 개수와 분포에 따른 정확도 ····· 43
그림 3-1-15. AisaEagel 센서와 AisaFENIX 센서 ····· 44
그림 3-1-16. AisaKestrel16 센서 ····· 45
그림 3-1-17. microCASI 센서 ····· 45
그림 3-1-18. 소형무인항공기에 장착된 OCI-U-2000 센서 ····· 46

그림 3-1-19. MiniSAR ····· 46
그림 3-1-20. FLIR vue 열적외선 센서와 FLIR A655sc 열적외선 센서 ····· 47
그림 3-1-21. FLIR Star SAFIRE 380-HD 센서 ····· 47
그림 3-2-1. 연구개발 추진체계 ····· 49
그림 3-2-2. 연차별 기술 개발 로드맵 ····· 50
그림 3-3-1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발 로드맵 ····· 51
그림 3-3-2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술 개발 로드맵 ····· 52
그림 3-3-3. 공간기반 정량화 기술 개발 로드맵 ····· 54
그림 3-4-1. R&D 사업 발전을 위한 3단계 로드맵 ····· 57

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목표

1. 생물교란에 의한 갯벌 유기물 분해기능 평가와 온실가스 플럭스 평가 및 이의 공간기반 정량화 기술 개발

○ 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발
○ 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술 개발
○ 공간기반 정량화 기술 개발

제 2 절 연구개발의 필요성

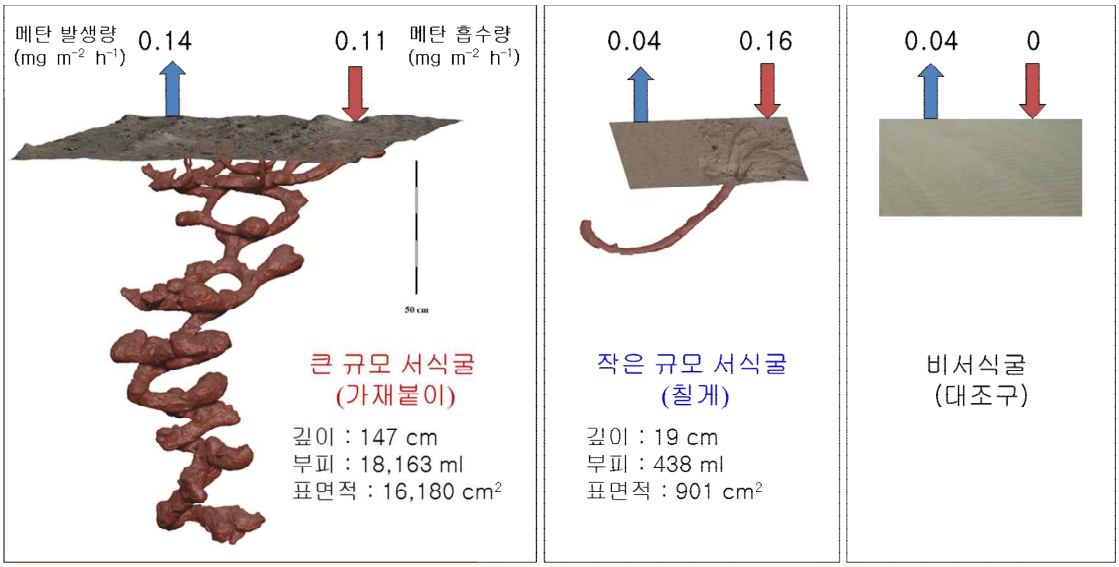
1. 기술적 측면

○ 갯벌의 다양한 기능 중 유기물 정화 기능과 블루카본 격리기능은 생물교란(bioturbation)에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있음. 유럽의 경우 갯벌의 물질순환 (질소, 탄소, 인 등), 오염물질 정화 및 미생물 다양성을 평가할 때 생물교란 기능을 고려하여 평가하고 있으며, 최근에는 생물교란이 블루카본에 미치는 영향에 관한 연구가 시작되고 있음.

○ 그러나 국내의 경우에는 생물교란 관련 연구가 미비하여 갯벌 기능 평가 시 이를 고려하지 못하는 실정임. 해양 환경의 보존과 개발의 결정은 환경의 가치와 개발의 경제성을 대비하여 그 여부가 판단됨. 이로부터 과거 갯벌 개발의 논리에는 과소평가된 갯벌의 가치가 고려되었음을 미루어 짐작 가능함.

○ 우리나라에서는 2017년부터 온실가스 저감원으로서 블루카본 (해양에서 탄소량 조절)의 체계적인 관리와 갯벌에서의 온실가스 흡수능력을 산정하는 기술 연구가 진행되고 있음. 이 연구에서는 연안의 식물과 퇴적물을 포함하는 식물생태계가 저장하는 탄소를 블루카본으로 정의하여, 이의 산정에만 초점이 맞추어져 있음. 그러나 연안환경에서 블루카본은 보다 다양한 프로세스에 의해 조절될 수 있음. 그 중 하나가 갯벌 저서동물에 의한 생물교란 효과임.

○ 본 연구팀에서는 갯벌 생물의 서식굴 활동이 메탄의 잠재적 흡수능 작용을 할 수 있음을 최근 연구에서 확인한 바 있음 (그림 1-2-1). 그러므로 갯벌의 유기물 정화기능 뿐만 아니라 블루카본 연구에도 부족한 자료를 채울 수 있다는 점에서 연구의 필요성 있음.



***갯벌 퇴적층은 메탄 발생의 기능만 있지만 갯벌 생물의 서식굴은 메탄 발생 및 흡수의 기능을 동시에 가짐**

그림 1-2-1. 갯벌 생물의 서식굴 활동에 의한 메탄 플럭스

2. 학제간 융합 연구를 통한 원천 기술 보유 필요

○ 최근 국외의 생물교란 연구는 다양한 학제간 융합연구를 통한 광범위한 연구가 수행되고 있음. 갯벌 저서동물의 생물교란이 갯벌 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 지질 및 미생물 분야와의 연계가 이뤄지고 있으며, 위성 분야와 연계를 통한 생물교란 정량화 및 위성영상을 이용한 맵핑 연구도 시도되고 있음.

○ 이러한 학제간 융합연구 및 노하우를 통해 갯벌 저서동물의 생물교란 기능 및 정량화의 원천 기술을 확보할 수 있으며, 이에 따라 갯벌 연구에 있어 본 기관이 경쟁력 및 선도적 위치를 선점할 수 있음.

3. 갯벌 연구의 차별화를 통한 KIOST 위상 정립 및 선도기술 역량 강화의 필요성

○ 갯벌을 포함하는 연안역의 환경 및 생태계 조사는 해양환경관리공단의 법정조사로 일원화되고 있으며, 이는 연구의 다양성과 기술개발을 막는 결과를 초래할 수도 있는 상황임. 실제로 해양환경관리공단에서는 모니터링 위주의 일반적 생태조사에 초점을 두고 있음에도 불구하고 연구사업 분류 기준에 따른 제목의 중복성 때문에 타 연구기관에서 국가연구개발 사업의 수행이 수월치 않은 상황임.

○ KIOST 갯벌 연구팀은 기관 주요사업으로 수행하였던 “원격탐사 기반 주제별 연안국가기본도 제작기술 확립”, “갯벌 경계면에서의 물질플럭스 및 갯벌의 생태적 기능 평가”,

“갯벌 저서동물 서식굴 가시화를 통한 전시/홍보 컨텐츠 개발”, “갯벌 대형저서동물의 서식굴을 통한 메탄 플럭스 기초 연구” 등의 연구를 통해 생물교란 기능 평가 및 이의 위성기반 정량화 분야에서 국내에서 선도적 위치를 확보하고 있음. 그러므로 본 연구를 통한 기술력 확보는 타 연구기관 과의 연구 차별화를 통해 국가연구개발 사업 추진의 수월성 확보에도 기여 할 수 있을 것임.

○ 아울러 서해연구소가 건립되면 지리적 특성상 갯벌을 포함하는 연안역 분야의 연구가 연구소의 주요한 위상이 될 것으로 예상됨. 그러므로 본 연구의 기획은 향후 서해연구소 시대에 걸맞는 KIOST 위상 제고를 위해서도 시급히 필요함.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내동향

1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가

○ 2000년 이후 갯벌 생물의 생물교란의 중요성으로 인해 국외의 경우 다양한 연구가 수행되어져 왔음. 하지만, 국내의 경우 단 2편의 연구결과가 있으며, 이 또한 생물교란에 의한 직접적인 영향이 아닌 생물교란에 의한 갯벌 퇴적물 내 미생물의 활성변화 연구에 국한되었음 (그림 2-1-1).

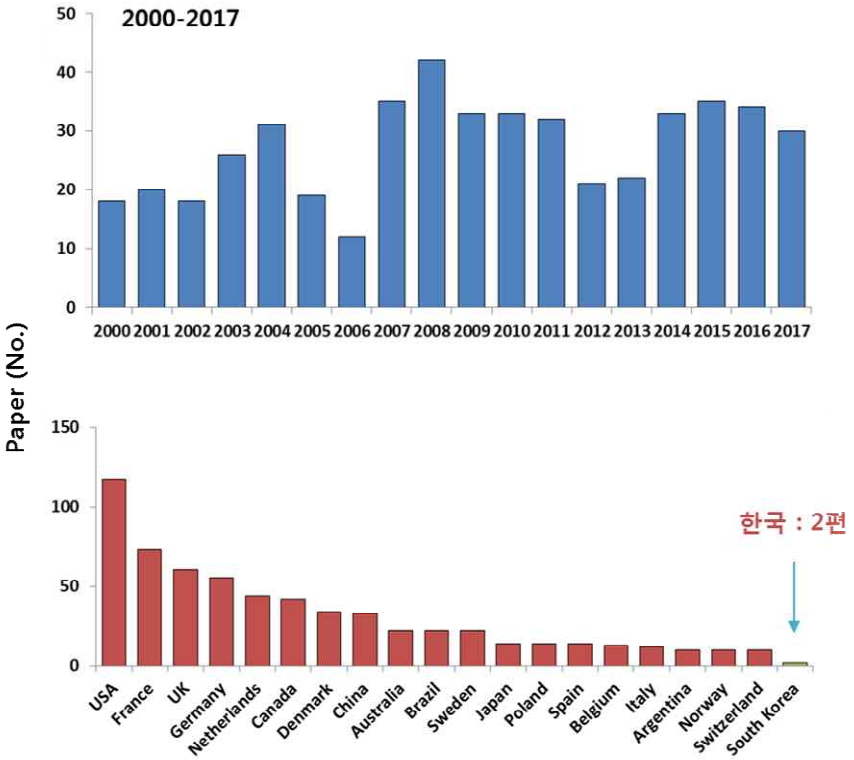


그림 2-1-1. 2000-2017년의 생물교란 연구 논문 및 국가별 생물교란 연구 논문

○ 본 연구팀의 선행연구 결과 칠게의 섭식활동으로 인한 유기물 분해속도는 갯벌 퇴적물 내 미생물에 의한 유기물 분해속도의 약 50%에 달하는 것으로 밝혀졌으며, 바지락의 여과율은 평균 4.20 L h^{-1} g^{-1} DW인 것으로 나타남.

○ 하지만, 본 연구팀의 연구를 제외하고 국내의 경우 생물교란에 의한 유기물 분해기능 연구는 전무한 상황임.

2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가

○ 갯벌환경은 배출원 (source) 과 흡수원 (sink) 역할을 함께하고 있음. 김득수 (2007) 의 연구결과에 따르면, 금강 하구언 갯벌에서 온실가스 메탄 플럭스는 생성 (production), 소모 (oxidation) 및 이동 (transport) 기작의 영향을 받고 있으며, 생성과 소모는 온도에 의해 증가하는 경향을 보임 (그림 2-1-2).

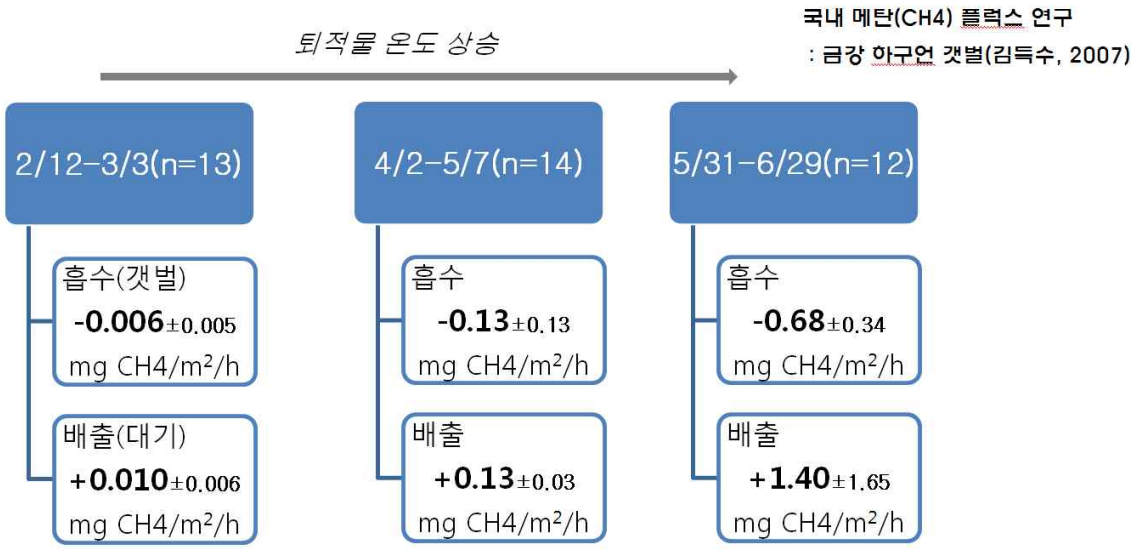


그림 2-1-2. 금강 하구언 갯벌의 계절적 메탄 플럭스 변화

○ 충남 서천의 갯벌에서 메탄 플럭스는 -0.164 ~ +0.219 mg/m^2/hr의 범위로 배출과 흡수를 보이는 것으로 보고되었으나, 그 기작과 관련하는 갯벌생물들의 호흡 등 대사 관련 연구가 미흡함 (김득수와 나운성, 2013).

○ 온도와 염분 감소에 따른 갯벌에서의 메탄발생량 변화 가능성이 실험실 규모 실험을 통해 보고됨 (김영주 등, 2006).

○ 그러나 갯벌에서 메탄산화 또는 메탄 생성 미생물에 집중된 연구는 없으며, 갯벌의 미생물 다양성을 연구하는 과정에서 메탄산화관련 고세균의 존재를 보고한 사례들이 있음.

○ 메탄 흡수와 관련하는 갯벌생물과 미생물활동에 관한 연구가 요구되며 특히, 퇴적물 내 미생물군집 활성도에 큰 영향을 미치는 생물교란 역할 이해가 필요함.

3. 공간기반 정량화

○ 원격탐사 기반 연안생태환경도 작성 연구

- 1970년대 이후 다양한 인공위성 원격탐사 기술의 발달과 관측 자료의 축적으로 위성 원격탐사 자료와 연안 퇴적환경과의 관계 분석을 통한 연안 환경 모니터링 연구가 진행되고 있음.
- 광학영상의 시계열 자료를 이용한 갯벌의 퇴적 변화량 측정 및 퇴적 작용의 경향성, 염생식물 분포, 저서생물 분포 예측도 생성 등의 갯벌 연구가 활발히 이루어지고 있음 (Ryu et al., 2008; Lee et al., 2012; Choi et al., 2011).
- 또한, 최근에는 무인 항공시스템을 사용하여 연안의 지질/생태 환경 모니터링에 정밀도를 향상시키는 연구가 진행되고 있음.
- 하지만, 원격탐사 기반으로 생성된 다양한 생태환경도면들이 해양수산부에서 제공하는 연안주제도 서비스에 포함되어 있지 않음. 또한 해양환경관리공단에서 실시하는 해양생태계조사 항목 중 원격탐사를 기반으로 분석이 가능한 조사항목 (자연환경, 퇴적환경, 염생식물, 저서생태의 시공간적 패턴 등) 이 있음에도 원격탐사를 활용이 미비한 실정임.

○ 다중위성 기반 연안환경 연구

- 2000년대 이후 다중위성자료를 사용하여 우리나라 서해안 갯벌의 해안선 변화, 면적변화, 미세저서조류, 생물상의 특성 등이 집중적으로 연구됨.
- 다중위성자료 뿐만 아니라 고해상도의 LiDAR 자료와 GIS 기술을 접목하여 정량적인 갯벌의 퇴적물과 퇴적상의 변화 및 염생식물의 분포변화를 분석하는 등 다양한 갯벌 환경 변화를 관측하는 연구가 이루어지고 있음 (Choi et al., 2010; Choi et al., 2011). 또한, 최근에 발사된 TanDEM-X Pol-InSAR inversion 기법으로 광역적인 지역에 대한 정밀도 높은 3차원 지형도를 생성하는 연구가 진행 되고 있음 (Lee et al., 2015).
- 또한, 새만금 방조제 건설에 따른 해류변화에 의하여 주변 갯벌에서 일정 시간을 가지고 지연적으로 나타나는 지형변화를 다중위성 자료로부터 분석함.
- 지금까지 다중위성을 사용하여 연안의 일부지역이나, 또는 육역과 해역을 나누어 수행된 연구는 많으나 이들을 통합적으로 연구하여 종합적으로 해석하려는 노력은 부족하였음.
- 따라서, 기존의 국가기본주제도와 연계하여 다중위성을 활용한 연안토지피복분류에 대한 체계수립이 필요하며, 연안생태환경도 제작을 위해 기 수행된 연안환경 연구를 바탕으로 주제도별/축적별로 최적화된 알고리즘에 설정에 대한 학문적 정의가 필요함.

제 2 절 국외동향

1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가

□ 미국

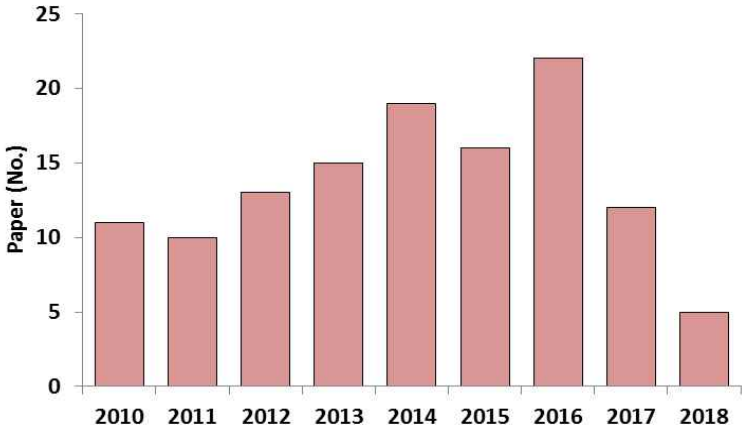


그림 2-2-1. 미국의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수

○ 미국의 경우 생물교란에 관한 연구가 활발히 수행되어져 왔으며, 갯벌 생물의 생물교란에 의한 갯벌 퇴적층의 지·화학적 변화, 물질 플럭스, 미생물 군집 및 활성 변화와 오염물질 정화 등에 관한 다양한 연구가 수행되었음 (그림 2-2-1).

○ 최근 in situ 연구가 활발하게 진행되고 있으며, Wormcam system을 이용해 생물교란에 의한 퇴적층의 산소환경 변화 및 유기물 변화 연구가 수행되고 있음 (Sturdivant et al., 2017, 그림 2-2-2).

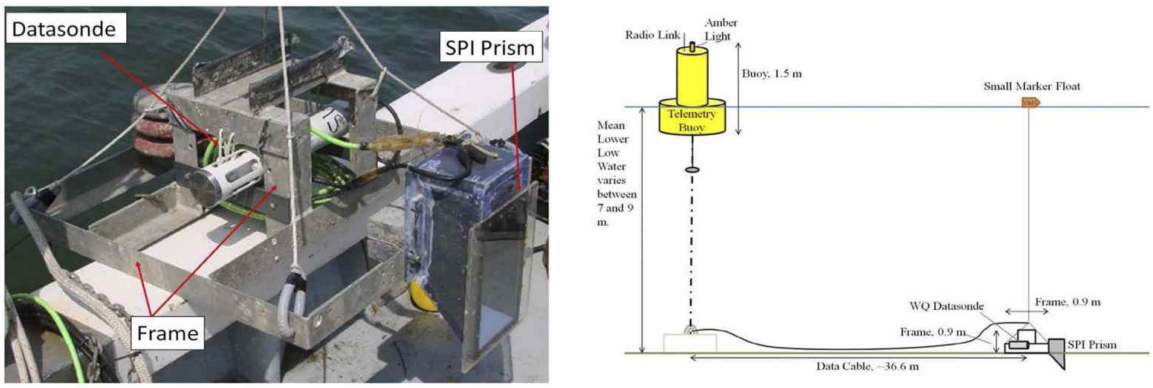


그림 2-2-2. Wormcam system을 이용한 측정 방법

□ 유럽

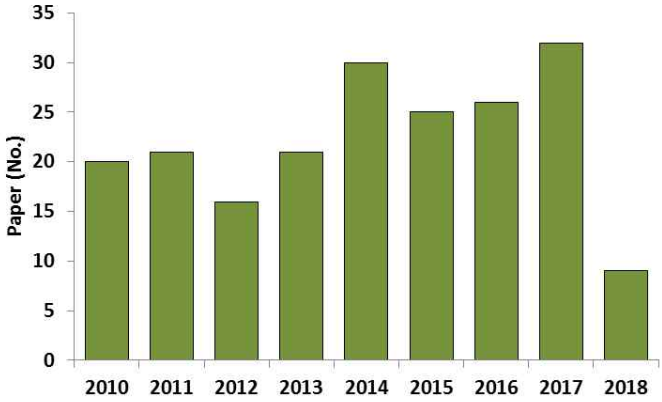


그림 2-2-3. 유럽의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수

○ 유럽의 경우 생물교란 관련 전무가 모임인 “Nereis Park”을 중심으로 생물교란이 해양 퇴적물의 생지화학적 프로세스, 미생물 군집, 수층과 퇴적물 경계면에서의 물질순환 등에 미치는 영향에 관련한 연구가 활발히 진행중임 (그림 2-2-3).

○ 최근 mesocosm과 in situ 실험을 통해 다양한 갯벌생물의 생물교란에 의한 유기물 분해 및 cabon, nitrogen, nutrients 등의 물질 flux에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있음 (Fanjul et al., 2015, 그림 2-2-4).

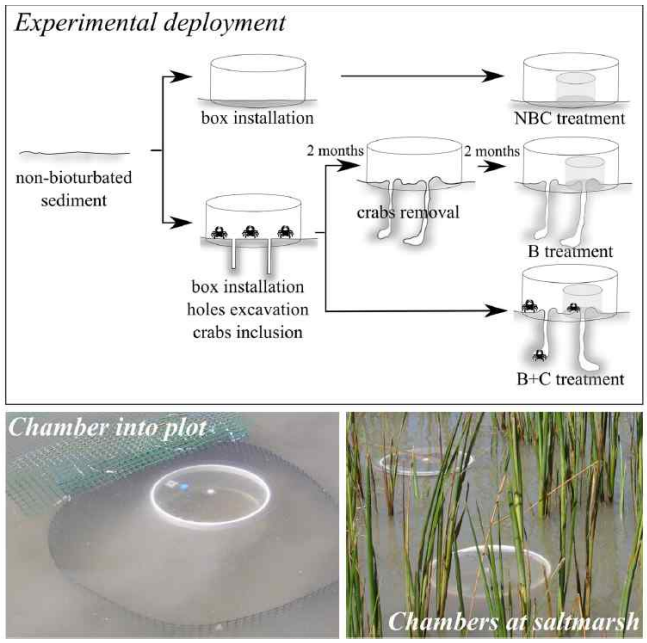


그림 2-2-4. *Neohelice granulatain*의 생물교란에 의한 유기물 분해 실험

□ 중국

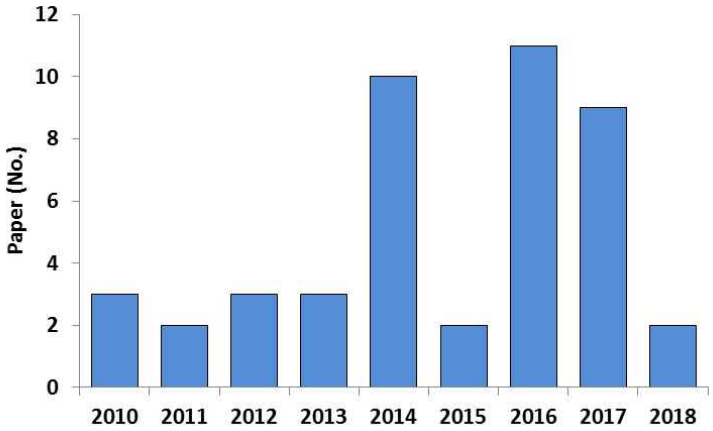


그림 2-2-5. 중국의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수

○ 중국은 아시아 국가중에서 생물교란 연구가 가장 활발히 이루어지고 있으며, 갯벌 생물의 활동 및 서식굴에 의한 유기물 분해 및 C, N 등의 물질 flux에 관한 연구가 수행되고 있음 (그림 2-2-5).

○ mesocosm 연구를 통해 표층하퇴적물식자인 두토막눈썹참갯지렁이의 섭식활동에 의한 organic carbon과 nitrogen의 분해 연구가 수행되었음 (Fang et al., 2018, 그림 2-2-6).

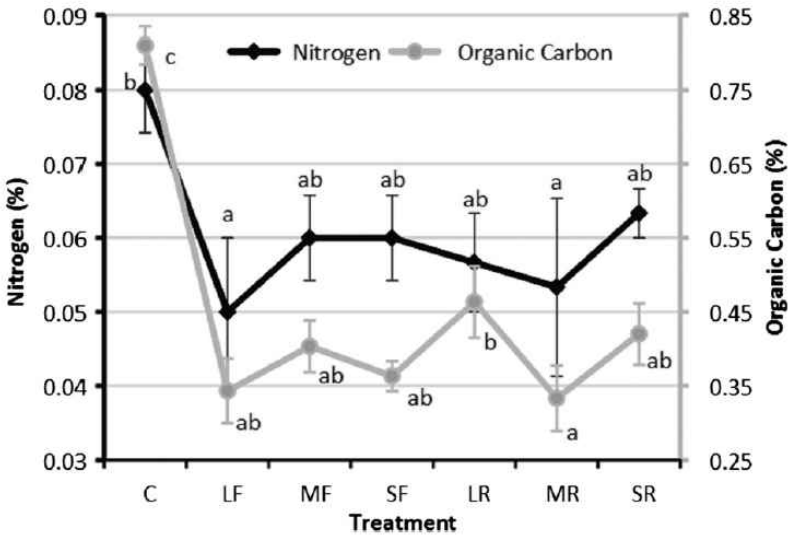


그림 2-2-6. 두토막눈썹참갯지렁이의 섭식활동에 의한 유기물 분해

□ 일본

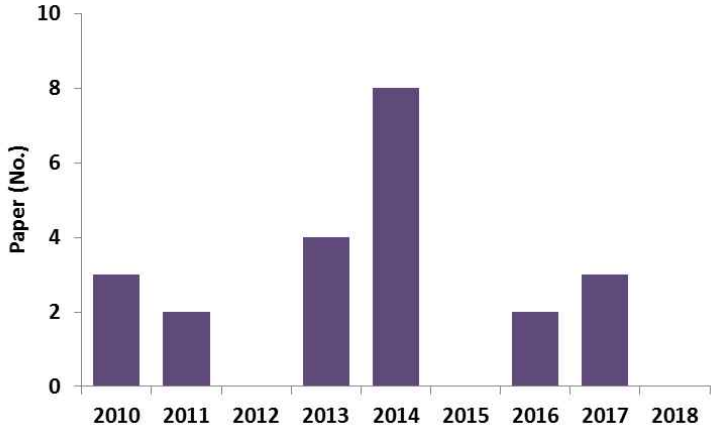


그림 2-2-7. 일본의 연도별 생물교란에 의한 유기물 분해 연구 논문 수

○ 일본의 경우 갯벌생물의 생물교란에 의한 유기물 분해 연구가 활발하게 수행되지 않는 상황이지만 갯벌 생물의 서식굴 구조 연구와 생물교란 연구가 수행되었음 (그림 2-2-7).

○ 최근 in situ 실험을 통해 칠게의 섭식활동에 의한 total organic carbon과 total nitrogen의 분해 연구가 수행되었음 (Tanaka et al., 2017, 그림 2-2-8).

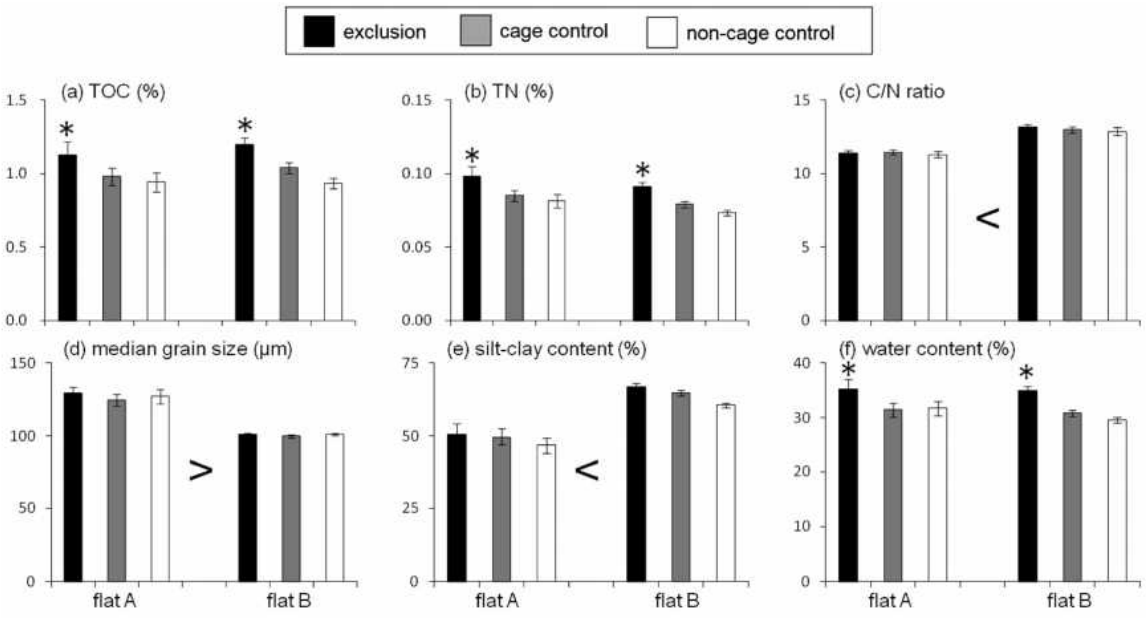


그림 2-2-8. 칠게의 섭식활동에 의한 유기물 분해

2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가

○ 닫힌 챔버법 (Static chamber or Closed chamber) 을 이용한 온실가스 플럭스 연구

- 생물구조, 가령 식물 호흡근 (pneumatophores) 및 게 서식굴의 유무에 따른 이산화탄소 및 메탄 플럭스 연구 결과, 이산화탄소의 경우는 게를 포함한 생물구조가 발생량에 큰 영향을 주며, 메탄의 경우도 이와 비슷하면서 특히 게 서식굴이 메탄 발생량에 중요한 요인으로 조사됨 (Kristensen et al., 2008).
- 또한, 양자강 하구 갯벌 식물 서식지 (marsh site) 에서도 계절적인 메탄 발생량은 여름철 기온 상승에 따라 뚜렷하게 증가하지만, 비 서식지의 경우는 갯벌이 메탄 sink가 관측됨 (Wang et al., 2009).

○ 생물교란과 탄소저장률(CBR, Carbon Burial Rate) 간 상관 구조도 파악

- 갯벌의 탄소 격리 (C sequestration) 및 저장 이동 경로 (pathway) 는 1) 광합성에 의한 이산화탄소 흡수, 2) 먹이망을 통한 탄소의 이동, 3) 유기물질의 분해 및 순환 4) 탄소저장 (blue carbon) 들로 크게 구분이 되며, 저서동물의 서식지에서 탄소저장과 저장률 변화에 대한 긍정적·부정적 영향에 대한 기작 연구가 필요함 (그림 2-2-9).

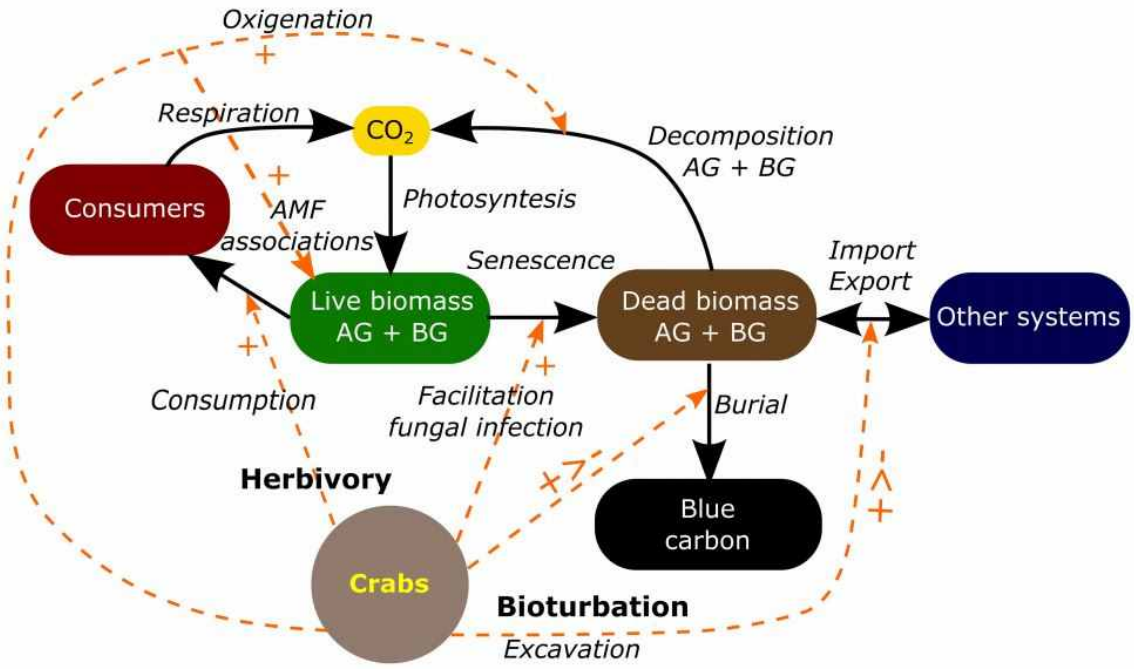


그림 2-2-9. 탄소 이동 경로와 저서동물의 생물교란과 상관 구조도

○ 메탄산화와 관련하여 혐기적 메탄산화 고세균에 대한 연구가 다양한 환경에서 수행됨
- 북해 German Bight에서는 메탄 분포와 생분해에 미치는 환경요인에 대한 연구가 수행됨 (Osudar et al., 2015).
- 2010년 네덜란드 연구팀에 의해 아질산염을 이용하여 메탄을 산화하는 과정에 대해 새롭게 밝혀짐 (Ettwig et al., 2010), 이와 관련하는 연구개발이 요구됨.
- 다양한 환경에서 메탄산화세균의 선택적 분석을 위해 안정동위원소로 표지된 메탄을 기질로 이용하는 연구 및 안정동위원소를 이용하여 메타게놈을 분석함으로써 생지화학적 과정을 재구성하는 연구들이 시급함.

3. 공간기반 정량화

○ 원격탐사 자료기반 연안환경 연구

- 연안습지는 짧은 간조로 인하여 광역적인 변화 측정에 어려움이 따르기 때문에 인공위성을 이용한 연구가 시작되었으며 (Walsh et al., 1998), 특히, 위성원격탐사는 전지구 또는 중/대규모의 해양 현상을 탐지할 수 있는 유일한 도구임.
- 최근의 연안 호주의 Murray et al. (2012, 2014) 은 황해 및 동중국해 연안의 갯벌 면적파악을 위해 Landsat TM/ETM+ 자료를 사용하여 NDWI (Normalized differenced water index) 지수를 생성하여 적용한 결과 1980년대 이후황해 및 동중국해 연안의 갯벌이 약 28% 감소한 것으로 분석함. 하지만, 황해 연안 갯벌의 낮은 이해도와 원격탐사기법의 제약으로 인하여 정성적 추정에 그침.

○ 원격탐사 및 GIS기법을 사용한 연안 환경변화 연구 및 활용

- 영국·네덜란드·스페인·루마니아의 연구진들은 EU에서 펀드를 받는 FAST (Foreshore Assessment using Space Technology) 사업을 통해 강 하구 및 연안의 환경변화를 공간DB화하여 연안 특성 별 환경변화를 예측하는 연구를 수행 중임. 이를 위해 다중위성자료 및 현장자료를 공간 DB화한 뒤 GIS기법을 사용하여 연안의 퇴적상, 생물상, 지형에 대한 종합적인 분석을 진행 중임.
- 미국의 USGS는 장·단기 해안변화분석 및 연안관리 목적으로 고해상도 항공사진과 위성영상을 적극 활용하고 있음. 특히, 허리케인에 의해 침수가 빈번이 일어나는 걸프만의 연안변화분석을 위해 항공사진 기반의 연안분류맵핑 연구가 수행 중임.
- 독일, 미국, 호주 등은 일부 연안에 대하여 연안토지피복도를 오픈플랫폼 형식의 웹서비스로 제공함.

제 3 장 연구개발수행 내용

제 1 절 연구내용 및 연구범위 설정

1. 생물교란에 의한 갯벌기능 평가를 위한 Target species 선정 기준 정립

○ 생물교란에 의한 갯벌기능 평가를 위한 목표종은 섭식형태에 따라 3가지 기능군 (표층퇴적물식자, 표층하퇴적물식자, 여과물식자) 으로 나누어 선정함 (표 3-1-1).

○ 선행연구 결과 및 문헌 연구를 통해 우리나라 갯벌의 우점종 또는 생태특이종을 대상으로 목표종을 선정함.

표 3-1-1. 섭식형태에 따른 갯벌생물의 기능군 분류

기능군	섭식형태	대상종
표층퇴적물식자 (Surface deposit-feeder)	퇴적물 표층의 먹이를 취하는 동물	칠게, 엽낭게 등
표층하퇴적물식자 (Subsurface deposit-feeder)	퇴적물 표층 아래 퇴적물 내 유기물을 먹이로 하는 동물	두토막눈썹참갯지렁이 등
여과물식자 (Filter feeder)	수층에 존재하는 먹이를 걸러먹는 동물	바지락, 가무락 등

○ 표층퇴적물식자와 표층하퇴적물식자의 경우 섭식활동을 통해 제거되는 유기물을 분석하기 위해 pellet을 생성하는 종을 목표종으로 선정함.

○ 선행연구결과 표층퇴적물식자의 경우 칠게, 엽낭게, 펄털콩게 등이 섭식활동을 통해 pellet을 생성하며 표층하퇴적물식자의 경우 두토막눈썹참갯지렁이 등이 pellet을 생성하는 것으로 나타났음.

○ 여과물식자의 경우 여과를 통해 부유입자 제거 및 유기물 제거가 우수한 종을 대상으로 하며 바지락, 동죽, 가무락 등의 이매패류를 대상으로 목표종을 선정함.

○ 기능군별 목표종은 mesocosm 실험을 위해 배양 및 관찰이 용이하고 실험생물의 공급을 위해 우점 및 채집이 용이한 종을 대상으로 목표종을 선정함.

2. 갯벌생물 기능군별 생물교란에 의한 유기물 분해 기능 평가 방법 정립

○ 갯벌생물의 생물교란에 의한 유기물 분해는 섭식활동을 통한 체내 신진대사에 의해 분해되며 갯벌생물의 배설과 사체를 통해 발생되는 과정을 거침 (그림 3-1-1).

○ 따라서, 갯벌생물의 섭식활동을 통해 제거되는 유기물과 배설을 통해 발생되는 양을 산정하는 것이 중요함.

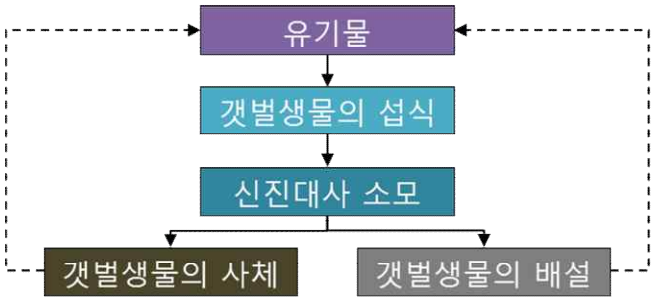


그림 3-1-1. 유기물 분해 및 발생 과정

○ 표층퇴적물식자

- 표층퇴적물 식자의 경우 표층 퇴적물을 섭식활동을 통해 pellet을 생성함 (구본주, 2016, 그림 3-1-2). 섭식활동을 통해 생성된 pellet과 표층퇴적물의 유기물 농도 비교를 통해 표층퇴적물 식자의 신진대사를 통해 제거된 유기물을 정량화 할 수 있음.
- 50 cm × 50 cm의 면적의 실험구와 표층퇴적물식자의 활동이 없는 곳을 선정하여 동일한 면적으로 대조구를 설정함.
- 간조시 실험구와 대조구가 노출된 후 pellet을 제거하고 일정 시간 간격으로 새롭게 생성된 pellet과 대조구의 퇴적물을 채집하여 유기물 농도를 분석하여 섭식활동에 의해 제거된 유기물을 정량화 함.

그림 3-1-2. 표층퇴적물식자인 엽낭게의 섭식활동을 통해 생성된 pellet

- 표층퇴적물식자인 칠게의 섭식활동을 통해 갯벌 퇴적물 내 유기물을 최대 45% 제거하는 것으로 나타났으며, 칠게의 유기물 분해속도는 갯벌 퇴적물 내 미생물에 의한 유기물 분해속도의 약 50%에 해당하는 것으로 나타남 (KIOST, 2010, 그림 3-1-3).

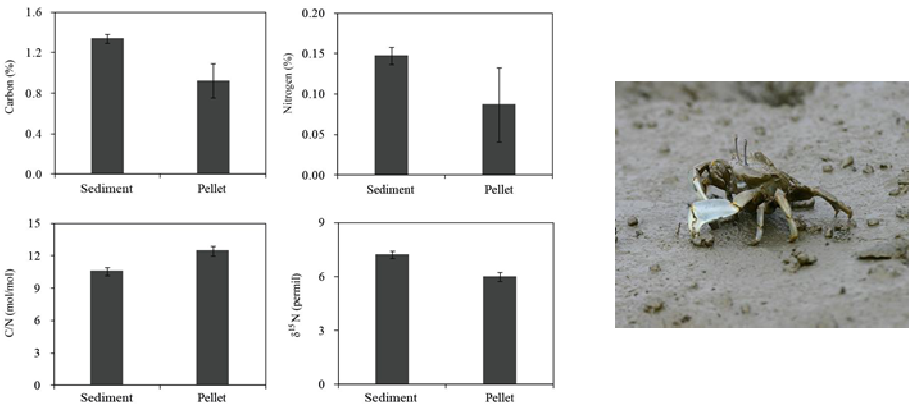


그림 3-1-3. 칠게의 섭식활동에 의한 유기물 제거

○ 표층하퇴적물식자

- 표층하퇴적물식자의 경우 굴을 파고 굴 안에서 생활하며 하부 퇴적물을 섭식하고 표층으로 pellet을 배출함 (구본주, 2016, 그림 3-1-4). 섭식활동을 통해 생성된 pellet과 하부 퇴적물의 유기물 농도 비교를 통해 표층퇴적물 식자의 신진대사를 통해 제거된 유기물을 정량화 할 수 있음.
- 50 cm × 50 cm의 면적의 실험구와 표층하퇴적물식자의 활동이 없는 곳을 선정하여 동일한 면적으로 대조구를 설정함.
- 간조시 실험구와 대조구가 노출된 후 pellet을 제거하고 일정 시간 간격으로 새롭게 생성된 pellet과 대조구의 퇴적물을 채집하여 유기물 농도를 분석하여 섭식활동에 의해 제거된 유기물을 정량화 함.
- 표층하퇴적물식자의 경우 하부 퇴적물을 섭식하므로 섭식 깊이를 파악하기 위해 대조구 퇴적물을 깊이별로 채집하여 유기물 농도를 분석함.

그림 3-1-4. 표층하퇴적물식자인 두토막눈썹참갯지렁이의 pellet

○ 여과물식자

- 여과물식자의 경우 해수와 함께 유기물을 빨아들이며 여과과정을 걸쳐 걸러진 유기물이 소화기관으로 유입됨. 섭식 전 해수중 입자의 유기물 농도와 섭식 후 입자의 유기물 농도 비교를 통해 여과물식자의 여과를 통해 제거된 유기물을 정량화 할 수 있음.
- 아크릴로 제작된 챔버 내에 여과물식자를 이식하고 교반기를 작동시켜 챔버 내 해수의 유속을 일정하게 유지시킴 (KIOST, 2010, 그림 3-1-5).
- 교반기를 작동시킨 후 진공펌프를 이용하여 챔버 내 해수를 채수하고 부유물질, 입자성 유기탄소 및 유기질소의 농도를 측정함.
- 밀폐된 챔버 내부의 용존산소량 감소가 바지락의 생물대사 활동을 저해시키지 않도록 용존산소측정기 값을 모니터링 하면서 80% 이하로 떨어질 경우 기포기를 통해 산소를 공급함.

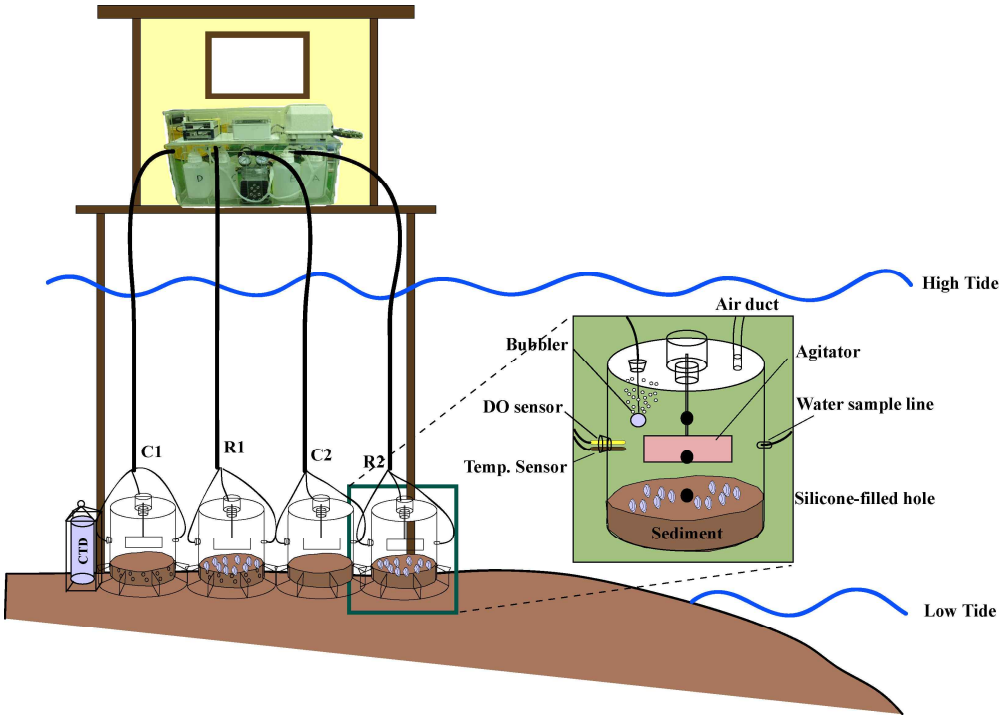


그림 3-1-5. 여과물식자인 바지락의 실험 모식도

- 여과물식자인 바지락의 여과속도는 0.47 L/h/gDFW 였으며 단위면적당 여과속도는 88 $L/h/m^2$ 로 나타났음.

3. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 실험을 위한 현장 관찰구 및 mesocosm 규모 산정

○ 생물교란에 의한 유기물 분해기능 실험을 위한 현장 관찰구

- 갯벌생물이 퇴적층에 생성하는 서식굴의 경우 갯벌 퇴적층 하부로 서식굴이 생성되고 형태와 모양이 복잡하며 퇴적층 하부로 최대 2m 깊이까지 서식굴이 연장되어 있는 경우도 있어 퇴적층 표면에서 인위적 교란 없이 서식굴 내 환경측정이 불가능함.
- 따라서, 인위적 교란 없이 갯벌생물의 서식굴 내 환경측정이 가능하게 관찰구를 디자인함.

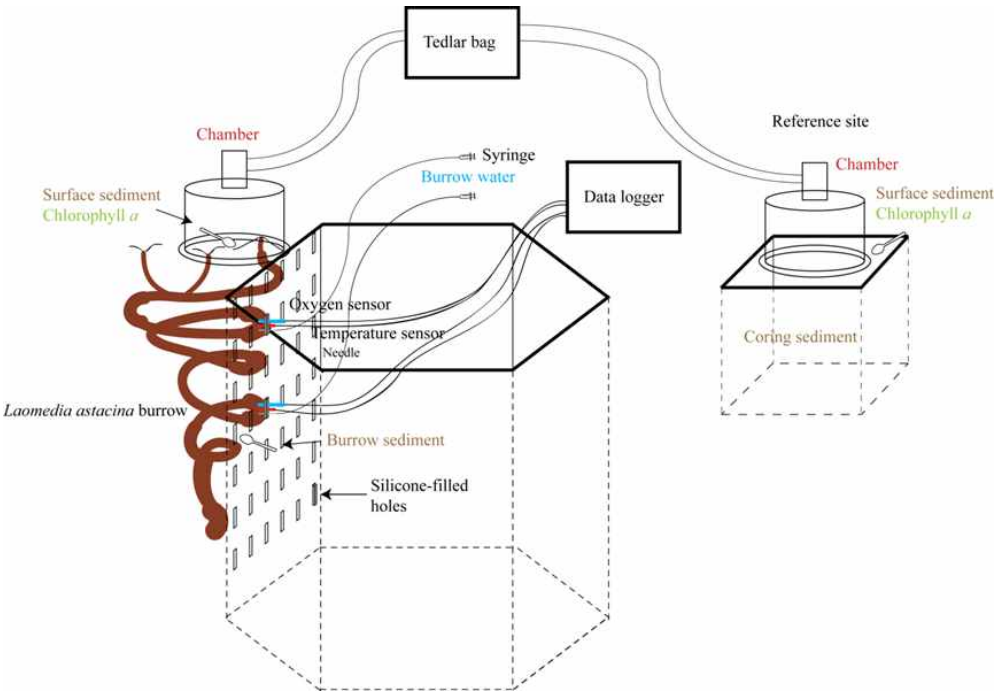


그림 3-1-6. 유기물 분해기능 실험을 위한 현장 관찰구 모식도

- 강화 아크릴을 주재료로 하는 육각기둥 형태의 투명한 관찰구임. 관찰구의 윗면과 아랫면은 정육각형이며 각각의 옆면은 직사각형임. 관찰구의 모양이 원기둥 모양일 경우 서식굴과 관찰구가 접할 수 있는 면적이 제한적이며 측정 센서를 삽입하기 어렵고 서식굴의 형태가 직선으로 뻗은 모양이 아닌 경우가 다수이기 때문에 관찰구의 모양이 육면체일 경우 관찰구와 서식굴이 접하기 어려움. 육각기둥 형태는 서식굴과 관찰구가 접할 수 있는 면적을 최대화한 형태임 (구본주, 2009, 그림 3-1-6).
- 세부적으로 윗면과 아랫면의 정육각형은 각각의 변의 길이가 60 cm이고 각각의 내각이 120°로 이루어짐. 옆면은 가로 60 cm 세로 100 cm의 직사각형임.
- 관찰구의 내측면에는 일정 간격으로 측정센서를 삽입할 수 있는 직사각형 모양의 센서삽입구가 있음. 센서삽입구에 측정용 센서를 삽입하여 연속측정이 가능하도록 함. 센서삽

입구는 실리콘재질의 마개로 막을 수 있음. 마개로 센서삽입구를 막을 경우 측정용 센서를 삽입할 수 있으며 마개를 제거할 경우 서식굴 내부 퇴적물 또는 내부 해수를 채집할 수 있음. 센서삽입구 마개는 센서를 삽입하고 제거한 후에도 모양의 변형이 일어나지 않고 측정 전후에 마개를 통한 물질이동이 일어나지 않음.
- 세부적으로 센서삽입구의 크기는 가로 6 cm, 세로 1.5 cm의 직사각형이며 상부로부터 80 cm 간격으로 9줄로 구성되며 1줄당 6개의 센서삽입구가 있어 옆면의 직사각형 한 면당 54개 전체 관찰구에 324개의 센서삽입구가 있음.
- 실험구 내부에 사람이 들어갈 수 있는 충분한 공간이 있음. 실험구 내부에 물이 없는 노출기간에 사람이 실험구 내부에 들어가 센서삽입 및 실험구 유지·보수 등의 활동을 할 수 있음. 실험구 내부에 물이 차는 침수기간에도 다이빙을 통해 실험구 내부에서 활동을 할 수 있음.

○ 생물교란에 의한 유기물 분해기능 실험을 위한 mesocosm

- 실험실 수조시스템은 조석주기를 조절할 수 있는 제어기를 수조에 연결하고 온도를 제어할 수 있는 항온실에 설치함 (구본주, 2009, 그림 3-1-7).
- 수조는 53cm × 23cm × 61cm (가로×세로×높이)의 크기의 아크릴을 주재료로 하며, 퇴적물 내에서 대상종의 서식굴 연장선이 수조 내벽을 지나갈 수 있도록 큐벳 (cuvette) 타입으로 제작함.
- 아크릴판을 통해 서식굴 내부로 센서를 직접 넣을 수 있도록 외벽에는 일정간격으로 구멍을 뚫고, 탭을 달아 평상시에는 해수가 빠져 나오지 못하도록 함.

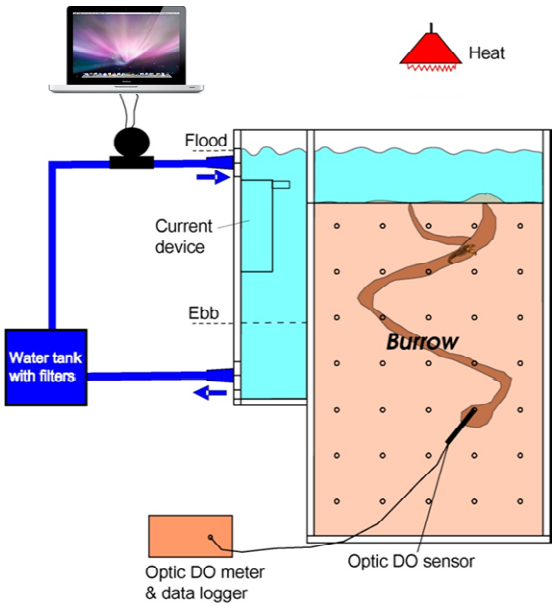


그림 3-1-7. 유기물 분해기능 실험을 위한 mesocosm 모식도

4. 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향의 정량화 방법론 정립

○ 생물교란에 의한 탄소 순환과 갯벌 탄소 모델의 정립

- *M. japonicus* 등에 의한 서식굴 형성은 유기물 순환 (C mineralization - C fixation)을 다소 증가시킴 (대략 1.1 배), 즉 갯벌 퇴적물의 표면적 증가로 인한 유기물 분해 가능성이 커짐(Otani et al., 2010)
*Y = Sc + Bc + Mc - Mp - Pp, Y: organic carbon cycle (gC/m2/month); Sc: organic carbon decomposition rates in sediment (gC/m2/month); Bc: organic carbon decomposition rates in burrow (gC/m2/month); Mc: respiration rate (gC/m2/month); Mp: secondary production (gC/m2/month); Pp: primary production (gC/m2/month)

○ 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향의 정량화 방법론 정립

- 시·공간적 같은 조건하에서 갯벌생물의 서식굴과 대조구 (비서식굴) 퇴적물에서 이산화탄소와 메탄의 플럭스 산정.
- 온실가스 플럭스에 대한 서식굴 및 대조구 퇴적물의 표본 조사 실시.
- 장기적이고 계절별 현장 관측 자료 (표본 조사) 를 이용하여 서식굴과 대조구 간의 효과크기 (effect size) 통계 방법 (평균차) 을 적용, 정량적인 연구결과 제시 (강현, 2015).
- 메탄/이산화탄소와 대기 간 탄소교환 개념 모델은 아래 그림과 같음 (Mitsch et al., 2012, 그림 3-1-8).

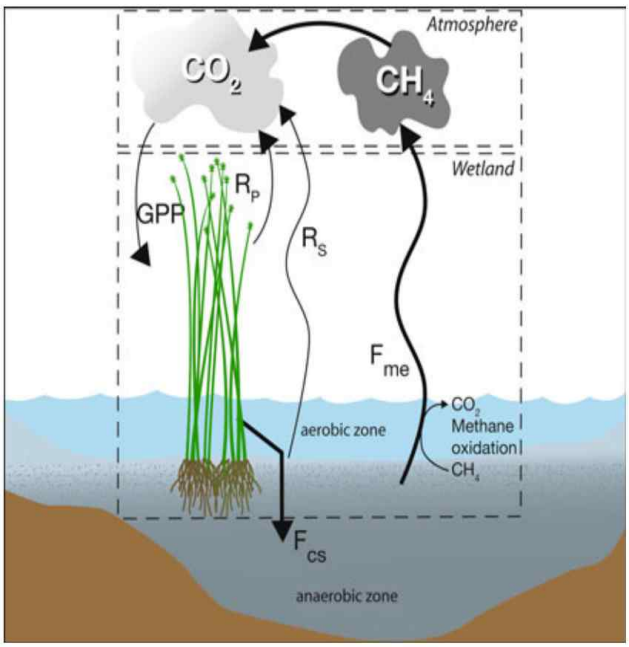


그림 3-1-8. 습지의 탄소 수지 및 대기와 탄소 교환 개념 모델

- 대기중 메탄과 이산화탄소의 시간에 따른 농도변화는 아래의 식으로 표현이 됨.

$$dMc/dt = Fme - KMc \qquad (1)$$
$$dCO2c/dt = KMc - Fcs \qquad (2)$$

위 식에서 Mc는 대기 중 메탄의 탄소(g-C/m2); $CO2c$는 대기 중 이산화탄소의 탄소(g-C/m2); Fme는 습지의 메탄 탄소 발생량(g-C/m2/year); Fcs는 대기로부터 이산화탄소의 탄소 교환률(g-C/m2/year); K는 대기 중 메탄의 일차 붕괴 상수(1/year, 모델의 초기 값은 반감기 7년으로 간주함).

- 닫힌 챔버법을 통해 Fme값을 계산할 수 있으며, 챔버가 열린 상태에서는 dMc/dt 및 $dCO2c/dt$ 값에 대한 모니터링이 가능함. 이에 식 (1)과 (2)를 이용하여 Fcs값을 추정할 수가 있음.

5. 닫힌플럭스챔버를 이용한 이산화탄소/메탄 농도 변화량 측정 방법 정립

○ WEST Systems사(이태리)의 메탄(HydroCarbon detector)과 이산화탄소(LI820 CO_2 detector) 센서가 장착된 portable flux-meter를 투명 아크릴 재질의 닫힌챔버에 적용.

○ 온실가스 센서들 이외에 온습도 및 산소 센서들을 챔버에 장착 (그림 3-1-9).

○ 챔버의 온실가스 농도변화는 시간에 따라 증가 또는 감소하며, 플럭스 산출은 선형의 직선 기울기(ppm/sec)를 보이는 구간으로부터 계산함.

그림 3-1-9. 닫힌플럭스챔버의 구성

6. 탄소안정동위원소 분석을 통한 이산화탄소와 메탄간 탄소 이동 경로 분석 방법 정립

○ 대기가스 자동 채취 시스템은 챔버에 부착이 용이한 PC 기반 전자제어 부분과 진공 튜브를 이용한 시료 채취 부분으로 구성.

○ 타이머를 통한 시료 채취 간격이 결정되며, 챔버 내 가스 시료는 자동 on/off 밸브 끝에 주사바늘을 연결하여 vacutainer를 장착하여 채취.

○ 실험실에서 vacutainer의 시료에 대한 탄소안정동위원소비(13C/12C)를 분석.

○ 탄소안정동위원소비와 이산화탄소 농도에 대한 상관관계를 통해 챔버의 이산화탄소 기원(origin)에 대한 파악 및 메탄 산화(oxidation)에 의한 이산화탄소 발생량 평가.

○ WEST Systems사(이태리)의 메탄(HydroCarbon detector)과 이산화탄소(LI820 CO_2 detector) 센서가 장착된 portable flux-meter를 투명 아크릴 재질의 닫힌챔버에 적용하여 연속성의 메탄과 이산화탄소 모니터링을 수행함.

○ 특히, 메탄 산화가 관측되었으며 (챔버 내 메탄 농도의 감소), 이를 확인하기 위한 메탄 및 이산화탄소의 탄소안정동위원소 분석을 수행한 결과, 저서동물의 서식굴은 산소와 유기물질의 공급으로 화학적 반응물질이 생기며 호기성인 Proteobacteria는 줄어들고 질산염환원을 통해 메탄을 산화하는 그룹 (*Candidatus Methylomirabilis*) 이 증가함에 메탄 산화에 따른 이산화탄소가 발생할 수 있음. 이와 과련 연구개발이 필요함.

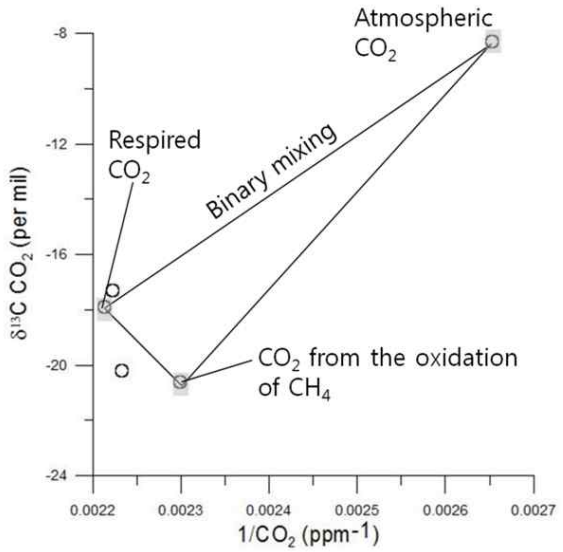


그림 3-1-10. 탄소 이동 경로와 저서동물의 생물교란과 상관 구조도

○ 위 그림에서 실험은 *L. astacina* 서식굴 위치에서의 챔버실험으로, 챔버 내 이산화탄소 농도에 영향을 주는 요인으로는, 1) 초기 이산화탄소, 지역적 대기의 이산화탄소로 평균 농도는 377 ppm, δ^{13}C값은 -8.3‰; 2) 퇴적물로부터 발생된 이산화탄소, 농도는 452 ppm, δ^{13}C값은 -17.9‰; 3) 메탄 산화에 의한 이산화탄소, 농도는 435 ppm, δ^{13}C값은 -20.6‰.

○ 생물교란에 의한 온실가스, 특히 메탄의 플럭스는 식 (1)과 (2)에서 보듯이 갯벌의 탄소저장률에 영향을 주고 있기 때문에 갯벌생물 서식굴에서 메탄의 잠재적인 산화능력은 갯벌의 메탄 플럭스를 이해하는데 중요함.

○ 대기의 이산화탄소의 당량 (equivalent) 은 아래의 식으로 표현이 되며 (Mitsch et al., 2012),

$$CO_2eq = CO_2 + (GWP_M \times M_{CH4}) \qquad (3)$$

CO_2는 대기의 이산화탄소 인벤토리(g-CO2/m2); M_{CH4}는 대기 중 메탄 인벤토리(g-CH4/m2); GWP_M은 25임.

○ 식 (3)을 통해 이산화탄소 당량의 변화를 추정하며, 갯벌의 탄소저장에 대해서 장기적인 변화를 예측할 수 있음.

7. 공간기반 정량화를 위한 무인항공기 운용 방법

○ 한국의 갯벌은 대규모의 간척사업으로 인해 다양한 환경변화가 일어나고 있기 때문에 중요함. 환경변화를 모니터링하기 위해 인공위성 DEM 데이터를 이용하는 것은 효과적임. 하지만 인공위성 데이터는 낮은 공간해상도와 시간해상도를 가지므로, 갯벌에서는 적용하기 어려움.

○ 무인항공기는 인공위성의 단점을 극복할 수 있으며 갯벌의 DEM 제작에 매우 적합함. 무인항공기로 획득한 영상에 항공삼각측량법을 적용하면 3차원 좌표를 효과적으로 생성할 수 있음.

○ 하지만 연안은 다른 육상지역과 달리 특이점이 많이 존재하지 않아 취득된 영상간의 매칭이 어려움. 따라서, 연안 지역의 정사영상 및 DEM생성을 위해서는 연안지역의 특성을 고려한 무인항공기 운용과 시스템 성능 검증이 요구됨

- 자연환경적인 측면: 바람, 구름, 갯벌의 조차, 태양 방위각 및 밝기
- 작업환경적인 측면: 지상기준점의 개수, 촬영된 이미지의 중첩도, 사용된 카메라 설정

○ 자연환경적 측면

- 강한 바람이 존재할 경우 무인항공기 자세는 불안정할 수 있음 (무인항공기의 권장조건은 풍속 8 m/s 이하).
- 날씨 상태가 좋지 않아 구름이 듬성듬성 존재할 경우 영상 간에 포인트 매칭이 어려우며 정확도가 낮아짐.
- 하늘 전체에 구름이 형성되었을 경우 획득된 영상의 밝기는 일정하므로 결과에 큰 영향을 주지 않음.
- 태양방위각에 따라 획득되는 정사영상과 DEM 데이터의 정확도가 변할 수 있음.
- 높은 지형지물이 존재할 경우 태양방위각에 따라 변하는 그림자의 영향을 무시할 수 없음.
- 특히 갯벌 및 연안의 경우 표면에 잔존수가 존재할 가능성이 있으며, 이러한 잔존수에 의한 반사 효과로 인해 DEM 데이터의 정확도가 낮아질 가능성이 있음.

○ 태양 방위각 및 반사효과

- 갯벌에서 무인항공촬영을 수행할 때 가장 큰 문제점은 영상의 밝기 변화임.
- 동일한 지역임에도 불구하고 물에 의한 반사 영향 때문에 영상 간에 매칭에 어려워 DEM 데이터가 과소평가 또는 과대평가 될 수 있음 (그림 3-1-11).
- 이는 태양의 방위각 영향에 의한 결과이며 오전 11시 ~ 오후 3시는 물에 의한 반사영향을 직접적으로 받는 시간대임.
- 조차를 고려하여 위 시간대에 촬영을 수행해야할 경우 무인항공기의 진행방향과 태양방위각이 약 45° 일 때 촬영을 수행하면 반사영향을 최소화 할 수 있음.
- 획득된 영상의 후처리를 통해 방위각 및 반사효과를 제거하는 방법이 있음.

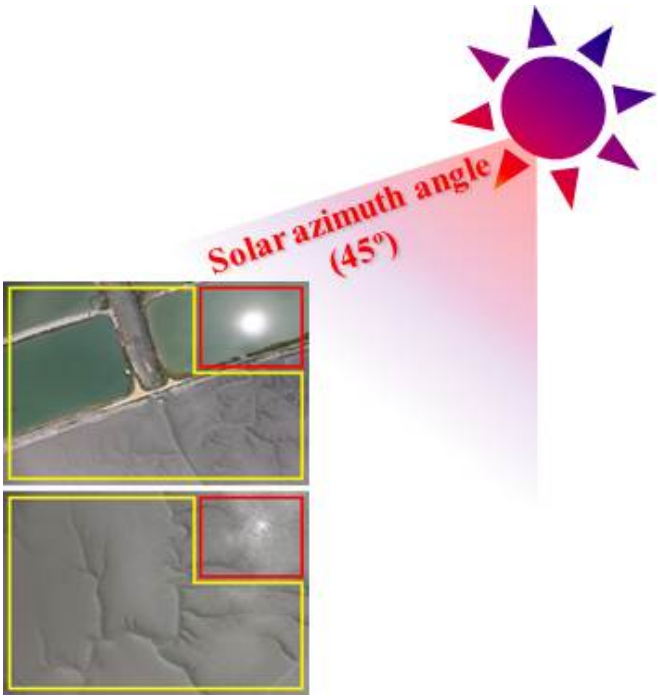


그림 3-1-11. 태양방위각 및 반사효과

- 이미지의 밝기를 평준화하는 최소자승법이 일반적으로 많이 사용됨. 이 방법은 1장의 이미지 전체 영역에 대해 밝기 분석을 수행할 후 밝기를 평준화 하는 방법임. 하지만, 구름이 있을 경우 매우 다양한 색이 존재할 경우 DEM 오차를 발생시킬 수 있는 단점이 있음 (그림 3-1-12).

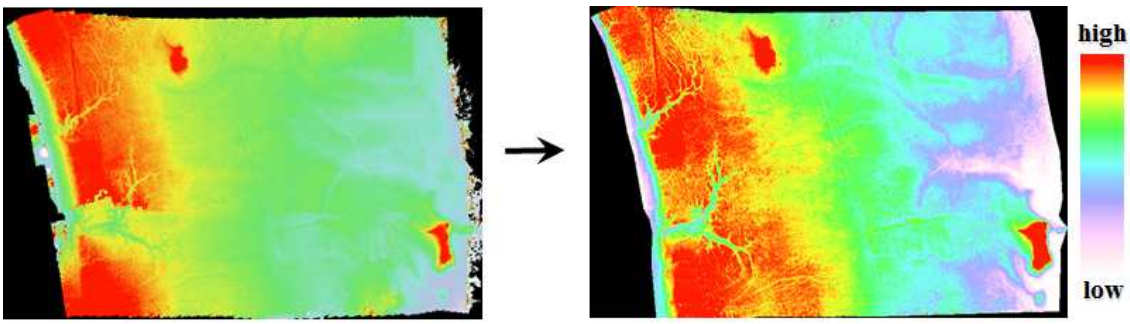


그림 3-1-12. 영상 후처리 전과 후처리 후 지형고도맵

○ 영상 중복도에 따른 효과

- Photoscan는 카메라 캘리브레이션을 포함하여 SIFT기반의 영상매칭, 번들 조정 기반의 지오레퍼런싱을 자동으로 수행하여 정사영상과 DEM을 생성할 수 있도록 함.
- 일반적으로 영상간의 중복도를 증가시켰을 경우 정사영상과 DEM 데이터 정확도는 상승하게 됨.
- 무인항공기의 진행방향 중복도 지수 결정은 운용시간제한 또는 배터리 용량에 크게 영향을 미치지 않음. 하지만 사이드오버랩 (횡중복도) 의 경우 기체의 운용시간, 촬영 가능 범위 등 효율적인 측면에서 영향을 미치게 됨. 무인항공기 운용 효율을 극대화하기 위해 적정 수준의 사이드오버랩 결정은 반드시 필요함.
- 스트립간의 종중복도 (F.D: flight direction overlap) 를 80%로 고정하고 영상간의 횡중복도(S.D: side direction overlap)만 30%, 50%, 70%로 달리하면서 동일한 고도에서 촬영된 영상과 동일한 개수의 지상기준점을 사용하여 처리한 결과의 비교를 통하여 종중복도에 따른 정확도 검증을 수행할 수 있음. 횡중복도가 증가할수록 중복되는 영상이 증가하여 정확도 높은 정사영상 획득이 가능하였음 (그림 3-1-13).

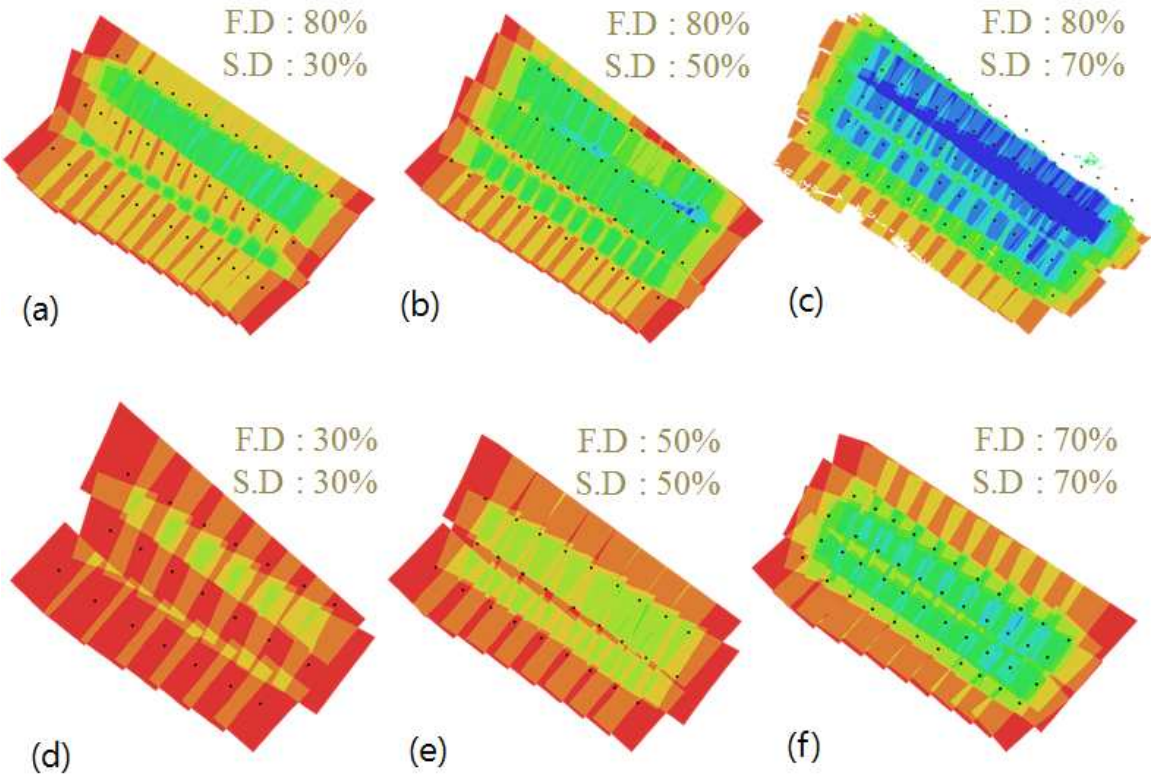


그림 3-1-13. 스트립간의 종중복도(F.D)와 영상간의 횡중복도(S.D)에 따른 중복된 영상 수, 붉은색에서 파란색으로 갈수록 중복된 영상 수가 증가함

- 스트립간의 종중복도와 횡중복도를 30%, 50%, 70%로 달리하면서 동일한 고도에서 촬영된 영상과 동일한 개수의 지상기준점을 사용하여 처리한 결과의 비교를 통하여 종/횡중복도에 따른 정확도 검증을 수행할 수 있음. 종중복도의 경우 연구지역의 넓이에 큰 영향을 미치지 않았지만 횡중복도는 영상의 정확도에 큰 영향을 미침. 특히 횡중복도를 30%로 설정하였을 경우 중복된 영상이 존재하지 않아 정사영상 생성되지 않은 영역이 나타남. 따라서 무인항공기로 정사영상 및 DEM생성 시 원하는 범위보다 크게 설정하여 영상을 획득해야 함.

○ 지상기준점 개수 및 지상기준점의 분포에 따른 효과

- 드론사진측량 과정 중 항공삼각측량 수행 시, 입력된 지상 기준점에 따라 상응하는 영상점과 해당 영상의 투영의 중심을 잇는 광선들이 조정됨. 이 때, 조정되는 정도의 차이는 있지만, 지상 기준점에 대한 조정도 함께 이루어짐 (그림 3-1-14).

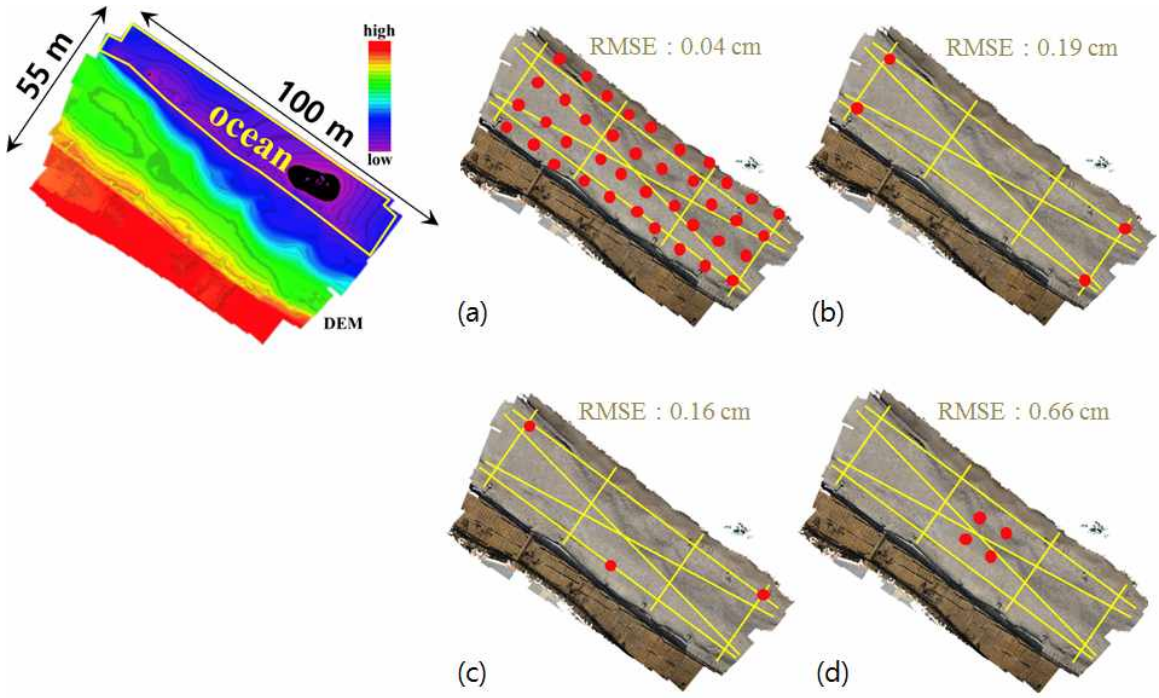


그림 3-1-14. 지상기준점의 개수와 분포에 따른 정확도

- 지상기준점의 개수가 증가할수록 정사영상의 정확도가 증가함. 하지만, 그 상관관계가 1이 아님. 지상기준점의 개수뿐만 아니라 지상기준점의 분포양상이 가장 중요함.
- 지상기준점의 개수가 1, 2, 4(2종류), 40개의 경우를 분석함. 1개 또는 2개의 경우 DEM의 3차원 좌표를 형성할 수 없으며, 이론적으로 DEM 생성이 불가능함.
- 기상기준이 4개인 경우를 2종류로 나누어서 분석한 결과, 4개의 점이 연구지역의 외곽

꼭지점 근방에 형성시켰을 경우 DEM RMSE는 0.19이며, 4개의 점이 연구지역 중간에 밀집 시켰을 경우 RMSE는 0.66 m임. 지상기준점 40개를 격자모양으로 형성시켰을 경우 RMSE는 0.04 m임.
- 따라서, 최적화된 분포양상을 형성하였을 때, 2차적으로 지상기준점 개수가 증가할 경우 DEM 데이터의 정확도가 증가함.

8. 초정밀 생물분포도 및 대축척화를 위한 필요 기술 요구사항 분석

○ 무인기용 초다분광 센서

- 초다분광(hyperspectral) 센서는 다중분광(multispectral) 센서에 비해 좁은 파장 간격으로 넓은 파장대를 조밀하게 관측할 수 있어 대상 지표에 대한 스펙트럼 정보 획득 가능.
- 초다분광 영상 획득 방법으로 스캔(scan) 또는 스냅샷(snapshot) 방식이 존재하며, 스캔 방식의 경우 획득된 영상의 기하왜곡을 감소시키기 위해 부수적인 고가의 장비 (cpu, gps, imu 등)가 반드시 필요하기 때문에 플랫폼의 무게가 증가되며 이러한 이유로 유인기 플랫폼에 많이 사용됨.
- 무인항공기에 스캔 방식의 초다분광 센서를 탑재해야할 경우 제한 중량이 높은 무인기가 요구되므로 비용적인 면에서 단점이 존재함.
- 스냅샷 방식의 초다분광 센서는 영상의 기하왜곡을 최소화 할 수 있어 플랫폼 무게가 상대적으로 가벼우며, 스캔 방식의 초다분광 센서는 스냅샷에 비해 많은 양의 분광정보와 높은 분광해상도를 가지므로 생물분포도 생성을 위한 갯벌의 물리적 특성파악에 효과적.
- 적용 가능한 초다분광 센서는 AisaEAGLE, AisaFENIX, AisaKESTEREL10, microCASI, OCI-U-2000임.
- AisaEAGLE는 크기가 34.7×14.6×14.5 ㎝, 무게 6.5 ㎏, 분광범위는 400~970 ㎚로, 주로 유인항공기에 탑재되어 운용되지만, 기체 크기가 클 경우 무인항공기에 적용가능 (그림 3-1-15).
- AisaFENIX 센서는 크기 45.4×38.7×22.2 ㎝, 무게 15 ㎏, 분광범위 380~2500 ㎚로 가시광선 및 적외선 영역을 모두 포함하는 센서로 150 m의 고도로 센서를 운용할 경우 영상의 폭은 87 m, 공간해상도 약 22 ㎝ 영상 획득 가능 (그림 3-1-15).

그림 3-1-15. AisaEagel 센서 (왼쪽)와 AisaFENIX 센서 (오른쪽)

- AisaKESTEREL16은 크기가 12.7×18.0×22.5 ㎝, 무게 2.1 ㎏, 분광범위 400～1000 ㎚으로 소형무인항공기에 탑재가 가능함 (그림 3-1-16).

그림 3-1-16. AisaKestrel16 센서

- microCASI는 크기가 10.2×19.0×17.8 ㎝, 무게 1.5 ㎏, 분광범위 400～1000 ㎚으로 소형무인항공기에 탑재가 가능함 (그림 3-1-17).

그림 3-1-17. microCASI 센서

- OCI-U-2000은 CMOS 방식이며 0.19 ㎏의 무게로 매우 가볍고 소형화되어 있으며, 스캔 방식 센서에 비해 좁은 분광범위(00～1000 nm)를 가지며 소형 무인기에 활용 가능하고 초점거리를 사용자가 쉽게 조절할 수 있어 다양한 FOV 설정 용이함 (그림 3-1-18).

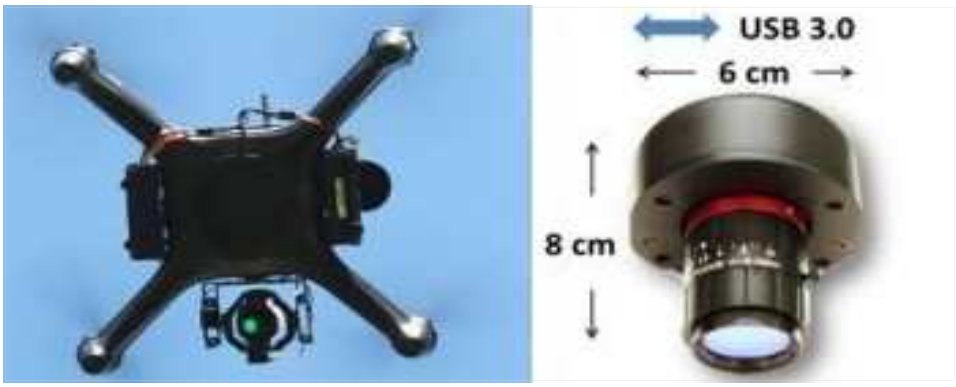


그림 3-1-18. 소형무인항공기에 장착된 OCI-U-2000 센서

○ 무인기용 SAR 센서

- 무인항공기에 적용 가능한 MiniSAR 센서는 Spotlight, stripmap, sector scanning 모드가 있으며 필요시 유동적으로 전환 가능(해상도: spotlight > stripmap > sector scanning).
- 해양에서 움직이는 타켓 감지 가능(Moving Target Indication).
- X-band(9.6 Ghz)를 사용하며, 크기 80×60×40 cm, 무게 20 ㎏ (그리 3-1-19).

그림 3-1-19. MiniSAR

○ 무인기용 열적외선 센서

- 무인항공기용 열적외선 센서는 크기, 사양 및 용도에 따라 다양한 종류의 센서가 존재하며 용도에 따라 측량, 감시용으로 구분됨.
- 렌즈 선택폭이 넓어 활용목적에 적합한 시야(Field of View, FOV) 설정이 가능하므로

열적외선 센서로 갯벌의 물리적 특성 파악은 갯벌의 지표잔존수와 서식굴 분석에 유용하다고 판단됨.
- 일반적으로 사용되는 소형 열적외선 센서는 FLIR 사의 VUE 모델로 크기 6.3×4.4×4.4 ㎝, 무게 0.11 ㎏, 해상도는 640×512 pixel임 (그림 3-1-20).
- 렌즈 옵션은 9 ㎜, 13 ㎜, 19 ㎜이며 각각의 FOV는 62°×49°, 45°×35°, 32°×24° 임.
- 일반적으로 사용되는 중형 열적외선 센서는 FLIR A655로 지상용 열적외선 센서로 개발됐으나 무인항공기, 유인항공기 등 다양한 플랫폼에 활용 가능(그림 3-1-20).
- 크기 21.6×7.3×7.5 ㎝, 무게 5.4 ㎏, 해상도는 640×480 pixel, 분광범위는 7.5~14 ㎛이며, 영상 실시간 모니터링 용이함.
- 선택 가능한 렌즈의 옵션은 매우 다양하며, 소형 열적외선 센서에 비해 영상 품질이 매우 뛰어남(내부 센서 크기 증가에 따른 영상 품질 상승).

그림 3-1-20. FLIR vue 열적외선 센서와 FLIR A655sc 열적외선 센서

- 일반적으로 사용되는 대형 열적외선 센서는 FLIR 의 Star SAFIRE 380-HD 센서로 무인항공기, 유인항공기 또는 선박에 탑재하여 감시의 목적으로 개발됨 (그림 3-1-21).
- 열적외선 영상 외, 가시광선 적외선 등 다목적 센서로 다양한 분광정보를 동시에 획득할 수 있는 장점이 있으나, 비용이 많이 소요됨.
- 크기 38×47.5 ㎝, 무게 약 45 ㎏, 소비전력 280 W이며 해상도가 뛰어남.

그림 3-1-21. FLIR Star SAFIRE 380-HD 센서

제 2 절 연구개발 추진계획 수립

1. 연구목표

○ 생물교란에 의한 갯벌기능 평가 기술 개발

2. 연구내용

연구목표	연구내용	최종개발기술
생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발	- 생물활동에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발 - 생물 배설량 평가 기술 개발 - 서식굴에 의한 유기물 분해 평가 기술 개발	- 생물활동에 의한 유기물 분해 평가 기술 개발 - 서식굴에 의한 유기물 분해 평가 기술 개발
생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술 개발	- 이산화탄소/메탄 플럭스와 환경요인의 상관성 분석 기술 개발 - 이산화탄소의 발생과 기원(origin) 분석 기술 개발 - 갯벌 서식굴 퇴적물의 탄소격리저장 평가 기술 개발	- 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 환경요인 평가 기술 개발 - 이산화탄소 기원 및 메탄 산화에 의한 이산화탄소 플럭스 평가 기술 개발 - 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향 평가 기술 개발
공간기반 정량화 기술 개발	- 공간기반 정량화를 위한 무인항공기 운영 기술 개발 - 갯벌 환경요인 분석 기술 개발 - 원격탐사 기반 갯벌 공간 정량화 기술 개발	- 무인항공기 운영 기술 개발 - 저서생물 분포 정량화 기술 개발 - 서식굴 정량화 기술 개발

3. 추진체계

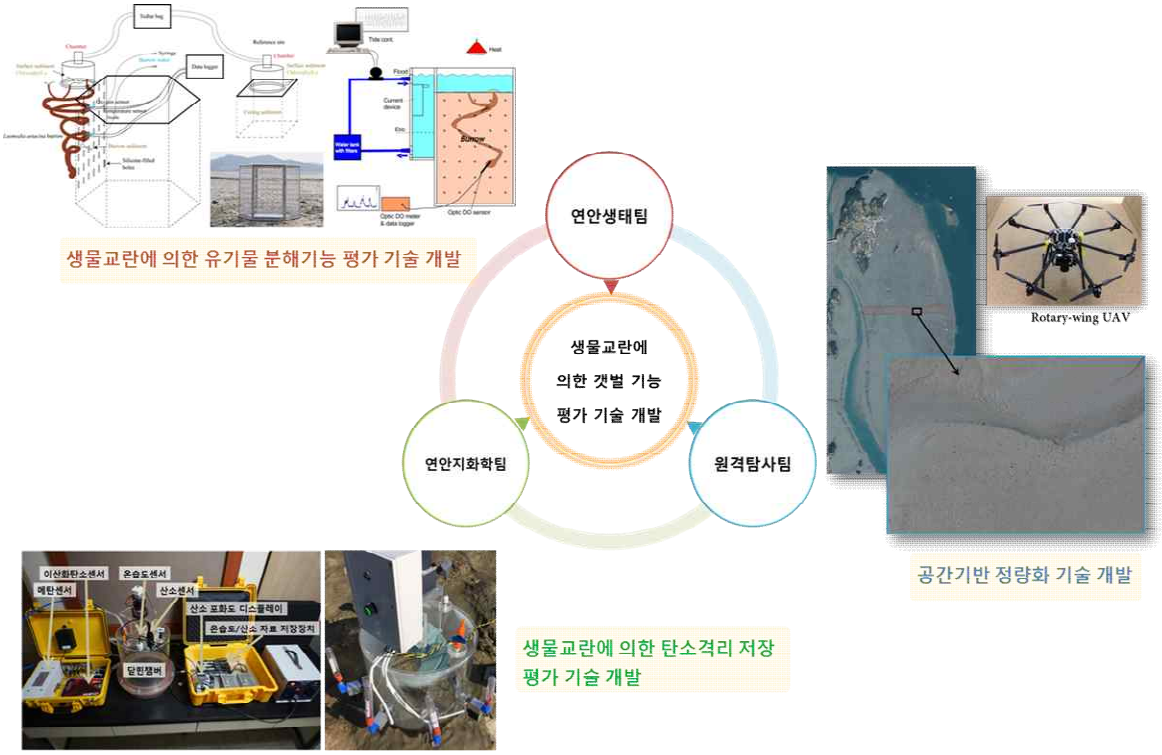


그림 3-2-1. 연구개발 추진체계

4. 정량적 성과 목표

		1차년도	2차년도	3차년도
논문	(SCI/SCIE)	2	2	2
	국내	1	2	2
특허출원		1	1	1

5. 소요 예산

단위 : 백만원

연구 내용	1차년도	2차년도	3차년도
생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발	200	200	200
생물교란에 의한 온실가스 저장 평가 기술 개발	100	100	100
공간기반 정량화 방법 정립 기술 개발	100	100	100

6. 기술개발 로드맵

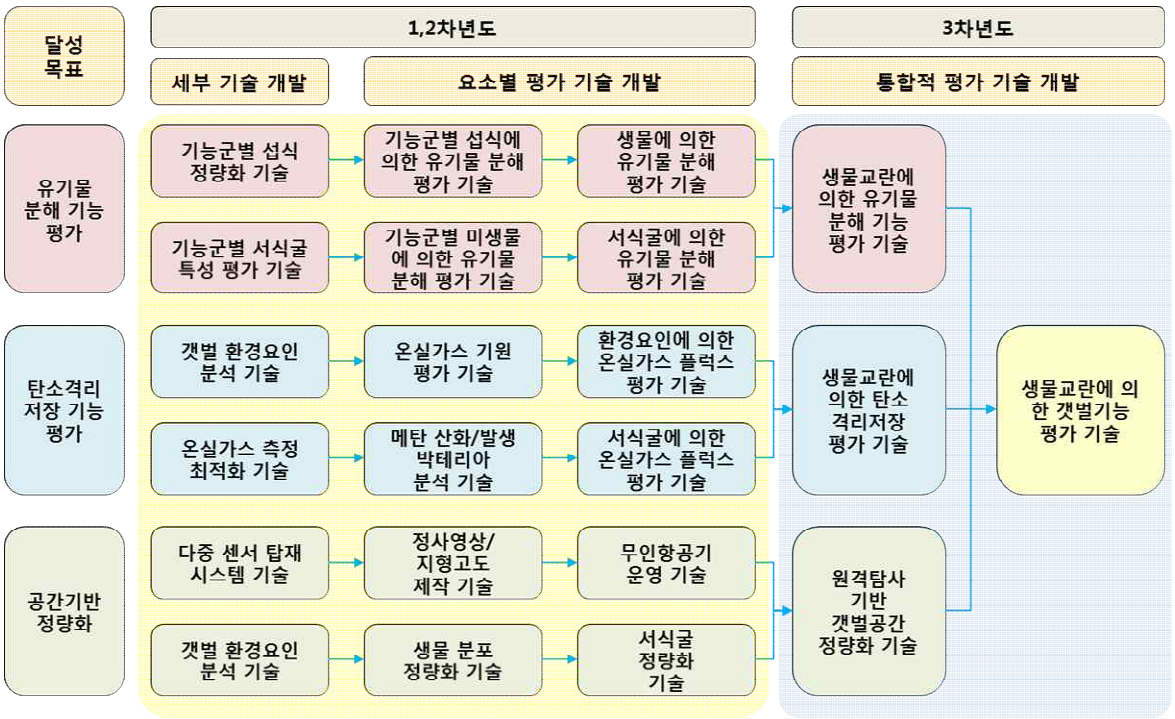


그림 3-2-2. 연차별 기술 개발 로드맵

제 3 절 기술개발 로드맵 수립

1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술

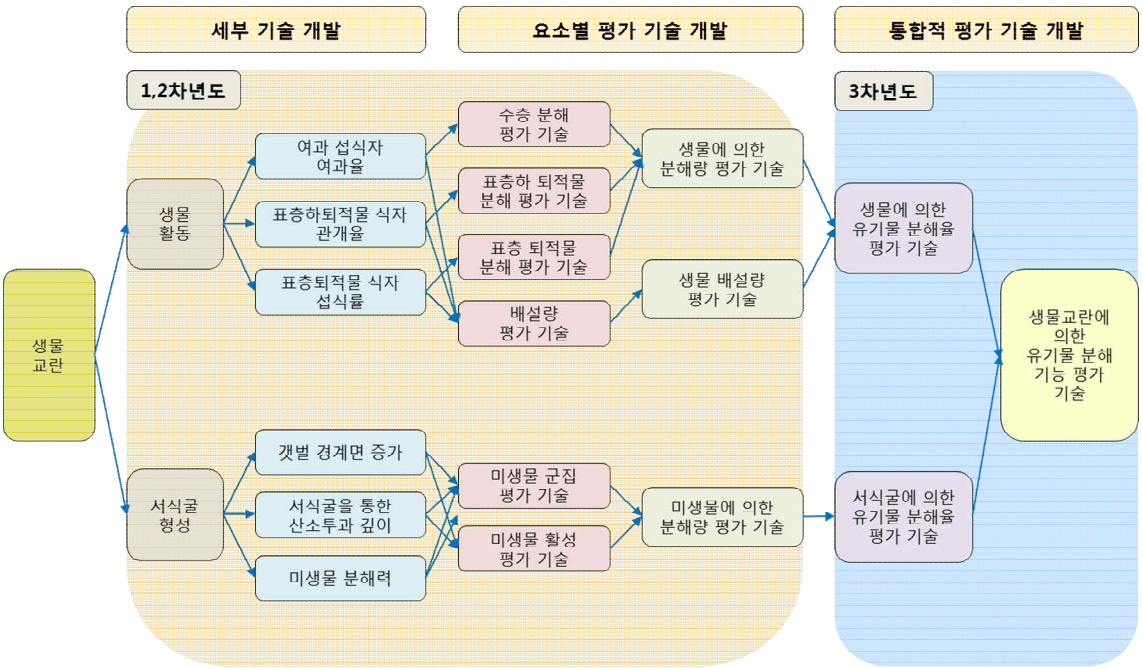


그림 3-3-1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발 로드맵

표 3-3-1. 생물교란에 의한 유기물 분해기능 평가 기술 개발의 주요 내용

기술 구분	개발 기술	주요 내용	요소 기술	세부 기술
생물에 의한 유기물 분해율 평가 기술	생물에 의한 분해량 평가 기술	갯벌생물의 기능군별 섭식활동에 의한 유기물 분해 평가 기술	• 수층 분해 평가 기술 • 표층하 퇴적물 분해 평가 기술 • 표층 퇴적물 평가 기술	• 여과 섭식자 여과율 • 표층하퇴적물 식자 관개율 • 표층퇴적물 식자 섭식률
	생물 배설량 평가 기술	갯벌생물의 기능군별 배설에 의한 유기물 생성 평가 기술	• 배설량 평가 기술	
서식굴에 의한 유기물 분해율 평가 기술	미생물에 의한 분해량 평가 기술	갯벌생물 서식굴 내부 미생물에 의한 유기물 분해 평가 기술	• 미생물 군집 평가 기술 • 미생물 활성 평가 기술	• 갯벌 경계면 증가 • 서식굴을 통한 산소투과 깊이 • 미생물 분해력

2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가

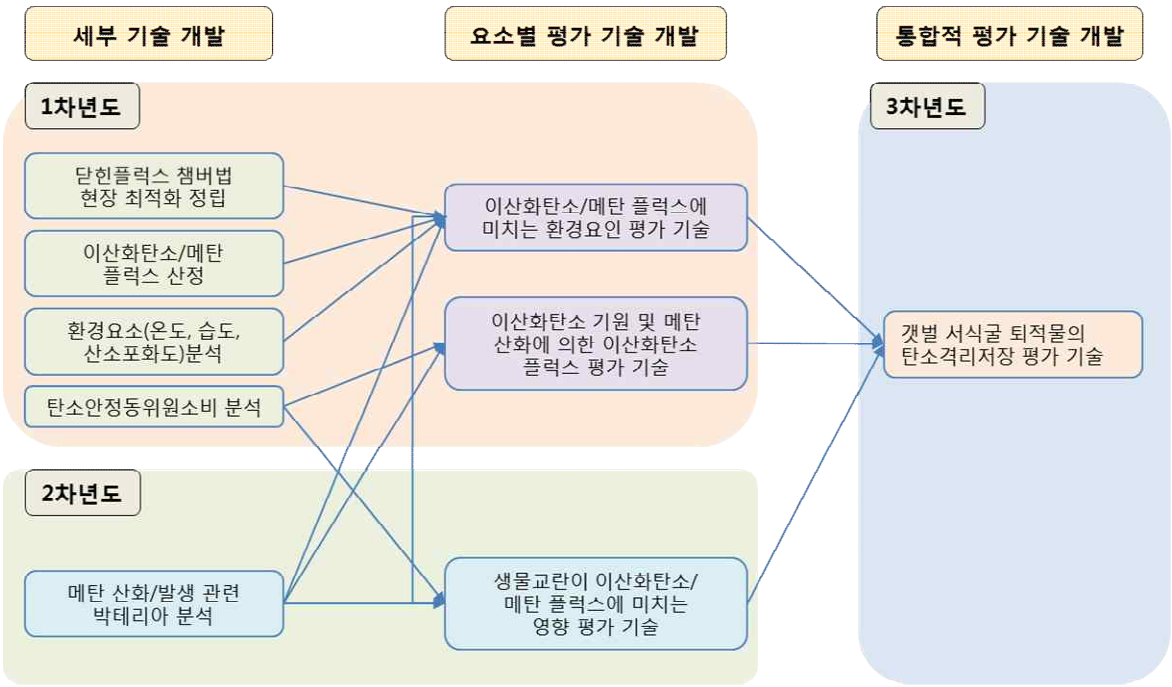


그림 3-3-2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술 개발 로드맵

표 3-3-2. 생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술 개발의 주요 내용

기술 구분	개발 기술	주요 내용	요소 기술	세부 기술
생물교란에 의한 온실가스 플럭스 평가 기술	이산화탄소/메탄 플럭스와 환경요인의 상관성 분석 기술	장기적이고 계절별 현장 관측 자료를 통한 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향의 정량화 기술	• 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 환경요인 평가 기술 • 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향 평가 기술	• 닫힌 플럭스 챔버법 현장 최적화 정립 • 이산화탄소/메탄 플럭스 산정 • 환경요소(온도, 습도, 산소포화도)분석 • 탄소안정동위원소비 분석 • 메탄 산화/발생 관련 박테리아 분석
	이산화탄소의 발생과 기원(origin) 분석 기술	이산화탄소의 탄소안정동위원소비와 농도 분석을 통한 챔버의 이산화탄소와 메탄 간 탄소 이동경로 분석 기술	• 이산화탄소 기원 및 메탄 산화에 의한 이산화탄소 플럭스 평가 기술	
	서식굴 퇴적물의 탄소격리 저장 평가 기술	이산화탄소 당량의 변화를 추정하며, 갯벌의 탄소저장에 대해서 장기적인 변화를 예측하는 기술	• 갯벌 서식굴 퇴적물의 탄소격리저장 평가 기술	• 메탄 플럭스 산정 • 대기의 이산화탄소/메탄 변화율 측정 • 서식굴 퇴적물의 탄소저장률 추정

3. 공간기반 정량화

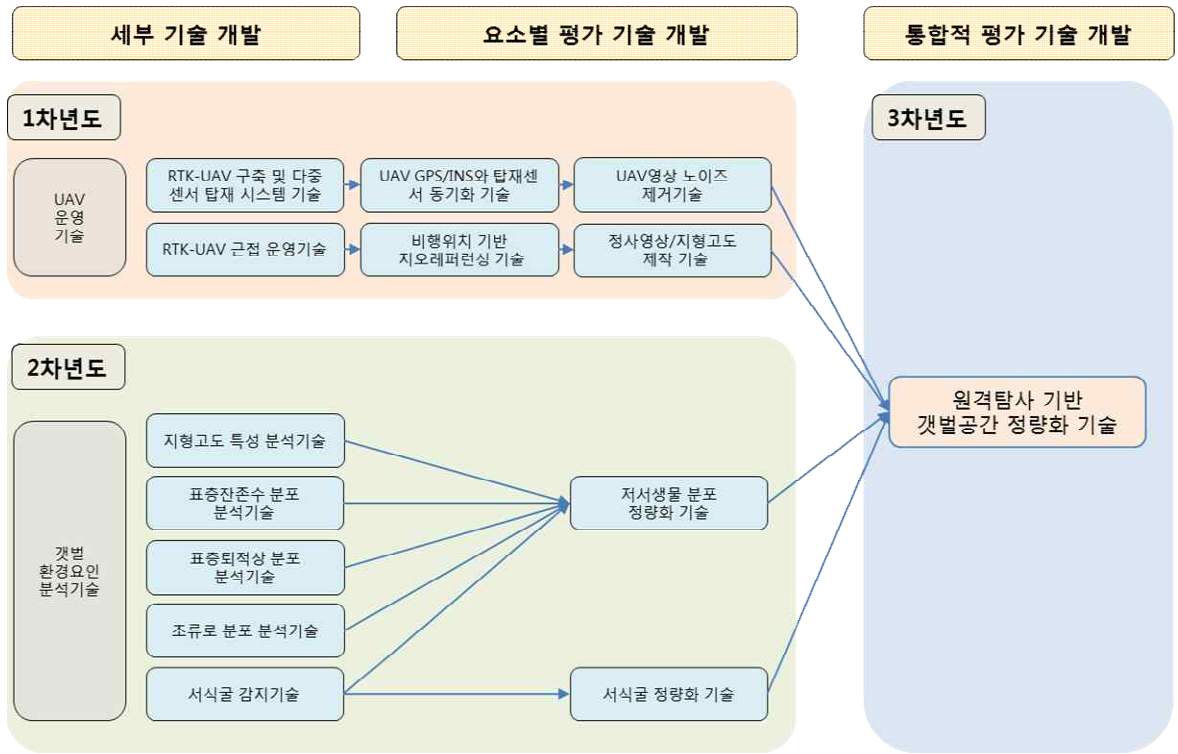


그림 3-3-3. 공간기반 정량화 기술 개발 로드맵

표 3-3-3. 공간기반 정량화 기술 개발의 주요 내용

기술 구분	개발 기술	주요 내용	요소 기술	세부 기술
UAV 운영기술	• RTK-GPS 기반 지상관제 시스템 시스템 기술	• 다중센서 탑재 시스템 동기화 및 개발을 통한 연안환경 모니터링 UAV 시스템 개발	• UAV와 지상관제시스템 실시간 동기화 기술 • 영상자료 실시간 모니터링 기술 • GPS 위치오차 및 수신율 향상 기술	• FC 정확도 향상 • 정사영상/지형고도 위치정확도 향상
갯벌 환경요인 분석기술	• 저서생물 분포 정량화 기술 • 서식굴 정량화 기술	• 원격탐사 기반의 갯벌 저서생물 분포 및 서식굴 정량화 기술	• 지형고도 특성 분석 기술 • 표층잔존수 분포 분석기술 • 표층퇴적상 분포 분석기술 • 조류로 분포 분석기술 • 서식굴 감지기술	• UAV기반의 정밀 지형도 제작 기술 • UAV기반의 다중분광영상 제작 기술 • UAV기반의 정밀 서식굴 분포도 제작 기술

제 4 절 연구개발 결과의 기대효과 및 활용방안

1. 기대효과

○ 원천기술 확보 및 기관경쟁력 강화

- 갯벌을 포함하는 연안역의 환경 및 생태계 조사는 해양환경관리공단의 법정조사로 일원화되고 있으며, 이는 연구의 다양성과 기술개발을 막는 결과를 초래할 수도 있는 상황임. 실제로 해양환경관리공단에서는 모니터링 위주의 일반적 생태조사에 초점을 두고 있음에도 불구하고 연구사업 분류 기준에 따른 제목의 중복성 때문에 타 연구기관에서 국가연구개발 사업의 수행이 수월치 않은 상황임.

- KIOST 갯벌 연구팀은 기관 주요사업 연구를 통해 생물교란 기능 평가 및 이의 위성기반 정량화 분야에서 국내에서 선도적 위치를 확보하고 있음. 생물교란에 의한 갯벌기능 평가 기술은 국내 최초의 기술 개발로써 이를 통해 기관 경쟁력 강화와 원천기술을 확보 및 생물교란 연구의 선도적인 위치를 선점할 수 있음. 그러므로 본 연구를 통한 기술력 확보는 타 연구기관 과의 연구 차별화를 통해 국가연구개발 사업 추진의 수월성 확보에 기여 할 수 있음.

2. 활용계획

○ 해양수산부 해양공간계획 (Marine Spatial Planning) 체계 구축과 연동한 국가 R&D 개발

- 최근 정부는 해양공간계획체계 구축을 위해 관련 법률의 제정, 정보체계 구축, 시범계획 수립 등 활발한 노력을 기울이고 있음. 시범해역의 정보구축 단계에서 환경·생태관련 정보 (수질, 지형, 해양생물, 서식지 등) 를 DB로 구축하도록 되어 있지만 갯벌기능 부분은 제외되어져 있는 상황임.

- 해양공간계획 수립을 위한 해양공간의 핵심가치 도출에 있어 갯벌기능 정보는 생태관련 정보에 포함되어야 하는 필수적인 정보이며 이를 평가하기 위한 가이드라인 마련이 필요함.

- 주요사업을 통해 확보한 원천기술 (1단계) 을 이용한 갯벌기능의 평가는 해양공간 정보구축에서 제외되어진 갯벌기능 정보를 보완할 수 있으며 해양공간의 가치 정보를 제공할 수 있음.

- 주요사업 (1단계) 의 갯벌기능 평가 가이드라인 설정을 위한 연구 개발의 방향성 설정

을 통해 해양공간계획 체계 구축 연구 사업과의 연계성을 강화할 수 있음.

- 본 사업을 통한 원천기술의 개발 (1단계) 을 기반으로 해양공간계획 체계 구축에 필요한 갯벌기능의 정량화 및 갯벌의 경제적 가치를 산출하기 위한 응용화 단계 (2-3단계) 연구는 해양공간계획 제계구축 연구 사업과 관련한 국가 R&D 연구로 발전 가능성이 높다고 판단됨 (그림 3-4-1).

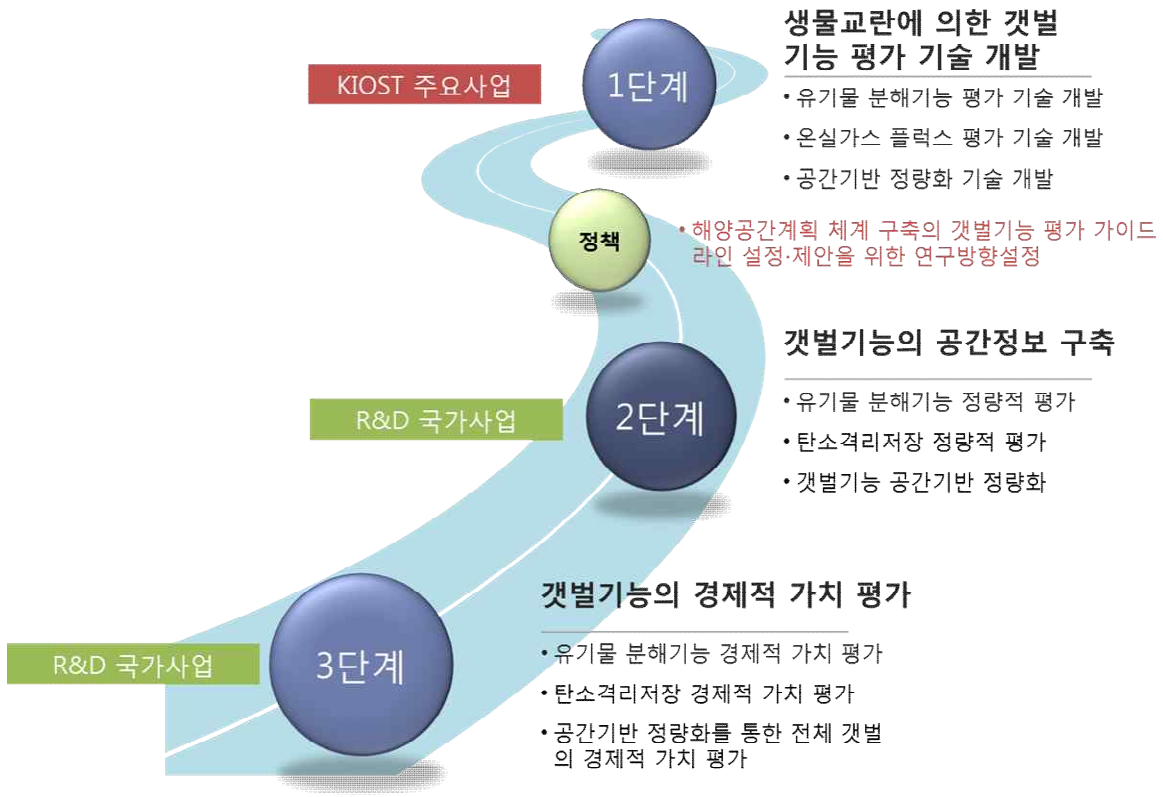


그림 3-4-1. R&D 사업 발전을 위한 3단계 로드맵

3. 공공적 파급효과

○ 갯벌 생물의 서식굴 정보는 박물관 및 아쿠아리움에 전시·교육용 자료로 활용할 수 있음.

○ 갯벌 기능평가 및 이를 활용한 경제적 가치 평가는 갯벌 복원 대상 선정시 갯벌의 정화기능 및 경제적 가치 자료를 제공할 수 있으며 갯벌 복원 후 복원 성과평가 및 사후관리 평가의 지표로 활용할 수 있음.

○ 갯벌 생물의 생물교란에 의한 갯벌 정화기능의 평가는 과소평가 되었던 갯벌의 정화

기능에 대한 정확한 정보를 대중에게 전달할 수 있으며 갯벌 가치의 중요성에 대한 대중의 인식 제고에 활용할 수 있음.

○ 갯벌 생물의 생물교란 연구를 통한 갯벌의 정화기능과 갯벌생물의 역할에 대한 정보를 교육용 자료로 활용할 수 있음.

○ 온실가스 배출을 감축하더라도 기후변화의 영향과 양상은 수백 년 동안 지속될 것으로 예상, 이와 관련 자연계 온실가스의 거동 연구에 기초 자료로 활용.

○ 기후변화 예측을 위해서는 지구시스템의 주요과정인 탄소순환, 생태역학 및 화학과정 등을 파악하여 정확한 온실가스 발생농도를 입력해야하기 때문에, 향후 기후변화모델의 지구시스템 과정을 이해하는데 활용할 수 있음.

○ 연안개발 및 갯벌 환경 복원시 환경영향평가의 기본 자료로 활용할 수 있음.

제 4 장 경제성 분석

제 1 절 정책·기술적 타당성 분석

1. 추진기술의 정책 부합성

○ 기획연구에서 제시된 '생물교란에 의한 갯벌기능 평가'는 기후변화 대응, 해양 생태계 보존 및 관리, 해양공간 관리, 원격탐사 운용 등의 핵심적인 요소기술로서 관련 정책방향과 명확히 부합됨.

○ 특히 기후변화 대응 및 해양생태계 보존을 위한 관할해역 내 해양과학적 정보의 측정·축적은 국가차원에서 장기 지속적으로 투자해야할 핵심적인 공공기반 기술임과 동시에 정책적 활용도가 높은 기술 분야로서 연구개발의 추진 필요성이 높다고 판단됨.

2. 기술적 유사성 검토

○ 기술적 타당성분석은 사업의 성공 여부를 결정하는 주요한 요인으로서 기술개발 추진계획 및 달성 목표수준의 적절성, 개발 기술의 경쟁력 및 성공가능성, 기술수명 주기 등 다양한 요소들을 종합적으로 검토.

○ 특히, 제4차 과학기술기본계획 등 최근의 정부 R&D 추진 정책이 관련 부처간 협업 및 유사중복과제의 배제 등 효율성을 강조하는 방향으로 진행되고 있는 만큼 기존 R&D 추진 기술과의 중복성 회피전략은 신규 예산확보 차원에서 정책적 타당성과 더불어 가장 우선시 되는 요소로 작용.

○ 다만 본 과제에서 제시된 중점기술과 관련된 과제 혹은 사업을 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 통해 분석한 결과, 현재 유사 과제 및 사업은 추진되지 않고 있으며, 유사중복성은 없는 것으로 판단됨.

○ 해당 기술은 갯벌기능 연구를 구체화하는 자료 제공, 갯벌의 기후변화 대응 분야에 과학적 근거 제시 등 과학기술적 가치 확대뿐만 아니라 국가과학기술 역량 강화에 도움이 될 것으로 기대.

제 2 절 경제적 타당성 분석

1. 경제성 분석 결과

○ 경제성 분석 결과 편익-비용비율은 1.423로서 본 연구개발사업은 경제적으로 타당한 것으로 분석 (표 4-2-1).

○ 추후 본 연구개발사업을 통해 갯벌의 생태계서비스의 인식 가치가 추가로 식별되고 보존가치 인식개선 효과가 확대되면서 기초과학적 연구의 수월성이 높아지면 본 편익-비용비율은 변화될 수 있음.

○ 한편, 본 경제성 분석에서는 최종적으로 반영하지 않은 온실가스 배출량 감축 편익 등이 본 기획연구의 성과로 추가로 확인되면 편익-비용비율은 보다 더 증대될 것으로 전망.

○ 내부수익율은 13.3%이며, 순현재가치는 9.700억원인 것으로 분석.

표 4-2-1. 경제성 분석 결과 요약

구 분	분석 결과
총 편익의 현재가치 (억원)	32.634
총 비용의 현재가치 (억원)	22.934
순현재가치 (억원)	9.700
편익-비용 비율	1.423
내부수익률(IRR)	13.3%

제 5 장 참고문헌

강현, 2015. 메타분석에서 통계학적 고려사항들. Hanyang Med Rev 35: 23-32.

구본주, 2009. 대형저서동물의 생물교란이 서해안 갯벌 퇴적물 내 산소 및 영양염 거동에 미치는 영향. 이학박사학위논문.

구본주, 2016. 갯벌 생물의 집, 서식굴. ISBN:978-89-444-9041-5.

김득수, 2007. 온실기체(CH4, CO2, N2O)의 하구언갯벌 배출량과 배출특성연구. 한국대기환경학회지 23: 225-241.

김득수, 나운성, 2013. 내륙습지와 갯벌에서의 주요 온실기체 배출량 특성연구. 한국대기환경학회지 29: 171-185.

김영주, 정수현, 강호정, 2006. 온도 증가와 염도 감소에 따른 갯벌토양에서 메탄발생량의 변화. 한국습지학회지 8: 19-25.

한국해양과학기술원, 2006. 갯벌의 메탄 플럭스 챔버 실증실험 연구. BSPE99362-10912-4.

한국해양과학기술원, 2010. 갯벌기능성 회복을 위한 퇴적/물리/생태학적 핵심 환경요소 연구. BSPE98462-2253-5.

Choi et al. 2011. Spatial polychaeta habitat potential mapping using probabilistic models. Estuarine Coastal and Shelf Scence 93(2): 98-105.

Choi et al. 2010. Quantitative estimation of intertidal sediment characteristics using remote sensing and GIS. Estuarine Coastal and Shelf Science 88(1): 125-134.

Choi et al. 2011. Integration of spatial variables derived from remotely sensed data for the mapping of the tidal surface sediment distribution. Journal of Coastal Research(Special issue) 64(1): 1653-1657.

Ettwig et al. 2010. Nitrite-driven anaerobic methane oxidation by oxygenic bacteria. Nature 464: 543-548.

Fang J., Jiang Z., Fang J., Kang B., Gao Y., Du M., 2018. Selectivity of *Perinereis aibuhitensis* (Polychaeta, Nereididae) feeding on sediment. Marine Biology Research https://doi.org/10.1080/17451000.2018.1426864.

Fanjul E., Escapa M., Montemayor D., Addino M., Alvarez M. F., Grela M. A. Iribarne O., 2015. Effect of crab bioturbation on organic matter processing in South West Atlantic intertidal sediments. Journal of Sea Research 95: 206-216.

Kang, J., Koo, B.J., Jeong, K.-S., Woo, H.J., Seo, J., Seo, H.-S., Kim, M.-S., Kwon, K., 2018. Insights into macroinvertebrate burrowing activity and metane flux in tidal flats. *J Coast Res*. Special Issue No. 85, in press.

Kristensen E, Flindt MR, Ulomi S, Borges AV, Abril G, Bouillon S, 2008. Emission of CO2 and CH4 to the atmosphere by sediments and open waters in two Tanzanian

mangrove forests. Marine Ecology Progress Series 370, 53-67.
Lee et al. 2012. Potential uses of TerrSAR-X for mapping herbaceous halophytes over sal marsh and tidal flat. Estuarine Coastal and Shelf Scence 115: 366-376.
Lee et al. 2015. Satellite-based observations of unexpected coastal changes due to the dyke construction. Marine Pollution Bulletin 97(1): 150-159.
Martinetto, P., Montemayor, D.I., Alberti, J., Costa, C.S.B., Iribarne, O., 2016. Crab bioturbation and herbivory may account for variability in carbon sequestration and stocks in south west atlatic salt marshes. Front Mar Sci 3: 122.
Murray et al. 2012. Continental scale mapping of tidal flats across East Asia using the Landsat archive. Remote Sensing 4(11): 3417-3426.
Murray et al. 2014. Tracking the rapid loss of tidal wetlands in the Yellow Sea. Frontiers in Ecology and the Environment 12(5): 267-272.
Mitsch, W.J., Bernal, B., Nahlik, A.M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C.J., 2012. Wetlands, carbon, and climate change. Landscape Ecol: doi 10.1007/s10980-012-9758-8.
Osudar, R. Matoušů, A. Alawi, M. Wagner, D. Bussmann, I. 2015. Environmental factors affecting methane distribution and bacterial methane oxidation in the German Bight (North Sea). Estuarine, Coastal and Shelf Science 160: 10-21.
Otani, S., Kozuki, Y., Yamanaka, R., Sasaoke, H., Ishiyama, T., Okitsu, Y., Sakai, H., Fujiki, Y., 2010. The role of crabs (*Macrophthalmus japonicus*) burrows on organic carbon cycle in estuarine tidal flat, Japan. *Estuar Coast Shelf Sci* 86: 434-440.
Ryu et al. 2008. Detecting the intertidal morphologic change using satellite data. Estuarine Coastal and Shelf Scence 76(1): 623-632.
Sturdivant S. K. and Shimizu M. S., 2017. In situ organism-sediment interactions: Bioturbation and biogeochemistry in a hihjly depositional estuary, PLOS one, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187800.
Tanaka Y., Aoki S., Okamoto K., 2017. Effects of the bioturbating crab *Macrophthalmus japonicus* on abiotic and biotic tidal mudflat characteristics in the Tama River, Tokyo Bay, Japan. Plankton Benthos Res 12(1): 34-43.
Walsh et al. 1998. An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. Geomorphology 21(3-4): 183-205.
Wang D, Chen Z, Xu S, 2009. Methane emissions from Yangtze estuarine wetland, China. Journal of Geophysical Research 114, doi:10.1029/2008JG000857.

별첨 : 경제성 분석 보고서

KIOST 한국해양과학기술원
KOREA INSTITUTE OF OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY

생물교란에 의한 갯벌기능 평가 연구의 경제성 분석

2018. 2

㈜해랑기술정책연구소

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 「생물교란에 의한 갯벌기능 평가 연구의 경제성 분석」의 최종보고서로 제출합니다.

2018년 2월

위탁연구기관 : (주)해랑기술정책연구소

목 차

Ⅰ. 정책·기술적 타당성 분석 ····· 1
1. 정책적 타당성 분석 ····· 2
2. 연구개발사업 유사성 평가 ····· 8

Ⅱ. 경제적 타당성 분석 ····· 9
1. 경제적 타당성 분석 개요 ····· 10
⑴ 갯벌의 가치 및 본 기획 연구 개요 ····· 10
⑵ 편익 추정 ····· 14
2. 경제성 분석 결과 ····· 29
⑴ 편익 추정 결과 ····· 29
⑵ 경제성 분석 개요 ····· 32
⑶ 경제성 분석 결과 ····· 35

표 목 차

[표 1-1] 정부 R&D 중장기 투자전략에 따른 기술분야별 중점투자 분야 ····· 5
[표 2-1] 주요 연구 내용 ····· 12
[표 2-2] 경제적 가치 추정을 위한 방법론 ····· 15
[표 2-3] 갯벌의 경제적 가치의 구분 ····· 18
[표 2-4] 연구개발활동 파급 분류와 예비타당성조사 반영 여부 ····· 22
[표 2-5] 예비타당성조사시 반영되는 편익 항목 구분 ····· 24
[표 2-6] 연구개발부문 예비타당조사에서 기준선 분석시 준수해야할 사항 ····· 25
[표 2-7] 편익 항목 개요 ····· 29
[표 2-8] 전북 고창 갯벌에 대한 지불의사액 추정결과 ····· 31
[표 2-9] 물가보정을 통한 전북 고창 갯벌에 대한 지불의사액 추정 결과 ····· 31
[표 2-10] 갯벌의 보존가치 증대 편익 분석 결과 ····· 31
[표 2-11] 경제성 분석 기법 ····· 32
[표 2-12] 경제성 분석 결과 요약 ····· 35
[표 2-13] 민감도 분석 결과 ····· 36

그 림 목 차

[그림 1-1] 기술수준 평가의 프로세스 ····· 3
[그림 1-2] 제4차 과학기술기본계획의 비전 및 전략체계(안) ····· 4
[그림 2-1] 갯벌에 서식하는 다양한 해양생물 ····· 10
[그림 2-2] 세계 5대 갯벌지역의 분포 현황 ····· 11
[그림 2-3] 지자체별 갯벌 분포 및 습지 보호지역 지정 현황 ····· 12
[그림 2-4] 연구개발사업의 편익 추정을 어렵게 하는 요소 ····· 23
[그림 2-5] 경제성 분석 프로세스 ····· 26
[그림 2-6] 연구개발사업의 경제성 분석 절차 ····· 26
[그림 2-7] 본 기획연구의 추진 목표 및 전략 ····· 27

Ⅰ. 정책·기술적 타당성 분석

1 정책적 타당성 분석

정책적 타당성 검토 개요

□ 국가 연구개발 사업 또는 공공부문 연구개발 과제의 정책적 타당성 검토의 목적은 국가과학기술기본계획 등 국가상위계획에 따른 정책방향과 세부 기술단위의 범부처 또는 부처별 추진 계획과의 연계성을 높임으로서 공공투자에 대한 효율성을 확보

□ 특히 각 정부부처는 연구개발 등 과학기술분야 공공투자시 앞서 언급한 과학기술기본계획을 비롯한 국정과제, 부처별 연구개발 로드맵 등에 제시된 과제를 중심으로 예산 투자의 우선순위를 설정하고 있으므로 기획단계에서의 정책적 타당성 검토는 실질적인 사업의 추진을 위해 주요한 요인으로 작용

□ 한편 정책적 타당성 검토에서는 개발하고자하는 기술이 현행 관련 국가정책과의 부합성이 떨어지는 경우, 기술개발의 추진방향 혹은 성과물의 연계 등을 재검토함으로서 위험요소를 배제하는 기획연구의 주요 항목으로 진행

□ 이번 기획연구는 '생물교란에 의한 갯벌기능 평가'를 목적으로 추진되고 있는 만큼 해당 기술과 관련한 정책적 이슈를 기후변화 대응, 해양 생태계 보존 및 관리, 해양공간 관리, 원격탐사 적용 등으로 설정하여 정책적 타당성 검토

해양생태계의 지속가능한 이용과 보전을 위한 국가정책 제시

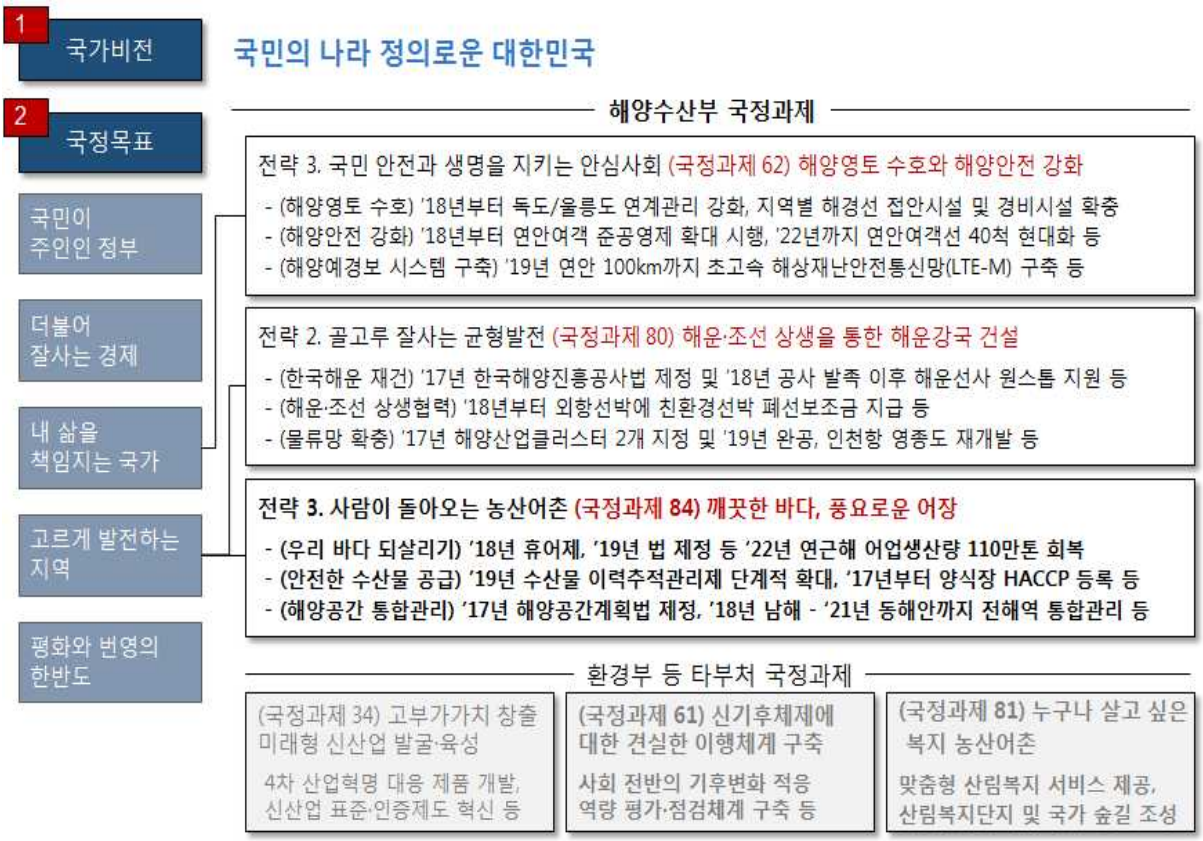
□ 문재인 정부는 국정과제를 통해 해양영토에 대한 관리력 강화를 통해 국민 안전 확보, 해양의 지속가능한 이용확보 등의 달성 제시

□ 또한 이러한 목표달성을 위해 해양수산과학기술을 통한 공공복지의 증진, 해양공간의 통합적 관리, 기후변화에 대한 대응역량 강화 등을 중점과제로 설정

□ 한편 해양수산부는 갯벌 복원을 통한 자원화 종합계획(15.08)을 통해 갯벌복원으로 해양생태계 건강성 회복, 지속가능한 생태관광 및 지역경제 활성화, 친환경 갯벌어업을 통한 어가소득 증대를 제시

□ 동 종합계획의 실행력을 확보하기 위해 한국형 갯벌자원화 모델을 도출하는 한편 해양생태계법 제46조에 따른 갯벌생태계 복원사업 지침을 제정(16.12)하여 훼손된 갯벌의 물리적 혹은 생태적 기능회복 추진 체계를 마련

□ 또한 습지보호지역을 포함한 해양보호구역 확대를 위해 보호구역의 기능과 가치 제고, 생태계 건강성 유지, 지속가능한 이용의 3대 목표를 설정(16.04)하고 국민이 체감할 수 있는 보전·관리 정책 추진의 의지를 표명



[그림 1-1] 기술수준 평가의 프로세스

국가상위계획과 추진기술간의 정책 연계

□ 정부는 과학기술기본법 제7조(과학기술기본계획)에 따라 매 5년마다 과학기술발전에 관한 중·장기 정책목표와 방향을 설정하고 정부의 과학기술 관련 계획과 시책

등을 종합한 과학기술기본계획을 수립·시행 중

□ 제3차 과학기술기본계획('13~'17)의 종료에 따라 새로운 국정방향을 반영한 제4차 과학기술기본계획('18~'22) 수립이 진행 중

□ '과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여'를 비전으로 이를 달성하기 위한 핵심적인 4대 전략을 제시

- (전략1) 미래도전을 위한 과학기술역량 확충
- (전략2) 혁신이 활발히 일어나는 과학기술생태계 조성
- (전략3) 과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출
- (전략4) 과학기술이 만드는 모두가 행복한 사회 구현

[그림 1-2] 제4차 과학기술기본계획의 비전 및 전략체계(안)

□ 한편 정부 R&D 중장기 투자전략('16~'18)에 따라서는 기술의 시장전망, 수준, 공공성, 정부투자 생산성 등의 지표분석과 전문가 설문 등을 통해 9대 분야별 중점

투자 분야를 제시

□ 동 중점 기술분야는 ①ICT·SW, ②생명·보건의료, ③에너지·자원, ④소재·나노, ⑤기계·제조, ⑥농림수산·식품, ⑦우주·항공·해양, ⑧건설·교통, ⑨환경·기상분야로 각 분야별 중점투자분야를 도출하고 제4차 과학기술기본계획과 연계 추진

□ '생물교란에 의한 갯벌기능 평가' 관점에서 중점 기술분야는 환경・기상 분야, 중점투자 분야는, 기후・대기, 환경보건 및 예측 등 분야와 연계

[표 1-1] 정부 R&D 중장기 투자전략에 따른 기술분야별 중점투자 분야

중점 기술분야	중점투자분야 및 전략
ICT·SW	•소프트웨어 및 콘텐츠 •사물인터넷, 빅데이터 및 클라우드, 정보보안
생명·보건의료	•신약 및 의료기기 •감염병 대응
에너지·자원	•신재생에너지 및 에너지저장 •비전통 석유·가스자원 및 희토류 등 전략자원
소재·나노	•탄소·나노 소재 •하이브리드 자동차, 스마트섬유, 차세대 태양전지
기계·제조	•제조기반기술, 조선·해양플랜트, 자동차 •로보틱스, 스마트공장, 고부가 차세대 선박
농림·수산·식품	•식품, 축산·수의 •품종개발, 농축수산물의 안전성 확보
우주·항공·해양	•**무인기**, 인공위성 •선박교통관리체계, 해양 재난재해 대응
건설·교통	•사회기반구조물, 건축구조물, 철도교통 •친환경공간개발, 수요자편의 주거환경 개선
환경·기상	•**기후·대기, 환경보건 및 예측** •환경성 질환 대응, 유해물질 및 생활환경 관리기술

해양수산부문 계획과 추진기술간의 정책 연계

□ 해양수산 R&D 중장기계획('14~'20)은 해양수산발전기본법에 따른 최상위 해양수산과학기술 정책계획으로 '국민의 꿈과 행복을 실현하는 창조형 해양수산과학기술'

을 비전으로 3대 R&D 전략 및 12대 실행전략을 제시

□ (전략 1) 해양영토주권 강화 및 해양경제영토 확대

- 해양과학조사 및 예보 역량 강화: 해양 예보시스템 개선 및 해양영토 광역 감시망을 구축하고, 주변국과의 해양경계획정에 대비한 해양과학조사 역량 강화
- 극한 공간 활용 및 국제협력 확대: 극지 및 대양 심해저 활용 촉진을 위한 기반을 마련하고 남·북극 과학 인프라 활용연구를 확대하며 국제협력을 다변화

□ (전략 2) 창조형 해양수산 산업 육성

- 해양자원 및 해양에너지 개발 활성화: 국가 전략자원의 안정적 공급원 확보를 위한 해양자원을 개발하고 해양에너지 복합플랜트 개발 및 미활용 에너지원 활용
- 첨단 해양 장비산업 육성: 수중·심해저의 산업 활동 지원을 위해 첨단 장비 및 시스템을 국산화하고 해양레저 확산을 위해 레저장비산업 육성 및 기반 조성
- 항만·해운물류의 허브기능 고도화: 선박 대형화 추세 및 재난·재해 대응을 위한 항만인프라를 개선하고 해운물류시스템의 효율화 및 항만운영 자동화 추진
- 해양수산 생명자원의 산업화 촉진: 해양수산생물 유래 소재산업 육성 및 에너지 생산체제를 구축하고 국내외 해양수산생명자원 발굴 및 관리시스템 체계화
- 해양플랜트 산업 경쟁력 확보: 해양플랜트 엔지니어링 경쟁력 확보 및 기자재 인증체계를 구축하고 해저플랜트, LNG 벙커링, 서비스산업 등 신시장 진출 지원
- 친환경선박 시장 선도: 국제해사기구(IMO) 등 국제규제에 대비하여 친환경선박 운항기술을 개발하고 국제규제 선제대응을 통한 시장 선점 효과 창출

□ (전략 3) 국민행복 해양공간 창조

- 해양환경 개선 및 위해요소 대응역량 강화: 해양오염, 유해해양생물 등에 대한 관리·대응체계를 고도화하고 지속가능한 해양환경관리 및 해양생태계다양성 보전
- 연안재해 저감 및 해양교통 안전 확보: 기후변화 등에 따른 연안지역 재해 피해를 최소화하고 침식해안 관리를 체계화하며, 해양교통 안전을 확보하기 위한 융복합 시스템 개발

□ 해양수산 R&D 중장기계획의 3대 전략 중, '생물교란에 의한 갯벌기능 평가' 연구

는 국민행복 해양공간 창조 전략의 해양생태계다양성 보전 추진 내용과 정책적으로 명확히 연계되고 있음

범부처 계획과 추진기술간의 정책 연계

□ 제1차 기후변화대응 기본계획

- 저탄소녹색서장기본법 제40조를 근거로, 기후변화대응의 기본원칙에 따라 20년을 계획 기간으로 하는 '기후변화대응 기본계획'을 5년마다 수립 및 시행
- 기후변화대응을 위한 주요 과제 중 탄수 흡수·순환 기능 증진을 위해 전국 폐염전, 유휴 간척지 등 갯벌 복원 사업 확대 및 하구역·염습지 식생 조성 등을 통해 온실가스 저감에 기여하고자 함
- 해양의 탄소흡수원이 블루카본 관리를 통해 해양 탄소흡수량 증진 및 국제 인증 추진

□ 무인이동체 발전 5개년 계획

- 부처별로 담당하고 있는 공간적 칸막이를 배제하고 무인이동체 기술간 융합을 활성화하고 산업경쟁력 확보를 위한 범부처 '무인이동체 발전 5개년 계획('16~'20) 수립
- 효율적인 발전을 위해 육·해·공 무인이동체 통합운영 시스템 및 통합로드맵 등 통합적 발전전략을 추진

추진기술의 정책 부합성

□ 앞서 국가상위계획 및 해양수산부문 계획, 범부처 계획과의 정책연계성 분석에서 나타난 바와 같이 이번 기획연구에서 제시된 '생물교란에 의한 갯벌기능 평가'는 기후변화 대응, 해양 생태계 보존 및 관리, 해양공간 관리, 원격탐사 운용 등의 핵심적인 요소기술로서 관련 정책방향과 명확히 부합됨

□ 특히 기후변화 대응 및 해양생태계 보존을 위한 관할해역 내 해양과학적 정보의 측정·축적은 국가차원에서 장기 지속적으로 투자해야할 핵심적인 공공기반 기술임과 동시에 정책적 활용도가 높은 기술 분야로서 연구개발의 추진 필요성이 높

다고 판단됨

2 연구개발사업 유사성 평가

기술적 유사성 검토

□ 기술적 타당성분석은 사업의 성공 여부를 결정하는 주요한 요인으로서 기술개발 추진계획 및 달성 목표수준의 적절성, 개발 기술의 경쟁력 및 성공가능성, 기술수명 주기 등 다양한 요소들을 종합적으로 검토

□ 특히 제4차 과학기술기본계획 등 최근의 정부 R&D 추진 정책이 관련 부처간 협업 및 유사중복과제의 배제 등 효율성을 강조하는 방향으로 진행되고 있는 만큼 기존 R&D 추진 기술과의 중복성 회피전략은 신규 예산확보 차원에서 정책적 타당성과 더불어 가장 우선시 되는 요소로 작용

□ 다만 본 과제에서 제시된 중점기술과 관련된 과제 혹은 사업을 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 통해 분석한 결과, 현재 유사 과제 및 사업은 추진되지 않고 있으며, 유사중복성은 없는 것으로 판단됨

□ 해당 기술은 갯벌기능 연구를 구체화하는 자료 제공, 갯벌의 기후변화 대응 분야에 과학적 근거 제시 등 과학기술적 가치 확대뿐만 아니라 국가과학기술 역량 강화에 도움이 될 것으로 기대

Ⅱ. 경제적 타당성 분석

1 경제적 타당성 분석 개요

(1) 갯벌의 가치 및 본 기획 연구 개요

가. 갯벌의 가치

갯벌은 주요 수산생물의 생산지이자 생물다양성의 보고

□ 갯벌은 조류로 운반되어 온 미세한 흙들이 파도가 잔잔한 해안에 오랫동안 쌓여 생기는 평탄한 지형을 말하며, 바지락 낚지 등 주요 수산물의 서식처 제공

□ 우리나라 서·남해안의 갯벌과 그 주변생태계에서 서식하는 어류는 200여종, 갑각류가 250여종, 연체동물이 200여종, 갯지렁이류가 100여종 이상

□ 이밖에도 갯벌은 수많은 미생물, 미세조류(diatoms)에게 서식지를 제공하는 한편 100종이 넘는 바다새와 50종에 가까운 현화식물을 보육

[그림 2-1] 갯벌에 서식하는 다양한 해양생물

갯벌의 단위 면적당 서비스 가치는 농경지의 100배 수준

□ 갯벌은 수산자원의 생산, 서식지 제공, 재해 및 오염 조절, 여가(관광) 공간 제공 등 매우 다양한 생태계 서비스를 제공

□ 해양수산부(2016)[1] 에 따르면, 갯벌의 단위면적당(1㎢) 서비스 제공 가치는 약 63억원 규모로 일반적인 농경지의 100배, 숲의 10배에 달하는 것으로 분석

세계 5대 갯벌 보유국

□ 우리나라 서해 갯벌은 세계 5대 갯벌 중의 하나

- 우리나라 갯벌면적은 2,487㎢로 국토면적의 2.5%를 차지하며, 1987년 이후 2013년까지 간척과 매립 등으로 22.4%(약 716㎢)가 상실
- 하지만 연안해역을 중심으로한 개발에도 불구하고 우리나라 서해 갯벌은 조석에 따른 큰 조차와 낮은 수심, 하천을 통해 유입되는 풍부한 유기물로 인해 매우 독특한 생태 환경을 나타내는 세계 5대 갯벌 중 하나로 인식

1) 해양수산부(2016), 『갯벌생태 자원 활성화 방안 연구용역』

[그림 2-2] 세계 5대 갯벌지역의 분포 현황

□ 지역별로는 우리나라 갯벌 중 약 42.0%가 전남지역에 분포하며 인천·경기 약 35.2%, 충남 약 14.3%, 전북 약 4.8%, 경남·부산이 약 3.7%를 차지

□ 습지보전법 제8조(습지지역의 지정 등)에 따라 현재 송도갯벌 등 13개소에 습지보호지역이 지정되어 관리되고 있으며, 해당 지역 중 6개소는 국제적 규약인 람사르 습지로 지정

[그림 2-3] 지자체별 갯벌 분포 및 습지 보호지역 지정 현황

나. 본 연구개발사업의 개요

연구기획의 목적

□ 생물교란에 의한 갯벌기능 평가 기획 연구의 타당성 확보를 위한 기초 정량 자료 확보 및 경제성 분석 수행

연구기획의 주요 내용

□ 생물교란에 의한 갯벌기능 평가 연구의 단계별 주요 연구 내용은 다음과 같음

[표 2-1] 주요 연구 내용

단계	연차	주요 연구 내용
1단계	1	· 갯벌생물 활동에 의한 유기물 분해 평가 기술 개발 · 갯벌생물 서식굴에 의한 유기물 분해 평가 기술 개발
	2	· 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 환경요인 평가 기술 개발 · 이산화탄소 기원 및 메탄 산화에 의한 이산화탄소 플럭스 평가 기술 개발 · 생물교란이 이산화탄소/메탄 플럭스에 미치는 영향 평가 기술 개발
	3	· 무인항공기 운영 기술 개발 · 저서생물 분포 정량화 기술 개발 · 서식굴 정량화 기술 개발
2단계	1	· 갯벌생물의 생물교란에 의한 유기물 분해의 정량적 평가 · 갯벌생물의 생물교란에 의한 탄소격리저장의 정량적 평가
	2	· 갯벌생물의 생물교란에 의한 갯벌기능의 공간기반 정량화
3단계	1	· 갯벌생물의 생물교란에 의한 유기물 분해기능의 경제적 가치 평가 · 갯벌생물의 생물교란에 의한 탄소격리저장 기능의 경제적 가치 평가
	2	· 공간기반 정량화 기술을 통한 갯벌 전체의 경제적 가치 평가

□ 연구 주요 대상 지역

- 연구 주요 대상 지역은 곰소만 갯벌로서 갯벌 면적은 63㎢에 이름

- (면적 산출 방법) Landsat 위성영상을 이용하여 곰소만 갯벌의 정밀 면적 산출
- 기존 곰소만 갯벌 면적은 106㎢로 도출되었으나 본 연구에서는 수정 산출

활용방안 및 기대효과

□ 원천 기술 확보 및 기관 경쟁력 강화

- 정립된 최적의 연구방법을 통해 생물교란에 의한 갯벌 기능 평가의 원천 기술을 확보할 수 있음
- 원천 기술의 확보 및 생물교란에 의한 갯벌 기능 평가의 선도적 위치 선점은 기관 경쟁력 강화로 이어질 수 있음

□ 생물교란에 의한 갯벌 기능 평가를 위한 최적 연구계획 정립에 활용

- 다학제간 상호보완적 융합 연구를 통해 기존에 시도되지 않았던 연구방법에 대한 최적의 연구계획 정립에 활용될 수 있음
- 기존에 시도되지 않았던 새로운 연구계획 정립은 갯벌 기능평가 분야의 새로운 패러다임을 제시할 수 있음
- 갯벌 기능 평가의 최적 연구계획 정립을 통해 기존 연구보다 진보적이고 발전된 연구결과를 도출할 수 있음

(2) 편익 추정

가. 경제적 가치 추정의 일반 이론

경제학적 접근 방법론의 특징

□ 경제적 가치를 추정하기 위한 방법론은 크게 경제학적 접근법과 비경제학적 접근법으로 구분

□ 경제학적 관점에서 본다면 분석 대상 재화나 사업의 경제적 가치를 추정하기 위해서는 경제적 경제학적 접근법을 적용하는 것이 적절하며, 경제학적 접근법의 적용이 어려운 경우에 한하여 제한적으로 비경제학적 기법을 적용하는 것이 타당

비경제학적 기법 적용의 제약성

□ 비경제학적 기법은 적용결과를 받아들이는 데 있어서 제약성이 존재하며, 결과의 활용이란 관점에서도 제약적

□ 예를 들어 연구개발사업의 경제적 가치를 추정하기 위해서는 원칙적으로 수요곡선 접근법이나 부가가치 접근법과 같은 경제학적 방법론에 근거해야 하나 경우에 따라서는 이것이 용이하지 않거나 불가능할 수 있음

□ 이런 경우에는 국내외 분석사례를 참고하여 해당 상황에 맞게 조정하는 편익이전(benefit transfer) 작업을 해야 하는 상황

□ 예를 들어 외국에서 측정한 편익을 구매력지수와 분석시점 등을 종합적으로 고려하여 국내 상황에 맞게 조정한 값을 이용할 수 있으나, 이러한 방법은 왜곡된 결과를 초래할 수 있으므로 적용과 해석상의 주의가 요구

□ 한편 편익이전 기법 적용도 용이하지 않다면 대체비용 접근법을 이용하여 구한 값을 편익의 대용 값으로 삼는 것을 고려할 수 있음

경제학적 기법 적용의 특징 및 장점

□ 경제학적 접근법은 크게 현시선호 접근법과 진술선호 접근법으로 구분

[표 2-2] 경제적 가치 추정을 위한 방법론

구 분	현시선호 평가법	진술선호 평가법
직접적 추정법	경쟁시장에서의 가격	조건부 가치측정법
간접적 추정법	헤도닉 가격기법 여행비용 평가법 회피행동 모형	선택실험법
특징	시장에서의 거래행위 관찰 사후적 평가법	가상적 시장 이용 사전적 평가법

□ 현시선호 접근법은 경제주체의 행동으로 나타난 자료를 이용하여 관심대상 비시장재화의 가치를 간접적으로 추정하는 기법

- 진술선호 접근법은 비시장재화에 대한 선호에 대해 경제주체에게 직접 물어보고 응답을 이끌어내어 분석함으로써 가치를 추정하는 기법
- 현시선호 접근법은 적용대상에 있어서 제약성이 크며, 이론적인 관점에서 과대추정 혹은 과소추정의 문제점을 안고 있는 상황
- 하지만 실증적인 관점에서 살펴보면 진술선호 접근법으로 구한 값이 현시선호 접근법의 적용을 통해 구한 값보다 작은 경우가 흔히 관측
- 따라서 사전적으로 어느 방법이 더 우월하다고 판단하기에는 어려움이 크나 판단해야하는 재화는 사업의 속성에 따라 적용해야 함
- 특히 경제적학 기법은 시장에서의 소비자 잉여 또는 생산자 잉여 등 거래행위 속에서 나타나는 가치를 정확히 추정하는 방법론으로서 분석 대상 재화 또는 사업의 객관적 타당성을 제시할 수 있는 장점이 존재

경제적 가치의 정의

- 생물교란에 의한 갯벌 기능에 대한 평가 연구의 목표가 시현되고 갯벌 자체의 생태적 가치에 대한 인식 등이 제고 되면 이는 경제적 가치로 식별
- 경제적 가치란 화폐단위로 계산된다는 것을 의미하며, 경제학적 개념에 근거
- 경제적 의미의 가치는 신고전학파(neo-classical)의 후생경제학에 근거하는데, 그 기본적인 전제는 개인의 경제활동은 개인들이 자신의 후생을 증가시키고자 하는데 있고, 어떤 주어진 상황에 대한 각 개인의 후생 수준은 자신이 가장 잘 판단

잠재적 비시장재 소비에 따른 경제적 가치

- 각 개인의 후생은 자신의 시장재 소비뿐만 아니라 아직 시장에서 거래되고 있지 않은 잠재적인 비시장재(non-market goods)의 소비에도 의존
- 환경재의 질이나 양 변화에 대한 경제적 가치는 그 변화가 인간의 복지에 미치는 영향에 근거
- 이 경제적 가치는 다른 종의 생존이나 복지에 대한 관심을 포함

□ 경제적 가치의 구성요소 중 하나인 비사용가치의 근원이 되는 이타적(altruistic), 윤리적(ethical) 관심도 경제적 가치에 포함

비시장재 가치 추정

□ 비시장적 가치의 측정을 위해서는 일반적으로 현시선호접근법, 진술선호접근법 등의 추정방법론을 적용

□ 직접적인 시장자료가 없다면 비시장재화와 연관이 있는 대리시장(surrogate market)을 찾아서 간접적인 시장을 분석해내는 현시선호접근법(revealed reference approach)을 적용할 수 있음

□ 현시선호접근법은 사후적(ex post)·간접적 접근법이므로 적용대상의 제약이 존재

□ 대리시장의 정보 확보에 제약이 있을 경우, 가상의 시장을 설정하여 선호도를 조사하는 진술선호접근법을 적용

□ 진술선호접근법은 사전적(ex ante)·직접적 접근법으로 적용대상의 제약이 거의 없는 상황

□ 진술선호접근법에는 소비자에게 선호를 직접 물어보는 조건부가치 측정법(CVM, contingent valuation method)과 선호를 간접적으로 물어보는 선택실험법(Choice Experiment)이 있음

□ 진술선호접근법은 현시선호접근법에 비해 적용상의 제약이 적고, 이론적으로도 우수하나 비용이 많이 드는 단점이 존재

사용가치의 성격 및 특징

□ 비시장재의 가치는 크게 사용가치(use value)와 비사용가치(non-use value)로 구분

□ 사용가치는 인류가 현재의 생산 및 소비 행위에 환경을 직접 연관시킴으로써 발생하는 가치

□ 예컨대 수질개선으로 어종이 늘어난 강에서 이전보다 더 많은 물고기를 낚음으로써 발생하는 가치나 산 속의 맑은 공기에서 느껴지는 쾌적함과 결부된 가치를 의

미

비사용가치의 성격 및 특징

□ 비사용가치는 사용가치 이외의 가치를 의미하며, 크게 선택가치(option value), 존재가치(existence value), 유산가치(bequest value)로 구분

□ 선택가치는, 현재는 사용하지 않는 어떤 비시장재화가 미래에 사용될 가능성이 있다고 판단되는 경우에 그 환경을 지금 훼손하게 되면 미래의 선택 폭이 감소하게 되고 따라서 그 만큼의 비용이 미래에 발생할 수 있다는 의미

□ 존재가치란 대상 자원으로부터 얻게 되는 효용이 사람들과 대상 자원과의 어떠한 직접적인, 간접적인 상호작용에도 영향을 받지 않음을 전제

□ 예를 들어, 따라서 어떤 환경을 현재 이용하고 있지 않고 미래에도 이용할 의사가 없다 할지라도, 그 존재 자체만으로 의미를 갖는다고 생각하는 경우, 이를 존재가치라 함

□ 본 연구개발사업의 경우, 갯벌에 대한 기초과학 연구의 시현이 앞으로도 활용할 의사가 없는 사람이라 할지라도 갯벌 자체의 연구가 진행하는 것만으로도 어떤 가치를 느낀다면, 이 사람은 본 연구 개발 사업에 대해 존재가치를 가지고 있는 것을 의미

□ 유산가치란 미래세대를 위하여 환경을 보전하는 것 자체가 가치를 갖는다는 것을 의미

□ 예를 들어 해양의 산성화가 이후의 미래세대에 심각한 영향을 미칠 것으로 예상되어 현재 자신의 소비를 줄여 해양 산성화를 줄일 수 있는 기금조성에 기꺼이 동참하고자 하는 사람의 경우 기금에 내고자 하는 금액을 유산가치로 볼 수 있음

경제적 가치 구분 예시

□ 예를 들어 갯벌의 경제적 가치를 구분하면, 사용 가치는 어민이나 해안거주민들의 생계활동(어업 등) 또는 레크리에이션 활동(해수욕, 낚시, 철새구경, 산책 등) 또는 오염정화 기능과 홍수조절 기능에 초점을 두고 있고 선택가치는 비록 현재

당장은 갯벌을 이용할 계획이 없어도 앞으로 이용할 가능성을 염두해둔 가치를 의미

□ 존재가치는 비록 내가 앞으로 갯벌을 이용할 가능성이 없어도 단지 갯벌이 잘 보존되어 갯벌의 동식물 등이 보호되는 것이 좋아서 표현되는 가치를 의미하며 유산가치는 우리의 후손들에게 우리가 갯벌로부터 누리는 혜택을 똑같이 받게 하기 위해 부여하는 가치를 의미

[표 2-3] 갯벌의 경제적 가치의 구분

가치의 종류		항 목
사용가치		어민이나 해안거주민들의 생계활동(어업 등) 또는 레크리에이션 활동(해수욕, 낚시, 철새구경, 산책 등) 또는 오염정화 기능과 홍수조절 기능을 위해서
비사용 가치	선택가치	비록 현재 당장은 갯벌을 이용할 계획이 없어도 앞으로 이용할 가능성이 있으므로 일종의 보험금 또는 예약금을 내기 위해 (기회가 되면 가보기 위하여)
	존재가치	비록 내가 앞으로 갯벌을 이용할 가능성이 없어도 단지 갯벌이 잘 보존되어 갯벌의 동물, 식물, 어류 등이 보호되는 것이 좋아서
	유산가치	우리의 후손들에게 우리가 갯벌로부터 누리는 혜택을 똑같이 받게 하기 위해서

자료: 표희동 등(2001).

현시선호 평가법 vs 진술선호 평가법

□ 경제적 추정 방법론 개요

- 비시장재화의 질 변화 혹은 추가적 공급에 대한 개개인의 후생변화를 화폐단위로 추정하기 위해서는 비시장재화의 직접적인 거래를 관찰하는 것이 불가능하므로, 시장재를 이용하여 간접적으로 편익을 추정하거나 가상적인 시장을 만들어야 함

- 사람들의 행동으로 나타난 선호를 바탕으로, 즉 현시된 선호(revealed preference)에 기반하여 비시장재화의 가치를 추정하는 전자의 방법을 현시선호 평가법이라 할 수 있음
- 현시된 선호를 관측하기 어려울 때나 그 선호가 정확하다고 보기 어려울 때, 가상적인 시장에 사람들을 몰입시키고 그 상황에서 가상적인 거래를 어떻게 할지를 질문하고 이에 대해 대답한 선호, 즉 진술된 선호(stated preference)를 이용하여 가치를 추정하는 방법을 진술선호 평가법이라 통칭
- 본 방법의 대표적 방법론은 조건부 가치측정법과 선택실험법이 대표적이며, 조건부 가치측정법은 편익을 직접적으로 추정하기 때문에 직접적 접근법이라 할 수 있으며, 선택실험법은 간접적으로 편익을 유도한다는 측면에서 간접적 접근법이라고 할 수 있음

□ 헤도닉 가격기법

- 본 기법은 비시장재화에 대한 시장이 명시적으로 존재하지 않는 상황에 그 대체시장으로서 주택시장이나 토지시장을 이용하여 주택이나 토지의 가격에 반영된 비시장재화의 가치를 간접적으로 측정하는 것을 의미
- 사람들은 은연중에 깨끗한 물이나, 아름다운 경치 등에 대해 가치를 부여하는데, 이러한 가치가 특정 상품의 가격에 내포되는 경우가 많음
- 예를 들면, 공기 좋은 곳의 부동산 값은 공기가 나쁜 곳의 부동산 값에 비해서 비싸짐
- 즉, 깨끗한 환경의 가치가 토지 가격이나 주택 가격에 포함되는 것임
- 헤도닉 가격기법은 이러한 차이에 착안하여 특정 재화에 대해 시장에서 직접 거래되지 않는 어떤 요인이 가격결정에 영향을 미친다는 가정 하에 소비자가 재화 구매를 결정하고 가격을 지불할 때 간주하였을 가능한 모든 속성으로 분해하여 각각의 속성에 대해 가치를 측정하는 방법론

□ 여행비용 접근법

- 여행비용 접근법(TCM, travel cost method)은 Hotelling(1947)에 의해 처음 제안되었으며, 여행객이 여행할 때 소요된 비용을 휴양지의 가치를 측정하는 데 사용될 수 있다고 제시
- 이후 Clawson(1959)와 Clawson and Knetsch(1966)에 의해 실증모형이 개발되었고, 그 이후 TCM은 주로 휴양지와 관련된 비시장재화의 가치측정에 대해 널리 사용

- 여행비용 접근법은 휴양지 방문객을 대상으로 설문조사를 실시하는 방법이며, 주거지, 사회경제적 변수, 여러 휴양지에 대한 방문 횟수, 여행목적, 여행기간, 여행비용과 같은 여행과 관련된 정보를 수집
- 조사된 자료에 근거하여 여행비용을 계산하며, 여러 관련된 요소와 함께 방문횟수를 계산하여 여행에 대한 수요함수를 구하며 그 다음 단계로 휴양지에 대한 가치를 추정하거나 더 나아가 휴양지 특성의 변화에 대한 가치도 추정
- 본 방법은 비시장재화의 가치측정 방법 중에서 가장 역사가 오래된 것으로 주로 등산, 낚시, 사냥, 숲의 이용 등 야외 여가활동과 관련된 레크리에이션 목적의 가치 측정에 많이 이용되고 있는 상황

□ 조건부 가치측정법

- 조건부 가치측정법은 환경재와 같은 비시장재화를 사고 팔 수 있는 시장(constructed market)을 가상으로 혹은 실제로 만들어 지불의사액(WTP)이나 수용의사액(WTA)을 직접 측정하는 방법론을 의미
- 조건부 가치측정법(contingent valuation method, CVM)에서 사용되는 가상적인 시장은 실험시장(experimental market) 혹은 모의시장(simulated market)이라 불리기도 하는데, 중요한 특징은 시장이 가상적이든, 모의적이든 간에 시장의 참여자들에게 익숙하지 않기 때문에 평가 대상의 속성과 특징을 정확히 설명하고 이에 대한 가치를 면밀하게 도출하는게 중요
- 조건부 가치측정법은 사람들이 특정 공공재나 비시장재에 부여하고 있는 가치를 직접적으로 이끌어내는 방법으로서 지불수단과 질문 원칙, 지불의사 유도 방법 등 적용이 엄밀해야 하며, 우리나라에서는 한국개발연구원 예비타당성조사 수행시 CVM의 적용 방법론과 가이드라인을 준수해야 함
- 현재, 국가 및 지방재정 사업에서 제안하고 있는 대규모 비정형사업과 R&D 사업의 비시장재가치 분석의 경우, 대부분 CVM 방법론을 적용하여 경제적 가치를 평가하고 있는 상황

나. 연구개발사업의 편익 추정 방법론

연구개발 활동의 파급효과 분류

□ 편익 추정의 단위는 개별 사업이고 평가 대상의 장단점을 합리적으로 분석하여 평

가결과를 도출하는데,

□ 사업 전후(before and after)가 아닌 시행 유무(with or without) 비교를 통하여 사회 후생의 차이를 분석해야 함

□ 사전적으로 편익(benefit)이란 (+)의 사업효과를 의미하며 연구개발사업의 편익이란 연구개발사업의 수행으로 인해 발생할 것으로 기대되는 (+)의 결과물을 의미

□ 미시경제학적으로 연구개발사업의 편익은 추가적으로 발생하는 소비자 잉여의 증가분 또는 생산자 잉여 증가분 등으로 정의 가능

□ 연구개발활동은 과학기술 지식, 민간의 수익, 파급효과 등의 관점에서 정의할 수 있는데, 이를 파급의 관점에서 다시 정의하면, 지식파급, 시장파급, 네트워크 파급 등으로 구분 가능

- 지식파급은 지식의 창출자와 사용자가 다른 경우 발생, 시장파급은 시장기능에 의해 여타 주체들에게 제품이나 공정상의 편익을 전달해주는 것을 의미
- 네트워크 파급은 관련 기술들의 집적을 통해 기능 향상을 가능케 하는 것을 의미하는데, 타당성조사에서 반영하는 효과는 지식파급과 시장파급에 한정
- 지식파급과 시장파급은 사업목표와 직접적으로 연결되고 객관적 산출이 가능할 경우 경제적 타당성의 효과 분석에 반영

[표 2-4] 연구개발활동 파급 분류와 예비타당성조사 반영 여부

구분	정의 및 특성	예비타당성조사 반영 여부
지식 파급 (knowledge spillovers)	○ 지식의 창출자와 사용자가 다른 경우 발생 ○ 역설계, 발간, 특허공개, 연구자 이동 등을 통해 발생 ○ 일부 계측 가능 ○ 화폐환산 불가	○ 사업목표와 직접적으로 연결되고 객관적 산출이 가능할 경우 경제적 타당성의 효과 분석에 반영
시장 파급 (Market spillovers)	○ 시장 기능에 의해 여타 주체들에게 제품이나 공정상의 편익을 전달해주는 것 ○ 추가기능의 구비, 가격의 인하, 저렴한 제품 및 서비스 제공 등으로 발생 ○ 계측 가능 ○ 화폐환산 가능	○ 사업목표와 직접적으로 연결되고 객관적 산출이 가능할 경우 경제적 타당성의 편익 분석에 반영
네트워크 파급 (Networ spillovers)	○ 관련기술들의 집적을 통해 기능 향상을 가능케 함 ○ 각각 기술들의 개발 주체가 분산되어 있어서 개별 주체별로 투자를 망설임 ○ 계측 불가 ○ 화폐환산 불가	○ 경제적 타당성에서 미반영 ○ 정책적 타당성의 특수평가항목에서 반영 가능

자료) KISTEP(2011), 『연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침연구(제1판)』

연구개발 활동의 편익 추정의 장애요소

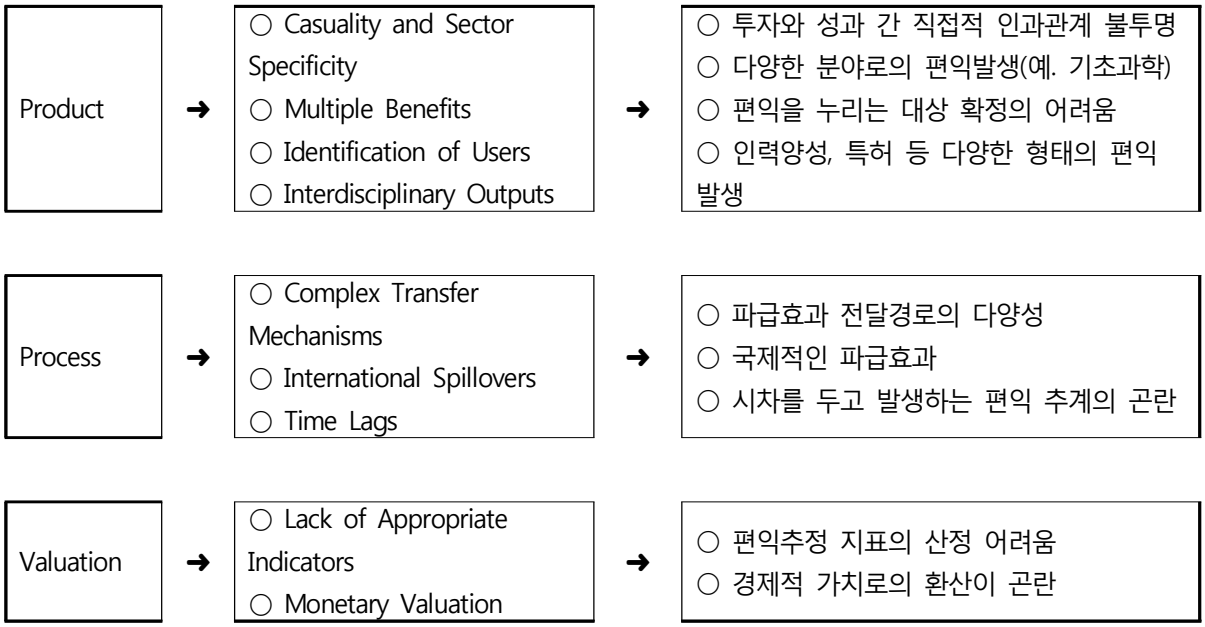
□ 연구개발사업은 대표적인 비투자 재정사업이자 비정형 사업에 해당

□ 이에 연구개발사업의 경제적 가치 평가는, 기술적 불확실성이 높고 가시적 효과를 정량적으로 추정하기 어려우므로, KISTEP(2011)과 OECD(2007)[2]은 다음과 같이 편익 추정의 어려움을 진단

- 투자 및 성과간의 직접적 인과관계가 불투명하고 편익을 누리는 대상을 명확히 구분하고 식별하는 것이 어려움
- 파급효과의 전달경로가 다양하고 시차를 두고 시현하는 과정도 발생

2) OECD(2007), 『Accessing the Socio-Economic Impact of Framework Programme』, OECD DSTI Report

- 편익의 화폐환산화가 어려움



[그림 2-4] 연구개발사업의 편익 추정을 어렵게 하는 요소

연구개발사업의 일반적 편익 항목

□ KISTEP(2016)[3]은 연구개발부문 예비타당성조사의 일반적 편익항목을 다음과 같이 제안

- 가치창출편익은 크게 소비자 중심 편익과 생산자 중심 편익으로 대별
- 소비자 중심 편익은 연구개발사업의 효과가 소비자에게 영향을 주는 경우를 식별하고 생산자 중심 편익은 생산자에게 영향을 주는 경우를 식별하는 것임
- 비용저감편익은 생산비용 저감 편익과 피해비용저감 편익으로 구분
- 생산비용 저감 편익은 자원비용, 공정비용, 연구장비 사용비용 등의 각종 생산비용 저감의 가치를 식별
- 피해비용저감 편익은 재난 및 재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 피해비용의 저감을 의미

3) 한국과학기술기획평가원(2016), 『연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(2-1판)』, 연구보고서

- 한편, 각 과학기술 지식의 증대 및 관련 파급효과는 가치창출 요소로 분석될 수 있으나 실제 타당성조사시에는 반영하지 않는 것으로 진단하고 있음

[표 2-5] 예비타당성조사시 반영되는 편익 항목 구분

구분	예비타당성조사시 편익 반영	예비타당성조사시 편익 미반영	
가치 창출 편익	ㅇ 소비자 중심 편익 - 연구개발사업의 효과가 소비자에게 영향을 주는 경우 (후생경제학에 근거) ㅇ 생산자 중심 편익 - 연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 주는 경우 (i.e. 시장수요 접근법)	ㅇ 과학기술 지식 (논문, 특허 등)† ㅇ 과학기술자의 교육훈련 ㅇ 지역개발효과 ㅇ 지역산업구조 개편 ㅇ 생산 유발효과	ㅇ 부가가치 유발효과 ㅇ 고용 유발효과 ㅇ 수입 유발효과 ㅇ 수출 유발효과 ㅇ 소득 분배효과 ㅇ 취업 유발효과
비용 저감 편익	ㅇ 생산비용저감 - 자원비용, 공정비용, 연구장비 사용비용, 출장비용 등 각종 생산비용의 저감 ㅇ 피해비용저감 편익 - 재난·재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 피해비용의 저감		

연구개발사업의 편익 분석을 위한 기준선 분석 원칙

□ 연구개발사업의 사업 시행 효과를 분석하기 위해서는 사업 유무에 다라 각각에 대한 분석을 하여 그 차이를 비교하는데, 이를 위해 합리적인 기준선 분석이 시급

- 첫째, 사업 추진을 통해 해결되는 문제를 중심으로 현재와 미래의 상태에 관련된 경제사회적 변수들을 구체적이고 명료하게 제시해야 함
- 둘째, 분석을 위한 모든 변수들을 구분하여 정량값을 제시해야 함
- 셋째, 기준선 구체화를 위한 노력 수준을 적절히 결정해야 함
- 넷째, 기준선의 상태를 구체화하기 위한 모든 가정들을 명시하고 구체적으로 설명할 필요가 있음
- 예를 들어, 기준선 분석은 현재 상태 및 미래에 대한 예측분석이므로 확보가 어려운 사항과 관계에 대한 가정이 필수적으로 수반되며, 타당성조사 주체는 분석에 적용된 가정의 목록을 제시하고 값들을 명시함으로써 기준선 분석결과의 재현성을 확보해야 하고 적용된 가정과 더불어 경쟁기술의 발전 추이, 해당 기술

의 요소 중 불확실한 부분 등과 같이 논의를 통해 제외되는 가정도 있게 되는데 제외의 이유를 구체적으로 보고서에 명시할 필요가 있음

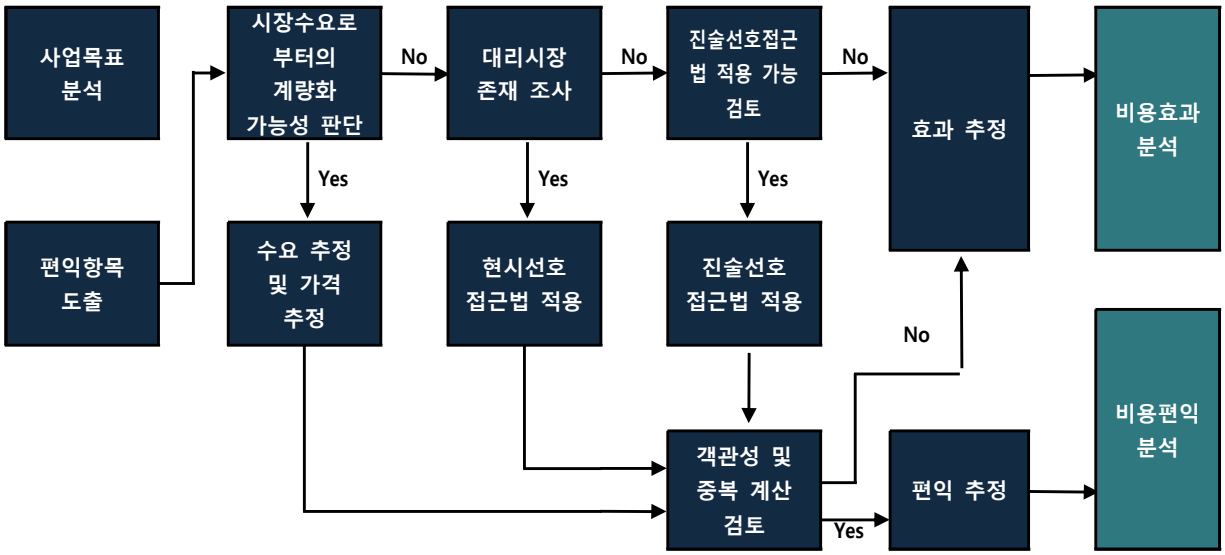
- 다섯째, 시간 기준으로 기준선을 설정하는 시점과 종료시점을 구체적으로 제시할 필요가 있음
- 여섯째, 기준선 설정의 과정에서 불확실한 모든 요인에 대해 상세히 기술해야 함
- 마지막으로, 분석 대상사업의 경제적 타당성 분석 과정에서 기준선에 적용된 가정들을 준용해야 함

[표 2-6] 연구개발부문 예비타당조사에서 기준선 분석시 준수해야할 사항

준수 사항	설 명
사업 추진을 통해 해결되는 문제를 중심으로 현재와 미래의 상태에 관련된 경제사회적 변수들을 구체적이고 명료하게 제시할 것	사업 추진을 통해 해결되는 문제에 대한 구체화와 해결되는 정도의 정량적인 제시, 현재의 상태, 문제가 해결되는 과정에 대한 사항, 사업 추진 과정과 결과물에 의해 영향을 받는 주체들에 대한 사항을 중심으로 기술
분석을 위한 모든 변수들을 구분하여 정량값을 제시할 것	예비타당성조사 주체는 사업 시행과 미시행 경우의 비교분석을 수행해야 하므로 이 과정에서 필요한 변수들의 식별은 결과의 엄밀성 확보를 위해 필요
기준선 구체화를 위한 노력의 수준을 적절히 결정할 것	기준선에 대한 분석은 확보된 자료를 토대로 자료를 연결시키는 모형을 적용하고 이 과정에서 자료가 확보되지 않은 부분에 대한 적절한 가정 도입으로 진행됨. 즉, 자료의 수준, 모형의 수준, 가정의 수준 등이 기준선 분석 결과의 수준을 결정하게 되므로 구체화를 위한 노력의 수준을 예비타당성조사 기간과 재원의 범위 내에서 설정해야 함
기준선의 상태를 구체화하기 위한 모든 가정들을 명시하고 구체적으로 설명할 것	기준선 분석은 현재 상태 및 미래에 대한 예측분석이므로 확보가 어려운 사항과 관계에 대한 가정이 필수적으로 수반됨. 예비타당성조사 주체는 분석에 적용된 가정의 목록을 제시하고 값들을 명시함으로써 기준선 분석결과의 재현성을 확보해야 함. 적용된 가정과 더불어 경쟁기술의 발전 추이, 해당 기술의 요소 중 불확실한 부분 등과 같이 논의를 통해 제외되는 가정도 있게 되는데 제외의 이유를 구체적으로 보고서에 명시
시간 기준으로 기준선을 설정하는 시점과 종료시점을 구체적으로 제시할 것	예비타당성조사 기준선 분석의 시점은 사업 착수 시점이며 종료시점은 경제적 타당성 분석의 기간과 동일함. 종료시점의 설정은 사업 추진을 통한 효과 발생의 지연 및 지속과 관련된 사항임
기준선 설정의 과정에서 불확실한 모든 요인에 대해 상세히 기술할 것	불확실한 요인을 명확히 제시하고 가정에 따른 민감도 분석 결과를 제시함
분석 대상사업의 경제적 타당성 분석 과정에서 기준선에 적용된 가정들을 적용할 것	경제적 타당성 분석에서 다수의 시나리오를 비교하는 경우, 비용효과 분석에서 다수의 대안을 비교하는 경우에 있어서 기준선은 동일하게 적용해야 함

연구개발사업의 경제성 분석 프로세스

□ 연구개발사업의 경제성 분석은 시장 수요 진단 가능성, 대리시장 존재 가능성 등을 종합적으로 판단하여 비용효과분석 또는 비용편익분석으로 나누어 분석



[그림 2-5] 경제성 분석 프로세스

연구개발사업의 경제성 분석 절차

□ 최종적으로 연구개발사업의 경제성 분석은 연구개발 내용 검토, 편익구도 수립, 경제성 분석 수행 순으로 이루어지며 무엇보다도 사업 내용의 특징 분석과 최종적인 기대효과를 명확히 식별하는 것이 중요

연구개발 내용 검토	편익 구도 수립	경제성 분석 수행
기술트리 구조, 핵심 기술 현황 검토 및 관련 정량 자료 확보	기술 특성에 따른 정(+)의 가치 증가분, 부(-)의 가치 감소분 식별	지침 및 가이드라인 준수, 최신 사례 준용 노력 지속
정책시급성, 기술실현가능성, 사업화가능성 검토	정량화 가능성 연계 편익 최종 구도 수립	B/C 결과의 신뢰성을 담보하기 위한 정책적 고려 사항 및 기술 중복성 여부 등 추가 검토

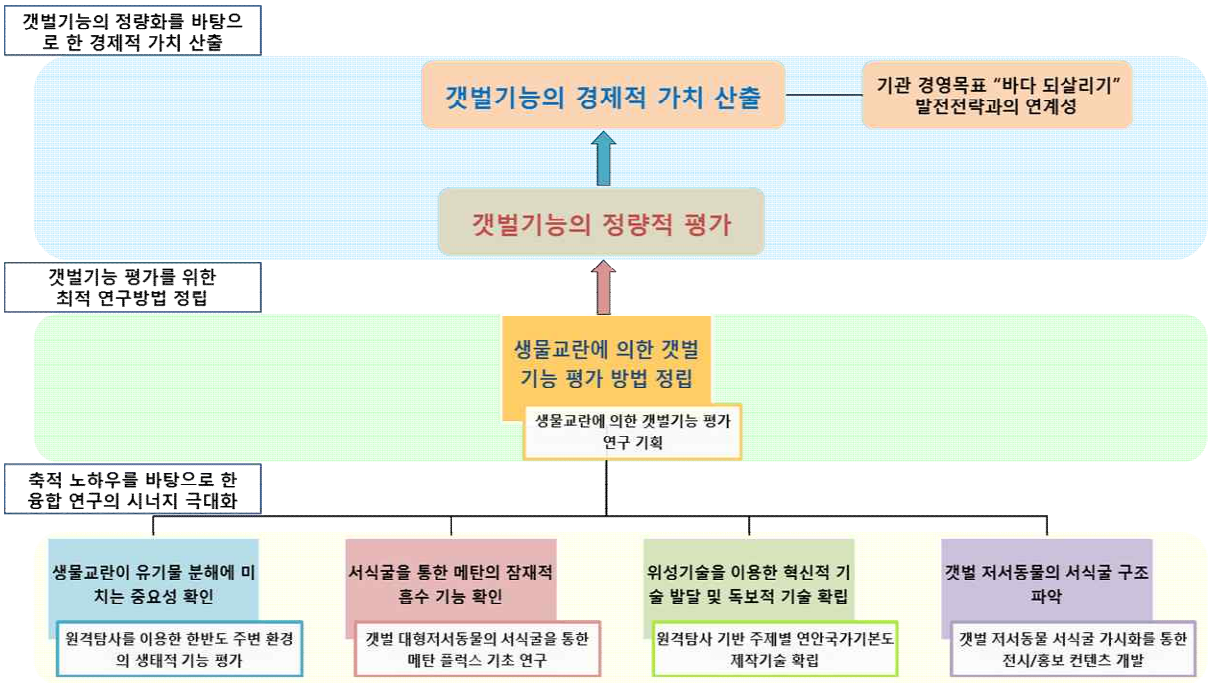
[그림 2-6] 연구개발사업의 경제성 분석 절차

다. 편익 추정 구도

연구 기대 효과를 통한 편익 항목 도출

□ 편익항목은 연구사업의 개요 중 기대효과 및 활용방안을 바탕으로 식별 가능한 편익항목을 도출함

- 주요 연구 전략으로는, 원격탐사를 이용한 한반도 주변 환경의 생태적 기능 평가, 갯벌 대형저서동물의 서식굴을 통한 메탄플럭스 기초 연구, 원격탐사 기반 주제별 연안국가기본도 제작기술 확립, 갯벌 저서동물 서식굴 가시화를 통한 전시/홍보 컨텐츠 개발 등으로 제시



[그림 2-7] 본 기획연구의 추진 목표 및 전략

□ 기대효과 및 활용방안을 바탕으로 발생되는 편익항목을 도출하면, 갯벌기능의 정량화 연구를 바탕으로 갯벌의 생태적 기능에 대한 연구가 활성화되면서 갯벌의 생태적 건강성에 대한 인식도 확산되는 편익이 식별될 수 있을 것으로 판단

- 특히, 원격탐사 기반의 갯벌 연구가 구체화·체계화되면 갯벌 연구의 기초과학적 수월성이 증대되어 갯벌의 본래적 가치가 보다 명확히 드러날 수 있을 것으로 기대
- 이와 함께 서식굴 구조 파악과 이를 활용한 콘텐츠의 개발은 갯벌의 생태적 환경과 기능에 대한 생태교육적 가치를 확대할 것으로 기대

□ 이와 함께 서식굴을 통한 메탄의 잠재적 흡수 기능을 확인하는 연구 등을 통해 기후변화 기초연구와 연계한 온실가스 배출량 감축 편익 역시 식별 가능한 것으로 판단

2 경제성 분석 결과

(1) 편익 추정 결과

주요 편익 항목 개요

□ 갯벌의 보존가치 증대 편익

- 생물교란이 유기물 분해에 미치는 중요성에 대한 연구와 원격탐사 기반의 갯벌 연구의 시각적 과학화는 갯벌 기초과학적 연구의 수월성을 도모
- 또한 서식굴 연구와 이와 관련한 교육·홍보 콘텐츠 확보 연구는 갯벌의 본래적 가치를 증대시킬 것으로 판단
- 이에 본 연구개발사업은 갯벌 고유의 생태계서비스 항목 중 보존가치에 대한 인식이 제고될 것으로 판단

□ 온실가스 배출량 감축 편익

- 서식굴의 기초 연구를 통해 메탄 가스의 잠재적 흡수 기능을 확인하고 검증함으로써 기후변화 대응을 위한 온실가스 배출량 감축 편익도 추가적으로 식별될 수 있을 것으로 기대

[표 2-7] 편익 항목 개요

편익 항목	내용	반영 여부
갯벌의 보존가치 증대 편익	갯벌 생태계서비스 중 보존가치의 인식제고 효과 추정	반영
온실가스 배출량 감축 편익	배출량 감축효과를 탄소배출권 판매이익으로 추산	미반영

□ 편익 항목 중 온실가스 배출량 감축 편익은 현재 타당성 분석 단계에서는 반영하

지 않음

- 온실가스 배출량 감축 편익 : 현재 연구개발사업의 성과로 이산화탄소 배출량 감축 효과의 전체 규모를 정량적으로 예측하기 어려우므로 이는 연구개발사업이 진행되면서 자료 확보를 통해 식별해야하는 경제적 가치로 판단

□ 본 분석에서는 본 기획과제의 최종적인 기대효과가 명확한 갯벌의 보존가치 증대 편익만을 반영하기로 함

갯벌 보존가치 증대 편익

□ 갯벌 보존가치 증대 산출식은 다음과 같음

갯벌 보존가치 증대 편익 = 갯벌 보존 가치 인식 제고에 대한 적극적 수용가구× 갯벌의 보존 가치 원단위

- 본 기획연구의 기초과학적 연구 성과는 갯벌 기초과학 전체 연구로 확장되고 이의 결과로 갯벌의 보존가치에 대한 인식이 증진되면서 갯벌 생태계 서비스 기능별 연구의 수월성이 전반적으로 높아지는 측면이 강하나, 경제성 분석의 보수적 산정 원칙에 따라 갯벌 보존가치 인식 증대 수용 범위는 본 기획연구의 주된 연구 대상지인 곰소만 일대로 제한

□ 곰소만 갯벌 보존에 대한 적극적 수용가구

- 전북 곰소만 갯벌 보존 가치 인식 제고에 대한 적극적 수용가구를 가정하기 위하여, 유사 재화의 대리변수인 고창지역의 갯벌체험관광객의 정보를 활용
- 문화관광체육부의 관광지식정보시스템에 의하면, 고창지역의 갯벌체험 장소는 장호갯벌체험마을과 하전갯벌체험마을 2곳이 있음
- 2017년 장호갯벌체험마을 방문객은 39,411명, 하전갯벌체험마을 방문객은 182,628명으로 총 222,039명으로 조사되었으며, 이를 현재 가구당 세대원수 통계로 역산하여 가구수를 환산하면 92,767가구로 추계
- 즉, 갯벌 연구의 시각적 과학화, 교육·홍보 콘텐츠 확보, 갯벌 공간 정보 확보 등으로 보존가치에 대한 인식 제고 적극적 수용 가구를 92,767 가구로 가정

□ 갯벌의 보존 가치 원단위

- 갯벌의 경제적 가치 평가에 대한 선행연구사례들을 살펴보면, 갯벌의 경제적 가치 평가에 있어서 적용되었던 기능은 수산물 생산기능, 수질정화기능, 심미(여가)기능, 수산동식물 서식지 제공기능, 재해(홍수, 해일) 방지기능), 보존가치 등임
- 선행연구들 중 전북 고창 갯벌을 대상으로 보존가치를 추정한 연구는 2012년 국토해양부와 해양환경관리공단의 「연안습지 기초조사」에서 수행한 바 있음
- 본 연구에서 적용하는 편익원단위는 국토해양부(2012) 연구 결과를 준용

[표 2-8] 전북 고창 갯벌에 대한 지불의사액 추정결과

구분	추정계수($t-$값)	
	충남전북지역	충남전북 외 전국지역
상수항	-1.0813 (-9.49)**	-0.6517 (-7.63)**
제시금액	-0.1961 (-7.55)**	-0.1283 (-9.66)**
스파이크	0.7467 (34.67)**	0.6574 (34.16)**
평균 WTP	1,489원 (6.45)**	3,268원 (8.80)**

주 : **은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의미함을 의미함

자료 : 국토해양부(2012), 『연안습지 기초조사』

- 본 분석에서 갯벌의 보존가치 증대 편익 분석을 추정하는데 있어서 편익 원단위는 2017년 말 기준 소비자 물가지수로 보정한 값을 이용함

[표 2-9] 물가보정을 통한 전북 고창 갯벌에 대한 지불의사액 추정 결과

구분	2011년 지불의사액(평균) (원/가구당)	소비자 물가지수		2017년 지불의사액 (원/가구당)
		2011년	2017년	
고창 갯벌의 보존가치에 대한 지불의사액	2,378.5원	94.717	102.930	2,584.7원

자료 : 소비자물가지수는 통계포털시스템(http://www.kosis.kr) 활용

□ 갯벌의 보존가치 증대 편익 분석 결과

- 분석 결과, 갯벌 보존가치 인식 제고를 통한 연간 편익은 2.4억원으로 분석

[표 2-10] 갯벌의 보존가치 증대 편익 분석 결과

적극적 수용 가구	갯벌 보존가치 지불의사액 원단위	연간 갯벌의 보존가치 증대편익
92,767가구	2,584.7원	2.4억원

(2) 경제성 분석 개요

경제성 분석 방법

□ 경제적 타당성에 관한 분석은 일단 그 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는 사업인지를 파악할 수 있도록 함으로써 사업에 대한 이해를 돕게 됨

□ 경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용 비율(B/C ratio), 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return,) 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 많이 사용함

경제성 분석 기법 비교

□ 경제성 분석 기법 개요

[표 2-11] 경제성 분석 기법

분석기법	장 점	단 점
편익/비용 비 율	·이해 용이 ·사업규모 고려 가능 ·비용편익 발생기간의 고려	·편익과 비용의 명확한 구분 곤란 ·상호배타적 대안선택의 오류발생 가능 ·사회적 할인율의 파악
내부수익률	·사업의 수익성 측정 가능 ·타 대안과 비교가 용이 ·평가과정과 결과 이해가 용이	·사업의 절대적 규모 고려치 않음 ·몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내제
순현재가치	·대안 선택 시 명확한 기준 제시 ·장래발생편익의 현재가치 제시 ·한계 순현재가치 고려 ·타 분석에 이용가능	·할인율의 분명한 파악 ·이해의 어려움 ·대안 우선순위 결정시 오류발생 가능

□ 편익/비용 비율 : 사업 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준년도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용 비율)≥1이면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{편익·비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : 편익의 당해 연도 값

C_t : 비용의 당해 연도 값

r : 할인율(이자율)

n : 내구년도(분석년도)

□ 내부수익률 : 내부수익률이란 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율 r을 구하는 방법으로 일반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단

$$\text{내부수익률}(IRR): \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

□ 순현재가치 : 순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

경제성 분석 시 고려 사항

□ 경제성 분석에 있어 비용과 편익은 모두 사회적 비용 및 편익으로 간주할 수 있는데 일반적으로 공공투자시설의 경우 비용은 실질적으로 투자되어 사용된 비용을 계상하는 반면 편익은 회수방법을 통한 실제수익이 아닌 사회적 편익을 기준으로 함

□ 본 사업이 추진되면, 3단계에 걸쳐 총 7년의 연구기간(2019년~2025년)이 소요될 것으로 예상됨에 따라 단계별 연구기간 완료 후, 2022년부터 편익이 순차적으로 발생하는 것으로 가정함

□ 연구개발 사업은, 그 성격상 비용이 초기에 집중 발생하는 반면, 편익은 연구개발 사업후 후 장기간 동안 발생하기 때문에 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산하여 평가함

경제성 분석 시 전제

□ 사회적 할인율

- 비용과 편익의 미래 흐름을 비교하기 위하여 사용되는 할인율은 자원의 기회비용, 즉 투자사업에 사용된 자본이 다른 투자사업에 사용되었을 경우 얻을 수 있는 수익을 추정하게 할 뿐 아니라 사람에 따라 혹은 사회에 따라 그리고 시대에 따라 다를 수 있는 시간의 객관적인 가치를 나타냄
- 할인율 개념의 적용에 있어서는 많은 이견이 있으나 특정 건설사업이 정부에 의

해 주도되는 경우에는 사회적 할인율의 개념을 적용하고 민간자본에 의해 추진되는 경우에는 시장이자율에 근거한 재무적 할인율을 적용하는 것이 일반적

- 사회적 할인율은 통상 시장이자율보다 낮은 수준으로 책정되는데 그 이유는 사회적 할인율을 사용하여 사업타당성을 평가하는 주체가 주로 정부이며 정부로서는 미래사업의 중요성이 더 높게 평가되어야 하기 때문임

- 대부분의 국가는 투자사업의 특성에 따른 할인율을 자국의 경제성장률, 물가상승률, 경제적 잠재능력 등을 고려하여 개괄적인 방법으로 정부가 추정하여 사용하고 있어 데 본 연구에서의 사회적 할인율은 기획재정부가 2017년 8월에 발표한 「예비타당성조사제도 개편안」에 의거하여 4.5% 적용

□ 기술수명 주기

- 국제특허분류(IPC)별 분류체계를 활용하여 각 기술별 기술수명주기를 분석한 한국과학기술기획평가원(2011)[4]의 연구에 따르면, 2000년부터 2009년까지 미국 등록특허 155만 여건의 인용정보를 이용해 국제특허분류(IPC) 클래스별 기술수명주기 중위수 (median)를 산정하여 제시한 바, 이에 근거하여 편익발생 기간을 결정해야 함

- 한국과학기술기획평가원(2011) 연구에 따르면, 본 연구개발사업의 관련 학문인 생화학 및 미생물학 등에 해당하는 기술수명주기의 중위수를 7.0년으로 분석

- 기술수명주기는 편익발생기간과 연동되며 분 분석은 특허 기술별 연구의 중위수 값과 같게 7년의 편익발생기간을 규정

4) 한국과학기술기획평가원(2011), 『예비타당성조사를 위한 지식기반 분석시스템 구축』

□ 경제성 분석의 고려 사항

- 분석 시점 : 본 분석 직전연도 2017년 기준으로 현재가치화
- 비용 : KIOST에서 제공한 갯벌 기능 평가를 위한 단계별 예산안
- 분석 기간 : 편익발생 시점인 2022년 이후부터 단계별 연구기간 종료 후 7년간
- 할인율 : 최근 개정된 기획재정부 방침에 근거하여 4.5% 적용

(3) 경제성 분석 결과

경제성 분석 결과

□ 경제성 분석 결과 편익-비용비율은 1.423로서 본 연구개발사업은 경제적으로 타당한 것으로 분석

□ 추후 본 연구개발사업을 통해 갯벌의 생태계서비스의 인식 가치가 추가로 식별되고 보존가치 인식개선 효과가 확대되면서 기초과학적 연구의 수월성이 높아지면 본 편익-비용비율은 변화될 수 있음

- 한편, 본 경제성 분석에서는 최종적으로 반영하지 않은 온실가스 배출량 감축 편익 등이 본 기획연구의 성과로 추가로 확인되면 편익-비용비율은 보다 더 증대될 것으로 전망

□ 내부수익율은 13.3%이며, 순현재가치는 9.700억원인 것으로 분석

[표 2-12] 경제성 분석 결과 요약

구 분	분석 결과
총 편익의 현재가치 (억원)	32.634
총 비용의 현재가치 (억원)	22.934
순현재가치 (억원)	9.700
편익-비용 비율	1.423
내부수익률(IRR)	13.3%

민감도 분석

□ 편익 및 비용 변화에 대한 민감도 분석을 위해서 편익과 비용을 ±20%까지 10%p 씩 변화시킴

□ 모든 경우에 있어서 경제적 타당성을 확보한 것으로 판단

[표 2-13] 민감도 분석 결과

구 분	변화율 (%)	총편익의 현재가치 (억원)	총비용의 현재가치 (억원)	순현재가치 (억원)	B/C
편익의 변화	-20%	26.107	22.934	3.17	1.138
	-10%	29.371	22.934	6.44	1.281
	0%	32.634	22.934	9.70	1.423
	10%	35.897	22.934	12.96	1.565
	20%	39.161	22.934	16.23	1.708
비용의 변화	-20%	32.634	18.347	14.29	1.779
	-10%	32.634	20.640	11.99	1.581
	0%	32.634	22.934	9.70	1.423
	10%	32.634	25.227	7.41	1.294
	20%	32.634	27.520	5.11	1.186

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.