기본연구 2022-03

연안재해 대응을 위한 그린인프라 구축방안 연구

A Study on How to Build Green Infrastructure to Mitigate Coastal Disasters

정지호 · 김찬웅 · 정여진 · 강창우 · 조지성 · 박원경

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	**정지호, 김찬웅, 정여진, 강창우, 조지성, 박원경**
내부연구진	연구책임자 정지호 한국해양수산개발원 해양연구본부 부연구위원 공동연구원 김찬웅 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원 공동연구원 정여진 한국해양수산개발원 해양연구본부 전문연구원 공동연구원 강창우 한국해양수산개발원 해양연구본부 연구원 공동연구원 조지성 한국해양수산개발원 물류·해사산업연구본부 부연구위원
외부연구진	공동연구원 박원경 (주)대영엔지니어링 전무

연구기간	2022. 1. 1. ~ 2022. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자	정지호 연구총괄, 제1장 제1절, 제2절, 제3절 1 일부, 2, 제4절, 제2장 제1절 1, 제5장 제1절, 제2절 2, 4, 제6장
내부연구진	김찬웅 제2장, 제2절, 제4장 제1절, 제5장 제2절 1, 3 일부 정여진 제2장 제1절 2, 제3절, 제4절, 제3장 제2절, 제5장 제2절 3 일부 강창우 제1장, 제3절 1 일부, 제3장 제1절 조지성 제4장 제2절
외부연구진	박원경 제3장 제1절 3 일부

산·학·연·정 연구자문위원	백종대 ㈜해안해양기술 상무 전진형 고려대학교 교수 하호경 인하대학교 교수

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

바다는 양면의 얼굴을 갖고 있다. 우리에게 없어서는 안 될 혜택을 주면서도 자연재해라는 큰 위험도 준다. 바다가 주는 혜택을 안전하게 누리려면 자연재해에 대한 대비를 잘해야 한다. 하지만 기후변화로 자연재해 위험이 더욱 커질 것으로 예상되어 자연재해 대비가 현재보다 더욱 힘들어질 수 있다. 그만큼 자연재해에 더욱 효과적으로 대응 방법을 찾아야 한다. 자연재해에 대응하는 좋은 방법은 단연 자연기반해법(Nature-based Solutions)이다. IUCN이 제안한 자연기반해법은 인류가 직면한 다양한 문제를 자연이 가진 기능을 활용하여 해결하는 것을 말한다. 자연재해 문제와 관련한 대표적인 자연기반해법은 연안 그린인프라를 활용하는 것이다.

연안 그린인프라는 염습지, 해초지, 해안사구, 갯벌, 모래해변 등 재해를 발생시키는 해양의 외력을 완충하는 기능을 가진 자연 그대로의 공간이나 물질이라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 자연의 프로세스나 물질을 모방하기 위해 인간이 개발한 것도 포함된다. 염습지, 해초지 등에 서식하는 식생은 파고나 파력을 크게 줄여 연안을 안전하게 보호할 수 있다. 우리나라에도 재해 완충기능이 탁월한 연안 그린인프라가 넓게 분포한다. 그러나 우리나라 연안재해 대응은 대부분 콘크리트 구조물에 해당하는 그레이인프라에 지나치게 의존하고 있다. 그레이인프라가 설치된 지역 중에는 본래 그린인프라가 있던 곳도 상당수다. 그린인프라는 자연재해를 완충하는 효과뿐만 아니라 탄소흡수, 수산물 생산, 수질 정화, 친수공간 제공 등의 효과도 있다. 이제는 그레이인프라에 편중된 연안재해 대응방식에서 벗어나 그린인프라도 충분히 활용해야 한다.

이 연구에서는 연안재해에 대응하기 위한 효과적인 방법으로 연안 그린인프라 구축을 제안하였다. 호안, 수중방파제 등 그레이인프라가 99.9%에 이르는 우리나라 연안재해 대응 문제를 해결하고, 앞으로 더욱 증가하는 연안재해에 효과적으로 대비하기 위해서는 반드시 연안 그린인프라를 활용할 필요가 있다.

우리나라 연안에서 그린인프라를 활용하여 자연재해에 대응하기 위해서는 첫째, 연안 그린인프라가 필요한 지역을 도출할 수 있는 과학적 방법이 필요하다. 이 연구에서 개발한 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 연안 그린인프라 필요지역을 도출하기 위한 유용한 방법이 될 수 있다. 이 연구에서 개발한 지수는 연안정비사업 등 연안재해

대응사업 방식을 선정할 때 활용될 것으로 기대된다. 둘째, 연안 그린인프라 구축을 위한 제도 개선이 필요하다. 연안정비사업, 갯벌 복원사업 등에 그린인프라를 포함하기 위해 「연안관리법」과 「갯벌법」 개정이 필요하고 그린인프라 분포지역을 보호하기 위해 「해양생태계법」, 「공유수면법」 등의 개정도 필요하다. 셋째, 한국형 연안 그린인프라를 개발해야 한다. 우리나라에 분포하는 연안 그린인프라에 대한 정밀조사, 그린인프라의 재해완충 효과를 측정하는 연구, 그린인프라로 활용할 수 있는 식생 식재 기술개발 등이 필요하다. 마지막으로 연안 그린인프라 관련 지역의 역량 강화와 협력 거버넌스 구축이 필요하다. 연안 그린인프라의 다양한 기능에 대한 지역주민의 인식 전환과 공감이 필요하고, 지방자치단체에 대한 정책적·기술적 지원도 필수적이다.

이 연구의 책임을 맡은 정지호 부연구위원과 연구진으로 참여한 김찬웅, 정여진 전문연구원, 강창우 연구원, 조지성 부연구위원의 수고에 감사드린다. 또한 원고 자문을 통해 연구에 실질적인 도움을 주신 박원경 대영엔지니어링 전무께 깊은 감사를 드린다. 그 외에도 이 연구에 조언해 주신 전문가에게도 감사드린다.

마지막으로 이 보고서의 심사를 맡아 보고서를 더욱 충실하게 작성할 수 있도록 도움을 주신 우리 원의 목진용 명예연구위원, 최지연 본부장께 감사드리며, 외부에서 심사를 맡아주신 부경대학교 강대석 교수, 부산대학교 정주철 교수, 해양수산부 강지호 사무관께도 감사드린다. 그리고 이 보고서가 발간되는 데 많은 도움을 주신 모든 분께 감사드린다.

2022년 12월
한국해양수산개발원
원장 **김 종 덕**

목차

정책제안 _i

요약 _v

Executive Summary _xix

01 서론 _1

제1절 연구 배경 및 필요성 1

제2절 연구 목적 4

제3절 선행연구 검토 6

1. 선행연구 분석 6
2. 선행연구와 차별성 10

제4절 연구 내용 및 방법 12

1. 연구 주요 내용 12
2. 연구 방법 15

02 연안 그린인프라 이론 및 사례 분석 _17

제1절 연안 그린인프라 개념 및 효과 17

1. 연안 그린인프라 개념 17
2. 연안 그린인프라 재해 대응 효과 29

제2절 우리나라 연안 그린인프라 현황 44

1. 자연해안선 45
2. 갯벌 47
3. 사구 49
4. 식생분포 연안 51

제3절 국내·외 연안 그린인프라 구축 사례 53

1. 국내 사례 53
2. 국외 사례 58
제4절 연안 그린인프라 도입을 위한 시사점 70

03 연안재해 대응 실태와 연안 그린인프라 구축 여건 분석 _73
제1절 우리나라 연안재해 대응 실태 73
1. 연안재해 현황 74
2. 연안재해 대응 제도 및 사업 80
3. 연안재해 대응 문제점 97
4. 연안재해 대응 방식 개선을 위한 시사점 123
5. 소결 130
제2절 연안 그린인프라 구축 여건 133
1. 연안 그린인프라 관련 계획 및 사업 133
2. 연안 그린인프라 관련 기술 개발 동향 145
3. 연안 그린인프라 관련 정책 담당자 의견 분석 156

04 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 및 가치 분석_159
제1절 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발 및 적용 159
1. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발 159
2. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 적용 179
3. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 특징 및 한계 194
제2절 연안 그린인프라 인식 조사 및 경제적 가치평가 197
1. 연안 그린인프라에 대한 인식조사 개요 197
2. 인식조사 주요 결과 200
3. 연안 그린인프라 경제적 가치 202

05 연안 그린인프라 구축방안 _209

제1절 연안 그린인프라 구축 방향 209
제2절 연안 그린인프라 구축 방안 215
1. 연안 그린인프라 필요지역 선정 방안 215
2. 연안 그린인프라 확대·보전을 위한 제도 개선 223
3. 한국형 연안 그린인프라 개발 240
4. 연안 그린인프라 실행을 위한 역량 강화 및 협력 거버넌스 구축 249

06 결론 및 정책 제언 _257
제1절 요약 및 결론 257
제2절 정책 제언 264

참고문헌 _271

부록 _285

표 목차

〈표 1-1〉 연안재해 현황 ····· 2
〈표 1-2〉 선행연구와 차별성 ····· 10
〈표 1-3〉 주요 연구 내용별 연구 방법 ····· 15
〈표 2-1〉 각종 법률 상 기반시설 정의 ····· 20
〈표 2-2〉 연안 그린인프라 개념 ····· 23
〈표 2-3〉 연안 그린인프라와 그레이인프라 비교 ····· 24
〈표 2-4〉 연안 그린인프라 유형 및 연안보호 관련 기능 ····· 26
〈표 2-5〉 연안 생태계 복원 비용 및 연안그린 인프라의 재해 대응 혜택 ····· 30
〈표 2-6〉 그린인프라 효과 ····· 32
〈표 2-7〉 현장 측정을 통하여 염생식물의 파도 감쇄 효과를 증명한 주요 연구 목록 ·· 35
〈표 2-8〉 염습지와 방조제 설치비용 비교 ····· 43
〈표 2-9〉 국외 연안 그린인프라 비용편익 분석 사례 비교 ····· 43
〈표 2-10〉 해안선 현황 ····· 45
〈표 2-11〉 지역별 해안선 비중 ····· 46
〈표 2-12〉 갯벌 면적 현황 ····· 47
〈표 2-13〉 해안사구 분포 현황 ····· 49
〈표 2-14〉 연안 식생 자료 출처 ····· 51
〈표 2-15〉 연안 식생분포 현황 ····· 51
〈표 2-16〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 사업 개요 ····· 53
〈표 2-17〉 태안해안국립공원 내 14개소에서 시행한 사구 복원면적 ····· 56
〈표 2-18〉 미국 연안 그린인프라 관련 정책인 국가 허가 54 주요 내용 ····· 59
〈표 2-19〉 숨쉬는 해안선 사업 적용 단계 ····· 60
〈표 2-20〉 숨쉬는 해안선 주요 유형 ····· 61
〈표 2-21〉 국외 연안 그린인프라 사례 종합 ····· 70
〈표 2-22〉 연안 그린인프라 국내 적용을 위한 시사점 ····· 72
〈표 3-1〉 연안재해 규모 현황 ····· 76
〈표 3-2〉 해역별 연안침식 유형 분석 결과 ····· 77
〈표 3-3〉 연안침식 실태조사 침식등급 평가결과 지역별 분포(2020년) ····· 78
〈표 3-4〉 연안지역 침수 피해 현황(2012-2018) ····· 79
〈표 3-5〉 주요 연안재해 대응 수단 ····· 82

〈표 3-6〉 연안시설 설계 고려 사항 ····· 83
〈표 3-7〉 설계조건 ····· 84
〈표 3-8〉 제3차 연안정비기본계획 지역별 사업 분포 ····· 90
〈표 3-9〉 연안 피해 유형 ····· 92
〈표 3-10〉 제1~2차 연안정비사업 공법별 현황 ····· 93
〈표 3-11〉 연안정비사업 투자실적 ····· 95
〈표 3-12〉 연안정비사업 준공실적 ····· 95
〈표 3-13〉 그레이 방식 사업 사례 분석 대상지 현황 및 문제점 ····· 98
〈표 3-14〉 충남 태안군 운여해변 연안정비사업 계획 및 추진현황 ····· 99
〈표 3-15〉 강원 강릉시 소돌해변 연안정비사업 계획 및 추진현황 ····· 101
〈표 3-16〉 경북 울진군 봉평지구 연안정비사업 계획 및 추진현황 ····· 104
〈표 3-17〉 관리해안선의 정의, 설정 및 평가 방법 ····· 105
〈표 3-18〉 그레이 방식 사업 사례 분석을 통한 연안정비사업 시사점 ····· 110
〈표 3-19〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 해빈폭 ····· 112
〈표 3-20〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 단면적 ····· 113
〈표 3-21〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 해빈폭 ····· 115
〈표 3-22〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 단면적 ····· 116
〈표 3-23〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 해빈폭 ····· 117
〈표 3-24〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 단면적 ····· 118
〈표 3-25〉 포커스 그룹 인터뷰 참석자 현황 ····· 119
〈표 3-26〉 연안 그린인프라 도입 방향 ····· 132
〈표 3-27〉 사구복원이 포함된 연안정비사업 지구(제3차 연안정비기본계획) ····· 134
〈표 3-28〉 그린인프라 관련 국가 계획 ····· 144
〈표 3-29〉 그린인프라 관련 사업 ····· 144
〈표 4-1〉 연안 취약성 모델의 일반적인 수행방법 ····· 161
〈표 4-2〉 연안 그린인프라 보호 효과 지수 ····· 163
〈표 4-3〉 연안 그린인프라 취약성 지수 ····· 164
〈표 4-4〉 연안 그린인프라 유형 메트릭스 ····· 165
〈표 4-5〉 연안 그린인프라 지수 지표별 내용 ····· 169
〈표 4-6〉 전문가 의견 수렴 결과 ····· 170

〈표 4-7〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수(안) 개요 ····· 171
〈표 4-8〉 연안 그린인프라 지표(안) 분석 설문지 ····· 172
〈표 4-9〉 설문조사 응답자 특성 ····· 174
〈표 4-10〉 설문조사 결과 ····· 175
〈표 4-11〉 연안 그린인프라 지수 구성 지표 ····· 178
〈표 4-12〉 연안 그린인프라 특성 분석 결과(그리드 수) ····· 180
〈표 4-13〉 연안 그린인프라 특성 분석 결과(격자 비중) ····· 181
〈표 4-14〉 외력 분석 결과(그리드 수) ····· 183
〈표 4-15〉 외력 분석 결과(격자 비중) ····· 183
〈표 4-16〉 사회경제 분석 결과(그리드 수) ····· 185
〈표 4-17〉 사회경제 분석 결과(격자 비중) ····· 185
〈표 4-18〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력지수 분석 결과(그리드 수) ····· 187
〈표 4-19〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석 결과(격자 비중) ····· 188
〈표 4-20〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석 결과(평균 등급) ····· 188
〈표 4-21〉 표본의 인구통계학적 특성 ····· 199
〈표 4-22〉 연안 그린인프라 및 연안 그레이인프라 인지도 조사 결과 ····· 200
〈표 4-23〉 해안사구 기능별 중요도 ····· 201
〈표 4-24〉 각 기능별 해안사구의 그레이인프라 대비 효과 조사 ····· 202
〈표 4-25〉 제시금액별 WTP 응답 분포 ····· 206
〈표 4-26〉 WTP 모형의 모수 추정결과 ····· 207
〈표 4-27〉 후생분석에 사용하는 중앙값 WTP 추정결과 ····· 207
〈표 4-28〉 해안사구 복원사업의 연간 총 편익 계산 ····· 208
〈표 5-1〉 선행 분석 결과에 따른 연안 그린인프라 구축 시사점 ····· 211
〈표 5-2〉 연안 그린인프라 현존량 및 취약성 매트릭스 ····· 217
〈표 5-3〉 연안 그린인프라 현존량 및 취약성 매트릭스 분석 결과 ····· 217
〈표 5-4〉 연안재해 취약지역 중 연안 그린인프라 유형별 사례지역 ····· 220
〈표 5-5〉 연안 그린인프라 구축을 위한 제도적 수단 ····· 223
〈표 5-6〉 연안관리법 개정 방안 ····· 225
〈표 5-7〉 연안시설 유형의 개정(안) ····· 226
〈표 5-8〉 갯벌법 상 갯벌 복원 관련 규정 ····· 230

〈표 5-9〉 갯벌식생 복원사업 대상지역 ····· 231
〈표 5-10〉 해양보호구역 중 연안 그린인프라 관련 구역 지정 현황 ····· 232
〈표 5-11〉 해양보호구역 모습 사례 ····· 233
〈표 5-12〉 해양사구 보호구역 지정 현황 ····· 234
〈표 5-13〉 주요 보호구역 지정 요건 ····· 235
〈표 5-14〉「연안관리법」 중 자연해안관리목표제 관련 개정 방안 ····· 237
〈표 5-15〉「공유수면법」 개정 방안 ····· 238
〈표 5-16〉 국토분야 관리수단과 연계 방안 ····· 239
〈표 5-17〉 연안 그린인프라 조사 기본사항 ····· 241
〈표 5-18〉 미국 NAA Digital Coast에 제공하는 연안 그린인프라 교육 자료 ····· 250
〈표 5-19〉 NOAA Digital Coast 그린인프라 지도 작성 가이드 세부 내용 ····· 251
〈표 6-1〉 연안 그린인프라 필요지역 도출 예시(기초 지자체) ····· 260
〈표 6-2〉 연안 그린인프라 구축을 위한 제도적 수단 개선 방향 ····· 261
〈표 6-3〉 한국형 연안 그린인프라 구축을 위한 연구 ·기술개발 수요 ····· 261
〈표 6-4〉 정책과제별 추진 로드맵 ····· 263
〈표 6-5〉 연안 그린인프라 제도 정비방안 ····· 266
〈표 6-6〉 연안시설 유형의 개정(안) ····· 268
〈표 6-7〉 연안 그린인프라 구축을 위한 연구 ·기술개발 내용 ····· 270

그림 목차

〈그림 1-1〉 연구 흐름도 ····· 14
〈그림 2-1〉 자연기반해법 정의와 자연기반해법으로 해결 가능한 중요한 문제 ····· 18
〈그림 2-2〉 인위적 연안 문제 해결을 위한 자연적 과정(processes) 기반 지침의 발전 ····· 19
〈그림 2-3〉 그린인프라와 그레이인프라 범위 ····· 25
〈그림 2-4〉 국내 적용 가능한 주요 연안 그린인프라 유형 ····· 27
〈그림 2-5〉 연안 생태계의 재해 대응력을 실측한 지역 ····· 31
〈그림 2-6〉 염습지의 파도 흡수 모식도 ····· 34
〈그림 2-7〉 굴망태와 염생식물을 활용한 침식해안 복원 모습 ····· 36
〈그림 2-8〉 해초지 통과 거리에 따른 레이놀즈(Re)별 유의 파고 높이(Hs) ····· 37
〈그림 2-9〉 미국 연안 해초지 모습 ····· 38
〈그림 2-10〉 폭풍해일에 대한 양빈 전·후 해변 변화 ····· 39
〈그림 2-11〉 양빈의 성공 및 실패 유형 ····· 40
〈그림 2-12〉 굴 망태를 이용한 그린인프라 모습 ····· 41
〈그림 2-13〉 자연기반해법 수단별 비용편익 비율 ····· 42
〈그림 2-14〉 해안선 현황 ····· 46
〈그림 2-15〉 갯벌 현황 ····· 48
〈그림 2-16〉 사구 현황 ····· 50
〈그림 2-17〉 염습지, 잘피, 바다숲 현황 ····· 52
〈그림 2-18〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 총괄도 ····· 53
〈그림 2-19〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 설계도 ····· 54
〈그림 2-20〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 전·후 비교 ····· 55
〈그림 2-21〉 인천 영흥도 해초지 복원 모습 ····· 57
〈그림 2-22〉 숨쉬는 해안선 사업 재해 대응 능력 측정지점 ····· 63
〈그림 2-23〉 숨쉬는 해안선 사업 시·행 전후 비교 ····· 63
〈그림 2-24〉 미국 경성공법 적용 해안선(A, B)과 숨쉬는 해안선 정비(C) ····· 64
〈그림 2-25〉 태풍으로 침수된 사구와 숨쉬는 해안선 사업 모습 ····· 66
〈그림 2-26〉 굴패각 망태(좌)와 잘피 식재 모식도 (우) ····· 67
〈그림 2-27〉 네덜란드의 양빈 유형(좌) 및 지역별 양빈 종류 ····· 68
〈그림 2-28〉 텍셀인렛 고도 변화(1990년 양빈 시행) ····· 69
〈그림 3-1〉 지역별 피해규모(2012-2018) ····· 75

〈그림 3-2〉 시설별 피해규모(2012-2018) ····· 75
〈그림 3-3〉 연안정비시설물 효과평가 구조 ····· 87
〈그림 3-4〉 구조물 규모 변화 ····· 88
〈그림 3-5〉 제1차 연안정비사업으로 설치한 운여해변 호안의 피해위치도 및 피해전경 ·· 100
〈그림 3-6〉 제3차 연안정비기본계획 운여지구 계획평면도 ····· 100
〈그림 3-7〉 소돌해변 해안 피해 전경 ····· 101
〈그림 3-8〉 우암재해위험지구 정비공사 후 피해현황 ····· 102
〈그림 3-9〉 소돌해변(D구역) 면적 변화 ····· 103
〈그림 3-10〉 현재 봉평지구에 설치된 주요 시설물 전경 ····· 105
〈그림 3-11〉 봉평지구 관리해안선 평가 결과 ····· 106
〈그림 3-12〉 봉평지구 제3차 연안정비기본계획 평면도 및 안정해안선 예측결과 ·· 107
〈그림 3-13〉 봉평지구의 년도별 해안지형 및 침식현황 변화 ····· 108
〈그림 3-14〉 봉평지구의 년도별 해안지형 및 침식현황 변화(계속) ····· 109
〈그림 3-15〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 해빈폭 ····· 113
〈그림 3-16〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 단면적 ····· 114
〈그림 3-17〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 해빈폭 ····· 115
〈그림 3-18〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 단면적 ····· 116
〈그림 3-19〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 해빈폭 ····· 117
〈그림 3-20〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 단면적 ····· 118
〈그림 3-21〉 소돌해변 연안정비사업 전·완료·후 ····· 124
〈그림 3-22〉 그레이인프라 방식 연안재해 대응 사업의 문제점 ····· 126
〈그림 3-23〉 연안재해 대응정책 거버넌스의 문제점 ····· 129
〈그림 3-24〉 SK 이노베이션의 베트남 맹그로브숲 복원 활동 ····· 143
〈그림 3-25〉 새만금 환경생태용지 중 염습지 복원지구 ····· 145
〈그림 3-26〉 새만금 염생식물 파종 후 생장 모습 ····· 146
〈그림 3-27〉 엘라스토코스트 적용 해안 사례 ····· 147
〈그림 3-28〉 해안가에 투수성 바이오 콘크리트를 설치한 모습 ····· 148
〈그림 3-29〉 파력을 감소하기 위해 굴 망태를 설치한 모습 ····· 149
〈그림 3-30〉 수산자원 조성을 투입되는 인공어초 ····· 150
〈그림 3-31〉 수산자원 조성을 위해 연안에 투입되는 콘크리트 재질의 인공어초 ··· 151

〈그림 3-32〉 굴패각을 활용한 인공어초 시공 사례(미국 플로리다) ····· 152
〈그림 3-33〉 호주의 호안 연성화를 위한 패널 부착 모습 ····· 153
〈그림 3-34〉 미국 인공 맹그로브 패널 시공 사례 ····· 153
〈그림 3-35〉 가리비조개 껍질을 케이슨 중결재로 활용한 사례 ····· 154
〈그림 3-36〉 조개껍질을 이용한 토양 산성 교정자재 ····· 155
〈그림 3-37〉 시공 8년 후 기존 공법과 아루플러스 공법 비교 ····· 156
〈그림 4-1〉 연안 취약성 평가 결과 예시 ····· 162
〈그림 4-2〉 연안 그린인프라 지수 적용 사례 ····· 165
〈그림 4-3〉 연안 재해 지수와 자산 추정 피해 결합 사례(연구방법) ····· 166
〈그림 4-4〉 연안 재해 지수와 자산 추정 피해 결합 사례(연구결과) ····· 167
〈그림 4-5〉 연안 그린인프라 지수 지표별 분류 ····· 169
〈그림 4-6〉 지표별 그린인프라 특성 분석 결과 ····· 180
〈그림 4-7〉 그린인프라 특성 종합 분석 결과 ····· 181
〈그림 4-8〉 지표별 외력 분석 결과 ····· 182
〈그림 4-9〉 외력 종합 분석 결과 ····· 184
〈그림 4-10〉 사회경제 분석 결과 ····· 186
〈그림 4-11〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석 결과 ····· 189
〈그림 4-12〉 인천 지역 분석 결과. (상) 연안 그린인프라 특성, (중) 외력, (하) 사회경제 ····· 191
〈그림 4-13〉 (상) 인천 지역 분석 결과, (하) 전국 단위 분석 ····· 193
〈그림 4-14〉 해안사구의 경제적 가치에 대한 인식조사 질문예시 ····· 198
〈그림 4-15〉 편익 추정방법론 결정과정 ····· 203
〈그림 4-16〉 본 조사에서의 CVM 실증연구 절차 ····· 204
〈그림 5-1〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수와 연안취약성 평가 결합 분석 사례 ·· 221
〈그림 5-2〉 자연·자연기반 자원 평가 및 실행 프레임워크 ····· 228
〈그림 5-3〉 우리나라 토종 염생식물 종류 ····· 246
〈그림 5-4〉 미국 뉴햄프셔주 씨그랜트(Sea Grant) 프로그램 중 시민참여 해안사구 복원 사례 · 254
〈그림 5-5〉 국내 시민참여 사례(경남 통영 선촌마을 해양보호구역 잘피 육성 사업) ·· 255

정책제안

▪ **연안 그린인프라 구축 관련 제도 정비**

- 연안관리법: 연안 그린인프라 정의 추가, 연안정비사업에 그린인프라 사업 확대, 그린인프라 분포지역에 대한 자연해안관리목표 설정 등
- 공유수면법: 연안 그린인프라 분포지역에서 개발을 최소화하기 위해 점용·사용 및 매립 허가기준에 그린인프라 관련 기준 포함
- 갯벌법과 해양생태계법: 갯벌 복원사업 선정기준, 해양보호구역 지정 기준에 그린인프라 관련 요인 포함
- 지침 정비: 연안시설 설계기준 개정을 통해 연안시설 종류에 해안사구, 염습지, 해초지, 굴망태 등 연안 그린인프라 포함

〈표 1〉 연안 그린인프라 법률 정비 방안

법률	조항	개정
연안 관리법	제2조 정의	4의2. '연안 그린인프라'란 연안재해 완충, 탄소흡수 등의 기능이 있는 자연 그대로의 자원·공간 또는 이를 모방하기 위해 복원·조성한 자원·공간을 말함
	제21조 연안정비 기본계획의 수립	④ 연안정비기본계획을 수립할 때는 해안사구, 염습지 등 연안재해 완충기능이 있는 그린인프라를 적극 활용하여야 한다. ⑤ 연안 그린인프라 필요지역 선정, 공법 선택 등 구체적인 사항은 해양수산부장관이 별도로 고시할 수 있다.
	제32조 자연해안	③ 해양수산부장관, 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 효율적인 자연해안의 관리를 위하여 연안정비사업의 일환으로 연안재해

법률	조항	개정
	관리 목표제	완충 등 자연해안의 기능을 증진하거나 복원하는 사업을 실시할 수 있다. • 완충구역 조성 관련 내용 추가 ④ 해양수산부장관은 생태적·경관적으로 보전 가치가 높거나 연안재해를 예방하는 데 필요한 자연해안을 자연해안완충구역으로 지정하여 관리할 수 있다. ⑤ 해양수산부장관은 연안완충구역을 지정하려면 미리 관련 시·도지사 및 시장 · 군수 · 구청장의 의견을 듣고, 관계 중앙행정기관의 장과 협의한 후 중앙연안관리심의회의 심의를 거친다. ⑥ 제1항부터 제4항까지에 따른 자연해안 관리목표 설정, 연안완충구역 지정과 관리, 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.
공유수면법	제12조(점용·사용허가 등의 기준)	• 점용·사용허가 기준에 다음 내용 추가 1. 연안재해를 완충하는 기능이 있는 바닷가 등 공유수면에 대해서는 점용·사용 및 매립을 최소화해야 한다
갯벌법	제2조(정의)	5. '갯벌복원'이란 생물 다양성 증진, 자연재해 완충 등 갯벌의 생태계 서비스를 증진하기 위하여 개발사업 등의 영향으로 훼손된 갯벌등의 물리적 형태와 생태적 기능을 본래 갯벌등의 상태로 회복 · 증진시키는 것을 말한다.
해양생태계법	제25조(해양보호구역의 지정·관리)	6. 해양생태계의 탄소흡수원 기능을 유지·증진하거나 기후변화 적응을 위하여 보전이 필요한 지역

자료 : 저자 작성

▪ 한국형 연안 그린인프라 구축 연구·기술개발

- 조사·연구: 조석, 계절 등을 고려한 장기간의 연안 그린인프라 분포와 상태 조사, 염습지, 해초지, 굴패각 등 연안 그린인프라의 해양 외력 저감 기능 연구, 자연재해 저감 기능이 탁월한 것으로 규명된 갯끈풀의 순기능과 역기능에 대한 연구, 식생지역의 확대 등이 기존 연안 생태계에 미치는 영향 등에 대한 연구가 필요
- 기술개발: 우리나라 여건에 적합한 염생식물과 해초의 식재 기술, 인공해안 연성화를 위한 친환경 재료, 해양 부산물을 이용한 신소재 개발 등 필요

〈표 2〉 연안 그린인프라 구축을 위한 연구·기술개발 내용

구분	개정	세부 내용	추진시기	
			단기	중장기
조사·연구	연안 그린인프라 분포·상태 조사	• 해양 특성 고려, 조석 주기, 계절 주기 등을 고려한 조사(예시: 사리, 여름 및 겨울 각 1회) • 계절성, 경년 변화, 기후 주기 등 반영, 장기간에 걸친 자료 취득 • 분석 방법 표준화를 통한 신뢰성 있는 자료 생산	●	
	연안 식생대 재해 대응 효과 연구	• 염습지, 해초지의 연안 외력 흡수 효과 측정 • 해당 연구를 수행하기 위한 인력 양성	●	
	굴패각 외력 감소 효과 연구	• 다양한 해양환경 조건에서 굴패각 구조물의 외력 저감 효과 • 굴패각 구조물 자체의 내구성 대한 현장 측정 • 굴패각의 생물 다양성 증대 효과 측정 • 빈 굴패각의 잔존 유기물 제거	●	
	위해종 연안 그린인프라 활용을 위한 연구	• 위해종으로 지정된 갯끈풀의 순기능과 역기능에 관한 과학적 조사		●
	식생복원의 생태적 영향 조사	• 식생과 게 성장의 연관성에 관한 과학적 조사	●	
기술개발	염생식물 및 해초 식재 기술개발	• 우리나라 연안의 자연여건, 기상조건, 배후 개발 여건 등 고려, 염생식물과 해초 식재 기술 • 해초 복원사업의 경우 거머리말 외 파력 감쇠효과가 있는 해초류 조사 및 이식 기술개발	●	
	호안 연성화를 위한 친환경 콘크리트 활용	• 생물 콘크리트 인조암 등의 호안, 방파제 등에 활용하기 위한 기술개발		●
	해양 부산물 신소재 개발	• 가리비조개 껍질을 세골재로 이용한 콘크리트 실용화 기술 • 식재 토양 조성 기술		●

자료 : 저자 작성

요 약

연안재해 대응을 위한 그린인프라 구축방안 연구

정지호 · 김찬웅 · 정여진 · 강창우 · 조지성 · 박원경

1. 연구의 목적

- **효과적인 연안재해 대응을 위해 자연기반해법인 연안 그린인프라 (Coastal Greeen Infrastructure) 구축방안 제시**

- 자연재해 대응 목적의 연안 그린인프라 개념 정립
- 우리나라 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 평가
- 연안 그린인프라 구축을 위한 정책과제 제시

2. 연구의 방법 및 특징

1) 연구의 방법

- **포커스 그룹 인터뷰를 통한 문제점 분석**

- 대상: 지방자치단체에서 연안재해 대응사업을 담당하고 있는 공무원(6명)
- 내용: 우리나라 연안재해 대응사업의 대부분을 차지하는 연안정비사업의

한계와 문제점, 향후 연안 그린인프라를 도입할 때 준비해야 할 제도적, 기술적 사항 등

- **연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 평가 지수 개발**

- 선행연구(Conger & Chang(2019)) 등의 분석을 통해 연안 그린인프라 관련 지수 개발 방법과 지수에 포함될 지표 후보군을 선정하였음
- 선행연구에서 제시한 연안 그린인프라 관련 지수 개발 방법을 파랑, 바람 등 우리나라 연안재해 관련 여건을 고려하여 수정하였음
- 국내 전문가(21명) 설문을 통해 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수에 사용할 지표를 확정하였음
- 이 연구에서 개발한 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 전국 단위, 지역 단위(인천광역시)에 적용하였음

- **연안 그린인프라 경제적 가치 평가**

- 평가 방법론: 조건부 가치측정법(Contingent Valuation Method)을 이용하여 일반국민의 해안사구에 대한 지불의사금액(WTP, Willingness To Pay)을 추정
- 대상: 충남 태안군 꽃지해변 해안사구 복원사업(연안정비사업)
- 설문 구성: 지역 내 인구 구성비 및 나이 비율 고려, 무작위 추출된 총 500가구 대상

2) 연구의 특징

- **우리나라에서 최초로 자연재해 대응을 위한 연안 그린인프라 개념을 제안하고 분포 실태를 분석하였음**

- 자연재해 대응, 탄소흡수, 수질 정화 등 다양한 기능이 있는 연안 그린인프라를 우리나라에서도 구축하기 위해 '한국형 연안 그린인프라' 개념 정립

하고, 염습지, 해초지, 해안사구, 모래해변 등 국내 연안 그린인프라 분포 현황을 조사하였음

- **그레이인프라에 편중된 연안재해 대응사업 유형을 그린인프라로 확대하였음**

- 우리나라에서 시행되는 연안정비사업의 99% 이상이 그레이인프라 방식이며 많은 지역에서 그레이인프라의 문제점이 발생되 여전히 그레이인프라방식을 선호하고 있음
- 이 연구에서 우리나라 연안 그린인프라의 자연재해 완충 효과를 밝혔고 전 연안에 활용하기 위해 필요한 정책과제를 도출하였음

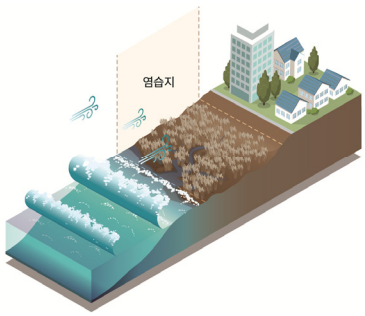
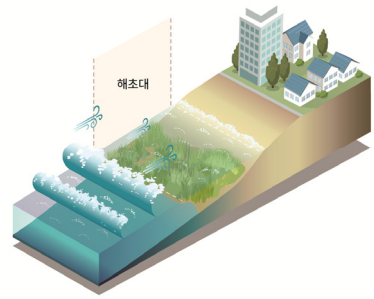
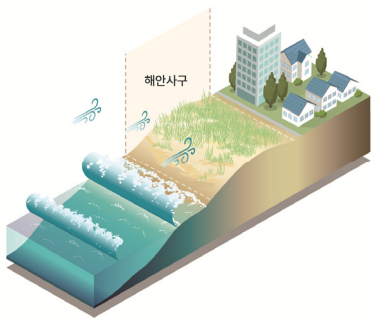
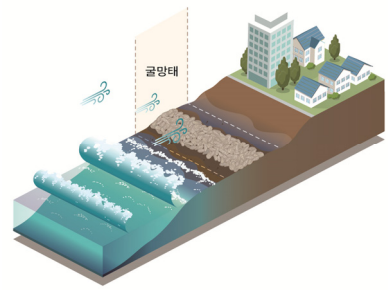
3. 연구 결과

1) 연구 결과 요약

- **우리나라에서 연안재해 대응을 위한 '연안 그린인프라' 개념 정립**

- 연안 그린인프라는 '자연재해 완충에 기여하는 자연 상태 그대로 혹은 자연 프로세스나 재료를 활용한 네트워크 또는 체계'라 할 수 있음
- 연안재해 대응을 위한 연안 연안 그린인프라는 첫째, 일정 폭과 면적이 있어 연안재해 원인이 되는 해일, 파랑, 태풍 등 외력 에너지를 흡수하여 연안재해를 저감하는 특징이 있고, 둘째, 해양 에너지를 흡수·저감하는 과정에서 일부가 훼손되기도 하나 일정 시간이 지나면 자체 프로세스에 따라 자연적으로 회복되는 특성이 있고, 셋째, 주변 지역에서 시행되는 개발 영향에 민감하여 연안 그린인프라를 유지하는 시스템이나 프로세스가 쉽게 훼손될 수 있으며, 마지막으로 연안재해를 효과적으로 저감하면서도 생태계 유지, 탄소흡수, 수산자원 증대, 수질정화, 친수공간 제공과 같은 우리에게 필수적인 서비스도 같이 제공함

〈요약 그림 1〉 연안 그린인프라 유형

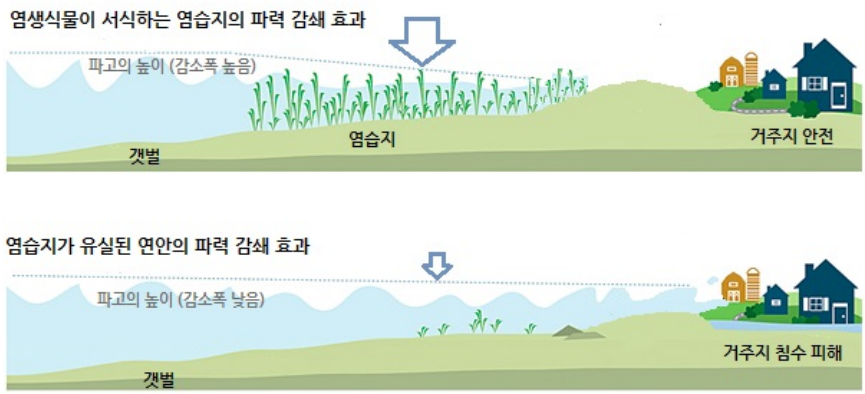
염습지	해초지
	
해안 사구	**굴 망태**
	

자료: 저자 작성

- **연안 그린인프라 자연재해 저감 효과 분석**

- 대체로 연안 그린인프라는 자연재해의 원인인 파도 등 해양 외력을 완충하는 효과가 있는 것으로 나타났음. 예를 들면, 염습지에 분포하는 염생식물의 잎과 줄기는 파고의 72%, 파력의 60%를 감소시키고 해초지는 파고의 약 35-71%를 감소시켜 연안침식 방지 기능이 높음
- 더불어 탄소흡수, 수산자원 생산, 수질 정화, 친수 공간 등의 효과도 탁월한 것으로 나타났음

〈요약 그림 2〉 연안 그린인프라(염습지) 파력 감쇄 효과 모식도



자료: ESRI 보도자료(검색일: 2022.7.1.)

- **그레이인프라 중심의 연안정비사업 문제점 심층 분석**

- 우리나라 연안의 자연환경 시스템, 사회경제적 이용 등을 고려하지 않고 연안정비사업의 99.9%가 호안, 수중방파제 등 그레이인프라에 해당
- 그레이인프라가 설치된 지역의 인접 지역에서 2차 피해(침식 등)가 발생하고 일부 지역에서는 연안재해 저감 효과가 거의 없었음
- 그레이인프라는 유지관리비용이 지속적으로 필요하며 기후변화 등으로 연안재해 강도와 빈도가 증가함에 따라 유지관리비용이 더욱 상승
- 연안재해 대응을 위한 법률과 지침에서 그린인프라 설치에 관한 규정이 미비하여 정책담당자는 관행적으로 그레이인프라 방식을 주로 채택함
- 지방자치단체 담당자가 그린인프라를 활용하려고 해도 지역주민의 반대, 기술적 지원 부족, 장기 사업기간 등으로 어려움 제기

〈요약 표 1〉 그레이인프라 방식 연안정비사업 문제 사례

대상지	사업 추진 현황 및 문제점
충남 태안군 운여해변	• 침식방지를 위해 제1차 연안정비사업으로 그레이인프라 시설 설치 • 사업 이후 세굴, 침식 발생, 설치된 시설물 붕괴
경북 울진군 봉평지구	• 인근 죽변항 건설과 잦은 고파랑 내습 등으로 상습적인 침식 발생 • 1, 2차 연안정비사업을 통해 헤드랜드, 수중방파제 설치 • 설치된 헤드랜드는 파랑을 거의 차폐하는 구조물로서 배후에 과퇴적을 발생시켜 해안에 2차 침식 발생

자료: 저자 작성

▪ **연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발 및 적용**

- 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 다수의 선행연구와 같이 연안 취약성 평가 모델(Coastal Vulnerability Assessment Model)을 변형하여 개발하였고, 지수에 포함되는 지표는 〈요약 표 2〉와 같음

〈요약 표 2〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 구성 지표

구분	분류	구성 지표	가중치	1 효과 낮음	2 3 4 〈-----〉	5 효과 높음
그린인프라 특성	식생	① 식생 면적	1.04	면적 좁음	-	면적 넓음
	지형	② 기복	0.97	기복 낮음	-	기복 큼
	해안의 종류	③ 그린인프라 면적	0.98	면적 좁음	-	면적 넓음
외력	파랑	④ 유의파고	1.10	파고 높음	-	파고 낮음
	태풍	⑤ 태풍내습 횟수	1.06	횟수 많음	-	횟수 적음
	해수면 상승	⑥ 해수면 상승률	0.84	상승률 높음	-	상승률 낮음
사회경제	시가지	⑦ 시가화/건조지역 면적	1	면적 좁음	-	면적 넓음

자료: 저자 작성

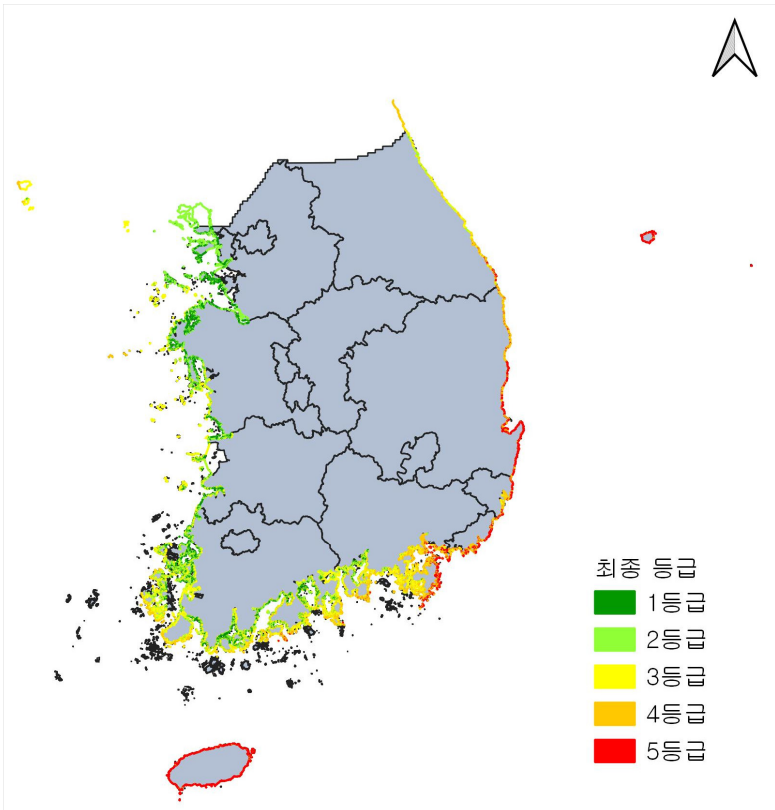
- 지수 분석결과 경기, 충남, 인천, 전북, 전남의 순서대로 평균등급이 높았고 제주, 경북, 부산, 울산 등은 평균등급이 4~5등급 사이로 나타났음. 즉 우리나라 연안 그린인프라 자연재해 완충 잠재력은 서해와 남해 서부 지역에서 높았고 제주, 동해, 남해 동부 지역에서 낮았음
- 경기와 충남은 그린인프라와 외력 모두에서 높은 등급(3등급 이상)이 나타나 그린인프라가 적지만 외력도 낮았음

〈요약 표 3〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석 결과(그리드 수)

구분	1	2	3	4	5	총합계	평균등급
강원도	3	195	482	620	71	1,371	3.41
경기도	477	614	39	-	-	1,130	1.61
경상남도	289	633	2,747	3,106	696	7,471	3.44
경상북도	-	-	36	596	1,115	1,747	4.62
부산광역시	-	6	52	532	481	1,071	4.39
울산광역시	-	4	106	293	156	559	4.08
인천광역시	871	2,426	732	89	-	4,118	2.01
전라남도	2,642	4,040	6,879	2,116	41	15,718	2.55
전라북도	429	578	759	-	-	1,766	2.19
제주도	-	-	2	61	1,491	1,554	4.96
충청남도	1,636	1,500	970	72	-	4,178	1.88
총합계	6,347	9,996	12,804	7,485	4,051	40,683	2.83

자료: 저자 작성

〈요약 그림 3〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석결과



자료: 저자 작성

- **연안 그린인프라 경제성 평가**

- 충남 태안군 꽃지해변 해안사구 복원사업의 연간 총 편익을 계산한 결과 2021년 기준 약 237억 원으로 추정
- 지불기간을 5년으로 설정하고 4.5% 할인율을 적용할 경우 해안사구 복원사업에 대한 5년간 현재가치의 총합은 약 999억 원으로 추정됨
- 꽃지해변 해안사구 복원 목적의 연안정비사업 총사업비가 268억 원이므로 복원사업의 경제적 타당성이 높음을 알 수 있음

〈요약 표 4〉 해안사구 복원사업의 연간 총 편익 계산

중앙값 WTP 추정치 (원/가구/년)	2021년 기준 총 가구 수[1]	연간 총편익(백만 원)
1,108	21,448,000	23,764

주: 1) 국가지표체계(검색일: 2022.9.19.), 통계청 인구총조사 자료를 바탕으로 작성된 2021년 우리나라 총 가구 수
자료: 저자 작성

▪ 연안 그린인프라 구축을 위한 정책과제 제시

- **첫째, 우리나라 연안에서 자연재해 대응을 위해 연안 그린인프라가 필요한 지역을 도출해야 함**
- 이 연구에서 개발한 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 연안 그린인프라 필요지역 도출을 위한 방법이 될 수 있음
- 제도적으로는 「연안관리법」에 따른 연안정비사업을 선정하는 과정에서 지수를 활용하게 되면 그린인프라 필요지역 도출과 함께 그린인프라 보전 혹은 확대의 방향도 제시할 수 있음

〈요약 표 5〉 연안 그린인프라 필요지역 도출 예시(기초 지자체)

연안 그린인프라		정책 방향	대상 기초 지자체
현존량	취약성		
낮음	높음	• 하이브리드 혹은 그레이인프라 활용 • 연안 그린인프라 지역 완충공간 활용	경북 울릉군, 제주도 서귀포
낮음	낮음	• 연안 그린인프라 조성의 최적지 • 복원, 식재 등 활용, 현존량 증가 필요	전남 목포시, 진도군
높음	높음	• 연안 그린인프라 취약성 감소 필요 • 친환경 구조물 활용 및 완충공간 확보	전남 고흥군
높음	낮음	• 연안 그린인프라 관리의 최적지 • 현존량 유지 및 연안 그린인프라 확대	전북 고창군, 충남 아산시

자료: 저자 작성

- **둘째, 연안 그린인프라 확대·보전을 위한 제도 개선이 필요함**
- 연안재해 대응사업의 근거가 되는 「연안관리법」 개정, 연안시설 설계기준 개정, 연안 그린인프라 종합지침 마련 등이 필요하고 갯벌 복원사업 등 생태계 복원사업 선정기준에 연안 그린인프라 요인이 포함되어야 함
- 연안 그린인프라 보전을 위해서는 해양보호구역 등 보호지역 지정기준, 「연안관리법」에 따른 자연해안관리목표 설정, 「공유수면법」에 따른 점용·사용 및 매립 허가기준 등에 연안 그린인프라 요인을 포함해야 함

〈요약 표 6〉 연안 그린인프라 구축을 위한 제도적 수단 개선 방향

구분		내용
확대	연안재해 대응 사업	• 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 통해 연안 그린인프라 구축 • 해안사구 복원 등 일부 연안 그린인프라 관련 사업 추진 • 연안관리법 등 법률 개정 및 지침 제정
	복원사업	• 개별 법률에 따라 갯벌, 해안사구 등 복원사업 추진
보전	보호지역 지정	• 연안 그린인프라 분포지역을 보호지역으로 지정
	자연해안 관리	• 연안관리법에 따른 자연해안관리목표제를 활용하여 관리 • 지자체별 자연해안관리목표에 연안 그린인프라 분포지역 포함
	공유수면 관리	• 공유수면법에 점용·사용 및 매립 허가기준으로 연안 그린인프라 내용 포함

자료: 저자 작성

- **셋째, 한국형 연안 그린인프라 개발이 필요함**
- 한국형 연안 그린인프라를 개발하기 위해서는 우선 연안 그린인프라 관련 조사·평가가 필요함. 연안 그린인프라 분포·상태에 관한 조사, 국내 재해 완충 잠재력 효과 연구, 위해종으로 지정된 갯끈풀 활용 연구 등 필요
- 연안 그린인프라 식재 및 소재 개발이 필요하고 염생식물 및 해초 식재 기술개발, 해양 부산물을 활용한 소재 개발 등도 필요함

〈요약 표 7〉 한국형 연안 그린인프라 구축을 위한 연구·기술개발 수요

구분	개정
조사·연구	• 연안 그린인프라 분포·상태 조사 • 염습지, 해초지 등 우리나라 해안생태계의 재해 대응 효과 연구 • 굴패각 외력 감소 효과에 대한 과학적 연구 및 조사 • 위해종으로 지정된 연안 그린인프라 활용을 위한 과학적 연구 • 식생복원으로 인한 멸종위기종의 생태적 영향 조사
기술개발	• 염생식물(saltmarsh vegetation) 및 해초(seagrass) 식재 기술개발 • 호안 연성화 재료로 국내 친환경 콘크리트 활용 추진 • 해양 부산물을 활용한 신소재 개발

자료: 저자 작성

- **넷째, 연안 그린인프라 구축을 위한 지역 역량 강화 기반과 협력 거버넌스를 구축해야 함**
- 연안 그린인프라 구축의 주체인 지방자치단체, 지역주민 등 지역의 역량을 높이기 위해 다양한 방식의 기술적 지원과 교육이 필요함
- 연안 그린인프라 확산을 위해서는 정부만이 아니라 지역주민, 기업 등 민간이 주도하는 방식의 사업도 적극 유도할 필요가 있음
- 지역 역량을 강화하는 방법의 하나로 지역주민이 주도하는 시민참여형 연안 그린인프라 조성사업을 시범적으로 추진할 필요가 있음

〈요약 표 8〉 정책과제별 추진 로드맵

추진과제	추진시기					추진주체
	2023	2024	2025	2026	2027	
1. 연안 그린인프라 필요지역 도출						
1-1) 연안 그린인프라 필요지역 도출 방법론 개발						
• 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개선						해수부
1-2) 연안 그린인프라 필요지역 도출 방법론 적용						
• 방법론 활용 제도적 근거 마련						해수부
• 연안정비사업 선정·시행 활용						해수부 지자체
2. 연안 그린인프라 확대·보전을 위한 제도 개선						
2-1) 관련 법령 개정						
• 연안관리법 등 관련법 개정						해수부
2-2) 관련 지침 개정·제정						
• 연안시설 설계기준 개정						해수부
• 연안 그린인프라 종합지침 제정						해수부
3. 한국형 연안 그린인프라 개발						
3-1) 연안 그린인프라 조사·평가						
• 연안 그린인프라 분포·상태 조사						KIMST
• 연안 그린인프라 재해완충 효과 평가						KIMST
3-2) 연안 그린인프라 식재 기술 및 소재 개발						
• 염생식물 등 식재 기술개발						KIMST
• 해양부산물 활용 소재 개발						KIMST
4. 지역 역량강화 및 협력 거버넌스 구축						
4-1) 지역 역량 강화						
• 지자체·지역주민 대상 지원·교육 프로그램 개발·운영						해수부 지자체
• 과학·기술 지원 프로그램 개발·운영						해수부
4-2) 협력 거버넌스 구축						
• 민간부문 참여 제도적 근거 마련						해수부
• 지역주민 주도 시범사업 추진						해수부 지자체

자료: 저자 작성

2) 정책적 기여 등 기대효과

▪ **연안재해 대응에 그린인프라 활용을 확대하여 우리나라 연안을 효과적으로 보호**

- 연안 그린인프라는 그레이인프라에 편중된 연안재해 대응 문제를 해결하는 데 기여할 수 있어 우리나라 연안의 안전성을 증진함

▪ **연안 그린인프라는 비용효과적이며, 탄소흡수 등 동반효과도 탁월**

- 연안 그린인프라는 그레이인프라에 비해 설치·유지비용이 낮아 정부의 재정적 지출이 적으며 탄소흡수, 수산물 생산, 수질 정화, 친수 공간 등의 기능도 함께 제공

▪ **연안 그린인프라 구축을 위한 법률 등 제도적 개선방안 제시**

- 「연안관리법」, 「갯벌법」, 「해양생태계법」, 「공유수면법」 등 법률, 연안시설 설계기준 등 지침 개선방안을 제시하여 해양수산부 등 정부에서 쉽게 제도 개선이 가능하도록 하였음

▪ **우리나라에서 연안 그린인프라가 필요한 지역을 도출할 수 있는 방법론을 개발**

- 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 추진할 때 그린인프라가 필요한 지역을 도출할 수 있는 방법론은 '연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수'를 개발하였음

EXECUTIVE SUMMARY

A Study on How to Build Green Infrastructure to Mitigate Coastal Disasters

Ji-Ho Jung · Chan-Woong Kim · Yea-Jin Jung · Chang-Woo Kang · Ji-Sung Jo · Won-Kyung Park

1. Purpose

- The purpose of this study is to present measures for the construction of coastal green infrastructure, a nature-based solution, to effectively mitigate coastal disasters.
  - To establish the concept of coastal green infrastructure aiming to mitigate natural disasters
  - To evaluate Korea's coastal green infrastructure potential to mitigate coastal disasters
  - To suggest policy tasks for the construction of coastal green infrastructure

2. Methodology and Features

1) Methodology

▪ A focus group interview, a qualitative research method

- Target: Government employees (6 people) in charge of coastal disaster response projects at local governments
- Content: Limitations and problems of coastal improvement projects, which account for most of Korea's coastal disaster response projects, institutional and technological considerations in introducing coastal green infrastructure in the future

▪ Development of the Disaster Buffering Potential Index of coastal green infrastructure

- Based on the analysis of preceding studies (including Conger & Chang(2019) etc.), this study selected methods of developing a coastal green infrastructure-related index as well as a potential candidate group of indicators.
- The development methods of the coastal green infrastructure-related index suggested by preceding studies were modified by considering the conditions of Korean coastal disasters such as the characteristics of waves and wind etc.
- A survey targeting domestic experts (21 people) produced indicators to be used in the disaster buffering potential index of coastal green infrastructure.
- The disaster buffering potential Index developed by this study was applied at the national as well as the regional level (Incheon).

▪ Economic valuation of coastal green infrastructure

- Evaluation methodology: Estimate the Willingness to Pay (WTP) for coastal dunes by the general public utilizing a contingent

valuation method

- Target: Coastal Dune Restoration Project at Kkotji Beach, Taean-gun, Chungcheongnam-do (coastal improvement project)
- Composition of survey respondents: Randomly selected 500 households considering demographic composition and age ratio within a region

2) Features

- **This study is the first in Korea that presents the concept of coastal green infrastructure in response to natural disasters and analyzes the distribution status.**
  - This study established the concept of 'coastal green infrastructure' that possesses a variety of functions such as natural disaster response, carbon absorption, water purification etc., to actively utilize in South Korea. The distribution status of domestic coastal green infrastructure was analyzed including salt marshes, seagrass beds, coastal dunes, and sand beaches.
- **Coastal disaster response projects which have thus far concentrated on gray infrastructure are broadened to green infrastructure.**
  - More than 99% of coastal improvement projects currently underway are gray infrastructure methods. Despite continuing problems of gray infrastructure, the gray infrastructure approach has been used for a long time.
  - This study verified Korea's coastal green infrastructure's effects

on mitigating natural disasters, while drawing policy tasks necessary to be utilized on all coasts.

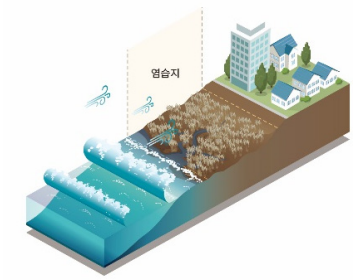
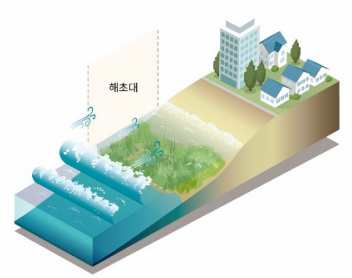
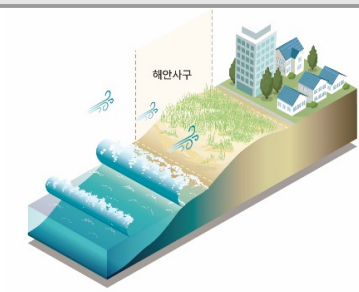
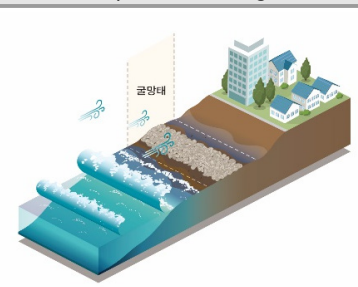
3. Result

1) Summary

- Establishing the concept of 'coastal green infrastructure' in response to coastal disasters in Korea

- Coastal green infrastructure refers to "a network or a system that utilizes an intact natural status or natural process or materials that contribute to the buffering of natural disasters".
- Major features of coastal green infrastructure for reducing natural disasters are as follows. First, with a certain breadth and size secured, it can reduce coastal disasters by absorbing external energy that can cause coastal disasters such as tsunamis, waves, and typhoons. Second, despite partial damage received in the process of absorbing and reducing ocean energy, coastal green infrastructure can recover through its own process after a certain period of time. Third, systems and processes that maintain coastal green infrastructure can be easily damaged due to their sensitivity to the effects of development in surrounding areas. While effectively reducing coastal disasters, it can provide essential services such as the maintenance of ecosystems, carbon absorption, an increase of fishery resources, water purification, and provision of water-friendly spaces.

〈Summary picture 1〉 Types of coastal green infrastructure

Salt marsh	Seagrass bed
	
Coastal dune	**Oyster shell bags**
	

- Analyzing coastal green infrastructure's effects on mitigating natural disasters

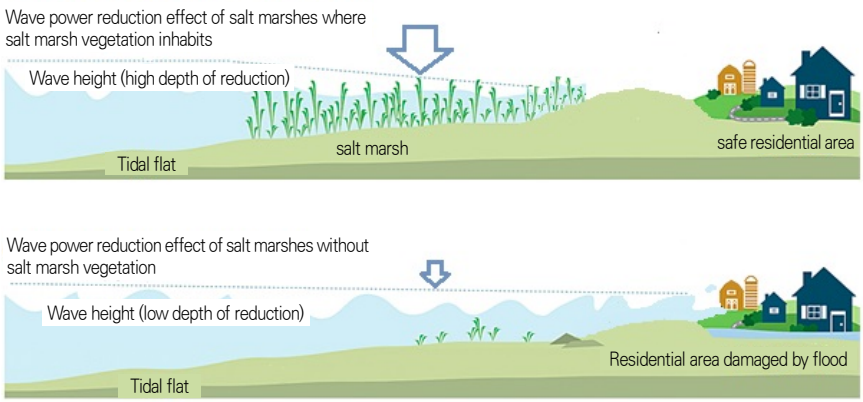
- By analyzing domestic and foreign literature, this study summarized the effects of natural disaster reduction by green infrastructures such as salt marshes, seagrass beds, and coastal dunes.

- Coastal green infrastructure is found to possess an ability to reduce ocean external power that can cause natural disasters such as waves. For instance, leaves and stems of saltmarsh vegetation distributed in salt marshes are found to be good at preventing coastal erosion by reducing wave height by 72% and

wave power by 60%. With the reduction of wave height by approximately 35~71%, seagrass beds are able to prevent coastal erosion by capturing sediments deposited on the leaves and roots of seagrass.

- Moreover, it possesses outstanding effects in terms of carbon absorption, production of fishery resources, water purification, and water-friendly spaces.

〈Summary picture 2〉 Diagram of the wave power reduction effect of coastal green infrastructure (salt marshes)



Source: Prepared by the authors based on ESRI press release (search date: Jul 1st of 2022)

- In-depth analysis of problems of gray infrastructure-centered coastal improvement projects

- Having failed to consider natural environmental systems and socioeconomic use of Korean coasts, 99.9% of coastal improvement projects fall under gray infrastructures such as revetments and submerged breakwaters.

- Secondary damages (erosion etc.) occur in neighboring areas of the gray infrastructure installed areas, while many areas have not experienced any reduction effects of coastal disasters.
- Gray infrastructure continuously requires maintenance costs which are expected to further rise due to the increasing intensity and frequency of coastal disasters resulting from climate change.
- Since laws and regulations related to coastal disaster response as well as regulations relevant to the establishment of green infrastructure are insufficient, those responsible for relevant policies have made a customary decision to opt for gray infrastructure. Even if the people in charge of local governments try to utilize green infrastructure, challenges are abundant including opposition from local residents, the shortage of technological support, and the typically long period of projects.

〈Summary table 1〉 Cases of problems in gray infrastructure-based coastal improvement projects

Target area	Present status and problems of project implementation
Unyeo Beach in Taean gun, Chungnam	• The 1st Coastal Improvement Project installed gray infrastructure facilities to prevent coastal erosion. • After the project, scour and erosion occurred while installed facilities were collapsed.
Bongpyeong Beach in Uljin, Gyeongbuk	• The construction of nearby Jukbyeon Port and frequent invasion of high waves result in frequent and recurrent erosions • Headlands and submerged breakwaters were constructed through the 1st and 2nd Coastal Improvement Projects • Installed headlands, which aim to almost completely shield waves, results in oversedimentation at the hinterlands causing the secondary erosion in coasts.

Source: Prepared by the authors

▪ Developing and applying the Disaster Buffering Potential Index of coastal green infrastructure

- Just like preceding studies, the disaster buffering potential index of coastal green infrastructure was developed by modifying a coastal vulnerability assessment model and indicators that consist of the index are shown in the table below.

〈Summary table 2〉 Composition indicators of the disaster buffering potential index of coastal green infrastructure

Classification	Category	Composition indicators	Weight	1 Low impact	2 3 4 〈-----〉	5 High impact
Features of green infrastructure	Vegetation	① Size of vegetation	1.04	Small size	-	Large size
	Topography	② undulation	0.97	Low undulation	-	High undulation
	Type of coasts	③ Size of green infrastructure	0.98	Small size	-	Large size
External power	Wave	④ Significant wave height	1.10	High wave height	-	Low wave height
	Typhoon	⑤ Number of typhoon invasions	1.06	High number of times	-	Low number of times
	Rise of sea level	⑥ Rate of sea level rise	0.84	High rate of rise	-	Low rate of rise
Socioeconomic features	Urban areas	⑦ Size of urbanization/urban development areas	1	Small size	-	Large size

Source: Prepared by the authors

- According to the results of the index analysis, the average grade was the highest in the following order: of Gyeonggi, Chungnam, Jeonbuk, and Jeonnam, while Jeju, Gyeongbuk, Busan, and Ulsan represented 4~5 grades on average. In other words, the buffering

potential of natural disasters by Korea's coastal green infrastructure was high in the West Sea and the western part of the South Sea, while being low in Jeju, the East Sea, and the eastern part of the South Sea.

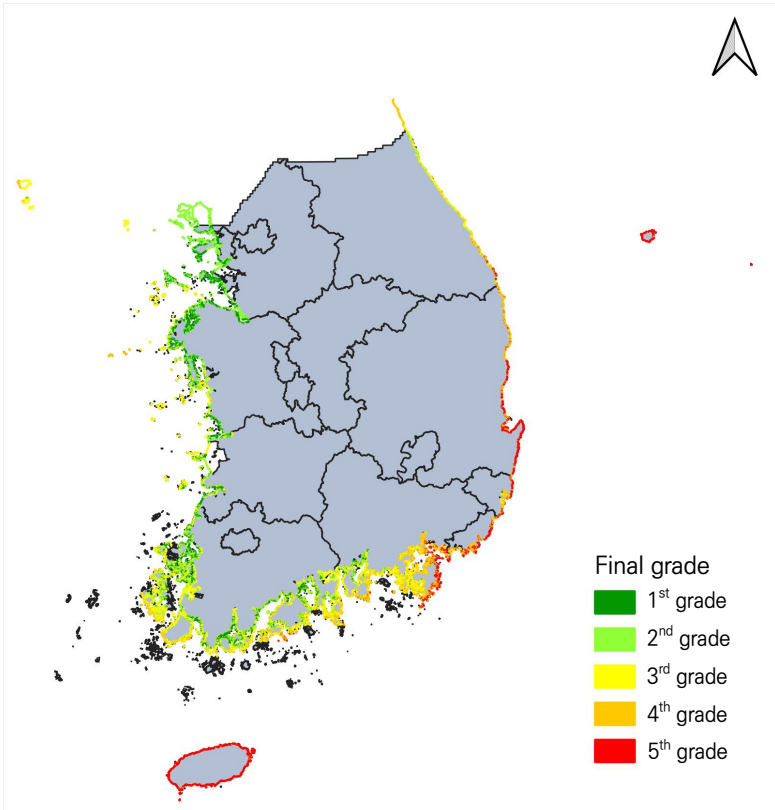
- Having a high grade (higher than 3 grades) in both categories of green infrastructure and external power, Gyeonggi and Chungnam were analyzed to have many green infrastructures and low external power. Incheon, Jeonnam, Jeonbuk, and Gangwon have a low grade in green infrastructure and a high grade in external power, resulting in low green infrastructure and low external power.

〈Summary table 3〉 Analysis result of disaster buffering potential index of coastal green infrastructure (No. of the grid)

Classification	1	2	3	4	5	Total sum	Average grade
Gangwon	3	195	482	620	71	1,371	3.41
Gyeonggi	477	614	39	-	-	1,130	1.61
Gyeongnam	289	633	2,747	3,106	696	7,471	3.44
Gyeongbuk	-	-	36	596	1,115	1,747	4.62
Busan metropolitan city	-	6	52	532	481	1,071	4.39
Ulsan metropolitan city	-	4	106	293	156	559	4.08
Incheon metropolitan city	871	2,426	732	89	-	4,118	2.01
Jeonnam	2,642	4,040	6,879	2,116	41	15,718	2.55
Jeonbuk	429	578	759	-	-	1,766	2.19
Jeju	-	-	2	61	1,491	1,554	4.96
Chungnam	1,636	1,500	970	72	-	4,178	1.88
Total sum	6,347	9,996	12,804	7,485	4,051	40,683	2.83

Source: Prepared by the authors

〈Summary pic 3〉 Analysis result of disaster buffering potential index of coastal green infrastructure



Source: Prepared by the authors

- Evaluating the economic feasibility of coastal green infrastructure

- This study calculated the total annual benefits generated by the coastal dune restoration project at Kkitji Beach in Taean-gun, Chungnam province, and the annual benefits as of 2021 were estimated to be 23.7 billion KRW.

- By applying a 4.5% discount rate with 5 years of the payment

period, the sum of present values for the coastal dune restoration project is estimated to be approximately 99.9 billion KRW.

- The total project cost for restoring the coastal dunes at Kkotji Beach was 26.8 billion KRW, which presents a high economic feasibility of the restoration project.

〈Summary table 4〉 Calculation of the annual total benefits of the coastal dune restoration project

The median value of WTP estimate (WRW/household/year)	The number of total households as of 2021[1)]	Total annual benefits (million KRW)
1,108	21,448,000	23,764

Source: Prepared by the authors

▪ Suggesting policy tasks for the construction of coastal green infrastructure

- First, it is necessary to select regions that require coastal green infrastructure to mitigate natural disasters on Korean coasts. The disaster buffering potential index of coastal green infrastructure developed by this study can be a method for selecting areas in need of coastal green infrastructure.
- From an institutional perspective, when the Index is utilized in the process of selecting coastal improvement projects by the Coast Management Act, it can both deduce regions in need of green infrastructure as well as suggest a direction for the preservation or expansion of green infrastructure.

1) Footnote 1 : https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4229(Search date:2022.9.19.), The total number of Korea's households as of 2021 based on the Population and Housing Census surveys by Korea Statistics

〈Summary table 5〉 Example of selecting areas in need of coastal green infrastructure (basic local governments)

Coastal green infrastructure		Policy direction	Targeting local governments
Current stock	Vulnerability		
Low	High	Utilize hybrid or gray infrastructure, Utilize buffering zones of coastal green infrastructure area	Ulleung gun Gyeongbuk, Seogwipo-si, Jeju Island
Low	Low	The most optimal place for constructing coastal green infrastructure, Utilize restoration and planting Need to boost current stock	Mokpo-si, Jindo-gun Jeonnam
High	High	Need to decrease the vulnerability of coastal green infrastructure Utilize eco-friendly structures and secure buffering areas	Goheung-gun Jeonnam
High	Low	The most optimal place for managing coastal green infrastructure Maintain the current stock and expand coastal green infrastructure	Gochang gun Jeonbuk, Asan-si Chungnam

Source: Prepared by the authors

- **Second, institutional improvement is required to conserve and expand green infrastructure.**
- The Coast Management Act which is the basis for coastal disaster response projects as well as the design standards of coastal facilities should be revised while a comprehensive guideline for coastal green infrastructure should be formulated. Also, the criteria for selecting ecosystem restoration projects such as tidal flat restoration projects should include the factor of coastal green infrastructure.

- To conserve coastal green infrastructure, the factor of coastal green infrastructure should be included in the following areas; the standards for designating protected areas such as marine protected areas, the establishment of natural coast management objectives by the Coast Management Act; and the occupancy, use of public waters and reclamation permission standards in pursuit of the Public Waters Management and Reclamation Act.

〈Summary table 6〉 Direction for improving the institutional means for the construction of coastal green infrastructure

Classification		Content
Expansion	Coastal disaster response projects	• Construct coastal green infrastructure through coastal disaster response projects such as coastal improvement projects • Implement projects partially related to coastal green infrastructure such as the restoration of coastal dunes etc. • Revise relevant laws such as the Coast Management Act and establish guidelines
	Restoration projects	• Push forward with restoration projects for tidal flats and coastal dunes in accordance with by individual laws
Preservation	Designation of protected areas	• Designate green infrastructure distributed areas as protected areas
	Management of natural coasts	• Manage green infrastructure based on the Natural Coast Management Objectives by in accordance with the Coast Management Act • Include coastal green infrastructure areas in the Natural Coast Management Objectives set up by local governments
	Management of public waters	• Include coastal green infrastructure-related content to the occupancy and use o public waters and reclamation permission standards within the Public Waters Management and Reclamation Act

Source: Prepared by the authors

- **Third, coastal green infrastructure customized to Korean coasts should be developed.**

- The development of Korean coastal green infrastructure requires a survey and assessment relevant to coastal green infrastructure. More specifically, it is necessary to conduct a survey on the distribution and status of coastal green infrastructure, research on the effect of disaster buffering potential in Korea, and a study on the utilization of Spartina, which is designated as disturbing species.
- In addition, it is necessary to conduct green infrastructure planting and develop relevant materials; and come up with salt marsh vegetation and seagrass cultivation technology and develop materials based on marine by-products.

〈Summary table 7〉 R&D demand for the construction of Korean coastal green infrastructure

Category	Revision
Research and survey	• A survey on the distribution and status of coastal green infrastructure • Study on disaster response effects of Korea's marine ecosystems such as salt marshes and seagrass beds etc. • Scientific research and surveys on the effect of reducing external power by oyster shells • Scientific research on the use of species designated as disturbing ones for use in coastal green infrastructure • Ecological impact analysis on endangered species resulting from the restoration of vegetation
Technological development	• Development of planting technology for salt marsh vegetation and seagrasses • Utilization of domestic eco-friendly concrete as a material for revetment ductility • Development of a new material with marine by-products

Source: Prepared by the authors

- **Fourth, it is necessary to build the foundation for strengthening regional capacity for the construction of coastal green infrastructure as well as cooperative governance.**
- Technological support and education is required to boost the capacity of local governments and residents, which are principal agents of constructing coastal green infrastructure. In addition, it is necessary to actively induce not only government-driven projects but also private-led projects such as local residents and companies to spread coastal green infrastructure.
- As a method for strengthening the regional capacity, a citizen participatory pilot project for developing coastal green infrastructure led by local residents should be implemented.

〈Summary table 8〉 Implementation roadmap by policy task

Implementation task	Implementation time					Principal agent
	2023	2024	2025	2026	2027	
1. Select areas that need coastal green infrastructure						
1-1) Develop a methodology for selecting areas in need of coastal green infrastructure						
• Improve the disaster buffering potential index of green infrastructure						MOF
1-2) Apply a methodology for deducing areas in need of coastal green infrastructure						
• Prepare an institutional ground for utilizing the methodology						MOF
• Select, implement and apply coastal improvement projects						MOF, Local government
2. Make institutional improvements for the expansion and preservation of coastal green infrastructure						
2-1) Amend relevant laws						
• Amend relevant laws including the Coast Management Act						MOF
2-2) Amend and establish relevant guidelines						
• Revise the design standards of coastal facilities						MOF

Implementation task	Implementation time					Principal agent
	2023	2024	2025	2026	2027	
• Establish a comprehensive guidelines for of coastal green infrastructure						MOF
3. Develop Korean coastal green infrastructure						
3-1) Conduct a survey and assess coastal green infrastructure						
• Investigate the distribution and status of coastal green infrastructure						KIMST
• Assess the disaster-buffering effect of coastal green infrastructure						KIMST
3-2) Develop planting technology and materials for coastal green infrastructure						
• Develop planting technology such as salt march vegetation						KIMST
• Develop marine by-product-based materials						KIMST
4. Strengthen regional capacity and build cooperative governance						
4-1) Strengthen regional capacity						
• Develop and operate support and educational programs for local governments and local residents						MOF, Local government
• Develop and operate science and technological support programs						MOF
4-2) Establish cooperative governance						
• Prepare an institutional ground for the participation by private sector						MOF
• Implement a pilot project led by local residents						MOF, Local government

Source: Prepared by the authors

2) Expected benefits including policy contributions

▪ Korean coasts can be effectively protected by expanding the use of green infrastructure in response to coastal disasters.

- Coastal green infrastructure contributes to addressing coastal disaster response problems which have been concentrated on gray infrastructure, improving the safety of Korean coasts.

- **Coastal green infrastructure is cost-effective with excellent accompanying effects such as carbon absorption**

  - Coastal green infrastructure incurs lower costs in installation and maintenance compared to gray infrastructure, resulting in less fiscal expenditure by the government while providing a variety of functions including carbon absorption, seafood production, water purification, and water-friendly spaces.

- **Measures for institutional improvement were suggested for the construction of coastal green infrastructure.**

  - This study presents improvement measures on relevant laws including the Coast Management Act, the Act on the Sustainable Management and Restoration of Tidal Flats (Gaetbeol) and Adjacent Areas Thereof, the Conservation and Management of Marine Ecosystems Act, and the Public Waters Management and Reclamation Act as well as guidelines including the design standards of coastal facilities, allowing the government such as the Ministry of Oceans and Fisheries to easily make institutional improvements.

- **This study developed a methodology for selecting areas that need coastal green infrastructure in Korea**

  - The ‘disaster buffering potential index’ of coastal green infrastructure was developed as a methodology for selecting areas that need green infrastructure when coastal disaster response projects are implemented such as coastal improvement projects.

01
서론

제1절 연구 배경 및 필요성

우리나라 연안에서 자연재해가 지속되고 있는데, 이는 기후변화로 인해 더욱 증가할 것으로 예상된다. 최근 7년간(2012~2018년) 연안지역의 자연재해 규모는 1조 1,751억 원으로 전국의 56.2%에 해당한다.[2] 2021년을 제외하면 침식이 우려되거나 심각한 지역의 비율이 2015년 이후 55%를 넘었다.[3] 또한 우리나라 해수면은 지난 30년간(1991~2020년) 3.03mm씩 상승하였다.[4]

내륙보다 자연재해 위험이 더 큰 연안을 보호하기 위해 다양한 사업이 추진되고 있으며, 「연안관리법」에 따른 연안정비사업이 가장 큰 비중을 차지한다. 우리나라에서 추진되는 연안정비사업은 대부분 인공구조물을 설치하는 그레이인프라(Gray Infrastructure) 방식으로 추진되고 있다. 지금까지 추진된 연안정비사업은 총 443개 지구(약 203㎞)이며 호안, 이안제, 돌제 등 그레이 방식이 99.9%에 해당하는데 호안의 비중이 전체 사업의

2) 해양수산부(2020e), p. 331.
3) 해양수산부(2021b), p. 332.
4) 국립해양조사원 보도자료(2021.12.20.)(검색일: 2022.4.8.)

92.3%로 대부분을 차지한다.[5)]

〈표 1-1〉 연안재해 현황

구분	세부 내용
자연재해 규모	• 2012~2018년, 1조 1,751억 원, 전국 피해액의 56.2%
연안침식 (우심율)	• 2015년 59.6%, 2016년 58.0%, 2017년 56.2%, 2018년 59.6%, 2019년 61.2%, 2020년 62.4%, 2021년 43.1%
해수면 변동	• 과거: 지난 30년간(1991~2020년) 3.03mm/년 • 최근 10년(2011~2020년): 4.27mm/년 상승

자료: 해양수산부(2020e), p. 331; 해양수산부(2021b), p. 332; 국립해양조사원 보도자료 (2021.12.20.)(검색일: 2022.4.8.)

그레이인프라 방식의 연안재해 대응사업은 많은 지역에서 사업 효과가 있었으나 다양한 문제도 발생하였다. 예를 들면, 재해저감 효과 미흡, 인접 지역 2차 피해 유발, 유지·관리비용 지속, 탄소흡수 등 다양한 편익을 제공하는 자연공간 훼손 등의 문제가 발생하였다. 우리나라에서 그레이인프라 중심의 연안재해 대응사업 문제가 지속되는 데는 정부 담당자가 그레이인프라에 과도하게 의존하는 정책·거버넌스 측면의 이유도 있다. 예를 들면, 그레이인프라에 편중된 제도와 사업 선정, 중앙 및 지방정부 담당자의 그레이인프라에 대한 신뢰와 선호, 그레이인프라와 다른 방식의 사업(그린인프라) 효과에 대한 인식 부족, 그린인프라(Green Infrastructure) 관련 기술 미확보, 지역주민의 수용성 미흡 등의 문제[6)]가 있다.

그레이인프라 중심의 연안재해 대응 문제점은 자연기반해법(NbS)[7)]인 연안 그린인프라를 활용할 경우 어느 정도 해결이 가능하고 다양한 동반

5) 해양수산부(2020c), pp. 2-23-24.
6) 그레이인프라 중심의 연안재해 대응사업이 추진되는 정책 거버넌스 차원의 상세한 문제점은 제3장에서 담당자를 대상으로 실시한 포커스 그룹 인터뷰 등을 통해 구체적으로 제시함
7) 자연기반해법(Nature-based Solutions)은 자연생태계(변형된 생태계 포함) 기능을 활용하고, 다양한 사회문제(기후변화, 재해저감, 식량안보, 생물다양성 등)를 해결하며 다양한 편익을 얻는 것을 말함 (Cohen-Shacham et al,(2016), p. 5.)

효과도 얻을 수 있다. 연안 그린인프라는 습지, 사구 등과 같은 자연공간 뿐만 아니라 자연 프로세스·재료를 활용하는 것과 그린인프라와 그레이인프라를 결합한 하이브리드(Hybrid) 시스템까지 포함하는 개념으로 연안재해 대응 효과가 높다. 예를 들면, 식생이 있는 염습지, 해초지, 해안사구 등은 연안재해를 발생하는 외력을 크게 저감하는 효과가 있는 것으로 입증되었다,[8] 연안 그린인프라는 침식, 침수 등과 같은 연안재해 대응 효과도 있지만 탄소흡수, 생물 서식지, 친수공간 제공 등의 동반 효과도 있다.

하지만 연안재해 대응 효과가 있는 그린인프라는 간척사업, 공유수면 매립, 연안개발 등으로 크게 훼손되었다. 대표적으로 갯벌은 1987년 3,203㎢였으나 2018년에는 2,482㎢로 총 721㎢ 감소하였다.[9] 점차 사라지는 연안 그린인프라를 보전할 수 있는 제도로 「연안관리법」에 따른 자연해안관리목표제, 「해양생태계법」, 「갯벌법」 등에 따른 보호구역 지정 등이 있다. 그러나 우리나라에서는 자연재해 저감을 위한 그린인프라에 대한 인식 수준이 낮아 자연해안관리목표제, 보호구역 등의 제도로 연안 그린인프라를 보전하려는 정책 차원의 시도가 거의 이루어지지 않고 있다.

다만 최근 우리나라에서 수립된 다양한 국가 정책·계획·사업에서 연안 그린인프라와 관련된 사업이 포함된 것은 다행이라고 할 수 있다. 우리나라 탄소중립전략, 한국판 뉴딜정책, 제2차 국가기후변화기본계획, 제3차 연안정비기본계획, 제5차 해양환경 종합계획 등에서 연안 그린인프라와 관련된 사업이 포함되었다. 대표적으로 제2차 국가 기후변화 기본계획에서 연안 완충기능이 있는 해안사구, 갯벌 등의 복원이 포함되었고 제3차 연안정비 기본계획에 해안사구 복원사업이 포함되었다.

미국, 유럽 등 주요국은 이미 연안 그린인프라의 보전·복원·조성 등을

8) 연안 그린인프라의 해양 외력 저감 효과는 제2장 제1절에서 상세하게 다루었음
9) 해양수산부(2021c), p. 15.

위해 다양한 사업을 추진하고 있다. 미국에서는 그레이인프라를 그린인프라로 대체하는 사업인 숨쉬는 해안선(Living Shoreline) 사업을 적극적으로 추진하고 있다. 호안, 방파제 등과 같은 그레이인프라 방식의 연안재해 대응시설이 설치된 지역을 식생, 모래 등과 같은 자연자원을 활용한 그린인프라 방식으로 교체하고 있다. 그린인프라는 그레이인프라에 비해 설치·관리 비용이 저렴하여 비용 효과적인 측면에서도 유리한 것으로 평가된다.

자연재해 위험에 취약한 우리나라 연안을 효과적으로 보호하기 위해서는 그레이인프라 중심의 연안재해 대응방식의 문제와 한계를 개선해야 한다. 연안 그린인프라는 그레이인프라의 한계를 보완하면서 우리나라 연안을 더욱 안전하게 만들기 위한 유용한 수단이다. 국제적으로 연안 그린인프라의 자연재해 완충기능에 대한 연구가 활발하고, 미국 등 개별 국가에서 그린인프라를 적극 활용하고 있는 여건을 고려할 때 우리나라에서도 연안재해 대응수단으로서 그린인프라 활용이 필요하다고 할 수 있다. 우리나라 정부도 각종 국가계획에 연안 그린인프라 관련 내용을 포함하기 시작했기 때문에 연안 그린인프라 구축에 관한 구체적인 연구가 시급하다.

제2절 연구 목적

이 연구는 효과적인 연안재해 대응을 위해 자연기반해법(NbS)에 기반한 연안 그린인프라(Coastal Green Infrastructure, CGI) 구축방안을 제시하는 것이 목적이다. 이 연구에서 제시한 연안그린인프라 구축방안은 우리나라에서 추진하는 연안재해 대응사업인 연안정비사업 추진과 관련 제도 개선에 활용될 것으로 예상된다. 이 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 연안재해 대응 목적의 그린인프라 개념을 정립하고 우리나라 그린인프라 분포 현황을 분석하는 것이다. 연안 그린인프라의 개념과 분포에 관한 분석은 우리나라에 넓게 분포하는 그린인프라를 연안재해 대응 수단으로 인식하는 데 기여할 것으로 생각된다.

둘째, 우리나라 연안에 분포하는 그린인프라의 자연재해 완충 잠재력을 평가하는 것이다. 연안 그린인프라의 자연재해 완충 잠재력 평가는 연안재해 대응사업에 관한 의사결정을 하는 주체가 어떤 지역에 그린인프라를 구축할 것인지 판단하는 데 유용한 과학적 방법이 될 수 있다.

셋째, 우리나라에 연안 그린인프라를 구축하기 위한 정책방안을 제시하는 것이다. 그레이인프라 중심의 연안재해 대응사업의 문제점을 개선하기 위해 연안 그린인프라 확대·보전을 위한 제도 개선, 한국형 연안 그린인프라 개발, 지역 역량 강화 및 거버넌스 구축 등에 관한 사항을 제시하였다.

연구 목적
▪ **효과적인 연안재해 대응을 위해 자연기반해법인 연안 그린인프라 구축방안 제시**
- 자연재해 대응 목적의 연안 그린인프라 개념 정립
- 우리나라 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 평가
- 연안 그린인프라 구축을 위한 정책과제 제시

제3절 선행연구 검토

1. 선행연구 분석

1) 연안 그린인프라의 개념 및 유형

연안 그린인프라의 개념은 그린인프라의 개념에서 출발한다. Benedict & McMahon(2002)은 그린인프라를 "자연생태계 가치와 기능을 보전하고 자연생태계 혜택을 인간에게 제공하는 녹지공간의 상호 연결된 네트워크"로 정의하였다.[10] UNEP(2014)는 그린인프라가 그레이인프라로 공급되던 수자원 서비스를 대체하거나 보완하기 위한 자연적 또는 유사 자연 생태계라고 말하고 있다. 그린인프라 중 연안에 분포하는 그린인프라에 대해서 Conger and Chang(2019)은 역동적인 해안지형, 식생 및 암초와 같은 자연공간 또는 이를 모방한 자연기반시스템을 정의하여 주로 자연적 공간과 시스템에 초점을 맞췄다면, Chávez et al.(2021)은 다차원적 프로세스, 질량과 에너지 흐름의 자연적 연결성 회복과 유지, 지역주민의 환경 관리까지 연안 그린인프라 개념에 포함하였다. 미국 NOAA는 그린인프라를 자연인프라(Natural Infrastructure)라는 용어와 함께 사용하고, 자연 상태의 공간 또는 자연 프로세스를 모방한 수단으로 침식, 침수 등을 최소화하는 것이라고 연안 그린인프라의 개념을 정의하고 있다. 연안 그린인프라의 유형에 대해 미 육군공병대 연구개발센터(ERDC)[11]는 산호초, 보초 도(barrier islands), 해안사구, 해변, 습지 및 해양 식생 등으로 구분하고 있으며, 미국 국가과학기술위원회[12]는 습지, 사구생태계 등과 같은 자연의 상태 혹은 복원된 상태의 공간으로 설명하고 있다.

10) Benedict & McMahon(2002), p. 12.
11) Bridges et al.(2015), p. 4.
12) The Coastal Green Infrastructure and Ecosystem Services(CGIES) Task Force(2015), p. 6.

2) 연안 그린인프라 자연재해 대응 효과

Hartig et al.(2002)은 염생식물이 일반적인 파고의 72%, 파력의 60%를 감소하여 연안침식 방지 효과가 있으며, 간접효과로 염생식물의 줄기가 연안 부유성 퇴적물을 포집하고, 뿌리의 성장과 퇴화 반복으로 유기토양층을 두텁게 하여 연안 육역의 고도를 높임으로써 연안의 침식과 침수피해를 감소시키는 것을 연구를 통해 확인하였다.[13] 또한 Möller & Spencer(2002)는 비식생 갯벌과 식생 갯벌의 파도를 측정하여 파랑 감쇠 효과를 비교하였으며 갯벌보다 염습지에서 파도 분쇄 효과가 더 높음을 증명하였다.[14] Cooper(2005)는 갯벌에 비해 염습지의 파도 감쇠력이 최소 2배 크다고 보고하였다.[15] Bradley & Houser(2009)는 파도 높이가 해초지가 시작되는 5m 지대를 통과할 때 0.02m(~20%)로 증가하지만, 이후에는 파고가 기하급수적으로 감소함을 관찰하였다.[16]

국내에서는 최광희 외(2012)가 자연재해 방어기능이 있는 해안사구의 태풍 통과 후 회복과정을 조사하였다. 연구에 따르면 사빈과 사구의 상호작용이 활발할수록 회복이 더 잘 이루어진 것으로 보았다. 즉 해안사구는 침식과 회복을 반복하면서 배후지역을 보호하는데, 인공호안 등이 설치된 해안사구는 사빈과 순환이 원활하지 않아 회복 수준이 낮다는 것이다. Seo, Choi, & Ha(2021)는 우리나라 강화도에 서식하는 갯끈풀군락이 파도 감소 효과가 있다는 것을 입증하였다.[17]

13) Hartig et al.(2002), p. 76.
14) Möller & Spencer(2002), p. 506.
15) Cooper(2005), p. 28.
16) Bradley & Houser(2009), p. 6.
17) Seo, Choi, & Ha(2021), p. 6.

3) 연안 그린인프라 적지선정을 위한 지표 개발

연안 그린인프라 지표 개발에 대해 Conger and Chang(2019)은 CGI 적지를 파악하기 위해 CGI coastal protection benefit 지수와 CGI vulnerability 지수를 개발하였다. CGI coastal protection benefit 지수는 연안 그린인프라의 해안 보호 효과를 의미하는 지수이며, CGI vulnerability 지수는 연안 그린인프라가 해수면 상승에 취약함을 고려한 지수다. 각 지수의 결과값이 높을수록 연안 그린인프라의 효과가 높은 것을 의미한다. 지형의 기복이 클수록, 해빈 구성 퇴적물이 경성일수록, 식생이 많을수록, 파랑의 세기가 작을수록 연안 그린인프라의 해안 보호효과가 큰 것으로 확인되었다. Ruckelshaus et al.(2016)은 Invest 모델을 활용하여 6개 지표로 연안재해 지수를 구성하였다. 해당 지수를 적용하여 해수면 상승에 따른 연안 인구 및 자산의 추정 피해 규모를 산출하였으며, 연안재해 지수와 추정 피해 결과를 결합하여 최종 결과물을 산출하였다.

4) 연안 그린인프라 관련 경제성 평가

Dixon et al.(1998)은 염습지의 연안재해 방어효과 비용편익을 분석하기 위해 염습지의 폭에 따른 연안재해 대비 효과를 방조제로 대신할 경우에 드는 비용을 산정하였다. 연구결과로 80m 폭의 염습지를 조성할 때 홍수 및 침식 방지 측면에서 방조제 3m를 쌓는 효과가 있으며, 3m 높이의 방조제를 건설할 때는 400파운드(65만 원)/m의 비용이 발생하는 것으로 나타났다. 염습지가 없다면 연안재해 대응을 위해 12m 높이의 방조제가 필요하며, 방조제 건설비용은 5,000파운드(810만 원)/m인 것으로 나타났다.[18] Chung(2006)은 중국 염습지의 연안재해 대응 효과에 관한 경제성을 분석하였는데, 중국에 설치된 다양한 방조제 건설비용과 갯끈풀(Spartina)

18) Dixon et al.(1998)

식생 비용을 비교하고 생태공학적 대응의 효과를 분석하였다.[19]

5) 국내 육상 그린인프라 효과 및 구축

강정은 외(2011)는 육상에서 그린인프라의 도시홍수 저감 측면의 효용성을 분석하였다. 다중회귀분석을 이용한 풍수해 피해 저감 효용성을 분석하였으며, GIS와 빈도비(frequency ratio)를 활용한 홍수취약성 분석을 실시하였다. 또한 도시 리뉴얼을 위한 그린인프라 계획 틀을 개발하기도 하였다. 윤주환 외(2009)는 기후변화 적응을 위한 한국형 그린인프라 구축방안 연구로 기후변화 적응 차원에서 도시 물환경 분야의 한국형 그린인프라 구축방안을 제시하였다. 도시 물순환 체계 중심의 그린인프라 개념을 정립하였으며, 기후변화 적응에서 그린인프라의 기능과 역할 및 적용사례에 대해 살펴보았다. 연구결과로 도시 물순환 체계 중심의 그린인프라 정책과 로드맵을 제시하였다. 이혜경(2020)은 도시홍수 방재를 위한 그린 인프라스트럭처 공간 분석 연구로 스마트한 도시 홍수 방재를 위한 비구조적 저감 방안을 제시하였다. 또한 그린인프라의 스마트한 공간배치 및 구성이 도시 홍수에 미치는 영향 관계를 분석하였다. 연구결과, 개발 패턴의 연결성이 높을수록 홍수피해액이 감소하며, 일정 구역 안에 개발면적의 요소가 적게 모여 있을수록 홍수피해액이 적은 것으로 나타났다. 한효주 외(2020)는 도시홍수 발생 시 표면유출 피해 저감을 위한 최적 경로를 도출하였으며, 도시홍수 피해 저감을 위한 최적의 표면유출 네트워크 기반의 그린 인프라스트럭처 적용 계획을 제시하였다. Jeong et al.(2021)은 연안도시에서 방재공원과 같은 그린 공간이 대피경로로 활용되어 자연재해 위험을 줄이는 공간이 될 수 있으며, 생태적 네트워크 허브 기능도 수행한다고 보았다. 이 연구는 부산을 대상으로 하였는데, 부산 해운대 그린인프라의 39.8%가 대피경로로서 높은 잠재력을 보유하고 있다고 평가하였다.

19) Chung(2006)

2. 선행연구와 차별성

국외에서는 다양한 유형의 연안 그린인프라가 가진 연안재해 대응 효과를 평가한 반면, 국내에서는 도시의 그린인프라 효과에 관한 연구가 주로 수행되었다. 다만 국내에서 일부 해안사구의 침식 대응 효과에 대한 연구가 수행되었고, 전반적인 국내 연안 그린인프라에 대한 연구는 수행되지 않았다. 선행연구와 본 연구의 차별성을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 연구목표 측면에서 본 연구는 우리나라 연안재해 대응을 위한 연안 그린인프라 구축에 관한 첫 번째 연구에 해당한다. 해안사구, 염습지, 모래해변, 굴패각 등 다양한 유형의 연안 그린인프라를 모두 포함하였고, 한국형 연안 그린인프라의 개념 정립과 자연재해 완충 잠재력을 과학적으로 평가하였다.

둘째, 연구대상 측면에서는 침식, 침수 등 연안재해 대응 기능이 있는 연안 그린인프라를 대상으로 하였다. 구체적으로 갯벌(염습지), 해안사구, 모래해변 등이 그 대상이며, 공간적으로는 우리나라 모든 연안이 대상이다.

셋째, 연구범위 측면에서는 연안 그린인프라 구축을 위한 전반적인 사항을 다루었는데, 연안 그린인프라의 개념 정립, 우리나라 연안재해 대응 실태 분석, 연안 그린인프라의 자연재해 완충 잠재력 평가방법, 연안 그린인프라 구축을 위한 정책과제를 제시하였다.

〈표 1-2〉 선행연구와 차별성

구 분	선행연구		본 연구
	요약	주요 참고문헌	
연구 목표	• 연안 그린인프라 연구는 대부분 국외에서 수행되었고 연안 그린인프라의 재해방지 효과, 탄소흡수 효과 등을 주제로 수행	• 강정은 외(2011) • 이혜경(2020) • Conger &	• 우리나라 연안재해 대응을 위한 연안 그린인프라 구축에 관한 연구 • 해안사구, 염습지, 모래 해

구 분	선행연구		본 연구
	요약	주요 참고문헌	
	– 국내에서 염생식물 외력 저감 효과 수행 • 국내는 대부분 물순환, 열환경, 홍수 대피경로 등 도시 차원의 그린인프라 효과 평가와 관련한 연구가 다수	Chang(2019) • Bridges et al.(2015) • Seo, Choi, & Ha(2021)	변, 굴패각 등 다양한 유형의 연안 그린인프라를 모두 포함 • 한국형 연안 그린인프라 개념 정립과 적지 선정을 위한 지수 개발
연구 대상	• 국내는 대부분 육상(도시) 그린인프라를 대상으로 연구를 수행하였으며, 일부 해안사구를 대상으로 연구 수행 – 물순환체계, 도시 열환경 관리, 도시 홍수대피로 관련 그린인프라 기능 등 연구 • 국외에서는 연안습지, 해안사구, 굴패각 등 다양한 연안 그린인프라를 대상으로 연구 수행	• 윤주환 외(2009) • 신영규 외(2019) • Jeong et al.(2021) • Narayan et al.(2016) • Chávez et al.(2021)	• 침식, 침수 등 연안재해 대응 기능이 있는 모든 연안 그린인프라를 대상으로 함 – 구체적으로 갯벌(염습지), 해안사구, 모래 해변 등이 대상 • 공간적으로는 우리나라 모든 연안이 대상임
연구 범위	• 국내는 도시 그린인프라의 물순환 기능, 열환경 관리 기능, 홍수 대비 기능 등에 대한 평가 • 국외는 연안 그린인프라에 대한 자연재해 저감 기능 평가, 비용편익분석 등 수행 • 연안 그린인프라 설치 지역 선정을 위한 지수 개발	• 최광희 외(2012) • Conger & Chang(2019) • Narayan et al.(2016)	• 이 연구의 주요 내용은 다음과 같음 – 한국형 연안 그린인프라 개념 정립 – 연안 그린인프라 자연재해 완충 잠재력 평가 – 연안 그린인프라 구축을 위한 정책과제
연구 방법	• 연안 그린인프라 적지 선정을 위한 지수 개발 • 연안 그린인프라 비용편익 분석	• Conger & Chang(2019) • Reguero et al.(2018)	• 연안 그린인프라 적지 선정을 위한 지수 개발 • 비용편익 분석

자료: 저자 작성

제4절 연구 내용 및 방법

1. 연구 주요 내용

이 연구는 크게 우리나라 연안 그린인프라 개념 및 사례(제2장), 연안 재해 현황·문제점 및 연안 그린인프라 구축 여건 분석(제3장), 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 및 경제성 평가(제4장), 연안 그린인프라 구축 방안(제5장)으로 구성되었다.

제2장의 연안 그린인프라 개념과 사례에서는 연안 그린인프라의 개념과 효과, 연안 그린인프라 관련 국내외 사례 등을 분석하였다. 연안 그린인프라의 개념과 효과는 국제기구, 미국 등 국외에서 사용되는 개념, 우리나라 타 분야에서 사용되는 그린인프라 개념 등을 분석하였다. 연안 그린인프라 효과는 염습지, 사구, 해초지, 굴패각 등의 자연재해 대응 효과를 분석한 문헌을 검토하였다. 연안 그린인프라 국내 사례는 서해안에서 추진된 사업 등을, 국외 사례는 미국의 숨쉬는 해안선 사업 등을 주로 검토하였다. 이를 토대로 우리나라에 적용하기 위한 시사점을 도출하였다.

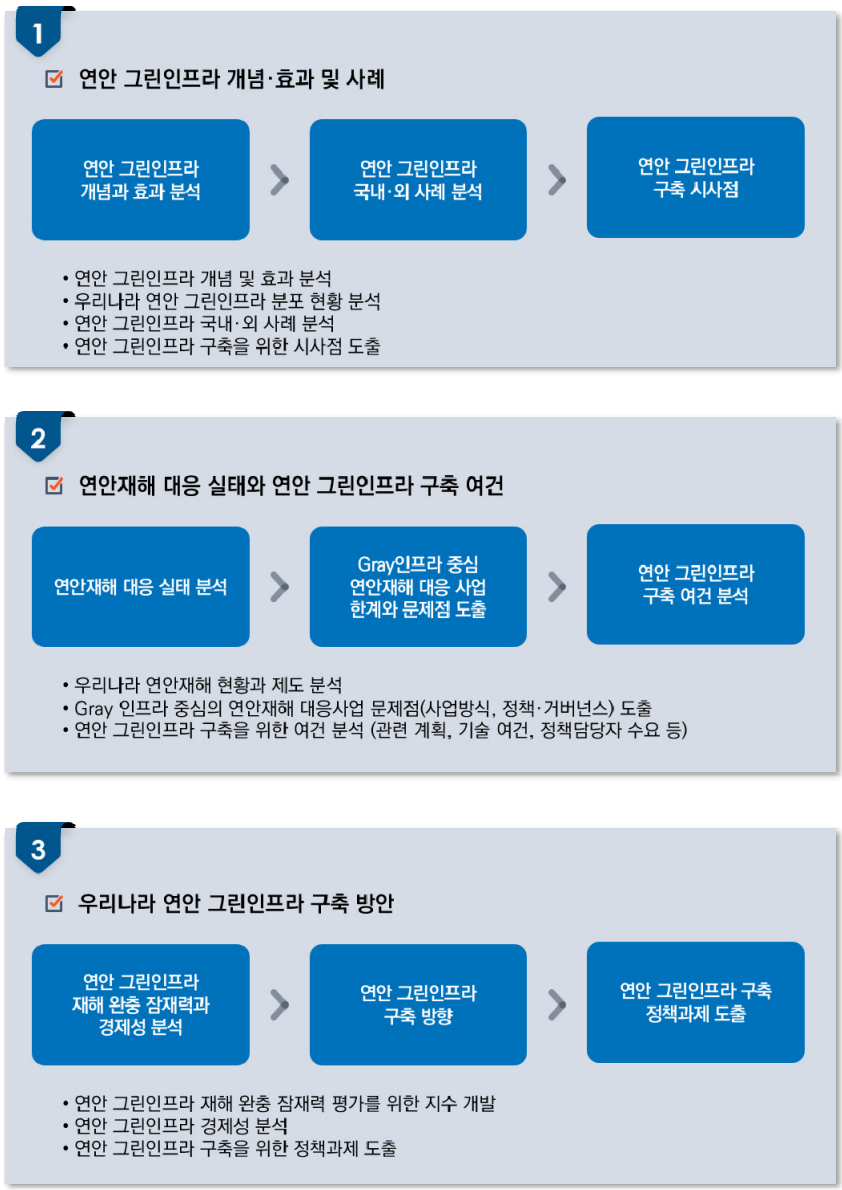
제3장에서는 우리나라 연안재해 현황과 문제점 분석을 위해 그레이인프라 중심의 연안재해 대응 현황과 문제점을 분석하였다. 우리나라 연안 시군구 단위로 자연재해 현황을 분석하고 우리나라 자연재해의 주요 원인인 태풍 발생 현황, 지속적으로 상승하는 해수면 변동에 관한 내용도 검토하였다. 연안재해 대응을 위한 제도로서 법, 계획, 사업 등을 분석하였는데 「연안관리법」, 「자연재해대책법」, 「사방사업법」 등을 대상으로 하였고, 연안재해 대응에 관한 사업이 가장 많이 추진되는, 「연안관리법」에 따른 연안정비사업을 중점적으로 분석하였다. 또한 연안 그린인프라 구축을 위한 여건 분석에서는 국가계획, 관련 사업, 기술개발 여건 등을 분석하였고, 연안 그

린인프라 구축에 대한 지방자치단체 공무원의 의견을 수렴하였다.

제4장에서는 우리나라 연안 그린인프라의 재해 완충 잠재력과 경제성을 평가하였다. 연안 그린인프라의 자연재해 완충 잠재력을 분석하기 위해 연안 그린인프라 재해 완충 지수를 개발하였다. 연안 그린인프라 재해 완충 지수 개발과 적용을 통해 연안 그린인프라의 재해 완충 효과가 클 것으로 예상되는 지역을 도출하였다. 또한 국내 연안 그린인프라의 대표적인 복원사례를 대상으로 경제성 분석을 실시하였다.

제5장에서는 연안 그린인프라 구축방안을 제시하였다. 먼저 앞서 분석한 연안 그린인프라 개념, 국내외 사례, 국내 연안재해 대응 문제점 등을 종합하여 연안 그린인프라 구축 방향을 제시하였다. 구축 방향을 구체적으로 실현하기 위해 연안 그린인프라 구축방안으로 4개의 추진과제를 제시하였다. 추진과제로 연안 그린인프라 필요지역 도출, 제도 개선, 한국형 연안 그린인프라 개발, 지역 역량 강화 및 거버넌스 구축을 제시하였다.

〈그림 1-1〉 연구 흐름도



자료: 저자 작성

2. 연구 방법

연구를 수행하기 위한 주요 연구 방법은 〈표 1-3〉와 같다. 전반적으로 문헌조사, 중앙행정기관 또는 지방자치단체 정책 담당자의 의견 수렴, 전문가 자문 등을 실시하였다.

연구 내용별로는 먼저 우리나라 연안재해 대응 실태를 심층적으로 분석하기 위해 지방자치단체에서 연안재해 대응사업을 담당하는 공무원을 대상으로 포커스 그룹 인터뷰를 실시하였다. 연안 그린인프라의 재해 완충 잠재력을 분석하기 위해서 유사 국외논문을 참고하여 우리나라 여건에 적합한 지수를 개발하였다. 국외논문 분석을 통해 지표 후보군을 도출한 후 국내 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 이 연구에서 제안하는 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 개발하였다. 또한 우리나라의 대표적인 연안 그린인프라를 대상으로 경제적 가치를 평가하였다. 충남 태안군 꽃지해변에서 실시된 해안사구 복원사업을 대상으로 조건부 가치측정법을 적용하였다. 그 결과 꽃지해변 해안사구 복원에 대한 WTP를 산출하였다.

〈표 1-3〉 주요 연구 내용별 연구 방법

연구 내용	연구 방법
연안 그린 인프라 개념·효과 및 사례	• 문헌조사 1) 국외논문 및 국가별 정책 보고서 분석 – 국외 논문(미국, 중국, 네덜란드 등) – 주요국의 정책 보고서(미국 NOAA 보고서 등) 2) 국내 논문 및 정책·사업 보고서 분석 – 국내 논문: 해안사구 등 개별 연안 그린인프라 기능 평가 – 정책·사업보고서: 사구 복원사업(충청남도 태안군), 염습지 복원사업 등 3) 국내 연안 그린인프라 분포 분석 – 해양조사원 해안선 자료, 국립생태원 해안사구 DB, 블루카본사업단 염습지, 잘피 등의 자료 • 의견 수렴 및 자문 – 대상: 연안관리 및 복원 관련 정책 담당자, 전문가 대상 – 내용: 국내 연안 그린인프라 도입 현황 및 쟁점 사항 등에 대한 조사 • 현장 조사 – 국내 연안 그린인프라 시행 지역 현장 조사 : 충남 태안군, 제주도 등

연구 내용	연구 방법
연안재해 대응 실태 및 구축 여건	• 문헌조사 1) 연안 재해 통계 및 현황 자료 수집 – 재해연보, 연안침식 실태조사, 연안기본조사 등 활용 2) 연안재해 대응 관련 법률 검토 및 사업 분석 – 연안관리법(연안정비사업), 자연재해대책법(재해복구사업), 사방사업법(해안침식방지사업) 등 – 연안 시·군·구 대상 제3차 연안정비 대상사업 추진 현황 3) 연안 그린인프라 관련 국가 법률, 계획, 지침서 검토 4) 연안 그린인프라 적용 기술 현황 자료 수집 및 동향 분석 • 현장답사 및 정책 담당자 대상 포커스 그룹 인터뷰 1) 연안재해 발생지역 및 연안 정비사업 지역 현장답사 – 그레이인프라 및 그린인프라 적용사례 조사 2) 정책 담당자 대상 포커스 그룹 인터뷰 – 현재 연안재해 대응 문제점, 정책개선 수요, 연안 그린인프라 구축을 위한 수요 등 • 전문가 원고 자문 – 대상: 연안재해, 그린인프라 등 전문가 – 내용: 연안정비사업의 한계와 문제, 국내 연안 그린인프라 기술 여건 등
연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 및 경제성 분석	• 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발 및 적용 1) 국외 선행연구 분석을 통한 지수 후보군 선정(문헌 조사) – 연안 그린인프라 자원량과 취약성을 고려 2) 우리나라 연안재해 관련 여건을 고려한 지표 보완 – 파랑, 바람 등의 특성 고려 3) 전문가 검토를 통해 지표 확정(전문가 자문) – 지표 삽입 여부, 지표 가중치 부여 등 고려 4) 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 적용 – 대상지역: 전국 및 인천시 • 연안 그린인프라 경제적 가치 평가 – 방법론: 조건부 가치측정법(CVM, Contingent Valuation Method) – 대상: 충남 태안군 꽃지해변 해안사구 복원사업 – 내용: 꽃지해변 해안사구 복원에 대한 WTP 추정
연안 그린인프라 구축방안	• 대상지역 내 재해취약지역 선정 – 내용: 연안재해 취약지역과 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 중첩, 연안 그린인프라 필요지역 도출 – 자료: 연안재해 취약성 평가, 연안침식 실태조사 결과 등 • 연안 그린인프라 구축을 위한 과제 – 전문가 자문: 연안재해 전문가, 연안재해 담당자 등 – 문헌 분석: 국외 연안 그린인프라 관련 정책 보고서 등

자료: 저자 작성

02
연안 그린인프라 이론 및 사례

제1절 연안 그린인프라 개념 및 효과

1. 연안 그린인프라 개념

1) 자연기반해법과 연안 그린인프라

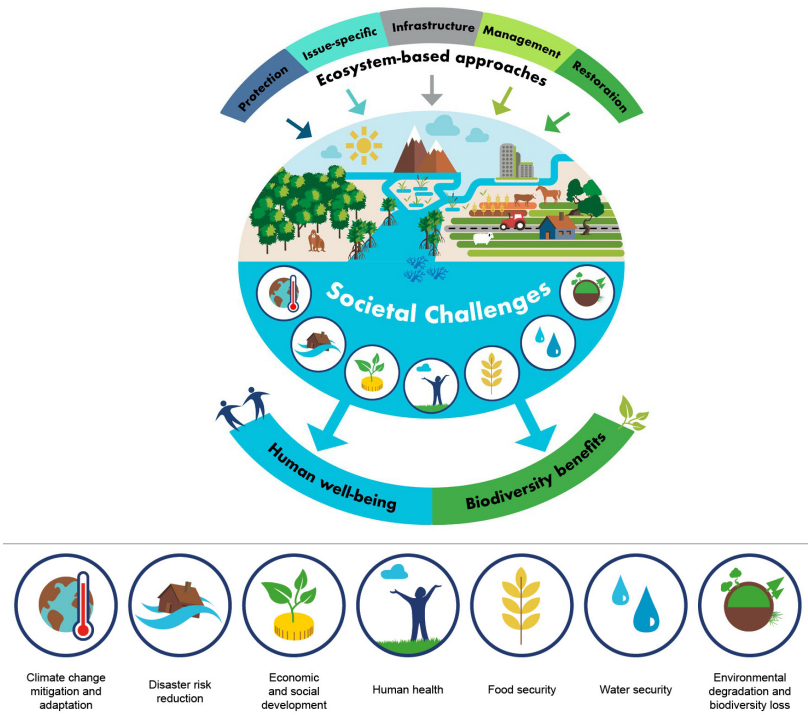
전 세계적으로 인류의 중대한 문제를 해결하기 위해 자연을 활용해야 한다는 인식이 확산되고 있다. 인류가 당면한 문제를 인간이 개발한 인위적인 방법에만 의존하지 말고 자연이 본래 가진 기능을 최대한 활용하여 해결하자는 것이다. 이러한 인식은 세계자연보전연맹(IUCN)[20]이 자연기반해법(Nature-based Solutions)이라는 개념으로 정리하여 발표하였고, 이후 전 세계적으로 확산되었다고 볼 수 있다. IUCN이 발표한 자연기반해법은 "자연생태계(변형된 생태계 포함) 보호, 지속가능한 관리, 복원을 통해 효과적·적응적으로 사회문제를 해결하고 동시에 인간의 웰빙과 생물다양성 혜택을 제공하는 것"[21]을 말한다. 자연기반해법의 정의에서 사회문제로는

20) International Union for Conservation of Nature(세계자연보전연맹)

21) Nature-based Solutions are defined as actions to protect, sustainably manage, and restore natural or modified ecosystems, that address societal challenges effectively and adaptively,

‘기후변화 저감 및 적응’, ‘자연재해 저감’, ‘생물다양성 감소’, ‘인간 건강’, ‘수자원 확보’, ‘사회경제적 발전’이 제시되었다. 자연기반해법으로 해결할 수 있는 중대한 사회문제 중에는 이 연구의 핵심 주제인 기후변화 적응과 자연재해 저감이 포함되어 있다.

〈그림 2-1〉 자연기반해법 정의와 자연기반해법으로 해결 가능한 중요한 문제



자료: IUCN(2020), pp. 3-4.

simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.(Cohen-Shacham et al.(2016), p. 5.)

자연기반해법 개념을 구체적으로 실행하는 방법이 바로 그린인프라에 해당한다. 이 연구에서 다루는 연안 그린인프라는 자연기반해법을 실현하는 구체적인 방법인 그린인프라이며, 연안지역을 대상으로 한다. 연안 그린인프라는 직접적으로 자연기반해법과 관련 있으나 이전에도 자연을 활용하여 사회문제를 해결하기 위한 다양한 정책 등이 다양한 국제기구, 국가에서 추진되었다.

〈그림 2-2〉 인위적 연안 문제 해결을 위한 자연적 과정(processes) 기반 지침의 발전



자료: Chávez et al.(2021), p. 2.

연안 그린인프라는 최근에 새롭게 등장한 개념이라기보다 비교적 오래되었고 2000년대 초반부터 본격적으로 미국, 유럽 등의 국가에서 구체적인 정책으로 추진되었다고 할 수 있다.[22] 예를 들면, 영국의 해안선관리계획(Shorelines Management Plans), 생태 공학(Ecological Engineering),

22) 그린인프라 개념은 그린인프라 운동(movement)에 뿌리를 두고 있음. 그린인프라 운동은 자연 시스템이 다양한 생태계를 제공할 수 있다는 인식을 기반으로 한 Frederick Law Olmsted, Warren Manning 및 Eugene Odum의 노력에서 비롯된 것으로 160년 이상의 환경 계획 및 보존 이니셔티브에서 발생했음. 일부의 경우 그린인프라는 오픈스페이스 또는 공원을 의미함. 다른 경우에는 환경친화적으로 정의된 공학적 구조(예: 빗물 정원과 같은 우수 관리 기능)를 나타냄. 또는 생물다양성의 이점과 서식지 파편화 감소를 강조하는 자연공간 네트워크를 의미함(Bridges et al.(2015), p. 1.)

미국의 숨쉬는 해안선(Living Shorelines) 등은 자연기반해법이라는 용어가 전 세계적으로 확산되기 이전에 자연기반해법의 개념과 원칙이 적용된 것이라고 할 수 있다.

2) 연안 그린인프라 개념

연안 그린인프라의 개념은 그린인프라의 개념에서 출발한다. 그린인프라는 기반시설에 해당하는 인프라스트럭처(Infrastructure)에 그린을 결합한 개념인데 우리 사회의 기능을 유지하는 데 필요한 각종 물리적 시설(기반시설)의 기능 전부 또는 일부를 자연과 자연을 모방한 시스템이 수행하는 것을 말한다고 할 수 있다. 다만 모든 유형의 물리적 기반시설 기능을 그린인프라가 수행하는 것은 아니다. 미국, 유럽 등에서는 대부분 기반시설 중 하수도시설, 빗물저장시설 등 환경기초시설, 공원 등 공간시설, 방재시설 등에 대해서 그린인프라 활용이 이루어지고 있다.

〈표 2-1〉 각종 법률상 기반시설 정의

구분	세부 내용
국토계획법 (제2조)	• 기반시설은 다음 각 목의 시설을 말함 1. 교통시설: 도로 · 철도 · 항만 · 공항 · 주차장 · 자동차 정류장 · 궤도 · 차량검사 및 면허시설 2. 공간시설: 광장 · 공원 · 녹지 · 유원지 · 공공공지 3. 유통 · 공급시설: 유통업무설비, 수도 · 전기 · 가스 · 열공급설비, 방송 · 통신시설, 공동구 · 시장, 유류저장 및 송유설비 4. 공공 · 문화체육시설: 학교 · 공공청사 · 문화시설 · 공공 필요성이 인정되는 체육시설 · 연구시설 · 사회복지시설 · 공공직업훈련시설 · 청소년수련시설 5. 방재시설: 하천 · 유수지 · 저수지 · 방화설비 · 방풍설비 · 방수설비 · 사방설비 · 방조설비 6. 보건위생시설: 장사시설 · 도축장 · 종합의료시설 7. 환경기초시설: 하수도 · 폐기물처리 및 재활용시설 · 빗물저장 및 이용시설 · 수질오염방지시설 · 폐차장
사회기반시설에 대한 민간투자법	• '사회기반시설'이란 각종 생산활동의 기반이 되는 시설, 해당 시설의 효용을 증진시키거나 이용자의 편의를 도모하는 시설 및 국민생활의 편익을 증진시키는 시설로서, 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설을 말한다.

구분	세부 내용
(제2조제1호)	가. 도로, 철도, 항만, 하수도, 하수 · 분뇨 · 폐기물처리시설, 재이용시설 등 경제활동의 기반이 되는 시설 나. 유치원, 학교, 도서관, 과학관, 복합문화시설, 공공보건의료시설 등 사회서비스의 제공을 위하여 필요한 시설 다. 공공청사, 보훈시설, 방재시설, 병영시설 등 국가 또는 지방자치단체의 업무수행을 위하여 필요한 공용시설 또는 생활체육시설, 휴양시설 등 일반 공중의 이용을 위하여 제공하는 공공용 시설

자료: 국토계획법 및 사회기반시설에 대한 민간투자법 해당 조항

그린인프라에 대한 정의는 다양하나 공통적으로 인간에게 다양한 서비스를 제공하는 자연 그대로 혹은 자연에 기반하거나 모방한 시스템을 말한다고 할 수 있다. EC(2013)[23]는 그린인프라를 광범위한 생태계 서비스를 공급하기 위해 전략적으로 계획된 자연 또는 유사 자연지역 네트워크라고 정의하였다. 그린인프라에 의도적으로 계획·설계된 유사 자연공간까지 포함된다는 것에 주목할 필요가 있다. 즉 온전한 자연상태가 아니더라도 다양한 서비스를 제공할 수 있도록 인위적으로 조성된 자연 공간도 그린인프라에 포함된다. 육상에서 그린인프라는 대체로 수자원 공급, 공원·녹지 공급, 유수 관리 등을 목적으로 한다.

연안 그린인프라는 연안에 분포하며 연안과 관련한 다양한 서비스를 제공하는 그린인프라라고 할 수 있다. Conger and Chang(2019)[24]은 연안 그린인프라(Coastal Green Infrastructure)를 해안지형, 식생 및 암초와 같은 자연공간이나 이를 모방한 자연기반 시스템으로 정의하면서 연안 그린인프라가 자연재해로부터 해안을 보호하는 기능과 함께 생물다양성 유지, 사회경제적 편익 등도 제공한다고 하였다. 또한 미국 NOAA[25]는 연안에서 그린인프라를 자연인프라(Natural Infrastructure)라고 부르며, 자연 상태 또는 자연 프로세스를 모방한 수단으로서 침식, 침수, 빗물 유출

23) EC(2013), p. 3.
24) Conger and Chang(2019), p. 54.
25) NOAA 홈페이지(검색일: 2022.7.5.)

등을 최소화하는 것을 말한다.

미 육군공병대 연구개발센터(ERDC)[26]는 연안에서 자연재해 대응을 위한 방법으로 '자연과 자연기반 요소(Natural and Nature-Based Features)'를 제시하였는데, 이는 연안 그린인프라와 동일하다고 할 수 있다. 자연 상태(natural)의 연안 그린인프라는 자연에서 작동하는 물리적, 생물학적, 지질학적, 화학적 과정의 작용을 통해 시간이 지남에 따라 생성되고 진화하는 것으로 산호초, 해안사구, 해변, 습지, 해양 식생 등을 말한다. 자연기반(natural based) 연안 그린인프라는 자연 지형지물의 특성을 모방하는 것으로 해안위험 감소와 같은 특정 서비스를 제공하기 위해 인위적으로 조성된 것을 말한다.

이상과 같은 연안 그린인프라의 개념을 고려할 때 이 연구에서는 연안재해 대응을 위한 연안 그린인프라를 '자연재해 완충에 기여하는 자연 상태 그대로 혹은 자연 프로세스나 재료를 활용한 네트워크 또는 체계'로 정의하고자 한다. 더불어 본 연구에서 초점을 맞춘 연안재해 대응을 위한 연안 그린인프라의 특징은 다음과 같다.

첫째, 일정 폭과 면적이 있어 연안재해 원인이 되는 해일, 파랑, 태풍, 강풍 등 외력을 흡수하여 연안재해를 저감하는 특징이 있다. 둘째, 해양 에너지를 흡수·저감하는 과정에서 일부가 훼손되기도 하나 일정 시간이 지나면 자체 시스템의 프로세스에 따라 자연적으로 회복되는 특성이 있다. 셋째, 주변 지역에서 시행되는 개발 영향에 민감하여 연안 그린인프라를 유지하는 시스템이나 프로세스가 쉽게 훼손될 수 있다. 넷째, 연안재해를 효과적으로 저감하면서도 생태계 유지, 탄소흡수, 수산자원 증대, 수질 정화, 친수공간 제공과 같은 우리에게 필수적인 서비스를 같이 제공한다.

26) Bridges et al.(2015), p. 2.

〈표 2-2〉 연안 그린인프라 개념

구분		세부 내용
그린 인프라	Benedict & McMahon (2002)	• 자연생태계 가치와 기능을 보전하고 자연생태계 혜택을 인간에게 제공하는 녹지공간의 상호 연결된 네트워크
	EC(2013)	• 광범위한 생태계 서비스를 공급하기 위해 설계·관리된 다른 환경적 요소와 함께 전략적으로 계획된 자연 또는 유사 자연지역 네트워크
	UNEP (2014)	• 그레이인프라 방식의 수자원시설과 동일하거나 유사하게 수자원 관리 서비스를 공급하는 자연적(natural) 또는 유사 자연(semi-natural) 시스템
연안 그린 인프라	Conger and Chang (2019)	• 역동적인 해안지형, 식생 및 암초와 같은 자연공간 또는 이를 모방한 자연기반 시스템 • 해안보호 기능과 함께 생태계 건강성, 자연 프로세스와 생물다양성 유지, 사회·경제적 이익 등을 지역사회에 제공
	미국 NOAA	• Natural Infrastructure라고도 함 • 자연 상태의 공간 또는 자연 프로세스를 모방한 수단으로서 침식, 침수 등을 최소화하는 것
	미 육군 공병대 연구개발센터 (The US Army ERDC) (2015)	• Natural Features – 자연에서 작동하는 물리적, 생물학적, 지질학적 및 화학적 과정의 작용을 통해 시간이 지남에 따라 생성되고 진화하는 것 – 산호초, 해안사구, 해변, 습지 및 해양 식생 등 • Nature-based Features – 자연 지형지물의 특성을 모방 – 해안위험 감소와 같은 특정 서비스를 제공하기 위해 인위적으로 설계, 엔지니어링 및 건설에 의해 조성
	미국 국가과학기술위원회 The CGIES Task Force (2015)	• 연안 그린인프라에는 염습지, 맹그로브, 초, 해초지, 모래 해변, 해안사구 등이 있음 • 연안 그린인프라는 폭풍, 침식, 침수, 해수면 상승 등 기후 관련 위해로부터 연안 취약성을 감소시키며 연안 지역사회의 경제적 번영과 웰빙에도 기여

자료: Benedict & McMahon(2002), p. 12; UNEP(2014), p. 5; EC(2013), p. 3; Conger and Chang(2019), p. 54; NOAA 홈페이지(검색일: 2022.7.5.); Bridges et al.(2015), p. 2; The CGIES Task Force(2015), pp. 6-7.

그린인프라는 그레이인프라와 대비되는 개념이다. 〈표 2-3〉와 같이 그레이인프라는 전통적인 엔지니어링 방식으로 건설된 인공구조물을 말

한다. 그레이인프라는 'hard infrastructure', 'hard engineering structure' 등과도 매우 유사한 개념이라고 할 수 있다. 반면 그린인프라는 'soft infrastructure', 'soft engineering structure' 등도 포괄하는 개념이라고 할 수 있다. 그린인프라와 그레이인프라를 결합할 경우 'Hybrid alternative(infrastructure)'로 불리기도 한다.

〈표 2-3〉 연안 그린인프라와 그레이인프라 비교

구분		세부 내용
Hard or Grey	Hard infrastructure or hard engineering structure	• 해안 보호를 위해 연안에 건설된 유연하지 않거나 단단한 구조물(예: 돌제, 방파제 등)
	Grey infrastructure	• 인간을 위협하는 물리적 요인을 제어하기 위한 목적으로 해안 보호를 위한 전통적인 엔지니어링 인프라(예: 방파제, 제방) • 생태계를 훼손하는 구조적(structural) 수단
Soft or Green	Soft infrastructure or soft engineering structure	• 자연과 협력, 서식지 향상 목표, 해안 보호를 위한 유연한 구조(예: 양빈, 인공 사구 건설, 염습지 조성) • 바람, 파도 등 외부요인의 강도, 빈도 등에 따라 다양한 시공간적 규모에서 구조의 형태와 위치가 변경
	Green infrastructure	• 생태계 연결성, 에너지·질량 흐름의 보전을 기반으로 한 해안 보호를 위한 다기능 구조
Hybrid alternative		• 자연과 인공 기반시설을 결합한 형태 • 기반시설의 자연성 정도가 다양함

자료: Chávez et al.(2021), p. 3 Table 1을 수정함

〈그림 2-3〉 그린인프라와 그레이인프라 범위

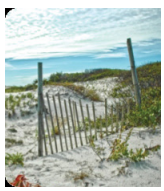
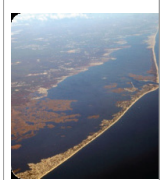


자료: Green-Gray Community of Practice(2020), p. 8.

3) 연안 그린인프라 유형

미국 등 국외에서 활용되는 연안 그린인프라 유형으로는 해안사구 및 모래 해변, 염습지와 같이 식생이 있는 공간, 굴 또는 산호로 구성된 초, 해중림 등이 있다. 연안 그린인프라 유형은 동일한 지형적, 물리적 특성이 있는 공간별로 구분할 수 있으나 실제 연안에서는 다수의 연안 그린인프라가 육상에서 바다에 이르는 공간에 배치되는 경우가 있다. 또한 그린인프라와 그레이인프라가 동일한 연안에 같이 배치되는 하이브리드 방식도 많다. 연안 지역에서는 그린인프라와 그레이인프라의 다양한 유형의 조합을 통해 연안재해 대응 효과를 높일 수 있다. 예를 들면 우리나라 동해안과 같이 파랑이 우세한 해안에서는 그레이인프라와 그린인프라의 조합을 통한 연안재해 대응이 필요할 수 있다.

〈표 2-4〉 연안 그린인프라 유형 및 연안보호 관련 기능

해안사구 및 모래 해변	식생이 있는 공간 (염습지, 해초지 등)	굴 또는 산호 초	보초 섬 (Barrier Islands)	해중림 또는 관목군락
• 연안 파도 차단 • 파도 에너지 저감 • 내수 이동 속도 저감	• 연안 파도 차단 • 파도 에너지 저감 • 내수 이동 속도 저감 • 삼투(흡수) 증가	• 연안 파도 차단 • 파도 에너지 저감 • 내수 이동 속도 저감	• 파도 저감 및 소산 • 퇴적물 안정화	• 파도 저감 및 소산 • 해안침식 안정화 • 토양 유지
				

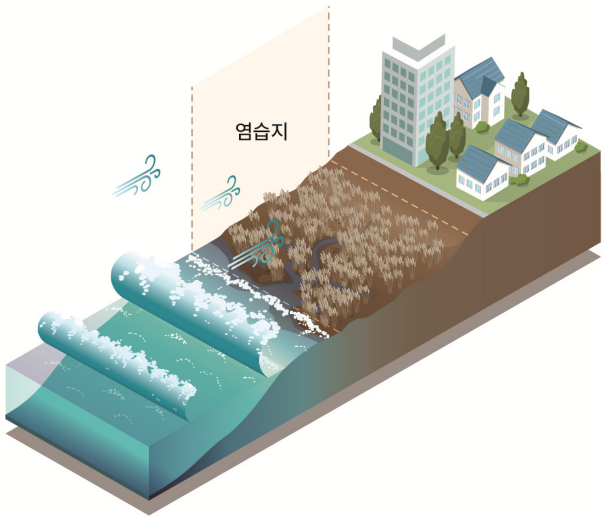
자료: Bridges et al.(2015), p. 4.

국외에서 활용되는 연안 그린인프라는 우리나라에서도 활용 가능하다. 미 육군공병대 연구개발센터(ERDC)[27]가 제시한 연안 그린인프라 유형인 해안사구 및 모래 해변(양빈), 염습지, 해초지, 굴 서식지 등은 우리나라에 분포하면서 지역에 따라서는 재해를 완충하는 기능을 수행하고 있다. 연안 그린인프라 중에서 해안사구, 해초지 등은 이미 일부 지역에서 복원사업을 완료하였거나 추진하고 있다. 모래해변을 유지하는 양빈의 경우 우리나라 연안정비사업을 통해 많은 해변에서 실시되었다. 염습지 조성, 굴망태 등은 기술개발사업을 통해 우리나라에 적용하기 위한 준비를 하고 있다. 앞서 제시한 것과 같이 연안 그린인프라는 그레이인프라와 결합을 통해 연안재해 대응 효과를 더욱 높일 수 있다.

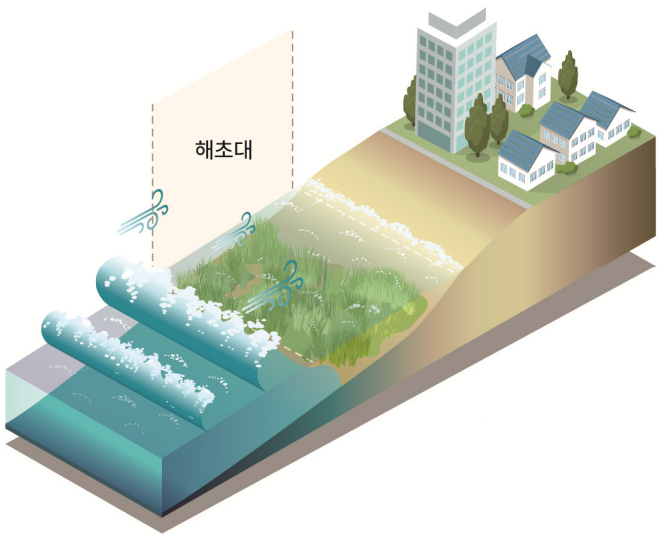
27) Bridges et al.(2015)을 말함

〈그림 2-4〉 국내 적용 가능한 주요 연안 그린인프라 유형

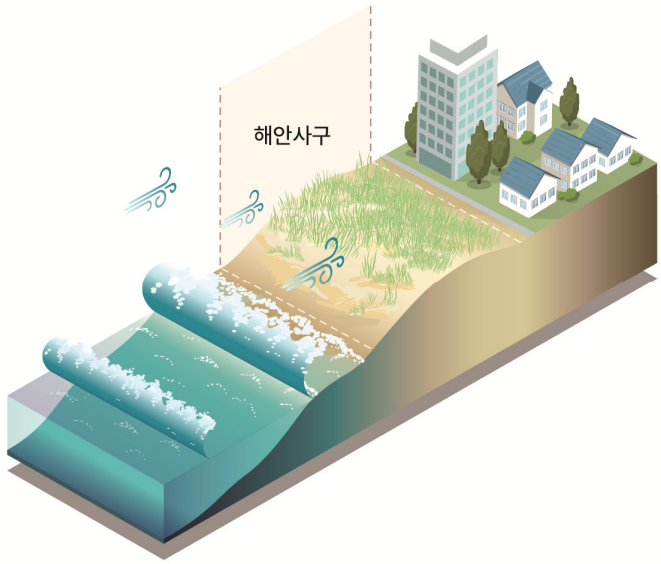
염습지



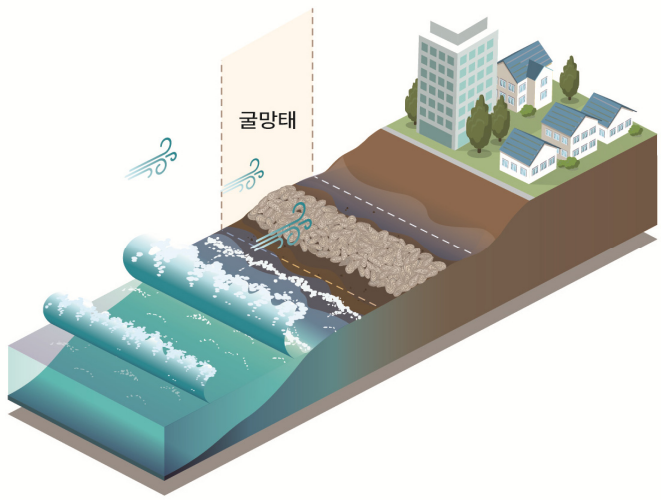
해초지



해안사구



굴망태 등 자연재료를 사용한 완충재



자료: 저자 작성

2. 연안 그린인프라의 재해 대응 효과

해안 시스템을 구성하는 자연 및 건축물 사이의 관계 및 상호 작용은 해안 취약성, 회복력 및 탄력성을 결정하는 중요한 변수다. 자연 및 자연물을 기반으로 한 연안재해 대응은 해수면 상승과 해안 폭풍으로 인한 연안의 피해를 완화하고 회복력을 향상한다. 연안 그린인프라 중 자연(natural features) 생태계를 이용한 연안재해 대응의 특징은 연안에 발생하는 폭풍과 같은 외력이 염습지, 해초지, 사구 등과 같은 연안 생태계를 통과하면서 그 에너지가 현저하게 감소하고 해당 생태계에서 작용하는 물리적, 생물학적, 지질학적, 화학적 과정을 통해 재해 이후에도 스스로 회복력을 구현하는 것이다. 자연기반 연안 그린인프라는 자연물(굴패각, 친환경 소재)에 기인한 재료를 이용하여 인간의 설계, 엔지니어링 기술과 결합하여 연안재해 대응력을 발휘한다.

Narayan et al.(2016)은 전 세계에서 시행된 연안 그린인프라 생태계인 염습지, 굴 군락, 산호초와 맹그로브숲 복원 비용과 그에 따른 연안 재해 대응 효과를 정리하였다(표 2-5 참조). 해당 연구에 따르면 맹그로브숲 복원 비용이 제곱미터당 0.1달러로 가장 저렴하고 염습지 복원 비용도 약 1.1달러로 낮았다. 상대적으로 산호초와 굴 군락은 각각 약 115달러와 135달러로 높은 것으로 확인되었다. 이러한 연안 그린인프라 생태계의 연안재해 대응력과 동등한 수준을 가지는 경성공법(호안, 방파제 등)을 설치하려면 염습지의 경우 약 2배, 맹그로브 숲의 경우 약 5배의 비용이 더 드는 것으로 드러났다. 이를 통해 같은 수준의 연안재해 대응력을 갖기 위해 연성공법인 연안 그린인프라 기법과 경성공법을 비교했을 때 연안 그린인프라 비용이 2~5배 더 적게 드는 것을 알 수 있다.

전 세계적으로 2016년까지 수행된 연안 그린인프라 생태계 복원사업 수를 보면, 굴 군락(19건), 염습지(17건), 맹그로브숲(12건), 산호초(4건) 순으로 굴 군락과 염습지 복원사업 수가 많았다. 산호초를 제외한 나머지 생태계

복원사업의 69% 이상이 연안재해 대응 목적으로 진행되었으며, 연평균 10J/㎡ 이상의 파력이 높은 지역에서 시행된 사업의 경우 그 비중이 염습지는 약 77%, 산호초는 약 80%, 굴 군락은 약 50%에 이르렀다. 이를 통해 해외에서 연안 그린인프라 기법은 내만뿐 아니라 파력이 높은 연안에서도 활발히 시행되고 있음을 알 수 있다. 이들 연안 그린인프라 생태계 복원을 통한 연안재해 대응 효과를 보고한 사업의 비중과 혜택 종류에서 살펴볼 수 있듯이(표 2-5 참조), 연안 생태계 복원으로 태풍 피해액이 감소하고, 연안 방조제 설치를 하지 않음으로써 절약되는 비용이 실제로 관측되는 것을 확인할 수 있다.

〈표 2-5〉 연안 생태계 복원비용 및 연안 그린인프라의 재해 대응 혜택

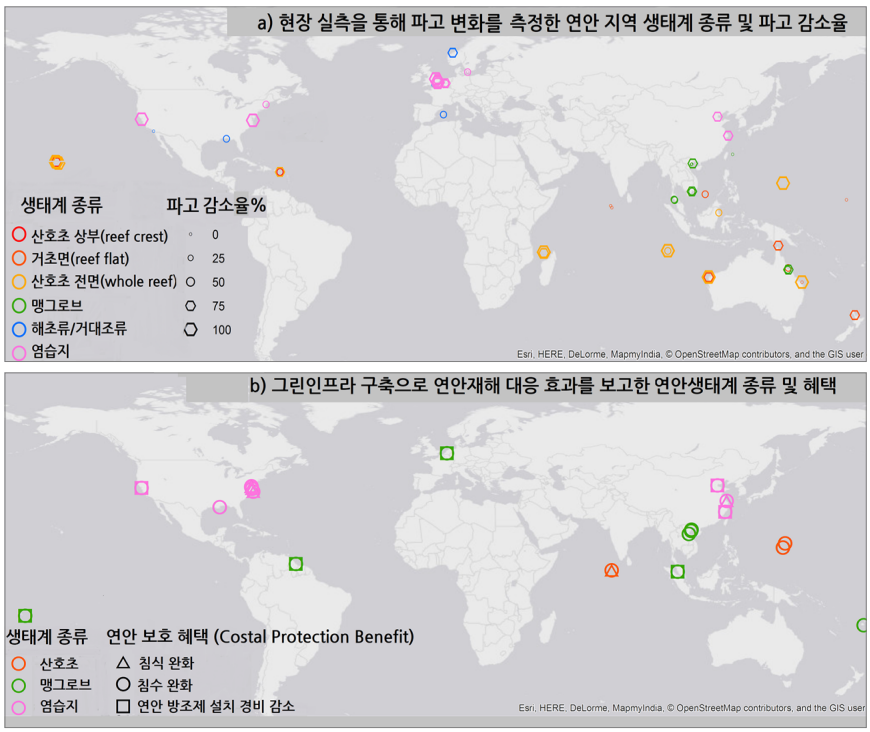
생태계 (전체 복원 사업 수)	보고된 복원비용 ($/$m^2$) 평균값 (범위)	경성공법으로 대체 시 비용/연안 그린인프라 비용 평균값 (범위)	복원사업 중 연안 재해 대응 목적으로 진행한 사업 비율	복원사업 중 연평균 10J/m^2 이상 고파력 지역에서 시행한 사업 비율	연안재해 대응 효과를 보고한 사업 비중과 혜택 종류
염습지 (17)	1.11 (0.01-33)	2 (0.95-3.01)	69	77	침식피해액 감소(6%), 태풍피해액 감소(41%), 연안방조제 설치비 절약(18%), 편익/비용 비율 1 이상(6%)
굴 군락 (19)	135.63 (107-316)	NA	75	50	NA
산호초 (4)	115.62 (2-7490)	NA	5	80	침식피해액 감소(5%), 태풍피해액 감소(5%)
맹그로브 (12)	0.1 (0.05-6.43)	5 (3.1-6.9)	76	35	태풍피해액 감소(50%), 연안방조제 설치비 절약(34%), 편익/비용 비율 1 이상(41%)

자료: Narayan et al.(2016), p. 5.

〈그림 2-5〉의 a는 이러한 연안 생태계의 재해 대응력을 실측한 지역 69곳을 생태계 종류별로 표시하였다. 유럽과 북아메리카의 경우 염습지 복원으로 파고 감소율이 50% 이상임이 보고된 지역이 다수임을 알 수 있다.

산호초 복원으로 인한 파고 감소율은 주로 남방구에서 실측되었으며, 그 감소율 또한 50% 이상으로 높다. 〈그림 2-5〉의 b는 그린인프라 구축으로 연안재해 대응 효과를 보고한 52곳의 생태계 종류별 혜택을 보여주는데, 염습지의 경우 미국과 중국에서 침수 완화 및 연안 방조제 설치경비 감소와 같은 혜택이 다수 보고된 것을 알 수 있다.

〈그림 2-5〉 연안 생태계의 재해 대응력을 실측한 지역



주: a) 연안 생태계의 파고 감소 효과를 실측한 지역(69곳), b) 연안 생태계 복원으로 재해 대응 효과를 보고한 지역(52곳)

자료: Narayan et al.(2016), p. 4.

〈표 2-6〉 그린인프라 효과

효과	세부 내용
홍수 예방	• 그린인프라 시설은 우수 배출을 늦추고 감소시켜 홍수 위험을 완화함
기후 대응력	• 습지 및 모래언덕으로 완충지대를 제공할 뿐 아니라 습지의 경우 해수면 상승에 맞추어 연안육역 고도를 높임
수질 개선	• 해초지, 염습지 등 식생을 통한 질소 제거 효과로 수질 향상
물 공급	• 토양에 스며든 물을 저장하는 사구는 지하수를 재충전하여 안정적인 물 공급
대기질 개선	• 염습지의 경우 미세먼지 등 대기오염 물질 제거
생물 서식지 제공 및 연결	• 연안 자연환경을 배치한 그린인프라는 다양한 생물의 서식지로 활용되고 야생 동물의 이동을 촉진하여 서식지 간 개체군 연결
레크리에이션 공간	• 그린인프라 시설로 자연친화적인 다양한 여가활동 공간 제공
건강상의 이점	• 더 많은 녹지공간은 야외 신체활동을 장려하여 비만을 줄이고 심장병, 고혈압 등 만성 질환을 예방하여 건강한 삶을 영위하도록 함

자료: 미국환경보호청(EPA) 웹페이지(검색일:2022.4.6.)의 그린인프라 혜택에 관한 내용을 바탕으로 저자 정리

이 외에도 연안 그린인프라는 다양한 순기능을 가지고 있다(표 2-6 참조). 해초지, 염습지에서 자라는 식생의 경우, 온실가스 흡수 능력으로 미세먼지 등 대기오염 물질을 제거하고 대기질을 개선한다. 더불어 그린인프라 조성을 통해 인간에게 자연친화적인 여가활동 공간을 제공한다. 이렇게 녹지공간 및 자연생태계 증가는 야외 신체활동을 장려하여 성인병 등 만성 질환을 예방하고 인간이 건강한 삶을 영위할 수 있도록 한다.

1) 연안 그린인프라 유형별 재해 대응 효과

(1) 염습지(Salt marsh)

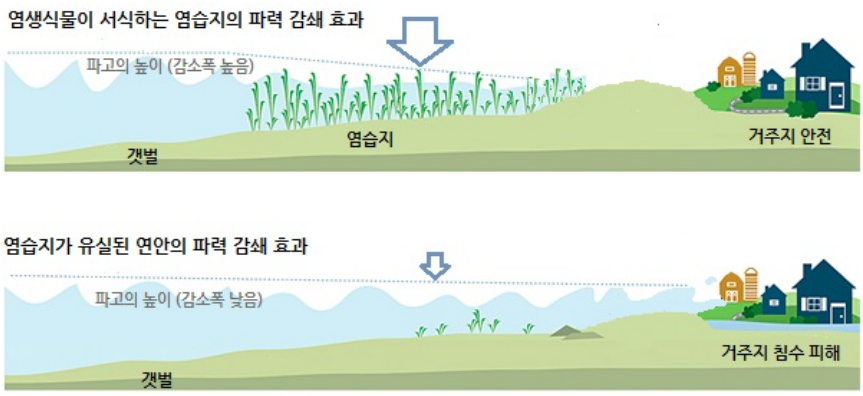
염습지는 조석 간만의 영향을 받는 연안 습지 중 염생식물이 자라는 생태계로 연안재해 대응 효과에 탁월한 그린인프라 중 하나다. 염생식물의

잎과 줄기는 일반적인 파고의 72%, 파력의 60%를 감소하여 연안침식 방지 기능이 뛰어난 것으로 알려져 있다(그림 2-6 참조). 염생식물의 지상 생체(above-ground biomass)의 구조적 특징(빽빽한 잎과 줄기)으로 인한 직접적인 연안재해 대응 효과 이외에 간접적인 효과는 다음과 같다. 염생식물의 줄기는 연안부유성 퇴적물을 포집하고, 뿌리는 서식토양층에서 성장과 퇴화를 반복하며 유기토양층을 두껍게 하여 연간 약 5㎜의 연안 육역 고도를 높이고 침식과 침수로부터 연안을 보호한다.[28] Gittman 외 연구진에 따르면 카테고리 1에 속하였던 허리케인 아이린 상륙 당시 연안제방의 약 76%가 파괴된 반면, 염습지 고도에는 아무런 영향을 미치지 않은 것으로 드러났다.[29] 또한 태풍으로 염습지 일부가 유실되더라도 1년 안에 원상태의 면적으로 회복되었다. 이러한 결과는 자연생태계 및 하이브리드 기반시설이 경성공법에 비해 연안재해 대응력이 더 효과적일 수 있고, 재해 이후 회복력 탄력성을 지니고 있음을 시사한다.

염습지는 폭풍에서 발생한 침수를 완화하는 데도 탁월한 생태계다. Regine 외 연구진은 독일 북해 염습지에서 동위원소(δ18O) 측정을 통해 홍수 시 염생식물의 탁월한 해수 흡수 능력을 증명하였다. 연구결과에 따르면 염습지 맨 하단에 서식하는 갯끈풀(*Spartina anglica*)은 유입된 해수의 79~98%를 흡수하고 하부 갯벌에 서식하는 갯능쟁이속(*Atriplex portulacoides*)은 61~95%, 갯벌 상부에 서식하는 갯잔디류(*Elytrigia atherica*)는 약 25~39%의 해수를 흡수하는 것으로 나타났다.[30] 이와 같이 1㎢의 습지가 매년 평균 180만 달러 가치의 폭풍우 재해 대응 기능을 제공한다. 개방 수역의 연안습지 비율이 1% 증가하더라도 약 7억~10억 원(59만~79만 7,000달러)의 폭풍 피해를 방지할 수 있다.[31]

28) Hartig et al.(2002), p. 76.
29) Gittman et al.(2014), p. 94; Möller et al.(2014), p. 727.
30) Redelstein et al.(2018), p. 607.
31) Americna Flood Coalition 웹페이지(검색일: 2022.6.15.)

〈그림 2-6〉 염습지 파도 흡수 모식도



자료: ESRI 보도자료(검색일: 2022.7.1.)

미국의 경우 염습지 보존을 통해 연간 태풍 피해액의 29조 원을 저감하는데, 허리케인 샌디가 강타한 2012년의 경우 염습지로 인해 연안 침수 피해액 중 약 7,850억 원이 감소한 것으로 드러났다.[32] 1976년 미국 플로리다를 시작으로 전 세계 다양한 나라에서 현장 실험을 통하여 염습지의 파고 및 파력 감쇠 효과를 증명하였다. 초기 연구인 Wayne(1976)과 Knutson et al.(1982)은 염색식물 군락 안에서 파도 감소량을 측정하였다.[33] 이후 Knustson et al.(1982)은 파도가 폭이 30m인 염습지를 통과하며 파고의 94%가 감소하고, 폭 2.5m를 통과할 때 파고의 40%가 감소함을 보고하였다. 이후 Möller & Spencer(2002)는 비식생 갯벌과 식생 갯벌인 염습지 두 곳의 파도를 측정하여 감쇠 효과를 비교하였으며 갯벌보다 염습지에서 파도 분쇄 효과가 더 높음을 증명하였다.[34] Cooper(2005)의 1년에 걸친 광범위한 연구에 따르면, 갯벌에 비해 염습지의 파도 감쇠력이 최소 2배

32) U.C. Santa Cruz 보도자료(검색일: 2022.5.5.)
33) Wayne(1976), p. 6; Knutson et al.(1982), p. 87.
34) Möller & Spencer(2002), p. 506.

크다고 보고되었다.[35] 최근 인하대 하호경 교수 연구진에 의해 우리나라 강화도에 서식하는 갯끈풀 군락의 유효한 파도 감소 효과가 입증되었다.[36] 근해 유체역학과 결합된 함수에서 기인한 식물의 마찰력에 의한 파력 감쇠 효과는 당연한 결과일지 모른다.

〈표 2-7〉 현장 측정을 통하여 염생식물의 파도 감쇄 효과를 증명한 주요 연구 목록

연구 저자	연구 지역	주요 염생식물
Bradley and Houser (2009)	미국 플로리다	*Thalassia testudinum*
Cooper(2005)	영국	*Puccinellia maritima, Atriplex portulacoides, Salicorinia europaea, Spartina maritima, Spartina alterniflora* (갯끈풀)
Jadhav and Chen(2013)	미국 루이지애나	*Spartian alterniflora*(갯끈풀)
Knutson et al.(1982)	미국 버지니아	*Spartian alterniflora*(갯끈풀)
Mazda et al.(2006)	베트남	*Sonneratia sp.*
Möller et al.(1999)	영국	혼합 염생식물
Möller and Spencer (2002)	영국	혼합 염생식물
Möller(2006)	영국	혼합 염생식물
Mork(1996)	노르웨이	*Laminaria hyperborea*
Paul and Amos(2011)	영국	*Zostera noltii*
Quartel et al.(2007)	베트남	*Kandelia candel, Sonneratia sp., Avicennia marina*
Vo-Luong and Massel (2008)	베트남	*Avicennia sp., Rhizophora sp.*
Wayne(1976)	미국 플로리다	*Spartina alterniflora*(갯끈풀), *T. testudinum*
Ysebaert et al.(2011)	중국	*Scirpus mariqueter, Spartina alterniflora*(갯끈풀)
Choi et al.(2021)	한국	*Spartina alterniflora*(갯끈풀)

자료: 표에 정리된 연구를 참고하여 저자 작성

35) Cooper(2005), p. 28.
36) Seo, Choi, & Ha(2021), p. 6.

〈그림 2-7〉 굴망태와 염생식물을 활용한 침식해안 복원 모습



자료: 델라웨어 숨쉬는 해안선 웹페이지(검색일: 2022.5.7.)

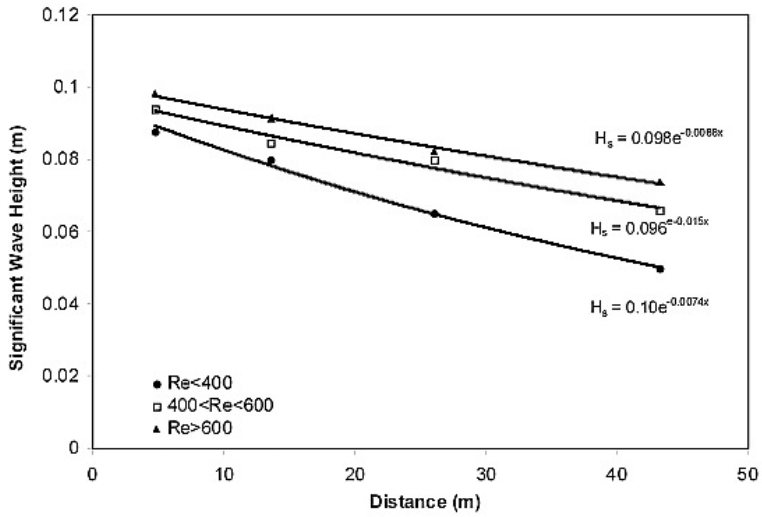
그 외 염습지는 공기 중 이산화탄소를 서식 퇴적층에 격리하는 탄소흡수율이 열대우림보다 50배 이상 높은 생태계로, IPCC에 의해 주요 탄소흡수원인 블루카본으로 인정받고 있으며 그 외 물 정화 기능, 생물 다양성 증대, 서식지 제공 등 중요한 생태계 서비스 기능을 가진다.[37]

(2) 해초지(Seagrass bed)[38]

다년생의 해초가 연안 퇴적물에 뿌리를 내리고 서식하여 형성된 해초군락은 파도가 강하거나 물의 탁도가 높은 곳을 제외한 전 세계 대부분의 연안에 존재한다. 해초지는 파고의 약 35~71%를 감소시키며 해초지 잎과 뿌리의 퇴적물 포집 효과로 해안선의 침식을 방지한다. Bradley & Houser (2009)가 해초지에서 디지털 비디오카메라와 ADV(Acoustic Doppler Velicometer)를 통해 측정한 바에 따르면 파도 높이는 해초 첫 5m 지대를 통과할 때 0.02m(~20%)로 증가하지만 그 후 파고가 기하급수적으로 감소함을 관찰하였다.[39]

37) Mcleod et al.(2011), p. 552.
38) The World Bank 웹페이지(검색일: 2022.6.5.)
39) Bradley & Houser(2009), p. 6.

〈그림 2-8〉 해초지 통과 거리에 따른 레이놀즈(Re)별 유의 파고 높이(Hs)



자료: Bradley & Houser(2009), p. 6

해초지는 1980년대 이후로 연간 약 7%의 면적(약 110㎢)이 유실되고 있어 복원 및 보존이 시급한 연안 생태계 중 하나다. 미국의 경우 해초지 1헥타르(100m x 100m) 면적을 복원하는 데 드는 비용은 약 1억 3천만 원으로 경성공법에 비해 저비용이다. 그 외 해초지는 연안 오염물질을 정화하며 다양한 생물의 산란장 및 서식처를 제공하여 어업을 활성화하고 탁월한 탄소흡수율을 가지는 생태계다. 특히 미국은 해초지의 부영양화 감소 기능으로 연간 2,380조 원의 혜택을 얻는 것으로 드러났다.

〈그림 2-9〉 미국 연안 해초지 모습



자료: Wild fact 웹페이지(검색일: 2022.5.20.)

(3) 사구(Beach dune)

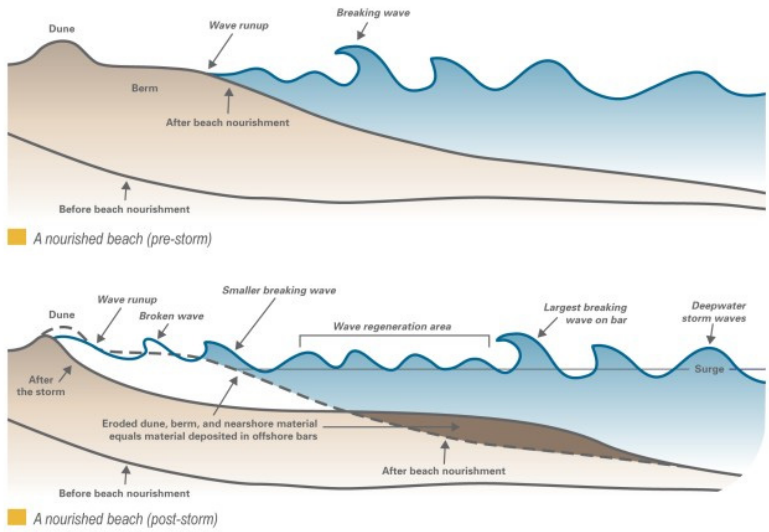
사구 복원의 전형적인 방식은 침식 해안에 모래를 보급해 해변을 조성하는 양빈이다. 빙하지대를 제외한 전 세계 연안의 약 34~40%에 사구가 존재하지만 매립 및 인공시설 건설로 해빈의 폭이 좁아지고 해수면 증가의 영향과 더불어 전 세계 해변 모래 상당수가 유실되고 있는 실정이다.[40]

염습지나 해초지의 경우 해당 생태계 통과 전 위치에서의 파력과 통과 후 위치에서의 파력을 각각 측정해 해당 생태계의 외력 흡수 효과를 계산할 수 있다. 하지만 사구의 경우 파도와 태풍 에너지를 흡수하여 사구의

40) The World Bank 웹페이지(검색일: 2022.06.05.)

형태를 변화시키며 외력을 수용한다. 이러한 이유로 사구의 외력 흡수도를 측정하는 것은 불가능하며 관련 해외 연구도 부재한 상태다. 해변 모래가 파력을 감쇄함으로써 해안선을 견고하게 하여 침식을 완화할 뿐 아니라 사구 식생은 풍속을 약화해 사구를 보존하고 해빈의 연안재해 대응력을 향상한다. 그 외 양빈을 통하여 관광 및 레크리에이션 장소를 제공하고, 지하수 저장고 및 제공원으로 기능한다.

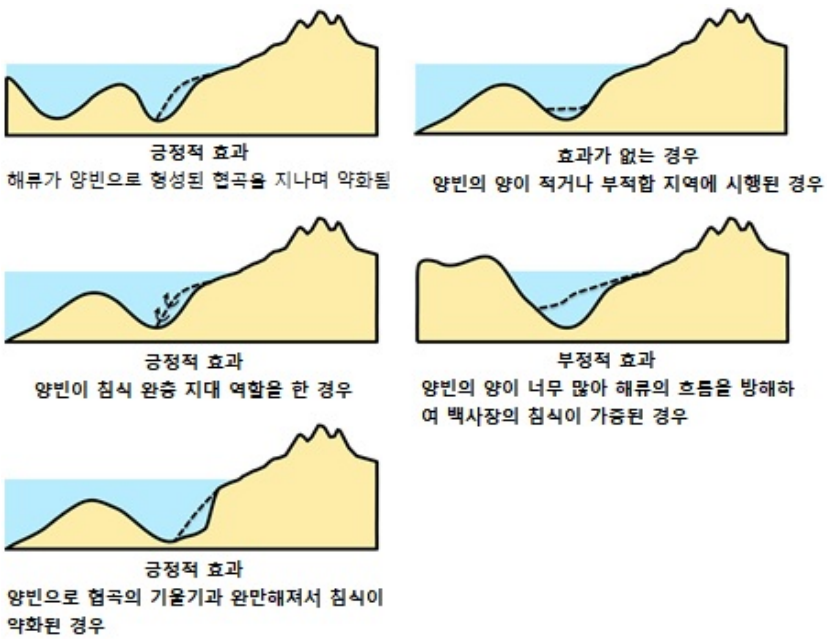
〈그림 2-10〉 폭풍해일에 대한 양빈 전·후 해변 변화



자료: 미국 국방부 홈페이지(검색일: 2022.4.6.)

하지만 모든 양빈이 다 효과적인 것은 아니다. 해저 지형에 맞는 양빈 유형을 선별하여 시행할 필요가 있다. 양빈량이 너무 적으면 효과가 발생하지 않으며 반대로 너무 많아 해수 흐름을 막으면 침식이 가중되기도 한다.

〈그림 2-11〉 양빈 성공 및 실패 유형



자료: Brand, Ramaekers & Lodder(2022), p. 11.

(4) 굴 암초(Oyster reef) 및 굴패각

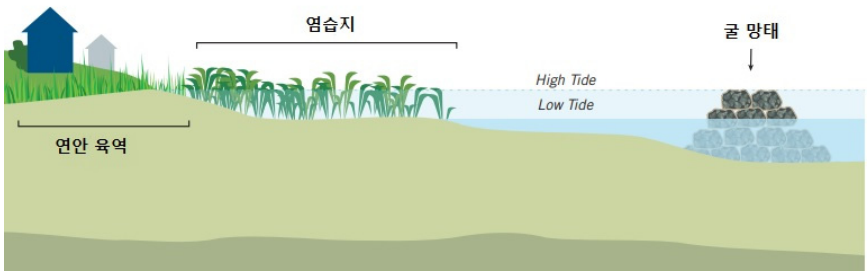
굴 암초는 천연 해안 완충 역할을 할 수 있으며, 해안선으로 향하는 파도 에너지를 흡수하고 파도, 해수면 상승 및 폭풍으로 인한 침식을 줄여준다. 굴 암초의 물리적 구조는 물의 흐름 패턴을 변경하고 파력을 약화한다. 연안 재해 대응 측면에서 굴 암초 이용은 폭풍해일과 같은 강한 파도보다 낮은 파도에서 효과적이다. 예를 들어, 미국 앨라배마주 모바일 베이(Mobile Bay)에서 복원된 5.85km의 굴암초는 평균 및 상위 10% 파도 높이와 에너지를 각각 53~91%, 76~99% 감소시키는 것으로 나타났다.[41] 굴 암초는 연안 부유성 퇴적물을 포집 및 축적하여 해안선을 안정화하고 갯벌과 염습

41) Kroeger(2012), p. 27.

지 가장자리를 보호한다. 또한 수질을 개선하여 해초와 기타 수중 수생식물의 성장을 강화한다.

최근 미국을 중심으로 굴패각을 해안선과 평행하게 설치하여 침식을 완화하는 그린인프라 기법이 확산되고 있다. 굴패각에는 많은 공극이 형성되어 파력을 효율적으로 분산할 뿐 아니라 공극 속에 다양한 패각류와 어초가 성장하는 서식처로 활용된다.

〈그림 2-12〉 굴 망태를 이용한 그린인프라 모습



자료: New Jersey Resilient Coastlines Initiative(2016), p. 6.

2) 연안 그린인프라 경제성 평가 사례

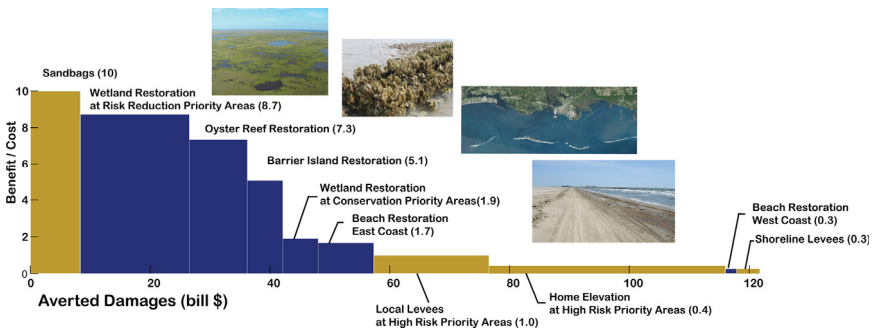
(1) 자연기반해법별 비용 효율성 비교: 미국 걸프만 연안[42]

미국은 2030년까지 홍수로 인한 연안 피해액이 1,340억~1,766억 달러(약 160조~210조 원)이고, 2050년까지 그 피해액이 2배 증가할 것으로 예측된다. 산호초, 굴 암초, 맹그로브숲 및 염습지 같은 해안 생태계는 파도 에너지를 감소시키고 퇴적물을 포집하여 해일을 약화함으로써 해안을 침식과 침수로부터 보호하는 효과가 높다. 자연기반 해법으로 피해액의 42.8~57.2%(68조~120조 원)를 예방할 수 있다. 자연기반 해법 적용 시,

42) Reguero et al.(2018)

평균 편익 대 비용 비율(Benefit to cost ratio, BCR)이 3.5 이상으로 비용 효과적이다. BCR이 높고 혜택도 높은 해법은 습지 및 굴 암초 복원이며, Sandbags의 경우 BCR이 가장 높지만 다른 측정치에 비해 전반적인 혜택(그래프 너비)이 낮다.

〈그림 2-13〉 자연기반 해법 수단별 비용 편익 비율



자료: Reguero et al.(2018), p. 13.

(2) 염습지 연안재해 방어효과 비용편익 산정 : 영국 에식스 염습지[43]

영국 에식스((Essex) 지역은 40헥타르의 염습지 복원을 위해 기존 방조제의 2km를 뚫어 해수유통을 하였다. 사업 결과로 염습지 폭에 따른 연안재해 대비 효과를 방조제로 대신할 경우 드는 비용을 산정하였다. 80m 폭의 염습지는 홍수 및 침식방지 측면에서 방조제 3m를 쌓는 효과가 있으며, 3m 높이 방조제를 건설할 때마다 400파운드(65만 원)/m의 비용이 발생하는 것으로 나타났다. 염습지가 존재하지 않는 경우 12m 높이의 방조제를 건설해야 하며, 그에 따른 비용은 5,000파운드(810만 원)/m인 것으로 나타났다.

43) Dixon et al.(1998)

〈표 2-8〉 염습지와 방조제 설치비용 비교

염습지 폭	방조제 높이	설치 비용
80m	3m	400파운드 /미터
60m	4m	500파운드 /미터
30m	5m	800파운드 /미터
6m	6m	1,500파운드 /미터
0m	12m	5,000파운드 /미터

자료: Dixon et al.(1998), p. 107.

(3) 중국 염습지의 연안재해 대응 효과 분석[44)]

중국 연안에 설치되었던 다양한 방조제 건설비용과 갯끈풀 식생 비용을 비교하고 생태공학적 대응 효과를 분석하였다. 염생식물 식재로 인한 파력 감쇠 효과와 퇴적물 증가율을 조사하였는데 그레이인프라 방식에 비해 염생식물을 심어 자연 기반적 해법을 이용한 생태공학적 대처가 해안재해 대응에 더 우수한 성능과 저렴한 비용이 드는 것을 밝혀냈다. 1983~1986년 사이 10,000m^3의 riprap(해안선에 암석을 쌓아 방어벽을 설치하는 기법)을 14만 4천 위안(2,700만 원)을 들여 설치했지만 해안선이 지속적으로 무너진 반면, 1986년 800위안(15만 원)을 들여 갯끈풀 70체를 심은 후로는 갯끈풀의 퇴적물 포집 및 파력 감쇠 효과로 2년 후 연안지대가 30cm 상승한 것으로 나타났다.

〈표 2-9〉 국외 연안 그린인프라 비용편익 분석 사례 비교

구분	미국 걸프만	영국 에식스 염습지	중국 염습지
대상	• 자연 기반 해법별 비용 효율성 비교	• 홍수 및 해안 방어에서 방조제 대비 염습지의 효과	• 중국 연안에 설치된 다양한 방조제 건설비용과 갯끈풀 식생 비용을 비교하여 생태공학적 대응 효과 분석

44) Chung(2006)

구분	미국 걸프만	영국 에식스 염습지	중국 염습지
평가 항목	• 그린인프라 기반 해법, 인공구조물의 그레이 해법, 정책적 해법에 따른 비용편익	• 염습지 폭에 따른 해안재해 대비 효과를 방조제로 대신할 경우 드는 비용 산정	• 방조제 건설비용 및 갯끈풀 조성비용 • 연안재해 대응 효과
비용	• 2030년까지 홍수로 인한 연안 피해액은 1,340억~1,766억 달러(약 160조~210조 원) • 2050년까지 그 피해액은 2배 증가할 것으로 예측	• 3m 높이의 방조제를 해안선을 따라 1m 건설할 때마다 400파운드(65만 원)의 비용 발생	• 연안침식 방지를 위한 riprap 설치비용은 14만 4천 위안(2,700만 원) • 침식 지속으로 연안복구를 위한 비용 발생
편익	• 자연 기반 해법으로 피해액의 42.8~57.2% 손실 예방(68조~120조 원) • 자연 기반 해법 적용 시, BCR이 3.5 이상으로 비용 효율적	• 염습지 조성으로 방조제 건립에 따른 비용 절약 • 침식방지, 생물다양성 증가 및 서식지 복원 혜택	• 갯끈풀 70체를 식재하기 위한 비용은 800위안(15만 원) • 갯끈풀의 퇴적물 포집 및 파력 감쇠 효과로 침식방지 및 2년 후 연안지대 30cm 상승

자료: 본문 내용을 바탕으로 저자 작성

제2절 우리나라 연안 그린인프라 현황

이 절에서는 우리나라 연안 그린인프라의 현황과 변화양상에 대해 살펴보았다. 구체적인 대상은 자연해안선, 갯벌, 사구, 염습지 및 해초지 등이다. 전반적으로 우리나라의 연안 그린인프라는 감소하는 추세로 감소의 주된 원인은 인간의 영향이다. 자연해안선도 감소하는 추세로 인간에 의한 연안매립, 방파제 및 해안도로 건설이 주요 원인이다. 해안사구 또한 유사하게 형질변경, 물리적 제거, 과도한 이용 등 인간에 의한 영향으로 감소추세다. 한편 갯벌은 1990년대 이후 면적 변화가 크지 않으며, 이는 갯벌의 가치에 대한 인식 변화가 정책에 반영된 결과다. 다만 염습지 및 해초지의 경우 축적된 자료가 부족하여 추이를 판단하기에는 다소 무리가 있다.

1. 자연해안선

해양수산부(2021)[45]에 따르면, 우리나라 해안선은 약 15,282km로 자연해안선이 약 9,832km(64.3%), 인공해안선이 약 5,487km(35.7%)를 차지한다. 2014년 대비 전체 해안선 길이는 약 319km 증가하였는데 자연해안선은 약 45km 감소하였고 인공해안선은 약 401km 증가하였다. 인공해안선이 증가한 이유는 연안개발에 따른 연안매립과 방파제, 해안도로 등의 건설 때문이다. 해역별로는 서해안 46%, 남해안 45%, 동해안 9% 수준이다. 전남은 자연해안선이 99.90km 감소하였고 인공해안선은 229.13km 증가하였다. 전남에 가장 긴 해안선이 분포하는데 전체의 44.97%이며 다음으로 경남(16.21%), 충남(7.94%), 인천(7.05%) 순이다. 자연해안선 비중은 강원, 전남, 제주 등에서 높았다.

〈표 2-10〉 해안선 현황

단위 : km

구분	2014년 해안선			2021년 해안선			증감		
	자연	인공	전체	자연	인공	전체	자연	인공	전체
전국	9,877.13	5,085.68	14,962.81	9,831.69	5,486.78	15,281.68	-45.44	401.10	318.87
부산	208.01	171.81	379.82	203.55	205.25	408.80	-4.46	33.44	28.98
인천	704.85	373.97	1,078.82	649.11	428.25	1,077.36	-55.74	54.28	-1.46
울산	51.96	114.84	166.80	51.87	98.36	150.23	-0.09	-16.48	-16.57
경기	101.00	159.12	260.12	78.46	189.48	267.94	-22.54	30.36	7.82
강원	286.54	115.37	401.91	298.97	139.25	438.22	12.43	23.88	36.31
충남	768.98	473.05	1,242.03	754.94	458.04	1,212.98	-14.04	-15.01	-29.05
전북	343.60	204.93	548.53	328.65	219.93	548.58	-14.95	15.00	0.05
전남	4,783.59	1,959.68	6,743.27	4,683.69	2,188.81	6,872.50	-99.90	229.13	129.23
경북	332.11	204.88	536.99	342.37	225.34	567.71	10.26	20.46	30.72
경남	1,426.16	1,086.62	2,512.78	1,430.53	1,047.28	2,477.81	4.37	-39.34	-34.97
제주	359.45	192.33	551.78	348.65	223.27	571.92	-10.80	30.94	20.14
기타	510.88	29.08	539.96	650.98	36.65	687.63	140.10	7.57	147.67

자료: 해양수산부 보도자료(2021.6.21.)(검색일: 2022.6.9.)

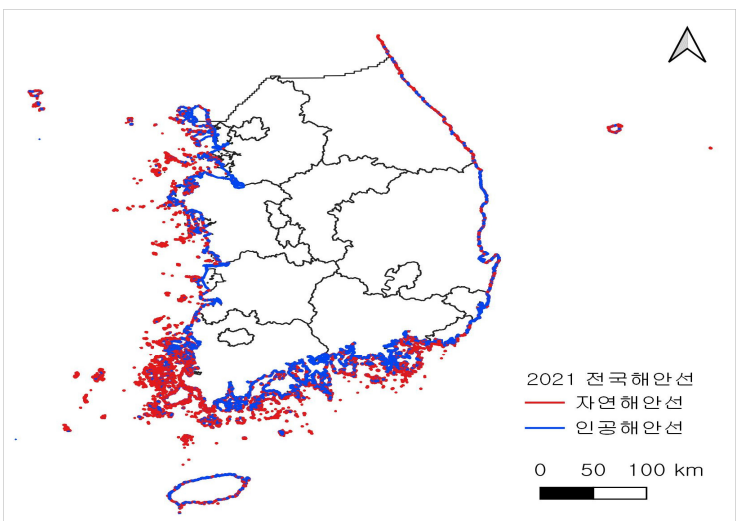
45) 해양수산부 보도자료(2021.6.21.)(검색일: 2022.6.9.)

〈표 2-11〉 지역별 해안선 비중

구분	해안선 유형 비율(2021년, %)			전국 대비 해안선 비중 (%)
	자연	인공	전체	
전국	64.34	35.70	100	100.00
부산	49.79	50.21	100	2.68
인천	60.25	39.75	100	7.05
울산	34.53	65.47	100	0.98
경기	29.28	70.72	100	1.75
강원	68.22	31.78	100	2.87
충남	62.24	37.76	100	7.94
전북	59.91	40.09	100	3.59
전남	68.15	31.85	100	44.97
경북	60.31	39.69	100	3.71
경남	57.73	42.27	100	16.21
제주	60.96	39.04	100	3.74
기타	94.67	5.33	100	4.50

자료: 해양수산부 보도자료(2021.6.21.)(검색일: 검색일: 2022.6.9.)

〈그림 2-14〉 해안선 현황



자료: 공공데이터포털 웹페이지(검색일: 2022.12.6.)의 해안선 자료를 바탕으로 저자 작성

2. 갯벌

현재 우리나라에서는 갯벌과 연안습지가 법률상 동의어로 활용되고 있으며, 국가에서 제공하는 통계 또한 동일하다. 「습지보전법」에 따르면 연안습지는 "만조 때 수위선과 지면의 경계선으로부터 간조(干潮) 때 수위선과 지면의 경계선까지의 지역"이다. 실제로 국가에서 제공하는 통계 자료를 살펴보면 본 연구에서 정의하고 있는 갯벌 자료에 해당함을 알 수 있으며 연안습지는 염습지 현황에서 살펴보았다.

〈표 2-12〉 갯벌 면적 현황

단위 : ㎢

구분	1987	1998	2003	2008	2013	2018	증감 ('87-'18)	증감 ('98-'18)
합계	3,203.6	2,393	2,550.2	2,489.4	2,487.2	2,482	-722	89
경기	1,179.6	153.5	177.8	168.8	165.9	167.7	-1,012	14
인천	-	685	737.1	703.9	709.6	728.3	43	43
충남	434.2	304.2	367.3	358.8	357	338.9	-95	35
전북	321.6	113.6	132	117.7	118.2	110.5	-211	-3
전남	1,179.1	1,054.1	1,017.4	1,036.9	1,044.4	1,053.7	-125	0
경남 및 부산	89.1	82.6	118.6	103.3	92.1	82.9	-6	0

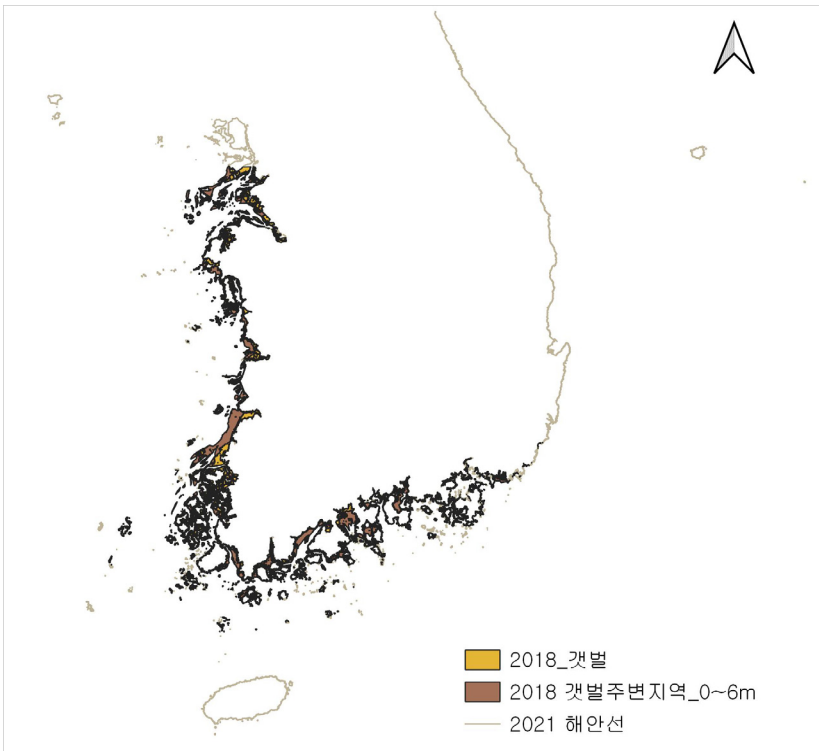
자료: 통계청 웹페이지(검색일: 2022.12.6.)

해양수산부에서 5년마다 조사하는 갯벌 현황을 살펴보면 전남이 가장 넓으며, 인천, 충남, 경기 순서이다. 연도별로 살펴보면, 1987년과 1998년 사이 갯벌 면적이 급격하게 줄어든 이후 소강상태를 보이고 있다. 지난 1987년과 2018년을 비교하면 722㎢의 면적이 감소한 것으로 나타난다.[46] 경기도에서 1,000㎢가 넘는 면적이 감소하였으며, 전라북도와 전라남도에서도 많은 면적이 감소하였다. 그러나 1998년과 2018년을 비교하

46) 1987년 인천광역시의 갯벌 면적이 존재하지 않음에 주의

면 사뭇 다른 추이를 보인다. 20년간 갯벌의 면적은 89㎢ 증가하였으며, 전북을 제외한 모든 지역에서 갯벌 면적의 증가가 발생하였다. 이는 사회적, 환경적 요구로 인한 간척의 감소, 갯벌 복원사업 진행 등의 영향으로, 갯벌의 유지 및 복원을 통해 얻을 수 있는 가치가 개발을 통한 가치보다 높을 수 있다는 인식이 반영된 결과다. 한편 과학기술의 고도화에 따른 갯벌 면적 조사의 정밀도 향상도 영향을 미쳤을 수 있다.

〈그림 2-15〉 갯벌 현황



자료: 해양환경정보지도 웹페이지(검색일: 2022.12.6.)의 갯벌 자료 및 공공데이터포털 웹페이지(검색일: 2022.12.6.)의 해안선 자료를 바탕으로 저자 작성

3. 사구

해안사구는 고파랑, 해일, 태풍 등이 발생 시 침식되어 해빈 등에 모래를 공급해주는 공급처 역할을 한다. 모래 해빈과 사구는 퇴적물을 공유하며 외력에 대응하는, 퇴적물 공유체계를 가지고 있다. 우리나라의 경우 서해안에 전체 사구의 절반 정도가 분포하는데, 이는 강을 통해 유입된 퇴적물 공급과 겨울철 북서계절풍의 영향이다. 반면 동해안의 경우 북서계절풍의 영향보다는 연안류에 의해 이동한 모래가 사주를 형성하고, 형성된 사주에 파랑이 영향을 미쳐 퇴적되는 사구형성 프로세스가 주도적이다(환경부·국립생태원, 2017).

〈표 2-13〉 해안사구 분포 현황

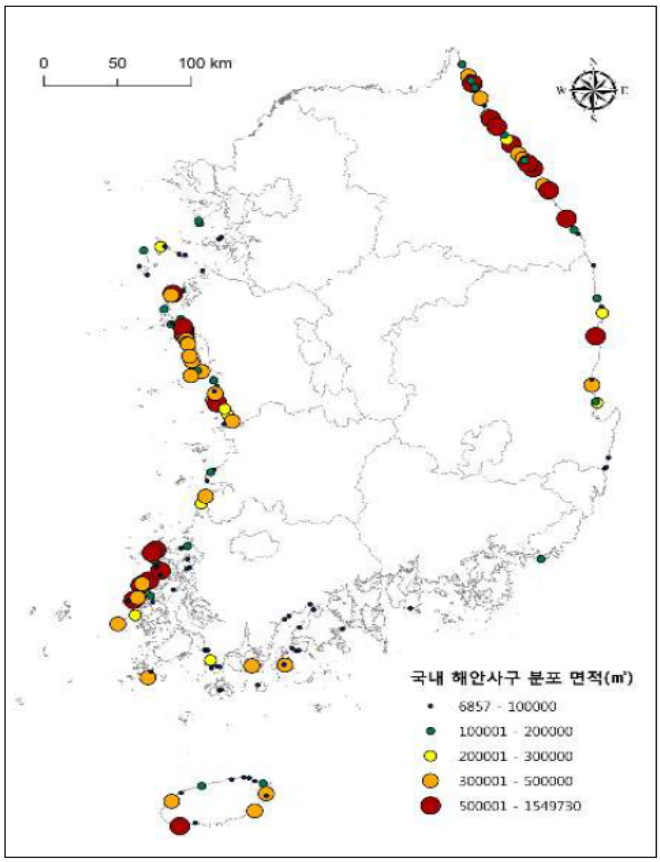
구분	사구수 (이력관리사구)	비율(%)	과거면적(㎢)	현재면적(㎢)	면적변화(㎢)
전국	189(19)	100	79.37	50.39	-29.0
부산	4	2.1	2.39	2.46	0.1
인천	18	9.5	3.01	2.85	-0.2
경기	2	1.1	0.15	0.07	-0.1
강원	30	15.9	14.27	11.38	-2.9
충남	42	22.2	18.72	15.03	-3.7
전북	7	3.7	3.52	2.05	-1.5
전남	58	30.7	19.69	11.68	-8.0
경북	12	6.3	3.96	2.38	-1.6
경남	2	1.1	0.11	0.11	
제주	14	7.4	13.55	2.38	-11.2

자료: 환경부·국립생태원(2017), p. 14.

2017년 진행된 환경부 조사에 따르면 우리나라 해안사구는 총 207개로, 목록화된 사구는 총 189개이며, 그중 이력이 관리되고 있는 사구는 총 19개이다. 지역별로 전남(58개소)과 충남(42개소)의 연안 및 도서 지역에 주

로 분포하며, 강원도에도 30개소 분포한다.[47] 2017년 해안사구의 면적은 약 50.39㎢로 처음 사구 조사가 실시된 2002년에 비해 약 29.0㎢(36.5%) 감소하였다. 부산을 제외한 전 지역에서 면적이 감소하였으며, 특히 제주의 경우 11.2㎢ 감소하였다. 해안사구는 형질변경, 물리적 제거, 과도한 이용 등의 인위적인 개발 행위로 인해 주로 면적이 감소하였다.[48]

〈그림 2-16〉 사구 현황



자료: 국립생태원(2017), p. 2.

47) 환경부·국립생태원(2017), p. 14.
48) 해양수산부(2020e), pp. 45-48.

4. 식생분포 연안

앞서 언급한 갯벌 면적은 식생이 존재하는 갯벌과 식생이 존재하지 않는 갯벌 모두 포함된 면적이다. 여기에서는 식생이 존재하는 갯벌의 면적, 잘피의 면적, 바다숲 면적 등에 대해서 확인하고자 한다. 식생의 면적에 대한 주기적인 국가 통계는 존재하지 않는다. 다만 조사 자료(국가 해양생태계종합조사, 바다숲 실태조사자료)와 연구 성과물(블루카본 알앤디 등)을 통해 개략적인 규모를 파악해 볼 수 있다. 이 연구에서 활용한 정보의 출처는 〈표 2-14〉와 같으며, 전체 자료는 '블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성 기술개발' 연구에서 구축한 '블루카본 정보도'를 통해 획득하였다.

〈표 2-14〉 연안 식생 자료 출처

구분	자료 출처
잘피	KOEM(2018), 블루카본 1단계 연구산출물
염습지	해양수산부(2020a), 국가 해양생태계 종합조사 조사연보
바다숲	안양대(2019a), 바다숲-비암반 갯녹음 실태조사
	안양대(2019b), 바다숲-암반 갯녹음 실태조사

자료: 저자 작성

〈표 2-15〉 연안 식생분포 현황

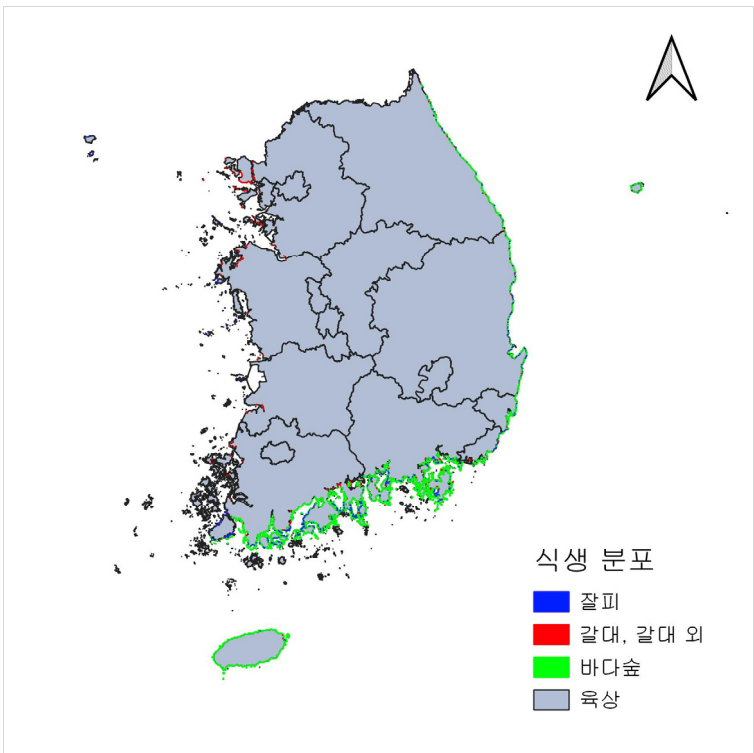
단위 : ㎢

구분	염습지(갈대 등)	바다숲	잘피	합계
전국	13.83	518.98	10.85	543.65
부산	0.47	14.40	0.14	15.01
인천	3.46	-	0.14	3.6
울산	0.00	10.91	0.02	10.93
경기	1.68	-	-	1.68
강원	0.02	27.41	0.29	27.72
충남	1.92	-	0.16	2.08
전북	1.01	-	0.11	1.11
전남	4.12	216.58	6.91	227.6
경북	0.08	28.67	0.54	29.29
경남	1.06	177.83	2.54	181.42
제주	0.01	43.18	0.01	43.19

자료: 〈표 2-14〉의 자료 출처를 바탕으로 저자 분석 및 작성

염습지 면적은 총 13.83㎢, 바다숲 면적은 총 518.98㎢, 잘피 면적은 총 10.85㎢, 합산하면 총 543.65㎢다. 합산한 면적은 지역별로 전남 227.6㎢(41.87%), 경남 181.42㎢(33.37%)를 차지하였으며, 전북과 인천은 1% 미만이었다. 부산, 울산, 강원, 전남, 경북, 경남, 제주의 경우 바다숲의 비중이 95% 이상이었으나, 인천, 경기, 충남, 전북의 경우 염습지의 면적이 95% 이상의 비중을 차지하였다. 바다숲의 경우 한국수산자원공단의 바다숲 조성사업을 통해 진행되다 보니, 지역적 편차가 크다. 보다 상세한 분석을 위해서는 시계열 자료를 획득하여 분석할 필요가 있다.

〈그림 2-17〉 염습지, 잘피, 바다숲 현황



자료: 〈표 2-14〉의 자료 출처를 바탕으로 저자 분석 및 작성

제3절 국내·외 연안 그린인프라 구축 사례

1. 국내 사례

1) 꽃지해변 연안정비 사업

충남 태안에 위치한 꽃지해변은 2020년 제1회 연안정비사업 우수사례 경진대회에서 최우수상을 받은 곳으로 연안 그린인프라를 적용한 국내 대표적 사례로 손꼽힌다. 양빈을 통한 사구 복원과 해안도로 같은 경성구조물의 일부를 철거하여 자연환경의 회복력과 탄력성을 이용해 연안 침식에 대응하도록 설계되었다.

〈표 2-16〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 개요

사업 구분	시설 구분	시설 종류별 규모	사업비(백만 원)
연안보전	침식	• 사구복원: 3,000m • 양빈: 270,000m^3 • 표사차단공: 850m • 부대공 1식	23.947
	친수	산책로 및 경관시설 1식	

자료: 해양수산부(2020d), p. 100 사업개요를 수정함

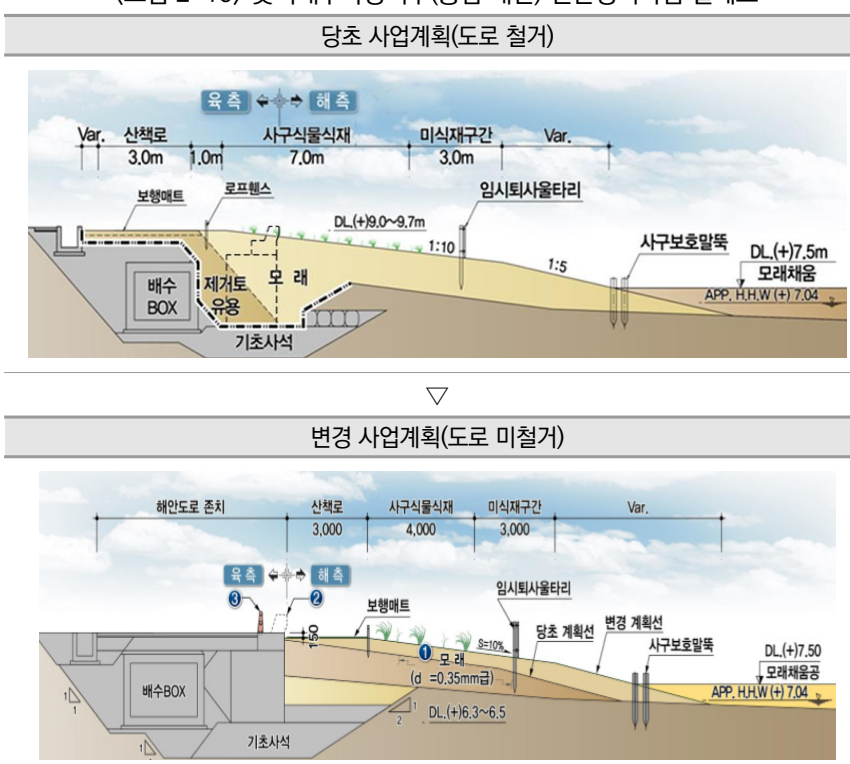
〈그림 2-18〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 총괄도



자료: 해양수산부(2020d), p. 100.

꽃지해변은 많은 관광객이 찾아드는 곳이었으나 2002년 안면도 국제 꽃박람회 방문객을 위한 호안도로 건설 이후 침식이 지속되었다. 도로 설치로 인해 입사파와 반사파가 중첩되고 고파랑까지 내습하면서 사구의 파랑 흡수 기능이 상실되었다.[49] 이로 인해 백사장 모래가 유실되고 배후부지에 침식이 지속되면서 2012년부터 꽃지해변은 침식 C등급으로 평가되었다. 대방해양수산청은 그동안의 경성공법을 이용한 침식 대응 정비사업에서 벗어나 2016년부터 전액 국비를 투자하여 해안도로 3km를 철거하고, 이를 모래와 사구식생으로 조성하는 연성공법을 적용한 정비사업을 추진하였다.

〈그림 2-19〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 설계도



자료: 해양수산부 보도자료(검색일: 2022.9.10.)

49) 조광우 외(2006), p. 63.

사업 추진 중 주민의 의견을 반영하여 당초 해안도로 3km를 철거할 계획에서 길이 1.8km로 축소하였다. 해변 부분의 콘크리트 벽 일부를 철거하고 양빈 및 표사차단공을 설치하여 백사장 평균 단면적이 2016년보다 30% 증가하였다. 이를 통해 사구 본래의 파력 흡수 기능이 회복되어 재해 위험 개선 측면에서 높은 평가를 받았다. 또한 넓은 해빈폭과 산책로 조성으로 관광객도 75% 증가하여 지역 경제 활성화에도 기여하였다.

〈그림 2-20〉 꽃지해수욕장지구(충남 태안) 연안정비사업 전·후 비교



자료: KtN 보도자료(검색일: 2022.5.1.)

2) 태안 사구 복원[50]

국립공원공단은 직원 및 1,000명 이상의 자원봉사자 인력을 통해 침식된 해안사구인 기지포, 삼봉 등 14곳에 모래포집기를 설치해 2001년부터 지속적으로 복원사업을 시행하였다.

모래포집기는 대나무를 엮어 만든 약 1.2m 높이의 울타리로 해안가에

50) 국립공원공단 보도자료(검색일: 2022.5.10.)

갈지(之)자 형태로 설치된다. 모래포집기 설치 사업은 바람에 날려 온 모래 모래를 퇴적시켜 침식된 지형을 복원하고 사구식물이 정착할 수 있도록 유도한다. 2001년부터 2020년까지 설치된 모래포집기의 총 길이는 약 10.7㎞로 축구장 9개 면적(65,750m^2)이 복원되었으며, 퇴적된 모래량(부피)은 약 7만 8,900m^3로 25톤 트럭 4,641대 분량에 달한다.

〈표 2-17〉 태안해안국립공원 내 14개소에서 시행한 사구 복원면적

사구 명칭	모래포집기 길이(m)	복원면적(㎡)
합계	10,663	65,750
학암포	450	2,300
구례포	575	3,000
먼동	200	1,550
백리포	215	1,000
도장골	210	1,400
몽산포	1,060	5,500
달산포	790	1,000
청포대	114	200
마검포	700	5,000
삼봉	2,389	7,800
기지포	2,430	20,000
안면	520	7,000
바람아래	580	6,000
할미섬	430	4,000

자료: 국립공원공단 보도자료(검색일: 2022.5.10.)

복원된 해안사구에는 통보리사초, 갯그령 등 10종의 사구식물이 자연적으로 유입돼 사구 생태계를 형성하였다. 국립공원공단은 2025년까지 바람 및 파도에 의한 침식, 탐방객 출입 등으로 훼손된 태안 기지포(5,000㎡), 먼동(2000㎡), 굴혈포(2000㎡) 세 곳을 포함한 해안사구를 지속적으로 복원할 계획이다.

3) 인천시와 한국남동발전 바다숲 만들기 사업(2021년~)

인천 영흥도 부근 무인도 앞바다는 돌과 모래가 있어 잘피가 서식하는데 최적의 조건을 보유하고 있다. 인천시는 2017년부터 바다 식목일을 맞아 영흥도 지역 어린이집 학생과 어업인 30여 명을 초청해 바다숲 체험행사를 개최하였다.[51] 인천시는 해초복원 관련 6건의 특허를 보유하고 있으며, 2022년에는 한국남동발전과 협력하여 잘피 이식을 통한 대규모 바다숲 만들기 사업을 시행하고 있다.[52] 뿌리와 잎, 줄기를 갖춘 다년생 해초인 잘피를 10여 개씩 묶어 수심 4~5m 바다 밑에 이식하는 방식으로 해초숲 생태계를 복원하고 있다. 인천시는 연안 10여 곳에 잘피를 이식한 뒤 3개월 후 생존율과 탄소성분 등을 분석할 계획이다.

〈그림 2-21〉 인천 영흥도 해초지 복원 모습



자료: KBS 보도자료(검색일: 2022.7.1.)

51) 경인일보 보도자료(검색일: 2022.3.4)
52) KBS 보도자료(검색일: 2022.7.1.)

2. 국외 사례

1) 미국 숨쉬는 해안선 사업(Living shoreline)

(1) 제도적 근거

전 세계적으로 이상기후와 해수면 상승으로 인한 해안 침수와 침식이 증가함에 따라 많은 국가가 해안 복원력을 높이는 방안을 모색하기 시작하였다. 이전의 경성공법으로 연안재해를 대응할 때의 한계점과 문제점이 대두되면서 그린인프라의 연안재해 대응에 대한 순기능적 연구결과를 토대로 자연생태계를 이용한 재해 대응방안을 시도하기 시작하였다. 그중 가장 대표적인 나라가 미국이다. 미국은 뉴욕을 강타했던 2012년 허리케인 샌디로 인해 역사상 두 번째로 큰 재해[53]를 겪었다. 연안 침수를 일으킨 가장 큰 요인은 인공시설물로 인한 낮은 배수율에 있었다.

기후변화로 미국 내 허리케인 발생이 증가하고 해수면 상승으로 인한 해안 침수 같은 위험에 직면하면서,[54] 미국 연방정부는 해안선의 회복력을 높이는 일을 주요 사회경제적 및 환경적 목표로 설정하였다. 그 예로, 대통령의 행정명령 13653은 '기후변화의 영향에 대한 미국의 준비'에 지역사회 회복력에 대하여 구체적으로 명시하였다. 이 행정 명령에서 회복력은 '변화하는 사항을 예측, 준비 및 적응하고 혼란에 대응하고 신속하게 복구하는 능력'으로 정의하였다. 미국 국립해양대기청(NOAA)은 회복력의 핵심 구성요소로 사회, 경제뿐만 아니라 환경을 포함하며 해안 복원력을 높이는 데 연안 생태계의 중요성을 강조하였다. 미국은 미 육군기술부대(Army Corps of Engineers)를 주관으로 국가허가 54(Nation Permit 54)라는 정책의 일환으로 연안

53) 2012년에 허리케인 샌디를 포함하여 11건의 기상 및 기후 재해가 발생하였고, 누적 사망자가 377명, 피해액이 1,100억 달러에 이르렀다. 이는 1,600억 달러의 피해를 입힌 2005년에 이어 두 번째로 큰 연안재해로 기록되었다

54) Shepard et al.(2012), p. 727.

구역관리법(Coastal Zone Management Act, CZMA)과 청정수역법(Clean Water Act, CWA)에 근거하여 숨쉬는 해안선 사업(Living Shoreline Project)을 시행하고 있다.

〈표 2-18〉 미국 연안 그린인프라 관련 정책인 국가 허가 54의 주요 내용

구분	주요 내용
목적	• 숨쉬는 해안선 사업 실행
주관 부처	• 미 육군기술부대(Army Corps of Engineers)
근거법	• 연안구역관리법(Coastal Zone Management Act, CZMA) • 청정수역법(Clean Water Act, CWA) – Section 401 water quality certification
주요 내용	• 미 육군기술부대에서 숨쉬는 해안선 신청 지역 검토 및 승인 • 대서양과 걸프연안에 위치한 18개 주 중 6개 주에서 국가 허가 54를 통해 숨쉬는 해안선 사업 승인 • 18개 중 14개 주는 '국가 허가 54'가 아닌 주(State) 법에 따라 일반 허가(general permit)를 통해 미 육군기술부대와 협력하여 숨쉬는 해안선 사업 시행 • 숨쉬는 해안선 주요 사업: 굴패각 우리(cage), 코코넛 매트를 말아 해안가에 둘러 퇴적물 포집을 용이하게 한 뒤 염생식물 식재, 하이브리드 공법 등

자료: Hilke, C. et al.(2020), pp. 6-7 보고서를 바탕으로 저자 작성

NOAA는 숨쉬는 해안선을 적용하기 위한 지침을 배포하고 있으며, 복잡하고 큰 규모의 사업일 경우 미 육군공병대에서 기술을 지원하고 있다. NOAA는 육지-물 경계면에서 서식지와 생태계 서비스를 보존하고 개선하기 위해 내만(즉, 개방된 해안으로 해양 파도 에너지에 직접적으로 노출되지 않은 해안)을 따라 해안선 안정화 기술로 숨쉬는 해안선 사업을 활용할 것을 권장하고 있다. NOAA는 성공적인 해안선 관리 방식을 개발하기 위해 사업 전에 여러 규모의 정부 및 외부의 다른 기관과 조기 조정을 권장하고 있다.

숨쉬는 해안선 지침은 해안을 안정화하는 데 우선적인 목표를 두고 관련 정보를 제공하고 있지만 모든 해안에 위치한 산호초, 굴 암초, 맹그로브, 해초지 및 습지와 같이 해안선 보호를 제공하는 기존 자연 생태계 보존에

도 목표를 두고 있다. 지침에는 1) 해안 안정화를 위해 적용 지역에서 적절한 기술을 선택할 때 고려해야 할 사항, 2) NOAA에서 해안선 안정화를 위해 숨쉬는 해안선을 장려하는 방법(파트너십, 자금 조달 및 기술적 지원), 3) 숨쉬는 해안선 적용 시 규제 사항 등에 관한 정보가 포함되어 있다.

〈표 2-19〉 숨쉬는 해안선 사업 적용 단계

구분	주요 내용
현장 분석	• 숨쉬는 해안선 사업 설계 전 부지 분석을 먼저 실시하여 해안선 안정화 사업이 특정 지역에 적합한지 여부 결정 • 이 분석에는 제방 침식률 및 표고, 파도 에너지, 우세한 바람과 파도의 방향, 식생 및 토양 유형에 대한 평가 포함
허가 승인 및 법률 준수	• 모든 연방, 주 및 지방 법률, 규정 및 제안된 복원 활동에 대한 허가를 준수하는지 여부 확인
현장 준비	• 적용 부지에 위치한 잔해 및 침식으로 불안정한 나무 등을 치우고 기존 침식 대응에 실패한 방파제와 격벽 제거 • 이로 인한 환경 오염물질 유출사항 해결
설치	• 숨쉬는 해안선의 전형적인 해안선 처리에는 습지 및 수중 수생식물 식재가 포함되며 바이오 로그 및 유기 섬유 매트와 같은 유기 재료 설치 • 개방해역일 경우 파도 에너지가 해안에 도달하기 전에 굴 암초 등을 이용한 '호안 연성화' 시행
모니터링 및 유지 관리	• 사업 성공 여부를 측정하기 위해 복원된 지역에 대한 과학적 모니터링 실시 • 잔해 제거, 식생 다시 심기, 모래 채우기 추가, 재료물 원상 위치 복구 등을 포함한 유지 관리 활동 실시

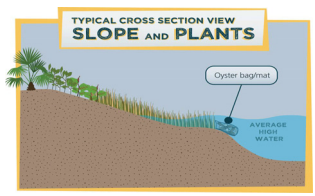
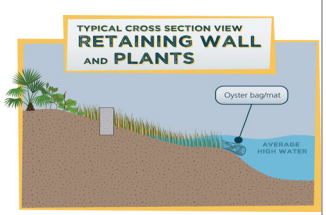
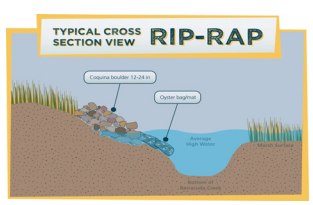
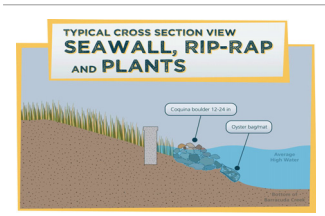
자료: NOAA, Fisheries 웹페이지를 참고하여 저자 작성(검색일: 2022.4.5.)

(2) 숨쉬는 해안선 사업 개요

숨쉬는 해안선은 해초나 염생식물 이식, 모래 또는 암석과 같은 천연 재료를 활용하여 해안선을 정비하는 사업이다. 숨쉬는 해안선으로 조성된 해초, 굴 암초대, 염습지 등은 콘크리트 방파제와 같은 경성구조물과 달리 시간이 지나도 스스로 자라는 특징이 있다. 숨쉬는 해안선은 자연 기반(natural-based), 녹색(green) 또는 부드러운 해안선(soft shoreline)에 포함되는 사업으로 해안 관리를 위한 저비용의 지속가능한 혁신기술로 평가받고 있

다. 숨쉬는 해안선의 대표적인 유형은 식물과 굴패각 등 자연물만을 이용한 방법이다. 두 번째는 패각암(coquina) 같은 친환경 재료를 사용하거나 기존 방조제를 그대로 두고 그 주변으로 식재 및 굴패각을 배치하는 '하이브리드 유형'이 있다.

〈표 2-20〉 숨쉬는 해안선의 주요 유형

	• 식물과 굴패각을 이용한 경사면 보강 (주요 식재 식물: 염생식물, 맹그로브)	• 파도 에너지가 낮거나 중간 정도이고 경사가 완만한 곳에서 적합 • 자생 식물은 뿌리로 해안선을 안정시키고 물고기와 야생 동물의 서식지 제공
	• 옹벽과 식물 및 굴패각을 이용한 경사면 보강	• 가파른 경사와 낮거나 중간 정도의 파도 에너지 지역에 적합 • 토종 식물/굴 암초 및 옹벽에 하이브리드 시스템 설치
	• 패각암 및 굴을 이용한 사석	• 파도 에너지가 높은 지역에 유용 • 패각암은 천천히 모래로 풍화되며 굴이 정착할 표면 제공
	• 기존 방파제, 식물, 천 석회암, 사석 및 굴 활용	• 파도 에너지가 높은 곳의 제방 내륙 쪽에 수생식물을 이식, 연안 쪽에는 천연 석회암 및 굴을 배치하여 다각적으로 파도 에너지 감쇠

자료: 미국 플로리다 숨쉬는 해안선 웹페이지를 참고하여 저자 작성(검색일: 2022.4.5.)

숨쉬는 해안선은 오래된 부두 또는 보트 정박지와 같은 노후 구조물을 대체하는 데 우선 적용되고 있다. 파도 에너지가 높은 개방 수역보다 해안가의 만, 강 및 해안가 주택 지역의 해안선 안정화를 위해 활용되고 있다. 해안선 안정화를 위한 자연적 및 구조적 조치(Natural and Structural Measures for Shoreline Stabilization) 보고서[55]에 따르면 숨쉬는 해안선 사업은 경성공법보다 비용이 훨씬 적게 들며, 설치비용은 약 30cm당(1ft) 1,000~5,000달러로 다양한 것으로 나타났다. 또한 숨쉬는 해안선을 유지하는 데 드는 비용은 일반적으로 약 30cm당(1ft) 연간 100달러 미만으로 유지비용 또한 낮은 것으로 드러났다.

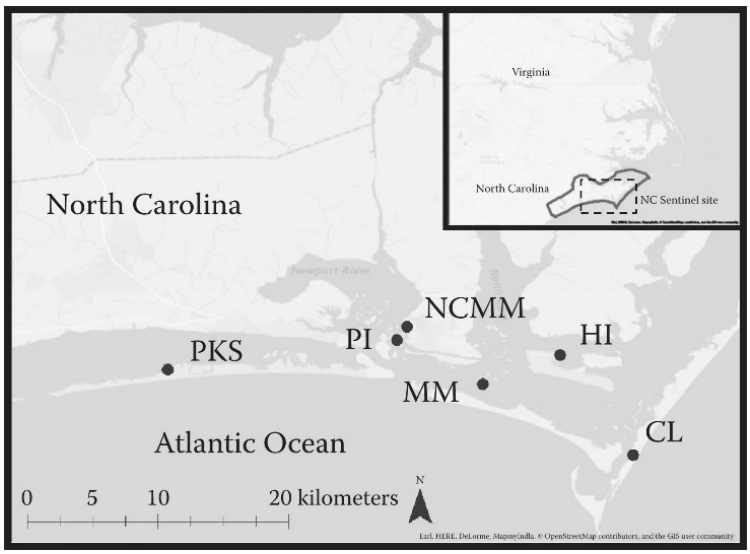
(3) 적용 사례

가. 노스캐롤라이나 센티넬 해안[56]

미국과 유럽의 대표적 염생식물인 갯끈풀을 이식하고 친환경적인 화강암 또는 굴망태를 이용하여 해수면과 비슷한 높이의 잠재(sill)를 설치한 노스캐롤라이나 센티넬 해안의 숨쉬는 해안선 사례를 살펴보았다. 노스캐롤라이나 센티넬 해안은 노스캐롤라이나 중부 해안에 위치하며, 국립하구 연구보호구역 등 다양한 해안생태계를 포함한다. 해당 구역에 양빈은 실시하지 않았고 갯끈풀(Spartina alterniflora, Spartina patens)을 식재하였다. 사업기간 동안 복원된 습지의 퇴적률은 자연 습지에서 기록된 것보다 약 1.5~2배 더 높았다. 자연 습지 퇴적물은 평균 유기물 함량이 1.5~6.0% 범위인 모래가 주를 이루고 있었다. 복원된 염습지에 식재된 갯끈풀의 줄기 밀도는 130~222개/m^2였으며 최대 줄기 높이는 64cm 이상이었다.

55) SAGE 보고서(검색일: 2022.8.8.)
56) Toft et al.(2017), pp. 1-181.

〈그림 2-22〉 숨쉬는 해안선 사업 재해 대응 능력 측정지점



주: 미국 노스캐롤라이나주의 사업 시행지역(PKS, PI, NCMM) 및 대조군인 자연 습지 지역(MM, HI, CL)
자료: Toft et al.(2017), p. 356.

〈그림 2-23〉 숨쉬는 해안선 사업 시·행 전후 비교



주: (좌) 미국 노스캐롤라이나주의 숨쉬는 해안선 사업 시행 전 연안, (우) 갯끈풀 이식과 화강암 및 굴망태를 이용한 친환경적인 잠재(sill)를 설치한 연안
자료: Toft et al.(2017), p. 369.

3년 후, 3개의 복원된 습지(NCMM) 중 하나가 최고 성공률을 나타내는 S를 달성하였다. 갯끈풀 줄기 밀도는 자연 변두리 습지 밀도와 동일한 반면, 분포 비율 및 최대 줄기 높이는 모든 사이트에서 자연 습지에서 훨씬 컸다. 대조군인 주변 염습지와 복원된 습지 사이에 물고기, 게 또는 새우의 평균 개체 수 차이는 없었지만 잔디새우(Palaemonetes vulgaris)는 복원 습지보다 대조군 습지에서 훨씬 더 풍부했다.[57]

미국 해안가 부동산 소유자는 숨쉬는 해안선을 적용한 해안 안정화 사업이 열대성 폭풍이나 허리케인을 동반한 파도 에너지에 견딜 수 있는지에 대한 문의를 많이 하였다. 이에 대해 과학적 자료에 기반한 답변을 마련하고자 2003년 이후 허리케인 발생 후 3곳의 복원지역(NCMM, PKS, PI)에서 나타난 변화를 모니터링하였다. 2003년 태풍 이사벨(Isabel) 당시 복원 습지는 조성된 지 3년 미만이었고 갯끈풀 줄기 밀도는 자연 습지보다 적었다. 그럼에도 자연 및 복원 습지 모두에서 폭풍 후 줄기 밀도는 폭풍 전에 기록된 것과 같거나 더 높아진 것을 발견하였다.[58] 또한 두 곳(PKS 및 PI)에서 측정된 습지 표고 변화는 대조군 및 복원 습지 모두에서 증가하였다.

〈그림 2-24〉 미국 경성공법 적용 해안선(A, B)과 숨쉬는 해안선 정비(C)



주: (A) 콘크리트, 석면 등으로 약최고 고조면 이상 높이에 배치된 수직 구조의 방파제(bulkhead), (B) 해수면 또는 그 이상 높이에 화강암 또는 콘크리트로 구성된 경사구조(사석), (C) 화강암, 이회토 또는 굴 껍질을 해수면과 비슷한 높이에 설치하여 퇴적물 유입 및 포집이 용이하게 한 구조물(sill)
자료: Gittman et al.(2014), p. 95.

57) Currin, Delano & Valders-Weaver(2008), p. 97.
58) Currin, Delano & Valders-Weaver(2008), p. 97.

2011년 8월 태풍 아이린은 식생 모니터링 기간이 얼마 남지 않은 시점에 사례 연구 지역을 통과하였다. Gittman et al.(2014)은 태풍 아이린이 통과함에 따른 노스캐롤라이나 해안선의 반응을 평가했으며, 습지대가 방파제보다 성능이 더 우수하다는 것을 발견하였다. 노스캐롤라이나 Rodanthe, Waves, 및 Salvo 해안에 설치된 방파제의 76%가 허리케인 아이린에 의해 손상된 반면, 염습지 해안선에서의 피해는 관찰되지 않았다. 또한 연구진은 허리케인 통과 전후에 대조군인 자연습지와 복원습지의 침식, 퇴적률 및 갯끈풀 줄기 밀도의 차이를 조사하였다. 태풍 전 해당 지역의 평균 갯끈풀 줄기 밀도는 300~400 줄기/m^2로 보고되었으며 자연습지와 복원습지 간에 차이가 없는 것으로 드러났다. 태풍 후 상대적으로 높은 파도가 치는 약 5km 해안선 지역에서는 두 습지 유형 모두에서 즉각적인 줄기 밀도 감소가 관측되었지만, 습지 표면 고도는 허리케인 전후로 동일하였다. 태풍 아이린이 발생한 1년 후 염생식물 밀도는 복원습지에서는 증가했지만 자연습지에서는 회복되지 않았다.[59] 이러한 결과는 복원습지가 친환경적인 잠재와 식생 이식이 결합된 숨쉬는 해안선 복원기술로 자연습지보다 폭풍우에 더 잘 대응하고 회복력 또한 빠름을 시사한다.

나. 뉴욕

뉴욕주 롱아일랜드사운드(Long Island Sound)의 450ft 해안선의 침식을 완화하기 위해 숨쉬는 해안선 사업이 시행되었다. 해당 구역은 이전에 인공구조물로 간이 방파제를 설치하고 양빈을 통해 침식을 완화하고자 했으나 효과가 나타나지 않았고 태풍 아이린으로 인해 거주지 주변 해안선이 파괴되고 심각한 침수가 발생하였다.

숨쉬는 해안선 사업으로 해안식물 식재를 통해 파력을 감소시키고 양빈을 통해 사구의 파력 흡수 기능을 회복시켜 연안 침식 및 침수 방지를 도모하

59) Gittman et al.(2014), p. 94.

였다. 이와 더불어 친환경 소재인 자갈 등을 조간대에 재배치하고 암석을 습지 가장자리에 둘러 퇴적물 축적 및 습지대 발달이 용이하도록 하였다. 해당 사업은 지역 개발 보조금 및 재해 복구기금(6만 6,645달러)을 사용하고 GZA GEOENVIRONMENTAL 업체가 시행하였다.[60]

〈그림 2-25〉 태풍으로 침수된 사구와 숨쉬는 해안선 사업 모습



주: (좌) 2011년 태풍 아이린으로 침수된 햅번 사구 거주지, (우) 숨쉬는 해안선 사업으로 연안 정비사업 중인 모습
자료: (좌) Hapburn Dune Living Shoreline Project 보고서(2019), p. 145.
(우) Fenwick 웹페이지(검색일: 2022.9.20.)

다. 샌프란시스코[61]

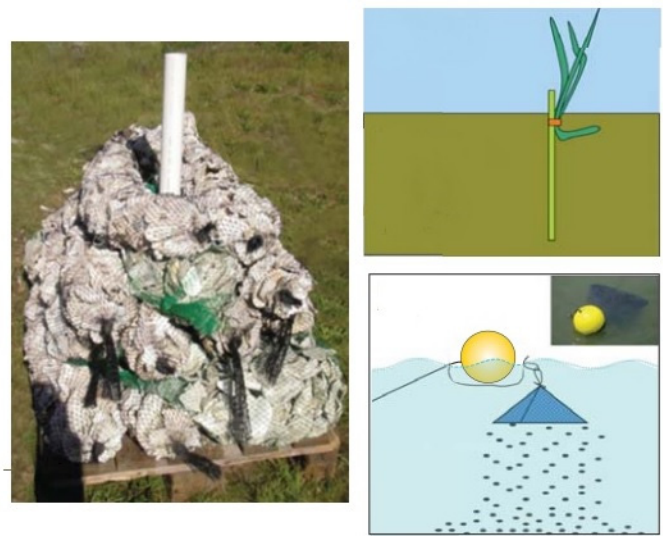
샌프란시스코 해안에 적용된 숨쉬는 해안선 프로젝트는 생물학적으로 풍부하고 다양한 서식지를 조성하는 동시에 해안선을 보호하기 위해 굴패각을 활용하고 잘피를 식재하였다. 프로젝트를 통해 생성된 서식지는 다양한 야생 동물에게 혜택을 주는 동시에 파도의 작용으로 인한 에너지를 줄이는 효과가 있다. 감소된 파도 에너지로 인해 해안선의 범람과 침식을 줄이고 퇴적물이 쌓이게 하여 해안선이 해수면과 함께 상승할 수 있도록 하는 '해안 탄력성'을 증가시키기 위해 숨쉬는 해안선 사업이 진행되었다.

굴패각이 든 망태와 잘피 모종은 해안에서 150~250m 떨어진 곳에 심어졌으며 숨쉬는 해안선 사업의 생물학적, 물리적 효과와 영향을 분석하기

60) Fenwick 웹페이지(검색일: 2022.9.20.)
61) Coastal Conservancy 웹페이지(검색일: 2022.9.20.)

위해 파도 감쇠도, 퇴적물 부착 정도, 생물다양성 및 수질 자료를 수집하였다. 굴 망태 제작을 위해 깨끗하게 처리된 50만 개 이상의 굴 껍질이 사용되었고 굴 망태로 인해 파도 에너지의 30~50%가 감소하는 것을 관찰하였다. 또한 굴 껍데기 주변에 15cm, 굴 망태 내부에 24cm 높이의 퇴적물이 쌓인 것을 발견하였다. 잘피서식과 더불어 흑굴, 게, 소하성 무지개송어와 같은 주요 종이 사업 해안에서 빠르게 증식하였다.

〈그림 2-26〉 굴패각 망태(좌)와 잘피 식재 모식도(우)



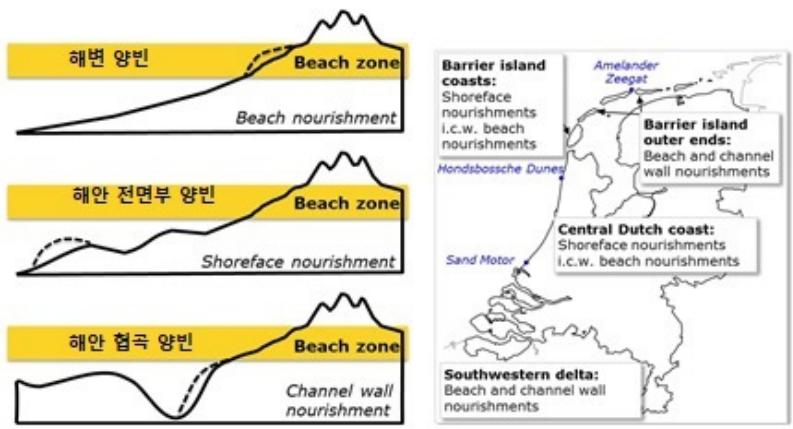
자료: Coastal Conservancy(2012), p. 4.

2) 네덜란드 사구 보존 사업(dynamic preservation)

네덜란드는 1,800명 이상의 사상자가 발생한 1953년 폭풍해일 이후 해안 보호 시스템을 현대화하고 평균 해일보다 초과한 하중(수위, 파고 및 기간)에 버틸 수 있는 홍수 보호기반 시설을 설계하기 시작하였다. 하지만 높은 피해 확률에 맞추어 설계된 그레이인프라는 필요 이상으로 구조물이 확대

되었다. 이로 인해 연안생태계의 면적이 감소하여 강의 퇴적물 공급 부족으로 사구 유실 및 지속적인 연안 침식이 발생하였다. 이는 자연보호 측면뿐 아니라 해변과 사구의 레크리에이션 이용과 식수 공급 측면에서도 문제점으로 지목되었다. 네덜란드는 해변 모래가 해안에서 발생하는 태풍 해일과 같은 외력을 흡수하여 그 분포와 형태를 변화하는 동력 보존체인 것으로 인식하기 시작하였다. 이후 1990년 '역동적으로 변화하는 사구 보존(dynamic preservation)'이라는 국가정책을 채택하여 대규모 양빈을 통한 해변복구 사업을 시행하였다.

〈그림 2-27〉 네덜란드의 양빈 유형 및 지역별 양빈 종류



자료: Brand, Ramaekers & Lodder(2022), pp. 5-6.

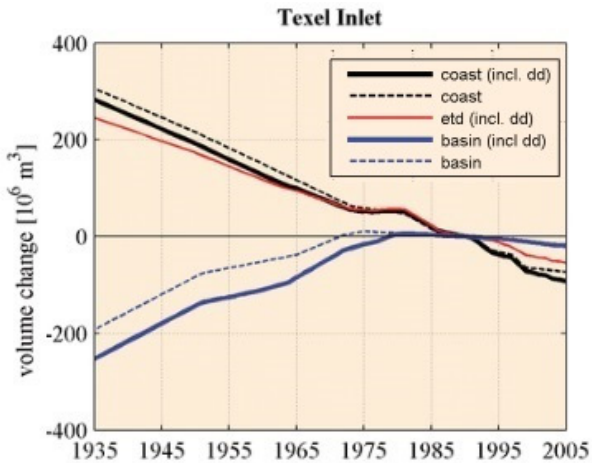
(1) 동적 보전사업의 예: 텍셀 인렛 해변(Texel Inlet)[62]

1932년 자위더르(Zuiderzee) 댐이 설치되면서 육지로부터 퇴적물 공급이 중단되었고 1986년과 2015년 사이 약 7,700만m^3 부피의 해안사구가 감소하였다. 자위더르 댐 건설 이전에는 썰물에 의한 안정적인 델타 형성

62) Elias & van dear Spek(2017), p. 293.

으로 동적 평형 상태가 존재하였다. 댐 건설 이후, 조수 흐름이 회전하고 육지로 후퇴함에 따라 40년 동안 큰 폭으로 지형이 변했다. 1975년과 2001년 사이에 주요 해안 내부의 물길 배치는 안정적이었지만 대규모 퇴적물 손실이 계속 발생하였다. 이에 대응해 1990년부터 해안선에 3천만m^3 이상의 양빈이 시행되었다. 2001년 이후 침식률은 에이커당 200만m^3로 크게 감소하여 안정화 단계에 접어들었다. 동적 보존사업의 25년간 자료 분석을 통해 모래 양빈이 텍셀 인렛에 인접한 해안선 유지에 효과적인 방법임을 증명하였다. 양빈을 통한 풍부한 퇴적물 공급은 삼각주 남쪽 부분의 대규모 퇴적물 손실을 상쇄하고 2018년까지 사구 부피를 유지하였다.

〈그림 2-28〉 텍셀 인렛의 고도 변화(1990년 양빈 시행)



자료: Elias et al.(2012), p. 298.

제4절 연안 그린인프라 도입을 위한 시사점

앞서 살펴본 미국과 네덜란드의 연안 그린인프라 관련 사업의 주요 내용은 〈표 2-21〉과 같다.

〈표 2-21〉 국외 연안 그린인프라 사례 종합

구분	미국			네델란드
	사우스캐롤라이나	뉴욕	샌프란시스코	텍셀
적용 방법	• 염생식물 식재 • 해수면 높이의 친환경 구조물 설치(sill)	• 염생식물 식재 • 자갈 배치 • 양빈	• 굴패각 망태 • 잘피 식재	• 양빈
효과	• 연안육역 고도 증가(대조군에 비해 1.5~2배 증가)	• 염생식물 조성으로 침수 완화 • 양빈으로 파력 에너지 흡수	• 파도 에너지 감소(30~50%) • 연안육역 고도 증가(굴망태 주변에 15cm, 굴 망태 내부에 24cm 높이의 퇴적물 축적)	• 침식률 감소(에이커당 200만 m^3로 감소하여 기존 사구 부피 유지)
근거 사업	숨쉬는 해안선 사업			역동적으로 변화하는 사구 보존 사업

자료: 본문의 내용을 바탕으로 저자 작성

국외 사례 분석을 통해 도출한 우리나라 연안 그린인프라 도입을 위한 시사점은 다음과 같다.

1) 연안 그린인프라의 장점

해안생태계 본연의 순환적 기능을 역행하지 않는 그린인프라 기법의 적용이 필요하다. 해안생태계는 염습지, 갯벌, 사구, 해초지로 대표되며 해당

지역은 내륙 수계가 유입되고, 해양이 만나는 곳에 위치하고 있다. 내륙 쪽에서는 강물을 따라 퇴적물이 해안 쪽으로 유입되며 해안생태계의 지반 면적이 유지된다. 해양 쪽에서는 파도, 조수 등 지속적인 외력이 유입되는데, 해당 에너지를 내륙에서 상쇄할 수 있는 대상이 존재하면 침식이 완화된다. 이러한 대상은 해안생태계나 해수면 높이 이하의 친환경 구조물이 될 수 있다. 만약 이러한 그린인프라가 아닌 해수면 높이 이상의 구조물이 해안가에 위치한다면 해양에서 유입된 에너지 흡수가 차단되고 해당 에너지는 다른 경로를 통해 분산되고자 한다. 이때 발생한 반사파와 입사파로 인해 세굴이 형성되어 인공구조물 근처의 또 다른 침식을 야기한다.

미국의 숨쉬는 해안선 사업에서는 해양 에너지를 흡수하는 염습지, 해초지 등의 해안생태계를 복원하는 데 주력하고 있으며 단순 복원사업이 아닌 하이드브리드 공법을 보조하여 해안생태계가 태풍과 같은 고에너지 유입에도 잘 견딜 수 있도록 설계하고 있다. 하이드브리드 공법은 해양과 내륙의 에너지 순환을 막지 않는 범위에서 해수면 높이 이하로 설치하여 퇴적물 포집을 용이하게 하는 동시에 외력 에너지를 저감하는 친환경 구조물이다. 화강암을 염습지 주변으로 쌓아 올린 구조물(sill)이나 굴패각 우리 등을 예로 들 수 있다. 우리나라도 연안 그린인프라를 도입할 때 해안과 내륙 간의 에너지 순환을 막지 않고 해안생태계의 순기능을 살리는 동시에 친환경 구조물로 그 기능을 보완하는 방향으로 설계하는 것이 중요하다.

2) 연안 그린인프라의 한계 및 고려사항

연안 그린인프라 구축은 그레이인프라에 비해 넓은 배후지 공간을 필요로 하기 때문에 토지매입이 수반되어야 한다. 국외에서 그린인프라를 적용한 지역은 넓은 면적의 자연 배후지를 보유하고 있다. 우리나라 연안은 인공해안선이 약 36%, 자연해안선이 약 64%로 인공해안선의 비율이 높으며,

자연해안선이더라도 바로 뒤의 배후지에 인공 구조물(도로, 거주지 등)이 자리한 경우가 많다. 이로 인해 염습지, 사구 등 해안생태계 복원을 통한 그린인프라 구축이 쉽지 않은 실정이다. 연안 취약성 지구의 토지매입 정책은 단기적으로는 높은 토지 매입비 발생으로 인하여 비용편익 관점에서 비효율적인 정책방안으로 평가받을 수 있다(BCR〈1). 하지만 방파제 같은 인공구조물 설치비용이 토지매입비보다 훨씬 높은 경우가 많으며, 장기적으로는 매입한 토지에 자연생태계를 더 넓게 복원함으로써 연안재해 완충공간이 마련되어 더 큰 편익을 얻을 수 있다. 대표적인 예로는 해안생태계를 통한 외력 흡수, 내륙과 해양의 에너지 순환을 통한 해안생태계 유지 및 정화, 염습지의 해수 흡수로 인한 침수방지, 탄소흡수량 확대, 레크리에이션 공간 제공 등이 될 수 있으며, 이는 장기적으로 토지매입으로 발생한 비용을 충분히 상쇄할 수 있다. 따라서 기후변화에 대응한 우리나라 연안 그린인프라의 효과가 충분히 발휘되려면, 해안거주지 후퇴 및 배후지 매입과 같은 정책적 해법이 수반될 필요가 있다.

〈표 2-22〉 연안 그린인프라 국내 적용을 위한 시사점

구분	주요 내용
장점	• 중장기적으로 그레이인프라보다 재해 대응 효과가 높음 • 비용효과적인 재해 대응수단임 • 탄소흡수원 확대, 수질 정화, 친수공간 등 동반 효과가 탁월함
한계 및 고려요인	• 완충공간 개념의 공간이 필요하고, 공간을 조성, 유지하기 위해 수반되는 수단의 연계 적용이 필요함 – 예를 들면, 국토계획법에 따른 도시계획, 해양보호구역과 같은 보호지역 지정, 시설물 철거, 연안후퇴(setback), 토지매수 등과 같은 수단 연계 필요 • 국내 적용을 위한 관련 조사와 기술개발이 필요함 • 지자체 공무원, 지역주민의 연안 그린인프라 도입의 수용성 증진 필요 • 그레이인프라와 그린인프라를 결합한 하이브리드 공법 적용 필요

자료: 저자 작성

03
연안재해 대응 실태와 연안 그린인프라 구축 여건 분석

제1절 우리나라 연안재해 대응 실태

전 세계적으로 지구 온난화로 인한 평균기온이 증가하면서, 이상기후 현상과 엘니뇨, 라니냐로 인한 해수 온도 변화 등 기후변화가 급속히 진행됨에 따라 자연 재난의 발생이 잦아지고 있다.[63] 우리나라도 지구 온난화에 따른 자연 재난 빈도가 증가하는 추세다. 「연안관리법」에 따르면 연안재해란 '연안에서 해일, 파랑, 조수, 태풍, 강풍, 해수면 상승 등 해양의 자연현상 또는 급격한 연안침식으로 발생하는 재해'로 정의된다.[64] 특히 연안지역은 해양과 접하고 있어 내륙에서 발생하는 재해뿐만 아니라 해양에서 발생하는 다양한 자연재해의 영향을 받고 있다.[65] 해수면이 1m 상승하면 부산 해수욕장이 모두 잠기는 것으로 보고되고 있으며, 2021년 기준으로 최근 5년간 축구장 면적 300배의 백사장이 침식의 영향을 받았고, 연안재해 복구비로 4.2조 원이 투입되었다.[66]

63) 해양수산부(2020e), p. 312.
64) 연안관리법 제2조
65) 위의 책, p. 312.

1. 연안재해 현황

1) 연안재해 규모

연안기본조사(2020)[67]에 따르면 2012~2018년 동안 전국적으로 자연재해로 인해 2조 901억 원의 피해가 발생하였다. 이 중 연안지역은 1조 1,751억 원의 피해가 발생하였으며, 이는 전국 피해액의 56.2%에 해당한다. 연안지역의 면적에 비해 피해 비중이 높은 것으로 나타났으며, 이는 연안지역이 내륙보다 자연재해에 취약하다는 것을 의미한다. 연안지역 중 전남 연안(3,962억 원), 경북 연안(1,923억 원), 경남 연안(1,410억 원) 순으로 피해액이 큰 것으로 확인되었다. 특히 자연재해 규모가 큰 지역은 경북 포항시(1,075억 원)로 1,000억 원 이상의 피해가 발생하였고, 다음으로 전남 완도(849억 원)의 피해가 큰 것으로 나타났다. 자연재해가 연안지역 중 남해 및 동해 연안 시·군·구에 집중되는 경향을 보이고 있다.[68]

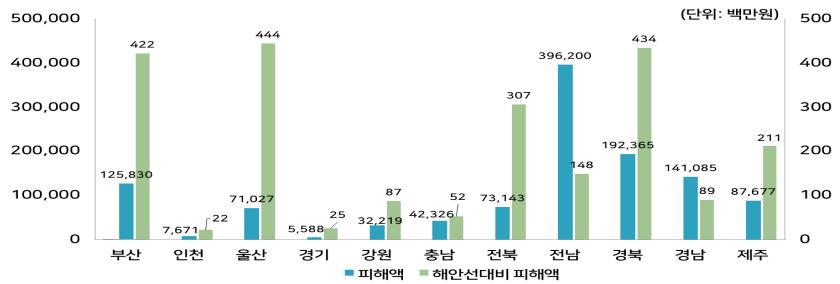
연안의 면적별 피해 정도를 파악하기 위해 해안선 대비 피해액 자료를 살펴보았다. 부산, 울산, 경북 연안이 1km 단위길이당 4억 원 이상의 피해액이 발생한 것으로 확인되었다. 경북 연안의 경주시(12억 원), 부산 연안의 기장군(11억 원), 울산 연안의 북구(10억 원)에서 10억 원 이상의 피해액이 발생하였는데, 타 지역에 비해 동해 연안과 남해 동쪽 연안의 피해가 심각했던 것으로 파악된다.[69]

수산증양식 시설(96.9%), 어항(94.1%), 선박(89.2%), 항만(61.1%)의 피해가 전국에서 연안지역의 비중이 높았다. 공공시설 피해는 도로가 전국

66) 현대해양, http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=14288(검색일: 2022.6.10.)
67) 해양수산부(2020e)
68) 위의 책, p. 331.
69) 위의 책, p. 331.

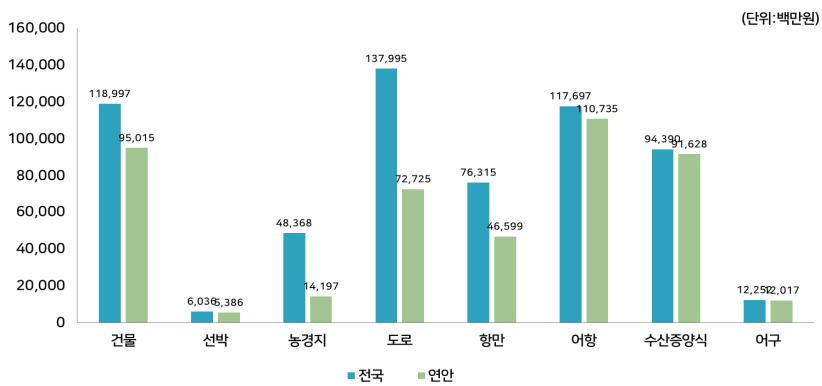
1,379억 원, 연안 727억 원으로 연안의 비중이 52.7%이고, 항만은 전국 763억 원, 연안 465여억 원으로 연안이 61.1%, 어항은 전국 1,176억 원, 연안 1,107억 원으로 연안의 피해 비중이 94.1%를 차지한 것으로 확인되어 최소 절반 이상의 비중으로 전국 대비 연안의 피해 비중이 큰 것을 알 수 있다.[70]

〈그림 3-1〉 지역별 피해 규모(2012~2018년)



자료: 해양수산부(2020e), p. 331.

〈그림 3-2〉 시설별 피해 규모(2012~2018년)



자료: 해양수산부(2020e), p. 332.

70) 위의 책, pp. 332-338.

〈표 3-1〉 연안재해 규모 현황

단위: cm

구분	시설 총피해액	피해액/ 해안선 (km)	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
전국	2,090,176		1,017,731	167,628	178,972	29,066	300,356	132,081	125,151
전국 연안	1,175,132		614,892	3,319	142,716	21,181	222,767	96,355	70,447
부산 연안	125,830	422	8,450	10	70,630	15	39,450	1,612	7,104
인천 연안	7,671	22	4,876	238	180	418	166	1,338	366
울산 연안	71,027	444	4,293	73	6,893	1,305	60,967	-	574
경기 연안	5,588	25	3,874	93	24	620	91	397	329
강원 연안	32,219	87	4,643	744	11,999	7,086	4,958	933	2,176
충남 연안	42,326	52	26,150	36	12,066	1,238	580	1,167	332
전북 연안	73,143	307	62,819	235	746	1,126	5,369	53	1,386
전남 연안	396,200	148	346,948	278	10,163	525	9,804	151	19,283
경북 연안	192,365	434	29,550	4	4,454	8,840	39,637	86,883	26,235
경남 연안	141,085	89	65,570	1,289	25,243	2	34,777	3,493	10,643
제주 연안	87,677	211	57,718	320	319	5	26,967	328	2,020

주: 피해액은 2018년도 환산가격 기준임
자료: 해양수산부(2020e), pp. 333-334.

2) 침식 및 침수 피해

2019년 제3차 연안정비기본계획 수립 과정에서 분류한 연안침식 유형 분석결과를 살펴보면 총 침식 피해건수는 139건으로 집계되었다. 이 중 포락이 34건(25%)으로 가장 많았으며, 다음으로 완충구역 감소가 29건(21%)으로 나타났다. 동해안은 표사이동으로 인한 연안침식이 발생하며, 서해안은 포락·해수범람의 연안피해가, 남해안은 각 피해 유형이 고루 발생하고 있다. 해역별로 살펴보면 고파랑이 내습하는 동해안은 횡단표사이동(81%), 연안표사이동(54%) 형태의 연안침식과 월파(36%)로 인한 배후지 침수 형태를 보이는 것이 특징이다. 서해안은 조차가 심해 호안세굴(55%),

포락(71%), 비사(83%) 형태의 연안침식과 해수범람(33%)의 침수피해가 주로 발생한다. 남해안은 고파랑 및 태풍의 영향을 많이 받아 침식 유형이 모두 나타나고 있다.[71]

〈표 3-2〉 해역별 연안침식 유형 분석결과

단위 : 개소, %

구분	소계		동해안	남해안	서해안
	개소	비율	개소(비율)	개소(비율)	개소(비율)
합계	139	100	43(31)	34(24)	62(45)
횡단표사이동	27	19	22(81)	4(15)	1(4)
연안표사이동	26	19	14(54)	4(15)	8(31)
호안세굴	11	8	-	5(45)	6(55)
포락	34	25	3(9)	7(20)	24(71)
비사	12	9	-	2(17)	10(83)
완충구역 감소	29	21	4(14)	12(41)	13(45)

자료: 해양수산부(2020b), p. 7.

2020년 연안침식 실태조사 결과를 살펴보면 평가지역 총 288개소 중 침식상태 A등급(양호)은 4개소, B등급(보통)은 90개소, C등급(우려)은 113개소, D등급(심각)은 43개소로 확인되었다. 이 중 우심지역(C, D등급)은 총 조사 대상지의 62%를 차지한다. 지역별로 C, D등급 비율은 울산(100%), 강원(85%), 부산(67%) 순으로 나타났다. 이 결과를 통해 침식 우려가 예상되는 우심지역이 침식 실태조사 전체 대상지의 절반 이상을 차지함을 알 수 있으므로 침식 실태에 대한 적극적인 대응이 필요하다는 것을 확인할 수 있다.

71) 해양수산부(2020b), p. 7.

〈표 3-3〉 연안침식 실태조사 침식등급 평가결과 지역별 분포(2020년)

단위 : 개소

구분	총 개소	A(양호)	B(보통)	C(우려)	D(심각)	C, D등급 비율
합계	250	4	90	113	43	62.4
부산	9	0	3	4	2	66.7
울산	5	0	0	4	1	100.0
인천	14	1	8	5	0	35.7
경기	5	1	2	2	0	40.0
충남	22	0	8	12	2	63.6
전북	9	0	4	5	0	55.6
전남	62	1	23	26	12	61.3
경남	31	1	14	15	1	51.6
강원	41	0	6	19	16	85.4
경북	41	0	15	17	9	63.4
제주	11	0	7	4	0	36.4

자료: 해양수산부 홈페이지(검색일: 2022.8.22.)

2012~2018년 동안 자연재해로 전국에서 1,259ha가 침수되었으며, 농경지 1,122ha, 기타 137ha로 농경지가 전체 침수면적의 89.1%를 차지하였다. 연안지역은 전체 침수면적 중 796ha가 침수되었으며, 이 중 농경지가 741ha에 해당한다. 해당 연안은 부산 연안, 인천 연안, 충남 연안, 경북 연안에 피해가 발생하였다. 이 중 경북 포항시의 침수피해가 가장 큰 것으로 확인되었다. 특히 연안지역에서는 농경지가 차지하는 비중이 94.3%로 전국 대비 비중이 큰 것을 알 수 있다. 이처럼 연안지역의 침수면적은 전국 대비 63.2%를 차지하며, 농경지 비율은 전국 대비 66.9%, 기타 지역은 32.8%로 연안지역의 농경지가 침수에 취약하다는 것을 알 수 있다.

〈표 3-4〉 연안지역 침수 피해 현황(2012~2018)

구분		농경지	기타	계
		ha	ha	ha
전국	계	1,122	137	1,259
연안	계	741	45	796
부산 연안	계	7	-	7
	중구	-	-	-
	서구	-	-	-
	동구	-	-	-
	영도구	-	-	-
	남구	-	-	-
	해운대구	-	-	-
	사하구	-	-	-
	강서구	7	-	7
	수영구	-	-	-
	기장군	-	-	-
인천 연안	계	3	-	3
	중구	-	-	-
	동구	-	-	-
	연수구	-	-	-
	남동구	-	-	-
	서구	-	-	-
	강화군	3	-	3
	옹진군	-	-	-
충남 연안	계	14	-	14
	보령시	-	-	-
	아산시	-	-	-
	서산시	-	-	-
	당진시	-	-	-
	서천군	-	-	-
	홍성군	14	-	14
	태안군	-	-	-
경북 연안	계	734	38	772
	포항시	734	38	772
	경주시	-	-	-
	영덕군	-	-	-
	울진군	-	-	-
	울릉군	-	-	-

자료: 해양수산부(2020e), pp. 335-337.

2. 연안재해 대응 제도 및 사업

1) 관련 법률 및 지침

(1) 연안관리법

연안지역에서 침식, 침수 등 재해 대응을 하기 위한 사업으로는 「연안관리법」에 따른 연안정비사업이 있다. 연안정비사업은 연안재해에서 연안을 보호하고 훼손된 연안을 정비하는 사업, 연안을 보전 또는 개선하는 사업, 국민이 연안을 쾌적하게 이용할 수 있도록 친수공간을 조성하는 사업을 말한다.[72]

연안재해 피해 대응과 관련하여 개별법마다 공간관리수단이 있다. 「연안관리법」에는 연안침식관리구역이 있다. 연안침식으로 인하여 심각한 피해가 발생하거나 발생할 우려가 있어 이를 특별히 관리할 필요가 있는 지역을 연안침식관리구역으로 지정할 수 있다. 연안침식관리구역 지정기준은 연안침식으로 인하여 토지, 바닷가 또는 제방, 도로 등 시설물의 기능을 더 이상 유지하기 어렵거나, 연안보전을 위한 연안정비사업 후에도 연안침식이 계속 진행되거나, 공유수면 매립을 수반하는 개발사업의 시행으로 장래에 연안침식 피해 발생이 우려되는 경우가 해당한다.[73] 관리구역 내 침식피해에 효과적으로 대응하기 위하여 필요한 경우 관리구역에 관한 관리계획을 수립·시행할 수 있다. 관리계획에는 관리구역 내 연안의 보전·이용 및 개발 실태조사, 침식원인 및 피해조사, 침식방지 및 복구대책 등이 포함된다. 관리계획 시행을 통해 연안침식관리구역 내 침식방지 및 관리 조치를 취하게 된다. 또한 관리구역 내에서의 행위제한에 대한 법 조항이 명시되어 있으며, 이를 위반하는 행위를 할 경우에는 원인자에게 원상회복을 명할 수 있다.

72) 연안관리법 제2조
73) 연안관리법 시행규칙 제6조의2

(2) 자연재해대책법

「자연재해대책법」에는 재해복구사업을 할 수 있도록 관련 조항을 명시하고 있다. 재해복구사업 실시계획을 작성하며, 재해 규모에 따라 재해복구계획을 기준으로 총복구비(용지보상비 포함)가 50억 원 이상인 사업을 말하는 대규모 재해복구사업과, 지구단위종합복구계획을 기준으로 총복구비(용지보상비 포함)가 300억 원 이상인 지구단위종합복구사업으로 구분하여 사업을 추진한다. 재해복구사업 시행에 필요한 지원을 효율적으로 수행하기 위해 중앙복구지원단을 구성·운영할 수 있다. 또한 복구사업 관리를 위해 재해복구사업이 효율적으로 추진될 수 있도록 지도·점검·관리하고, 필요하면 시정명령 또는 시정요청을 할 수 있다.

공간관리수단으로는 자연재해위험개선지구가 있다. 상습침수지역, 산사태 위험지역 등 지형적인 여건 등으로 인해 재해가 발생할 우려가 있는 지역을 자연재해위험개선지구로 지정할 수 있다. 자연재해위험개선지구로 지정되면 정비 방향의 지침이 될 자연재해위험개선지구 정비계획을 5년마다 수립하도록 되어 있다. 이 계획에는 정비에 관한 기본방침, 지구지정 현황 및 연도별 지구 정비에 관한 사항, 자연재해위험개선지구의 점검·관리에 관한 사항 등이 포함된다.

(3) 사방사업법

「사방사업법」에 따른 사방사업이란 황폐지를 복구하거나 산지의 붕괴, 토석·나무 등의 유출 또는 모래의 날림 등을 방지 또는 예방하기 위하여 인공구조물을 설치하거나 식물을 파종·식재하는 사업 또는 이에 부수되는 경관의 조성이나 수원의 함양을 위한 사업을 말한다.[74] 사방사업 중에 해안사방사업이 포함되어 있으며, 이는 해안 모래언덕 등 해안과 연접한 지역에 대하여 시행하는 해안방재림 조성사업, 해안침식 방지사업을 말한다.

74) 사방사업법 제2조

해안방재림 조성사업은 해일 풍랑, 모래 날림, 염분 등에 의한 피해를 줄이기 위하여 시행하는 사방사업이며, 해안침식 방지사업은 파도 등에 의한 해안침식을 방지하거나 침식된 해안을 복구하기 위하여 시행하는 사방사업이다.

사방사업을 시행하려는 경우 미리 기본계획을 고려하여 사방사업의 필요성·적합성·환경성 등에 대한 종합적인 타당성을 평가하여야 한다. 그러나 자연재해 복구를 위한 사방사업일 경우에는 평가를 하지 않을 수 있다. 해안사방사업 중 해안방재림 조성사업의 경우에는 해일·풍랑·모래 날림·염분 등에 의한 피해가 우려되는 지역 또는 피해가 진행 중이거나 이미 발생한 지역으로서, 사방사업을 시행하면 피해를 예방 또는 감소시킬 수 있는 지역으로 만조해안선으로부터 200m 이내여야 한다. 해안침식방지사업은 파도 등으로 인한 해안침식의 우려가 있는 지역 또는 해안침식이 진행 중이거나 이미 진행된 지역으로서, 사방사업을 시행하면 해안침식을 예방 또는 감소시킬 수 있는 지역이어야 한다. 사업대상지를 선정한 후 사방사업 실시설계를 하기 전에 평가를 시행한다. 사방사업의 타당성 평가기준에 따라 평가자가 사업의 타당성 여부를 결정한다. 평가 대상사업으로 사업대상지 거리가 500m 이상인 해안침식방지사업이 해당된다.

〈표 3-5〉 주요 연안재해 대응 수단

법령	주무부처	사업	공간관리수단
연안관리법	해양수산부	연안정비사업	연안침식관리구역
자연재해대책법	행정안전부	자연재해위험개선지구 정비사업	자연재해위험개선지구
사방사업법	산림청	해안사방사업 (해안방재림 조성사업 해안침식방지사업)	-

자료: 저자 작성

(4) 연안시설 설계기준·해설

「연안관리법」의 목적인 연안의 효율적인 보전·이용 및 개발을 만족하도록 연안시설의 위치를 정하고 형상과 구조를 설계하기 위하여 연안시설 설계기준·해설이 마련되어 있다. 본 설계기준은 「연안관리법」, 「항만법」, 「어촌·어항법」 및 「항만시설의 기술기준에 관한 규칙」 등 관계법령에 의해 설치되는 연안시설에 대해 적용하고 있다. 연안시설의 종류에 대해 대부분이 월파 혹은 해안침식의 저감 방지를 위해 설치되며, 이는 방파제, 호안, 방호벽, 돌제, 소파제, 이안제, 잠제·인공 리프, 매립, 파력 흡수를 위한 사빈(양빈) 등으로 명시하고 있다. 설치목적에 따라 연안시설을 연안 이용·개발시설과 연안보전시설로 구분할 수 있으나 연안보전시설로 설치할 수 있는 시설은 양빈을 제외하고는 인공시설물 설치 또는 매립이 전부다.

연안시설 설계 시 ① 연안기능의 다양성과 연안 회복탄력성, ② 연안환경과 경관, ③ 연안의 이용, ④ 이용자 안전성, ⑤ 경제성, ⑥ 시공성, ⑦ 복합시설 시공순서 등에 대해 고려하도록 되어 있다.

〈표 3-6〉 연안시설 설계 고려 사항

구분	주요 내용
연안 기능의 다양성과 연안 회복탄력성	• 연안시설은 그 설치에 의한 연안기능 교환으로 특정한 연안 기능이 저하되어 회복탄력성을 잃지 않도록 설계
연안환경과 경관	• 연안시설 설계 시 자연환경 보전과 경관에 유의하며, 해안의 수질, 저질 및 생태계 보전기능 고려
연안의 이용	• 연안시설 설계 시 가능하면 해안의 이용성을 제고할 수 있는 공법 선택
이용자 안전성	• 이용을 전제로 하는 연안시설은 이용자의 안전에 유의하여 적절하게 설계
경제성	• 연안시설은 비용경감과 더불어 생애주기(Life cycle)에 걸친 경제성도 고려하여 설계, 연안시설이 주변 환경을 훼손하거나 복구가 불가피할 것이 확실시되면 그 복구비용을 고려하여 경제성 평가
시공성	• 연안시설은 대상연안의 자연적·사회적인 조건 등을 바탕으로 시공성을 고려하여 설계

구분	주요 내용
복합시설 시공순서	• 형식이 다른 시설이나 형식이 동일한 다수의 시설로 구성되는 복합시설의 경우에는 시공 중 연안 기능 저하를 최소화할 수 있도록 시공순서 결정

자료: 해양수산부(2016b), pp. 7-11.

이 기준에서 기존의 인공시설물 설치 외에도 설계자는 필요에 따라 본 규정사항 외에 연안시설의 효율·효과적인 설치를 위해서 새로운 지식·정보·공법이 현장에 적용될 필요가 있으므로 설계에 자율성을 부여할 필요가 있다고 명시하여 그린인프라의 적용 가능성을 시사하고 있다.

연안시설은 폭풍해일, 바람, 파랑, 흐름, 지진 등의 외력이 각기 다른 특성으로 나타나며, 이러한 현상에 따라 나타나는 외력은 시설물마다 다르게 작용하게 된다. 이러한 점을 고려하여 폭풍해일, 바람, 파랑, 흐름, 표사, 해빈변형, 지반, 토압, 수압, 지진, 환경과 이용 등의 설계조건을 고려하도록 되어 있다.

〈표 3-7〉 설계조건

구분	주요 내용
일반사항	• 연안시설은 요구되는 기능을 만족함과 동시에 대상 외력 등에 대해 장기간에 걸친 안정성을 확보하도록 설계 필요 • 설계조건은 구조물의 형식이나 규모를 결정하기 위한 기초 사항
외력작용과 기초조건 파악	• 연안시설 설계에서 고려대상인 주요 외력은 폭풍해일과 파랑임 • 지진, 수압, 토압, 유속, 풍압, 시설물 설치지점의 저질, ·지층특성, 지반지지력, 해빈변형, 지반변동, 해수면의 장기변동 등에 대해 충분한 조사 및 관측 필요
시설규모와 설계공용기간의 인식	• 시설규모는 배후지의 중요도 등과 조화를 이루어야 하며, 구조형식 결정에 있어서는 요구되는 기능을 만족하는 기술적인 검토와 경제성 검토 필요 • 경제성은 공사비뿐 아니라 편익성도 고려한 비용편익분석 등을 통해 검토 • 시설의 내구연한과 설계공용기간의 관계를 고려해 유지관리비나 갱신을 포함한 생애주기비용(life cycle cost) 고려 필요
주변 연안환경에 미치는 영향	• 연안시설이 주변 생태계나 자연환경에 미치는 영향범위는 시설규모 이상임

구분	주요 내용
	• 요구되는 시설기능을 만족하는 복수의 설계안에 대해 주변 해안환경에 미치는 영향을 검토하여 악영향을 최소화할 수 있는 설계안을 선택할 필요가 있음
연안이용 및 개발계획과의 조화	• 연안역은 육지와 해양의 전이역으로서 어업, 레크리에이션, 선박운항 등의 이용이 이루어지는 공간임과 동시에 독자적인 자연환경, 경관을 형성하고 있으므로 연안이용, 자연환경, 경관을 고려할 필요가 있음
시공성 및 유지관리	• 해당 연안의 지리적, 사회적 조건에 따라 재료나 작업선 조달 등을 포함하는 시공이나 유지·관리가 지배적인 설계요소가 되는 경우가 있으므로 이에 대한 고려 필요

자료: 해양수산부(2016b), p. 15.

연안 시설물에 적용되는 재료로 콘크리트, 강재, 기타 재료가 있다. 콘크리트는 해수의 화학적 및 물리적 작용, 파랑에 의한 충격, 표류 고형물 등에 의한 마찰, 철근의 부식과 기타 유해한 작용에 저항하기 위해 내구성을 가진 것을 사용해야 한다. 강재는 한국산업표준(KS)에 규정되어 있는 것을 사용하여야 하며, 강재가 부식되지 않도록 방식대책을 강구해야 한다. 연안시설에 적용되는 기타 재료에 대한 자세한 사항은 '항만 및 어항 설계기준·해설(해양수산부)'을 참조하여 사전에 그 특성을 파악하여 적용하도록 되어 있다. 기타 재료의 종류로는 역청재, 석재, 목재, 양빈재료, 재활용재료, 방사포, 방사판, 발포재료, 건설발생토, 기타 시트류 등이 있다.

연안 시설물 설계방식에 관해서 호안·제방, 소파제, 돌제, 사빈(양빈), 이안제, 부대시설, 잠제·인공 리프에 대한 설계기준이 마련되어 있다. 이와 관련하여 사빈(양빈)을 제외하고는 전부 인공구조물 설치기준만 정해져 있는 상태다.

(5) 연안정비 시설물 사후관리 및 효과평가 지침

연안정비사업으로 설치한 시설물에 대해서는 연안정비사업 시행자가 사후관리를 하여야 한다. 사후관리로 사후관리 현황과 효과를 점검 및 평가

할 수 있다. 연안정비사업으로 설치한 시설물의 사후관리 현황에 대한 점검을 연 1회 실시하도록 되어 있으며, 시설물의 효과에 대한 평가를 시설물 준공 후 5년의 범위에서 해양수산부 장관이 정하는 기간 동안 연 1회 이상 실시하여야 한다. 연안정비사업 효과평가는 연안정비사업 실시로 얻게 되는 물리적 효과를 중심으로 평가하도록 되어있다. 다만 연안정비사업 대상 지역이 국가적으로 중요한 지역이거나 많은 예산이 투입되어 파급 효과가 클 것으로 예상되는 사업은 사회경제적 평가를 할 수 있다. 물리적 평가는 해빈폭, 해빈면적 확대, 월파피해 방지 등 연안보전사업을 통해 당초 달성하려고 했던 목표와 사업 후 그 목표의 달성 정도를 종합적으로 비교·분석하여 실시한다.[75]

물리적 평가에는 사업 개요에 관한 사항, 현황 조사사항, 연안정비사업 시행을 통해 달성하려는 목표, 연안정비사업 시행 전·후 해당 지역 변화, 연안정비사업 목표 달성 여부 및 정도 비교·분석, 문제점 및 개선방안, 종합평가 및 활용방안 제시 등의 사항이 포함된다. 사회경제적 평가는 투입비용 대비 연간 추가 발생 편익으로 실시하며, 사회경제적 평가를 위한 비용 및 편익 추정과 관련하여 비용은 사적 비용(건설비용, 유지·운영비용, 보상비, 예비비, 공사 중 혼잡비용), 사회적 비용(시설물로 인한 2차 피해 및 자연경관 훼손비용, 조성된 친수공간의 수용 능력 초과이용으로 인한 환경비용)으로 구분된다. 편익은 사회적 편익(침식·침수피해 저감 편익, 생태환경 개선 편익, 연성공법 및 자연복원을 통한 경관 및 심미적 가치 증진 편익, 연안 접근성 및 친수활동 기회 확대 편익)이 있다. 사회경제적 평가를 위한 비용 및 편익 분석 방법론과 산정식이 연안정비 시설물 사후관리 및 효과평가 시행지침에 명시되어 있다. 배후지 특성(농·어업형, 산업형, 도시형, 관광레저형, 보호구역 등)에 따라 발생편익이 정해져 있으며 그에 따라 분석방법과 산정식이 정해진다.

75) 연안정비 시설물 사후관리 및 효과평가 시행지침 제33조, 제34조

〈그림 3-3〉 연안정비시설물 효과평가 구조



자료: 해양수산부(2021a), pp. 3-5.

시설물의 사후관리 현황 및 효과의 점검·평가 결과에 따라 시설물의 기능 유지에 지장이 있다고 판단되는 경우에는 해당 시설물을 보수하거나 시설물 관리자가 시설물을 보수하도록 명할 수 있다.[76] 보수공법 선정에 대한 사항도 명시되어 있다. 구조물 결함에 따른 보수·보강은 보수재료와 공법 선정 시 공법의 적용성, 구조적 안전성, 경제성 등을 검토하여 결정하도록 되어 있으며, 이때 중요한 것은 시설물 관련 각종 자료와 점검 시 수행한 각종 상태평가 및 안전성 평가결과를 기초로 한 구조물의 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석이며, 이를 통해 적절한 공법을 선정할 수 있고 적절한 보수재료를 선택할 수 있다.[77]

2) 연안재해 대응 관련 계획

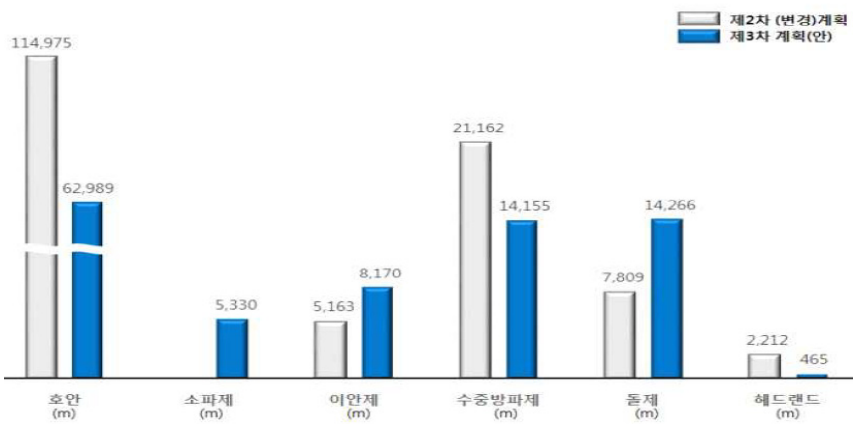
(1) 연안정비기본계획

연안정비기본계획은 「연안관리법」 제21조 제1항에 따라 효율적이고 체계적인 연안정비사업을 위하여 10년마다 수립된다. 주요 추진과제를 살펴보면, 연안 피해 발생 및 피해 원인을 분석하고 피해를 저감할 수 있는 적정 공법을 적용하거나, 연안재해 피해 방지를 위하여 구조물(수중방파제

76) 연안관리법 시행규칙 제11조
77) 연안정비 시설물 사후관리 및 효과평가 시행지침 제27조

등)을 지속적으로 확장하고, 보다 환경친화적인 공법 적용 확대방안을 강구하겠다는 내용이 명시되어 있다. 연안보전사업지구에 대하여 피해 유형을 침식, 해수범람, 월파로 분류하고, 유형별 최적 대응 공법을 선정하여 사업에 반영하겠다고 되어 있으나, 여기에서 적용되는 공법도 수중방파제, 돌제, 호안 등이 주를 이루고 있어 연안 피해 대응에는 아직 그레인인프라 위주의 사업 반영 비중이 높음을 알 수 있다. 환경친화적 공법 적용 확대방안 강구와 관련해서 침식을 유발할 수 있는 기존 구조물(해안도로, 호안 등) 제거 및 모래 포집기(모래유실방지), 완충언덕(침수방지) 조성 등 비시설물 공법을 확대하겠다는 내용을 담고 있는데, 주로 양빈 규모를 확대한다는 내용과 제2차 연안정비기본계획 대비 사업비 규모가 큰 구조물 적용 횟수를 줄인다는 것으로 한정하고 있다. 특히 대형 구조물의 수중방파제 규모는 감소하였으나 이를 대체하기 위한 소형 구조물인 소파제, 돌제 등의 설치 규모는 오히려 증가하였다.

〈그림 3-4〉 구조물 규모 변화



자료: 해양수산부(2020b), p. 12.

(2) 자연재해저감 종합계획

「자연재해대책법」에 따라 자연재해의 예방 및 저감을 위하여 10년마다 시·군 자연재해저감 종합계획을 수립하도록 되어 있다. 자연재해저감 종합계획에 포함되는 자연재해는 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 조수, 대설, 가뭄 등이다. 자연재해저감 종합계획에는 지역적 특성 및 계획의 방향·목표에 관한 사항, 유역, 하천, 기상, 방재시설 현황 등 재해 발생 현황 및 재해 위험요인 실태에 관한 사항, 자연재해 복구사업의 평가·분석에 관한 사항, 지역별, 주요 시설별 자연재해 위험 분석에 관한 사항, 지구단위 홍수방어기준을 적용한 저감대책에 관한 사항, 자연재해 저감을 위한 자연재해위험개선지구 지정 및 정비에 관한 사항, 자연재해 예방 및 저감을 위한 종합대책 등에 관한 사항, 자연재해저감 종합계획 세부 수립기준에서 정하는 사항 등이 포함된다. 다음으로 종합계획의 기조에 맞춰 자연재해저감 시행계획을 작성해야 한다. 시행계획에서는 사업의 명칭 및 위치, 규모, 사업비와 자금 조달계획 등을 다룬다.

자연재해저감 종합계획 세부수립기준에 따르면 크게 서론, 기초조사 및 기초분석을 통한 예비후보지 대상 검토, 자연재해 위험지구 선정 및 저감대책 수립, 자연재해 저감대책 시행계획 수립, 종합 및 활용방안으로 구분되어 있다. 이 중에서 본 연구와 관련성이 있는 내용을 살펴보고자 한다.

기초조사 및 기초분석을 통한 예비후보지 대상 검토 부문에서 방재시설 현황을 파악하도록 되어 있으며, 이 중 해안시설이 포함되어 있다. 해안시설은 주로 방파제, 물양장, 안벽 등과 해안도로의 호안시설 그리고 방조제 등의 시설로 시설현황을 기술하도록 되어 있다. 자연재해 위험지구 선정 및 저감대책 수립과 관련해서 해안재해 위험지구 선정 및 저감대책 수립을 하도록 되어 있다.

첫 번째는 해안재해 위험지구 예비후보지 및 후보지를 선정한다. 두 번

째로, 해안재해 위험지구 후보지 위험요인 분석을 실시한다. 연안재해 취약성 평가체계 분석 등과 같은 기존 국가단위 관련계획 등의 문헌 조사와 현장 조사 등을 통한 정성적인 방법으로 위험요인을 파악한다. 정량적 위험요인 평가 시 국가 단위에서 발간하는 공신력 있는 자료로는 태풍해일 침수예상도(국립해양조사원), 지진해일 침수예상도(국립재난안전연구원), 연안침식 실태조사(해양수산부) 등이 있다. 세 번째로, 해안재해 위험지구를 선정하고 저감대책을 수립하는 단계다. 위험요인 분석을 통하여 산정된 위험도지수(상세)와 재산피해액 등을 토대로 위험지구 대상을 선정하고 후술되는 방재예산 등을 고려하여 해안재해 위험지구를 최종 선정한다. 위험지구 선정에서 제외된 해안재해 위험지구 후보지(위험지구 대상)는 해안재해 관리지구로 선정한다.

3) 연안재해 대응사업 현황

(1) 연안정비사업

제3차 연안정비기본계획에 반영된 연안정비사업은 전국 11개 광역시·도, 283개소(2조 3,009억 원 규모) 사업이 반영되었으며, 연안보전사업은 249개(2조 1,537억 원)로 전체 사업의 88%를 차지한다. 신규사업으로 침식·해수범람·월파 예방 등 연안보전사업 218개소(1조 9,803억 원)가 반영되었으며, 계속사업은 31개(1,734억 원) 지구가 포함되어 있다. 사업 분포는 전남, 강원, 경북 순으로 많은 것을 알 수 있다.

〈표 3-8〉 제3차 연안정비기본계획 지역별 사업 분포

단위 : 개소, 백만 원

구분	합계		연안보전사업		친수연안사업	
	지구 수	사업비	지구 수	사업비	지구 수	사업비
합계	283 (35)	2,300,883 (211,744)	249 (31)	2,153,728 (173,464)	34 (4)	147,155 (38,280)

구분	합계		연안보전사업		친수연안사업	
	지구 수	사업비	지구 수	사업비	지구 수	사업비
부산	13 (2)	163,220 (33,720)	10 (1)	144,571 (17,220)	3 (1)	18,649 (16,500)
인천	5	7,085	4	5,151	1	1,934
울산	1 (1)	5,468 (5,468)	1 (1)	5,468 (5,468)	-	-
경기	4 (1)	58,888 (7,829)	2	35,233	2 (1)	23,655 (7,829)
강원	44 (9)	662,142 (72,137)	42 (9)	660,095 (72,137)	2	2,047
충남	23 (2)	127,447 (10,995)	19 (2)	115,995 (10,995)	4	11,452
전북	9	74,615	8	70,882	1	3,733
전남	89 (9)	296,976 (22,886)	79 (9)	243,391 (22,886)	10	53,585
경북	42 (7)	636,134 (35,235)	39 (7)	632,169 (35,235)	3	3,965
경남	38 (4)	257,226 (23,474)	30 (2)	229,091 (9,523)	8 (2)	28,135 (13,951)
제주	15	11,682	15	11,682	-	-

주: ( ) 는 계속사업임
자료: 해양수산부(2020b), p. 15.

제3차 연안정비기본계획에서는 연안보전사업 지구에 대하여 피해 유형을 침식(167개소), 해수범람(18개소), 월파(62개소)로 분류하고, 유형별 대응 공법을 선정하여 사업에 반영하였다. 기존 연안정비사업은 대부분 지역 한정적이고 경성구조물에 의존하여 주변 해양환경 및 연안표사계의 교란이 발생할 가능성이 커 친환경적 공법으로 전환이 요구되고 있다. 따라서 해역별 특성을 고려한 친환경 공법으로 계획을 유도하는 방안을 모색하였으며, 신규사업 248개소 중 침식원인 및 환경훼손 구조물 제거(4개소), 해안

사구 복원(1개소), 양빈공법 적용(25개소) 등이 해당된다.

〈표 3-9〉 연안 피해 유형

구분		피해 유형별 분류			합계
		침식	해수범람	월파	
원인별 대책	파랑저감 (수중방파제 등)	41개소 (773,181)	-	35개소 (567,985)	76개소 (1,341,166)
	표사이동 제어 (돌제 등)	28개소 (277,468)	-	-	28개소 (277,468)
	지반고정 (호안 등)	66개소 (142,556)	18개소 (35,906)	27개소 (19,183)	111개소 (197,645)
	완충구역 확보 (양빈 등)	32개소 (322,449)	-	-	32개소 (322,449)
합계		167개소 (1,515,654)	18개소 (35,906)	62개소 (587,168)	247개소 (2,138,728)

자료: 해양수산부(2020b), p. 10.

제1-2차 연안정비사업 공법별 현황을 살펴보면, 우리나라 연안재해 대응은 그레이인프라에 과도하게 의존하고 있음을 알 수 있다. 대표적인 연안재해 대응사업인 연안정비사업의 99.9%에 호안, 잠제, 돌제 등 경성공법이 적용되었다. 지역별·공법별로 살펴보면 호안이 가장 많이 설치된 지역이 전남(72,008m)이고, 그다음은 경남(38,490m), 충남(29,056m) 순으로 확인되었으며, 돌제는 강원, 경북, 충남 순으로 많이 설치되었다. 연안정비사업 공법에서 친수공간, 산책로 등의 사업 추진율은 매우 저조함을 알 수 있는데, 이는 연안 지역주민의 친수 접근성을 확보하지 못하게 해 삶의 질에도 영향을 미칠 수 있다. 연안정비사업의 대표 연성공법이라 할 수 있는 양빈도 총 지구 수(443개소)에 비해 6.5%의 비중만 차지하고 있다. 이는 경성공법 중심의 기존 사업 추진 관행 외에 양빈에 필요한 해사 공급의 현실적인 어려움도 작용했을 것으로 판단된다.

〈표 3-10〉 제1~2차 연안정비사업 공법별 현황

단위 : 개소, m

구분	호안	잠제	이안제	돌제	도류제	양빈	친수공간	산책로	기타	전체	
										지구수	길이
합계	187,839	9,792	640	4,545	790	29	35	27	58	443	203,755
부산	9,355	680	140	120	100	5	8	4	8	37	10,420
인천	3,016	-	-	-	-	1	1	1	-	14	3,019
울산	1,262	750	180	230	150	3	-	-	1	6	2,576
경기	2,015	-	-	-	-	-	-	1	-	11	2,016
강원	7,311	4,556	90	1,695	540	8	1	-	3	28	14,204
충남	29,056	200	-	1,000	-	2	6	2	3	52	30,269
전북	4,455	500	-	-	-	1	1	1	3	10	4,961
전남	72,008	596	-	350	-	6	3	6	14	98	72,983
경북	7,360	2,050	184	1,150	-	1	2	3	2	34	10,752
경남	38,490	460	46	-	-	2	3	4	7	95	39,012
제주	13,511	-	-	-	-	-	10	5	17	58	13,543

주: 양빈, 친수공간, 해변산책로, 기타(연육제, 통수시설 등)는 준공 지구 수로 집계
자료: 해양수산부(2020c), pp. 2-23-24.

2021년 말 기준 연안정비사업 투자실적을 살펴보면 「연안관리법」에 따른 연안정비기본계획 수립 후 완료 또는 추진 중인 연안정비사업 투자금액은 제1차 연안정비기본계획 3,331억 원(42.4%), 제2차 연안정비기본계획 9,173억 원(46.8%), 제3차 연안정비기본계획 2,164억 원(9.4%)이다. 제1차 연안정비기본계획에서는 연안보전사업에 2,772억 원이 투자되어 친수연안사업, 해역개선사업과 비교했을 때 가장 많은 예산이 사용되었다. 추진율을 비교했을 때는 1차 연안정비기본계획에만 포함되었던 해역개선사업이 50%로 가장 높았다. 제2차 연안정비사업의 경우에는 친수연안이 50.5%로 추진율이 가장 높았으나, 투자금액은 연안보전이 7,095억 원으로 3배 이상 많았다. 제3차 연안정비사업도 2차 때와 마찬가지로 친수연안이 22.2%로 추진율이 높고 사업투자금액은 연안보전이 1,836억 원으로 친수연안사업 대비 더 많은 금액이 투자되었다.[78]

2021년 말 기준으로 연안정비사업 준공실적을 살펴보면 연안정비기본계획 수립 이후에 시행된 사업의 준공실적은 제1차 연안정비기본계획 237개 지구(37.5%), 제2차 연안정비기본계획 220개 지구(58.7%), 제3차 연안정비기본계획 4개 지구(1.4%)이며, 나머지 지구는 미착수 사업 또는 추진 중이다.[79] 제1차 연안정비사업의 전체 지구 수는 632개로 이 중 237개소가 준공되어 준공 실적률은 37.5%에 달한다. 이 중 연안보전은 573개 지구 중 223개 지구가 준공되어 38.9%의 실적률을 나타냈다. 친수연안은 32개 지구 중 7개 지구가 준공되어 21.9%의 준공실적을 보였다. 제2차 연안정비사업은 총 375개 지구 중 220개 지구가 준공되었으며, 총 추진실적률은 58.7%다. 연안보전사업은 300지구 중 176개가 준공되었으며, 친수연안사업은 75개 지구 중 44개가 준공되었다. 제3차 연안정비사업은 전체 지구 283개 중 4개 지구가 준공되어 총 추진실적률은 1.4%다.

78) 해양수산부(2021a), p. 7.
79) 위의 책, p. 7.

〈표 3-11〉 연안정비사업 투자실적

단위 : 백만 원

사업 구분	제1차 연안정비사업 (2009년까지)			제2차 연안정비사업 (2010~2019년)			제3차 연안정비사업 (2020~2021년)		
	계획	실적	추진율	계획	실적	추진율	계획	실적	추진율
전체	784,768	333,124	42.4%	1,960,531	917,320	46.8%	2,330,883	216,355	9.4%
연안보전	645,929	277,250	42.9%	1,549,041	709,515	45.8%	2,153,728	183,645	8.5%
친수연안	62,337	17,290	27.7%	411,490	207,805	50.5%	147,155	32,710	22.2%
해역개선	76,502	38,584	50.4%	-	-	-	-	-	

자료: 해양수산부(2021a), p. 7.

〈표 3-12〉 연안정비사업 준공실적

단위 : 개소, %

사업 구분	제1차 연안정비사업			제2차 연안정비사업			제3차 연안정비사업		
	전체 지구 수	준공지구 수	추진실적	전체 지구 수	준공지구 수	추진실적	전체 지구 수	준공지구 수	추진실적
전체	632	237	37.5	375	220	58.7	283	4	1.4
연안보전	573	223	38.9	300	176	58.7	249	4	1.6
친수연안	32	7	21.9	75	44	58.7	34	-	-
해역개선	27	7	25.9	-	-	-	-	-	-

자료: 해양수산부(2021a), p. 7.

(2) 해안방재림 조성사업

해안방재림이란 바다에서 발생하는 해일·지진해일(쓰나미)·풍랑에 의한 피해를 감소시키기 위하여 해안과 연접된 지역에 조성된 숲을 말한다.[80] 해안방재림 조성지침에 따르면 해안방재림의 기능은 해일방지, 지진해일(쓰나미) 방지, 방풍, 모래 날림 방지, 염해방지 등으로 구분된다. 해일방지 기능은 태풍이나 저기압에 의한 강풍으로 해안의 수위가 비정상적으로 높아져 발생하는 해일의 피해를 방지하는 기능(유속·에너지 저하, 표류물의 이동차단, 파도에 의한 파괴력 감소, 사구의 이동 방지)을 말한다. 지진해일(쓰나미) 방지 기능은 해저 지진에 의하여 발생한 파도가 사방으로 전파되면서 발생하는 해일의 피해를 방지하는 기능을 말한다. 방풍 기능은 나무의 가지·줄기 등이 태풍·돌풍으로 발생한 강한 바람을 감속시키는 것을 말한다. 모래 날림 방지 기능은 나무의 가지·줄기 등이 모래의 이동을 차단하고 모래면을 피복하여 모래가 날리지 않도록 억제하는 것이다. 염해방지 기능은 나무의 가지·줄기 등이 파도·바닷바람에 의하여 내륙에 날아오는 염분을 차단한다.

해안방재림 조성사업을 추진하기 위해 대상지를 선정하고 현지 조사를 수행한다. 대상지는 만조해안선부터 200m 이내의 지역으로 하되, 해일·지진해일의 피해가 우려되는 지역 또는 모래 날림·염해·풍해 방지가 필요한 지역 등은 그 이상으로 조정하여 선정한다. 국·공유지(미등록지 포함) 및 빈지 등에 우선 조성하도록 되어 있으며, 사유지는 소유자의 사전 동의가 필요하다. 대상지 조사는 예비조사, 현지 조사, 종합정리 순으로 진행된다. 조사 항목은 토양, 임황 및 식생, 사회적 특성으로 구분된다. 여기서 사회적 특성 조사란 대상지의 토지이용 상황, 농경지, 어업시설, 공공시설, 부락, 인구, 지역 특성 등 관련 자료를 조사하며, 기존의 방재시설 및 설치계획

80) 산림청, 해안방재림 조성지침(2011.4.12.)

등을 조사하게 되어 있다. 해안방재림 조성 기법으로는 퇴사공, 정사공, 방풍공 등이 있다. 퇴사공의 대표 공법인 퇴사울타리공법은 모래 날림이 많은 지역에서 모래를 퇴사울타리 전후에 퇴사시키고 사구를 조성하여 식재목을 보호하는 방법이다.

해안방재림 관리를 위해 현지 상황에 따라 지속가능한 산림자원 관리지침에 의거하여 숲 가꾸기를 실시할 수 있으며, 이때 하층목은 상층목과 방재 기능을 고려하여 결정한다. 또한 바다에서 불어오는 강풍·해일 등을 고려하여 숲 가꾸기를 실시해야 한다. 그러나 해안방재림을 조성하기 위해서는 넓은 용지가 필요하고, 성림이 되기까지 시간 소요, 효과 발현이 더딤, 일사의 감소, 병해충, 낙엽, 소동물의 발생원이 되는 등의 단점도 있다.

3. 연안재해 대응 문제점

1) 연안재해 대응사업 문제점

(1) 사례 분석[81)]

연안정비사업 추진 이후에 나타나는 문제점으로 지속적인 세굴·침식 발생, 인공시설물의 파손·유실·침하, 해안으로 이동 유실되는 연안표사 이동, 사구 유실, 배후 해수 유입, 해안선 후퇴 등이 있다. 이와 같은 그레이인프라 중심의 연안정비사업 문제점을 구체적으로 분석하기 위하여 그레이인프라가 설치된 지역(3개소)에 대해 심층 분석하였다. 심층 분석한 3개소는 충남 태안군 운여해변, 강원 강릉시 소돌해변, 경북 울진군 봉평지구에 해당한다.

충남 태안군 운여해변은 침식방지를 위해 제1차 연안정비사업 및 타 사업으로 다양한 인공시설물(석축호안, 완경사호안, 돌제군, 이안제)을 설치

81) 박원경(2022) 자문원고

하였다. 그러나 사업 이후 지속적인 세굴, 침식이 발생하여 기설치한 시설물이 붕괴되는 2차 피해가 발생한 지역이다.

강원도 강릉시 소돌해변은 과거 해안도로를 건설하며 설치한 직립호안이 침식으로 붕괴되고 월파로 인한 침수피해가 발생한 지역이다. 기설치된 호안 보강 시 안전보행로 확보를 위해 불가피하게 축소되는 해빈폭 확보를 위해 양빈을 계획하였으며, 양빈모래의 유출 저감을 위한 한시적 침식방지 보조시설로 지오튜브를 설치하였다. 그러나 고파랑 내습으로 지오튜브가 훼손됨에 따라 양빈사가 유실되는 피해가 발생한 지역이다.

경북 울진군 봉평지구는 인근 죽변항 건설과 잦은 고파랑 내습 등으로 인한 상습적인 해안선 침식지역에 1, 2차 연안정비사업을 통해 2002년부터 2013년까지 헤드랜드, 수중방파제가 설치되었다. 당초 계획되었던 북측 헤드랜드는 설치되지 않았으며, 호안 및 이안제가 설치되었다. 기설치한 헤드렌드 및 잠제 배후에는 너울성 파도에 의한 침식과 월파 피해가 계속 발생하였다.

〈표 3-13〉 그레이 방식 사업 사례 분석 대상지 현황 및 문제점

대상지	사업 추진 현황 및 문제점
충남 태안군 운여해변	• 침식방지를 위해 제1차 연안정비사업 및 타 사업으로 다양한 그레이인프라 시설(석축호안, 완경사호안, 돌제군, 이안제)을 설치함 • 사업 이후 지속적인 세굴, 침식이 발생하여 기설치한 시설물이 붕괴되는 2차 피해 발생
강원도 강릉시 소돌해변	• 과거 해안도로를 건설하며 설치한 직립호안이 침식으로 붕괴되고 월파로 인한 침수피해 발생 • 2014년에 재해위험지구 정비사업으로 호안 보강 • 호안 보강 시 안전보행로 확보를 위해 불가피하게 축소되는 해빈폭 확보를 위해 양빈을 계획하였으며, 양빈모래의 유출저감을 위한 한시적 침식방지 보조시설로 지오튜브 설치 • 우암재해지구 정비공사 완료 후 약 1년 동안 과거 피해 당시에 비해 넓은 해빈폭을 확보하였으나, 고파랑 내습으로 지오튜브가 훼손됨으로 인해 양빈사가 유실되는 피해 발생

대상지	사업 추진 현황 및 문제점
경북 울진군 봉평지구	• 인근 죽변항 건설과 잦은 고파랑 내습 등으로 인한 상습적인 해안선 침식지역에 1, 2차 연안정비사업을 통해 2002년부터 2013년까지 헤드랜드, 수중방파제가 설치됨 • 모래공급이 단절된 표사계와 기설치된 구조물 배후에 너울성 파도에 의해 침식 및 월파 피해가 지속적으로 발생

자료: 박원경(2022), 자문원고 내용을 바탕으로 재 정리

가. 충남 태안군 운여해변

운여해변은 충남 태안군 고남면 장곡리에 위치하며 과거 모래 채취, 석축호안 설치 등 해안사구 개발 등의 요인으로 세굴 및 침식피해가 발생하여 1차 연안정비사업으로 2회에 걸쳐 호안이 건설되었다. 또한 연안정비사업으로 설치한 호안 이외에도 타 사업으로 호안 전면에 돌제군, 이안제, 목책 등이 추가 설치되었으나 지속적인 침식이 발생하였고 다시 제3차 연안정비사업이 계획되어 있다. 1차 연안정비사업으로 호안을 설치하였으나 해당 시설물이 파손되어 피해가 추가적으로 발생하였다. 1차 연안정비사업으로 설치된 호안 시설물에 대하여 해양수산부에서는 '연안정비 시설물 사후관리 연구'를 통해 시설물 점검을 실시하였으며, D(미흡)로 평가받았다.

〈표 3-14〉 충남 태안군 운여해변 연안정비사업 계획 및 추진 현황

기본계획	사업구분	사업기간	사업비(백만 원)	사업규모	비고
1차	연안보전	2005.12~2007.8	800	호안 290m	설치 후 피해발생
		2008.10~2009.12	2,188	호안 467m	
3차	연안보전	-	4,673	돌제(목책) 460m 양빈 50,000㎥	

자료: 해양수산부(2021a) 토대로 저자 작성

〈그림 3-5〉 제1차 연안정비사업으로 설치한 운여해변 호안의 피해 위치도 및 피해 전경



자료: 해양수산부(2016a) 토대로 저자 작성

이와 같이 운여해변의 침식방지를 위해 제1차 연안정비사업 및 타 사업으로 다양한 그레이인프라 시설(석축호안, 완경사호안, 돌제군, 이안제)을 설치하였으나 지속적인 세굴, 침식이 발생하여 기설치한 시설물이 붕괴되는 등 2차 피해가 발생하였다.

〈그림 3-6〉 제3차 연안정비기본계획 운여지구 계획평면도



자료: 해양수산부(2020d), p. 107.

모래이동이 활발한 해안에서 호안 설치는 반사파로 인한 세굴로 침식방지 목적을 달성할 수 없을 뿐만 아니라 구조물 자체의 안정성이 취약해져 결국 구조물이 붕괴되는 2차 피해가 발생한다. 이로 인한 시설물의 재설치

또는 보수·보강 비용이 추가되는 문제가 나타난다. 해안에서의 모래 이동뿐만 아니라 해안과 육역 간의 모래 이동이 활발한 사구 해안에서는 육역에서의 개발(모래 채취 등)도 해안선 안정에 큰 영향을 미친다.

나. 강원도 강릉시 소돌해변

소돌해변은 강원도 강릉시 주문진읍 주문리에 위치하며, 지반고가 낮은 저지대 해안이다. 과거 해안도로를 건설하며 설치한 직립호안이 침식으로 붕괴되고 월파로 인한 침수피해가 발생하였다. 2014년에 재해위험지구(우암지구) 정비사업으로 호안 보강을 완료하여 배후지 침수피해는 방지하였으나 지속적인 해안침식 발생으로 제3차 연안정비사업이 진행 중이다.

〈그림 3-7〉 소돌해변 해안피해 전경



2006.10. 2010.05. 2010.10.

자료: 강릉시(2018), pp. 201-202.

〈표 3-15〉 강원 강릉시 소돌해변 연안정비사업 계획 및 추진 현황

사업명	사업 구분	사업기간	사업비 (백만 원)	사업규모	비고
재해위험 지구정비 사업	재해 방지	2012.11~2014.12	9,035	호안신설 및 보강 430m 모래유실저감공(양빈 및 지오튜브) 1식	설치 후 피해 발생
3차 연안 정비	연안 보전	2022~ (설계 진행 중)	36,550	이안제(경관형) 160m 수중방파제 160m 돌제 100m 양빈 42,784㎥	국가(연안침식관리구역, 지경-향호-소돌지구)

자료: 강릉시(2012), 해양수산부(2021b) 토대로 작성

재해위험지구 정비사업에서는 기존 적립식 옹벽을 계단식 완경사 호안으로 보강하였다. 호안 보강 시 안전보행로 확보를 위해 불가피하게 축소되는 해빈폭을 확보하여 배후지 방호 기능을 유지할 수 있도록 양빈을 계획하였으며, 장래 연안정비사업으로 잠제, 돌제가 계획되어 있음을 고려하여 한시적으로 양빈 모래의 유출을 막기 위해 지오튜브를 설치하였다. 재해위험지구 정비공사 완료 후 소돌해변은 약 1년 동안 과거 피해 당시에 비해 넓은 해빈폭을 확보하였으나, 고파랑 내습으로 지오튜브가 훼손되어 양빈사가 유실되는 피해가 발생하였다.

〈그림 3-8〉 우암재해위험지구 정비공사 후 피해 현황

우암재해 정비공사 직후(2014.4)





지오튜브 훼손 및 양빈사 유실 전경(좌: 2015.5, 우: 2018.1)



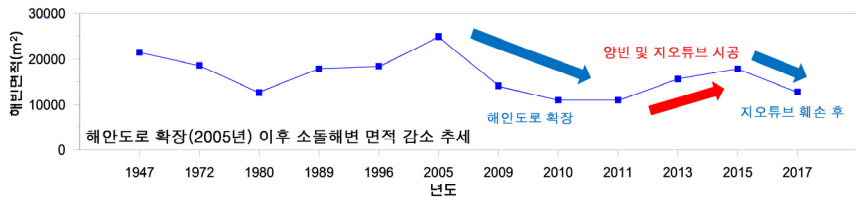


자료: 강릉시(2018), p. 207.

이와 같이 재해위험지구 정비공사 완료 후 배후 월파 침수 및 해안도로 피해는 방지하였으나, 소돌해변 침식 저감에는 한계가 있어 강릉시에서는

소돌해변 연안정비사업 기본 및 실시설계를 수행하였고, 해양수산부에서는 동일표사계에 위치한 지경-향호 지구를 포함한 제3차 연안정비기본계획 수립 후 설계를 진행 중이다. 구조물 설치에 따른 해안변화 이력을 살펴보면, 1980년 정사영상은 해안개발 및 재해위험지구 정비사업 이전 상황으로서 소돌해변(D구역) 평균 해빈폭이 약 23m 정도로 좁아 고파랑 내습 시 해빈에 의한 파랑 저감효과가 미흡하여 배후지에 미치는 영향이 크게 작용하였을 것으로 판단된다.

〈그림 3-9〉 소돌해변(D구역) 면적 변화



자료: 강릉시(2018), p. 230.

소돌해변 재해위험지구 정비사업은 그레이인프라 시설인 완경사 호안뿐만 아니라 양빈과 지오튜브를 병행하여 설치하였으나, 지오튜브가 훼손되면서 양빈 모래가 유실되는 피해가 발생하였다. 동해안과 같이 고파랑 작용이 빈번하고 개방된 해역에서 그린인프라 시설 적용 시, 양빈만 적용할 경우에는 양빈 모래가 쉽게 유실될 수 있으므로 파랑 또는 모래유출 저감시설의 복합 적용이 필요하다. 또한 지오튜브 같이 파랑 작용에 취약한 시설은 적용에 주의할 필요가 있다. 따라서 동일 해안에서 침식, 침수 등 재해방지 목적의 시설은 육역과 해역을 통합적으로 고려하여 계획하고, 시설물별로 최적의 시기에 설치할 필요가 있다. 즉 재해위험지구 정비사업 이전에 연안정비사업으로 계획되었던 잠제 등 외곽시설을 우선 설치하고 호안정비와 양빈을 시행하였다면 지오튜브를 설치할 필요도 없었을 것이며 모래 유실을 최소화하였을 것으로 판단된다.

다. 경북 울진군 봉평지구

봉평지구는 경상북도 울진군 죽변면 봉평리에 위치하며, 인근의 죽변항 건설과 잦은 고파랑 내습 등으로 인한 상습적인 해안선 침식지역에 1, 2차 연안정비사업을 통해 2002년부터 2013년까지 헤드랜드 3기(770m), 수중방파제(잠제) 2기(200m)가 설치되었다. 그러나 지속적인 침식피해가 발생하여 제3차 연안정비사업이 진행되고 있다.

〈표 3-16〉 경북 울진군 봉평지구 연안정비사업 계획 및 추진현황

기본계획	사업구분	사업기간	사업비(백만 원)	사업규모	비고
1차	연안보전	2002.12~2003.12 (준공 2004.12.18)	5,000	헤드랜드 135m 잠제 100m	울진군
2차	연안보전	2009.05~2013.12	12,795	헤드랜드 L형 290m 헤드랜드 T형 345m 잠제 100m	국가
3차	연안보전	2021~ (설계 진행 중)	31,181	저천단이안제 340m 저천단이안제(보강) 200m 양빈 100,000㎥	국가 (연안침식 관리구역)

자료: 해양수산부(2021b) 토대로 저자 작성

봉평지구 연안정비사업은 울진군에서 2002~2004년 남측 헤드랜드(135m)와 남측 잠제 1기(100m)를 설치하였고, 이후 국가사업으로 변경되어 실시설계 재검토(포항지방해양수산청, 2008) 결과에 따라 2009~2013년 동안 중앙부에 헤드랜드 T형 345m와 헤드랜드 L형 290m를 설치하였다. 당초 계획되었던 북측 헤드랜드 T형 290m는 타 개발계획으로 미시행되었고, 매립호안 및 이안제가 설치되었으며, 기설치한 헤드랜드 및 잠제 배후에는 너울성 파도에 의한 침식 및 월파 피해가 지속적으로 발생하여 해안에 T.T.P를 거치해 놓은 것을 확인할 수 있다.

〈그림 3-10〉 현재 봉평지구에 설치된 주요 시설물 전경



자료: 저자 작성

이와 같이 침식방지 구조물을 설치하였음에도 불구하고 침식피해가 지속적으로 발생한 원인을 살펴보기 위해 국가 R&D 사업에서 수행한 '경성공법 배치설계 가이드라인 실증연구 사례집'에 제시된 봉평해변의 관리해안선 평가 결과를 참고하였다.

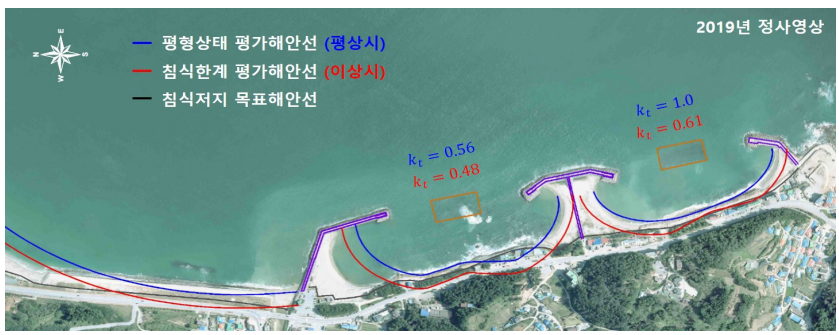
〈표 3-17〉 관리해안선의 정의, 설정 및 평가방법

구 분		정 의	설정 및 평가방법
목표 설정	평균유지 목표해안선 (MTS)	• 개발 이전 기존 자연의 해안선, 사빈 보전 목적의 해안선	• 평균해안선으로 설정(항공사진이나 해안선 관측 자료 이용), 관리주체의 연안관리 목적에 따라 협의를 통해 설정
	침식저지 목표해안선 (EPL)	• 배후 시설을 보호할 목적의 침식 저지선	• 호안, 해안도로, 임해시설, 건물 등 배후시설의 사면 붕괴를 고려하여 이상파랑 내습 시 세굴 전 단계 위치, 파의 처오름 등을 고려하여 여유 폭을 두어 설정
달성 평가	평형상태 평가해안선 (ESL)	• 유역 및 해안환경 변화에 따라 달라지는 평형 해안선	• 장기 해안선 자료의 평균 또는 표사수지 분석 및 평형해안선식에 의한 평형해안선의 산정 • (Use Tool : HaeBeanPoc, MeePaSoL)
	침식한계 평가해안선 (ECL)	• 이상파랑에 의한 침식한계선(파랑환경 변화에 의한 해안선)	• 장기 해안선 관측자료의 변동성 분석(통계분석)을 통해 산정하거나 모래입경, 파고 정보를 기초로 30년 빈도 침식한계선 산정(Use Tool: HaeSaBeeN)

자료: 이욱한·한상우·이정렬(2020), p. 245.

평형상태 평가해안선은 평상시 유지되는 안정해안선으로서 항공사진에 나타난 현재의 해안선 위치와 비교해 보면, T형 헤드랜드 남측구간은 비교적 유사하게 나타나고 있으나 북측 L형 헤드랜드 배후의 해안선은 평가해안선보다 크게 후퇴되어 있어 안정한 해안선에 도달하기 위해서는 상당량의 모래가 공급되어야 함을 알 수 있다. T형 헤드랜드 남측구간이 북측구간에 비하여 비교적 평형상태를 유지하고 있는 것은 가장 먼저 공사가 진행되면서 북측구간에서 침식된 모래가 장기간 남측으로 공급되었기 때문이며, 반면 북측구간은 장기간의 공사 지연과 기설치된 구조물에 의한 모래공급 차단이 현재 침식의 원인으로 판단된다. 침식한계 평가해안선은 30년 빈도 파랑 내습 시 예측되는 후퇴해안선으로 헤드랜드 배후를 제외하면 최후 방호선인 침식저지 목표해안선을 대부분 침범하고 있다. 이로 인해 완충구역의 미흡함으로 배후 주거지에 직접적인 침식 및 월파 피해가 발생할 수 있을 것으로 평가된다.

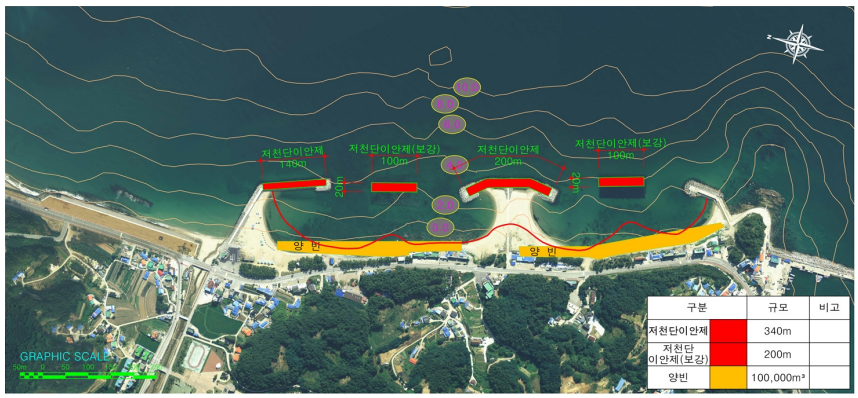
〈그림 3-11〉 봉평지구 관리해안선 평가결과



자료: 연안침식관리연구센터(2022), p. 49, p. 52 토대로 저자 작성

최근 해양수산부에서는 구조물에 의한 안정해안선 분석을 수행하고 헤드랜드 배후의 과퇴적을 완화하기 위한 구조물 저천단화(리뉴얼)와 모래공급이 단절된 표사계 내에 부족한 모래를 공급하기 위한 대규모 양빈을 반영한 제3차 연안정비기본계획을 수립하였다.

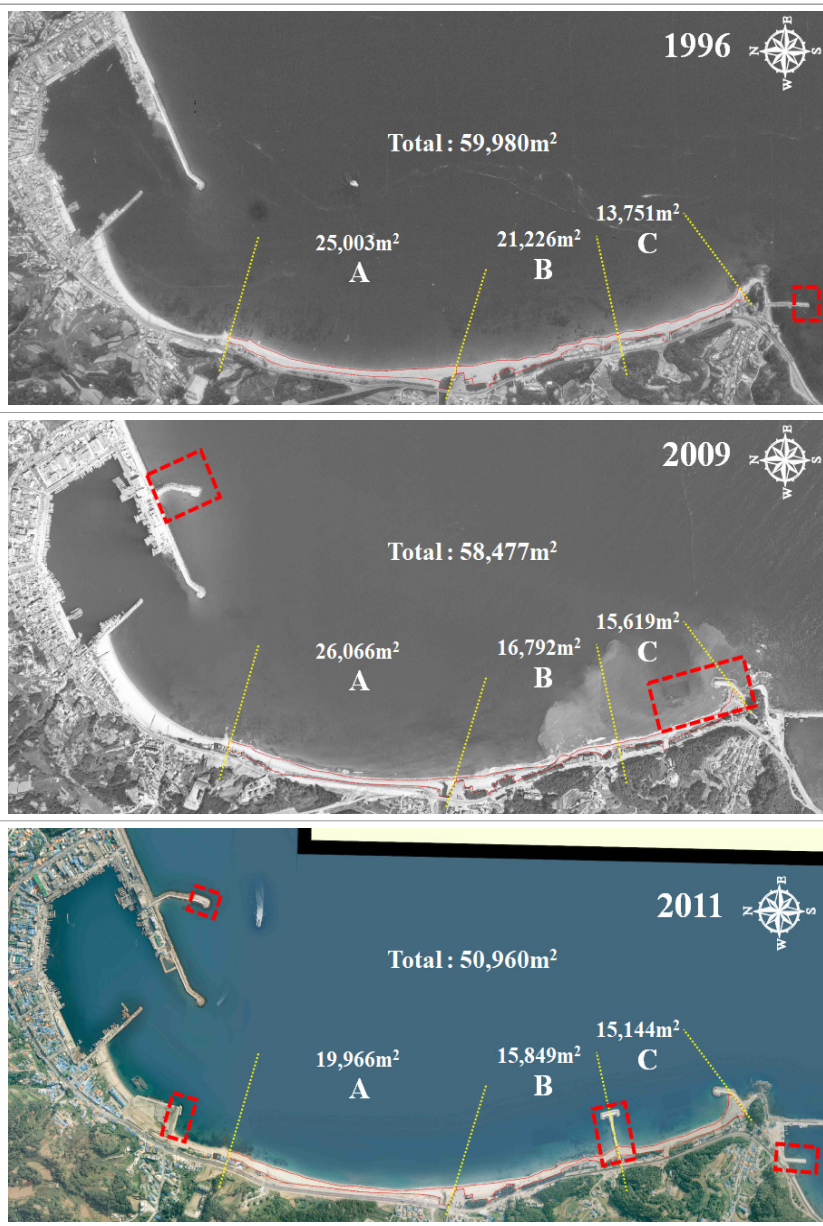
〈그림 3-12〉 봉평지구 제3차 연안정비기본계획 평면도 및 안정해안선 예측결과



자료: 해양수산부(2020d), p. 239.

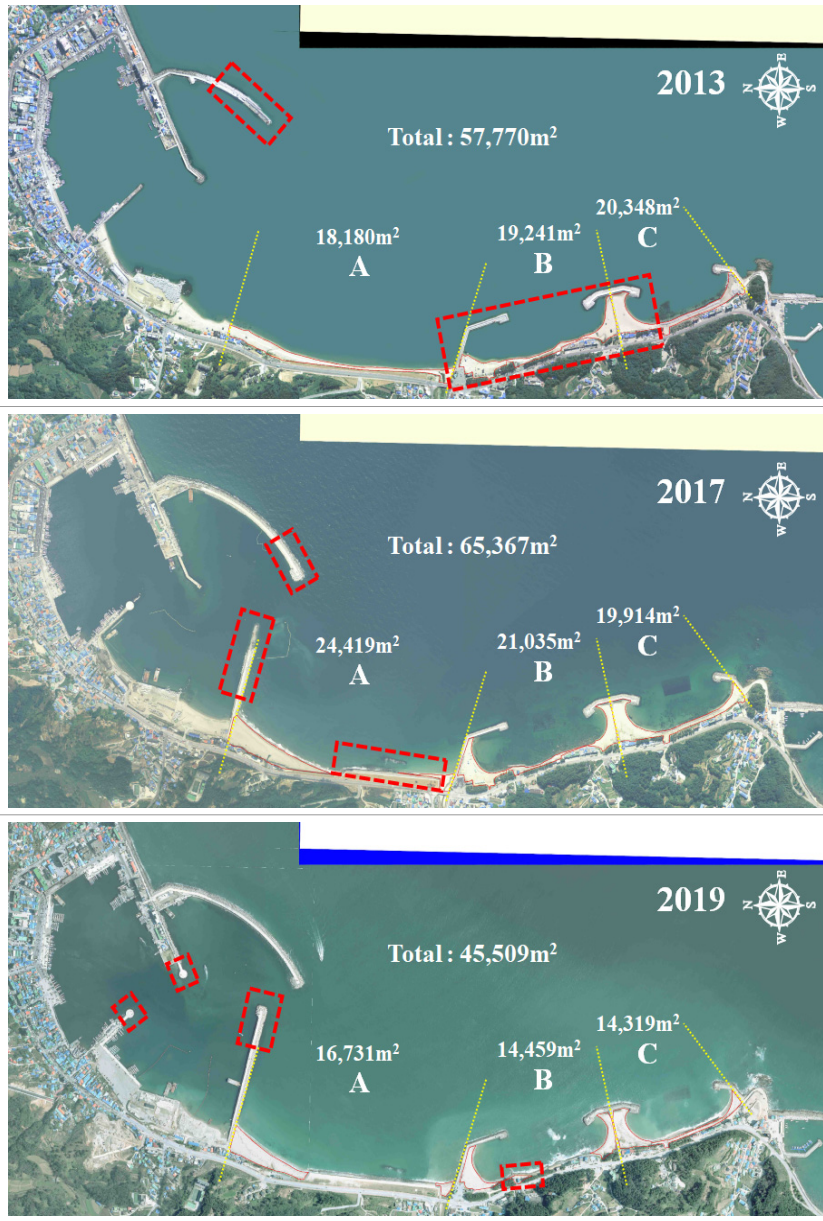
봉평지구의 연도별 해안지형 및 침식현황 변화를 살펴보기 위해 '경성공법 배치설계 가이드라인 실증연구 사례집'(연안침식관리연구센터, 2022)에서 제시한 연도별 정사영상 자료를 활용하였다. 1996년 봉평지구는 연안정비사업 이전 상황으로 전면에 일정 폭의 해변이 존재하였다. 2009~2013년 영상은 제2차 연안정비사업 기간으로 공사 진행에 따른 해안 변화를 확인할 수 있으며, 공사 초기인 2009년에는 2003년에 울진군에서 설치 완료한 남측 헤드랜드와 남측 잠제를 확인할 수 있다. 1996년과 비교하여 남측 C구역은 해빈 면적이 증가한 반면, B구역은 크게 감소한 것으로 나타났다. 2013년 영상에서는 주요 구조물 건설이 완료된 시점으로 공사 이전에 비하여 봉평지구 B, C구역의 해빈 면적은 증가하였으나, 봉평지구 북측 A구역의 해빈 면적이 크게 감소하였다. 이는 후포항 방파제 연장공사, 봉평지구 연안정비 공사 등의 영향으로 보인다. 2017년, 2019년 영상은 제2차 연안정비공사 완료 이후로서 봉평지구 북측에 방파호안 및 이안제 건설, 후포항 개발이 진행되었으며, 봉평지구 B, C구역의 해빈 면적은 공사 이전 수준으로 다시 감소한 것으로 확인되었다.

〈그림 3-13〉 봉평지구의 연도별 해안지형 및 침식현황 변화



자료: 연안침식관리연구센터(2022), p. 44.

〈그림 3-14〉 봉평지구의 연도별 해안지형 및 침식현황 변화(계속)



자료: 연안침식관리연구센터(2022), p. 44.

봉평지구는 해안 변화를 크게 유발하는 구조물 위주의 대책만 시행함으로써 구조물 설치 이후 해안 변화에 대한 사전예측과 대응에는 실패하였다. 특히 봉평지구에 설치된 헤드랜드는 방파제와 같이 파랑을 거의 차폐하는 구조물로 배후에 과퇴적을 발생하기 때문에 상대적으로 파 저감효과가 떨어지는 잠제나 구조물이 미설치된 개구부의 배후 해안에 2차 침식이 발생한다. 이러한 2차 침식방지를 위해서는 사전 해안 변화 예측을 바탕으로 적절한 공법을 선정하고, 불가피한 해안 변화에 적응하기 위한 양빈 등 복합적인 공법을 병행할 필요가 있다.

〈표 3-18〉 그레이 방식 사업 사례 분석을 통한 연안정비사업의 시사점

대상지	사업 유형	사업 추진 현황 및 문제점	시사점
충남 태안군 운여 해변	석축호안, 완경사 호안, 돌제, 이안제 목책	• 침식방지를 위해 제1차 연안정비사업 및 타 사업으로 다양한 그레이인프라 시설을 설치하였음 • 사업 이후 지속적인 세굴, 침식이 발생하여 기설치한 시설물이 붕괴되는 2차 피해 발생	• 해안에서의 모래 이동뿐만 아니라 해안과 육역 간 모래 이동이 활발한 사구 해안에서는 육역에서의 개발(모래 채취 등)도 해안선 안정에 큰 영향을 미침 • 모래 이동이 활발한 해안에서 호안 등 인공구조물 설치는 반사파에 따른 세굴 문제가 발생하므로 대책방안 강구 필요
강원도 강릉시 소돌 해변	완경사 호안, 양빈, 지오튜브	• 과거 해안도로를 건설하며 설치한 직립호안이 침식으로 붕괴되고 월파로 인한 침수피해 발생 • 2014년에 재해위험지구 정비사업으로 호안 보강 • 호안 보강 시 안전보행로 확보를 위해 불가피하게 축소되는 해빈폭 확보를 위해 양빈을 계획하였으며, 양빈모래 유출저감을 위한 한시적 침식방지 보조시설로 지오튜브 설치 • 우암재해지구 정비공사 완료 후 약 1년 동안 과거 피해 당시에 비해 넓은 해빈폭을 확보하였으나, 고파랑 내습으로 지오튜브가 훼손됨으로 인해 양빈사가 유실되는 피해 발생	• 동해안과 같이 고파랑 작용이 빈번하고 개방된 해역에서 그린인프라 시설 적용 시, 양빈만 적용할 경우 양빈모래가 쉽게 유실될 수 있음 • 파랑 또는 모래 유출 저감시설의 복합 적용 필요 • 해안에서 침식, 침수 등 재해방지 목적의 시설은 육역과 해역을 통합적으로 고려하여 계획하고 시설물별로 최적의 시기에 설치할 필요가 있음

대상지	사업 유형	사업 추진 현황 및 문제점	시사점
경북 울진군 봉평 지구	헤드랜드, 수중 방파제	• 인근 죽변항 건설과 잦은 고파랑 내습 등으로 인한 상습적인 해안선 침식지역에 1, 2차 연안정비사업을 통해 2002년부터 2013년까지 헤드랜드, 수중방파제가 설치됨 • 기설치된 헤드랜드는 방파제와 같이 파랑을 거의 차폐하는 구조물로서 배후에 과퇴적을 발생시켜 배후 해안에 2차 침식 발생	• 사전 해안변화 예측을 바탕으로 적절한 공법을 선정하고 불가피한 해안변화에 적응하기 위한 양빈 등 복합적인 공법을 병행할 필요가 있음

자료: 저자 작성

(2) 연안정비시설물 효과평가

2021년도 연안정비시설물 사후관리의 효과평가는 물리적 평가, 사회경제적 평가 중 정밀평가(경제성 분석)는 시행되지 않았고 간이평가만 진행되었다. 따라서 본 연구와의 관련성을 고려하여 효과평가는 물리적 평가를 중심으로 살펴보고자 한다. 물리적 효과 평가항목에는 해안선 변화, 해빈 단면적 변화, 배후지 피해, 인구, 자연보전가치 등이 포함된다. 항목별 평가배점에 따른 최종 평가점수에 따라 등급결과(A~D)를 부여한다.[82] 항목별 평가배점을 살펴보면 해안선 변화(40점), 단면적 변화(30점), 배후지 피해(20점), 인구·자연 보전가치(5점)로 정해져 있다. 이 중 자연보전가치 평가배점은 배점 자체가 낮을 뿐만 아니라 평가항목도 법정관리지역 유무, 인공구조물 유무로 단순 구분되어 있어 그레이인프라 설치에 따라 나타날 수 있는 다양한 편익을 제공하는 자연공간 잠식, 훼손 문제 등은 고려되지 못하고 있다.

2021년 연안정비시설물 물리적 평가방법 중 해안선(해빈폭), 단면적 변화는 직접 조사하였으며, 배후지 피해 항목은 연안침식 실태조사 관측자료 결과를 적용하였다. 인구평가와 자연보전가치 평가점수는 지구별 연안침식

82) A등급(90점 이상), B등급(70~90점), C등급(50~70점), D등급(50점 이하)

실태조사 침식등급 산정 시 점수와 동일하게 적용하였다. 평가대상지 결과 분석에서는 연안침식실태조사 결과를 적용한 배후지 피해, 인구, 자연보전 가치는 제외하고 직접 수행한 해안선(해빈폭, 단면적 변화 결과 자료, 물리적(직접) 효과평가 종합 결론 내용을 중심으로 살펴보고자 한다.

가. 강원도 고성군 교암리지구[83)]

강원도 고성군 교암리 연안정비시설물은 수중방파제 300m(100m×3기), 친수호안 300m, 양빈 100,000㎥ 등이 설치되었으며, 2013년 12월 사업이 착공되어 2019년 4월에 준공되었다. 교암리지구의 물리적 평가 중 해빈폭 변화를 살펴보면, 연안정비시설물 준공(2019년) 전 해빈폭은 2016년 17.1m, 2017년(35.9m), 2018년(37.5m)까지 양빈으로 증가추세였으나 2019년 이후 35.9m에서 28.3m로 감소하였다. 또한 2020년 기선별 해빈폭은 01번 지역이 19m, 02번 지역이 37.5m로 나타나 해빈폭 차이가 큰 것을 알 수 있다.

〈표 3-19〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 해빈폭

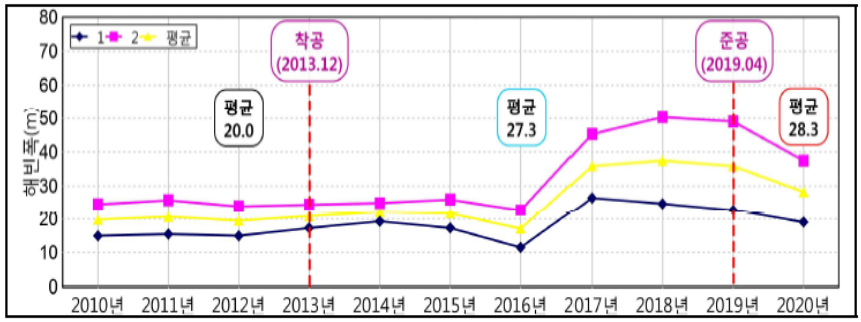
단위 : m

기선 / 연도	01	02	평균
2016	11.5	22.8	17.1
2017	26.5	45.3	35.9
2018	34.8	50.3	37.5
2019	22.8	49.0	35.9
2020	19.0	37.5	28.3

자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-25.

83) 해양수산부(2021a), pp. 4-23-31.

〈그림 3-15〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 해빈폭



자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-24.

교암리 전체 평균 단면적 변화도 해빈폭과 마찬가지로 양빈사업 시행으로 인해 2018년까지 증가추세를 보였으나 이후 감소추세로 바뀌었다. 2020년 기선별 단면적도 해안선 변화 결과와 마찬가지로 01번 지역은 26.5㎡인 데 반해 02번 지역은 67.0㎡에 이른다.

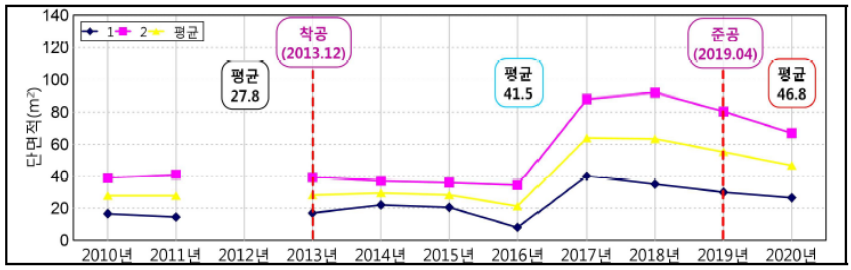
〈표 3-20〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 단면적

단위 : ㎡

기선 / 연도	01	02	평균
2016	8.0	34.5	21.3
2017	40.2	88.0	64.1
2018	35.0	92.0	63.5
2019	30.0	80.5	55.3
2020	26.5	67.0	46.8

자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-27.

〈그림 3-16〉 강원도 고성군 교암리지구 연·기선별 평균 단면적



자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-27.

교암해변은 호안(해안도로) 건설로 안충 구간 축소에 따라 고파랑 내습 시 지속적인 침식피해가 발생하고 있다. 시설물 준공년도 전·후의 해빈폭과 단면적 변화는 공통적으로 2018년 이후부터 감소추세를 보이고 있으며 기선별 변화양상도 경향이 비슷하다. 효과평가 보고서에 따르면, 교암해변은 연안정비사업으로 해빈폭이 증가하는 효과가 나타났으나 북향 연안표사로 양빈된 모래가 북측 문암2항으로 이동하여 퇴적되고 수중방파제 개구부 배후 해빈폭이 감소하는 문제가 나타나므로 지속적인 실태조사와 항 내 매몰을 저감할 수 있는 대책 수립이 필요하다는 결론이 도출되었다.

나. 강원도 고성군 봉포[84]

강원도 고성군 봉포 연안정비시설물은 수중방파제 4기 490m, 돌제 40m, 해빈복원 5만㎥ 설치되었다. 2016년에 사업이 착공되었으며, 2019년에 준공되었다. 봉포지구의 해안선(해빈폭) 변화를 살펴보면, 연안정비시설물이 준공된 2019년 이후 봉포지구의 전체 평균 해안선(해빈폭)이 감소하는 것으로 나타났다. 2020년 기선별 해빈폭은 01번 지역이 47.5m로 가장 넓었으며, 03번 지역이 34.5m로 가장 좁은 것으로 확인되었다. 해안선 변화 양상도 04번 지역을 제외한 나머지 지역에서 모두 감소하는 경향이 나타났다.

84) 해양수산부(2021a), pp. 4-34-42.

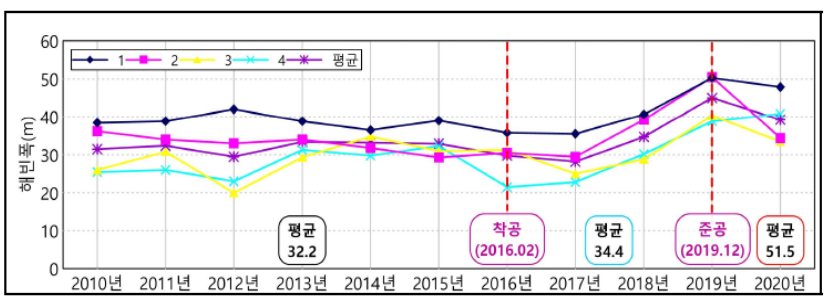
〈표 3-21〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 해빈폭

단위 : m

기선 / 연도	01	02	03	04	평균
2016	35.8	30.5	31.3	21.5	29.8
2017	35.5	29.5	25.0	22.8	28.2
2018	40.6	39.2	28.8	30.2	34.7
2019	50.3	50.5	40.3	38.8	45.0
2020	47.5	35.5	34.5	40.5	39.5

자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-36.

〈그림 3-17〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 해빈폭



자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-35.

봉포지구의 전체 평균 단면적 변화 양상은 연안정비사업이 착공된 2016년(58.0㎡)과 2017년(57.8㎡) 대비 2018년(83.3㎡), 2019년(91.3㎡) 단면적의 전체적인 규모는 증가하였으나 연안정비사업을 준공한 2019년 이후 감소추세가 나타나고 있다. 2020년 기준으로 기선별 단면적은 01번 지역이 138.0㎡로 가장 넓고, 03번 지역이 51.0㎡로 가장 좁았다. 기선별로 01번, 04번 지역의 단면적은 증가하는 추세이나 02번, 03번 지역은 감소하는 것으로 나타났다.

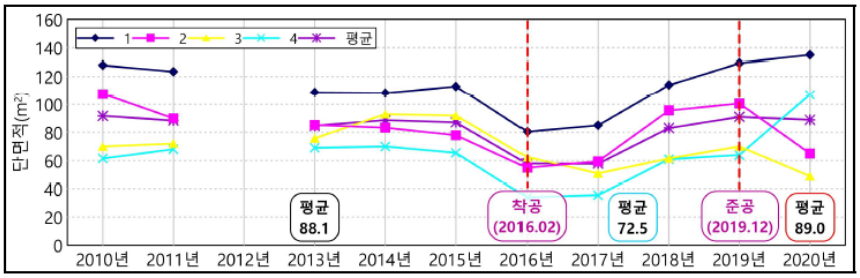
〈표 3-22〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 단면적

단위 : ㎡

기선 / 연도	01	02	03	04	평균
2016	80.5	55.0	62.5	34.0	58.0
2017	85.0	60.0	51.0	35.0	57.8
2018	114.0	96.0	62.0	61.0	83.3
2019	130.0	101.0	70.0	64.0	91.3
2020	138.0	65.0	51.0	104.0	89.5

자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-38.

〈그림 3-18〉 강원도 고성군 봉포지구 연·기선별 평균 단면적



자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-38.

봉포지구는 해안선 및 해빈단면 수심조사 결과, 연안정비사업 시행 전에 천진~봉포해변은 연안표사와 횡단표사가 공존하는 것으로 나타났다. 연안정비시설물 준공년도인 2019년 전·후의 평균 해빈폭 및 단면적 변화는 2019년 양빈사업 효과에 따라 증가하였으나, 2020년 감소하는 추세가 나타났다. 또한 2019년도 연안침식 실태조사 결과 봉포(GW12) 전체 표사계 침식등급은 B등급이었으나 이번 평가 결과에서 급격하게 감소한 C등급으로 확인되었다.

다. 전라남도 여수시 만흥[85]

전라남도 여수시 만흥 연안정비사업에 따른 시설물은 수중방파제 200m, 도류제 257m, 양빈 6만 2,000㎥, 호안보강 98m 등이 설치되었다. 사업은 2013년 11월에 착공되어 2016년 11월에 준공되었다. 여수시 만흥 지구의 전체 평균 해안선(해빈폭) 변화는 연안정비사업이 준공된 2016년부터 2019년까지 감소하는 추세로 나타났다, 기선별로 살펴보면, 05번 지역의 해빈폭이 57.7m로 가장 넓은 것으로 나타났다. 04번, 05번 지역을 제외하고 나머지 지역은 대체적으로 해빈폭이 감소하는 경향을 보였다.

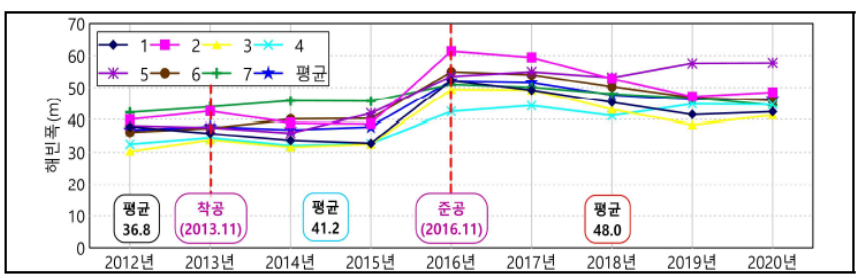
〈표 3-23〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 해빈폭

단위 : m

기선 / 연도	01	02	03	04	05	06	07	평균
2016	52.2	61.4	49.4	42.5	53.5	54.9	51.0	52.1
2017	49.2	59.4	49.2	44.3	54.9	54.0	50.1	51.6
2018	45.3	52.8	43.1	41.2	53.1	50.3	48.0	47.7
2019	41.5	47.2	38.5	44.8	57.6	46.9	46.7	46.2
2020	42.4	48.5	41.3	44.6	57.7	45.9	44.4	46.4

자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-132.

〈그림 3-19〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 해빈폭



자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-131.

85) 해양수산부(2021a), pp. 4-130-138.

연안정비시설물을 준공한 2016년 이후 양빈사업효과로 여수시 만흥 전체 평균 단면적은 증가하는 추세를 보였으나, 2018년 이후 감소하다 비슷한 수준을 유지하고 있다. 기선별로는 01번, 02번 지역이 단면적 감소폭이 큰 것으로 확인되었다. 이에 반해 04번, 05번 지역은 2016년 대비 2020년 단면적이 증가하는 것으로 확인되었다. 03번 지역은 2016년 대비 2020년 단면적 폭은 감소하였으나 2018년부터 증가추세를 보이고 있다.

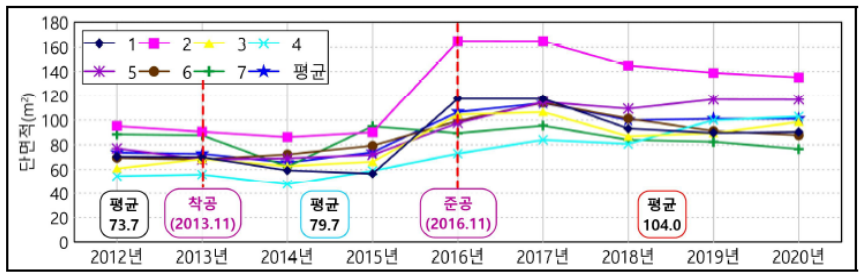
〈표 3-24〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 단면적

단위 : ㎡

기선 / 연도	01	02	03	04	05	06	07	평균
2016	117.4	164.8	104.4	72.9	97.6	99.3	89.4	106.5
2017	117.4	164.7	106.5	84.0	114.7	114.0	95.4	113.8
2018	93.1	144.9	86.8	80.7	109.2	101.2	84.0	100.0
2019	89.5	138.9	89.3	99.9	116.8	91.1	82.4	101.1
2020	90.3	135.2	98.5	102.9	116.7	87.7	76.6	101.1

자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-134.

〈그림 3-20〉 전라남도 여수시 만흥 연·기선별 평균 단면적



자료: 해양수산부(2021a), pp. 4-134.

만흥지구는 2014년 만흥천 하구 정비, 2015년 북측구간 몽돌 야적 설치, 2016년 만흥천 도류제 설치 사업을 추진하였다. 인공시설물 준공년도인

2016년 전·후의 평균 해빈폭은 2016년 증가한 이후 비슷한 수준을 유지하다가 2018년 태풍 솔릭의 영향으로 감소하였다. 단면적은 2014년 감소한 이후 2016년까지 증가하는 추세를 보였으며, 2018년에는 해빈폭과 마찬가지로 태풍 솔릭의 영향으로 큰 폭으로 감소하였다. 이처럼 태풍 및 고파랑 내습 시 시설물 배후지역에 피해가 발생하고 있으므로 연안정비사업 완료에 따른 백사장 변화에 대한 정밀 분석이 필요함을 보고서에 언급하고 있다.

2) 정책·거버넌스 문제점

2022년 6월 17일 총 6명의 전문가가 참여하는 포커스 그룹 인터뷰를 진행하였다. 각 지자체 연안정비사업을 담당하거나 과거에 실제로 관여한 경험이 있는 전문가를 섭외하였다. 이번 포커스 그룹 인터뷰의 목적은 연안정비 사업 담당자 인터뷰를 통해 연안정비사업의 내용 및 개선점에 대한 정보를 공유하고, 연안 그린인프라 도입 시 주안점 및 제도적 개선방안을 도출하는 것이다. 주요 논의 내용은 첫째, 현재 연안정비사업의 한계, 문제점 및 개선방향을 도출하는 것이다. 두 번째는 그린인프라 도입 수용 가능성에 대해 논의하는 것이다. 인터뷰는 전문가 간의 토론으로 이루어졌으며, 연구진의 개입은 최소화하였다.

〈표 3-25〉 포커스 그룹 인터뷰 참석자 현황

지역	소속	인원수
경상북도	• 울진군 해양수산과 해양개발팀	1명
전라남도	• 신안군 섬발전진흥과	1명
전라북도	• 부안군 산업건설국 해양수산과	1명
충청남도	• 서천군 해양수산과 연안항만팀	1명
충청남도	• 서산시 대산지방해양수산청	2명

자료: 저자 작성

연안정비사업 추진에 대한 정책·거버넌스 문제점으로 지역주민의 그레이인프라 중심의 연안정비사업 경로 의존 관행, 연안정비사업 2차 피해 대응을 위한 정책 수단 부재, 양빈 중심의 연안정비사업 추진 한계, 지자체 주관의 현장 맞춤형 연안정비사업 추진 필요, 그린인프라 공법의 재해 대응 효과 인식 증진 필요 등이 지적되었다.

첫 번째로, 지역주민의 그레이인프라 중심의 연안정비사업 경로 의존 관행에 대한 문제점을 파악해보았다. 연안정비사업 추진 시 수산업, 모래 품질 등의 대표적인 민원도 있으나 지역 여건 및 이해관계자에 따라 사업 관련 다양한 민원이 제기된다. 이러한 민원으로 재해 대응 적용공법이 달라지는 경우도 있다. 이에 주민 수용성을 높이기 위해 해당 지자체에서 설명회 등을 개최하고 있으나 현실적으로 다양한 이해관계자를 대상으로 수용성을 제고하는 데 어려움이 있는 것으로 확인되었다.

"지역주민들이 원하면 연안정비사업을 추진할 수밖에 없으며, 주민들의 연안피해에 대한 불안감으로 인해 호안 등의 그레이인프라 중심의 사업을 할 수밖에 없습니다."

서천군의 경우 설명회에서 주민의 반대가 거세게 있었으나 지속적으로 설득하여 양빈, 목채 설치, 산책로 조성 등 친환경공법으로 사업을 준공하였고, 이후 2차 피해 발생이 없어 주민이 만족해하는 사례도 있다. 태안군 꽃지해변의 경우에도 연안정비사업 전 해수욕장 기능을 할 수 없을 정도로 침식이 심각하여 주민에게 해수욕장 기능 복원을 중심으로 설명하였고, 이에 주민이 동의하여 사업을 추진할 수 있었다. 어항 이용을 위해 주민이 경성공법으로 연안정비사업을 해달라는 민원이 많이 발생한다. 주로 광장, 주차장 조성 등에 대한 민원인데 지자체는 군수가 사업을 결정하는 구조라서 이러한 민원을 반영하는 과정에서 관광지, 어항 등에 집중할 수밖에 없는 현실이다.

두 번째로, 그레이인프라로 연안정비사업을 실시한 후 2차 피해가 발생했을 경우 이에 대한 대응이 어렵다는 것이 문제점으로 지적되었다.

"연안정비기본계획 수립 시 사업지구 선정에 있어 최근 정비사업을 해서 2차 피해가 발생된 것이 확인되면 같은 지구에 대한 사업이 정비계획에 재반영되는 것이 현실적으로 어렵습니다."

2차 피해 저감을 위한 대책 마련도 중앙부처 또는 지자체에서 이루어지지 않고 있다. 따라서 연안정비사업의 2차 피해가 발생하는 것에 대해 연안정비기본계획 내 정책적 대응 매뉴얼 마련이 필요하며, 2차 피해가 발생한 지역의 사후관리는 예산이 없어 거의 방치되고 있으므로 이에 대한 추가적인 대책방안 마련이 필요하다.

세 번째로, 그레이인프라 중심의 연안정비사업을 지양하고자 양빈 중심의 사업을 추진하는 것도 문제가 있다. 지역에서 생산하는 수산물의 품질 저하를 우려한 민원 발생으로 아무 모래나 쓸 수 없는 상황이다. 따라서 주민은 모래의 질에 예민하며, 원래 있던 지역의 모래만 원하는 상황이다. 깨끗한 모래를 구한다고 해도 양빈을 쉽게 할 수 없는 여건이다. 또한 무조건적으로 양빈을 찬성하는 것만도 아닌 경우가 있다. 침식 대응과 인근 지역 주거환경이 복합적으로 고려되어야 한다.

"지역주민은 모래 유실에 대해 우려하면서도 주거지 인근에 모래가 날리거나 퇴적되는 것을 원하지 않는 문제가 있습니다."

모래의 지속적인 공급이 어렵다는 점도 있다. 해사채취가 지연되면서 모래 공급이 안되는 것이다. 이 문제 해결을 통해 담당자들은 양빈 중심의 연안정비사업을 추진하는 데 어려움이 없을 것으로 판단하고 있다. 모래 공급 방안으로 외사 수입도 대안으로 제시되었으나 비용이 많이 든다는 단점이 문제로 제기되었다.

네 번째로, 지자체 주관의 현장 맞춤형 연안정비사업 추진이 필요하다는 의견이 제기되었다. 그레이인프라 중심의 연안정비사업을 지양하려고 해도 실제로 사업을 추진해보면 침식방지와 관련하여 호안, 방조제 설치를 하는 것으로 결정되는 경우가 있다. 그러나 이후 상황에 따라 설계변경을 할 수도 있어야 하는데 연안정비기본계획에 반영된 이후에는 사업 변경이 어려운 애로사항이 있다. 연안정비사업은 200억 원의 예산 기준에 따라 해양수산부에서 사업을 추진하는 경우가 있는데, 지자체별 연안정비사업 기간과 추진 여건이 다르므로 연안정비사업은 지자체에서 주관하여 추진할 수 있게 할 필요가 있다는 의견이 제시되었다.

"연안정비기본계획이 10개년 계획이지만 해당 기간 안에 사업을 준공하는 경우가 거의 없습니다. 확인해보시면, 예산 미확보 등의 여러 가지 문제로 사업이 진행되다 말다 하는 경우가 있습니다. 그러다 2차 피해가 발생하게 되는 것이고 그러면 지자체에서는 대응할 수 있는 방법이 없습니다. 민원이 발생하면 공사를 해야 하는데, 그 이후로는 테트라포드로 막는 정도 방법밖에 없습니다."

다섯 번째로, 그린인프라 공법의 재해 대응 효과 인식 증진이 필요하다. 그레이인프라 중심의 사업이 과거부터 지속적으로 추진되어 왔고 효과가 입증되었기 때문에 어느 정도 신뢰도가 형성되어 있으나 대규모 비구조물 사업(그린인프라)은 적용할 수 있는 유형이 많지 않고 새로운 방식을 도입하기에는 국내에서 효과검증이 다수 진행되지 않아 사업 추진 시 우선순위에 밀릴 가능성이 높다.

"기존 그레이인프라를 철거하고 그린인프라와 같은 다른 대안방식을 적용하는 데 있어 침식, 월파 등의 연안피해에 효과적으로 대응할 수 있는가에 의문이 있다."

현재 제3차 연안정비계획에서도 1, 2차 계획 대비 연성공법 적용 확대에

대한 기조가 강해지고 있는 추세다. 이러한 정책 흐름선상에서 그린인프라 중심의 연안정비사업을 실제로 추진하였을 때 준공 이후 효과에 있어 성공사례가 나온다면 많은 지자체에서 도입할 것으로 담당자들은 판단하고 있다. 현재는 그런 시범사례가 많지 않다 보니 그레이인프라에 의존하여 사업을 추진하는 경우가 다수다. 그린인프라가 건강, 친수, 탄소흡수, 재해대응 동반 효과가 있다는 것이 홍보되어야 관련 사업을 추진하는 데 설득력이 있을 것으로 판단된다.

4. 연안재해 대응방식 개선을 위한 시사점

1) 그린인프라 활용을 통한 연안재해 대응방식의 전환

앞서 살펴본 연안정비사업의 현황과 사업 추진 시 문제점 파악을 통해 향후 연안재해 대응방식 개선을 위한 시사점을 도출하면 다음과 같다.

첫 번째, 대표적 연안재해 대응사업인 연안정비사업의 99.9%가 호안, 잠제 등 그레이인프라다. 그레이인프라에서는 호안의 비중(전체 사업의 92.3%)이 압도적으로 높다. 이러한 현상의 대표적인 이유로 연안 그린인프라 시설 설치에 대한 추진근거 부재가 있다. 연안 그린인프라 설치 관련 근거 법령이 없으며, 연안시설 설계기준에 신규기술 적용에 관한 내용이 일부 명시되어 있으나, 연안 그린인프라를 도입할 수 있는 근거나 시설물의 종류, 자연기반해법(NbS)을 활용한 공법 적용 및 설계 고려사항, 시설물 적용 재료 등에 관한 규정은 마련되어 있지 않다. 따라서 실질적으로 연안 그린인프라의 효과검증 및 기술개발이 이루어진다고 해도 실질적으로 사업화할 수 있는 근거가 부재하다.

두 번째, 그레이인프라 중심의 연안재해 대응은 효과가 미미하거나 2차

피해가 자주 발생하여 추가적인 보강작업이 필요한 경우가 있다. 앞서 살펴본, 강릉 소돌해변은 호안, 양빈 실시 후 1년 만에 다시 침식과 월파 피해가 발생하였다. 울진 봉평해변도 2차에 걸쳐 연안정비사업(T형 돌제, 잠제 등)을 실시하였으나 침식피해가 지속적으로 발생하여 최근 수립한 제3차 연안정비계획에 연안정비사업을 다시 반영하였다. 따라서 현재 주로 적용되고 있는 그레이인프라 기술 및 경제성에 대한 재검토가 필요하다. 연안시설 설계기준에 나와 있듯이 경제성에 있어서는 공사비를 포함한 편익성도 고려되어야 하므로 비용편익분석 등이 이루어져야 한다. 또한 그레이인프라의 생애주기비용을 고려함으로써 시설물 기능의 지속성을 확인해야 한다. 이러한 기술 및 경제성 검토는 그레이인프라뿐만 아니라 향후 도입 가능성이 있는 연안 그린인프라에도 적용함으로써 각 인프라 분석결과를 활용하여 연안지역별로 합리적인 인프라가 설치될 수 있는 대안을 마련해야 한다.

〈그림 3-21〉 소돌해변 연안정비사업 전·완료·후

공사 전(2011년)	공사 완료(2014년)	연안침식 피해 재발(2015년)
		

자료: 강릉시청 보도자료(2014.7.3.); 연합뉴스(검색일: 2022.7.5.)

세 번째, 연안의 자연 시스템을 교란시켜 추가적인 침식 등의 문제를 야기한다. 이로 인해 유지·관리비용이 지속적으로 투입되어 경제적 손실 규모도 커지게 된다.

네 번째, 수변공간을 이용하는 이용자에게는 탄소흡수, 수질정화, 친수

등 다양한 편익을 제공하는 자연공간이 잠식되는 것을 의미한다. 하지만 이러한 자연공간 잠식에 따라 나타나는 부정적인 효과를 객관적으로 입증할 수 있는 기초자료 및 검증 절차가 마련되어 있지 않으므로 이에 대한 사전 검토가 선행되어야 한다.

따라서 과도하게 치중되어 있는 그레이인프라 중심의 사업 패러다임 전환이 필요하다. 현재 블루카본에 대해 이슈화되고 있는 상황에서 연안 그린인프라로 활용할 수 있는 신기술 및 대체 구조물 개발이 연구개발사업 등을 통해 활발히 진행되고 있다. 따라서 이러한 연구개발사업의 결과물을 활용하여 연안 그린인프라 시설의 효과를 입증하고 본격적인 도입을 위한 사업 추진 근거를 마련함으로써 패러다임 전환에 선제적으로 대응할 수 있어야 한다. 그러나 모든 사업에 있어 그레이인프라를 배제할 수 없는 상황이기도 하므로 적절한 위치 선정 및 시설물 설치에 따라 2차 피해를 최소화할 방안을 모색해야 할 것이다. 또한 연안의 특성과 사회경제적 여건을 종합적으로 고려하여 그린인프라 또는 그레이인프라와 그린인프라를 통합한 하이브리드형 방식의 사업을 통해 비용효과적인 사업 추진도 필요하다.

마지막으로, 연안정비사업 시 가장 중요한 것은 재해 대응이지만 부가적으로 그 지역에 살고 있는 지역주민의 연안에서의 삶의 질 향상을 위한 친수공간 확보에 대한 고민도 같이 이루어져야 할 것이다.

〈그림 3-22〉 그레이인프라 방식 연안재해 대응사업의 문제점



자료: 저자 작성

2) 연안정비사업 효과평가 체계 개선

현 연안정비사업 효과평가는 사업 추진으로 나타나는 직접효과에 해당하는 물리적 효과를 중심으로 평가하는 것을 원칙으로 하고 있다. 효과평가는 해변복원, 침식방지 등 긍정적인 효과뿐만 아니라 예상하지 못한 부정적인 효과도 대상으로 해야 하나 실질적으로 시설물 효과평가에 반영되는 항목은 해안선(해빈폭) 및 단면적 변화 위주다. 배후지 피해, 인구, 자연보전가치는 세부 평가항목이 매우 단순화되어 있어 연안정비사업 이후 주변 지역에 미치는 다양한 분야에 대한 영향력을 알 수 없는 상황이다. 따라서 연안정비사업의 긍정적 효과를 파악하는 것도 필요하지만 부정적인 효과의 다양한 유형을 파악할 수 있도록 조사항목 개편이 필요하다.

2021년 연안정비 시설물 효과평가에서는 사회경제적 평가 중 정밀평가(경제성 평가)가 진행되지 못해 사업의 물리적 효과 외에 사업의 경제적 타당성을 파악하지 못하는 한계가 있었다. 특히 경제성 평가를 위해서는 국비 100% 사업, 300억 원 이상 사업, 해수욕장, 관광지 유원지 포함사업에 해당되어야 한다. 물론 평가에 필요한 제반비용 대비 효과가 낮은 사업까지 포함해서 전수조사를 하는 것은 현실적으로 한계가 있다. 그러나 해양환경 변화에 따라 현재 설정된 평가 대상 기준 외에 특별한 상황이 발생한 지역에 설치된 시설물의 효과검증이 필요한 경우를 고려해야 한다. 이를 위해 물리적 효과뿐만 아니라 경제성 평가도 평가에 필요한 제반비용이 가능한 범위에서 시기적절하게 이루어질 수 있는 평가제도 개선이 필요하다.

이상기후, 자연재해의 강도, 빈도 및 지속성 증대, 해양환경 다변화 등이 나타나고 있는 상황에서 기존의 인공구조물 중심의 연안정비사업에만 의존하는 것은 이러한 변화에 대응하는 데 한계가 있으므로, 이를 위한 다양한 대안을 모색해야 한다. 그러기 위한 사전 단계로 인공시설물뿐만 아니라 향후 도입 및 적용 가능한 그린인프라의 시범효과 검증도 필요하다.

3) 연안 그린인프라 친화적인 정책·거버넌스 개선

지금까지 연안재해 발생 현황, 재해대응 법제도 및 추진 사업 등의 분석을 통해 과도하게 의존하게 된 그레이인프라 중심의 연안재해 대응정책·거버넌스의 문제점을 도출해보고자 한다.

첫째, 기후변화에 따른 재해 빈도 및 강도가 높아지고 있다 보니 단기간에 가시적으로 효과를 볼 수 있는 그레이인프라에 사회경제적으로 의존하게 되는 경향이 지속되고 있다. 그레이인프라 설치로 재해 대응 효과가 검증될수록 많은 예산이 배정되어 시설 설치 후 문제가 생겨도 경로 의존 관행이 계속 반복되는 것이다. 둘째, 그린 인프라의 중요성과 효과에 대한 인식이 부족하다. 재해저감 효과가 단기간 혹은 다수 검증이 되지 않은 상태이다 보니 성공사례도 부족하여 그린인프라 적용에 대한 정책담당자의 인지도 및 신뢰도가 낮다고 볼 수 있다. 셋째, 그린인프라 관련 기술 수준이 낙후되어 있다. 그린인프라 인식 수준이 낮아 기술 발전의 필요성이 두각을 드러내지 못하고 있으며, 이는 그린인프라 도입의 가능성을 높이지 못하는 한계로 작용한다. 넷째, 그린인프라 적용 도입에 대한 정책 수요가 적고 뒷받침할 수 있는 법제도적 근거가 없어 구체적으로 실현방안을 마련하지 못하고 있다.

따라서 그레이인프라에 대한 의존성을 낮추고 그린인프라 효과 입증에 따른 인식 증진을 위해서는 관련 기술개발의 적극적인 투자가 필요하다. 또한 시범사업을 통해 성공사례를 만들어 지역주민의 수용성을 제고하고 정책결정자에 대한 신뢰성을 높일 수 있어야 하겠다. 이를 위해 연안, 재해, 환경, 국토, 산림 등 다양한 분야의 관련 정부부처, 연구기관, 시민단체 등이 협력하여 그레이인프라 중심 사업의 문제점을 공유하고, 개선방안 마련의 필요성을 증대시킴으로써 결과적으로는 정책 수요를 만들어내는 것이 중요할 것이다.

〈그림 3-23〉 연안재해 대응정책 거버넌스의 문제점



자료: 저자 작성

5. 소결

본 연구는 연안재해 대응 시 모든 방식을 그레이인프라에서 그린인프라로 전환하자는 주장을 하는 것은 아니다. 다만 과거부터 지금까지 과도하게 의존하게 된 그레이인프라 중심의 대응방식이 다양한 연안 피해를 발생시킴에 따라 연안생태계를 훼손하지 않으면서 재해 대응에 효과적인 대안을 찾아보자는 것이 핵심이다. 그 대안으로 그린인프라 도입 필요성에 대해 살펴보았다. 해외 사례 및 관련 연구 등을 통해 그린인프라의 효과가 점진적으로 입증되고 있으며, 세계 각국에서 자연기반의 재해 대응방식을 도입하고 있다. 우리나라는 동, 서, 남 해역의 특성과 태풍 경로, 상습 지진 발생지역 등 연안재해의 특성이 다르고, 지금까지 추진해왔던 그레이인프라 중심의 재해 대응방식의 문제점이 지속적으로 제기되고 있으므로 이러한 상황에서 더 이상 그레이인프라 중심의 대응방식만이 답은 아닐 것이다.

우리나라에서 발생하는 재해에 효과적으로 대응하기 위해서는 재해의 특성, 연안 물리환경, 사회경제 여건 등을 고려하여 그레이인프라와 그린인프라를 조화하는 것이 무엇보다 중요하다. 미국 뉴욕시의 경우 이러한 하이브리드형 대응방식을 장려하고 있다. 뉴욕시는 복합 하수 범람(combined sewer overflows, CSO)의 규모를 저감하기 위해 가장 비용효율적이라고 평가되는 그레이인프라에 지속적으로 투자한다. 다만 그린인프라 계획 수립 시 해당 유역에 대한 그레이인프라 시설 투자가 모델링을 통해 예상되는 저감량을 달성하지 못하는 경우에 한해 투자가 이루어진다. 즉 그린인프라 계획을 수립함으로써 녹색지붕, 다공성포장, 고밀도 주거지 개조와 같은 그린인프라를 기존 그레이인프라와 통합하여 CSO 규모 저감, 수질개선 등의 도시문제를 해결하는 것이다. 우리나라도 연안재해 대응 시 이러한 지역 특성과 사회경제적 여건을 고려하여 맞춤형 연안재해 대응방식을 찾아야 한다. 이를 위해 고려해야 할 주요 요소로 비용의 효율성과 재해대응의 효과성, 연안

생태계 회복성, 지역사회 수용성 등이 있으며, 이를 고려하여 연안 그린인프라가 가지고 있는 기능을 최대한 활용할 수 있는 적지를 선정하고 활용 범위를 확대해나가야 할 것이다.

앞서 살펴본 그레이인프라 중심의 재해대응 문제점을 기반으로 연안 그린인프라 도입 방향을 살펴보고자 한다.

첫째, 연안 그린인프라는 기후변화 적응(침식·침수피해 저감)에 효과적이며 탄소흡수, 생태·경관, 친수 측면의 다양한 편익을 제공한다. 연안 그린인프라의 편익은 다양한 선행연구를 통해 입증되었고, 미국, 유럽 등 주요국에서 연안 그린인프라 보전·복원·조성 등을 위한 다양한 사업을 추진하고 있다. 이처럼 입증된 효과를 우리나라 해역여건에 맞게 적용하기 위한 첫 번째 준비단계로 연안 그린인프라 도입 및 활용에 관한 기술 연구·개발사업이 필요하다.

둘째, 연안 그린인프라에 대한 인식 증진이 필요하다. 우리나라 연안정비사업은 단기간에 가시적으로 효과를 검증할 수 있는 그레이인프라에 의존하는 경향이 지속되고 있다. 연안 그린인프라의 적용 확대를 위해서는 재해저감 기술개발 및 효과 입증 사례도 필요하지만 연안 그린인프라의 재해대응 필요성 및 활용 가능성에 대한 인식을 증진할 수 있는 관련 연구가 뒷받침되어야 하는데 이는 아직 미진한 상태다. 따라서 재해 대응 담당자, 정책결정자, 기타 이해관계자가 연안 그린인프라 도입 여부를 고려할 수 있도록 기초 정책자료 확보가 선행되어야 할 것이다.

셋째, 연안 그린인프라 기술개발 이후 이를 적극적으로 도입하기 위해서는 그린인프라 시설물의 효과검증이 필요하다. 재해대응 분야에 있어 사업 타당성을 확보할 수 있도록 효과검증을 위한 평가기준, 항목, 절차 등의 평가체계를 구축해야 한다.

넷째, 현재 연안 그린인프라 시범사업 및 효과평가 추진을 위한 근거 법령이 부재한 상태다. 향후 연안 그린인프라 도입의 필요성이 증대되고 정책 수요가 높아질 것을 고려할 필요가 있다. 이를 위해 선제적으로 법제도화 방안을 검토하여 연안재해 대응체계를 구축해야 한다.

〈표 3-26〉 연안 그린인프라 도입 방향

구분	내용
R&D 사업 추진	• 국외에서 입증된 연안 그린인프라 효과를 바탕으로 우리나라에 적용할 수 있는 연안 그린인프라 R&D 사업 추진 필요
인식 증진	• 단기간에 가시적으로 효과가 검증되는 그레이인프라에 의존하는 경향 지속 • 정책담당자와 지역 주민이 연안 그린인프라의 자연재해 대응 효과를 인식하도록 지원하는 홍보 및 교육 자료 필요
자연재해 대응 사업의 효과 검증	• 그레이 인프라의 자연재해 대응 효과에 대한 과학적 검증 강화 필요 • 재해대응 효과검증을 위해 평가기준, 항목, 절차 등 평가체계 구축 필요
법·제도 정비	• 연안 그린인프라 시범사업 및 효과평가 추진을 위한 근거 법령 부재 • 연안 그린인프라 관련 정책 수요 증대에 대응하기 위해 선제적인 법·제도 정비 필요

자료: 저자 작성

제2절 국내 연안 그린인프라 구축 여건

1. 연안 그린인프라 관련 계획 및 사업

1) 연안 그린인프라 관련 계획

① 제2차 국가기후변화 기본계획(2019)[86]

2019년 발표된 제2차 기후변화대응 기본계획 중 그린인프라 관련 사업인 바다숲 조성사업은 CCUS·산림 부문 중 해양부문에 포함되어 있다. 해당 사업을 통해 갯녹음을 치유하고 확산을 예방할 계획이다. 또한 블루카본 확충을 위해 훼손된 연안습지에 대한 실태조사를 실시하고 국내 블루카본 정보시스템 구축 및 평가 기술개발로 체계적인 관리기반을 조성할 계획이다. 해당 사업을 위해 해초류인 잘피와 다양한 염생식물이 이식될 것으로 예상되며, 이는 생태계 보호, 탄소흡수원 확충뿐 아니라 연안식생 생태계를 활용한 그린인프라 구축에도 기여할 것으로 판단된다.

② 제3차 연안정비기본계획(2020~2029)[87]

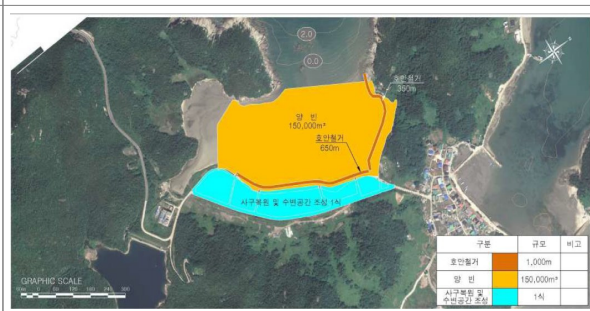
제3차 연안정비기본계획에는 총 3개의 전략이 제시되어 있다. 그중 두 번째 전략인 미래 기후변화 대비 연안 적응 능력 강화 부문에 '재해 예방을 위한 환경친화적 공법 확대'가 포함되어 있다. 이는 침식을 유발할 수 있는 기존 구조물인 해안도로, 호안 등을 제거하고 모래포집기나 침수방지를 위한 완충언덕을 조성하는 비시설물 공법을 확대한다는 계획이다. 또한 양빈을 통한 해변모래 복원규모를 제2차 사업에서 시행한 518만 6,951m^3에서 제3차 사업에서는 617만 6,492m^3로 증가시킬 계획이다. 제3차 연안정비

86) 환경부(2019), p. 54.
87) 해양수산부(2020b), pp. 9-14.

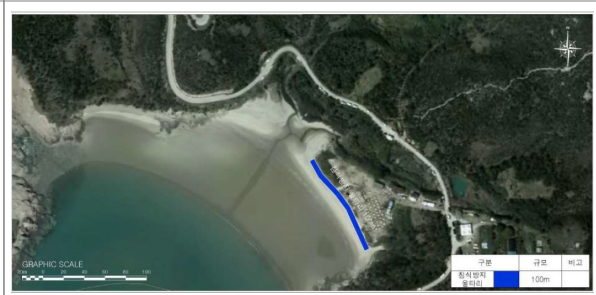
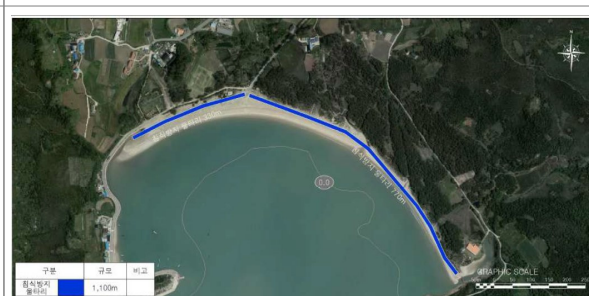
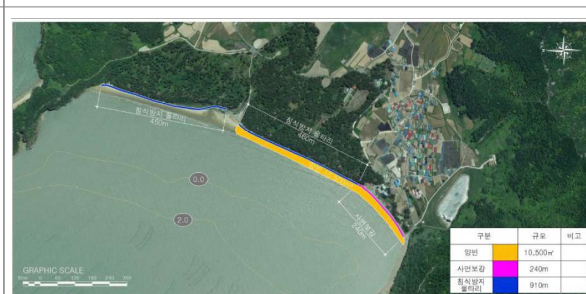
기본계획에는 연안 그린인프라에 해당하는 해안사구 복원사업도 다수 포함되어 있다. 사업내용에는 호안, 도로 등 구조물 철거, 양빈, 침식방지울타리 설치 등이 포함되어 있다.

〈표 3-27〉 사구복원이 포함된 연안정비사업 지구(제3차 연안정비기본계획)

지구명	주요 사업 내용	사업 계획도
신두리지구 (충남 태안)	침식방지울타리: 300m	
병술만지구 (충남 태안)	침식방지울타리: 100m	
연방죽골 지구 (충남 태안)	침식방지울타리: 200m	

지구명	주요 사업 내용	사업 계획도
다사2지구 (충남 서천)	- 사구보호 691m - 양빈 21,500m³ - 연안표사제어 300m	
유부도지구 (충남 서천)	침식방지울타리: 400m	
위도지구 (전북 부안)	-호안(철거) 1,000m (350m, 650m) - 사구복원 및 수변공간 조성 1식 -양빈 150,000m³	
명사십리 지구 (전북 고창)	- 도로철거 4,000m - 침식방지 울타리 4,500m - 양빈 300,000㎥	

지구명	주요 사업 내용	사업 계획도
대광지구 (전남 신안)	침식방지 울타리: 2,990m	
추포지구 (전남 신안)	침식방지 울타리: 600m	
둔장지구 (전남 신안)	침식방지 울타리: 2,450m	
내치지구 (전남 신안)	침식방지 울타리: 3,570m	

지구명	주요 사업 내용	사업 계획도
명사십리 지구 (전남 신안)	침식방지 울타리: 3,540m	
하누넘지구 (전남 신안)	침식방지 울타리: 100m	
시목지구 (전남 신안)	침식방지 울타리: 1,100m	
관매도지구 (전남 진도)	- 침식방지 울타리: 910m - 양빈: 10,500㎥	

자료: 해양수산부(2020d), 각 지구별 내용을 바탕으로 작성

③ 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)[88]

관계부처와 합동하여 「저탄소 녹색성장 기본법」에 근거하여 기후변화의 영향을 평가하고 적응대책을 추진하는 제3차 국가 기후변화 적응대책 계획이 수립되었다. 계획의 주요 내용에는 기후변화 적응을 위한 국제협약 등에 관한 사항, 기후변화에 대한 감시·예측·제공·활용 능력 향상에 관한 사항, 부문별·지역별 기후변화의 영향과 취약성 평가 및 적응대책에 관한 사항 등이 포함되어 있다. 지난 제2차 국가 기후변화 적응대책 시행을 통해 주요 연안 250개소에서 연 2회의 침식 실태조사가 실시되었다. 또한 기후변화 취약지역 및 시설 관리 강화를 위해 3차 연안정비기본 계획('20~'29)이 수립되었다.

주요 성과로는 연안생태계 복원을 위해 2019년 누적 21ha 면적의 바다숲이 조성되었고 폐염전 및 폐양식장 등으로 훼손·방치되었던 150만m^2 면적의 갯벌이 해수가 드나드는 건강한 갯벌로 복원되었다.

제3차 적응대책에서는 국가 생태계 기후변화 모니터링 및 대응기반을 강화하기 위해 갯벌, 연안, 연근해 주요 해역 등에 대한 해양생태계 변화 조사 및 원인을 분석하여 해양생태계 보전·관리대책을 수립하고 시행한다는 계획이다. 이러한 해양생태계 조사를 통해 연안재해 대응 능력을 가질 것으로 예상되는 우리나라 해안생태계의 자원량(분포면적 등)을 지속적으로 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

해당 계획에는 연안지역 침수·침식 관리 및 강화를 위해 그린인프라라고 명시할 수 있는 자연기반 해결책(Natural-Based Solution, NBS)을 활용한 대응을 확대하여 연안지역의 기후탄력성을 향상하는 내용을 포함하고 있다. 침식 및 산사태 방지를 위한 식재, 습지보호지역 및 생태경관보전지역 지정 구역을 확대하고, 습지 및 해초지 등의 생태계를 복원하는 것이

88) 관계부처합동(2020), p. 70.

구체적인 시행계획의 예가 될 수 있겠다. 또한 연안보전사업 지구에 대하여 시설물 설치 위주의 사업에서 친환경적이고 지속가능한 공법으로 대체하여 적용한다는 계획을 밝혔다. 해당 계획을 통해 그린인프라 자원량 모니터링 시스템이 구축되고 경성구조물 위주였던 연안정비사업에서 자연생태계 본연의 기후탄력성을 이용한 그린인프라 기법이 재해 대응방안으로 활용되기를 기대해본다.

④ 제5차 해양환경 종합계획(2021~2030)[89]

2021년 해양수산부는 해양환경 정책에 대한 그간의 추진성과를 점검하고 미래 전망 등을 바탕으로 향후 10년간의 해양환경 정책방향 및 과제를 담은 제5차 해양환경 종합계획을 발표하였다. 해당 계획은 「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률」에 근거하여 영해, 내수 및 배타적 경제수역의 해양환경 범위를 두고 수립되었다. 계획의 주요 내용은 해양환경 현황 및 여건변화, 해양환경 보전 및 활용 목표 설정 및 단계별 전략, 이상기후 및 기후변화 대응을 위한 해양환경관리에 관한 사항을 포함하고 있다. 지난 4차 계획을 통한 그린인프라 관련 주요 성과는 해양보호구역 지정을 대폭 확대(2020년, 30개소 1,782.2㎢)하고 2019년 「갯벌법」 제정 및 갯벌 복원사업 추진을 확대한 점이다. 하지만 보호구역 설정 이후 구체적 보전 및 활용 방안 모색이 필요하다는 입장을 밝혔다. 또한 해안침수예상도를 작성하고, 연안재해취약성 평가 등을 통해 연안재해 취약지역을 규명하였다. 하지만 이를 반영하는 개발사업이 시행되지 않아 적응 정책 이행이 부족하였다는 점을 밝혔다. 따라서 5차 계획에서는 해안 자연공간을 보전하고 복원하여 연안지역 기후변화 적응정책을 추진한다는 계획이다. 이를 위해 수중방파제 설치 등 인공적인 연안정비에서 벗어나 친환경공법 적용을 확대하는 선진국형 연안침식 대응을 추진한다는 방침이다. 구체적으로 대형 구조물은

89) 해양수산부(2021c), pp. 1-145.

최소화하고 모래포집기 모래복원 등 비시설물 공법을 확대한다는 계획이다. 또한 재해취약지구의 토지매입 관리방안을 통해 자연해안으로 복구하고, 연안재해 완충지역으로 활용한다는 계획이다.

2) 연안 그린인프라 관련 사업

① 해양수산부 갯벌 식생 조림사업[90](2022~2026)

해양수산부는 2022년 갯벌 식생 복원사업 신규 대상지 4개소를 선정하여 2022년부터 갯벌 상부에 갈대, 칠면초 등 염생식물 군락지를 복원할 계획이다. 이 사업을 통해 염생식물을 통한 연안의 침식 완화 기능을 강화하고 갯벌의 생태적 기능 회복 및 탄소흡수력이 향상될 것으로 기대된다. 선정된 사업대상지는 전남 신안군 북부권역, 제주 서귀포시 성산읍, 충남 태안군 근소만, 충남 서산시 가로림만이며, 2022년에는 갯벌 생태 및 복원 전문가 자문을 통해 선정대상지별 특성을 고려한 기본·실시계획 수립 등을 우선적으로 추진할 계획이다. 해당 갯벌 식생 복원사업은 4년간 총 600억 원(개소당 150억 원)의 예산이 투입된다. 대표적인 국내 관광지인 제주도에 위치한 서귀포시 성산읍의 식생 복원사업은 제주 토종 염생식물인 순비기나무를 복원하여 염생식물 군락지를 조성하고, 신양섭지 해수욕장, 광치기해변 등 인근 유명 관광자원과 연계한 해양생태관광을 활성화할 계획이다. 사업 완료 시 토종 염생식물이 수놓은 새로운 생태관광 명소가 탄생할 것으로 기대된다. 충남 태안 근소만 갯벌 식생 복원사업은 염생식물 종묘장 조성 및 염생식물의 성장에 유리한 환경을 갖추고 있다. 대상 사업지 인근의 염전에 자생하는 염색식물에서 쉽게 종묘를 확보할 수 있고, 만(灣) 형태인 대상지 입구에 위치한 돌 제방을 활용하여 해홍나물, 해당화 등 다양한 염생식물을 조성할 수 있는 환경 여건이 장점으로 평가된다. 사업구

90) 해양수산부 보도자료(검색일: 2022.9.8.)

역 일부를 종묘장으로 조성하여 향후 갯벌 식생 복원사업을 추진하는 타 지자체를 지원할 계획이다.

충남 서산 가로림만 복원사업은 2016년 국내 최초 해양생물보호구역으로 지정된 가로림만 해양보호구역을 연계한 사업이다. 천혜의 자연환경으로 유명한 가로림만 갯벌에는 총 23종의 염생식물이 자생하고 있어 염생식물 군락지 확대에 유리할 것으로 평가된다. 사업을 통해 친환경 염생식물 탐방로를 조성하여 팔봉산, 서산 아라메길 등 인근 생태관광지와 시너지 효과를 극대화할 계획이다. 해양수산부는 2022년 신규로 시작한 갯벌 식생 복원사업을 전국적으로 확대하여 2050년까지 660㎢의 염생식물 군락지를 조성할 계획이다.

② 블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성기술개발 사업(2022~2026)[91]

블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성기술개발 사업은 해양수산부에서 주체하는 R&D 사업 중 하나로 서울대, 군산대, 한국해양수산개발원 등 총 26개 연구기관이 참여하고 있다. 해당 사업을 통해 해양의 신규 탄소흡수원을 발굴하고, 블루카본을 증진하고 산정하는 기술을 개발한다는 계획이다. 또한 탄소흡수형 연안 및 기후 리스크 대응 해안조성 기술개발을 목표로 하며, 블루카본 및 기후변화 적응형 해안조성 관리기술 개발도 포함하고 있다. 특히 방조제 등의 인공구조물 대신 친환경 소재를 활용하여 해안선 연성화를 통해 연안재해에 대응하고 해양의 건강성 및 해양생물 다양성을 증진한다는 계획이다. 이를 위해 국내 염생식물과 해초류 분포 현황을 파악하고 해역별, 계절별, 생물종별 적지식물 후보종을 선별하여 최적생육조건을 탐색하는 연구를 시행할 예정이다. 또한 염생식물과 해초류 이식기술을 개발하고 대량 생산할 수 있는 시스템을 구축하여 해안선을 안정화하는 데 활용할 계획이다. 굴패각, 호안 연성화 및 친환경 소재 구조물을

91) 서울대학교 산학협력단(2021), pp.1-220.

통해 연안침식을 직·간접적으로 완화하는 공법 개발도 포함되어 있다. 해당 사업은 국내에서는 처음으로 그린인프라 기술개발 및 연안생태계의 재해 대응능력을 과학적으로 측정하는 사업이다.

③ 수산자원조성사업(2020~2024)[92]

해양수산부 수산자원정책과에서 주최하는 수산자원조성사업은 해역별 특성과 주요 어종을 고려한 연안바다목장, 수산자원 산란 서식장 등을 조성하여 연안 수산자원을 회복하고 어업인 소득을 증대하는 목적을 위해 시행 중이다. 「수산자원관리법」에 근거한 해당 사업에는 그린인프라 기법 중 하나인 바다숲(해초숲) 조성이 포함되어 있다. 전국 연안의 갯녹음 발생 해역과 바다숲 조성이 가능한 해역에 2030년까지 5만 4천ha의 바다숲을 조성하고 체계적인 관리를 통해 연안 생태계 및 수산자원 서식처를 복원한다는 계획이다. 또한 바다숲을 이산화탄소의 흡수원으로 활용하여 저탄소 녹색성장을 선도하고 국민의 해양 레저관광에 활용함으로써 어촌의 소득향상에 기여할 예정이다. 해당 사업은 전액 국고 보조를 통해 한국수산자원공단이 시행하고 있다.

④ 민간사업[93]

연안 그린인프라와 관련하여 대기업이나 공공기업체에서 ESG 경영[94]의 일환으로 연안생태계 복원사업을 시행하려는 움직임이 일고 있다. 대표적인 사업은 SK이노베이션의 '베트남 맹그로브숲 복원' 사업이다. SK는 기후변화 대응 및 생물다양성 보존을 위해 2021년 7월 베트남 짜빈성 인근 섬에 맹그로브 묘묙 식수 활동을 시작하였다. 2021년까지 총 46ha 면적에 약 14만 그루의 맹그로브를 식재할 계획이라고 밝혔으며, 이 목표가 달성

92) 해양수산부 보도자료(검색일: 2022.2.20)
93) 기후경제 블로그(검색일: 2022.9.20.)
94) ESG 경영이란 E=환경(Environmental), S=사회(Social), G=경영지배구조(Governance)의 약자로 환경보호에 앞장서고, 사회공헌 활동에 최선을 다하고, 윤리경영을 적극 실천하는 기업 경영을 뜻한다.

되면 총 복원면적은 116ha에 이르게 된다. 이를 통한 이산화탄소흡수량은 약 3,944톤이 될 전망이다. 그 외에 우리나라 일부 화력발전소에서 탄소배출권 확보를 위해 염습지 복원 등을 계획 중이다. 해외 주요 투자사들이 ESG 경영을 시행하는 기업에 투자하기로 발표함에 따라 앞으로 대기업을 중심으로 탄소저감에 기여하는 해안생태계 복원사업이 민간에 의해 시행될 가능성이 높다. 민간에 의한 연안생태계 복원사업은 탄소흡수원 확대뿐 아니라 연안재해 대응 측면에서도 그린인프라 구축에 기여할 것으로 예상된다.

〈그림 3-24〉 SK이노베이션의 베트남 맹그로브숲 복원 활동



자료: 기후경제 블로그(검색일: 2022.9.20.)

〈표 3-28〉 그린인프라 관련 국가 계획

구분	제2차 국가기후변화 대응 기본계획 (2019)	제3차 연안정비 계획 (2020~2029)	제3차 국가 기후변화 적응대책 (2021~2025)	제5차 해양환경 종합계획 (2021~2030)
주최	관계부처 합동	해양수산부	관계부처 합동	해양수산부
그린 인프라 관련 주요 내용	• 바다숲 조성사업 • 훼손된 연안습지 실태조사 • 국내 블루카본 정보 시스템 구축 및 평가 기술개발	• 재해 예방을 위한 환경친화적 공법 확대 • 양빈 • 해안사구 복원 모델을 개발	• 해양생태계 변화 조사 및 원인 분석 • 연안지역 침수·침식 관리 및 강화를 위해 자연기반 해결책 활용 • 연안보전사업 지구에 친환경적이고 지속가능한 공법으로 대체 적용	• 인공적인 연안정비에서 벗어나 친환경공법 적용 확대 • 재해취약지구의 토지매입 관리방안 수립을 통한 완충구역 확보

자료: 환경부(2019), p. 54; 해양수산부(2020b), p. 9; 관계부처합동(2020), p. 70; 해양수산부(2021c), pp. 1-145.

〈표 3-29〉 그린인프라 관련 사업

구분	갯벌식생 조림 사업(2022~)	블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성기술 개발 사업(2022~2026)	수산자원조성사업 (2020~2024)	민간사업
주최	해양수산부	해양수산부	해양수산부	민간
그린 인프라 관련 주요 내용	• 전국 4개소 염생식물 군락지 복원 • 친환경 염생식물 탐방로 조성	• 기후변화 적응형 해안조성 관리기술 개발 • 국내 염생식물과 해초류 분포 현황 파악 및 이식기술 개발 • 굴패각, 호안 연성화 및 친환경 소재 구조물을 통한 연안침식 완화 공법 개발	• 바다숲(잘피숲) 조성	• SK이노베이션의 '베트남 맹그로브숲 복원' 사업 • 일부 화력발전소의 탄소배출권 확보를 위한 염습지 복원사업

자료: 본문 내용을 토대로 저자 작성

2. 연안 그린인프라 관련 기술 개발 동향

1) 국내 기술

① 염습지 복원

국립공원연구원에서 총괄한 '새만금 환경생태용지 블루카본 조성 시범사업'으로 염습지 복원사업을 통해 국내 처음으로 염생식물 이식기술에 대한 연구와 평가가 진행되었다. 복원사업은 2021년 3~12월에 새만금 환경생태용지 내 핵심보전지구(25만 9,200m^2)에서 진행되었다.

새만금 환경생태용지에는 갈대군락이 28만 4,099.5m^2(36.15%)로 가장 넓게 분포하고 잔디(2.73%), 칠면초(0.33%), 퉁퉁마디 군락(0.19%) 등도 서식한다. 해당 사업은 식물이 분포하지 않는 지대 중 토양 성분의 미사나 점토 함유가 높은 지역에 새만금 토종 염생식물인 칠면초 1,500개체, 퉁퉁마디 1,300개체, 갯개미취 650개체를 생육지별로 구획하여 이식하였다.

〈그림 3-25〉 새만금 환경생태용지 중 염습지 복원지구

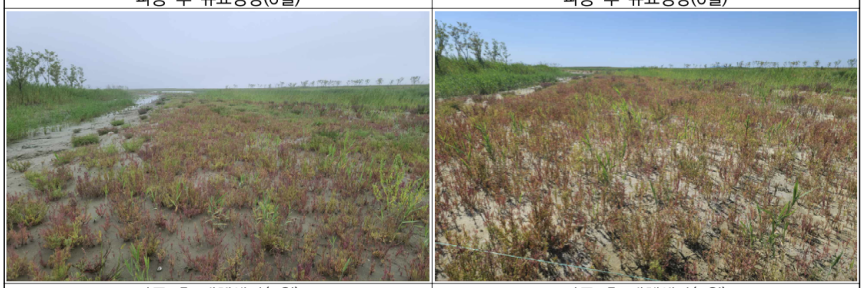


주: 붉은색 경계가 염습지 복원지구
자료: 국립공원연구원(2021), p. 5.

〈그림 3-26〉 새만금 염생식물 파종 후 생장 모습



파종 후 유묘생장(6월) | 파종 후 유묘생장(6월)



파종 후 개체생장(7월) | 파종 후 개체생장(7월)

자료: 국립공원연구원(2021), p. 38.

각 대상종을 이식한 결과 한해살이의 칠면초와 퉁퉁마디의 고사율[95]은 높았지만, 여러해살이의 갯개미취는 비교적 낮은 것으로 나타났다. 이식된 염생식물의 뿌리 생장은 칠면초와 퉁퉁마디는 0~5cm에서 가장 활발하고 최대 6~10cm까지 자라며, 갯능쟁이, 갯질경이는 16~20cm 정도로 더 깊이 분포하였다. 하지만 해당 지구에 해수가 정기적으로 유입될 경우 퇴적물의 공기 중 탄소 환원이 발생하지 않아 장기 탄소 저장이 가능한 블루카본 생태계로 인정받을 수 있다. 그러한 면에서 새만금 해안가의 갈대는 중요한 블루카본 식물이다. 생물다양성 증가 측면에서 갈대가 우점한다는 이유로 갈대 땅속줄기를 제거해야 한다는 연구 도출점은 재검토가 필요해 보인다. 그러나 우리나라 염생식물을 실제로 식재하고 이식 기술 및 진행 과

95) 나무나 풀이 말라 죽는 비율

정에 대한 과학적 자료를 수집했다는 점에서 이는 매우 의미 있는 사업으로 평가받는다. 비식생 땅보다 염생식물이 성장하는 토지일 경우 식물 뿌리의 퇴적물 포집 및 지탱 효과로 인해 침식방지 기능이 2배 이상 높아지므로 재해 대응 측면에서 연안 그린인프라 기술로 분류될 수 있다.

② 엘라스토코스트(Elastocoast)

해안 및 하천 주변 자연 제방의 침식을 막기 위해 엘라스토코스트라는 물질이 새롭게 활용되고 있다. 엘라스토코스트는 기존의 콘크리트 혹은 타르로 포장된 해안 구조물에 비해 골재 사이에 많은 공극을 포함하고 있다. 이는 거친 표면을 형성해, 높은 파도에 보다 안정적이고 유연하게 견딜 수 있도록 함으로써 외부에서 유입되는 충격 에너지를 효과적으로 흡수한다. 또한 식물성 원료로 유해물질을 방출하지 않아 생태계에 영향을 미치지 않으며, 동식물에게 안정된 서식 환경을 제공한다. 국내에서는 다도해 해상국립공원 관매도 해변, 강원도 강릉시 사천 소초 해안, 경남 거제시 여차해안 몽돌해수욕장, 경남 통영시 한산면 비진도 등에 엘라스토코스트가 적용되었다.

〈그림 3-27〉 엘라스토코스트 적용 해안 사례



주: (좌) 다도해 해상국립공원 내 관매도 해안가, (우) 경남 거제시 여차해안 몽돌해수욕장 연안
자료: 산업일보 보도자료(검색일: 2022.9.8.)

③ 투수 바이오 폴리머 콘크리트

투수 바이오 폴리머 콘크리트는 투수성 바이오 소재에 콘크리트 프레임을 씌워 내구성을 증가시키고 프레임에 배수용 슬릿을 부착하여 투수성을 증가시킨 물질이다. 식물성 폴리우레탄의 친환경 소재로 제작하며 다공성 구조를 가지고 있다. 또한 해안선과 콘크리트 블록의 균형을 유지하기 위하여 해안선과 맞닿은 블록 사이에 끼움 블록을 추가할 수 있는 형태로 설계되었다. 이렇게 군집을 형성한 다수 개의 콘크리트 프레임은 처오름과 월파를 완화하는 효과가 있다. 연안역의 산업단지, 백사장이나 도로, 하천 수역에서 배수를 강화하는 데 활용되며, 호안의 지지력을 향상해 침식을 방지한다.

〈그림 3-28〉 해안가에 투수성 바이오 콘크리트를 설치한 모습



자료: 이태형 외(2018), p. 1.

2) 국외 기술

① 굴패각 활용

최근 미국을 중심으로 굴패각을 이용하여 우리를 해안선과 평행하게 설치하여 침식을 완화하는 그린인프라 기법이 확산되고 있다. 통칭 '굴초' 또는 '굴망태'로 불리는 굴패각(empty oyster shell) 이용기법은 크게 세 가지로 구분될 수 있다. 첫째, 많은 양의 빈 굴패각을 강한 외력과 침식이 예상되는 해안선 또는 해안선의 약간 앞쪽에 쌓아둠으로써 굴패각 사이의 3차원적 미세공간에 의해 외력을 감소시키는 기법이다. 이러한 방법은 빈 굴패각을 단순히 적재해 둔 상태임에도 불구하고 외력 감소라는 기본 기능과 함께 패각과 패각 사이의 3차원적 공간 형성에 따른 생물 다양성 증대 기능을 가진다. 그러나 해당 기법은 비교적 외력이 약한 내만이나 반 폐쇄성 연안역에서 효용성을 나타낼 수 있는 지리적 제한을 지닌다.

〈그림 3-29〉 파력을 감소하기 위해 굴 망태를 설치한 모습



자료: The Nature Conservacy 보도자료(검색일: 2022.6.2.)

미국 텍사스 걸프만 연안에서는 해안선 또는 그 인근에 다량의 빈 굴패각을 쌓음으로써 외력을 감소시키고 생물 다양성을 증대하는 사업을 시행

하였다. 굴패각 설치 지대를 기준으로 외력의 영향을 받는 곳(A)과 받지 않는 곳(B)은 외견상으로도 바다 표면 너울성 파도의 강도와 빈도가 상이한 것을 볼 수 있다.

둘째, 그물망(mesh) 재질 속에 빈 굴패각을 채워 넣고 해안선을 따라 일렬 또는 여러 겹으로 배열시킴으로써 강한 너울성 파도나 파랑으로부터 해안선의 침식을 방지하는 기법이다. 이러한 기법은 빈 굴패각을 단순 적재할 경우 강한 파도나 파랑에 의해 유실되어 당초의 제 기능을 하지 못하는 곳, 즉 다소 큰 너울성 파도나 파랑의 강도나 빈도가 다소 높은 곳에 적용하는 기법이다. 이들 역시 시설의 1차적인 외력 감소 기능과 함께 2차적으로 생물 다양성 증대라는 부가적인 효과를 가진다.

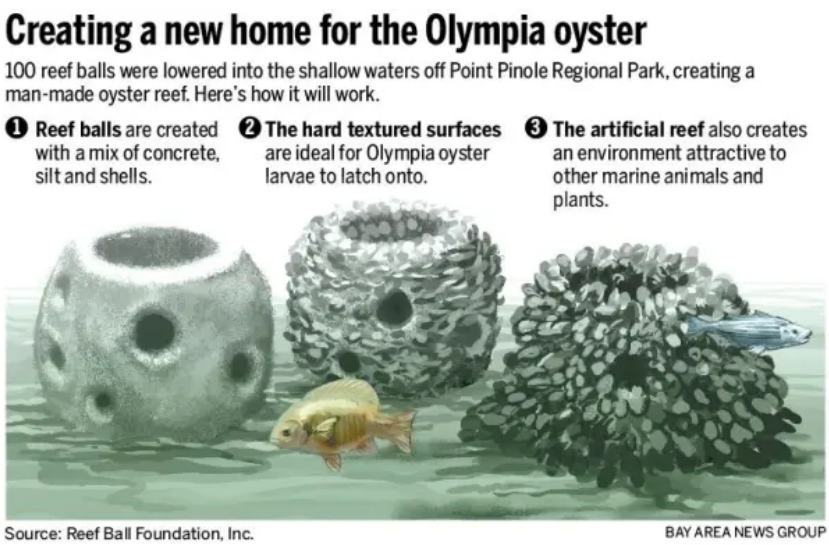
〈그림 3-30〉 수산자원 조성을 위해 투입되는 인공어초



자료: Reef Innovation 웹페이지(검색일: 2022.6.2.)

셋째, 빈 굴패각을 기존의 콘크리트 인공어초 표면에 부착시켜 새로운 굴 유생의 가입(recruitment)을 유도함으로써 시공 해역 연안의 물리적 외력을 감소시키는 방법이다. 이러한 인공어초 형태의 굴 암초대(Oyster reef)는 외력 감소는 물론이고 생물 다양성 증대 및 수산자원 유지·조성이라는 인공어초 원래의 기능과 역할을 담당한다.

〈그림 3-31〉 수산자원 조성을 위해 연안에 투입되는 콘크리트 재질의 인공어초



주: (❶) 표면에 빈 굴패각을 부착시킴(❷)으로써 패각 사이의 3차원적 공간(❸)을 증가시킨 모습
자료: East Bay Times 보도자료(검색일: 2022.8.2.)

〈그림 3-32〉 굴패각을 활용한 인공어초 시공 사례(미국 플로리다)



자료: Tallahassee Democrat 보도자료(검색일: 2022.8.8.)

② 호안 연성화(Eco engineered shoreline) 기법

호주, 미국, 홍콩 등에서 시험적으로 시행되고 있는 방법으로 3차원적 공간이 거의 없는 콘크리트 호안 등을 보다 친환경적 공간으로 확대하는 동시에 물리적 외력을 저감하는 기법이다. 호주의 경우 호안의 수직 벽면에 부착시키는 구조물은 3-D 프린터를 이용하여 표면 구멍에 차이를 두고 다섯 가지 형태로 제작되며, 부착형 패널(panel)의 직경은 약 50~70cm 내외다.

미국의 경우 콘크리트와 굴패각을 혼합하여 맹그로브 뿌리를 연상시키는 패널을 제작한 후 방파제에 부착하는 사업을 시행하였다. 작은 구멍과 틈새를 만들어 제작한 패널은 설치 후 반년이 지나자, 다양한 생물(물고기, 게, 굴 유충)이 서식하는 것이 관측되었다.

홍콩의 경우 에코타일을 설치한 후 생물 다양성과 개체 수가 각각 51%, 416% 증가한 것으로 드러났으며 평평한 콘크리트 벽에 비해 틈새와 구멍으로 인해 온도를 약 2도 낮춰주는 것으로 나타났다.[96] 이러한 부착형 패널은 다른 나라 연안 구조물에도 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다.

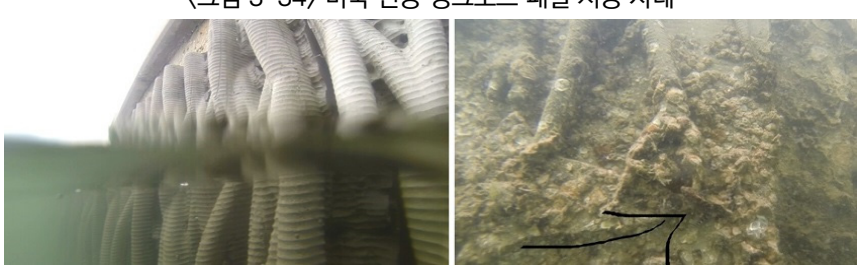
96) Bradford et al.(2020), pp. 4-5.

〈그림 3-33〉 호주 호안 연성화를 위한 패널 부착 모습



자료: SIMS 웹페이지(검색일: 2022.6.2.)

〈그림 3-34〉 미국 인공 맹그로브 패널 시공 사례



자료: WGCU 보도자료(검색일: 2022.7.1.)

③ 가리비조개 껍질을 활용한 신소재 콘크리트

일본의 경우 가리비조개 껍질을 세골재로 이용한 콘크리트 실용화에 관한 연구가 진행되었다.[97] 일본에서 생산되는 가리비조개 규모는 북해도와 아오모리현을 중심으로 연간 약 50만 톤 정도이며, 그중 약 50%(질량비)를 조개껍질이 차지하고 있다. 순환형사회로 전환을 도모하기 위해 다양한 폐기물을 리사이클하는 시도가 진행되고 있다. 가리비조개 껍질을 건설자재, 특히 콘크리르용 골재로 사용하는 연구는 그 주성분이 석회암과 같은 탄산칼슘이라는 점과 가리비조개 껍질 자체가 치밀하고 강도가 높으며, 대량으로 리사이클이 가능하다는 이점을 확인하였다.

가리비조개 껍질을 미세하게 파쇄하여 모래와 혼합하여 활용하는데, 콘크리트의 부재료로 사용하거나 케이슨[98]의 중간 채움재(중결재)로 이용한다.

〈그림 3-35〉 가리비조개 껍질을 케이슨 중결재로 활용한 사례



자료: 야마우치(2016), p. 2.

97) 야마우치(2016), p. 1-153.
98) 수상이나 육상에서 제작한 속이 빈 콘크리트 구조물

④ 아루플러스 공법

일본의 토코지오테크 주식회사에 의해 개발된 아루플러스 공법은 강산성 토양을 식생이 서식할 수 있는 적정 환경으로 조성하는 기법이다. 본 공법은 조개껍질을 원료로 하는 천연 재활용 산성 교정 자재(Shell Remedy)를 이용하여 pH4.0 이하의 강산성 토양이 출현한 비탈면을 녹화하는 데 이용된다. 아루플러스 공법을 적용한 곳은 식생이 쇠퇴하지 않고 양호하게 생육하는 반면, 기존 탄산칼슘을 토질을 이용하여 식재한 곳은 식생이 조기에 쇠퇴하는 것이 관측되었다.

〈그림 3-36〉 조개껍질을 이용한 토양 산성 교정자재



シェルレミディ



자료: 토코지오테크 웹페이지(검색일: 2022.5.5.)

〈그림 3-37〉 시공 8년 후 기존 공법과 아루플러스 공법 비교



기존공법(탄산칼슘)
효과가 지속되지 않아서 식생이 조기에 쇠퇴함

아루플러스공법
효과가 지속되어 식생이 쇠퇴하지 않고 양호하게 생육 되는 것이 확인 됨

자료: 토코지오테크 웹페이지(검색일: 2022.5.5.)

3. 연안 그린인프라 관련 정책 담당자 의견 분석

2022년 6월 17일 연안정비에 관여하는 총 6명의 지자체 담당자가 참여하는 포커스 그룹 인터뷰를 진행하였다. 이번 포커스 인터뷰의 목적은 연안정비 사업 담당자 인터뷰를 통해 현재까지 시행되었던 연안정비사업의 문제점 및 개선점에 대해 토의하고, 그린인프라 도입에 대한 수용 가능성에 대해 논의하는 것이다. 기존 경성공법을 대표하는 그레이인프라의 현황과 연성공법을 대표하는 그린인프라에 대한 충분한 정보 공유 후, 지자체 담당자들이 자유롭게 의견을 나누도록 하였으며 연구진의 개입은 최소화하였다. 포커스 그룹 인터뷰 참석자 현황은 〈표 3-25〉와 같다.

1) 그린인프라 기법인 염습지 복원 기술개발 마련 필요

충청남도의 경우 약 10여 년 전, 국내 최초로 해수욕장 인근 갯벌에 염습지 복원사업을 시도하였다. 하지만 식재한 식생이 땅에 활착되지 않고 성장률은 10%에도 미치지 못하는 등 실제로 사업을 진행하는 데 기술적 한계를 경험하였다.

“염습지 복원사업이 아주 실패한 것이라 할 순 없지만 인근에 있는 갈대를 가져와서 심어야 하는데 외부에서 들여오다 보니 다 죽거나 식재한 식물이 자라지 않았습니다. 아직 국내에서 염습지 식생조림 사업 관련하여 성공한 사례를 보지 못했습니다.”

해당 지자체에서는 해외 사례를 참고하여 다양한 염생식물을 심었으나 결국은 활착되지 않고 더 이상 자라지 않는 것을 확인하였다. 지자체의 한 전문가는 염습지나 해초지 복원을 통한 연안재해 대응사업을 위해서는 관련 복원기술과 기초 연구가 탄탄하게 마련되어 있을 때 사업의 수용성이 높아질 수 있다는 의견을 내놓았다. 2022년부터 해수부 R&D 사업 중 하나인 블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성기술개발 사업을 통해 국내 갯벌에 식재 가능한 염생식물의 종자를 배양하고 활착을 높일 수 있는 기술 연구가 시작되었다. 앞으로 이와 같은 연구사업을 통해 생태계 복원을 활용한 그린인프라 시행에 필요한 기술이 향상되고, 안정적으로 사업을 시행할 수 있는 기반이 마련될 것으로 기대된다.

2) 친수 공간 사업을 연안정비 사업의 일환으로 포함할 수 있도록 해수부와 협의 필요

그린인프라 기법 적용과 친수공간 사업 사이에 연계성이 높음에도 연안정비사업에서 친수공간과 관련한 사업을 협의해주지 않아 그린인프라 기법이 활성화하는 데 제약이 따르는 것으로 확인되었다.

“현재 관광지인 해수욕장의 연안정비사업의 경우 친수 사업(산책로 조성, 주변 생태계 복원)이 포함될 시 지역경제 활성화 측면에서 더욱 효과적이나 해수부에서 시행계획 협의 시, 친수 공간에 해당하는 대상물이 포함되면 협의가 안 되는 상황입니다. 그런 제한점을 풀어줬으면 좋겠습니다.”

3) 그린인프라 공법의 재해 대응 효과를 입증할 수 있는 과학적 연구 동반 필요

지자체에서도 이미 경성공법으로 연안 침식 대응에 실패한 경험으로 인해 사구복원과 같은 그린인프라를 도입하려는 수요가 있으며, 실제로 호안을 철거한 해안선과 자연사구로 복원한 해안선 간의 모래 유실 정도에 눈에 띄는 차이점이 발견되는 것으로 확인되었다. 하지만 이와 관련한 과학적 연구 조사가 동반되지 않음으로 인해 지자체에서 그린인프라 구축 수요에 대응하더라도 그린인프라 공법을 지속하는 데 불안감을 가지는 것으로 드러났다.

"우연찮게 약 500m의 해안 중 300m는 콘크리트 호안을 남겨놓았고 200m는 호안을 철거하였습니다. 이후 콘크리트 호안 쪽 모래는 유실되고 호안을 철거한 200m 해안 쪽은 모래가 지속적으로 쌓이는 것을 관찰하였습니다. 그래서 기존 콘크리트 호안도 철거하고자 검토 중이지만 솔직히 이러한 효과가 지속될지에 대한 불안감이 있습니다."

앞으로 우리나라에서도 그린인프라 공법의 자연재해 대응 효과에 관해 과학적 자료 측정 및 기초 연구가 추진된다면 그린인프라를 시행하는 지자체도 효과에 대한 확신을 갖고 해당 기법을 적극적으로 시행할 수 있을 것으로 판단된다.

04
연안 그린인프라의 재해 완충 잠재력 및 가치 분석

제1절 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발 및 적용

1. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발

연안 그린인프라가 모든 지역에 적용되어 연안관리에 활용될 수 있는 것은 아니다. 인구·자산 밀집지역에서 즉각적인 연안보호 효과가 필요한 경우 그린인프라보다 그레이인프라가 더욱 효과적일 수 있다. 반면에 인구 및·자산 밀집지역일지라도 그레이인프라 활용 시 지속적인 문제점이 발생하는 경우에는 연안 완충공간을 창출(습지 조성 등)하는 방법 등 연안 그린인프라를 활용하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 한편 인구 및 자산이 밀집하지 않거나, 연안 완충공간이 넓게 존재하는 경우 연안 그린인프라 활용을 더욱 고려해 볼 수 있다. 즉 연안공간에 대한 연안 그린인프라 적용은 지역의 상황, 자연조건 등 다양한 요소를 고려해야 한다.

이 연구는 우리나라에 연안 그린인프라를 적용하는 방안에 대한 연구로서 연안 그린인프라의 연안재해 완충효과가 어느 장소에서 발생하는지를

연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 통해 확인하였다. 지수에 기반한 접근방식은 연안의 자연조건, 기후조건, 사회조건을 함께 고려하는 방식으로[99] 복잡한 모델의 구동 없이도 좋은 결과를 산출할 수 있다. 이 연구는 특정 지역에 특정 연안 그린인프라를 구체적으로 설치하기 위한 방법을 제시하는 연구가 아니기 때문에, 보다 거시적인 차원에 초점을 맞추었다. 실제 적용을 위해서는 모델링 등을 통해 보다 구체적으로 지역의 상황과 자연조건을 고려한 연구가 필요하다.

연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발은 먼저 선행연구를 통해 지수 관련 지표, 지수 구성 등을 검토하였으며, 이후 전문가 검토를 통해 우리나라 여건을 고려하여 지표를 확정지었다. 선정된 지표에 대해 전문가의 의견을 수렴하여 가중치를 부여하고, 적용하였다.

1) 선행연구 검토

(1) 지수 방법론

연안 그린인프라 지수에 관한 선행연구는 상대적으로 많지 않다. '연안 그린인프라'라는 개념이 활용된 역사 자체가 길지 않으며, 많지 않은 연구 중 지역의 식별에 관한 지수를 개발한 경우는 더욱 드물다.[100] 다만 연안 그린인프라가 과거 연안서식지와 유사하게 활용되었음을 고려하면, 서식지의 개념까지 포괄하여 검토 가능하다.

연안 그린인프라 지수를 적용하는 가장 일반적인 방식은 연안 취약성 모델(Coastal Vulnerability Assessment Model)을 일부 변형하는 방식이다. 연안 취약성 평가란 해수면 상승, 침식, 침수 등에 대한 연안 지역의

99) Liquete et al.(2013)
100) 연안 그린인프라의 효과에 대한 대부분의 연구들은 특정 지역을 대상으로, 특정 요인(산호, 습지 등)의 구체적인 효과를 살펴보았다.

취약성을 평가하는 것으로(Gornitz, 1990), 목적에 따라 다양한 지표를 활용한다. 일반적인 수행방법은 다음과 같다.

〈표 4-1〉 연안 취약성 모델의 일반적인 수행방법

내용
① 연안 취약성에 영향을 주는 주요 동인을 식별하여 주요 변수로 선정 : 일반적으로 6~7개의 변수를 고려, USGS에서는 지형, 해안선 변화, 해빈 경사, 상대적 해수면 위치, 평균 유의파고, 평균 조차 등을 고려
② 선정한 변수를 정량화하며, 주로 1~5스케일로 변환(1은 연안 취약성에 미치는 영향이 낮으며, 5는 매우 높음을 의미)
③ 변환된 값을 하나의 지수로 결합하여 수치 산출(Coastal Vulnerability Index, CVI)
④ 최종 결과물을 3~4개의 그룹으로 분류하여 시각화 제시

자료: 저자 작성

연안 취약성 평가 진행 시 목적에 따라 다양한 지표를 활용하기 때문에, 동일한 지역에 대한 연구라 하더라도 다소 다른 결과가 도출되기도 한다. 바꾸어 이야기하면, 목적에 따른 지표의 구성이 적절하다면, 적합한 결과물을 산출할 수 있다는 의미다. 〈그림 4-1〉은 스페인 남부 연안을 대상으로 진행된 연안 취약성 평가의 다양한 사례다. 그러나 해당 연구들은 사회·경제적 요인을 고려하지 못했다는 한계점이 존재한다.

〈그림 4-1〉 연안 취약성 평가결과 예시

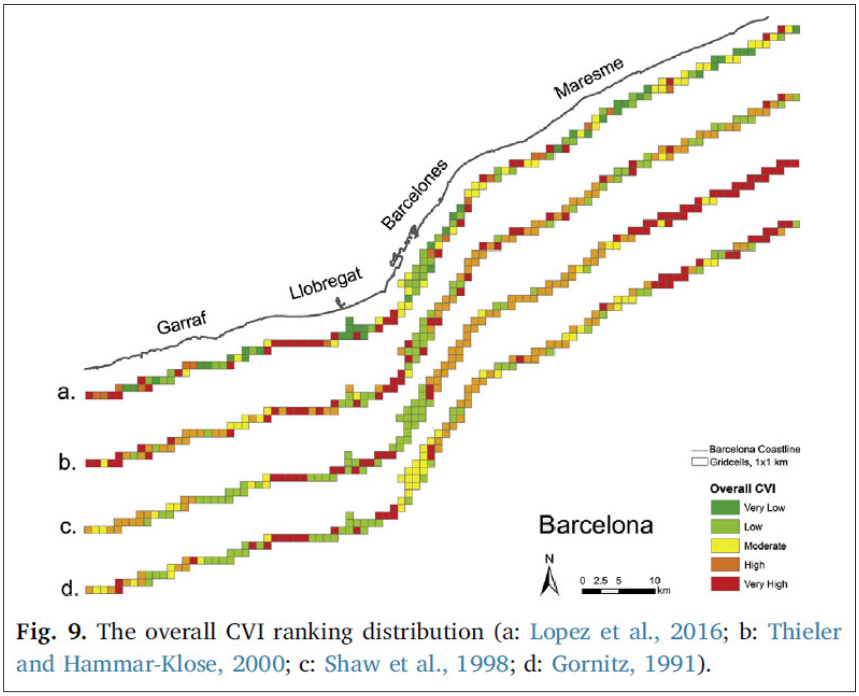


Fig. 9. The overall CVI ranking distribution (a: Lopez et al., 2016; b: Thieler and Hammar-Klose, 2000; c: Shaw et al., 1998; d: Gornitz, 1991).

자료: Koroglu et al.(2019), p. 9.

최근 연안 그린인프라 지수에 관한 대표적인 연구로 Conger & Chang(2019)이 있다. 해당 연구는 연안 그린인프라 적용 적지를 확인하는 것을 목적으로, 연안 그린인프라 보호 효과 지수와 연안 그린인프라 취약성 지수를 개발하였다. 연안 그린인프라 보호 효과는 연안 그린인프라의 해안 보호 효과를 의미하는 지수로, 해당 지수의 수치가 높을수록 연안 그린인프라의 보호 효과가 높음을 의미한다. 주로 지형의 기복이 클수록, 해빈 구성 퇴적물이 경성일수록, 식생이 많을수록, 파랑의 세기가 작을수록 연안 그린인프라의 해안 보호 효과가 높게 나타났다.

〈표 4-2〉 연안 그린인프라 보호 효과 지수

지표	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	1	2	3	4	5
기복(m)	0~5	6~10	11~20	21~30	〉30
연안의 종류	모래, 자갈, 갯벌	인공물	하구, 해빈, 사구	암석해안	해식애, 파식대
식생 종류	-	해조류	해초류	염습지, 사구 싱생	혼합 식생
서식지 구분	조하대	조간대 하부	조간대 중부	조간대 상부	조상대
파랑 노출 정도	개방형	반-개방형	반-폐쇄형	폐쇄형(중간)	폐쇄향
최대 파고(m)	〉6.1	5.1-6.0	4.1-5.0	2.1-4.0	〈 2.0
취송거리(km)	〉200	200-150	150-100	100-50	〈 50
연안 토지이용 (인프라 구성)	그레이 인프라	그린&그레이 인프라(상업)	그린&그레이 인프라(주거)	그린인프라& 농업지역	그린인프라

자료: Conger & Chang(2019), p. 59.

연안 그린인프라 취약성 지수는 연안 그린인프라가 해수면 상승에 취약함을 고려한 지수다. 해수면이 상승하면 연안 그린인프라에 훼손이 발생하여 연안 그린인프라 보호 효과 지수에서 확인한 해안 보호 효과가 감소한다. 주로 기복이 작을수록, 조차가 작을수록, 해수면 상승이 높을수록, 침식이 많을수록, 파랑의 세기가 높을수록 연안 그린인프라의 취약성이 높게 나타났다. 연안 그린인프라는 해수면이 상승함에 따라 적응함으로써 장기적으로 비용이 저렴한 장점이 있기 때문에, 장기적 관점에서 해수면 상승을 고려한 지수다.

〈표 4-3〉 연안 그린인프라 취약성 지수

지표	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	1	2	3	4	5
기복(m)	〉30	21~30	11~20	6~10	0~5
조차	〉6.0	4.1~6.0	2.0~4.0	0.5~1.9	〈0.50
서식지 구분	조하대	조간대 하부	조간대 중부	조간대 상부	조상대
해수면 상승 (cm/100years)	〈 −50	−50 to −20	−19 to 20	21 to 40	〉40
침식률(m/y)	〉+0.1	0	−0.1 to −0.5	−0.6to−1.0	〉−1.0
파랑 노출 정도	폐쇄형	폐쇄형(중간)	반-폐쇄형	반-개방향	개방향
연안 토지이용 (인프라 구성)	그린인프라	그린인프라& 농업지역	그린&그레이 인프라(주거)	그린&그레이 인프라(상업)	그레이인프라

자료: Conger & Chang(2019), p. 61.

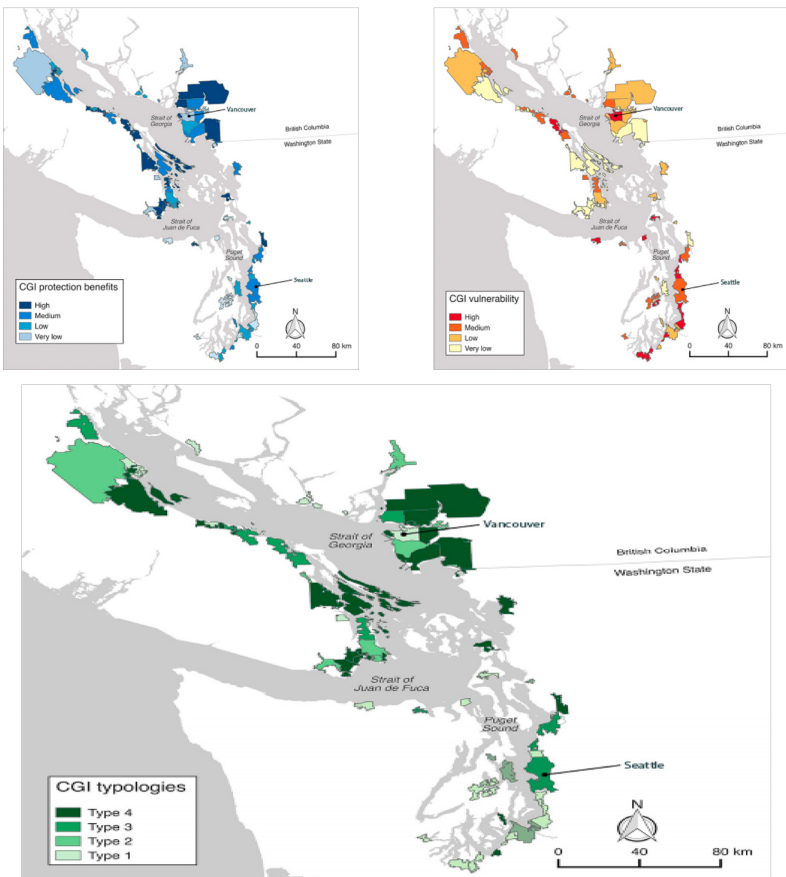
이후 개발한 연안 그린인프라 보호 효과 지수와 연안 그린인프라 취약성 지수를 시범지역에 적용한 후 각각의 지수를 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음으로 구분하고 4분위 매트릭스 분석을 실시하였다. 네 가지 유형은 상이한 해안보호 효과와 해수면 상승 취약성을 지니고 있다. 연안 그린인프라 적용의 최적지는 해안 보호 효과가 높고 해수면 상승 취약성이 낮은 유형이며, 적용이 가장 어려운 유형은 해안 보호 효과가 낮고 해수면 상승 취약성이 높은 유형이다. 해안 보호 효과와 해수면 상승 취약성이 모두 낮은 유형은 연안 그린인프라의 해안 보호 효과를 증가시키는 데 주력해야 하며, 둘 모두 높은 유형은 해수면 상승 취약성을 감소시키는 데 중점을 둘 필요가 있다.

〈표 4-4〉 연안 그린인프라 유형 매트릭스

구분		편익(benefit)	
		매우 낮음+낮음	높음+보통
취약성 (vulnerability)	매우 낮음+낮음	유형 2	유형 4
	높음+보통	유형 1	유형 3

자료: Conger & Chang(2019), p. 59.

〈그림 4-2〉 연안 그린인프라 지수 적용 사례

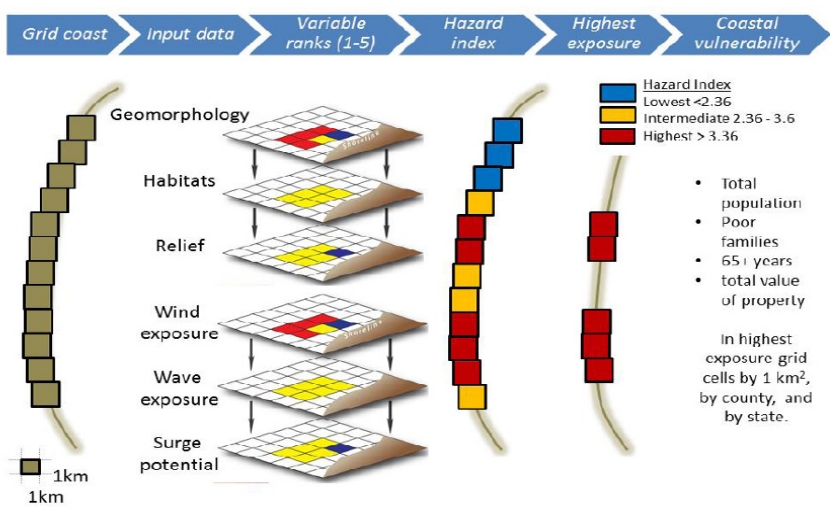


주: (좌) 연안그린인프라 보호 효과 지수 결과, (우) 연안 그린인프라 취약성 지수 결과, (아래) 연안 그린인프라 유형 매트릭스 반영 결과
자료: Conger & Chang(2019), pp. 60-63.

해당 연구는 연안 그린인프라와 관련된 지수를 성격에 따라 다르게 구성하고, 각각의 산출된 결과물을 합성하여 결과를 도출해내는 방식이다. 이러한 방식은 연안 그린인프라의 속성인 장기간에 걸친 효과를 보다 정교하게 반영했다는 장점이 있다. 그러나 지표 간 중요도와 가중치 분석을 실시하지 않아 모든 지표를 동등한 위계로 처리하였다는 단점이 존재한다. 또한 연안 그린인프라 보호 효과 지수와 연안 그린인프라 취약성 지수의 구성요소에 큰 차이가 없어 두 지수의 차이점이 명확하게 드러나지 않는다.

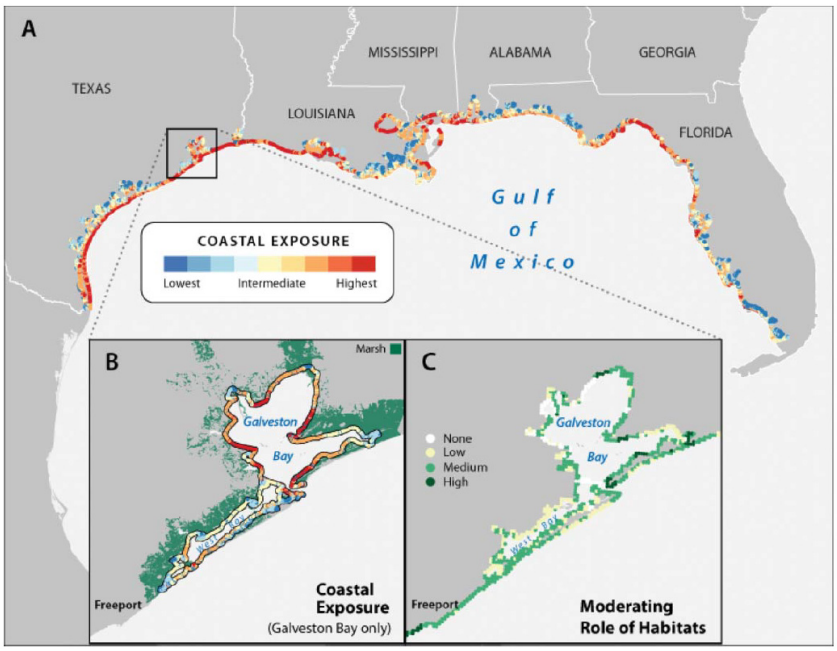
또 다른 사례로 Ruckelshaus et al.(2016)의 연구가 존재한다. 해당 연구는 Invest 모델을 활용하여 총 6개 지표를 통해 연안 재해 지수(hazard 지수)를 구성하였다. 해수면 상승으로 인한 연안 인구 및 자산의 추정 피해도 산출하였으며, 연안 재해 지수와 추정 피해를 결합하여 최종 결과물을 산출하였다. 연안 그린인프라 존재유무에 따른 피해경감은 별도로 모델링하여 반영하였다.

〈그림 4-3〉 연안 재해 지수와 자산 추정 피해 결합 사례(연구방법)



자료: Arkema et al.(2013), p. 34.

〈그림 4-4〉 연안 재해 지수와 자산 추정 피해 결합 사례(연구결과)



주: (A) 파랑 노출 정도, (B) 파랑 노출 정도(높은 해상도), (C) 그린 인프라 효과 정도
자료: Ruckelshaus et al.(2016), p. 508.

(2) 지수 포함 지표

지수 구성 시 목적에 따라 다양한 지표를 활용한다. 어떠한 지표를 구성할 것인가는 해당 지수의 목적에 따라 상이하다. 여기서는 연안 그린인프라 지수와 관련하여 주로 활용된 지표를 확인하기 위해 Conger & Chang (2019)의 연구결과를 살펴보았다. 해당 연구는 가장 최근 진행된 연안 그린인프라 지수 관련 연구로, 총 77개의 선행연구를 분석하여 지수 삽입 지표를 종류별로 분류하게 제시하였다.

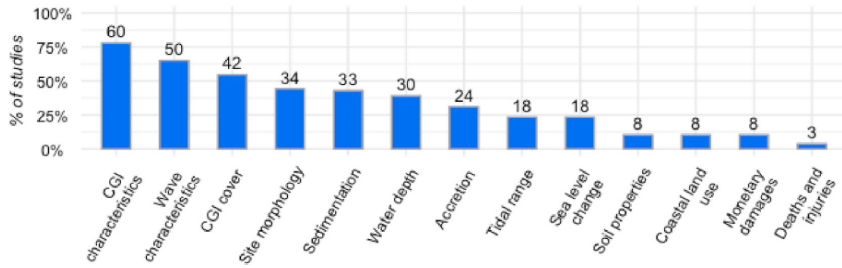
연안 그린인프라 지수와 관련하여 가장 많이 활용된 지표는 연안 그린인프라의 특징(characteristics)으로, 주로 식생의 종류가 포함된다. 염습지,

사구 식생, 육상 초지, 해조류 등 식생의 종류에 따라 연안 그린인프라의 효과가 달라짐을 반영한 것이다. 특히 해당 지표가 가장 많이 활용된 이유는 앞서 언급한 것처럼 연안 그린인프라가 과거 연안서식지와 유사하게 활용되었음을 고려하여 서식지의 개념까지 포괄하여 검토하였기 때문인 것으로 판단된다. 두 번째로 많이 활용된 지표는 파랑의 특성으로 파고, 파장, 파향, 취송거리, 파랑 노출도 등이다. 결국 연안에 도달하는 에너지는 대부분 파랑의 형태로 전달되며, 따라서 다양한 외력 중 파랑의 특성을 적극 고려하고 있다.

연안 그린인프라의 점유면적(cover)에는 식생의 점유면적, 갯벌의 면적, 사구의 면적 등이 포함된다. 연안 그린인프라가 차지하는 공간이 넓을수록 효과가 커짐을 반영한 것이다. 이와 유사하게 지형(site morphology)도 많이 고려된다. 구체적인 연안의 경사, 기복 등과 같은 직접적인 지형요인부터 해안의 종류(사빈, 해식애, 사구, 암석해안 등)까지 다양한 지형 지표를 반영한다. 이러한 지형 지표는 연안 그린인프라의 효과가 발생하는 자산임과 동시에 식생이 서식할 수 있는 토대가 된다. 퇴적(sedimentation), 부착(Accretion) 등은 해당 지역의 퇴적물 수지, 침·퇴적물 상황 혹은 이와 관련된 현상(고도 변화, 유기물 분해 등)을 의미한다. 자연자산에 대한 구체적인 상황을 담은 지표로, 해당 지역의 취약성을 확인하기 위해 활용한다. 수심(water depth)은 정확한 의미로 서식지의 형태에 따른 연안 구분(조상대, 조간대, 조하대)을 의미하며, 식생의 서식행태와 관련된다.

한편 연안 완충공간의 개념을 반영하여 연안 토지이용(coastal land use)을 반영하거나, 인문·사회적 요인인 인구, 건물 또는 재정적 피해(monetary damages)를 고려하는 경우도 있다. 인구와 건물 등은 사회경제 분야의 대표적인 변수이며, 이를 화폐화한 수치가 재정적 피해다. 연안 완충공간의 경우 연안 그린인프라가 외력에 적응하여 지형 변화를 발생하는 프로세스를 고려한다는 측면에서 아주 중요한 의미를 가진다.

〈그림 4-5〉 연안 그린인프라 지수 지표별 분류



자료: Conger & Chang(2019), p. 57.

〈표 4-5〉 연안 그린인프라 지수 지표별 내용

분류	내용	기타
연안 그린인프라 특징	사구 식생, 염습지, 초지 등	서식지 관점에서 진행
파랑 특징	파고, 파장, 파향, 취송거리 등	외력을 구분하여 반영
연안 그린인프라 면적	CGI 점유면적	
지형 특징	기복, 경사각, 해안의 종류 (사빈, 암석, 사구, 해식애 등)	
퇴적(sedimentation)	퇴적량, 인덱스로 활용	취약성 확인을 위해 활용
수심	조하대, 하부 조간대, 조간대 등	수심에 따라 효과가 달라짐
부착(Accretion)	토양 고도, 유기물 분해로 인한 변화	취약성 확인을 위해 활용
조차	조차	취약성 확인을 위해 활용
해수면 상승	해수면 상승량	취약성 확인을 위해 활용
토양 특성		침수 시 토양 보호 정도
연안 토지이용	농업, 자연 〈〉 상업지구, 그레이	완충·여유공간의 느낌으로 활용
자산 피해	재정적 피해	인구 등 세분화 포함 가능

자료: Conger & Chang(2019), p. 57을 수정

2) 우리나라 여건 고려(전문가 의견 수렴)

연안 그린인프라 지수의 목적, 방향 등을 논의하기 위해 전문가 자문회의를 두 차례 진행하였다. 1차 자문회의는 5월 19일(목요일) 영상회의를 진행한 후 서면 자문의 형태로 진행되었으며, 2차 자문회의는 5월 27일(금요일) 영상을 통해 진행되었다. 자문위원들은 모두 연안관리 관련 전문가로 구성하였으며, 1차 자문회의는 2명, 2차 자문회의는 4명을 대상으로 하였다. 자문회의의 주요 결과는 다음과 같다.

〈표 4-6〉 전문가 의견 수렴 결과

내용
• 목적과 범위를 분명하게 정의할 필요
• 해역별로 적용 가능한 연안 그린인프라 지수 개발 필요, 상반된 의견으로 표준화된 연안 그린인프라 지수 개발 이후 해역별 특성을 가중치 형태로 부여하는 의견 존재
• 연안 그린인프라의 구체적인 이익을 확인하고, 최종 선정된 지표 간 가중치 부여 필요
• 연안재해 취약성 평가와의 관계 고려 필요
• 그레이인프라의 영향(긍정/부정)을 포함하는 방안 강구

자료: 저자 작성

자문회의를 통해 얻은 시사점은 다음과 같다. 먼저, 연안 그린인프라 지수의 목적을 분명하게 정의해야 한다. 연안 그린인프라의 범위는 매우 광범위하며, 따라서 구체적인 연안 그린인프라 지수의 목적을 정의해야 한다. 예를 들면, 연안 그린인프라의 광범위한 활용과 같은 거시적인 차원부터, 갈대를 활용하기 위한 연안 그린인프라 적지 선정과 같은 미시적인 차원까지 다양한 목적을 고려할 수 있다. 목적의 정의는 연안 그린인프라 적용 범위와도 연결된다. 전 국토를 대상으로 진행할 것인지, 아니면 특정 지역을 대상으로 적용할 것인지 결정해야 한다. 목적과 범위를 정한 후 구체적인 지표를 선정해야 한다. 지표 선정은 객관성, 합리성을 갖추어야 하며, 최종 선정된 지표 간 가중치를 부여할 필요가 있다.

3) 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수(안) 구성

(1) 개요

선행연구, 전문가 자문 의견, 자료 가용성 등을 고려하여 이 연구에서는 연안 그린인프라의 긍정적 효과가 어느 장소에서 발생하는지 확인하기 위한 목적으로 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 구성하였다. 아직까지 우리나라에서 거시적 차원의 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 연구가 존재하지 않음을 고려하여, 적용 범위는 우리나라 연안 전체를 대상으로 삼았다. 또한 최종 결과물을 바탕으로 구체적인 정책 대안 제시가 가능한 연안 그린인프라를 대상으로 하였다. 따라서 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 큰 공간 스케일에서 '연안 그린인프라 보호 효과'를 식별하는 도구다.

〈표 4-7〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수(안) 개요

내용
• 공간 범위: 우리나라 전 연안 • 목적: 연안 그린인프라의 긍정적 효과가 발생하는 지역 식별 • 고려사항: 정책적 활용성 고려

자료: 저자 작성

(2) 전문가 설문조사

연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지표(안)에 대해 전문가 설문조사를 통해, 지수에 반영할 지표를 선정하고 지표 간 가중치 분석을 실시하였다. 연안 그린인프라와 관련된 연구를 수행한 경험이 있거나 관련 사업 경험이 있는 전문가를 대상으로 사전 접촉을 진행한 뒤 설문조사를 진행하였다. 회신된 결과를 종합하여 기본적인 분석을 실시한 뒤, 지표 선정과 가중치 분석을 진행하였다.

설문조사는 평가요인 간(연안 그린인프라 특성(현존량), 외력(취약성), 사회경제) 평가와 세부 평가요인(개별 지표)에 대한 평가로 구성되며, 스윙웨이트(swing weight) 방법을 적용하였다. 연안 그린인프라 특성은 연안 그린인프라의 재해 저감 능력을 의미하며, 특성값이 높을수록 재해 저감 효과가 증가한다. 특성값이 높다는 것은 연안 그린인프라의 현존량이 많다는 의미와 동일하다. 예를 들어 갯벌의 면적이 넓을수록, 갈대의 점유면적이 넓을수록 재해 피해 저감 능력이 크다. 외력은 해당 지역에 영향을 미치는 재해의 크기와 발생 가능성을 의미하며, 따라서 외력이 낮을수록(적을수록 등) 재해 피해가 감소한다. 한편으로 외력이 커질수록 연안 그린인프라가 취약해지는 점을 고려하면, 외력이 낮을수록 연안 그린인프라의 취약성이 낮아져 재해 피해 기대 효과가 높다. 예를 들어 파랑 에너지가 강한 경우 해당 지역에 미치는 피해가 크고, 연안 그린인프라를 취약하게 만든다. 사회경제 항목은 특성값이 높을수록(넓을수록, 밀집될수록 등) 재해 저감의 편익이 상승한다.

〈표 4-8〉 연안 그린인프라 지표(안) 분석 설문지

[작성 예시]

1) 각 평가기준을 구성하는 다음 항목들에 대해 1위부터 순위를 매겨 주십시오.
2) 각 순위에 대해 100점 만점으로 점수를 매겨 주십시오.
   - 가장 중요하다고 생각하는 1순위 항목의 점수를 100점으로 놓았을 때, 이 항목과 비교하여 나머지 순위들에 대해 0~100점 사이의 점수를 매겨 주시면 됩니다.
   - 똑같은 수준으로 중요하다고 생각되는 항목은 동점을 주셔도 됩니다.
   - 전혀 중요하지 않다고 생각되는 항목은 0점을 주셔도 됩니다.

평가항목	순위	점수
항목 A	1	100
항목 B	2	85
항목 C	3	70
항목 D	4	65

1) 평가요인 간 평가

평가요인	내용	순위	점수
연안 그린인프라 특성	연안 그린인프라의 재해 저감 능력 연안 그린인프라의 현존량		
외력	해당 지역에 영향을 미치는 재해의 크기 등 연안 그린인프라의 취약성		
사회경제	피해를 입을 것으로 예상되는 인적, 물적 요인		

2) 세부 평가요인 평가

(1) 연안 그린인프라 특성

지표(안)	내용	순위	점수
식생 종류	염습지, 바다숲, 초지, 사구 식생 등		
그린인프라 면적	갯벌, 사구 등 그린인프라의 점유면적		
지형(기복)	저조선으로부터의 높이, 경사각 등		
해안의 종류	사빈, 갯벌, 사구 등 해안의 종류		
서식 환경	조하대, 하부 조간대, 조간대 등		
퇴적·침식	퇴적률, 침식률, 퇴적물 수지 등		

(2) 외력

지표(안)	내용	순위	점수
파랑	유의파고		
해일	태풍해일고		
태풍	강도, 빈도, 최대풍속, 해면기압 등		
조석	조차, 약최고고조위		
해수면 상승	해수면 상승량		

(3) 사회경제

지표(안)	내용	순위	점수
시가지	시가화 건조지역 면적		
인구	인접 인구수 등		
건물	인접 건물 면적, 가치 등		

자료: 저자 작성

설문조사 응답자는 총 21명으로, 국가기관, 공기업 및 공공기관 근무자 6명(28.6%), 대학 4명(19.0%), 민간연구소, 민간기업 11명(52.4%)으로 구성된다. 민간연구소와 민간기업의 비중이 높은 이유는 현장 실무 경험을 다수 보유하고 있는 점을 반영한 것이다. 응답자의 전문 분야는 해양환경 분야의 비중이 가장 많았으며, 다음으로 해양공학 순서였다. 다양한 분야 전문가의 의견을 반영하고자 노력하였다.

〈표 4-9〉 설문조사 응답자 특성

구분		참여자 수(명)	비중(%)
소속	국가기관, 공기업, 공공기관	6	28.6
	대학	4	19.0
	민간연구소, 민간기업	11	52.4
전문 분야	해양환경	7	33.3
	해양공학	4	19.0
	지형·지질	3	14.3
	해양물리	3	14.3
	해양정책	2	9.5
	경관	1	4.8
	도시계획	1	4.8

자료: 저자 작성

설문조사 결과 평가요인 간 평가에서는 외력이 가장 높은 우선순위를 차지하였으나, 평균 점수에서는 연안 그린인프라 특성이 더 높게 나타났다. 외력을 더 높게 평가한 전문가들은 외력과 연안 그린인프라 특성의 차이가 크지 않은 것으로 판단하였지만, 연안 그린인프라 특성을 더 높게 평가한 전문가들은 그 차이가 큰 것으로 판단한 것으로 해석할 수 있다. 중요한 점은 두 평가요인 간 우열을 명확하게 판단하기 어렵다는 것으로, 연안 그린인프라의 재해 저감 효과를 판단하기 위해서는 연안 그린인프라의 재해 저감 능력과 특정 지역에 영향을 미치는 재해의 크기가 고루 고려되어야 할 것이다. 사회경제 항목의 우선순위는 상대적으로 낮다.

〈표 4-10〉 설문조사 결과

구분		평가요인	평균 순위	평균 점수	표준편차
평가요인 간		연안 그린인프라 특성	2	90.25	10.70
		외력	1	88.00	18.38
		사회경제	3	76.50	18.57
세부 평가요인(개별 지표)	연안 그린인프라 특성	식생 종류	2	79.40	16.05
		그린인프라 면적	1	90.50	10.12
		지형(기복)	3	74.07	23.48
		해안의 종류	4	74.83	21.23
		서식 환경	6	62.75	18.81
		퇴적/침식	5	70.40	22.76
	외력	파랑	1	88.84	14.81
		해일	3	82.67	11.51
		태풍	2	86.25	14.95
		조석	4	66.07	19.67
		해수면 상승	5	68.25	20.54
	사회경제	시가지	3	77.75	21.73
		인구	1	92.75	12.72
		건물	2	81.75	16.24

자료: 저자 작성

세부 평가요인 중 연안 그린인프라 특성의 경우 우선순위가 그린인프라 면적, 식생 종류, 지형(기복), 해안의 종류 순이다. 전문가들은 연안 그린인프라의 실제 면적이 가장 중요한 것으로 판단하였으며, 평균 점수 또한 높다. 지형(기복)과 해안의 종류는 평균 순위와 평균 점수가 상반되는 결과가 도출되었으며, 그 차이가 크지 않은 것으로 보아 유사한 중요도를 갖는 것으로 해석할 수 있다. 상대적으로 퇴적·침식과 서식 환경은 중요도가 다소 떨어졌다. 외력의 경우 파랑이 가장 중요한 것으로 도출되었으며, 두 번째로 중요한 태풍과의 차이는 그리 크지 않았다. 세 번째로 중요한 지표는 해일이며, 이후 조석, 해수면 상승의 순으로 중요도가 낮아진다. 조석과 해수면 상승의 중요도가 낮은 이유는 상대적으로 장기간에 걸쳐 영향이 나타

나는 지표이기 때문으로 판단된다. 반대로 영향이 단기간에 가시적으로 확인되는 파랑, 태풍, 해일은 우선순위가 높다. 사회경제의 경우 인구, 건물, 시가지 순으로 우선순위가 높고 평균 점수도 높았다. 재해 피해를 가정할 때 가장 중요하게 보호해야 하는 것이 인간이기 때문에 인구가 높게 나타난 것으로 추정된다.

(3) 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 구성

선행연구, 전문가 자문 의견, 자료 가용성 등을 고려하여 최종적으로 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 구성하였다. 지수의 구성은 이 연구의 목적과 가장 유사한 Conger & Chang(2019)의 연구에서 제시된 연안 그린인프라 보호 효과(CGI coastal protection benefit) 지수를 참고하였다. 해당 지수는 총 8개 지표로 구성(연안 그린인프라 특성 3개, 외력 4개, 사회 1개)된다. 본 연구에서는 총 7개(연안 그린인프라 특성 3개, 외력 3개, 사회 1개) 지표로 지수를 구성하였다. 자료 취득 이후 관련 자료 프로세싱을 진행하였으며, 자료는 연안취약성 평가체계를 고려하여 250m x 250m 격자 단위로 분석하였다. 모든 자료를 5단계로 구분하였으며 구분 방식은 내추럴 브레이크[101]를 이용하였다. 프로세싱이 끝난 자료에 전문가 설문조사를 통해 계산한 가중치를 부여하여 최종적으로 7개 지표의 값을 산출하고, 결과를 5등급으로 구분하였다.

연안 그린인프라 특성 부문은 식생, 지형, 해안의 종류를 반영하였다. 특히 그린인프라 면적의 우선순위가 가장 높은 점을 고려하여, 식생과 해안의 종류를 면적으로 반영하였다. 식생의 경우 '블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성 기술개발' 연구에서 구축한 '블루카본 정보도' 자료를 활용하였다. 해당 자료는 바다숲, 갈대, 갈대외 식생으로 구성된다. 비록 우리나라 연안에 존재하는 모든 식생의 정보를 담고 있지는 않지만, 자료 가용성 측

101) 내추럴 브레이크는 데이터값이 비교적 균등하게 분포되지 않은 자료를 분류하는 데 활용되는 일반적인 분류 방법론

면에서 현실적으로 가장 많은 정보를 담고 있다는 점을 고려하였다.

해안의 종류에서는 지형변화, 퇴적물 이동, 완충공간의 관점에서 사빈, 사구, 갯벌의 면적을 고려하였다. 사구 자료는 국립생태원, 갯벌 면적은 국립해양조사원 자료를 이용하였다. 갯벌 면적 자료를 상세하게 살펴보면, 우리나라 서·남해안의 해빈은 포함하고 있지만, 동해안의 해빈은 포함하지 않고 있다. 동해안의 모든 해빈 면적에 대해 구축된 공간자료가 없기 때문에, 위성영상을 이용하여 해빈 면적을 추출하였다. 지형(기복)의 경우 연안취약성 평가를 위해 구축된 대조차 자료를 활용하였다. 연안취약성 평가체계에서 대조차는 지형적인 민감 요인으로 분류되며, 구체적으로 고조위와 저조위의 차이를 의미한다. 이는 다른 말로 저조위 수위의 지형과 고조위 수위 지형의 고도 차이로 표현할 수 있다.

외력 부문은 세 가지 지표를 고려하였는데, 연안에 가장 큰 영향을 주는 외력인 파랑, 단일 이벤트로 피해가 크게 발생하는 태풍, 장기 관점의 해수면 상승을 반영하였다. 우리나라의 경우 해일은 주로 폭풍해일의 형태로 발생하기 때문에 태풍과 유사하며, 조석의 경우 연안 그린인프라 특성의 지형(기복)과 유사한 개념이기 때문에 제외하였다. 세 가지 자료 모두 연안취약성 평가를 위해 구축된 자료를 이용하였다.

사회경제 부문에서 시가지 면적은 '환경공간정보서비스'에서 토지피복도를 다운받아 시가화 건조지역을 추출하여 활용하였다. 사회경제에서 가장 우선순위가 높은 지표는 인구다. 현재 인구 자료는 국토지리정보원의 국토정보플랫폼에서 국토통계지도를 통해 제공하고 있다. 가장 공간 해상도가 높은 자료로 100m 격자당 인구를 제공하고 있으나 누락된 자료가 많으며, 250m 격자를 활용하는 경우에는 본 연구의 격자 크기가 250m이기 때문에 오차가 발생할 수 있다. 건물의 면적 또한 이와 유사하다. 시가지 면적은 인구와 건물을 일부 포괄할 수 있다는 장점이 있다.

〈표 4-11〉 연안 그린인프라 지수 구성 지표

구분	분류	구성 지표	가중치	1 효과 낮음	2 3 4 〈-----〉	5 효과 높음	자료 출처	기타
그린인프라 특성	식생	① 식생 면적	1.04	면적 좁음	-	면적 넓음	블루카본 정보도	잘피, 염습지 분포도, 바다숲의 면적 합계를 이용
	지형	② 기복	0.97	기복 낮음	-	기복 큼	연안취약성평가: 조차	
	해안의 종류	③ 그린인프라 면적	0.98	면적 좁음	-	면적 넓음	국립해양조사원: 갯벌 면적 국립생태원: 해안사구 면적 위성영상 분석자료(동해안)	갯벌, 해빈, 해안 사구 면적 합계를 이용
외력	파랑	④ 유의파고	1.10	파고 높음	-	파고 낮음	연안취약성 평가: 파랑	
	태풍	⑤ 태풍내습 횟수	1.06	횟수 많음	-	횟수 적음	연안취약성 평가: 내습	
	해수면 상승	⑥ 해수면 상승률	0.84	상승률 높음	-	상승률 낮음	연안취약성 평가: 상승	
사회경제	시가지	⑦ 시가화/건조지역 면적	1	면적 좁음	-	면적 넓음	환경공간정보서비스	시가화 건조지역 면적 이용

자료: 저자 작성

2. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 적용

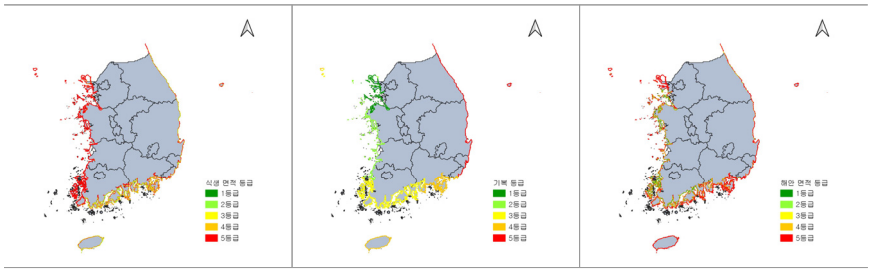
1) 전국

(1) 그린인프라 특성 분석결과

그린인프라 특성은 높은 등급(1등급)일수록 재해 저감 능력이 뛰어나다. 분석결과 전남, 충남에 1~2등급이 많았으며, 강원, 경남, 경북, 부산, 울산, 전북, 제주는 4~5등급이 많았다. 전남과 충남에서 높은 등급이 다수 관찰된 이유는 상대적으로 기복이 완만하며, 갯벌이 넓게 분포하고, 일부 지역은 식생이 존재하기 때문이다. 경기와 인천의 경우 4등급이 가장 많지만, 2등급이 차순위의 비중을 차지한 것이 특징적이다. 평균 등급이 높은 순서는 충남, 경기, 전북, 전남 순이다.

식생 면적은 주로 남해안에 존재하며, 동해안의 일부 지역에서도 높은 등급이 관찰되었다. 서해안은 대부분 5등급인데, 이는 염습지 자료 구축의 한계로 판단된다. 지형(기복)의 경우 서해 중부, 서해 남부, 남해 서부, 제주 및 남해 동부, 동해의 순서로 등급이 낮아졌다. 지형은 해안의 경사를 반영하기 때문에 적절한 결과로 판단된다. 그린인프라 면적은 갯벌, 해빈, 사구의 면적을 합산한 결과를 활용하였는데, 주로 서해와 남해 서부에서 높게 나타났으며, 남해 동부와 제주는 매우 낮은 수치를 보였다. 동해의 경우 해안사구가 존재하는 지역에서 상대적으로 높은 등급이 나타났다.

〈그림 4-6〉 지표별 그린인프라 특성 분석결과



자료: 저자 작성

〈표 4-12〉 연안 그린인프라 특성 분석결과(격자 수)

단위: 개

구분	1	2	3	4	5	총합계	평균등급
강원도	1	22	137	569	642	1,371	4.33
경기도	187	323	127	493	-	1,130	2.82
경상남도	360	871	1,387	2,837	2,016	7,471	3.71
경상북도	-	8	64	609	1,066	1,747	4.56
부산광역시	4	27	88	370	582	1,071	4.40
울산광역시	1	10	12	222	314	559	4.50
인천광역시	190	547	336	2,697	348	4,118	3.60
전라남도	1,944	4,397	2,560	2,725	4,092	15,718	3.17
전라북도	214	352	383	817	-	1,766	3.02
제주특별자치도	6	36	328	869	315	1,554	3.93
충청남도	827	1,195	665	1,491	-	4,178	2.67
총합계	3,734	7,788	6,087	13,699	9,375	40,683	3.42

자료: 저자 작성

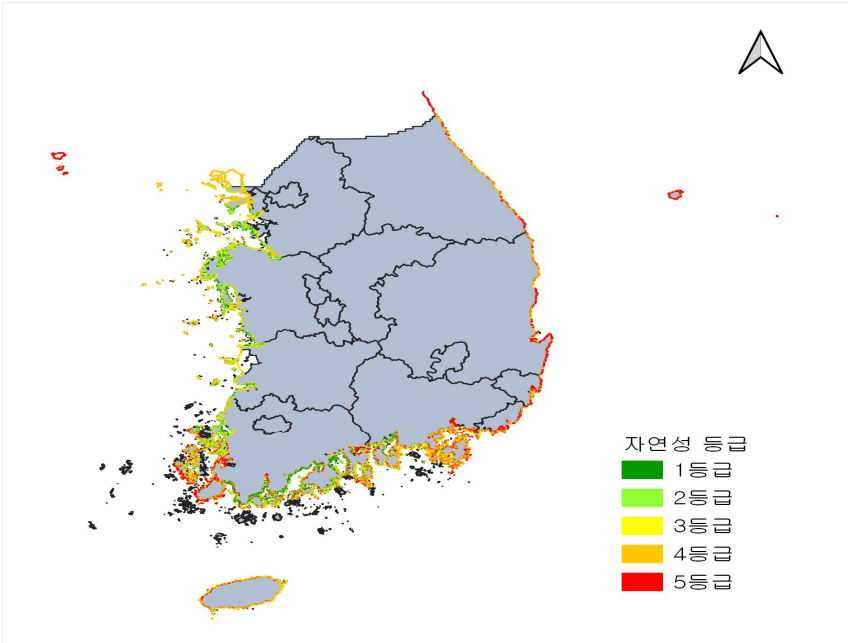
〈표 4-13〉 연안 그린인프라 특성 분석결과(격자 비중)

단위: %

구분	1	2	3	4	5	총합계
강원도	0.07	1.60	9.99	41.50	46.83	100.00
경기도	16.55	28.58	11.24	43.63	-	100.00
경상남도	4.82	11.66	18.57	37.97	26.98	100.00
경상북도	-	0.46	3.66	34.86	61.02	100.00
부산광역시	0.37	2.52	8.22	34.55	54.34	100.00
울산광역시	0.18	1.79	2.15	39.71	56.17	100.00
인천광역시	4.61	13.28	8.16	65.49	8.45	100.00
전라남도	12.37	27.97	16.29	17.34	26.03	100.00
전라북도	12.12	19.93	21.69	46.26	-	100.00
제주특별자치도	0.39	2.32	21.11	55.92	20.27	100.00
충청남도	19.79	28.60	15.92	35.69	-	100.00
총합계	9.18	19.14	14.96	33.67	23.04	100.00

자료: 저자 작성

〈그림 4-7〉 그린인프라 특성 종합 분석결과



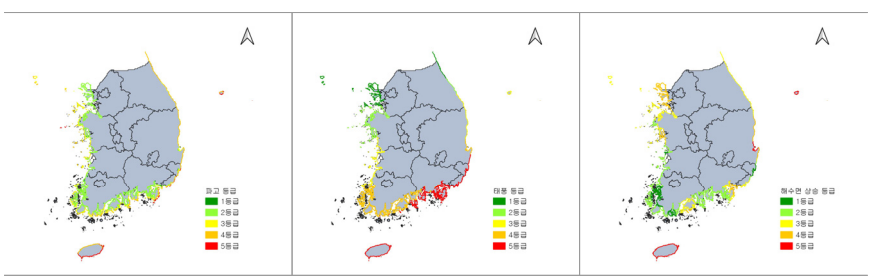
자료: 저자 작성

(2) 외력 분석결과

외력은 높은 등급(1등급)일수록 연안 지역에 미치는 재해의 크기가 낮고, 연안 그린인프라에 미치는 부정적 영향이 적음을 의미한다. 분석결과 강원, 경기, 인천, 전북, 충남, 전남에 1~2등급이 많고, 경남은 3등급, 경북, 부산, 울산은 4등급, 제주는 5등급이 많았다. 전반적으로 지역 간 격차가 크게 나타났으며, 해역별로 제시하면 서해는 높음, 남해는 보통, 부산부터 동해는 보통과 낮음, 제주는 낮은 등급이 다수 관찰되었다. 특히 제주의 경우 99.87%가 5등급으로 판정되었는데, 이는 외력 지표를 3개만 고려하였기 때문으로 판단된다. 평균 등급이 높은 순서는 인천, 경기, 충남, 전북, 전남, 강원 순이다.

파고는 전반적으로 만입부에서 높은 등급을 보였으며, 외해로부터 직접적인 영향을 받는 제주와 강원, 남해 동부는 5등급이 다수 관찰되었다. 태풍의 경우 내습빈도를 고려하였기 때문에, 광역지자체별로 동일한 등급이 다수 관찰되었으며, 북쪽으로 갈수록 내습빈도가 적으며, 남쪽으로 갈수록 내습빈도가 많았다. 해수면 상승의 경우 제주, 포항, 울산 등에서 5등급이 발견되었으며, 그 외 경기, 충남, 경남 등에서 4등급이 관찰되었다.

〈그림 4-8〉 지표별 외력 분석결과



자료: 저자 작성

〈표 4-14〉 외력 분석결과(격자 수)

단위: 개

구분	1	2	3	4	5	총합계	평균 등급
강원도	4	793	574	-	-	1,371	2.42
경기도	814	295	21	-	-	1,130	1.30
경상남도	4	680	4,905	1,468	414	7,471	3.22
경상북도	-	1	247	1,258	241	1,747	4.00
부산광역시	-	-	202	771	98	1,071	3.90
울산광역시	13	107	166	272	1	559	3.25
인천광역시	3,246	780	92	-	-	4,118	1.23
전라남도	4,956	3,962	5,920	820	60	15,718	2.18
전라북도	909	726	131	-	-	1,766	1.56
제주도	-	-	-	2	1,552	1,554	5.00
충청남도	2,404	1,149	625	-	-	4,178	1.57
총합계	12,350	8,493	12,883	4,591	2,366	40,683	2.41

자료: 저자 작성

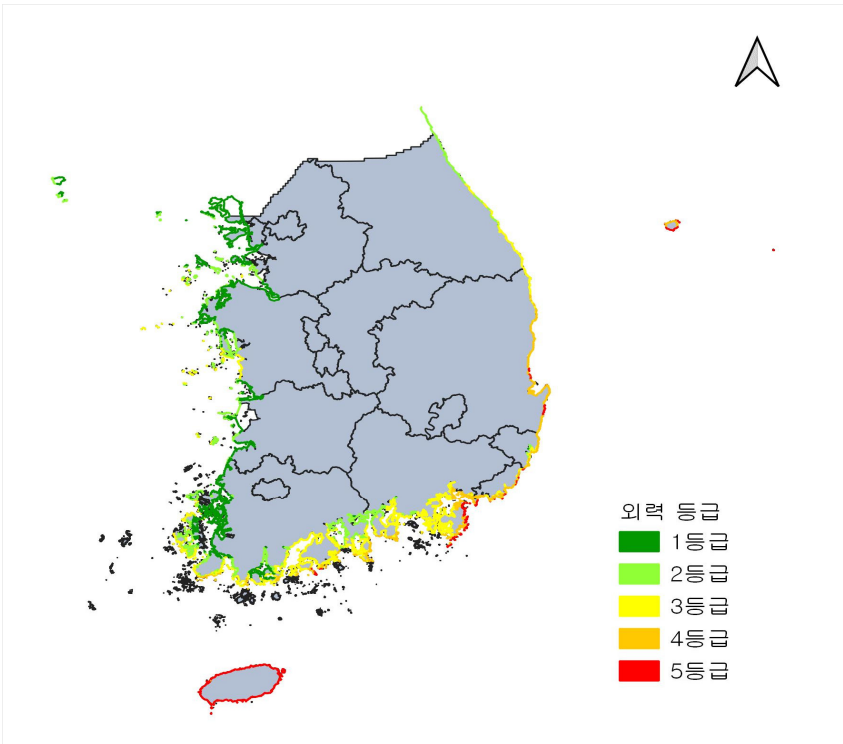
〈표 4-15〉 외력 분석결과(격자 비중)

단위: %

구분	1	2	3	4	5	총합계
강원도	0.29	57.84	41.87	-	-	100.00
경기도	72.04	26.11	1.86	-	-	100.00
경상남도	0.05	9.10	65.65	19.65	5.54	100.00
경상북도	-	0.06	14.14	72.01	13.80	100.00
부산광역시	-	-	18.86	71.99	9.15	100.00
울산광역시	2.33	19.14	29.70	48.66	0.18	100.00
인천광역시	78.82	18.94	2.23	-	-	100.00
전라남도	31.53	25.21	37.66	5.22	0.38	100.00
전라북도	51.47	41.11	7.42	-	-	100.00
제주도	-	-	-	0.13	99.87	100.00
충청남도	57.54	27.50	14.96	-	-	100.00
총합계	30.36	20.88	31.67	11.28	5.82	100.00

자료: 저자 작성

〈그림 4-9〉 외력 종합 분석결과



자료: 저자 작성

(3) 사회경제 분석결과

사회경제는 높은 등급일수록 재해저감 편익이 높음을 의미한다. 이 연구에서 사회경제 지표는 시가화 건조지역 면적으로 배후에 위치한 시가화 건조지역 면적이 넓을수록 재해저감 이익이 높은 것으로 간주하였다. 대부분 지역에서 5등급 비중이 가장 높았고 평균 등급도 큰 차이가 없었다.[102] 1~3등급에 포함하는 격자 비중은 상대적으로 해안선 인근의 개발이 활발하게 진행된 강원, 부산, 경남 순으로 높게 나타났다.

102) 사회경제 분야 지표의 등급 구분에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단됨

〈표 4-16〉 사회경제 분석결과(격자 수)

단위: 개

구분	1	2	3	4	5	총합계	3등급 이상
강원도	21	52	118	171	1,009	1,371	191
경기도	5	9	31	94	991	1,130	45
경상남도	12	106	532	1,588	5,233	7,471	650
경상북도	-	2	40	241	1,464	1,747	42
부산광역시	4	22	104	160	781	1,071	130
울산광역시	-	4	15	46	494	559	19
인천광역시	21	91	184	387	3,435	4,118	296
전라남도	16	92	442	1,893	13,275	15,718	550
전라북도	13	29	100	299	1,325	1,766	142
제주도	5	32	76	140	1,301	1,554	113
충청남도	13	36	208	648	3,273	4,178	257
총합계	110	475	1,850	5,667	32,581	40,683	2,435

자료: 저자 작성

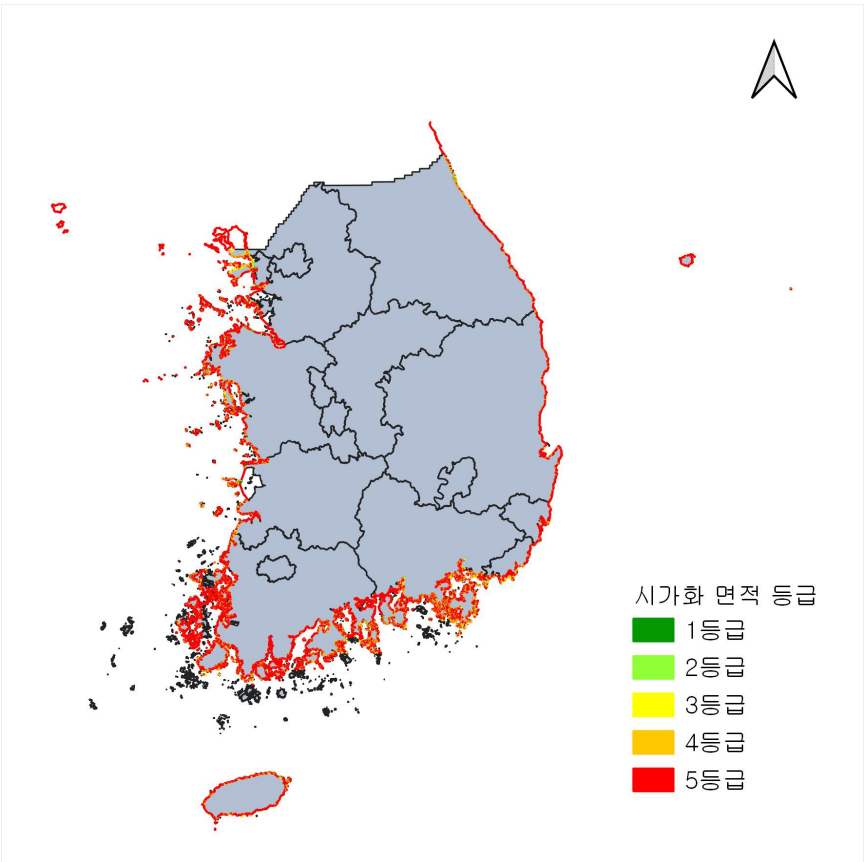
〈표 4-17〉 사회경제 분석 결과(격자 비중)

단위: %

구분	1	2	3	4	5	총합계	3등급 이상
강원도	1.53	3.79	8.61	12.47	73.60	100.00	13.93
경기도	0.44	0.80	2.74	8.32	87.70	100.00	3.98
경상남도	0.16	1.42	7.12	21.26	70.04	100.00	8.70
경상북도	0.00	0.11	2.29	13.80	83.80	100.00	2.40
부산광역시	0.37	2.05	9.71	14.94	72.92	100.00	12.14
울산광역시	0.00	0.72	2.68	8.23	88.37	100.00	3.40
인천광역시	0.51	2.21	4.47	9.40	83.41	100.00	7.19
전라남도	0.10	0.59	2.81	12.04	84.46	100.00	3.50
전라북도	0.74	1.64	5.66	16.93	75.03	100.00	8.04
제주도	0.32	2.06	4.89	9.01	83.72	100.00	7.27
충청남도	0.31	0.86	4.98	15.51	78.34	100.00	6.15
총합계	0.27	1.17	4.55	13.93	80.09	100.00	5.99

자료: 저자 작성

〈그림 4-10〉 사회경제 분석결과



자료: 저자 작성

(4) 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석결과

최종 분석결과 경기, 충남, 인천, 전북, 전남 순서대로 평균 등급이 높았다. 반면 제주, 경북, 부산, 울산 등은 평균 등급이 4~5등급 사이로 나타났으며, 강원과 경남은 중간 정도의 평균 등급을 보였다. 즉, 우리나라 연안 그린인프라의 재해 저감 효과는 서해와 남해 서부 지역에서 높게 존재하고, 제주, 동해, 남해 동부 지역에서 낮게 존재한다.

경기, 충남의 경우 그린인프라와 외력 모두에서 높은 등급(3등급 이상)이 나타나, 그린인프라가 많고 외력이 낮은 것으로 볼 수 있다. 인천, 전남, 전북, 강원의 경우 그린인프라 등급은 낮지만 외력 등급은 높은 지역으로, 그린인프라는 적지만 외력이 낮다. 그 외 지역(경남, 경북, 부산, 울산, 제주)은 그린인프라와 외력 모두에서 낮은 등급(3등급 미만)이 나타나 그린인프라가 적고 외력이 높은 것으로 볼 수 있다.

다만 최종 등급의 지역별 편차가 크게 나타나고 있음을 고려할 필요가 있다. 예를 들어 경기는 4~5등급이 없고, 제주는 1~2등급이 없다. 이는 지수 기반 분석이 제한된 지표를 광범위한 지역에 반영하여 연구를 진행하기 때문에 발생하는 한계다. 연안 그린인프라는 다양한 자연자산(갯벌, 염습지, 사구 등)으로 구성되며, 우리나라의 경우 외력의 종류에 따라 다양한 영향이 발생한다. 따라서 보다 세밀한 연구를 위해서는 특정한 자연자산 혹은 외력에 집중할 필요가 있을 것으로 판단된다.

〈표 4-18〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석결과(격자 수)

단위: 개

구분	1	2	3	4	5	총합계	평균등급
강원도	3	195	482	620	71	1,371	3.41
경기도	477	614	39	-	-	1,130	1.61
경상남도	289	633	2,747	3,106	696	7,471	3.44
경상북도	-	-	36	596	1,115	1,747	4.62
부산광역시	-	6	52	532	481	1,071	4.39
울산광역시	-	4	106	293	156	559	4.08
인천광역시	871	2,426	732	89	-	4,118	2.01
전라남도	2,642	4,040	6,879	2,116	41	15,718	2.55
전라북도	429	578	759	-	-	1,766	2.19
제주도	-	-	2	61	1,491	1,554	4.96
충청남도	1,636	1,500	970	72	-	4,178	1.88
총합계	6,347	9,996	12,804	7,485	4,051	40,683	2.83

자료: 저자 작성

〈표 4-19〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석결과(격자 비중)

단위: %

구분	1	2	3	4	5	총합계
강원도	0.22	14.22	35.16	45.22	5.18	100.00
경기도	42.21	54.34	3.45	-	-	100.00
경상남도	3.87	8.47	36.77	41.57	9.32	100.00
경상북도	-	-	2.06	34.12	63.82	100.00
부산광역시	-	0.56	4.86	49.67	44.91	100.00
울산광역시	-	0.72	18.96	52.42	27.91	100.00
인천광역시	21.15	58.91	17.78	2.16	-	100.00
전라남도	16.81	25.70	43.77	13.46	0.26	100.00
전라북도	24.29	32.73	42.98	-	-	100.00
제주도	-	-	0.13	3.93	95.95	100.00
충청남도	39.16	35.90	23.22	1.72	0.00	100.00
총합계	15.60	24.57	31.47	18.40	9.96	100.00

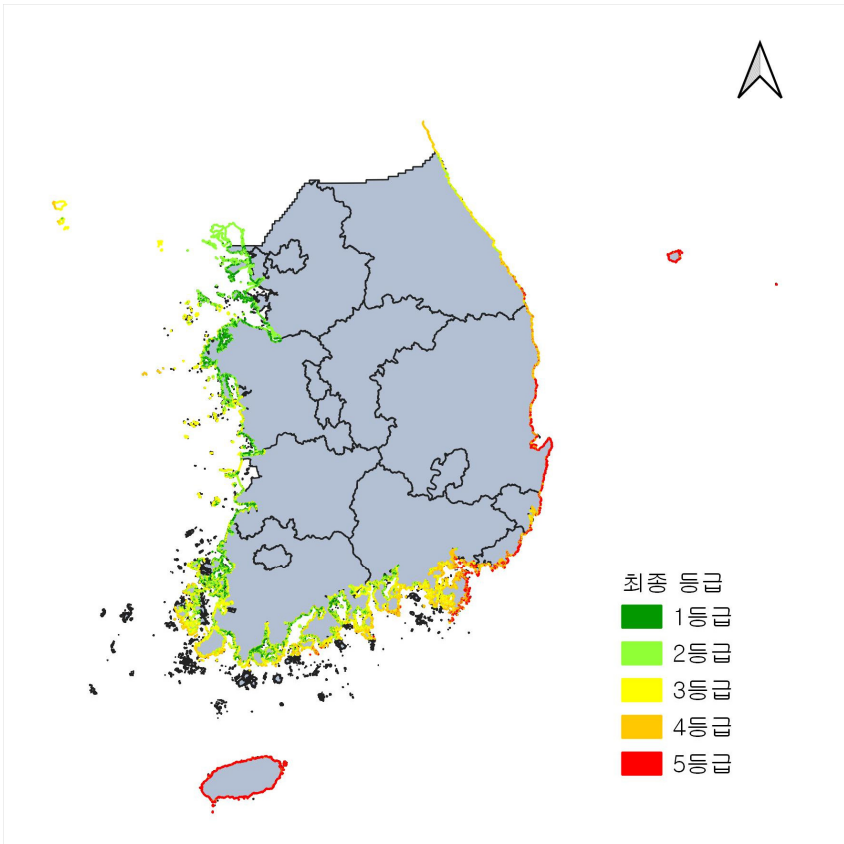
자료: 저자 작성

〈표 4-20〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석결과(평균 등급)

구분	그린인프라 평균 등급	외력 평균 등급	시가지 평균 등급	최종 평균 등급
강원도	4.33	2.42	4.53	3.41
경기도	2.82	1.30	4.82	1.61
경상남도	3.71	3.22	4.60	3.44
경상북도	4.56	4.00	4.81	4.62
부산광역시	4.40	3.90	4.58	4.39
울산광역시	4.50	3.25	4.84	4.08
인천광역시	3.60	1.23	4.73	2.01
전라남도	3.17	2.18	4.80	2.55
전라북도	3.02	1.56	4.64	2.19
제주도	3.93	5.00	4.74	4.96
충청남도	2.67	1.57	4.71	1.88
총합계	3.42	2.41	4.72	2.83

자료: 저자 작성

〈그림 4-11〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 분석결과



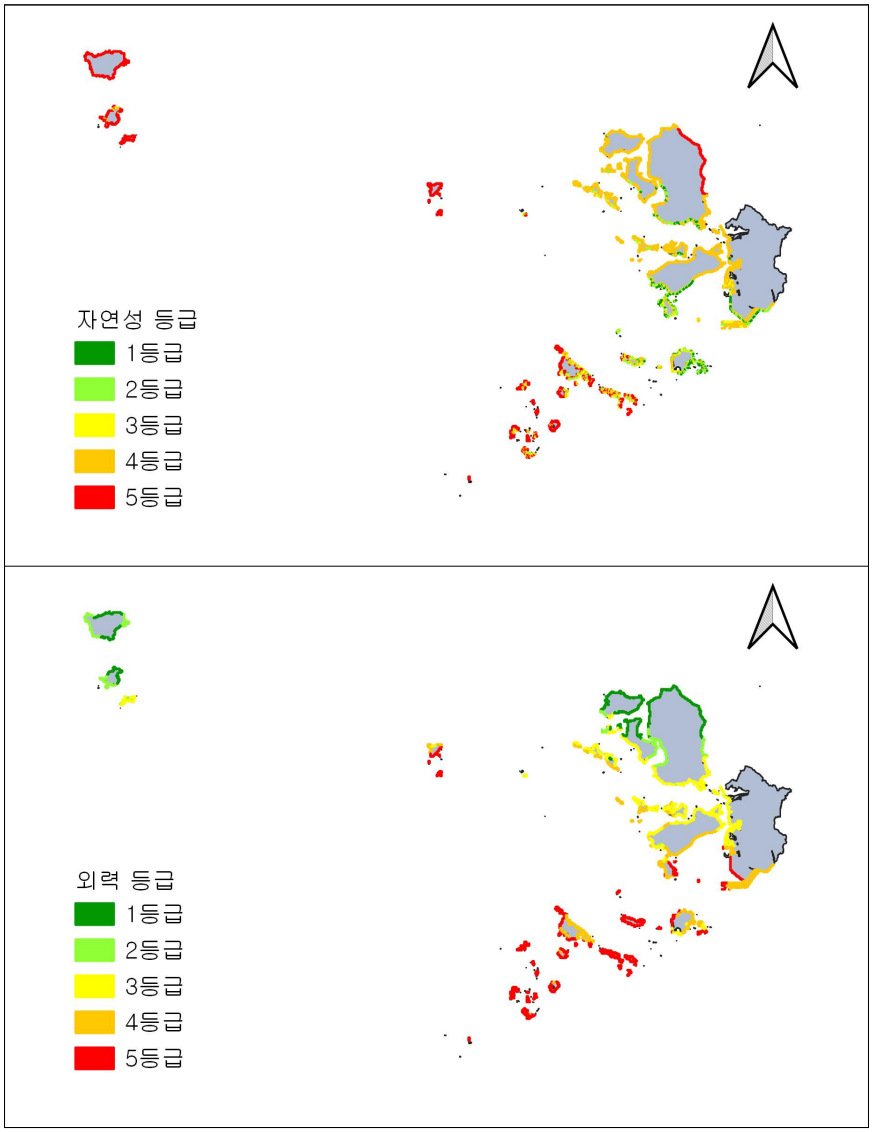
자료: 저자 작성

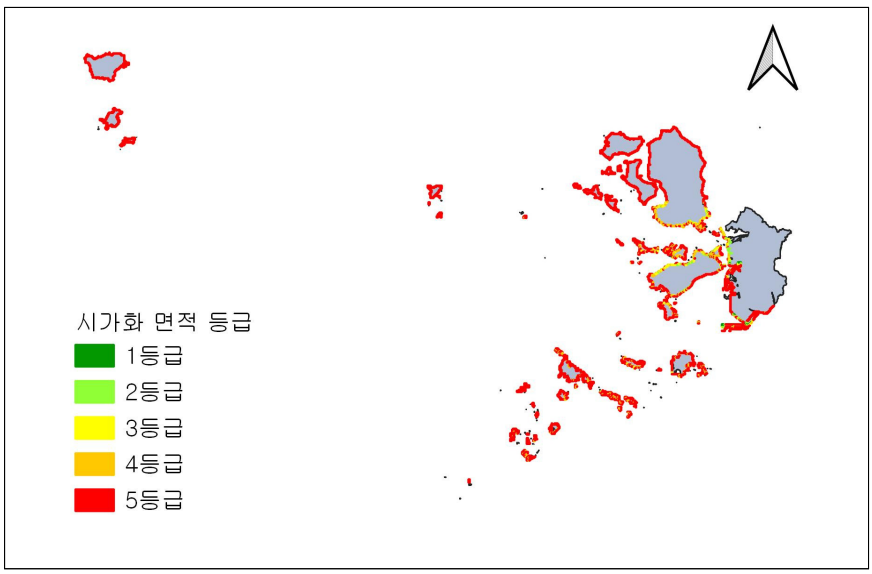
2) 지역단위 적용 사례(인천시)

본 연구에서 제시한 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 개별 지표의 상대적인 특성에 기반하여 분석하기 때문에 상대적 편차를 확인하는 데 유용하다. 여기에서는 인천을 대상으로 세부적인 분석을 진행하였다. 전국 분석결과에서 인천은 평균 2.01등급으로, 전반적으로 연안 그린인프라 보호 효과가 높은 것으로 나타났다. 구체적으로 연안 그린인프라 특성 3.60, 외력 1.23, 사회경제 4.73등급으로, 연안 그린인프라의 특성은 낮지만, 외력이 낮기 때문에 전체 등급이 높았다. 하지만 이러한 특성은 전국을 대상으로 분석할 때 찾을 수 있는 인천의 특징으로, 인천 내부에서 상대적인 편차를 확인하기 위해서는 보다 세밀한 분석이 필요하다. 이하에서는 전국 단위 분석 시 활용한 자료를 인천만 추출하여 다시 분석하였다.

연안 그린인프라 특성 분석결과 강화도 일부, 영종도 남단, 송도 인근, 선재도, 영흥도 동편, 덕적도 일부 등에서 높은 등급이 나타났다. 반면 외해에 직접적으로 노출된 백령도 일대, 연평도 일대, 덕적도 남단의 도서에서는 낮은 등급이 관찰되었다. 식생 면적은 강화도 일부, 지형(기복)은 강화도 남단, 영종도, 송도 인근, 그린인프라 면적은 영종도 남단, 송도 인근, 선재도, 영흥도 동편, 덕적도 일부에서 높은 특성을 보였다. 외력의 경우 북에서 남으로 갈수록 등급이 낮아졌으며, 특히 인천 해역 남부에 위치한 도서들의 등급이 낮았다. 가장 높은 등급은 강화도 북부와 백령도 일부에서 나타났다. 파고의 경우 북동에서 남서로, 태풍은 북에서 남으로, 해수면 상승은 서에서 동으로 갈수록 등급이 낮아졌다. 외력의 경우 조류 방향, 탁월풍 방향, 태풍 궤도 등의 방향에 따라 등급 경향성이 발견되었다. 사회경제는 대부분의 지역에서 5등급으로, 강화도 남단, 영종도 북단, 청라의 일부 지역에서 높은 등급이 나타났다. 전국 단위 분석에서 언급한 것처럼, 이는 격자 크기의 한계로 판단된다.

〈그림 4-12〉 인천 지역 분석결과 (상) 연안 그린인프라 특성, (중) 외력, (하) 사회경제





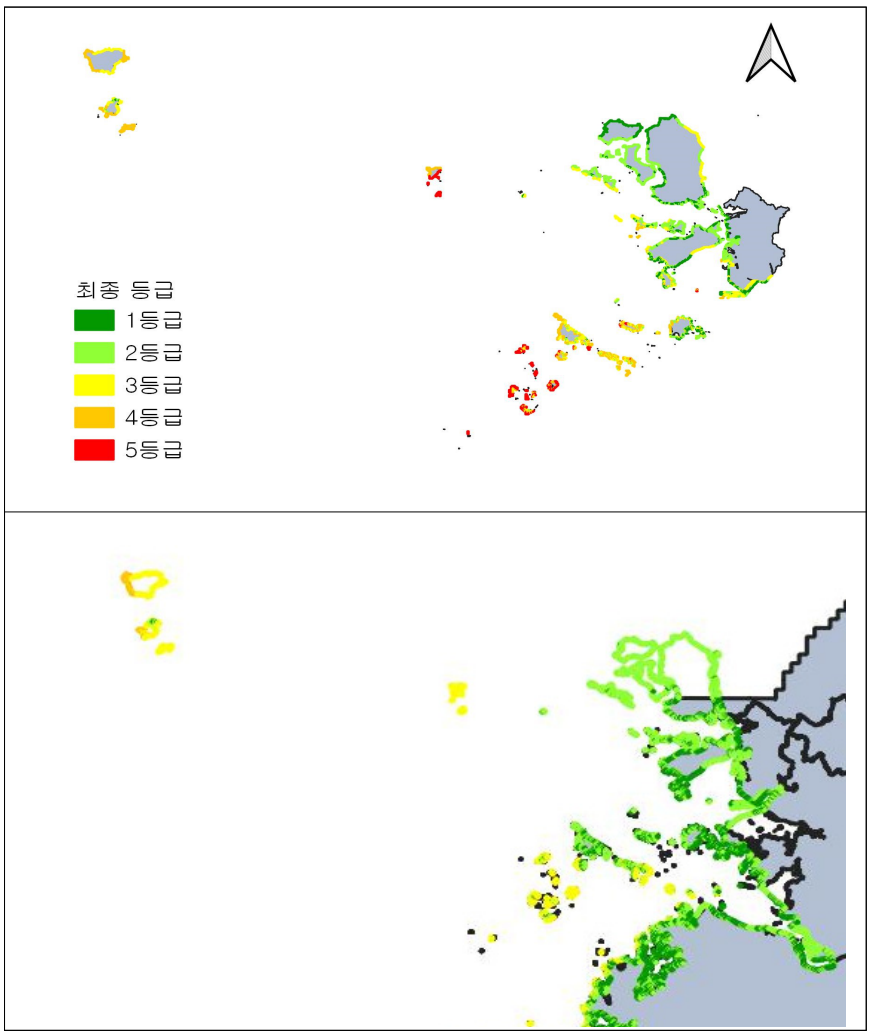
자료: 저자 작성

최종 분석결과 전반적으로 동북에서 남서로 갈수록 등급이 낮아지는 경향이 나타났다. 교통도 북단, 강화도 서단 및 남단, 영종도 일부, 청라 및 송도 일부, 영흥도 및 선재도 일부에서 1등급이 발견되었다. 영종도, 송도 일부, 영흥도, 선재도의 경우 연안 그린인프라 특성, 강화도 북단, 교통도는 높은 외력의 특성이, 영종도 일부와 청라 일부는 사회경제 특성에서 높은 등급을 받았다. 반면 덕적도 남단의 도서 지역과 연평도에서는 5등급이 다수 관찰되었다.

전국 단위 분석과 비교하면, 인천 지역 분석은 다른 결과를 보인다. 전국 단위 분석결과에서 인천 지역은 강화도부터 덕적도까지는 1~2등급이, 덕적도 남단의 도서들과 백령도 및 연평도 인근은 주로 3등급이 관찰되었다. 즉 전국과 비교 시 인천 지역은 상대적으로 높은 연안 그린인프라 보호 효과가 나타났다. 하지만 보다 세부적으로 분석한 결과, 인천 지역 내에서도 상대적인 보호 효과의 차이가 존재하며, 이를 연안 그린인프라 지수를 통

해 분석할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 개발한 연안 그린인프라 지수는 적용 공간 범위의 변형에 따라, 목적에 맞는 공간 단위에서 우선순위를 도출하는 데 적절한 것으로 판단된다.

〈그림 4-13〉 (상) 인천 지역 분석 결과, (하) 전국 단위 분석 결과



자료: 저자 작성

3. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수의 특징 및 한계

본 연구에서 개발한 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 연안 그린인프라의 지속가능한 연안 보호 효과가 어느 장소에서 발생하는지를 확인하는 데 목적이 있다. 선행연구, 전문가 자문, 자료 가용성 등을 고려하여 전국 단위에 적합한 연안 그린인프라 지수를 구성하였다. 여기서는 본 연구에서 개발한 연안 그린인프라 지수의 특성, 한계점 등을 기술하였다.

선행연구인 Conger & Chang(2019)과 비교하면 본 연구는 지수의 구성 방법, 지표의 구성, 가중치 부여 등에서 차별성이 있다. 선행연구에서는 지수 구성 시 연안 그린인프라 보호 효과 지수와 연안 그린인프라 취약성 지수를 별도로 구성하여, 두 지수의 높고 낮음에 따라 연안 그린인프라의 정책 방향을 제시하였다. 그러나 두 지수는 사실상 변별력 없이 동일한 구조의 유사한 지표로 구성되어 있다. 따라서 두 개의 지수를 별도로 고려할 필요가 없다고 판단되어, 본 연구에서는 하나의 지수에 보호 효과와 취약성의 개념을 담았다. 연안 그린인프라의 특성(현존량)은 보호 효과에 해당하며, 외력은 취약성에 해당한다. 다음으로 지표 구성 시 우리나라의 여건을 고려하여 자료의 가용성을 반영하였으며, 지수에 포함하는 그린인프라의 범위를 식생과 사질 및 니질 지형(갯벌, 사빈, 해안사구)으로 한정하였다. 이는 연안 그린인프라가 해수면 상승과 같은 기후변화 적응대책에 유용하다는 장점을 반영한 것으로, 식생과 사질 및 니질 지형은 위치와 기복의 변화를 통해 기후변화에 적응한다. 마지막으로 선행연구에서는 지표 간 가중치를 부여하지 않았으나, 본 연구에서는 전문가 설문조사를 통해 가중치를 부여하였다.

한편 전국 단위 분석과 인천 지역 분석결과에서 확인한 것처럼, 연안 그린인프라 지수는 모집단 간의 상대적인 차이를 보여주는 방법론을 활용하고 있다. 지수 분석결과 좋은 등급 지역(1~2등급)은 절대적으로 보호 효과

가 높은 지역을 의미하지 않으며, 낮은 등급(4~5등급)은 절대적으로 보호 효과가 낮은 지역을 의미하지 않는다. 보호 효과의 절대성을 논하기 위해서는 실제 외력과 연안 그린인프라의 재해 저감 효과의 관계 등에 대한 상세한 연구가 필요하다. 즉 연안 그린인프라 지수 분석결과는 분석 공간 단위에서 상대적인 우선순위를 보여주는 것으로, 다양한 공간 스케일에서 다르게 적용될 수 있다는 장점이 있다. 지수 분석결과를 활용하기 위해서는 이를 주지할 필요가 있다.

그러나 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수의 한계점도 존재한다. 먼저 연안 그린인프라 지수는 전국 단위를 대상으로, 연안 그린인프라의 지속가능한 연안 보호 효과를 확인하고자 하였다. 따라서 특정한 목적에 특화된 지수로 볼 수 없으며, 보다 세부적인 목적에 특화된 지수를 개발할 필요가 있다. 예를 들면, 특정 염습지(잘피, 갈대 등) 조성이 목적인 경우, 해당 식생에 우호적인 조건을 파악할 필요가 있으며, 해당 식생이 취약한 외력을 고려할 필요가 있다. 해안사구 조성을 위해서는 완충공간, 사구 식생, 토지 소유 현황 등이 고려되어야 하며, 이는 해역의 특성에 따라 다르게 반영되어야 한다. 자연자산(갯벌, 사구, 염습지 등)이 아닌 외력에 중점을 둘 수도 있다. 예를 들어 동해안에서 파랑 저감의 목적으로 연안 그린인프라를 활용하는 경우와 서해안에서 침식방지 목적으로 연안 그린인프라를 활용하는 것은 지표 구성에서 큰 차이가 날 것이다.

두 번째 한계점은 총 7개의 지표가 현상을 충분하게 설명할 수 있을 것이냐는 문제다. 선행연구에 기반하여 연안 그린인프라의 특성 3개, 외력 3개, 사회경제 1개로 지수를 구성하였지만, 이것이 적절한 수와 배분인지에 대해서는 다소 궁금증이 남는다. 후속 연구를 진행한다면, 보다 상세하게 개별 항목에 대해 살펴볼 필요가 있다. 연안 그린인프라의 특성, 외력, 사회경제를 각각 별도로 분석한 뒤, 이것을 조합하는 방식이 적절할 수 있다.

마지막 한계점은 격자의 크기 및 위치이다. 본 연구는 연안재해 취약성 평가 틀인 250m x 250m 격자를 이용하였다. 분석결과를 보면, 실제 갯벌의 분포에 비해 전남의 그린인프라 특성이 상대적으로 낮게 나타난다. 이는 연안을 포함하는 격자에 대해서만 분석을 실시하였기 때문으로, 상대적으로 바다 방향에 위치하여 격자에 포함되지 않은 갯벌 등은 분석에서 제외하였다. 향후 지수의 성격에 따라 격자 크기와 위치도 조정할 필요가 있다.

제2절 연안 그린인프라 인식조사 및 경제적 가치평가

1. 연안 그린인프라에 대한 인식조사 개요

1) 설문조사 개요

본 연구에서는 연안 그린인프라의 경제적 가치를 추정하기 위해 대표 사례인 해안사구 복원사업(예, 꽃지해변)에 대한 대국민 인식조사를 수행하였다. 설문지는 'PartA. 해안사구 기능별 중요도 조사', 'PartB. 해안사구 가치에 대한 인식조사', 'PartC. 응답자 특성' 등 총 세 부분으로 구성되어 있다. 'PartA. 해안사구 기능별 중요도 조사'에서는 일반국민의 연안 그린인프라에 대한 인식 정도, 해안사구의 기능별 중요도 등에 대해 질문하였다. 'PartB. 해안사구 가치에 대한 인식조사'에는 일반국민의 해안사구에 대한 지불의사금액(Willingness To Pay, WTP)을 추정하기 위한 질문을 포함하였다. 〈그림 4-13〉은 PartB 질문예시다.

전국 특광역시를 설문조사 대상지역으로 선정하였다. 해안사구 복원사업이 실제로 시행되는 지역은 해안지역에 국한되기는 하나, 해안사구의 주요 편익인 해수욕장 이용기회 확대, 자연경관 유지·제공, 탄소흡수원 확대 등의 수혜자는 인근 주민뿐 아니라 전 국민을 포함하기 때문이다. 지역별 임의표본(random sample)을 도출하기 위해 지역 내 인구 구성비 및 나이 비율을 고려하여 표본 수를 할당하였다. 또한 설문 단위는 개인이 아닌 가구이며, 무작위 추출된 총 500가구에 대한 설문결과를 바탕으로 WTP를 추정하였다.

〈그림 4-14〉 해안사구의 경제적 가치에 대한 인식조사 질문예시

B1. 귀하의 가구는 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 1회(원)을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?
① 예 —▶ [B2로 가십시오] ② 아니오 —▶ [B3로 가십시오]

B2. 귀하의 가구는 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 1회(원)**[제시금액 2배]**을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?
① 예 —▶ [B5로 가십시오] ② 아니오 —▶ [B5로 가십시오]

B3. 귀하의 가구는 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 1회(원)**[제시금액 1/2배]**을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?
① 예 —▶ [B5로 가십시오] ② 아니오 —▶ [B4로 가십시오]

B4. 그렇다면, 귀하의 가구는 단 1원도 지불할 의사가 없습니까?
① 아니오, 조금은 지불할 의사가 있다 —▶ [B5로 가십시오] ② 예, 전혀 지불할 의사가 없다 —▶ [파트C로 가십시오]

B5. 그렇다면, 귀하의 가구가 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 추가적으로 지불할 수 있는 가구당 소득세의 최대금액은 얼마입니까? 향후 5년 동안 매년 ( )원

자료: 저자 작성

설문조사는 제주도를 제외한 전국 7개 특광역시에 대해 2022년 8월 20일부터 9월 8일까지 약 20일 동안 ㈜해랑기술정책연구소 주관으로 실시되었다. 책임 있는 가구의 의견에 대한 정보를 도출하기 위해 조사대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 주부로 한정하였다. 본 설문조사는 대인 면접(Face to Face Interview) 방식으로 진행되었으며, 조사원은 설문지와 피면접원의 이해를 돕기 위한 '설명 및 보기 카드'를 이용해 지시된 순서에 따라 직접 조사를 진행하는 것을 원칙으로 하였다. 조사가 연구의 목적 및 기획 원칙에 부합하게 이루어지도록 하는 한편, 조사원의 개인성향이 반영되는 것을 최소화하여 일관성 있게 진행될 수 있도록 조사에 참여하는 모든 조사원을 대상으로 면접원 사전 교육을 실시하였다.

2) 응답자 특성

응답자는 총 500명이며, 〈표 4-17〉은 응답자의 인구통계학적 특성을 요약한 것이다. 응답자는 세대주(64.2%) 또는 세대주 배우자(35.8%)로 응답자가 가구를 대표한다고 볼 수 있다.

〈표 4-21〉 표본의 인구통계학적 특성

구분		빈도 (명)	비율 (%)	구분		빈도 (명)	비율 (%)
성별	남성	282	56.4	가족수	1명	63	12.6
	여성	218	43.6		2명	107	21.4
지역별	서울	214	42.8		3명	155	31.0
	부산	75	15.0		4명	137	27.4
	대구	54	10.8		5명	38	7.6
	인천	66	13.2	학력	중졸 이하	1	0.2
	광주	32	6.4		고졸	159	31.8
	대전	33	6.6		대학 중퇴	22	4.4
	울산	26	5.2		2년제 대졸	77	15.4
연령	20대	58	11.6		4년제 대졸	239	47.8
	30대	132	26.4		석사	2	0.4
	40대	142	28.4	소득별	3,000만 원 이하	13	2.6
	50대	107	21.4		3,000만~4,000만 원 이하	68	13.6
	60대	61	12.2		4,000만~5,000만 원 이하	78	15.6
세대주 여부	세대주	321	64.2		5,000만~6,000만 원 이하	123	24.6
	세대주 배우자	179	35.8		6,000만~7,000만 원 이하	75	15.0
결혼 여부	미혼	62	12.4		7,000만~8,000만 원 미만	51	10.2
	기혼	438	87.6		8,000만~9,000만 원 미만	51	10.2
12세 미만 자녀	네	181	36.2		9,000만~1억 원 미만	24	4.8
	아니오	319	63.8		1억~2억 원 미만	17	3.4

자료: 저자 작성

2. 인식조사 주요 결과

1) 연안 그린인프라 인지도 조사

연안 그린인프라와 그레이인프라에 대한 인지도 조사결과는 〈표 4-18〉과 같다. 설문지에서는 응답자의 항목별 인지 정도를 5점 척도를 활용하여 조사하였다. 응답자는 각 항목에 대해 전혀 모를 경우 1점, 들어본 적이 있을 경우 2점, 어느 정도 알고 있을 경우 3점, 잘 알고 있을 경우 4점, 매우 잘 알고 있을 경우 5점으로 표시하였다.

조사결과, 해안사구에 대한 인지도가 평균 2.61점/5점으로 가장 높았으며, 연안 그레이인프라(2.11점), 탄소발자국(1.95점), 염습지(1.83점), 해초대(1.69점), 연안 그린인프라(1.63점) 순으로 나타났다. 전반적으로 일반 국민의 연안 그린인프라에 대한 인식 수준은 연안 그레이인프라 대비 낮은 수준이나, 연안 그린인프라의 대표 사례인 해안사구에 대한 인지도 수준은 비교적 높은 것으로 판단된다.

〈표 4-22〉 연안 그린인프라 및 그레이인프라 인지도 조사결과

항목	전혀 모른다 (%)	들어본 적 있다 (%)	어느 정도 알고 있다 (%)	잘 알고 있다 (%)	매우 잘 알고 있다 (%)	평균 (점)
연안 그린(Green) 인프라	49.2	40.6	8.4	1.8	-	1.63
연안 그레이(Gray) 인프라(예, 방파제)	29.8	34.0	32.4	3.2	0.6	2.11
해안사구	12.2	28.2	47.0	11.4	1.2	2.61
탄소발자국 (Carbon footprint)	38.8	40.0	10.8	8.0	2.4	1.95
염습지	42.6	36.2	18.4	1.6	1.2	1.83
해중림	58.6	26.6	13.8	1.0	-	1.57

항목	전혀 모른다 (%)	들어본 적 있다 (%)	어느 정도 알고 있다 (%)	잘 알고 있다 (%)	매우 잘 알고 있다 (%)	평균 (점)
해초대	51.4	31.4	14.8	1.8	0.6	1.69
굴 암초 (Oyster reef)	54.6	32.8	10.2	2.4	-	1.60
엘라스토코스트 (Elastocoast)	74.2	17.2	6.2	1.8	0.6	1.37

자료: 저자 작성

2) 해안사구의 기능별 중요도 및 상대적 효과에 대한 인식조사

본 연구에서는 일반국민이 생각하는 해안사구의 기능별 중요도를 조사하였다. 응답자들은 기능별 중요도를 5점 척도(1점: 매우 중요하지 않음, 5점: 매우 중요함)를 활용하여 나타냈으며, 침식·침수 등 자연재해 예방 기능의 중요도가 평균 4.21점으로 가장 높게 나타났다. 생물서식지 제공 기능의 중요도가 평균 3.93점으로 2등이며, 다음이 해수욕장 이용기회 확대(3.81점)다.

〈표 4-23〉 해안사구 기능별 중요도

항목	매우 중요하지 않음 (%)	중요하지 않음 (%)	보통 (%)	중요함 (%)	매우 중요함 (%)	평균 (점)
생물 서식지 제공	0.8	2.8	18.8	57.8	19.8	3.93
해수욕장 이용 기회 확대	4.2	12.4	14.2	37.0	32.2	3.81
침식·침수 등 자연재해 예방	-	1.2	12.0	51.4	35.4	4.21
탄소흡수원 확대	0.4	2.8	33.4	47.8	15.6	3.75
자연경관 유지·제공	5.8	10.2	9.6	60.2	14.2	3.67

자료: 저자 작성

〈표 4-20〉은 다섯 가지 기능별 해안사구의 효과가 방파제 대비 어느 정도인지에 대한 조사결과를 정리한 것이다. 흥미롭게도 응답자의 약 60% 이상이 해안사구가 다섯 가지 항목 모두에서 방파제보다 효과가 더 클 것이라고 응답하였다. 특히 자연재해 예방효과는 75.8%가 해안사구의 효과가 방파제 대비 더 크다고 응답했으며, 탄소흡수원 확대는 68.8%, 생물 서식지 제공은 68.6% 수준이다.

〈표 4-24〉 각 기능별 해안사구의 그레이인프라 대비 효과 조사

항목	매우 적음 (%)	적음 (%)	보통 (%)	큼 (%)	매우 큼 (%)	평균 (점)
생물 서식지 제공	1.8	2.8	26.8	48.2	20.4	3.83
해수욕장 이용 기회 확대	9.4	17.4	12.0	30.4	30.8	3.56
침식·침수 등 자연재해 예방	0.4	3.4	20.4	39.8	36.0	4.08
탄소흡수원 확대	1.0	4.2	26.0	52.4	16.4	3.79
자연경관 유지·제공	8.6	12.8	11.2	48.6	18.8	3.56

자료: 저자 작성

3. 연안 그린인프라의 경제적 가치

1) 방법론[103]

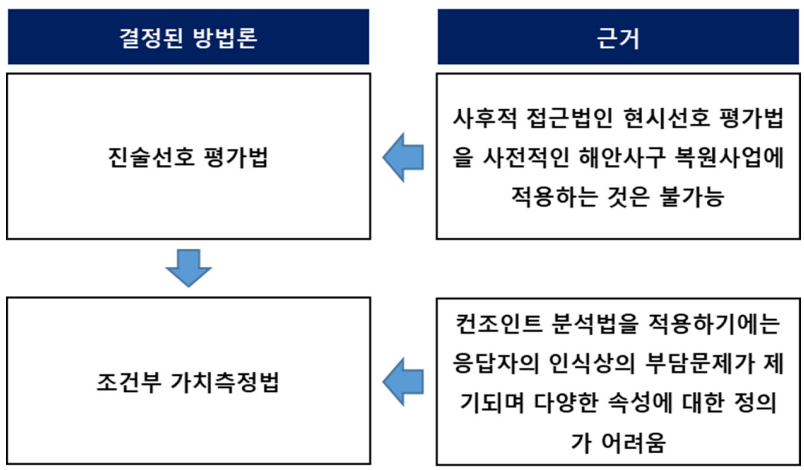
이 연구에서는 해안사구 복원사업의 편익을 추정하기 위해 조건부 가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM)을 사용하고자 한다. 다음 〈그림 4-14〉는 방법론 결정과정을 요약한 것이다. 우선, 본 설문에서는 정부에서 백사장 침식이 진행되고 있는 해변을 대상으로 모래와 사구식생을

103) KDI 공공투자관리센터(2016), pp. 204-270 참고하여 작성

복원(조성)하는 정비사업을 추진할 계획이라는 가상의 상황을 설정하고, 이에 대한 지불의사금액이 얼마인지를 응답자에게 질문하였다. 즉, 사후적인 평가방법인 현시선호 평가법보다는 진술선호 평가법이 더 적절할 것이라고 판단하였다.

KDI 한국개발연구원(2004)에 따르면 컨조인트 분석법은 응답자가 선택 가능하고 대안을 쉽게 식별할 수 있는 경우에 사용하고, CVM은 다른 대안이 모색되지 않는 경우에 사용하는 것이 일반적이라고 언급하고 있다. 본 설문조사의 경우, 해안사구 복원사업에 대한 응답자의 인식상의 부담 문제가 있으며, 평가에 필요한 다양한 속성에 대한 정의가 용의하지 않기 때문에 CVM을 적용하는 것이 더 타당할 것으로 판단된다.

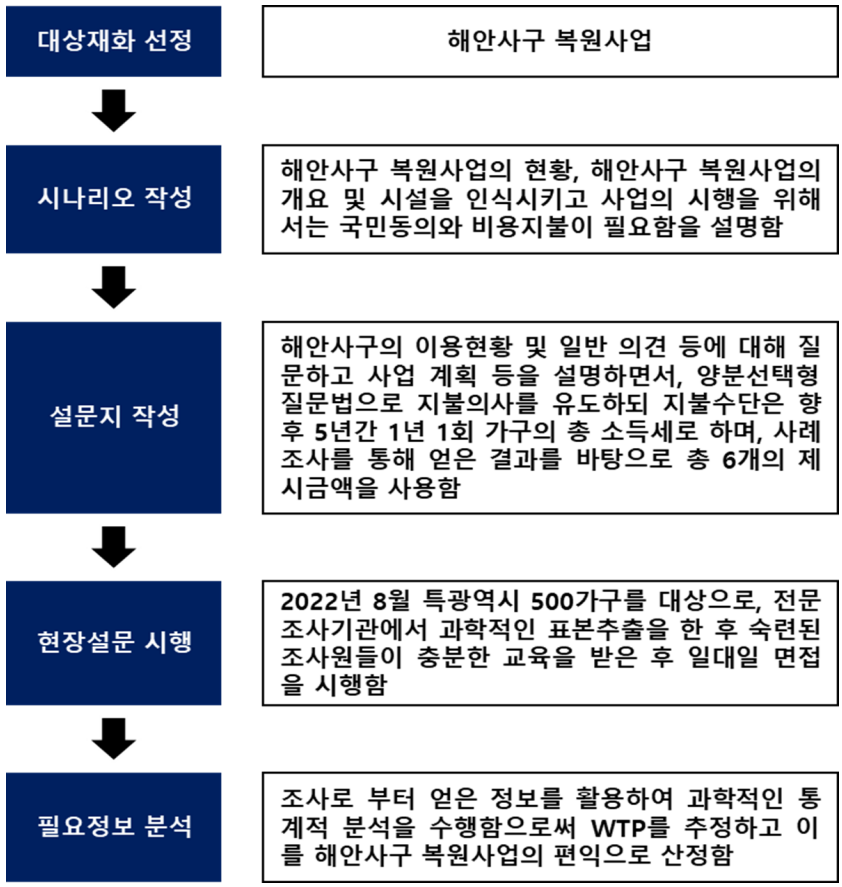
〈그림 4-15〉 편익 추정방법론 결정과정



자료: KDI 공공투자관리센터(2016), p. 238 참고하여 저자 작성

다음 〈그림 4-15〉는 실증연구 절차를 도식화한 것이다. CVM 실증연구 절차는 대상재화 선정, 시나리오 작성, 설문지 작성, 현장설문 시행, 필요정보 분석 등 총 다섯 단계로 구성되어 있다.

〈그림 4-16〉 본 조사에서의 CVM 실증연구 절차



자료: KDI 공공투자관리센터(2016), p. 239 참고하여 저자 작성

(1) 대상재화 선정 및 시나리오 작성

첫 단계인 대상재화 선정에서는 대상재화와 이에 대한 조건부 시장을 설정해야 한다. 설문지에서는 해안사구 조성사업에 대한 WTP를 묻기 전에 해안사구에 대한 인식도, 기능별 중요도, 상대적 효과 정도에 대한 일반의견에 대해 물었다. 또한 해안사구 복원사업의 내용 및 사례에 대해서도 컬러사진 등을 활용하여 시각적으로 설명하였다.

다음 단계에서는 해안사구 복원사업을 추진하기 위해서는 비용이 소요됨(향후 5년 동안 매년 1회 추가적으로 소득세를 부담)과 가구의 소득이 제한되어 있고 해당 소득은 여러 용도로 지출되어야 함을 상기시킨 후, 해안사구 복원사업에 기꺼이 지불하고자 하는 금액에 대해 질문하였다. 설문에 대한 신뢰성 및 이해도 제고를 위해 해안사구 정비사업의 사례(꽃지해변)를 활용하여 이전 상태와 사업이 종료된 이후 상태에 대한 컬러사진을 보조자료로 제시하였다.

(2) 지불수단의 선택

본 설문조사에서는 응답자의 친숙성 및 정부 재원확보 등을 고려하여 해안사구 복원사업의 지불수단을 소득세로 결정하였다. 또한 Arrow et al.(1993)에 따라 소득은 제한되어 있으므로 해당 사업에 대한 WTP를 지불함으로써 다른 용도로 사용되고 있는 지출항목에 제약이 있을 수 있음을 인식시켰다. 지불원칙 및 지불기간은 가구당 1년에 1회 향후 5년 동안 부담하는 것으로 결정하였다.

(3) 지불의사 유도방법의 선택

본 연구에서는 양분선택형(dichotomous choice) 질문법으로 WTP를 유도하였다. 양분선택형 질문법은 응답자에게 1회에 걸쳐 대상재화에 대해 미리 설정된 금액을 제시하고, 지불할 용의가 있는지를 '예/아니오'로 응답하게 하는 방식이다. 본 설문에서 해안사구 복원사업 소득세로 제시한 금액은 1,000원, 2,000원, 3,000원, 5,000원, 7,000원, 10,000원이며 금액별 동일 응답자 수를 배당하였다. 응답자들은 제시된 금액보다 본인의 WTP가 높으면 '예'라고 응답할 것이고, 본인의 WTP가 낮으면 '아니오'라고 응답할 것이다. 제시된 금액과 '예'라고 응답한 사람의 비율을 분석함으로써 대상재화에 대한 WTP의 평균값 또는 중앙값을 추정한다.

2) WTP 추정결과

(1) WTP 응답 분포

〈표 4-21〉은 제시금액별 WTP 응답 분포를 요약한 것이다. 각 제시금액은 동수의 응답자들에게 배분되었으며, 첫 번째 질문에 '예'라고 응답한 사람에게는 첫 번째 제시금액의 두 배에 해당하는 금액을 제시하고, 첫 번째 질문에 '아니오'라고 응답한 사람에게는 1/2에 해당하는 금액을 제시하였다. 첫 번째 제시금액이 커질수록 '예'라고 응답하는 비중이 줄어드는 경향이 있으며, 전체 500가구 중 '아니오-아니오-지불의사 없음'으로 응답한 사람은 348명(약 69.6%)이다.

〈표 4-25〉 제시금액별 WTP 응답 분포

첫 번째 제시 금액 (원)	예-예		예-아니오		아니오-예		아니오-아니오				합계	
							지불의사 있음		지불의사 없음			
	가구수	비율 (%)	가구수	비율 (%)	가구수	비율 (%)	가구수	비율 (%)	가구수	비율 (%)	가구수	비율 (%)
1,000	29	60.4	12	27.3	9	23.1	0	0.0	34	9.8	84	16.8
2,000	12	25.0	12	27.3	8	20.5	3	14.3	48	13.8	83	16.6
3,000	5	10.4	10	22.7	5	12.8	3	14.3	60	17.2	83	16.6
5,000	2	4.2	4	9.1	1	2.6	2	9.5	74	21.3	83	16.6
7,000	0	0.0	4	9.1	12	30.8	2	9.5	65	18.7	83	16.6
10,000	0	0.0	2	4.5	4	10.3	11	52.4	67	19.3	84	16.8
계	48	100.0	44	100.0	39	100.0	21	100.0	348	100.0	500	100.0

자료: 저자 작성

(2) WTP 추정결과

〈표 4-22〉는 지불의사가 없다고 한 응답자 348명을 제외한 152명에 대한 단일경계 WTP 추정결과다.[104] 상수항과 제시금액항 계수는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다.

104) KDI 공공투자관리센터·한국환경경제학회(2012)에 따라 로그선형모형을 적용함

〈표 4-26〉 WTP 모형의 모수 추정결과

구 분	상수항		제시금액항	
	추정치(a)	t-값	추정치($-b$)	t-값
추정결과	1.7289	5.49*	1.3363	5.35*

주: *은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함. 제시금액은 1,000원 단위임
자료: 저자 작성

해안사구 복원사업에 대한 가구당 연간 중앙값 WTP는 WTP 모수 추정결과를 바탕으로 다음 산식을 이용하여 추정하였다.[105]

$$\text{중앙값 } WTP = \exp\left(\frac{a}{b}\right) \times (1 - \text{지불거부응답비율})$$

〈표 4-23〉은 가구당 중앙값 WTP(원/년)와 이에 대한 t-값이다.

〈표 4-27〉 후생분석에 사용하는 중앙값 WTP 추정결과

구 분	가구당 중앙값 WTP(원/년)	t-값
추정결과	1,108	6.65#

주: #은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함
자료: 저자 작성

〈표 4-24〉는 중앙값 WTP 추정치를 활용하여 해안사구 복원사업의 연간 총편익을 계산한 것이다. 중앙값 WTP 추정치에 2021년 기준 우리나라 총가구 수를 곱한 해안사구 복원사업 연간 총편익은 약 237억 원으로 추정된다. 본 설문조사에서는 지불기간을 5년으로 설정했으며, 예비타당성조사 일반지침(제5판)에 따라 4.5% 할인율을 적용할 때 해안사구 복원사업에 대한 5년간 현재가치의 총합은 약 999억 원으로 추정된다. 이는 꽃지해수욕장 연안정비사업의 5차년도 총사업비가 약 268억 원[106]인 것을 감안하더

105) KDI 공공투자관리센터·한국환경경제학회(2012)에 따라 중앙값 WTP에 (1-지불거부 응답비율)을 곱함

라도 해안사구 복원사업이 경쟁력이 있음을 시사한다.

〈표 4-28〉 해안사구 복원사업의 연간 총 편익 계산

중앙값 WTP 추정치 (원/가구/년)	2021년 기준 총가구 수	연간 총편익(백만 원)
1,108	21,448,000	23,764

주: 2021년 기준 총가구 수는 통계청 인구 총조사 자료를 바탕으로 작성된 2021년 우리나라 총가구 수를 말함
자료: 통계청 웹페이지(검색일: 2022.9.19) 및 저자 작성

106) 해양수산부(2015), p. 10.

05
연안 그린인프라 구축방안

제1절 연안 그린인프라 구축 방향

연안 그린인프라 구축 방향을 제시하기 위해 앞서 분석한 현황 및 문제점, 국내외 사례, 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발, 연안 그린인프라 구축 여건 등을 토대로 시사점을 도출하였다.

현황 및 문제점에서는 우리나라에서 압도적인 비중을 차지하는 그레이인프라 중심의 연안재해 대응사업의 문제점을 분석하였다. 문제점에서는 그레이인프라 방식 자체의 물리적·환경적 문제점과 그레이인프라에 과도하게 의존하게 된 정책·거버넌스 차원의 문제점을 분석하였다. 이런 문제점 분석을 토대로 우리나라 연안 그린인프라 구축을 위한 시사점을 제시하였다. 시사점은 그레이인프라의 문제를 보완하면서 우리나라 연안재해 대응 역량을 높이기 위해서는 그린인프라의 활용이 필요하다는 것이다. 이를 위해 우리나라에서 활용할 수 있는 연안 그린인프라 개발, 연안 그린인프라 구축을 위한 법률, 지침 등 제도 개선, 연안 그린인프라를 최종적으로 설치하는 지방자치단체 공무원과 지역주민의 인식 개선 등이 필요함을 제시하였다.

국내외 사례에서는 연안 그린인프라를 이미 활용하고 있는 사례를 상세

하게 분석하여 우리나라에 적용할 수 있는 시사점을 도출하였다. 미국 등 국외에서는 염습지, 해초지, 해안사구 등과 같은 연안 그린인프라의 재해 대응 효과에 관한 연구가 오랜 기간 수행되었고 이를 바탕으로 숨쉬는 해안선 등과 같은 사업이 활발하게 추진되고 있었다. 우리나라에서는 해안사구 복원 등 일부 지역에서 연안 그린인프라를 조성하여 연안재해에 대응하는 사업을 추진하고 있었다. 우리나라에서도 그레이인프라의 단점과 한계를 보완하고 연안재해 대응력을 높이기 위해서는 연안 그린인프라 활용이 필요하다. 그러나 우리나라에서는 연안 그린인프라의 연안재해 효과에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았다. 또한 아직은 국가 전체적으로 연안 그린인프라 활용에 대한 인식이 높지 않은 것으로 나타났다. 국외에서는 연안 그린인프라의 경제적 타당성에 관한 연구도 많았은데, 이러한 연구에서는 그린인프라가 그레이인프라에 비해 비용효과적인 수단이라는 사실을 밝혀냈다. 우리나라에서 연안 그린인프라를 구축하기 위해서는 연안 그린인프라를 적극 활용하고 있는 미국 등과 같이 연안 그린인프라의 연안재해 대응 기능에 관한 다양한 조사와 연구가 필요하다. 또한 연안 그린인프라 활용을 위한 기술도 개발될 필요가 있는 것으로 나타났다.

우리나라 연안 그린인프라의 재해 대응 효과를 분석하기 위해 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 개발하였다. 우리나라에서 연안 그린인프라를 구축하기 위해서는 현재 우리나라 연안에 분포하는 그린인프라 현황과 함께 지역별 연안 그린인프라의 재해 대응 효과를 분석할 필요가 있다. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발과 적용을 통해 연안 그린인프라의 재해 완충 잠재력 효과가 클 것으로 예상되는 지역을 도출하였다. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 추진할 때 사업방식을 선정하는 과정에서 유용하게 활용될 것으로 예상된다.

연안 그린인프라 관련 여건 분석에서는 국가계획, 관련 사업, 기술개발 여건 등을 분석하였고, 연안 그린인프라 구축에 대한 지방자치단체 공무원

의 의견을 수렴하였다. 연안해양 분야, 기후변화 분야 등의 국가계획에서는 완충공간 조성, 갯벌 복원 등 연안 그린인프라 관련 과제가 포함되기 시작하였다. 대체로는 연안재해 대응을 위한 연안 그린인프라 구축이라기보다 탄소흡수원 확대를 위한 블루카본 사업 추진 등이 포함되었다. 다만 연안재해 대응사업의 근간을 이루는 「연안관리법」에 따른 연안정비기본계획에서는 해안사구 복원사업이 다수 포함되었다. 연안 그린인프라 관련 사업으로는 갯벌식생 복원사업 등이 시작되었고 기술개발 사업도 시작단계에 있다. 연안 그린인프라 관련 기술은 염습지 조성 관련 기술개발이 이루어지고 있으나 전반적으로 관련 기술의 개발 수준은 낮은 것으로 나타났다.

〈표 5-1〉 선행 분석 결과에 따른 연안 그린인프라 구축 시사점

구분	주요 분석 내용	연안 그린인프라 구축 시사점
현황 및 문제점	• 연안은 내륙에 비해 자연재해에 취약하며 기후변화로 자연재해 더욱 증가 예상 • 연안 자연재해에 대응하기 위해 연안정비사업 등을 추진하고 있으나 그레이 방식의 압도적으로 높은 비율	• 그레이인프라 의존 연안재해 대응사업의 한계를 보완하기 위해 그린인프라 활용 필요
	• 그레이 방식 중심의 연안재해 대응사업은 다음과 같은 문제와 한계가 있음 **① 물리적·환경적 측면** – 연안재해 대응 효과 미흡 – 주변 연안 2차 피해 유발 – 유지·보강 비용 지속 발생 – 다양한 서비스를 제공하는 자연공간 상실	• 그레이인프라 설치 연안의 재해완충 잠재력 효과 검증 필요 • 연안재해 대응 효과가 높은 사업방식(그린, 그레이, 하이브리드) 선정을 위한 과학적 기준 마련 필요
	② 정책·거버넌스 측면 – 담당 공무원의 그레이인프라에 대하 경로의존성(path-dependency) – 연안재해 대응사업 선정·이행 제도가 그레이인프라 중심 예) 재해사업 설계기준은 그레이인프라 중심, 그린인프라는 일정 수준의 공간이 필요하나 관련 제도 미비 등 – 지역주민의 그레이인프라 선호. 일부 지역은 비그레이인프라 방식에 대한 거부감	• 비그레이인프라(그린인프라) 구축을 위한 제도적 근거 마련 필요 • 연안재해 담당 공무원, 주민 등의 인식을 개선하기 위한 노력 필요(국가 시범사업)

구분	주요 분석 내용	연안 그린인프라 구축 시사점
	– 비그레이 방식에 대한 인식 부족과 관련 기술 여건 미성숙	
국내·외 사례	**〈국외 사례〉** • 연안재해 대응에서 그레이 방식의 한계를 보완하기 위해 그린인프라를 적극 활용(미국 숨쉬는 해안선, 네덜란드 등) • 그린인프라의 연안재해 대응 효과에 대한 과학적 입증 결과 충분 • 그린인프라 효과가 큰 지역 선정을 위한 기준 마련 필요(미국 등) • 그레이인프라에 비해 그린인프라가 비용효과적인 연안재해 대응 수단 • 그린인프라는 재해저감 기능과 함께 탄소흡수, 생태경관 보전, 오염물질 정화, 친수공간 제공, 지역경제 활성화 등 동반 효과 발생 **〈국내 사례〉** • 모래해변 중심으로 연안 그린인프라 설치 사례(태안군 꽃지해변, 태안해안국립공원 등) • 일부 지역 그린인프라의 연안재해 대응 효과가 입증됨 • 연안 그린인프라 설치 시 주민의 반대 등으로 사업 추진의 어려움 발생 • 연안 그린인프라 중 해안사구, 양빈 등 모래해변에 대한 사업이 다수 진행되었으나 염습지 등 다른 유형은 미추진 • 일부 지자체에서 그레인 구조물을 철거하고 그린인프라 복원 시도 사례(전북 부안군, 고창군 등)	• 국외에서 효과가 입증된 연안 그린인프라의 국내 도입 필요 • 그린인프라는 재해저감 기능 뿐만 아니라 탄소흡수 등 동반기능에 대한 평가 고려 • 연안 그린인프라 적지 선정을 위한 과학적 기준 마련 필요 • 연안 그린인프라 설치 연안에서 재해저감 효과 검증 필요 • 연안 그린인프라 인식 증진을 위한 노력 필요(주민참여형 국가시범사업 등) • 연안 그린인프라 관련 기술개발 추진 필요
연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수	• 우리나라 연안에서 그린인프라에 해당하는 갯벌(염습지), 해안사구 등이 연안개발로 급속하게 훼손	• 과학적 방법론에 근거한 연안 그린인프라 필요지역 도출 필요 • 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 효과를 기반으로 하여 연안재해 대응사업 추진 필요
구축 여건	• 최근 해양, 기후변화, 환경 분야 등 국가계획에서 연안 그린인프라 관련 사업 포함 • 기업 ESG 등에 따라 민간의 그린인프라 구축	• 연안재해 저감 기능이 있는 자연공간의 보전 정책 필요 • 각종 국가계획에 포함된 연안 그

구분	주요 분석 내용	연안 그린인프라 구축 시사점
	시도 활발(대기업, 발전회사 등에서 염습지 조성 사례 등) • 국내 연안 그린인프라 관련 기술개발 수준은 초기 단계, 국가 R&D 사업을 통해 개발 추진 중	린인프라 구축을 위한 방법론 개발 필요 • 연안 그린인프라 확대를 위한 기술개발 필요 • 민간의 연안 그린인프라 추진을 위한 제도적 근거 마련

자료: 저자 작성

다양한 분석을 통해 도출한 시사점을 토대로 우리나라 연안재해 대응력을 높이기 위해 적극적인 활용이 필요한 연안 그린인프라 구축 방향은 다음과 같다.

첫째, 연안 그린인프라 구축이 필요한 지역을 선별할 수 있는 과학적 수단 개발이 필요하다. 우리나라에는 염습지, 해초지, 해안사구 등 연안 그린인프라가 분포하고 있고 국가계획이나 정부가 추진하는 사업에 연안 그린인프라가 포함되어 있으나 이를 실행할 수 있는 기반이 마련되어 있지 않다고 할 수 있다. 예를 들면 「연안관리법」에 따라 추진하는 연안정비사업의 경우 해안사구 복원사업이 포함되어 있으나 지방자치단체가 제출하는 수요에 근거를 두고 있어 연안 그린인프라를 충분히 활용하지 못하고 과학적인 방법의 지원이 이루어지지 않고 있다.

둘째, 연안 그린인프라를 추진할 수 있는 제도적 근거 마련이 필요하다. 앞선 분석에서 연안재해 대응과 관련한 법과 규정의 내용, 기존 사업 추진 관행 등으로 연안 그린인프라를 활용하지 못하는 것으로 나타났다. 예를 들면 연안재해 대응사업의 유형을 제시하는 설계기준에 연안 그린인프라가 포함되어 있지 않았다. 또한 연안 그린인프라는 선형의 시설이 아닌 완충 공간의 특성이 있어 공간관리 차원의 접근이 필요하나 현행 제도에서는 이와 관련한 제도가 미비하다. 지방자치단체 공무원 등 연안 그린인프라를 직접

구축해야 하는 정책 담당자들이 사업을 추진할 수 있도록 법률의 개정, 지침의 제·개정 등이 필요하다.

셋째, 우리나라에서 활용할 수 있는 한국형 연안 그린인프라 개발이 필요하다. 이미 우리나라에 분포하는 연안 그린인프라가 연안재해 대응 기능을 수행하도록 조사, 연구 및 개발이 필요하다. 미국 등에서는 연안 그린인프라의 재해 대응 관련 기능을 평가하는 연구가 많이 축적되어 있고, 이를 기반으로 현장에서 연안 그린인프라를 적극 조성하고 있다. 우리나라에서 개발하고 있는 연안 그린인프라 기술을 바탕으로 추가로 필요한 기술을 개발할 필요가 있다.

넷째, 연안 그린인프라 실행을 위해 지역 역량 강화 기반과 협력 거버넌스를 구축할 필요가 있다. 연안 그린인프라와 관련한 제도 개선, 기술개발 등이 이루어졌다 하더라도 현장에서 실행하는 주체인 지방자치단체, 지역주민 등 지역의 역량이 높지 않다면 연안 그린인프라를 구축하는 데 한계가 있다. 이를 위해서는 다양한 방식의 기술적 지원과 교육이 필요하다. 또한 연안 그린인프라의 확산을 위해서는 정부만이 아니라 지역주민, 기업 등 민간이 주도하는 방식의 사업도 적극 유도할 필요가 있다. 지역 역량을 강화하는 방법의 하나로 지역주민이 주도하는 시민참여형 연안 그린인프라 조성 사업을 시범적으로 추진하는 것도 좋을 것이다.

제2절 연안 그린인프라 구축방안

1. 연안 그린인프라 필요지역 선정 방안

1) 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 기반 필요지역 선정 방안

연안 그린인프라 지수는 연안 그린인프라의 지속가능한 연안 보호 효과가 어느 장소에서 발생하는지를 확인하는 데 목적이 있다. 따라서 해당 지수만으로는 연안 그린인프라 정책 방향 설정이 어렵다. 연안 그린인프라 정책 방향 설정을 위해서는 연안 그린인프라 지수를 세부적으로 살펴볼 필요가 있다. 연안 그린인프라의 현존량과 취약성을 조합한 매트릭스 분석을 진행하면 연안 그린인프라 정책 방향 설정이 가능하다. 연안 그린인프라의 현존량과 취약성을 비교하면 네 가지 경우의 수로 구분 가능하다. 해당 지역이 네 가지 경우의 수 중 어디에 속하느냐에 따라 정책적 접근 방식이 달라질 필요가 있다.

1번 유형은 연안 그린인프라의 현존량이 낮고 취약성이 높은 유형으로 연안 그린인프라 적용이 어려운 경우에 해당한다. 연안 그린인프라만을 활용하는 것보다는 하이브리드 방식 혹은 그레이인프라를 활용하는 방법을 고려할 필요가 있다. 일부 연안 그린인프라가 존재하는 지역은 연안 완충공간을 확보하여, 연안 그린인프라가 장기적으로 적응할 수 있는 공간을 만들 필요가 있다.

2번 유형은 연안 그린인프라의 현존량과 취약성이 모두 낮은 유형으로 연안 그린인프라 조성의 최적지다. 연안 그린인프라의 취약성이 낮기 때문에, 현존량을 증가시킨다면 장기적인 차원에서 매우 긍정적인 보호 효과가 발생할 것으로 생각된다. 연안 그린인프라 조성은 복원, 식재 등 다양한 방

식으로 진행될 수 있으며, 관련 연구개발이 요구된다.

3번 유형은 연안 그린인프라의 현존량과 취약성이 모두 높은 유형으로 연안 그린인프라의 취약성을 감소시키고, 현존량을 유지하기 위한 방안을 모색할 필요가 있다. 예를 들면 연안 그린인프라를 보호하기 위한 파랑 감소 목적의 친환경 구조물 등을 고려할 수 있으며, 연안 완충공간 확보를 통해 연안 그린인프라의 적응 능력을 향상할 수 있다.

4번 유형은 연안 그린인프라의 현존량이 높고 취약성이 낮은 유형으로 연안 그린인프라 관리의 최적지에 해당한다. 현존량이 높기 때문에 기본적으로 현존량을 유지하는 것을 목적으로, 해당 지역에 그레이인프라 공법적용에 대해 강한 규제를 하는 등의 방안을 고려할 수 있다. 특히 기존에 존재하는 연안 그린인프라의 면적을 증가시키는 방식이 적절할 수 있다.

전국 단위 분석결과를 살펴보면, 1번 유형은 경남, 경북, 부산, 울산, 제주, 2번 유형은 강원, 인천, 전남, 전북, 4번 유형은 경기, 충남이 포함된다. 3번 유형인 연안 그린인프라의 현존량과 취약성이 모두 높은 유형은 존재하지 않았다. 이는 광역 지자체 단위로, 분석공간 단위에 따라 다양한 결과가 도출될 수 있다.

예를 들어, 1번 유형의 대표적인 지자체는 경상북도 울릉군과 제주도 서귀포시다. 두 지자체 모두 취약성이 매우 높고, 현존량이 매우 낮은 지역으로, 외해에 직접적으로 노출되어 있어 연안 그린인프라를 그대로 활용하기에는 다소 무리가 있다. 2번 유형의 대표적인 지자체는 전라남도 목포시와 진도군이다. 두 지자체 모두 갯과 염습지가 존재하지만 격자의 한계로 인해 매우 적절하게 반영되지는 않은 것으로 판단된다. 다만 갯벌 등에 식재를 통해 연안 그린인프라 현존량을 증가시키는 방안을 고려할 수 있다. 3번 유형의 대표적인 지자체는 현존량 평균 2.8등급, 외력 평균 3.1등급인 전라남도 고흥군이다. 고흥군은 잘피, 염생식물, 바다숲 등의 식생이 분포하

며, 갯벌이 넓게 분포한다. 고흥군 남단 일부 지역은 외해에 노출되어 있어 파랑이 높으므로 파랑을 저감시켜 연안 그린인프라의 취약성을 향상하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 4번 유형의 대표적인 지자체는 전북 고창군과 충남 아산시다. 두 지역 모두 식생이 다수 분포하지는 않으나, 지형 조건이 우수하며 갯벌이 넓게 분포한다. 이러한 연안 그린인프라를 유지하면서 한편으로는 증진하는 방안을 고려할 수 있다. 특히 연안 그린인프라에 영향을 미치는 경성구조물에 대해서는 강한 규제를 통해, 자연 프로세스를 유지 및 증진할 필요가 있다.

〈표 5-2〉 연안 그린인프라 현존량 및 취약성 매트릭스

구분		연안 그린인프라 현존량(특성)	
		낮음(4, 5등급)	높음(1, 2등급)
연안 그린인프라 취약성(외력)	낮음(1, 2등급)	2번 유형	4번 유형
	높음(4, 5등급)	1번 유형	3번 유형

자료: 저자 작성

〈표 5-3〉 연안 그린인프라 현존량 및 취약성 매트릭스 분석결과

구분	현존량	취약성	정책방향	포함 지역	
				광역	기초
1번 유형	낮음	높음	• 하이브리드 혹은 그레이인프라 활용 • 연안 그린인프라 지역 완충공간 활용	경남, 경북, 부산, 울산, 제주	경북 울릉군, 제주 서귀포
2번 유형	낮음	낮음	• 연안 그린인프라 조성의 최적지 • 복원, 식재 등 활용, 현존량 증가 필요	강원, 인천, 전남, 전북	전남 목포시, 진도군
3번 유형	높음	높음	• 연안 그린인프라 취약성 감소 필요 • 친환경 구조물 활용 및 완충공간 확보	없음	전남 고흥군
4번 유형	높음	낮음	• 연안 그린인프라 관리의 최적지 • 현존량 유지 및 연안 그린인프라 확대	경기, 충남	전북 고창군, 충남 아산시

자료: 저자 작성

2) 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 활용방법

연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 평가 대상지역에서 상대적 가치를 평가하는 것이므로 특정 공간 단위에서 정책적 우선순위를 선정할 때 활용할 수 있다. 예를 들면, 해양수산부 차원에서는 우리나라 전체를 대상으로 연안재해가 발생한 지역 혹은 발생할 지역에 대한 대응 및 저감 방안을 마련할 때 활용할 수 있다. 지방자치단체에서는 관할하는 연안만을 대상으로 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 평가하여 활용할 수 있다. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 가장 용이하게 활용할 수 있는 방법은 연안재해취약성 평가결과와 결합하여 활용하는 것이다. 연안지역 중 취약하다고 평가받는 지역을 대상으로, 연안 그린인프라의 활용 가능성을 파악해 볼 수 있다.

국립해양조사원은 연안재해취약성 평가를 통해 연안재해영향지수를 산정하여 연안의 잠재적 재해 영향의 크기를 분석하고 있다.[107] 연안재해취약성 평가결과 등급이 높을수록(1등급) 잠재적 재해 영향의 크기가 낮으며, 등급이 낮을수록(5등급) 잠재적 재해 영향의 크기가 높다. 연안재해취약성 평가는 격자 단위(250m x 250m)로 진행되기 때문에, 전국, 광역 지자체, 기초 지자체 등 다양한 공간 단위에 적용해 볼 수 있다. 여기서는 잠재적 재해 영향의 크기가 높은(4~5등급) 일부 지역을 사례로, 연안 그린인프라 현존량 및 취약성 매트릭스 유형에 따른 연안 그린인프라 활용 방향과 가능성을 구체적으로 모색해 보았다.

1번 유형의 대표적인 사례는 울릉도 울릉읍 사동리 사동방파제 인근 지역이다. 해당 지역은 연안 그린인프라가 존재하지 않으며, 외해에 직접적으로 노출되어 있어 파랑이 강하고, 해수면 상승에 의한 영향을 크게 받는다. 연안 그린인프라 현존량과 취약성 모두 5등급으로, 연안 그린인프라를 활

107) 국립해양조사원(2021), p. 13.

용하기 어려운 지역이다. 해당 지역에서 재해를 저감하기 위해서는 전면 해상에 그레이인프라 혹은 하이브리드 방식을 활용할 수 있다.

2-1번 유형의 대표적인 사례는 강원 고성 거진읍 거진항 남쪽 방파제 북측 지역이다. 해당 지역은 연안 그린인프라가 존재하지 않지만, 북쪽에 위치하여 태풍 내습 빈도가 낮고, 해수면 상승과 파랑의 영향을 1번 유형에 비해 덜 받는다. 연안 그린인프라 현존량 5등급, 취약성 2등급으로, 연안 그린인프라의 현존량을 증가시킬 필요가 있다. 특히 거진항 남쪽 방파제를 보면 사질 퇴적물이 북측 사면에 대량 퇴적된 것을 확인할 수 있는데, 과거에는 연안 그린인프라(사빈)가 존재하였다. 항만의 유지 및 관리를 위하여 인공구조물을 설치한 결과, 유입되는 퇴적물 공급이 줄어든 것으로 추정된다. 해당 지역에서는 재해 저감을 위해 연안 그린인프라 현존량을 증가시키는 것이 가능하지만, 항만시설의 유지 및 관리를 함께 고려할 필요가 있다.

2-2번 유형의 또 다른 사례는 강원 속초시 청호동 청호방파제 남단 지역이다. 해당 지역은 북쪽에 위치하여 태풍 내습 빈도가 낮고, 해수면 상승과 파랑의 영향을 1번 유형에 비해 덜 받는다. 또한 조간대와 전면 해상에 바다숲이 형성되어 있다. 연안 그린인프라 현존량 5등급, 취약성 2등급으로, 연안 그린인프라의 현존량을 증가시킬 필요가 있다. 특히 인접 지역을 자세하게 살펴보면, 청호방파제 인근에 퇴적물이 다수 퇴적되어 있으며, 대상지역 남단에 존재하는 방파제로 인해 속초 해수욕장의 퇴적물이 북쪽으로 이동하지 못하는 것으로 판단된다. 항공사진 등으로 미루어 보면, 과거 남쪽에 위치한 속초해수욕장부터 청호방파제에 이르기까지 해빈, 해안사구, 사취, 사주 등의 모래 퇴적지형이 다수 존재하였으며 건축물 등은 존재하지 않았다. 하지만 인간의 개발로 인해 퇴적물 수지에 영향을 받아 현재와 같은 형태의 해안으로 변모한 것으로 판단된다. 이러한 지역에서는 전빈 혹은 후빈 등에 인공사구, 인공해빈 등을 조성하는 것을 고려할 필요가 있다.

3번 유형의 대표적인 사례는 전남 여수 돌산읍 소율방파제 인근 지역이다.

해당 지역은 외해에 노출되어 있어 태풍 내습 빈도가 매우 높다. 과거에는 해당 지역에 바다숲을 조성하였으며, 지형의 경사각이 완만하여 연안 그린인프라 현존량이 높게 나타났다. 연안 그린인프라 현존량 2등급, 취약성 4등급으로, 연안 그린인프라의 취약성을 감소시킬 필요가 있다. 해당 지역의 경우 바다숲을 조성하였기 때문에, 바다숲의 유지·관리를 위한 방안을 고려해 볼 수 있다.

4번 유형의 대표적인 사례는 인천 옹진 영흥면 선재도 북서단 인근 지역이다. 해당 지역은 지형의 경사각이 완만하고 갯벌이 존재하여 현존량이 높으며, 외해에 직접적으로 노출되지 않아 파고가 낮고 태풍 내습 빈도도 낮다. 연안 그린인프라 현존량 1등급, 취약성 1등급으로, 현존하는 연안 그린인프라를 지속 관리하고, 추후 재해 저감이 필요한 경우 그레이인프라보다는 연안 그린인프라를 적극 활용하는 것이 적절할 수 있다. 특히 갯벌에 염생식물을 식재하는 방안에 대해 고려할 필요가 있다.

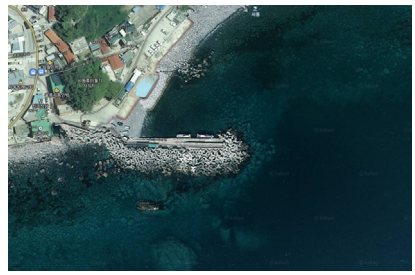
〈표 5-4〉 연안재해 취약지역 중 연안 그린인프라 유형별 사례지역

구분	연안재해 취약성평가	격자 번호	사례 지역
1번 유형	5등급(2021)	6331937	울릉도 울릉읍 사동리 사동방파제 인근
2-1번 유형	5등급(2021)	4198136	강원 고성 거진읍 거진항 남쪽 방파제 북측
2-2번 유형	5등급(2021)	4323451	강원 속초시 청호동 청호방파제 남쪽
3번 유형	4등급(2018)	3664653	전남 여수 돌산읍 소율방파제 인근
4번 유형	4등급(2021)	2524361	인천 옹진 영흥면 선재도 북서단 인근

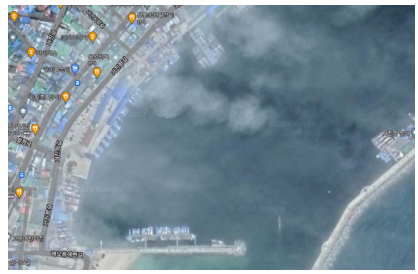
구분(등급)	식생	기복	해안	파고	태풍	상승	현존량	취약성	최종
울릉	5	5	5	5	3	5	**5**	**5**	**5**
고성	5	5	5	4	1	3	**5**	**2**	**4**
속초	4	5	5	4	1	3	**5**	**2**	**2**
여수	2	3	5	4	5	2	**2**	**4**	**3**
옹진	5	1	1	2	1	4	**1**	**1**	**1**

자료: 저자 작성

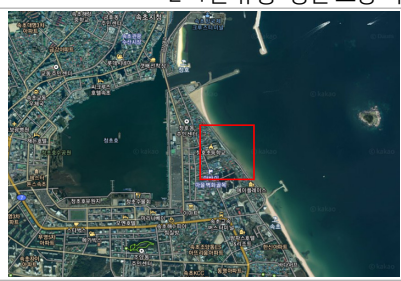
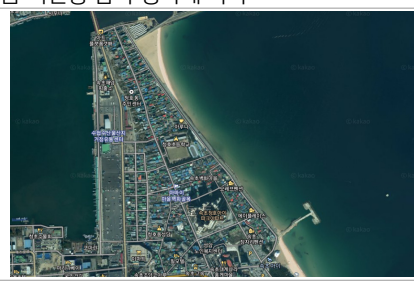
〈그림 5-1〉 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수와 연안취약성 평가 결합 분석 사례

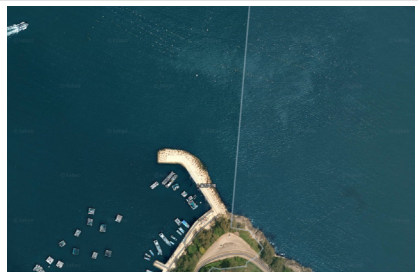
1번 유형: 울릉도 울릉읍 사동리 사동방파제 인근

2-1번 유형: 강원 고성 거진읍 거진항 남쪽 방파제 북측

2-2번 유형: 강원 속초시 청호동 청호방파제 남쪽

3번 유형: 전남 여수 돌산읍 소율방파제 인근



4번 유형: 인천 옹진 영흥면 선재도 북서단 인근

자료: 카카오 맵(검색일: 2022.12.28.) 및 구글 맵(검색일: 2022.12.28.)

연안정비 기본계획 등 여타 연안 정책과의 연계성도 고려해 볼 수 있다. 제3차 연안정비 기본계획은 '사후 복구 개념에서 탈피, 종합적·선제적 재해 예방 도모'를 목적으로, 재해 피해가 우려되는 지역에 대한 사전 예방적 조치를 계획하고 있다. 제3차 연안정비 기본계획에서는 연안침식 모니터링 결과를 확인하여, 3년 연속 C 또는 D등급이 관찰되는 경우에 대해 자체적으로 검토를 진행하였다. 이러한 검토에 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 활용하여, 선제적인 연안 그린인프라 활용에 대해 고려해 볼 수 있다. 또한 연안침식관리구역을 대상으로 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 적용하여 침식방지를 위한 정책 방향성을 파악해 볼 수 있다.

다만 앞서 지수의 한계점에서 언급한 것처럼, 본 연구에서 개발한 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 연안 그린인프라의 지속가능한 연안 보호 효과가 어느 장소에서 발생하는지를 확인하는 데 주된 목적이 있음을 주지해야 한다. 특정 정책과의 연계성 확보 등 보다 실전적인 활용을 위해서는 보다 세부적인 목적에 특화된 지수를 개발할 필요가 있다.

2. 연안 그린인프라 확대·보전을 위한 제도 개선

연안 그린인프라를 구축하는 방법은 크게 ① 현재 분포하는 연안 그린인프라를 보전하고, ② 새로운 연안 그린인프라를 확대하는 것이라고 볼 수 있다. 먼저 현재 분포하는 연안 그린인프라를 보전하기 위해서는 개별 법에 따른 보호지역을 지정하는 방법과 「연안관리법」에 따른 자연해안관리목표제를 활용하는 방법이 있다. 새로운 연안 그린인프라를 확대하는 방안은 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 통해 연안 그린인프라를 구축하거나 갯벌, 해안사구 등 연안 그린인프라를 복원하는 방법이 있다.

〈표 5-5〉 연안 그린인프라 구축을 위한 제도적 수단

구분		내용	특징
확대	연안재해 대응사업	• 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 통해 연안 그린인프라 구축 • 해안사구 복원 등 일부 연안 그린인프라 관련 사업 추진 • 연안관리법 등 법률 개정 및 지침 제정	• 연안정비사업은 대부분 그레이 방식의 사업에 해당
	복원사업	• 개별 법률에 따라 갯벌, 해안사구 등 복원사업 추진	• 복원사업 선정기준에 연안 그린인프라 관련 내용은 없음
보전	보호지역 지정	• 연안 그린인프라 분포지역을 해양생태계법, 갯벌법 등 개별 법률에 따라 보호지역으로 지정	• 연안재해 대응 목적의 보호지역 지정 요건 없음 • 행위제한 적용으로 지정을 확대하는 데 한계
	자연해안 관리	• 연안관리법에 따른 자연해안관리목표제를 활용하여 관리 • 지자체별 자연해안관리목표에 연안 그린인프라 분포지역 포함	• 우리나라 전 연안의 자연해안을 관리할 수 있는 수단 • 현재 사실상 자연해안관리목표제 미운영 • 행위제한 등 자연해안관리목표를 강제하기 위한 수단 미비
	공유수면 관리	• 공유수면법에 따른 점용·사용 및 매립 허가기준으로 연안 그린인프라 내용 포함	• 공유수면 점용·사용 및 매립 허가기준 없음

자료: 저자 작성

1) 연안 그린인프라 확대방안

(1) 연안정비사업

연안재해 대응을 위해 연안 그린인프라를 활용하기 위해서는 연안재해 대응사업에 관한 법률과 지침에 연안 그린인프라 관련 내용이 포함되어야 한다. 우리나라 연안재해 대응사업의 대부분을 차지하는 연안정비사업에서 연안 그린인프라를 도입하기 위해서는 「연안관리법」과 연안시설 설계기준을 개정할 필요가 있다. 제2장에서 우리나라 연안 그린인프라 활용의 한계점으로 「연안관리법」, 연안정비기본계획, 연안시설 설계기준에 연안 그린인프라에 관한 조항이 없다는 점을 제시하였다.

가. 법률(연안관리법) 개정

「연안관리법」에 연안 그린인프라 관련 내용을 포함하기 위해서는 첫째, 연안 그린인프라에 관한 정의 규정 포함, 둘째, 연안정비사업 시행의 근거가 되는 연안정비기본계획 수립에 연안 그린인프라를 활용할 수 있는 규정 포함, 셋째, 자연해안관리와 연동 등을 검토해야 한다. 첫째, 연안 그린인프라에 관한 정의는 제2항 정의 조항에서 연안 그린인프라 정의를 포함하는 것으로, 예를 들면 '연안 그린인프라란 연안재해를 완충하는 기능이 있는 자연 그대로의 자원·공간 또는 인위적으로 복원·조성한 자원·공간을 말함'을 포함하는 것도 고려할 수 있다.

둘째, 연안정비기본계획에 연안 그린인프라 관련 내용을 추가하기 위해서는 연안정비기본계획 수립의 근거 조항인 「연안관리법」 제21조에 연안 그린인프라에 관한 내용을 추가할 필요가 있다. 해양수산부 장관이 연안정비기본계획을 수립할 때 연안 그린인프라를 적극 활용할 수 있도록 '연안정비기본계획을 수립할 때 해안사구, 염습지 등 연안재해 완충기능이 있는 연안 그린인프라를 적극 활용하여야 한다'와 같은 내용을 포함할 필요가

있다. 더불어 연안 그린인프라 선정과 구축에 관한 상세한 내용을 담은 지침을 마련할 수 있는 근거 마련도 필요하다.

셋째, 자연해안관리를 복원하기 위해 연안정비사업을 실시할 수 있는 조항(제32조 제3항)을 개정하여 연안재해 완충 등 자연해안의 기능을 증진하거나 복원하기 위해서 연안정비사업을 실시할 수 있는 근거를 마련할 필요가 있다.

연안정비사업을 통해 연안 그린인프라를 설치하기 위해 제시한 위 세 가지 방안에 대한 「연안관리법」 개정(안)은 〈표 5-6〉과 같다.

〈표 5-6〉 연안관리법 개정방안

현행	현행	개정
제2조 정의		4의2. 연안 그린인프라'란 연안재해 완충, 탄소흡수 등의 기능이 있는 자연 그대로의 자원·공간 또는 이를 모방하기 위해 복원·조성한 자원·공간을 말함
제21조 연안정비 기본계획의 수립	① 해양수산부장관은 효율적이고 체계적인 연안정비사업을 위하여 10년마다 연안정비기본계획(이하 "연안정비기본계획"이라 한다)을 수립한다. ② 해양수산부장관은 연안정비기본계획을 수립하려면 미리 시 · 도지사의 의견을 듣고, 관계 중앙행정기관의 장과 협의한 후 제30조에 따른 중앙연안관리심의회의 심의를 거쳐야 한다. ③ 해양수산부장관은 연안정비기본계획을 수립하였을 때에는 지체 없이 이를 관보에 고시하여야 한다.	①~③ 동일 ④ 연안정비기본계획을 수립할 때는 해안사구, 염습지 등 연안재해 완충 기능이 있는 그린인프라를 적극 활용하여야 한다. ⑤ 연안 그린인프라 필요지역 선정, 공법 선택 등 구체적인 사항은 해양수산부장관이 별도로 고시할 수 있다.
제32조 자연해안 관리목표제	③ 해양수산부장관, 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 자연해안관리 목표를 달성하기 위하여 연안정비사업의 일환으로 자연해안 복원사업을 실시할 수 있다.	② 해양수산부장관, 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 효율적인 자연해안의 관리를 위하여 연안정비사업의 일환으로 연안재해 완충 등 자연해안의 기능을 증진하거나 복원하는 사업을 실시할 수 있다.

자료: 연안관리법 해당 조문 및 저자 작성

나. 연안시설 설계기준 개정

「연안관리법」에 연안 그린인프라 활용에 관한 근거를 포함했다 하더라도 연안 그린인프라에 관한 구체적인 설치 지침이 없다면 연안정비사업을 실시하는 과정에서 연안 그린인프라를 도입하는 데 한계가 있다. 현행 연안시설 설계기준에서는 연안시설의 종류로 방파제, 호안, 방호벽, 돌제, 소파제, 이안제, 잠제·인공 리프, 매립, 사빈(양빈) 등을 포함하고 있고, 각 시설에 대한 설계기준을 제시하고 있다. 연안시설 설계기준에 따른 연안시설은 양빈을 제외하면 모두 그레이인프라에 해당한다. 연안 그린인프라 도입을 위해서 우선 연안시설의 종류에 해안사구, 염습지, 해초지, 굴망태 등 연안 그린인프라에 해당하는 유형을 포함할 필요가 있다. 다만 해안사구, 엽습지, 해초지, 양빈 등은 선적 시설인 그레이인프라와 달리 면적·입체적 형태이므로 완충공간으로 분류하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 현행 '연안시설 설계기준'을 '연안시설·완충공간 설계기준'으로 변경하고 연안완충공간에 연안 그린인프라를 포함하는 방안을 검토할 수 있다.

〈표 5-7〉 연안시설 유형의 개정(안)

현행	개정
○ 연안시설 종류 - 연안시설 대부분은 월파, 월류 혹은 해안침식의 저감 방지를 위해 설치되며, 이에는 방파제, 호안, 방호벽, 돌제, 소파제, 이안제, 잠제·인공 리프 매립 그리고 파력흡수를 위한 사빈 양빈 등이 포함된다	○ 연안시설 - 방파제, 호안, 방호벽, 돌제, 소파제, 이안제, 잠제·인공 리프 등 - 소파제의 하나로 굴망태 포함 ○ 연안 완충공간(연안 그린인프라) - 양빈, 해안사구, 염습지, 해초지 등 ○ 하이브리드 방식 - 그레이인프라와 연안 그린인프라의 결합

자료: 해양수산부(2016b), pp. 6-8.

이미 연안정비사업을 통해 연안 그린인프라의 하나인 해안사구 복원을 포함하고 있다. 연안 그린인프라 구축 여건에서 살펴본 것처럼 제3차 연안정비기본계획은 15개소에서 사구복원, 인공시설물 철거, 침식방지울타리

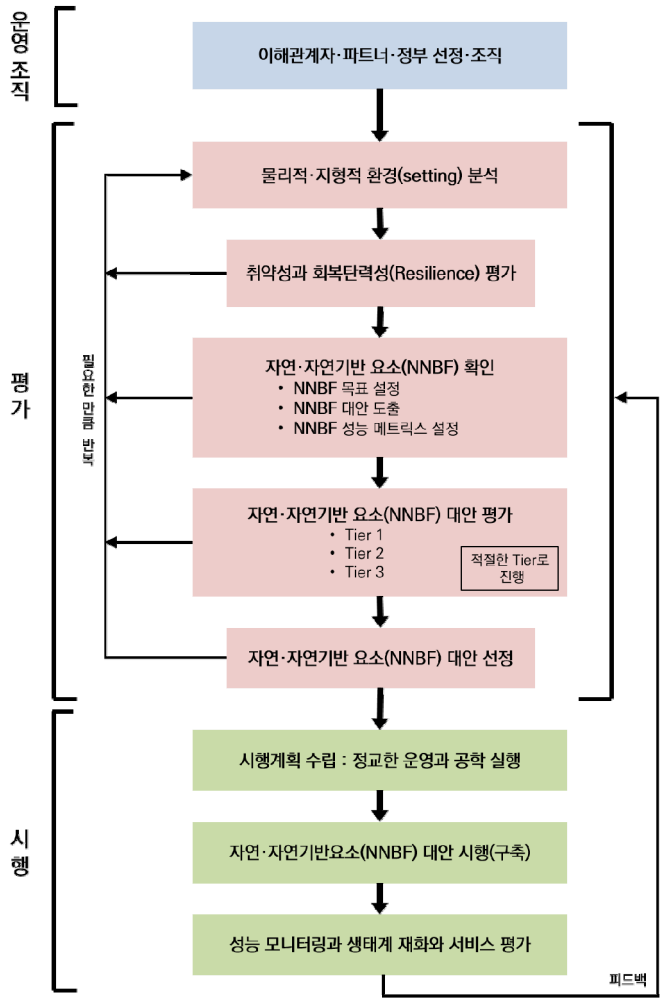
등 연안 그린인프라 관련 사업을 추진하고 있다. 제3차 연안정비기본계획에 반영된 사업을 추진하기 위해서라도 조속히 연안 그린인프라에 관한 기술적 기준을 마련할 필요가 있다. 해안사구에 관한 지침으로는 2002년에 환경부에서 작성한 '해안사구 보전·관리지침'이 유일하다. 이 지침에 훼손된 해안 복원에 관한 내용이 포함되어 있다. 하지만 해안사구 복원에 관한 내용은 모래집적울타리 설치, 해안사구 식물 식재 등에 관해 주로 외국 사례를 소개하는 방식으로 간단하게 기술되어 있다.

현행 연안시설 설계기준을 '연안시설·완충구역 설계기준'으로 확대하여 개정하고, 구체적인 설계기준을 포함하기 위해서는 별도의 기술개발 사업을 추진할 필요가 있다. 현재 해양수산부에서 추진하고 있는 '블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성 기술개발'에서 염습지, 해초지, 굴망태 등에 대한 기술적 지침이 마련될 것으로 예상되므로 이 사업의 결과를 연안시설·완충구역 설계기준에 포함하는 것도 고려할 수 있을 것이다.

다. 연안 그린인프라 관련 종합지침 마련

연안시설 설계기준은 현재 그레이인프라 중심의 연안시설에 관한 기술적 매뉴얼이라고 할 수 있다. 연안 그린인프라를 추가하여 '연안시설·완충구역 설계지침'으로 확대하더라도 내용은 기술적 사항에 한정된다. 연안 그린인프라 필요지역 선정, 연안 그린인프라 유형 선정, 연안 그린인프라의 경제적 타당성 평가, 지역 이해관계자 참여 등을 담은 종합적인 연안 그린인프라 지침을 마련할 필요가 있다. 앞서 연안 그린인프라 확대를 위한 「연안관리법」 개정(안)에서 해양수산부 장관이 연안 그린인프라에 관한 종합적이고 상세한 내용을 담은 지침을 고시할 수 있는 내용을 제시하였다.

〈그림 5-2〉 자연·자연기반 자원 평가 및 실행 프레임워크



주: NNBF는 Natural and Nature-Based Features을 말하며, 이 연구에서 다루는 연안 그린인프라와 동일함
자료: Bridges et al.(2015), p. 12.

연안 그린인프라에 관한 지침을 작성할 때 미 육군공병대 엔지니어 연구개발센터[108]가 작성한 '연안 회복탄력성을 위한 자연·자연기반 요소 활용

(Use of Natural and Nature-Based Features for Coastal Resilience)'[109]이라는 지침을 참조할 수 있다. 지침의 명칭에 포함된 자연·자연기반 요소(NNBF)[110]가 연안 그린인프라에 해당한다. 이 지침에는 연안재해에 취약한 지역에서 자연·자연기반 요소를 적용하기 위한 평가와 실행에 관한 절차와 각 절차에 관한 자세한 사항을 규정하고 포함하고 있다. 〈그림 5-2〉는 지침에서 제시한 자연·자연기반 자원의 평가와 실행에 관한 절차에 해당한다.

(2) 생태계 복원사업 등 타 부문 사업 활용

가. 갯벌 복원사업

연안 그린인프라를 확대하기 위해서는 갯벌 복원사업과 같은 생태계 복원사업을 활용할 수 있다. 「갯벌법」 제2조에서는 갯벌 복원을 '갯벌에 서식하는 생물의 다양성을 증진하기 위하여 개발사업 등의 영향으로 훼손된 갯벌등의 물리적 형태와 생태적 기능을 본래 갯벌등의 상태로 회복·증진시키는 것'으로 정의하고 있다. 갯벌 복원의 목적을 생물의 다양성 증진으로 명시하고 있으나 같은 조에서 정의한 갯벌 생태계서비스에는 재해방지도 포함하고 있다. 즉 갯벌 복원사업은 주로 생물 다양성을 증진하기 위해 추진하지만 복원된 갯벌은 재해를 방지하는 효과도 있어 연안 그린인프라를 확대하는 효과도 동시에 얻을 수 있다.

해양수산부 장관의 경우 해양보호구역, 습지보호지역, 갯벌관리구역 등에서 갯벌 복원사업이 가능하다. 시·도지사는 시·도 해양보호구역, 습지보호지역(시·도지사 지정) 등에서 갯벌 복원사업이 가능하고 나머지 구역에서는 시장·군수·구청장이 갯벌 복원사업을 할 수 있다. 현행 「갯벌법」에 따른

108) U.S. Army Corps of Engineers Engineer Research and Development Center
109) Bridges et al.(2015)을 말함
110) NNBF에 관한 내용은 제2장 연안 그린인프라 개념 부문 참조

갯벌 복원사업으로도 연안 그린인프라가 확대되는 효과가 있다. 그러나 연안재해 대응을 위해서도 갯벌 복원사업을 실시할 수 있도록 「갯벌법」의 정의 조항을 개정할 필요가 있다. 예를 들면 갯벌 복원의 정의에서 현행 '갯벌에 서식하는 생물의 다양성을 증진하기 위하여'를 '갯벌의 생태계서비스를 증진하기 위하여'로 개정한다면 갯벌 생태계서비스의 하나인 재해방지를 위해서도 갯벌 복원사업이 가능할 것이다.

〈표 5-8〉 갯벌법 상 갯벌 복원 관련 규정

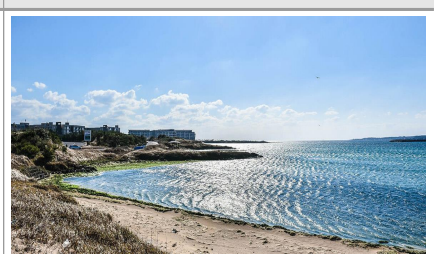
구분	정의
정의 (제2조)	• 갯벌 복원 – 갯벌에 서식하는 생물의 다양성을 증진하기 위하여 개발사업 등의 영향으로 훼손된 갯벌등의 물리적 형태와 생태적 기능을 본래 갯벌등의 상태로 회복 · 증진시키는 것 • 갯벌 생태계서비스 – 갯벌등에서의 수산자원 생산, 오염물질 정화, 탄소흡수, 재해방지, 생태관광 및 자연휴양의 문화적 혜택 등 사람을 포함한 생물의 생존에 기여하는 혜택
갯벌복원사업 시행 구역 (제20조)	• 해양수산부장관 1. 「해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률」 제25조에 따라 해양수산부장관이 지정 · 고시한 해양보호구역 2. 「습지보전법」 제8조에 따라 해양수산부장관이 지정 · 고시한 습지보호지역 3. 제10조에 따라 해양수산부장관이 지정 · 고시한 관리구역 4. 대통령령으로 정하는 규모 이상의 사업, 고도의 기술이 필요한 사업, 둘 이상의 광역시 · 도에 걸쳐 시행할 필요가 있는 사업 • 시 · 도지사 1. 「해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률」 제36조에 따라 시 · 도지사가 지정 · 고시한 시 · 도해양보호구역 2. 「습지보전법」 제8조에 따라 시 · 도지사가 지정 · 고시한 습지보호지역 3. 둘 이상의 시 · 군 · 구에 걸쳐 시행할 필요가 있는 사업 • 시장 · 군수 · 구청장: 해양수산부장관과 시 · 도지사가 시행하는 구역 이외의 구역

자료: 갯벌법 해당 조항

나. 갯벌식생 복원사업

해양수산부에서는 해양수산부 갯벌식생 복원사업을 추진하고 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 갯벌식생 복원사업은 갯벌이나 해변에 염생식물을 식재하여 해양에서 탄소흡수원을 확대하는 것이다. 그러나 갯벌이나 해변에 식생을 복원하는 것은 연안 그린인프라를 확대하는 것과 동일하며 파도 등 연안재해를 유발하는 해양 외력을 감소하는 효과가 있다. 2022년에는 전남 신안군 북부권역, 제주 서귀포시 성산읍, 충남 태안군 근소만, 충남 서산시 가로림만이 선정되었다. 현재까지 갯벌식생 복원사업 대상지를 선정하는 기준에 연안재해에 대응하는 효과를 포함하지는 않았으나 향후에는 선정기준의 하나로 포함할 필요가 있다. 이 사업의 주요 목적인 탄소흡수원 확대를 우선으로 하되 연안재해 대응 효과가 큰 지역일 경우 가중치를 더 부여하는 방안도 고려할 수 있을 것이다.

〈표 5-9〉 갯벌식생 복원사업 대상지역

신안 북부권역 인근 염생식물 자생지	제주 신양섭지 해수욕장
	
태안 근소만 사업 조감도	서산 가로림만 염생식물 자생지
	

자료: 해양수산부 보도자료(2022.3.30.)(검색일: 2022.9.8.)

2) 연안 그린인프라 보전

(1) 보호지역 지정 확대

연안 그린인프라가 분포하는 지역 중에는 개별법에 따른 보호구역으로 지정된 지역이 있다. 현재 우리나라에서는 「해양생태계법」에 따라 해양보호구역이 32개소(1,799㎢) 지정되어 있다. 해양보호구역으로 지정된 지역 중에는 염생식물, 해초류, 해안사구 등 연안 그린인프라를 관리·보전하기 위하여 10개소가 지정되어 있다. 예를 들면, 화성 매향리 갯벌은 칠면초 등 염생식물, 대이작도 주변 해역, 추자도 주변 해역, 조도 주변 해역, 통영 선촌마을 주변 해역 등은 천연 잘피(거머리말) 서식지, 신두리 사구해역은 해안사구를 보전·관리하기 위해 해양보호구역으로 지정되었다.

〈표 5-10〉 해양보호구역 중 연안 그린인프라 관련 구역 지정 현황

구역명	면적(㎢)	지정 목적 및 주요 특징	대표 브랜드
시흥갯벌	0.71	• (목적) 내륙 깊숙이 들어온 나선형 갯벌로 갯골 경사가 급한 특이한 지형 보호, 물새 및 법정보호종 서식지 보전	모새달 군락
화성매향리 갯벌	14.08	• (목적) 염생식물 및 대형저서동물 등 생물다양성 풍부	칠면초 등 염생식물
오륙도 주변 해역	0.35	• (목적) 기암괴석의 무인도서로 남해안의 수직암반 생물상 보호 및 주변육역의 개발압력에 따른 생태계 훼손 예방 • (특징) 오륙도 해양보호구역 방문객센터 기반관리	게바다말
대이작도 주변 해역	55.7	• (목적) 모래갯벌과 바위해안 등 뛰어난 자연경관과 하벌천퇴의 특이한 지형경관, 수산생물과 기타 저서생물의 주요 서식지	거머리말
추자도 주변 해역	1.18	• (목적) 해양보호생물인 천연잘피(포기거머리말, 수거머리말)의 서식지와 정착성·회유성 어류의 성육장을 체계적으로 보전·관리	포기 거머리말
토끼섬 주변 해역	0.593	• (목적) 해양보호생물인 천연잘피(거머리말))의 서식지와 정착성·회유성 어류의 성육장을 체계적으로 보전·관리	거머리말
조도 주변 해역	5.01	• (목적) 해양보호생물인 잘피(왕거머리말))의 서식지와 정착성·회유성 어류의 성육장을 체계적으로 보전·관리	왕거머리말

구역명	면적(㎢)	지정 목적 및 주요 특징	대표 브랜드
통영 선촌마을 주변 해역	1.94	• (목적) 거머리말 등 해양보호생물의 서식지를 체계적으로 보전·관리	거머리말
포항 호미곶 주변 해역	0.25	• (목적) 해양보호생물 게바다말과 새우말 서식지 보전	게바다말, 새우말
신두리 사구해역	0.64	• (목적) 국내 최대 사구로서 다양한 식생과 특이한 지형으로 보전가치가 높음 • (특징) 신두리사구센터(문화재청) 기반관리, 신두리 해안사구가 천연기념물로 지정되어 있음	신두리 사구

자료: 해양환경공단(2022.9.20.), 내부 자료(해양보호구역 지정 현황)

〈표 5-11〉 해양보호구역 모습 사례

경기 화성 매향리 갯벌	경남 통영 선촌마을
	

자료: 해양수산부 보도자료(2020.2.13.)(검색일: 2022.9.7.); 해양수산부 보도자료(2021.7.19.)(검색일: 2022.9.7.)

연안 그린인프라의 하나인 해안사구에는 다양한 유형의 보호구역이 지정되어 있다. 구체적으로 해안사구 중에는 생태경관보전지역 2개소, 국립공원 29개소, 천연기념물 4개소, 해양보호구역 2개소 등이 지정되어 있다. 그러나 우리나라에 분포하는 해안사구 중에서 일부에만 보호구역이 지정되어 있다.

〈표 5-12〉 해양사구 보호구역 지정 현황

구분	관련법령	보호지역 유형	개소수	비고
환경부	자연환경보전법	생태 · 경관 보전지역	2	소황사구 하시동안인사구
	자연공원법	국립공원	29	변산반도국립공원 태안해안국립공원 다도해해상국립공원
	습지보전법	습지보호지역	1	두웅습지
문화재청	문화재보호법	천연기념물	4	신두리 해안사구 낙동강 하류 철새도래지
해양수산부	해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률	해양생태계 보호구역	2	신두리 사구해역 생태계 대이작도 주변 해역 생태계

자료: 환경부·국립생태원(2017), p. 22.

보호구역 지정과 복원사업은 연안 그린인프라 구축을 목적으로 하지는 않으나 보호구역을 지정하고 복원사업을 하게 되면 결과적으로 연안 그린인프라를 구축하는 효과를 얻을 수 있다. 즉 현행 법률에 따라 보호지역을 확대하고 복원사업을 추진할수록 연안 그린인프라도 보전·확대되는 효과가 있다. 하지만 연안재해 대응 기능이 있는 지역을 적극적으로 보전하고 확대하기 위해서는 보호지역 지정 요건과 복원사업 선정기준에 연안재해 대응 기능을 추가할 필요가 있다.

〈표 5-13〉에 제시된 해양보호구역, 습지보전지역 및 생태·경관보전지역의 지정 요건이 연안 그린인프라에 해당하는 염생식물, 해초류, 해안사구 등도 해당한다고 볼 수 있다. 그럼에도 연안 그린인프라의 활용 목적인 연안재해 대응 기능을 적접 제시하지 않고 있다. 이는 보호구역 지정의 근거법이 생태계 보전과 관리에 관한 사항을 규정하고 있고, 생태계 보전의 필요성에 재해 대응이 포함되기 어려운 측면이 있기 때문이라고 할 수 있다. 다만 해양보호구역은 다른 보호구역과 달리 생태적 측면 이외에도 탄소흡

수원 기능의 유지·증진을 위해서도 지정될 수 있다. 연안 그린인프라 대부분은 연안재해 대응 기능과 함께 탄소를 흡수하는 기능도 있어 연안 그린인프라 관련 보호구역으로 가장 연관성이 높다고 할 수 있다.

재해 대응 목적의 연안 그린인프라를 보호지역으로 지정하기 위해서는 해양보호구역 지정 요건을 개정하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 예를 들면 현행 「해양생태계법」 제25조 제1항 6호의 내용에 '해양생태계의 탄소흡수원 기능을 유지·증진하거나 기후변화 적응을 위하여 보전이 필요한 지역'으로 개정하면 연안재해 대응 목적의 연안 그린인프라에 해양보호구역을 지정할 수 있을 것이다.

〈표 5-13〉 주요 보호구역 지정 요건

보호지역	지정 요건
해양보호구역 (해양생태계법 제25조)	1. 해양의 자연생태가 원시성을 유지하고 있거나 해양생물다양성이 풍부하여 보전 및 학술적 연구가치가 있는 해역 2. 해양의 지형 · 지질 · 생태가 특이하여 학술적 연구 또는 보전이 필요한 지역 3. 해양의 기초생산력이 높거나 해양보호생물의 서식지 · 산란지 등으로서 보전가치가 있다고 인정되는 해역 4. 다양한 해양생태계를 대표할 수 있거나 표본에 해당하는 해역 5. 산호초 · 해초 등의 해저경관 및 해양경관이 수려하여 특별히 보전할 필요가 있는 해역 6. 해양생태계의 탄소흡수원 기능을 유지하거나 증진하기 위하여 보전이 필요한 지역 7. 그 밖에 해양생태계의 효과적인 보전 및 관리를 위하여 특별히 필요한 해역으로서 대통령령으로 정하는 해역
습지보전지역 (습지보전법 제8조)	1. 자연 상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부한 지역 2. 희귀하거나 멸종위기에 처한 야생 동식물이 서식하거나 나타나는 지역 3. 특이한 경관적, 지형적 또는 지질학적 가치를 지닌 지역
생태경관 보전지역 (자연환경보전법제12조)	1. 자연상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부하여 보전 및 학술적 연구가치가 큰 지역 2. 지형 또는 지질이 특이하여 학술적 연구 또는 자연경관의 유지를 위하여 보전이 필요한 지역 3. 다양한 생태계를 대표할 수 있는 지역 또는 생태계의 표본지역

자료: 해양생태계법, 습지보전법, 자연환경보전법 해당 조항

(2) 연안 그린인프라 훼손 최소화

연안 그린인프라 분포지역을 훼손하는 개발을 최소화하기 위한 수단을 마련할 필요가 있다. 개발을 최소화하기 위한 수단으로는 「연안관리법」에 따른 자연해안관리와 「공유수면법」에 따른 점용·사용과 매립 제한 등을 활용할 수 있다.

첫째로, 「연안관리법」에 따른 자연해안관리목표제를 활용할 수 있다. 현행 자연해안관리목표제는 기초지방자치단체 단위에서 관할 연안의 자연해안에 관한 목표를 설정하고 자연해안 개발을 최소화하기 위해 운용하고 있다. 자연해안관리목표제는 연안재해 완충과 같은 자연해안의 기능을 고려하지 않고 현재 남아 있는 자연해안을 최대한 보전하려는 취지하에 시작되었다. 또한 자연해안관리목표를 강제하기 위한 수단이 미흡하였다. 현실적으로는 연안 기초지방자치단체에서 대부분 한 차례 관할 연안에서 자연해안관리목표를 설정하였으나 이 목표제를 실효성 있게 운영하지 못하고 있다. 자연해안관리목표 설정 주체와 훼손 주체가 동일하고, 자연해안관리목표 설정을 위한 자료와 기술적 한계 등이 주요한 이유라고 볼 수 있다.

반면 자연해안관리목표제를 연안 그린인프라 분포지역 훼손을 방지하기 위한 수단으로 활용하는 데 유리한 점이 있다. 이미 연안 기초지방자치단체 대부분에 자연해안관리목표가 설정되어 있다는 것이다. 지방자치단체별로는 자연해안관리목표제의 실효성에 차이가 있으나 활용할 수 있는 수단이 전국에 구축되어 있는 것은 큰 장점이라고 할 수 있다. 다만 자연해안관리목표제의 실효성을 증진하기 위해서는 현행 「연안관리법」에서 자연해안관리목표제 조항(제32조)을 개정할 필요가 있다. 연안재해 완충기능이 있는 자연해안을 '자연해안완충구역'으로 지정하여 특별히 관리하고, 이 구역에서 개발을 최소화할 수 있는 수단을 마련하는 것을 고려할 필요가 있다.

〈표 5-14〉「연안관리법」 중 자연해안관리목표제 관련 개정방안

현행	개정
제32조(자연해안관리목표제) ① 해양수산부장관은 자연해안의 효과적인 보전과 연안환경의 기능 증진 등을 위하여 제30조에 따른 중앙연안관리심의회의 심의를 거쳐 자연해안선의 길이 등 자연해안에 대한 관리목표를 설정할 수 있다. ② 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 제1항의 관리목표를 고려하여 제31조에 따른 지역연안관리심의회의 심의를 거쳐 관할 연안의 자연해안에 대한 관리목표를 설정할 수 있다 ③ 해양수산부장관, 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 자연해안관리목표를 달성하기 위하여 연안정비사업의 일환으로 자연해안 복원사업을 실시할 수 있다. ④ 자연해안관리목표제 및 자연해안 복원사업의 시행에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.	제34조(자연해안관리목표제 등)에 다음 조항을 추가 ③ 해양수산부장관은 생태적·경관적으로 보전 가치가 높거나 연안재해를 예방하는 데 필요한 자연해안을 자연해안완충구역으로 지정하여 관리할 수 있다. ④ 해양수산부장관은 연안완충구역을 지정하려면 미리 관련 시·도지사 및 시장 · 군수 · 구청장의 의견을 듣고, 관계 중앙행정기관의 장과 협의한 후 중앙연안관리심의회의 심의를 거친다. ⑤ 제1항부터 제4항까지에 따른 자연해안 관리목표 설정, 연안완충구역 지정과 관리, 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

자료: 연안관리법 및 저자 작성

둘째로, 「공유수면법」에 따라 연안 그린인프라 분포지역에서 인공시설물 설치나 매립에 대한 허가를 최소화해야 한다. 현행 「공유수면법」에서 점용·사용이나 매립을 허가할 때 고려하는 기준에서는 공유수면의 다양한 기능에 대한 고려 없이 단순히 피해가 예상되는 권리자 여부만 규정하고 있다. 이는 공유수면을 보전함으로써 얻을 수 있는 다양한 혜택에 대한 인식이 부족했던 때 만들어진 허가기준이 그대로 유지되고 있기 때문이다. 반면 산지 분야에서는 「산지관리법」에 따라 산지전용 허가기준[111]을 구체적으로 규정하

111) 산지관리법 제18조 제1항 일부
- 인근 산림의 경영 · 관리에 큰 지장을 주지 아니할 것
- 집단적인 조림 성공지 등 우량한 산림이 많이 포함되지 아니할 것
- 희귀 야생 동 · 식물의 보전 등 산림의 자연생태적 기능유지에 현저한 장애가 발생하지 아니할 것
- 토사의 유출 · 붕괴 등 재해가 발생할 우려가 없을 것
- 산림의 수원 함양 및 수질보전 기능을 크게 해치지 아니할 것
- 산지의 형태 및 임목(林木) 구성 등의 특성으로 인하여 보호할 가치가 있는 산림에 해당되지 아니할 것
- 사업계획 및 산지 전용면적이 적정하고 산지 전용방법이 산지경관 및 산림 훼손을 최소화하며 산지전용 후의 복구에 지장을 줄 우려가 없을 것

고 있다. 즉 산지전용 허가기준에는 산지가 가진 다양한 기능의 훼손을 최소화하기 위한 규정이 포함되어 있다. 이제는 공유수면의 다양한 가치가 과학적으로 규명되고 있으므로 「공유수면법」에서 개발에 대한 가치와 보전의 가치를 비교하여 개발 허가 여부를 결정할 수 있는 기준이 마련되어야 한다. 「공유수면법」은 연안 그린인프라가 대부분 분포하는 바다와 바닷가를 대상으로 하기 때문에 연안 그린인프라 보전을 위해 매우 중요한 법률이다. 공유수면 점용·사용이나 매립에 대한 허가 여부를 판단할 때 연안 그린인프라 훼손을 최소화할 수 있도록 「공유수면법」의 허가 관련 규정을 개정할 필요가 있다.

〈표 5-15〉 「공유수면법」 개정방안

현행	개정
제12조(점용 · 사용허가 등의 기준) 공유수면관리청은 제8조와 제10조에 따라 점용 · 사용 허가를 하거나 점용 · 사용 협의 또는 승인을 할 때 그 허가나 협의 또는 승인으로 피해가 예상되는 권리로서 대통령령으로 정하는 권리를 가진 자(이하 "공유수면 점용 · 사용 관련 권리자"라 한다)가 있으면 그 허가나 협의 또는 승인을 하여서는 아니 된다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다. 1. 공유수면 점용 · 사용 관련 권리자가 해당 공유수면의 점용 · 사용에 동의한 경우 2. 국가나 지방자치단체가 국방 또는 자연재해 예방 등 대통령령으로 정하는 공익사업을 위하여 점용 · 사용하려는 경우	○ 공유수면 점용·사용 및 매립 허가기준 – 연안재해를 완충하는 기능이 있는 바닷가 등 공유수면에 대해서는 점용·사용 및 매립을 최소화할 것

자료: 공유수면법 및 저자 작성

(3) 육역관리 제도와 연계

연안 그린인프라는 대부분 일정 수준의 공간관리가 필요하다. 연안 그린인프라 대부분은 선적인 시설이 아닌 입체적인 완충공간에 해당하므로 공간관리 수단과 연계되어야 한다. 연안 그린인프라는 해역부터 육역에 걸쳐 분포하기도 하고 해역에만 분포하더라도 육역의 이용과 개발에 민감하므로

육역 공간관리 수단과 연계되어야 한다. 육역 공간관리 수단은 대표적으로 「국토계획법」에 따른 도시·군 기본계획과 관리계획이라고 할 수 있다. 국내에서 기반시설에 대한 정의와 설치는 기본적으로 「국토계획법」에 근거하므로 「국토계획법」에 따른 도시·군 기본계획 및 관리계획 수립, 도시계획시설 설치 등에 관한 규정과 절차에 연안 그린인프라 관련 사항이 포함될 필요가 있다.

국토계획 분야에서 연안 그린인프라 구축을 위해 활용할 수 있는 수단은 계획대상 구역 포함, 용도지역·용도지구 지정, 도시·군기본계획 및 도시·군관리계획 수립 등이라고 할 수 있다. 연안 그린인프라가 분포하는 지역을 계획수립 대상지역에 포함하고, 연안 그린인프라 훼손 최소화를 위해 보전 목적의 용도지역 혹은 용도지구를 지정하는 방안을 활용할 수 있다. 또한 도시계획 차원에서 연안 그린인프라를 관리하기 위해서는 도시·군 관리계획을 통해 수립하는 지구단위계획을 활용하는 것도 고려해 볼 수 있다.

〈표 5-16〉 국토분야 관리수단과 연계 방안

수단	담당기관
계획수립 대상구역	• 도시·군기본계획 수립 대상지역에 바닷가와 조간대 포함
용도지역 및 용도지구 지정	• 연안 그린인프라가 비교적 넓은 공간에 분포할 경우 보전 성격의 용도지역 지정 • 연안재해에 취약한 지역에 대해 방재지구 지정
도시·군기본계획	• 연안 지방자치단체의 경우 도시·군기본계획 수립 부문 중 하나로 '연안관리' 부문 포함 • 현행 부문 중에서는 토지이용계획 부문, 공원·녹지 부문, 방재·안전 및 범죄예방 부문 등에서 연안 그린인프라 등 포함
도시·군관리계획	• 연안 그린인프라 설치와 보전을 위해 지구단위계획 수립 • 지구단위계획을 통해 시설물 철거, 토지매수 등 시행

자료: 저자 작성

3. 한국형 연안 그린인프라 개발

1) 연안 그린인프라 관련 조사·평가

(1) 연안 그린인프라 분포 및 상태에 관한 조사

연안 그린인프라를 활용하기 위해서는 무엇보다도 주기적인 기초자료 구축이 필요하다. 특히 본 연구에서 주목하고 있는 염습지(해초지 포함), 해안사구, 모래해변 등에 대한 정밀한 조사가 필요하다. 연안 그린인프라 조사에 대한 기본방향은 전반적으로 동일하다. 기본적으로 해역의 특성(대조차, 중조차, 소조차), 계절 주기(여름, 겨울 등), 조석 주기(사리, 조금 등) 등을 고려해야 한다. 지속적인 정보 취득을 통해 장기간의 분석이 진행될 수 있는 기반을 마련해야 하며, 분석방법의 표준화를 통해 신뢰성을 확보해야 한다. 이러한 자료는 최종적으로 누구나 이용할 수 있는 자료의 형태로 개발된 플랫폼을 통해 제공되어야 한다. 모든 조사주기는 짧을수록, 조사 정점은 많을수록 좋지만, 예산과 여건을 고려할 필요가 있다. 필요 시 시민과학을 이용하여 조사를 보완하는 방안도 활용할 수 있다.

모래해변의 경우 국립해양조사원에서 해안선 조사 자료를 제공하고 있지만, 면이 아닌 선 자료에 불과하다. 또한 매년 공표되지 않고, 일부 지역(강원도 등)의 경우 세밀한 속성 자료 일부가 제시되지 않는다. 유사하게 연안정보도, 연안재질분포도 등 해안에 대한 면 자료는 주기적으로 작성되지 않는다. 모래해변에 대한 또 다른 조사로 연안침식 모니터링이 존재하지만, 해당 조사는 근본적으로 침식이 상당수 진행된 해빈을 대상으로 진행된다는 한계점이 존재한다.

갯벌과 염습지는 분리된 조사가 필요하다. 현재 우리나라의 경우 갯벌과 연안습지를 법률상 동의어로 활용하고 있으며, 따라서 국가에서 제공하는 통계 또한 동일하다. 현재 국가에서 제공하는 통계 자료를 살펴보면 갯벌을

표기하고 있는 것으로 판단된다. 갯벌 자료의 경우 특히 간조시간과 위성영상 혹은 항공사진의 촬영시간과 차이에 따라 면적 차이가 크게 나타나는 점을 고려해야 한다. 염습지의 경우 블루카본 등을 고려하여 갯벌과 독립적인 통계를 구축할 필요가 있으며, 습지 식생에 대한 구체적인 조사도 요구된다. 해안사구의 경우 목록화되어 있는 사구의 통계가 제공되고 있는데, 모든 해안사구를 목록화할 필요가 있다. 또한 활성화된 사구와 비활성화된 사구의 구분을 통해 프로세스 차원에서 접근할 필요가 있으며, 사구 전면부 해빈과의 연결성에 대한 고려가 필요하다.

〈표 5-17〉 연안 그린인프라 조사 기본사항

구분	개정
주기성	○ 특정 시간 주기를 기반으로 정보 취득 - 해양의 특성을 고려하여, 조석주기, 계절주기 등을 고려한 조사 필요 - 예시: 사리, 여름 및 겨울 각 1회 - 시간 주기는 짧을수록 바람직
지속성	○ 장기간에 걸친 정보 취득 및 제공으로 장기간의 분석 기반 마련 - 계절성, 경년변화, 기후주기 등을 반영할 수 있도록 장기간의 자료 취득 필요
신뢰성	○ 분석방법 표준화를 통한 신뢰성 있는 자료 제공 - 예시: 갯벌-간조 전후 30분 내의 위성영상, 항공사진 등을 활용하여 면적 추정
개방성	○ 누구나 이용할 수 있는 자료 공개 및 제공 - 개방된 플랫폼을 이용하여 다양한 형태의 자료 제공 - 필요 시 시민과학 등을 활용하여 자료 보완

자료: 저자 작성

(2) 염습지, 해초지 등 우리나라 해안생태계의 재해 대응 효과 연구

국외의 경우 미국 플로리다에서 1976년 갯끈풀의 파력 감쇠효과[112]에 대한 측정 연구를 시작으로 영국, 중국을 중심으로 해안생태계의 연안재해

112) Wayne(1976), p. 7.

대응효과에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 우리나라의 해안생태계는 염습지, 해초지, 사구로 대표할 수 있는데, 해당 생태계의 연안재해 효과에 대해 과학적으로 측정한 사례는 2021년까지 부재한 상태다. 2022년 국내에서는 최초로 인하대 하호경 교수 연구진이 강화도에 서식하는 염생식물(갯끈풀)의 파력 저감효과를 과학적으로 측정하였고, 염생식물로 인한 연안 육역 고도가 6개월간 약 2.3cm로 높아지는 것을 증명하였다.[113] 앞으로 국내 해안의 염습지, 해초지가 가지는 연안 외력 흡수효과를 측정하는 연구가 다양하게 진행되어 과학적 자료를 구축하는 것이 시급하다. 이러한 과학적 자료가 존재할 때 그린인프라의 효과를 논의할 수 있고 관련 정책을 시행하는 데 결정자들을 설득할 수 있다. 이는 그린인프라를 시행하는 데 중요한 기반 요소이기에 염습지, 해초지 등 우리나라 해안생태계의 재해 대응효과에 대한 기초연구가 시행될 수 있도록 연구지원 및 인력양성이 필요하다.

(3) 굴패각 외력 감소효과에 대한 과학적 연구 및 조사

굴패각 기법이 국내에 적용되기 위해서는 현장 측정 결과에 기반한 기초연구가 수행되어야 한다. 현재는 우리나라의 다양한 해양환경에서 해역별 굴패각 구조물의 외력 저감효과, 굴패각 구조물 자체의 내구성 및 최대 수용 외력의 한계점 등에 대한 현장 측정결과가 전무한 실정이다. 또한 굴패각의 부가효과인 생물 다양성 증대를 검토하기 위해서 대조군 대비 실제 생물 개체 수 및 다양성 변화를 확인할 수 있는 연구 조사가 필요하다. 이와 같은 하이브리드 기법의 과학적 자료는 우리나라 해안에 연안 그린인프라 정책을 추진하기 위한 주요 기초자료로 활용된다.

아울러 빈 굴패각의 내면에는 가공 과정에서 완전히 제거되지 않은 굴의 패각근(adductor muscle)이 남아 있을 가능성이 높다. 많은 양의 빈 굴패각을 연안에 활용하게 되면 이러한 잔존 패각근의 일부가 자칫 연안역의

113) Choi et al.(2021), p. 1; Seo, Choi & Ha(2021), p. 6.

유기물 오염 현상을 발현할 가능성이 존재한다. 따라서 굴패각 기법을 사용하려면 빈 굴패각의 잔존 유기물 제거과정을 거쳐야 한다는 조건이 전제되어야 한다.

이렇듯 굴패각을 활용한 연안 그린인프라 기법이 활용되기에 앞서 해당 기법의 외력저감 및 생물다양성 증진 효과가 우리나라에서 어떻게 발현되는지에 대한 과학적 연구 조사와 잔류물 처리를 위한 기술개발이 필요하다.

(4) 위해종으로 지정된 연안 그린인프라 활용을 위한 과학적 연구

2022년 기준 현재 우리나라에서는 염습지나 해초지 등 해안생태계 복원이 대규모로 시행된 사례가 없는 실정이다. 소규모 염습지 복원 실험을 진행한 적은 있으나 해당 실험 중 대부분의 모종이 서해안의 강한 조류에 다 쓸려나간다는 사실을 발견하였다. 염습지 복원을 위해서는 식생을 이식하기 위해 적정 수준 이상의 육역 고도를 확보해야 하며 강한 조류에도 견딜 수 있는 식생을 선별하는 것이 중요하다.

미국의 경우 염습지를 복원할 때 식생을 바로 이식하지 않고 굴패각 망태 다수를 코코넛 매트로 말아 해안가에 두른 후, 퇴적물이 쓸려나가지 않고 축적되도록 하는 작업을 선행한다. 그 후 갯끈풀이나 바다갈대같이 뿌리가 토양 깊숙이 자라며 줄기와 잎의 성장이 1m 이상 조밀하게 성장하여 파력 감쇄효과가 뛰어난 염생식물을 식재한다. 우리나라의 경우 복원 지역 기존 구성 생물종의 변화를 유발하지 않기 위해 복원사업 주변에 자라는 염생식물 위주로 식재하여 사업이 계획되고 있다. 하지만 이러한 사업 목적이 단순 생태계 복원사업이 아닌 연안재해 대응 측면에서 생태계를 활용한 정비사업이라면 외력 감쇠효과가 뛰어난 바다갈대와 같은 식물을 식재하는 것을 검토할 필요가 있다.

연안재해 대응 측면에서 파력 감쇠와 더불어 퇴적물 포집 능력이 뛰어나

연안육역 고도를 높이는 대표적인 염생식물은 갯끈풀이다. 하지만 갯끈풀의 경우 맨손어업이 이루어지는 갯벌의 면적을 감소시키는 이유로 우리나라에서는 위해종으로 지정된 상태다. 유럽과 미국, 중국의 경우 갯끈풀을 식재하여 연안육역이 연간 3mm 이상씩 높아지고 파력 감쇄효과가 70% 이상 된다는 다수의 연구결과[114]가 발표되었다. 실제로 중국과 미국에서 연안재해 대응방안으로 활발히 이용되고 있는 식물이기도 하다. 현재 우리나라에서는 갯끈풀 제거사업에 상당한 예산을 사용하고 있지만 박멸하는 데 어려움을 겪고 있다. 그 이유로는 땅속에서 수평으로 뻗어나가는 갯끈풀의 뿌리줄기 특성으로 인해 지상의 잎과 줄기를 제거한다고 해도 쉽게 제거되지 않기 때문이다. 또한 높은 염도에도 생존력이 강한 염생식물이고 뿌리 생체량이 높아 토양 아래 1m까지 뿌리를 내려 뿌리줄기 또한 제거하기 쉽지 않다.

우리나라의 경우 갯끈풀은 굴 서식지 면적을 감소시킬 수 있는 외래종이라는 이유로 위해종으로 지정되었지만 이를 뒷받침하는 과학적 자료는 존재하지 않는 상태다. 미국에서는 동위원소 측정을 통해 갯끈풀에서 기인한 유기탄소가 갯벌 생태계에 서식하는 패류 및 어류의 주요 먹이원으로 활용된다는 연구결과가 다수 발표되었다.[115] 갯끈풀은 현실적으로 완전 제거가 불가능하고 제거사업을 위한 지속적인 예산이 소요될 가능성이 높다. 또한 제거사업을 위해 갯벌 퇴적층을 교란하면서 갯벌에 저장되어 있는 탄소가 공기와 접촉해 오히려 탄소배출을 증가시키게 된다. 따라서 갯끈풀의 순기능과 역기능에 관한 과학적 조사를 통해 해당 종에 대한 재평가를 시행하는 것이 우선되어야 될 것으로 판단된다. 만약 해당 종의 제거가 불가능하다면 오히려 해당 종의 순기능을 살려 더 많은 편익을 얻는 방안에 대해 검토하는 것이 필요할 것이다.

114) Chung(2006), p. 51; Keryn B. Gedan et al.(2010), p. 17; Yang et al.(2008), p. 657; Cooper(2005), p. 475.
115) Currin, Newell, & Paerl(1995), p. 99; Wainright et al.(2000), p. 77.

(5) 식생복원으로 인한 멸종위기종의 생태적 영향 조사

염생식물을 식재하여 염습지로 복원하기 위한 대상지에 주로 멸종위기종으로 지정된 흰발농게가 서식하여 연구 목적 외 식재사업을 진행하는 데 어려움을 겪고 있다.

Smith(2015)는 1975년부터 2014년까지 갯벌의 식생 존재 여부에 따른 농게(fiddler crab)의 개체 수 변화에 관한 6개의 연구를 분석한 결과 그 연관성이 불분명하다고 밝힌 바 있다.[116] 우리나라의 경우 관련 연구가 진행된 바가 없는 만큼, 멸종위기종이 서식하면 복원사업까지 제한되는 현재의 시스템에 대한 재검토가 필요하며, 식생과 게 성장의 연관성에 관한 과학적인 조사를 토대로 복원사업이 탄력적으로 적용될 수 있도록 정책적 기반을 마련하는 것이 중요하다.

2) 연안 그린인프라 식재 및 소재 개발

(1) 염생식물(saltmarsh vegetation) 및 해초(seagrass) 식재 기술개발

우리나라 연안의 자연여건, 기상조건, 배후 개발여건 등을 고려하여 염생식물 및 해초를 식재할 수 있는 기술개발이 필요하다. 염생식물이란 조수가 드나드는 해안가에서 염분이 포함된 토양에 뿌리를 내리고 자라는 식물이다. 해초는 해수가 잠긴 광역에서 자라는 현화식물(꽃을 피우는 식물)로 지하경의 형태로 줄기의 일부가 뿌리처럼 퇴적물 속에서 생장한다. 우리나라 서·남해안에서 쉽게 볼 수 있는 염생식물 중 높고 빽빽한 줄기로 인해 연안재해 대응으로 적합한 식물은 바다갈대(Phragmites australis)다. 바다갈대는 여러해살이 풀로 높이 1~3m까지 자라며 지상 생체량(줄기, 잎) 및 지하 생체량(뿌리)이 높음에 따라 탄소흡수율 측면에서도 탁월하다. 그 외 우리나라 토종 염생식물로는 칠면초(Suaeda japonica), 가는

116) Smith(2015), p. 616.

잿능쟁이(Atriplex gmelinii), 갯질경(Limonium tetragonum), 모새달(Phacelurus lalifolius), 천일사초(Carex scabrifolia), 갯잔디(Zoysia sinica) 등이 있다.

국내에서는 2021년 국립공원연구원에서 총괄한 '새만금 환경생태용지 블루카본 조성 시범사업'에서 염습지 복원사업을 통해 처음으로 염생식물 이식기술에 대한 연구와 평가가 진행되었다. 해당 사업에서 식재한 종은 칠면초, 퉁퉁마디, 갯개미취다. 이 외의 종에 대한 발아 및 식재 기술은 아직 마련되지 않은 상태다. 해양수산부의 '블루카본 기반 기후변화 적응형 해안 조성 기술개발' 사업 중 염생식물과 해초 발아 및 식재 기술개발이 포함된 만큼 이러한 연구개발 사업을 통해 해안생태계 복원을 위한 기초 기술을 고도화할 필요가 있다. 우리나라 해초 복원사업의 경우 잘피류인 거머리말(Zosteraceae)이 이용되고 있는데 해당 종 외에 파력을 감쇠하는 새로운 해초류에 대한 조사 및 관련 이식 기술개발이 필요하다.

〈그림 5-3〉 우리나라 토종 염생식물 종류

염생식물명	예시 사진
바다갈대 (Phragmites australis)	

염생식물명	예시 사진
칠면초 (Suaeda japonica)	
가는잿능쟁이 (Atriplex gmelinii)	
갯질경 (Limonium tetragonum)	
모새달 (Phacelurus lalifolius)	

자료: 순천만 습지 웹사이트(검색일: 2022.5.6.) 및 낙동강하구에코센터 웹페이지(검색일: 2022.5.6.)

(2) 호안 연성화 재료로 국내 친환경 콘크리트 활용 추진

호안 연성화(Eco engineered shoreline)는 기존 경성 구조물을 연성화하고 생물 다양성을 증대한다는 면에서 주목받는 기법이다. 하지만 개별 블록을 3-D로 만들어 부착한 호주의 경우, 고비용(高費用)의 제작비가 든다는 점이 가장 큰 문제점으로 지적되었다. 또한 제작기간도 상당히 소요된다는 단점을 가진다. 이에 반해 현재 국내에서 시도되고 있는 친환경 다공성 블록은 일부 해외(예, 호주 등)에서 시도되는 방법 대비 저비용, 단기간에 제작할 수 있다는 장점이 있다. 현재 다공성 경량 세라믹 스톤을 이용하여 제조되는 생물 콘크리트 인조암[117]이 테마파크, 골프장 등에 조성되는 인공폭포, 경관석뿐 아니라 호안을 연성화하는 데 활용될 수 있도록 기술개발 및 국가의 상용화 지원이 필요하다.

(3) 해양 부산물을 활용한 신소재 개발

연안 재해 대응기법으로 조개껍질 등 자연물에 기반한 소재를 활용하는 기술이 주목받고 있다.

- **가리비조개 껍질을 세골재로 이용한 콘크리트 실용화 기술**

해안가 주변 주거지역에서 가정하수, 생활용수와 같은 점오염원 및 농경지 및 지하수로부터 비점오염원의 유입을 통해 해수 부영양화가 문제시되고 있다. 부영양화(eutrophication)는 유기물과 영양물질의 유입으로 인해 하천, 호소, 강, 바다와 같은 수체에 영양염류가 풍부해지는 것을 의미한다. 이로 인해 물속의 식물플랑크톤 성장이 급증하여 바다에 적조 현상이 발생하게 된다. 적조 현상이 일어나면 해수의 산소포화도가 감소하게 되어 어패류가 폐사하는 등 해양생태계에 부정적인 영향을 미친다. 건설폐자원을 재활용한 쇄석과 폐조개껍질을 혼합하여 투수성을 향상한 구조물은 오염물

117) 특허청 자료(검색일: 2022.9.17.)

질에 대해서 높은 포착성능을 갖춤으로써 바다로 유입되는 오염원을 저감하여 해양생태계를 보호할 수 있다. 또한 재생쇄석, 건설폐자원, 폐조개껍질을 재활용한다는 점에서 친환경적이다. 이러한 기술은 호안 연성화 재료로 활용 가능할 것으로 예상된다. 또한 연안 홍수 방지 및 부영화 방지 측면에서 투수성이 높고 비점오염원을 저감하는 해당 재료를 활용한 도보 설치 등이 권장된다.

- **식재 토양 조성 기술**

우리나라에서도 아루플러스 같은 공법을 접목하여 해안가에 있는 비탈면에 토양산도의 보정이 가능한 기반재를 도포하여 식재한다면 다량으로 배출되는 폐조개껍질을 재활용할 수 있을 뿐 아니라, 산성토양을 중화하여 안정적인 식물 서식 환경을 조성할 수 있을 것이다. 우리나라에서는 2022년부터 '블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성 기술개발' 사업을 통해 해외의 기술을 접목하여 연안재해 대응을 위한 신소재 구조물을 개발하는 연구가 진행되고 있다. 국가적으로 이와 같은 연구사업을 통해 기술을 상용화하여 다양한 연안 그린인프라 기술 기반을 구축하는 것이 중요하다.

4. 연안 그린인프라 실행을 위한 역량 강화 및 협력 거버넌스 구축

1) 지역 역량 강화 기반 마련

우리나라에서 연안 그린인프라를 조성하기 위해서는 현장에서 실행하는 주체들의 인식과 역량을 높일 수 있는 역량 강화 프로그램 마련이 필요하다. 지역에서 연안 그린인프라 조성과 관련한 주체는 연안 그린인프라 조성에 관한 의사결정을 하는 공무원, 연안 그린인프라 조성사업을 시행하는 엔지니어와 건설업 종사자, 대상지역에서 수산업 등 생산활동을 하거나 인근

지역에 거주하는 주민 등이라고 할 수 있다. 지역에서 연안 그린인프라와 관련한 주체가 다양하므로 이를 고려한 역량 강화 프로그램 마련이 필요하다.

〈표 5-18〉 NOAA Digital Coast에서 제공하는 연안 그린인프라 교육 자료

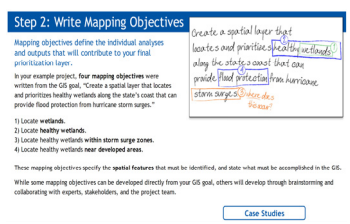
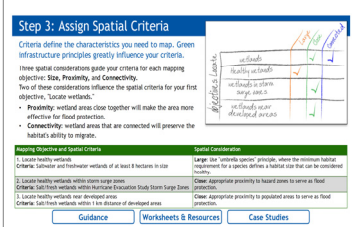
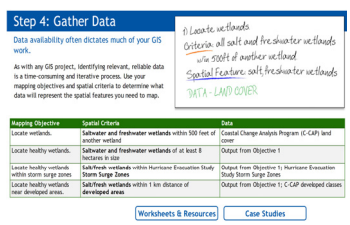
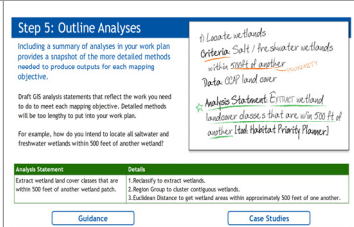
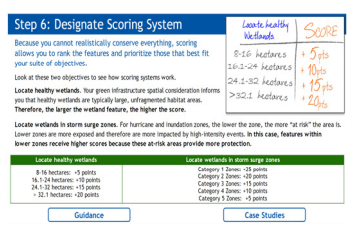
구분	개정
문서	• 그린인프라 이점 • 홍수 감소를 위한 그린인프라 비용 및 이점 평가 • 연안침수에 대비한 폭우 관리 조정 • 자연기반해법: 이점, 비용 및 경제적 평가 • 연안 관리자를 위한 경제 지침 • 연안 카운티 현황
강의	• 연안 위험에 대한 자연기반해법 • 그린인프라 매핑 지침
동영상	• 그린인프라 보호 서비스 • 연안 위험에 대한 자연기반해법(가상)
도구	• 토지피복지도 • 연안침수지역 지도 표시 • 해수면 상승 뷰어
사례	• 주마다 연안 그린인프라에 대한 연구 및 사업 시행 – Assessing Seagrass Vulnerability along Florida's Gulf Coast – Assessing and Managing Prop Scar Damage to Seagrass in Texas – Determining the Source of Dune Erosion in South Carolina

자료: NOAA, Digital Coast 홈페이지(검색일: 2022.9.6.)

미국 NOAA에서는 온라인 플랫폼인 Digital Coast를 통해 연안 그린인프라에 관한 다양한 유형의 자료, 도구, 강의, 사례 등을 제공하고 있다. 예를 들면, 그린인프라의 이해와 기능, 연안 그린인프라의 경제적 타당성을 분석하는 방법, 연안재해에 대응하기 위한 자연기반해법, 연안 그린인프라 매핑 가이드라인, 연안재해 영향 분석도구 등을 제공하고 있다. 일부 내용에 대해서는 라이브 웹비나를 통해 교육을 실시하고 있다. 또한 각 주마다 추진하고 있는 연안 그린인프라 관련 연구, 사업, 지역주민 참여 사례 등을 풍부하게 제공하고 있다.

지역 역량 강화 프로그램은 해양수산부가 R&D 사업 등을 통해 마련할 필요가 있다. 연안 그린인프라 조성에 필요한 문서, 분석도구, 동영상 등을 개발하고 미국 Digital Coast와 같은 플랫폼을 통해 제공하는 것도 가능하다. 현재 우리나라에는 해양수산부가 운영하는 연안 관리 관련 인터넷 사이트인 연안포털이 있다. 연안포털을 통해 연안 그린인프라에 관한 지역 역량 강화 프로그램을 제공하는 것도 고려할 수 있다.

〈표 5-19〉 NOAA Digital Coast 그린인프라 지도 작성 가이드 세부 내용

단계	세부 내용	단계	세부 내용
1단계. GIS 목표 작성		2단계. 매핑 목표 작성	
3단계. 공간 기준 설정		4단계. 자료 수집	
5단계. 분석		6단계. 등급 부여	

자료: NOAA, Digital Coast 홈페이지(검색일: 2022.9.13.)

2) 연안 그린인프라 협력 거버넌스 구축

(1) 정부의 민간 참여 기반 마련

연안 그린인프라 조성을 위해 국가 및 지방자치단체는 민간의 참여를 유도할 수 있는 제도 개선과 인센티브 제공이 필요하다. 시민, 대기업 등 민간의 참여를 유도하기 위한 시스템을 구축할 필요가 있다. 또한 민간이 연안 그린인프라를 구축하는 데 필요한 과학적·기술적 지원을 제공해야 한다. 정부가 민간에 제공할 수 있는 인센티브의 하나로 연안 그린인프라를 구축하여 얻게 되는 탄소흡수 실적을 온실가스 감축 실적으로 인정하는 방안도 고려할 수 있을 것이다.

(2) 민간의 연안 그린인프라 구축 참여

연안 그린인프라 조성은 국가나 지방자치단체가 주관하는 사업이지만 대기업, 공공기관 등에서도 참여할 수 있는 기반을 마련할 필요가 있다. 제3장에서 살펴본 것처럼 이미 대기업 등은 ESG 차원에서 연안지역 생태계 복원사업에 참여하고 있다. 최근에는 해양 탄소흡수원에 해당하는 블루카본 사업에 많은 기관이 참여하기 위해 움직이고 있다. 예를 들면, 2022년 11월에 기아와 해양수산부가 블루카본 협력 업무협약을 체결하였다. 이번 업무협약을 통해 민간참여형 갯벌 식생 복원사업 시행, 갯벌의 탄소흡수력 조사·연구 등이 추진될 계획이다.[118]

국가나 지방자치단체 같은 정부의 역량만으로 우리나라 연안재해에 대응하는 데는 한계가 있고 민간에서도 블루카본을 중심으로 연안생태계 복원에 관심이 높아지고 있으므로 연안 그린인프라 조성에 민간의 참여를 적극 유도할 필요가 있다. 민간의 참여를 유도하기 위해서는 민간참여에 관한 제도적 근거 마련, 인센티브 제공 등이 필요하다.

118) 해양수산부 보도자료(2022.11.28.)(검색일: 2022.12.1.)

블루카본 사업에는 염습지, 해초지 등을 조성하는 내용이 포함되어 있는데, 이는 탄소흡수원의 기능과 함께 연안재해를 완충하는 기능도 있어 연안 그린인프라 조성과 거의 동일하다고 볼 수 있다. 다만 블루카본이 탄소흡수원 기능에 초점을 맞췄다면 연안 그린인프라는 배후지역을 연안재해로부터 보호하는 기능에 초점을 맞추고 있다는 점에서 차이가 있다. 그러나 블루카본 사업을 추진하는 과정에서 사업대상지를 선정할 때 연안재해 완충이 필요한 지역에 대한 우선순위를 더 높게 고려할 수 있을 것이다.

(3) 시민참여형 연안 그린인프라 조성 프로그램 개발

제4장에서 분석한 연안 그린인프라에 대한 인식조사에서는 연안 그린인프라에 대한 일반 시민의 인식이 높지 않은 것으로 나타났다. 해안사구를 제외하고는 연안 그린인프라(1.63점), 염습지(1.83점), 해중림(1.57점), 해초지(1.69점), 굴암초(1.60점) 등이 2점 미만으로 인지도가 낮게 나타났다.

하지만 연안 그린인프라 중 인지도가 가장 높은 해안사구의 다양한 기능에 대한 중요도에서는 자연재해 예방이 가장 높게 나타났다. 많은 사람이 쉽게 인식할 수 있는 기능인 해수욕장 이용기회 확대(3.81점)는 자연재해 예방(4.21점), 생물 서식지 제공(3.93점) 다음으로 중요하다고 인식하는 것으로 나타났다. 또한 해안사구의 자연재해 예방 효과가 그레이인프라인 방파제보다 더 클 것으로 생각하는 비중이 75.8%로 나타났다.

조사결과는 연안 그린인프라에 대한 일반 시민의 인식은 낮으나 연안 그린인프라 기능 중 자연재해 예방 효과가 가장 높게 인식되고 있음을 보여준다. 조사결과에 근거할 때 첫째, 일반 시민의 인식 차원에서 우리나라에서 자연재해 예방을 위해 연안 그린인프라를 활용할 수 있는 타당성이 있다고 할 수 있고, 둘째, 연안 그린인프라의 자연재해 예방 효과를 일반 시민에게 적극적으로 알릴 필요성이 높다는 것을 보여준다고 할 수 있다.

연안 그린인프라에 대한 시민의 인식을 증진하기 위해서는 연안 그린인프라를 설치하는 데 시민을 직접 참여시키는 프로그램을 운영할 필요가 있다. 미국 등 국외에서는 해안사구와 같은 연안 그린인프라를 복원하는 데 시민이 직접 참여하고 있다. 미국 NOAA가 총괄하고 개별 주마다 운영하는 씨그랜트(Sea Grant) 사업에도 시민이 참여하는 연안 그린인프라 프로그램이 포함되어 있다. 예를 들면 뉴햄프셔(New Hampshire) 대학이 운영하는 씨그랜트 프로그램에서는 시민이 참여하는 해안사구 복원사업을 추진하고 있다.

〈그림 5-4〉 미국 뉴햄프셔주 씨그랜트(Sea Grant) 프로그램 중 시민참여 해안사구 복원 사례



자료: 미국 뉴햄프셔 대학 씨그랜트 홈페이지(검색일: 2022.9.6.)

우리나라도 연안 그린인프라의 필요성을 시민이 인식하기 위한 방법으로 미국 씨그랜트 프로그램과 같이 시민참여형 연안 그린인프라 조성 프로그램을 개발할 필요가 있다. 우리나라에서도 해양수산부가 주관하는 씨그랜

트 사업이 추진되고 있으므로 이를 적극 활용해야 한다. 씨그랜트 사업의 장점은 지역별로 대학이 사업을 주관하고 있어 전문가의 참여가 용이하다는 것이다. 시민참여형 연안 그린인프라 조성에 시민이 참여하더라도 해안사구 복원에 관한 전문지식이 있는 전문가의 교육과 지원이 필요하다.

▪ **시민참여형 시범사업 추진을 통한 성공모델 발굴**

연안 그린인프라 조성에 시민의 참여를 유도하기 위해 시범사업을 추진할 필요가 있다. 연안 그린인프라 조성은 일반적인 시민참여 활동에 비해 기술적인 경험 혹은 전문성이 요구된다. 예를 들면, 염습지나 사구를 복원하는 것은 쓰레기를 줍는 활동에 비해 전문가의 지원에 따른 학습 혹은 실습이 필요하다. 국내에서도 시민이 참여하여 잘피숲을 조성한 사례가 있다. 최근 해양보호구역으로 지정된 경남 통영시 선촌마을에서는 지역주민이 직접 잘피를 식재하는 데 참여하고 있다. 해양수산부 등 정부는 선촌마을 사례 등을 참조하여 전국에 확대할 수 있는 기반을 마련할 필요가 있다.

〈그림 5-5〉 국내 시민참여 사례(경남 통영 선촌마을 해양보호구역 잘피 육성사업)



자료: 문화마당 보도자료(검색일: 2022.8.24.)

염습지나 사구에 초본식물을 식생하기 위해서는 고도의 기술이 필요하지는 않지만 과학자 등 전문가의 교육과 지원이 필수적이다. 또한 대부분의 연안 그린인프라는 조성사업이 완료되어도 지속적으로 모니터링과 보수·보강이 필요하다. 연안 그린인프라가 설치되었다고 해도 바로 효과가 나타나는 사례가 드물다. 이와 같은 연안 그린인프라 특성을 고려할 때 시민참여형 연안 그린인프라 조성을 위한 시범사업은 리빙랩 방식을 활용할 필요가 있다. 리빙랩은 시민이 실제로 생활하는 공간에서 문제를 정의하고 대안을 만들어내는 것을 말하는데, 연안 그린인프라 조성사업에도 활용 가능할 것으로 판단된다.

06
결론 및 정책 제언

제1절 요약 및 결론

이 연구는 그레이인프라 중심의 우리나라 연안재해 대응 방식과 체계의 문제와 한계를 개선하기 위한 방안으로 연안 그린인프라 구축을 제시하였다. 이미 국외에서는 그레이인프라에 의존한 기존 연안재해 대응방식의 한계를 극복하기 위해 자연기반해법의 하나인 연안 그린인프라를 활용하고 있다. 우리나라에도 탁월한 연안재해 완충기능이 있는 연안 그린인프라가 분포하고 있으므로 이를 적극적으로 활용할 필요가 있다. 우리나라에서 연안 그린인프라의 적극적인 구축을 위한 방안을 제시하기 위해서 다음과 같은 연구를 수행하였다.

먼저 현황 및 문제점에서는 우리나라에서 압도적인 비중을 차지하는 그레이인프라 중심의 연안재해 대응사업의 문제점을 분석하였다. 문제점에서는 그레이인프라 방식 자체의 물리적·환경적 문제점과 그레이인프라에 과도하게 의존하게 된 정책·거버넌스 차원의 문제점을 분석하였다. 이러한 문제점 분석을 토대로 우리나라 연안 그린인프라 구축을 위한 시사점을 제시하였다. 그 시사점은 그레이인프라의 문제를 보완하면서 우리나라 연안재해

대응 역량을 높이기 위해서는 그린인프라 활용이 필요하다는 것이다. 이를 위해 우리나라에서 활용할 수 있는 연안 그린인프라 개발, 연안 그린인프라 구축을 위한 법률, 지침 등 제도 개선, 연안 그린인프라를 최종적으로 설치하는 지방자치단체 공무원과 지역주민의 인식 개선 등이 필요함을 제시하였다.

국내외 사례에서는 연안 그린인프라를 이미 활용하고 있는 사례를 상세하게 분석하여 우리나라에 적용할 수 있는 시사점을 도출하였다. 미국 등에서는 연안 그린인프라의 재해 대응 효과에 관한 연구를 바탕으로 숨쉬는 해안선(미국) 등과 같은 정책을 지역단위에서 활발하게 추진하고 있었다. 우리나라에서는 해안사구 복원 등 일부 지역에서 연안 그린인프라를 조성하여 연안재해에 대응하는 사업을 추진하고 있다. 우리나라에서도 그레이인프라의 단점과 한계를 보완하고 연안재해 대응력을 높이기 위해서는 연안 그린인프라 활용이 필요하다. 그러나 우리나라에서는 연안 그린인프라의 연안재해 효과에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았다. 또한 아직은 국가 전체적으로 연안 그린인프라 활용에 대한 인식이 높지 않은 것으로 나타났다. 국외에서는 연안 그린인프라의 경제적 타당성에 관한 연구가 많이 수행되었는데, 그린인프라가 그레이인프라에 비해 비용효과적인 수단이라는 사실을 밝혀냈다.

우리나라에서 연안 그린인프라를 구축하기 위해서는 연안 그린인프라를 적극 활용하고 있는 미국 등과 같이 연안 그린인프라의 연안재해 대응 기능에 관한 다양한 조사와 연구가 필요하다. 또한 연안 그린인프라 활용을 위한 기술도 개발될 필요가 있는 것으로 나타났다.

우리나라 연안 그린인프라의 재해 대응 효과를 분석하기 위해 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 개발하였다. 우리나라에서 연안 그린인프라를 구축하기 위해서는 현재 우리나라 연안에 분포하는 그린인프라 현황과

함께 지역별 연안 그린인프라의 재해 대응 효과를 분석할 필요가 있다. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개발과 적용을 통해 연안 그린인프라의 재해 완충 잠재력 효과가 클 것으로 예상되는 지역을 도출하였다. 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 추진할 때 사업방식을 선정하는 과정에서 유용하게 활용될 것으로 예상된다.

연안 그린인프라 관련 여건 분석에서는 국가계획, 관련 사업, 기술개발 여건 등을 분석하였고, 연안 그린인프라 구축에 대한 지방자치단체 공무원의 의견을 수렴하였다. 연안해양, 기후변화 분야 등의 국가계획에서는 완충공간 조성, 갯벌 복원 등 연안 그린인프라 관련 과제가 포함되고 있다. 대체로는 연안재해 대응을 위한 연안 그린인프라 구축이라기보다 탄소흡수원 확대를 위한 블루카본 사업 추진 등이 포함된다. 다만 연안재해 대응사업의 근간을 이루는 「연안관리법」에 따른 연안정비기본계획에서는 해안사구 복원사업이 다수 포함되었다. 연안 그린인프라 관련 사업으로는 갯벌식생 복원사업 등이 시작되었고 기술개발 사업도 시작단계에 있다. 연안 그린인프라 관련 기술은 염습지 조성 관련 기술개발이 이루어지고 있으나 전반적으로 관련 기술의 개발 수준은 낮은 것으로 나타났다.

마지막으로 연안 그린인프라 구축방안으로 크게 4개의 추진과제를 제시하였다.

첫째, 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수를 활용한 연안 그린인프라 필요지역 도출이 필요하다. 제4장에서 개발한 연안 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수는 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 추진하는 과정에서 사업의 유형을 선정할 때 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 이 연구에서 개발한 연안 그린인프라 재해 완충 지수는 〈표 6-1〉과 같이 연안 그린인프라 보전, 신규 조성 등이 필요한 지역을 광역 지자체 단위, 기초 지자체 단위에서 선정하는 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

〈표 6-1〉 연안 그린인프라 필요지역 도출 예시(기초 지자체)

연안 그린인프라		정책 방향	대상 기초 지자체
현존량	취약성		
낮음	높음	• 하이브리드 혹은 그레이인프라 활용 • 연안 그린인프라 지역 완충공간 활용	경북 울릉군, 제주 서귀포
낮음	낮음	• 연안 그린인프라 조성의 최적지 • 복원, 식재 등 활용, 현존량 증가 필요	전남 목포시, 진도군
높음	높음	• 연안 그린인프라 취약성 감소 필요 • 친환경 구조물 활용 및 완충공간 확보	전남 고흥군
높음	낮음	• 연안 그린인프라 관리의 최적지 • 현존량 유지 및 연안 그린인프라 확대	전북 고창군, 충남 아산지

자료: 저자 작성

둘째, 연안 그린인프라 확대·보전을 위한 제도 개선이 필요하다. 연안재해 대응사업의 근거가 되는 「연안관리법」 개정, 연안시설 설계기준 개정, 연안 그린인프라 종합지침 마련 등의 제도 개선이 필요하다. 타 부문의 사업을 활용하기 위해서는 갯벌 복원사업, 갯벌식생 복원사업 관련 선정기준에 연안 그린인프라 관련 내용이 포함되어야 한다. 또한 연안 그린인프라 보전을 위해서는 해양보호구역 등의 지정기준에 연안재해 대응을 포함한 기후변화 적응 관련 내용을 포함할 필요가 있다. 더불어 「연안관리법」에 따른 자연해안관리목표제와 「공유수면법」에 따른 점용·사용 및 매립 허가를 활용하여 연안 그린인프라 분포지역을 보전하는 방법도 고려할 수 있다.

〈표 6-2〉 연안 그린인프라 구축을 위한 제도적 수단 개선 방향

구분		내용
확대	연안재해 대응사업	• 연안정비사업 등 연안재해 대응사업을 통해 연안 그린인프라 구축 • 해안사구 복원 등 일부 연안 그린인프라 관련 사업 추진 • 연안관리법 등 법률 개정 및 지침 제정
	복원사업	• 개별 법률에 따라 갯벌, 해안사구 등 복원사업 추진
보전	보호지역 지정	• 연안 그린인프라 분포지역을 보호지역으로 지정
	자연해안 관리	• 연안관리법에 따른 자연해안관리목표제를 활용하여 관리 • 지자체별 자연해안관리목표에 연안 그린인프라 분포지역 포함
	공유수면 관리	• 공유수면법에 점용·사용 및 매립 허가기준으로 연안 그린인프라 내용 포함

자료: 저자 작성

셋째, 우리나라에서 활용할 수 있는 한국형 연안 그린인프라 개발이 필요하다. 한국형 연안 그린인프라를 개발하기 위해서는 우선 연안 그린인프라 관련 조사·평가가 필요하다. 연안 그린인프라 분포 및 상태에 관한 조사 및 염습지, 해초지 등 연안 그린인프라의 국내 재해 완충 잠재력 효과 연구, 위해종으로 지정된 연안 그린인프라 활용 연구 등이 필요하다. 다음으로 연안 그린인프라 식재 및 소재 개발이 필요하다. 염생식물 및 해초 식재 기술개발, 해양 부산물을 활용한 소재 개발 등이 필요하다.

〈표 6-3〉 한국형 연안 그린인프라 구축을 위한 연구·기술개발 수요

구분	개정
조사·연구	• 연안 그린인프라 분포·상태 조사 • 염습지, 해초지 등 우리나라 해안생태계의 재해 대응 효과 연구 • 굴패각 외력 감소효과에 대한 과학적 연구 및 조사 • 위해종으로 지정된 연안 그린인프라 활용을 위한 과학적 연구 • 식생복원으로 인한 멸종위기종의 생태적 영향 조사

구분	개정
기술개발	• 염생식물(saltmarsh vegetation) 및 해초(seagrass) 식재 기술개발 • 호안 연성화 재료로 국내 친환경 콘크리트 활용 추진 • 해양 부산물을 활용한 신소재 개발 – 가리비조개 껍질을 세골재로 이용한 콘크리트 실용화 기술 – 식재 토양 조성기술

자료: 저자 작성

넷째, 연안 그린인프라 실행을 위해 지역 역량 강화 기반과 협력 거버넌스를 구축할 필요가 있다. 연안 그린인프라 구축의 주체인 지방자치단체, 지역주민 등 지역의 역량을 높이기 위해 다양한 방식의 기술적 지원과 교육이 필요하다. 연안 그린인프라 확산을 위해서는 정부만이 아니라 지역주민, 기업 등 민간이 주도하는 방식의 사업도 적극 유도할 필요가 있다. 지역 역량을 강화하는 방법의 하나로 지역주민이 주도하는 시민참여형 연안 그린인프라 조성사업을 시범적으로 추진할 필요가 있다.

〈표 6-4〉 정책과제별 추진 로드맵

추진과제	추진시기					추진주체
	2023	2024	2025	2026	2027	
1. 연안 그린인프라 필요지역 도출						
1-1) 연안 그린인프라 필요지역 도출 방법론 개발						
• 그린인프라 재해 완충 잠재력 지수 개선	■	■				해수부
1-2) 연안 그린인프라 필요지역 도출 방법론 적용						
• 방법론 활용 제도적 근거 마련	■	■				해수부
• 연안정비사업 선정·시행 활용		■	■			해수부 지자체
2. 연안 그린인프라 확대·보전을 위한 제도 개선						
2-1) 관련 법령 개정						
• 연안관리법 등 관련법 개정	■	■	■			해수부
2-2) 관련 지침 개정·제정						
• 연안시설 설계기준 개정		■	■	■		해수부
• 연안 그린인프라 종합지침 제정		■	■	■		해수부
3. 한국형 연안 그린인프라 개발						
3-1) 연안 그린인프라 조사·평가						
• 연안 그린인프라 분포·상태 조사		■	■	■	■	KIMST
• 연안 그린인프라 재해완충 효과 평가		■	■	■	■	KIMST
3-2) 연안 그린인프라 식재 기술 및 소재 개발						
• 염생식물 등 식재 기술개발	■	■	■	■		KIMST
• 해양부산물 활용 소재 개발		■	■	■	■	KIMST
4. 지역 역량강화 및 협력 거버넌스 구축						
4-1) 지역 역량 강화						
• 지자체·지역주민 대상 지원·교육 프로그램 개발·운영		■	■	■	■	해수부 지자체
• 과학·기술 지원 프로그램 개발·운영		■	■	■	■	해수부
4-2) 협력 거버넌스 구축						
• 민간부문 참여 제도적 근거 마련	■	■				해수부
• 지역주민 주도 시범사업 추진		■	■	■		해수부 지자체

자료: 저자 작성

제2절 정책 제언

우리나라에서 자연재해에 대응하기 위한 유용한 수단으로서 연안 그린인프라를 구축하기 위해서는 크게 제도 정비와 연구·기술개발이 필요하다. 제도 정비는 연안 그린인프라에 대해 정의하고, 자연재해 대응사업의 하나로 그린인프라를 활용하고, 그린인프라 보전과 확충에 관한 법적 근거를 마련하는 것으로 「연안관리법」, 「공유수면법」, 「갯벌법」, 「해양생태계법」 등이 대상이다. 더불어 연안 그린인프라 현장 적용을 위한 지침의 개정·제정도 필요하다. 연구·기술개발은 연안 그린인프라 구축을 위한 과학·기술적 기반을 마련하는 것이다. 우리나라에 분포하는 연안 그린인프라 조사·평가, 염생식물 식재, 친해양 소재 개발 등 기술개발이 필요하다. 다음에서는 제도 정비와 연구·기술개발 사업을 추진하기 위한 세부 내용을 제시하였다.

1. 연안 그린인프라 구축 관련 제도 정비

▪ **연안재해 대응사업 유형에 연안 그린인프라 포함(연안관리법)**

연안에서 발생하는 자연재해에 대응하는 방법의 하나로 그린인프라를 활용하기 위해서는 「연안관리법」의 개정이 필요하다. 「연안관리법」에 연안 그린인프라의 정의, 연안 그린인프라 사업 적용 등에 관한 규정이 추가되어야 한다. 「연안관리법」 제2조 정의 조항에 연안 그린인프라에 대한 정의를 '연안재해 완충, 탄소흡수 등의 기능이 있는 자연 그대로의 자원·공간 또는 이를 모방하기 위해 복원·조성한 자원·공간을 말함'이 포함되어야 한다. 또한 연안지역에서 침식, 침수 등 자연재해에 대응하기 위해 추진하는 연안정비사업에서 연안 그린인프라를 활용하기 위해서는 제21조 연안정비기본계획 수립 조항에서 연안 그린인프라를 활용해야 한다는 내용을 추가할 필요가

있다. 자연해안 복원사업으로 연안정비사업을 실시할 때 자연해안의 자연재해 완충기능을 최대한 복원할 수 있도록 규정을 개정할 필요가 있다.

▪ **연안 그린인프라 훼손 최소화(연안관리법 및 공유수면법)**

현행 「연안관리법」에서 자연해안관리목표제 조항(제32조)을 개정할 필요가 있다. 연안재해 완충기능이 있는 자연해안을 '자연해안완충구역'으로 지정하여 특별히 관리하고 이 구역에서 개발을 최소화할 수 있는 수단을 마련하는 것을 고려할 필요가 있다. 또한 「공유수면법」은 연안 그린인프라가 대부분 분포하는 바닷가와 바다를 대상으로 각종 개발에 대한 인·허가를 규정하고 있어 「공유수면법」에서 각종 개발을 허가할 때 연안 그린인프라를 고려하도록 규정할 필요가 있다.

▪ **복원사업 및 보호지역 지정 기준 개정(갯벌법 및 해양생태계법)**

연안재해 대응을 위해서 갯벌 복원사업을 실시할 수 있도록 「갯벌법」의 정의 조항을 개정할 필요가 있다. 예를 들면 갯벌 복원의 정의에서 현행 '갯벌에 서식하는 생물의 다양성을 증진하기 위하여'를 '생물 다양성 증진, 자연재해 완충 등 갯벌의 생태계서비스를 증진하기 위하여'로 개정한다면 갯벌 생태계서비스의 하나인 재해방지를 위해서도 갯벌 복원사업이 가능할 것이다. 해양보호구역 지정 요건의 개정도 필요하다. 현행 「해양생태계법」 제25조 제1항 6호의 내용에 '해양생태계의 탄소흡수원 기능을 유지·증진하거나 기후변화 적응을 위하여 보전이 필요한 지역'으로 개정하면 연안재해 대응 목적의 연안 그린인프라에 해양보호구역을 지정할 수 있을 것이다.

〈표 6-5〉 연안 그린인프라 제도 정비방안

법률	조항	현행	개정
연안 관리법	제2조 정의	신설	4의2. '연안 그린인프라'란 연안재해 완충, 탄소흡수 등의 기능이 있는 자연 그대로의 자원·공간 또는 이를 모방하기 위해 복원·조성한 자원·공간을 말함
	제21조 연안정비 기본계획의 수립	① 해양수산부장관은 효율적이고 체계적인 연안정비사업을 위하여 10년마다 연안정비기본계획(이하 "연안정비기본계획"이라 한다)을 수립한다. ② 해양수산부장관은 연안정비기본계획을 수립하려면 미리 시 · 도지사의 의견을 듣고, 관계 중앙행정기관의 장과 협의한 후 제30조에 따른 중앙연안관리심의회의 심의를 거쳐야 한다. ③ 해양수산부장관은 연안정비기본계획을 수립하였을 때에는 지체 없이 이를 관보에 고시하여야 한다.	①~③ 동일 ④ 연안정비기본계획을 수립할 때는 해안사구, 염습지 등 연안재해 완충기능이 있는 그린인프라를 적극 활용하여야 한다. ⑤ 연안 그린인프라 필요지역 선정, 공법 선택 등 구체적인 사항은 해양수산부장관이 별도로 고시할 수 있다.
	제32조 자연해안관리목표제	제32조(자연해안관리목표제) ① 해양수산부장관은 자연해안의 효과적인 보전과 연안환경의 기능 증진 등을 위하여 제30조에 따른 중앙연안관리심의회의 심의를 거쳐 자연해안선의 길이 등 자연해안에 대한 관리목표를 설정할 수 있다. ② 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 제1항의 관리목표를 고려하여 제31조에 따른 지역연안관리심의회의 심의를 거쳐 관할 연안의 자연해안에 대한 관리목표를 설정할 수 있다 ③ 해양수산부장관, 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 자연해안관리목표를 달성하기 위하여 연안정비사업의 일환으로 자연해안 복원사업을 실시할 수 있다. ④ 자연해안관리목표제 및 자연해안 복원사업의 시행에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.	③ 해양수산부장관, 시 · 도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 효율적인 자연해안의 관리를 위하여 연안정비사업의 일환으로 연안재해 완충 등 자연해안의 기능을 증진하거나 복원하는 사업을 실시할 수 있다. 완충구역 조성 관련 내용 추가

법률	조항	현행	개정
			④ 해양수산부장관은 생태적·경관적으로 보전가치가 높거나 연안재해를 예방하는 데 필요한 자연해안을 자연해안완충구역으로 지정하여 관리할 수 있다. ⑤ 해양수산부장관은 연안완충구역을 지정하려면 미리 관련 시·도지사 및 시장 · 군수 · 구청장의 의견을 듣고, 관계 중앙행정기관의 장과 협의한 후 중앙연안관리심의회의 심의를 거친다. ⑥ 제1항부터 제4항까지에 따른 자연해안 관리목표 설정, 연안완충구역 지정과 관리, 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.
공유수면법	제12조(점용 · 사용허가 등의 기준)	제12조(점용 · 사용허가 등의 기준) 공유수면관리청은 제8조와 제10조에 따라 점용 · 사용허가를 하거나 점용 · 사용 협의 또는 승인을 할 때에 그 허가나 협의 또는 승인으로 피해가 예상되는 권리로서 대통령령으로 정하는 권리를 가진 자(이하 "공유수면 점용 · 사용 관련 권리자"라 한다)가 있으면 그 허가나 협의 또는 승인을 하여서는 아니 된다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다. 1. 공유수면 점용 · 사용 관련 권리자가 해당 공유수면의 점용 · 사용에 동의한 경우 2. 국가나 지방자치단체가 국방 또는 자연재해 예방 등 대통령령으로 정하는 공익사업을 위하여 점용 · 사용하려는 경우	점용·사용허가 기준에 다음 내용 추가 1. 연안재해를 완충하는 기능이 있는 바닷가 등 공유수면에 대해서는 점용·사용 및 매립을 최소화해야 한다.
갯벌법	제2조(정의)	5. "갯벌복원"이란 갯벌에 서식하는 생물의 다양성을 증진하기 위하여 개발사업 등의 영향으로 훼손된 갯벌등의 물리적 형태와 생태적 기능을 본래 갯벌등의 상태로 회복 · 증진시키는 것을 말한다.	5. "갯벌복원"이란 생물 다양성 증진, 자연재해 완충 등 갯벌의 생태계 서비스를 증진하기 위하여 개발사업 등의 영향으로 훼손된 갯벌등의 물리적 형태와 생태적 기능을 본래 갯벌등의 상태로 회복 · 증진시키는 것을 말한다.

법률	조항	현행	개정
해양 생태계법	제25조 (해양 보호 구역의 지정·관리)	① 해양수산부장관은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하여 해양생태계 및 해양경관 등을 특별히 보전할 필요가 있는 구역을 해양보호구역으로 지정 · 관리할 수 있다. 6. 해양생태계의 탄소흡수원 기능을 유지하거나 증진하기 위하여 보전이 필요한 지역	6. 해양생태계의 탄소흡수원 기능을 유지·증진하거나 기후변화 적응을 위하여 보전이 필요한 지역

자료: 개별 법률 해당 조문 및 저자 작성

▪ 연안 그린인프라 관련 지침 정비 제정

연안시설 설계기준에 제시된 연안시설 종류에 해안사구, 염습지, 해초지, 굴망태 등 연안 그린인프라를 포함할 필요가 있다. 다만 해안사구, 염습지, 해초지, 양빈 등은 선적 시설인 그레이인프라와 달리 면적·입체적 형태이므로 완충공간으로 분류하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 현행 '연안시설 설계기준'을 '연안시설·완충공간 설계기준'으로 변경하고 연안완충공간에 연안 그린인프라를 포함하는 방안을 검토할 수 있다. 또한 연안 그린인프라 관련 종합지침 마련이 필요하다. 연안 그린인프라 필요지역 선정, 연안 그린인프라 유형 선정, 연안 그린인프라 경제적 타당성 평가, 지역 이해관계자 참여 등을 담은 종합적인 연안 그린인프라 지침을 마련할 필요가 있다.

〈표 6-6〉 연안시설 유형의 개정(안)

현행	개정
○ 연안시설 종류 – 연안시설 대부분은 월파, 월류 혹은 해안침식의 저감 방지를 위해 설치되며, 이에는 방파제, 호안, 방호벽, 돌제, 소파제, 이안제, 잠제·인공 리프 매립 그리고 파력흡수를 위한 사빈 양빈 등이 포함된다	○ 연안시설 – 방파제, 호안, 방호벽, 돌제, 소파제, 이안제, 잠제·인공 리프 등 – 소파제의 하나로 굴망태 포함 ○ 연안완충공간(연안 그린인프라) – 양빈, 해안사구, 염습지, 해초지 등 ○ 하이브리드 방식 – 그레이인프라와 연안 그린인프라의 결합

자료: 저자 작성

2. 한국형 연안 그린인프라 구축 연구·기술개발

우리나라에 연안 그린인프라를 구축하기 위해서는 제도 정비와 함께 조사·연구·기술개발이 필요하다. 조사·연구에서는 먼저 현재 우리나라의 연안 그린인프라 분포와 상태에 관한 정밀한 조사가 필요하다. 염습지 등 일부 연안 그린인프라에 대한 개략적인 자료는 있으나 자료의 신뢰성 측면에서 한계가 있으므로 조석, 계절 등을 고려한 장기간의 자료를 생산할 필요가 있다. 연안 그린인프라에 대한 조사는 연안 그린인프라 구축을 위한 첫 출발이자 시급하게 추진되어야 한다.

또한 염습지, 해초지, 굴패각 등 연안 그린인프라가 갖고 있는 파도 등 해양 외력에 대한 저감 기능에 대한 연구를 추진해야 한다. 우리나라에도 연안 그린인프라가 분포하는 공간이 넓게 분포하나 자연재해 저감기능에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이 연구 또한 연안 그린인프라에 대한 조사와 함께 시급하게 이루어질 필요가 있다. 자연재해 저감기능이 탁월한 것으로 규명된 갯끈풀은 우리나라에서 위해종으로 지정되어 연안 그린인프라로 활용하는 데 한계가 있다. 그러나 우리나라에서 갯끈풀의 완전 제거가 쉽지 않고 자연재해 완충이라는 순기능이 있으므로 갯끈풀의 순기능과 역기능에 대한 과학적 연구를 실시하고 그 결과를 근거로 연안 그린인프라 활용 여부를 재검토할 필요가 있다. 더불어 식생지역의 확대 등이 기존 연안 생태계에 미치는 영향에 대한 연구도 수행되어야 한다.

연안 그린인프라 구축을 위한 기술개발에서는 우리나라 여건에 적합한 염생식물과 해초의 식재기술을 개발하고 호안 연성화를 위한 친환경 재료와 해양 부산물을 이용한 신소재를 개발할 필요가 있다.

〈표 6-7〉 연안 그린인프라 구축을 위한 연구·기술개발 내용

구분	개정	세부 내용	추진시기	
			단기	중장기
조사·연구	연안 그린인프라 분포·상태 조사	• 해양 특성 고려, 조석 주기, 계절 주기 등을 고려한 조사(예시: 사리, 여름 및 겨울 각 1회) • 계절성, 경년 변화, 기후 주기 등 반영, 장기간에 걸친 자료 취득 • 분석 방법 표준화를 통한 신뢰성 있는 자료 생산 – 갯벌: 간조 전후 30분 내 위성영상, 항공사진 등 활용하여 면적 추정	●	
	연안 식생대 재해 대응 효과 연구	• 염습지, 해초지의 연안 외력 흡수 효과 측정 • 해당 연구를 수행하기 위한 인력 양성	●	
	굴패각 외력 감소 효과 연구	• 다양한 해양환경 조건에서 굴패각 구조물의 외력 저감효과 • 굴패각 구조물 자체의 내구성에 대한 현장 측정 • 굴패각의 생물 다양성 증대효과 측정 – 대조군 대비 실제 생물 개체수 및 다양성 변화 측정 • 빈 굴패각의 잔존 유기물 제거	●	
	위해종 연안 그린인프라 활용을 위한 연구	• 위해종으로 지정된 갯끈풀의 순기능과 역기능에 관한 과학적 조사		●
	식생복원의 생태적 영향 조사	• 식생과 게 성장의 연관성에 관한 과학적 조사	●	
기술개발	염생식물 및 해초 식재기술 개발	• 우리나라 연안의 자연여건, 기상조건, 배후 개발 여건 등 고려, 염생식물과 해초 식재기술 • 해초 복원사업의 경우 거머리말 외 파력 감쇠효과가 있는 해초류 조사 및 이식기술 개발	●	
	호안 연성화를 위한 친환경 콘크리트 활용	• 생물 콘크리트 인조암 등의 호안, 방파제 등에 활용하기 위한 기술개발		●
	해양 부산물 신소재 개발	• 가리비조개 껍질을 세골재로 이용한 콘크리트 실용화 기술 • 식재 토양 조성기술		●

자료: 저자 작성

참고문헌

국내 문헌

KDI 공공투자관리센터(2016), 2016년도 예비타당성조사 보고서 국립세계문자박물관 건립사업.

KDI 공공투자관리센터·한국환경경제학회(2012), 예비타당성조사를 위한 CVM 분석 지침 개선 연구.

KDI 한국개발연구원(2004), 문화시설의 가치추정 연구.

국립생태원(2017), 우리나라의 해안사구 현황과 보전을 위한 방안, NIE Issue Brief 17-03, 6호, pp. 1-6.

국립해양조사원(2021), 연안재해취약성(위험) 평가 및 유지관리 결과보고서.

강릉시(2012), 우암 재해위험지구 정비공사 기본 및 실시설계용역 보고서.

_____(2018), 소돌해변지구 연안정비사업 기본 및 실시설계용역 보고서.

관계부처합동(2020), 제3차 기후변화대응 적응대책(2021-2025).

국립공원연구원(2021), 새만금 환경생태용지 블루카본 조성시범 사업.

박원경(2022), Gray 인프라 설치사례 조사 보고서, 자문원고.

서울대학교 산학협력단(2021), 블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성기술개발 사업 기획연구, pp.1-220.

안양대 내부자료(2019a), 바다숲-비암반 갯녹음 실태조사.

_____(2019b), 바다숲-암반 갯녹음 실태조사.

연안침식관리연구센터(2022), 경성공법 배치설계 가이드라인 실증연구 사례집, 해

양수산부.

이욱한·한상우·이정렬(2020), 연안침식 저감을 위한 경성공법 및 연성공법 배치설계 체계, 한국연안방재학회지, Vol. 7, No. 4.

이태형 외(2018), 투수 바이오 콘크리트를 사용한 해안침식 저감 방안, 한국해양공과학기술협의회 공동학술대회 발표자료.

조광우 외(2006), 해안개발사업에 따른 해안침식 영향 저감방안 연구, 환경부 연구보고서, pp. 1-245.

㈜대영엔지니어링(2014), 인공리프 시공·설계 사례집, 도서출판 밥북.

최광희 외(2012), 태풍의 통과로 인한 해안사구 지형의 침식과 회복, 한국지형학회지, 제19권 제1호, pp. 17-27.

포항지방해양항만청(2008), 죽변면 봉평지구 연안정비사업 실시설계 재검토용역 보고서.

해양수산부(2015), 충남 태안군 꽃지해수욕장 연안정비사업 실시설계 용역.

_____(2016a), 연안정비 시설물 사후관리 연구.

_____(2016b), 연안시설 설계기준·해설.

_____(2020a), 국가 해양생태계 종합조사 조사연보.

_____(2020b), 제3차 연안정비 기본계획.

_____(2020c), 제3차 연안정비기본계획 수립 보고서.

_____(2020d), 제3차 연안정비기본계획 지구별 사업조서.

_____(2020e), 제4차 연안기본조사.

_____(2021a), 2021년 연안정비 시설물 사후관리 용역 보고서.

_____(2021b), 2022년도 연안정비사업 실무편람.

_____(2021c), 제5차 해양환경 종합계획(2021-2030).

해양환경공단(2022.9.20.), 해양보호구역 지정 현황(내부자료).

환경부(2019), 제2차 기후변화대응 기본계획.

환경부·국립생태원(2017), 국내 해안사구 관리현황조사 및 개선방안 마련 연구.

KOEM(2018), 블루카본 1단계 연구 산출물(내부자료).

국외 문헌

Arkema. K. K. et al.(2013), Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms, Nature Clim Change, 3, pp. 913-918.

Arrow, K. et al.(1993), Report of the NOAA panel on contingent valuation. Federal register, 58(10), pp. 4601-4614.

Benedict, Mark A. & McMahon, Edward T.(2002), Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century, renewable Resources Journal, Autumn 2002, pp. 12-17.

Bradford, T. E. et al. (2020), Provision of refugia and seeding with native bivalves can enhance biodiversity on vertical seawalls. Marine Pollution Bulletin, 160, 111578, pp.1-9.

Bradley, K. & Houser, C.(2009), Relative velocity of seagrass blades: Implications for wave attenuation in low-energy environments. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 114(F1), pp. 1-13.

Brand, E., Ramaekers, G., & Lodder, Q.(2022), Dutch experience with sand nourishments for dynamic coastline conservation-An operational overview, Ocean & Coastal Management, 217(106008), pp. 1-17.

Bridges, T. S. et al.(2015), Use of Natural and Nature-Based Features (NNBF) for Coastal Resilience, Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center, ERDC SR-15-1.

Chávez, V. et al.(2021), Coastal green infrastructure to mitigate coastal squeeze, J Infrastruct Preserv Resil 2, 7, https://doi.org/10.1186/s43065-021-00026-1

Choi, S. M. et al.(2021), Disturbance of sedimentary processes in tidal salt marshes invaded by exotic vegetation, Science of The Total Environment, 799, 149303, pp. 1-11.

Hilke, C. et al.(2020), Softening Our Shorelines: Policy and Practice for Living Shorelines Along the Gulf and Atlantic Coasts, Washington, DC: National Wildlife Federation.

Chung, C.(2006), Forty years of ecological engineering with Spartina plantations

in China, Ecological Engineering, 27(1), pp. 49-57.

Coastal Conservancy(2012), The San Francisco Bay Living Shorelines: Nearshore Linkages Project, pp. 1-12.

Cohen-Shacham, E. et al. Eds.(2016), Nature-based Solutions to address global soci etal challenges. Gland, Switzerland: IUCN. xiii + 97pp.

Conger. T. & Chang. S. E.(2019), Developing indicators to identify coastal green infrastructure potential: the case of the Salish Sea region, Ocean & Coastal Management, 175, pp. 53-69.

Cooper, N. J.(2005), Wave dissipation across intertidal surfaces in the Wash tidal inlet, eastern England, Journal of Coastal Research, 21(1), pp. 28-40.

Currin, C. A., Delano, P. C., & Valdes-Weaver, L. M.(2008), Utilization of a citizen monitoring protocol to assess the structure and function of natural and stabi lized fringing salt marshes in North Carolina, Wetlands Ecology and Manage ment, 16(2), pp. 97-118.

Currin, C. A., Newell, S. Y., & Paerl, H. W.(1995), The role of standing dead Spartina alterniflora and benthic microalgae in salt marsh food webs: considerations based on multiple stable isotope analysis, Marine Ecology Progress Series, 121, pp. 99-116.

Dixon, A. M., Leggett, D. J., & Weight, R. C.(1998), Habitat creation opportunities for landward coastal re-alignment: Essex case studies, Water and Environme nt Journal, 12(2), pp. 107-112.

EC(2013), Green Infrastructure — Enhancing Europe's Natural Capital(2013/2663 (RSP)).

Elias, E. P. & van der Spek, A. J.(2017), Dynamic preservation of Texel Inlet, the Neth erlands: understanding the interaction of an ebb-tidal delta with its adjacen t coast, Netherlands Journal of Geosciences, 96(4), pp. 293-317.

Elias, E. P. et al.(2012), Morphodynamic development and sediment budget of the Dutch Wadden Sea over the last century, Netherlands Journal of Geoscienc es, 91(3), pp. 293-310.

Gittman et al. (2014), "Marshes with and without sills protect estuarine shorelines

from erosion better than bulkheads during a Category 1 hurricane, Ocean & Coastal Management, 102, pp. 94-102.

Gornitz, V.(1990), Vulnerability of the East Coast, USA to future sea level rise, Journa l of Coastal research, pp. 201-237.

Green-Gray Community of Practice(2020), Practical Guide to Implementing Green -Gray Infrastructure.

Hapburn Dune Living Shoreline Project report(2019), pp.1-180.

Hartig, EK et al.(2002), Anthropogenic and climate-change impacts on salt marshes of Jamaica Bay, New York City, Wetlands, 22(1), pp. 71-89.

IUCN(2020), Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Soluti ons, A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions, First edition, Gland, Switzerland: IUCN.

Jadhav, R. S. & Chen, Q.(2013), Probability distribution of wave heights attenuated by salt marsh vegetation during tropical cyclone, Coastal Engineering, 82, pp. 47-55.

Jeong, D. et al.(2021), Planning a Green Infrastructure Network to Integrate Potenti al Evacuation Routes and the Urban Green Space in a Coastal City: The Case Study of Haeundae District, Busan, South Korea, Sci Total Environ, 2021 Mar 20;761:143179. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143179, Epub 2020 Oct 28. PMID: 33160658.

Keryn B. Gedan et al.(2010), The Present and Future Role of Coastal Wetland Vegetat ion in Protecting Shorelines: Answering Recent Challenges to the Paradig m", Climatic Change 106 (1), pp.7–29.

Knutson, P. L. et al.(1982), Wave damping inspartina alterniflora marshes, Wetland s, 2(1), pp. 87-104.

Koroglu, A. et al.(2019), Comparison of coastal vulnerability index applications for Barcelona Province, Ocean & coastal management, 178, https://doi.org/1 0.1016/j.ocecoaman.2019.05.001.

Kroeger, T.(2012), Dollars and Sense: Economic benefits and impacts from two oyst er reef restoration projects in the Northern Gulf of Mexico, The Nature Cons ervancy, 101, pp. 1-110.

Liquete. C. et al.(2013), Assessment of coastal protection as an ecosystem service in Europe, Ecological Indicators, 30, pp. 205-217.

Mazda, Y. et al.(2006), Wave reduction in a mangrove forest dominated by Sonnerati a sp, Wetlands Ecology and Management, 14(4), pp. 365-378.

Mcleod, E. et al.(2011), A blueprint for blue carbon: toward an improved understand ing of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2, Frontiers in Ecology and the Environment, 9(10), pp. 552-560.

Möller et al.(2014), Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions, Nature Geosicence, 7, pp. 727-731.

Möller, I. & Spencer, T.(2002), Wave dissipation over macro-tidal saltmarshes: Effec ts of marsh edge typology and vegetation change, Journal of coastal researc h, 36(10036), pp. 506-521.

Möller, I. et al.(1999), Wave transformation over salt marshes: a field and numerical modelling study from North Norfolk, England, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 49(3), pp. 411-426.

Möller, I.(2006), Quantifying saltmarsh vegetation and its effect on wave height dissi pation: Results from a UK East coast saltmarsh, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 69(3-4), pp. 337-351.

Mork, M.(1996), The effect of kelp in wave damping, Sarsia, 80(4), pp. 323-327.

Narayan et al.(2016), The effectiveness, costs and coastal protection benefits of nat ural and nature-based defences, PloS one, 11(5), e0154735, pp. 1-17.

New Jersey Resilient Coastlines Initiative (2016), A community resource guide for planning living shorelines projects.

Paul, M., & Amos, C. L.(2011), Spatial and seasonal variation in wave attenuation over Zostera noltii, Journal of Geophysical Research: Oceans, 116(C8), pp. 1-16.

Quartel, S. et al.(2007), Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delt a, Vietnam, Journal of Asian Earth Sciences, 29(4), pp. 576-584.

Redelstein et al.(2018), Water sources of plant uptake along a salt marsh flooding gradient, Oecologia, 188, pp. 607-622.

Reguero et al.(2018), Comparing the cost effectiveness of nature-based and coastal

adaptation: A case study from the Gulf Coast of the United States, PloS one, 13.4 e0192132, pp. 1-24.

Ruckelshaus. M. H. et al.(2016), Evaluating the Benefits of Green Infrastructure for Coastal Areas: Location, Location, Location, Coastal Management, 44(5), pp. 504-516.

Seo, JY., Choi, SM., & Ha, HK.(2021), Assessment of potential impact of invasive vegetation on cohesive sediment erodibility in intertidal flats, Science of The Total Environment, 766(144493), pp. 1-10.

Shepard, C. et al.(2012), Assessing future risk: quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York, N atural hazards, 60(2), pp. 727-745.

Smith, S M.(2015), Does loss of salt marsh vegetation caused by a native grapsid crab improve habitat suitability for the Atlantic mud fiddler (Uca pugnax)?, Jour nal of Crustacean Biology, 35(5), pp. 616-621.

The Coastal Green Infrastructure and Ecosystem Services(CGIES) Task Force(2015), Ecosystem-Service Assessment: Research Needs for Coastal Green Infrastru cture, NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL.

Toft, J. D. et al.(2017), Living Shorelines: The Science and Management of Nature-B ased Coastal Protection, CRC Press, pp. 1-821.

UNEP(2014), Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects.

Vo-Luong, P. & Massel, S.(2008), Energy dissipation in non-uniform mangrove fore sts of arbitrary depth, Journal of Marine Systems, 74(1-2), pp. 603-622.

Wainright, SC. et al.(2000), Relative importance of benthic microalgae, phytoplank ton and the detritus of smooth cordgrass Spartina alterniflora and the comm on reed Phragmites australis to brackish-marsh food webs, Marine Ecology Progress Series, 200, pp. 77-91.

Wayne, C.J.(1976), The effect of sea and marsh grass on wave energy, Coastal Resear ch Notes, 14, pp. 6-8.

Yang et al.(2008), Spatial and temporal variation in sediment grain size in coastal

wetlands, Yangtze Delta: on the role of physical and biotic controls, Estuar Coast Shelf Sci, 77, pp. 657-671.

Ysebaert, T. et al.(2011), Wave attenuation by two contrasting ecosystem engineering salt marsh macrophytes in the intertidal pioneer zone, Wetlands, 31(6), pp. 1043-1054.

야마우치(山内匡)(2016), ホタテ貝殻を細骨材として用いたコンクリートの実用化に関する研究, 박사학위논문, 早稲田大学, pp. 1-153.

인터넷 자료

American Flood Coalition, Adapting to flooding and sea level rise through wetland conservation, https://floodcoalition.org/2022/02/adapting-to-flooding-and-sea-level-rise-through-wetland-conservation/(검색일: 2022.6.15.)

Coastal Conservancy, San Francisco Bay Living Shorelines Project, https://scc.ca.gov/climate-change/climate-ready-program/san-francisco-bay-living-shorelines-project/(검색일: 2022.9.20.)

Fenwick 웹페이지, Hepburn Family Preserve Living Shoreline Project - October 23 Update, https://www.boroughoffenwick.com/home/news/hepburn-family-preserve-living-shoreline-project-october-23-update(검색일: 2022.9.20.)

Reef Innovation, Oyster Reefs, https://reefinnovations.com/services/ecosystem-restoration/oyster-reefs(검색일: 2022.6.2.)

SAGE 보고서, Natural and Structural Measures for Shoreline Stabilization, http://sagecoast.org/docs/SAGE_LivingShorelineBrochure_Print.pdf(검색일: 2022.8.8.)

SIMS, New Living Seawall Installation at Balmain, http://www.sims.org.au/news/115/new-living-seawall-in-balmain(검색일: 2022.6.2.)

The World Bank, Nature-Based Solutions for Disaster Risk Management, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentd

etail/25340155112625209 2/booklet(검색일: 2022.6.5.)

Wid Fact, Tape seagrass, http://www.wildsingapore.com/wildfacts/plants/seagrass/enhalus.htm (검색일: 2022.5.20.)

공공데이터포털 웹페이지, 국립해양조사원 해안선자료, https://www.data.go.kr/data/15083948/fileData.do(검색일: 2022.12.6.)

구글 맵, 항공사진, https://www.google.com/maps/?hl=ko(검색일: 2022.12.28.)

국가지표체계, https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4229(검색일: 2022.9.19.)

기후경제 블로그, SK이노베이션 베트남 맹그로브숲 복원사업, https://thecce.kr/1440(검색일: 2022.9.20.)

낙동강하구에코센터, 염생식물, https://www.busan.go.kr/wetland/ndeplant02(검색일: 2022.5.6.)

델라웨어 숨쉬는 해안선, Living shorelines are the natural and effective way to protect Delaware's shorelines, https://www.delawarelivingshorelines.org/(검색일: 2022.5.7.)

미국 뉴햄프셔 대학 씨그랜트, https://seagrant.unh.edu/projects/healthy-coastal-ecosystems/coastal-habitat-restoration(검색일: 2022.9.6.)

미국 플로리다 숨쉬는 해안선, Types of living shorelines, https://floridalivingshorelines.com/types-of-living-shorelines/(검색일: 2022.4.5.)

미국 해양대기청(NOAA), Digital Coast, https://coast.noaa.gov/digitalcoast/topics/green-infrastructure.html#The%20Basics(검색일: 2022.9.6.)

_____, https://coast.noaa.gov/digitalcoast/topics/green-infrastruc(검색일: 2022.7.5.)

_____, Digital Coast, https://coast.noaa.gov/greeninfrastructureguide(검색일: 2022.9.13.)

_____, Fisheries, https://www.fisheries.noaa.gov/insight/understanding-living-shorelines(검색일: 2022.4.5.)

미국국방부, 허리케인 샌디 복구 엔지니어링, https://www.army.mil/article/143684/engineering_the_recovery_from_hurricane_sandy(검색일: 2022.4.6.)

미국환경보호청, Benefits of Green Infrastructure, https://www.epa.gov/green-infrastructure/benefits-green-infrastructure(검색일: 2022.4.6.)

순천만습지, 포토갤러리, https://scbay.suncheon.go.kr/wetland/(검색일: 2022.5.6.)

카카오 맵, 항공사진, https://map.kakao.com/(검색일: 2022.12.28.)

토코지오테크 주식회사, 아루플러스 공법, https://www.toko-geo.co.jp/construction/norimen_01(검색일: 2022.5.5.)

통계청 웹페이지, 가구원수별 가구구성과 평균 가구원수, https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4229(검색일: 2022.9.19.)

_____, 전국 연안습지(갯벌)의 행정구역별 면적, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=146&tblId=DT_MLTM_1369(검색일: 2022.12.6.)

특허청 자료, 친환경 다공성 경량 바이오 세라믹 스톤을 이용한 생물 콘크리트 인조암의 제조 및 조성방법, https://patents.google.com/patent/KR101490878B1/ko(검색일: 2022.9.17.)

해양수산부, 2020년도 연안침식 실태조사 결과 공개, https://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=38786&boardKey=2&currentPageNo=1(검색일: 2022.8.22.)

해양환경정보지도 웹페이지, 갯벌, https://www.meis.go.kr/map/oemsBaseMap.do(검색일: 2022.12.6.)

현대해양, 연안재해관리, 접근론적으로 대응해야, http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=14288(검색일: 2022.6.10.)

보도 자료

East Bay Times 보도자료(2016.7.19.), Artificial oyster reefs planted in San Francisco Bay to bring back the native shellfish, https://www.eastbaytimes.com/2013/11/15/artificial-oyster-reefs-planted-in-san-francisco-bay-to-bring-back-the-native-shellfish/(검색일: 2022.8.2.)

ESRI 보도자료(2014 summer), GIS Helps Integrate Coastal Hazard Risk and Sea Lev

el Rise, https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/gis-helps-integrate-coastal-hazard-risk-and-sea-level-rise/(검색일: 2022.7.1.)

KBS 보도자료(2021.10.4.), 해초'가 탄소흡수!…'바다숲'으로 '온실가스 감축, https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148905918(검색일: 2022.7.1.)

KtN 보도자료(2020.9.18.), '꽃지해수욕장' 연안정비사업 최우수 사례로 선정, http://www.k-trendynews.com/news/articleView.html?idxno=53929(검색일: 2022.5.1.)

Tallahassee Democrat 보도자료(2019.10.7.), Oyster reef dome creates opportunities for cleaner water, https://www.tallahassee.com/story/life/causes/2019/10/07/oyster-reef-dome-creates-opportunities-cleaner-water/3865442002/(검색일: 2022.8.8.)

The Nature Conservacy 보도자료(2018.12.12.), Oyster Reef Restoration, https://www.nature.org/en-us/newsroom/oyster-reef-restoration/(검색일: 2022.6.2.)

U.C. Santa Cruz 보도자료(2017.8.31.), Coastal wetlands dramatically reduce property losses during hurricanes, https://news.ucsc.edu/2017/08/coastal-wetlands.html(검색일: 2022.5.5.)

WGCU 보도자료(2017.3.17.), Artificial Mangroves Could Bring Back Vanishing Habitats In Florida, https://news.wgcu.org/environment/2017-03-17/artificial-mangroves-could-bring-back-vanishing-habitats-in-florida(검색일: 2022.7.1.)

강릉시청 보도자료(2014. 7. 3.), '소돌해변' 해안 침식방지공사로 명품해변으로 탈바꿈(검색일: 2022. 7. 5.)

경인일보 보도자료(2017.5.12.), 소중한 '바다 숲 만들기' 값진 체험, http://www.kyeongin.com/main/view.php?key=20170511010003769(검색일: 2022.3.4.)

국립공원공단 보도자료(2021.6.17.), 태안해안사구 20년만에 축구장 9배 넓이로 복원, https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148888823(검색일: 2022.5.10.)

문화마당 보도자료(2022.3.6.), '해양보호구역' 통영 선촌마을 사람들은 바다에 모심기를 합니다(검색일: 2022.8.24.)

산업일보 보도자료(2019.8.20.), 바스프, 다도해 해상국립공원에 엘라스토코스트(Elastocoast®) 솔루션 적용, https://www.kidd.co.kr/news/210677(검색일: 2022.9.8.)

연합뉴스, 강릉 소돌해변 모래 실종…넓힌 백사장 다시 사라져, https://www.yna.co.kr/view/AKR20150512136600062(검색일: 2022.7.5.)

해양수산부 보도자료(2020.2.13.), 통영시 선촌마을 앞바다, 해양보호구역으로 지정(검색일: 2022.9.7.)

_____(2020.9.18.), 우리 연안, 이렇게 바뀌었습니다!, https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156473660(검색일: 2022.9.10.)

_____(2021.3.18), 수산자원 관리의 패러다임이 바뀐다(검색일: 2022.2.20)

_____(2021.6.21.), 우리나라 해안선 길이 얼마나 될까?(검색일: 2022.6.9.)

_____(2021.7.19.), 경기도 화성 매향리 갯벌, 습지보호지역으로 지정(검색일: 2022.9.7.)

_____(2022.3.30.), 탄소중립을 향한 새로운 접근, 갯벌 식생 복원사업 본격 추진(검색일: 2022.9.8.)

_____(2022.11.28.), 갯벌의 탄소흡수력을 활용한 블루카본 확대 추진한다(검색일: 2022.12.1.)

현대해양(2021.4.6.), 연안재해관리, 접근론적으로 대응해야, http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=14288(검색일: 2022.6.10.)

법령 자료

갯벌 및 그 주변지역의 지속가능한 관리와 복원에 관한 법률(2021. 11. 30., 타법개정, 법률 제18522호).

공유수면의 관리 및 매립에 관한 법률(2022. 1. 4., 일부개정, 법률 제18694호).

사방사업법(2021.4.13., 법률 제18022호).

연안관리법(2021.11.30., 타법개정, 법률 제18522호).

연안관리법 시행규칙(2021.2.17., 일부개정, 해양수산부령 제460호)

연안정비 시설물 사후관리 및 효과평가 시행지침(2022.5.30., 해양수산부고시 제 2022-85호).

산지관리법(2021.6.15., 일부개정, 법률 제18263호)

습지보전법(2021.1.5., 일부개정, 법률 제17844호)

자연환경보전법(2022.6.10., 일부개정, 법률 제18910호)

자연재해대책법(2021.6.15., 법률 제18284호).

해안방재림 조성지침(2011.4.12., 산림청지침).

해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률(2020.12.8., 일부개정, 법률 제17621호).

부 록

1. 해안산구 복원사업에 대한 국민 의견조사

해안사구 복원사업에 대한 국민 의견조사

안녕하십니까?

본 설문은 한국해양수산개발원에서 수행하고 있는 연안 그린인프라 구축 및 활용방안 연구의 일환으로 해안사구 복원사업에 대한 귀하의 의견을 여쭙고자 합니다. 각 질문에 대해 옳거나 그른 답이 있는 것은 아니므로, 귀하의 의견을 신중하고 편하게 말씀해 주시면 됩니다. 만약 이해가 되지 않는 부분이 있다면 주저하지 마시고 설문조사원에게 질문하여 주십시오.

본 조사에서 밝혀주신 귀하의 고견은 통계법 제8조와 제9조에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며, 오직 연구 목적의 통계적 분석을 위해서만 사용될 것입니다.

감사드립니다.

2022년 08월

주관 : 한국해양수산개발원

연구 수행 : 해랑기술정책연구소 (031-888-5515)

※ 본 설문조사는 소득이 있는 가구의 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자만을 대상으로 하오니 이에 해당되지 않으신 분은 설문을 실시하지 마십시오.

- 응답자에게 모든 응답 내용은 비밀로 보장될 것이며, 응답자의 성명이 응답 내용이나 설문결과와 함께 다루어지는 일은 절대 없을 것임을 확인시켜 주십시오.
- 면접조사가 시작된 시간을 반드시 기입해 주십시오.
- 모든 질문에 대해 응답 거부, 모름, 무응답 등의 답변이 허용되지만, 이러한 선택사항에 대해 미리 피면접자에게 읽어 주지는 마십시오.

▣ 지 역: 1. 서울 2. 부산 3. 대구 4. 인천 5. 광주
6. 대전 7. 울산 8. 경기 9. 강원 10. 충북
11. 충남 12. 전북 13. 전남 14. 경북
15. 경남 16. 세종

▣ 성 별: 1. 남성 2. 여성

▣ 연 령: (만 세)

▣ 세대주 여부 : 1. 세대주 2. 세대주의 배우자

Part A. 해안사구 기능별 중요도 조사

A1. 귀하께서는 평소 아래의 항목에 대해 얼마나 알고 계십니까?

항목	전혀 모른다	들어본 적 있다	어느 정도 알고 있다	잘 알고 있다	매우 잘 알고 있다
연안 그린(Green)인프라	1점	2점	3점	4점	5점
연안 그레이(Gray)인프라 (예. 방파제)	1점	2점	3점	4점	5점
해안사구	1점	2점	3점	4점	5점
탄소발자국 (Carbon footprint)	1점	2점	3점	4점	5점
염습지	1점	2점	3점	4점	5점
해중림	1점	2점	3점	4점	5점
해초지	1점	2점	3점	4점	5점
굴 암초 (Oyster reef)	1점	2점	3점	4점	5점
엘라스토코스트 (Elastocoast)	1점	2점	3점	4점	5점

※ 설문원은 응답자에게 [보기카드 A]를 설명한 후, 질문 A2로 이동하여 주십시오.

A2. 다음 다섯 가지 항목은 해안사구를 보존하거나 복원(조성)할 경우, 기대되는 긍정적인 효과입니다. 당신이 생각하는 다섯 가지 해안사구 **기능별 중요도**를 5점 척도로 응답해 주시기 바랍니다. (1점: 매우 중요하지 않음, 5점: 매우 중요함)

항목	중요도				
생물 서식지 제공	1점	2점	3점	4점	5점
해수욕장 이용기회확대	1점	2점	3점	4점	5점
침식/ 침수 등 자연재해 예방	1점	2점	3점	4점	5점
탄소흡수원 확대	1점	2점	3점	4점	5점
자연경관 유지/제공	1점	2점	3점	4점	5점

A3. 당신은 다음 항목에 대해 해안사구의 효과가 **방파제 대비** 어느 정도 라고 생각하십니까? 5점 척도로 응답해 주시기 바랍니다. (1점: 효과가 매우적음, 5점: 효과가 큼)

항목	효과				
생물 서식지 제공	1점	2점	3점	4점	5점
해수욕장 이용기회확대	1점	2점	3점	4점	5점
침식/ 침수 등 자연재해 예방	1점	2점	3점	4점	5점
탄소흡수원 확대	1점	2점	3점	4점	5점
자연경관 유지/제공	1점	2점	3점	4점	5점

Part B. 해안사구 가치에 대한 인식조사

※ 설문원은 [보기카드 B] 설명한 후 아래 지문을 읽어주십시오.

정부에서는 **백사장 침식이 진행되고 있는 해변을 대상**으로 **모래와 사구식생을 복원(조성)하는 정비사업**을 추진할 계획입니다. 이로 인해 백사장 평균 단면적 증가, 관광객 증가, 기존 대비 높은 재해 위험 개선 효과 등이 기대됩니다. **다만** 이러한 사업의 시행을 위해서는 **많은 비용이 소요**되며 이를 **귀하의 가구가 부담하는 세금으로 충당**하고자 합니다.

본 조사에서는 해안사구 복원사업을 시행하는 것에 대해 귀하의 가구가 판단하시는 가치에 대해 알고자 합니다. 해안사구 복원사업을 위한 지불에 귀하의 가구가 동의하신다면, 그 재원은 귀하의 가구가 향후 **5년 동안 매년 1회 추가적으로 부담하는 소득세**를 통해 충당됩니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도(식비, 의복비, 주거비 등)로 지출되어야 한다는 사실을 고려하신 후 다음 질문에 신중하게 대답해 주시기 바랍니다.

B1. 귀하의 가구는 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 1회(　　원)을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?

① 예 ─▶ [B2로 가십시오]　　② 아니오 ─▶ [B3로 가십시오]

B2. 귀하의 가구는 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 1회(　　원)**[제시금액 2배]**을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?

① 예 ─▶ [B5로 가십시오]　　② 아니오 ─▶ [B5로 가십시오]

B3. 귀하의 가구는 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 1회(　　원)**[제시금액 1/2배]**을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?

① 예 ⟶ [B5로 가십시오]　　② 아니오 ⟶ [B4로 가십시오]

B4. 그렇다면, 귀하의 가구는 단 1원도 지불할 의사가 없습니까?

① 아니오, 조금은 지불할 의사가 있다 ⟶ [B5로 가십시오]
② 예, 전혀 지불할 의사가 없다 ⟶ [파트C로 가십시오]

B5. 그렇다면, 귀하의 가구가 **해안사구 복원사업의 시행**을 위해 향후 5년 동안 매년 추가적으로 지불할 수 있는 가구당 소득세의 최대금액은 얼마입니까? 향후 5년 동안 매년 (　　)원

Part C. 응답자 특성

C1. 귀하는 1년에 해수욕장을 몇 번 방문하십니까?

1. 한번도 방문하지 않음
2. 1~2번
3. 3~5번
4. 6번 이상

-> (C1 응답 2,3,4)인 경우 C1-1로 이동

C1-1. 태안군 안면도에 위치한 꽃지 해수욕장에 방문한 경험이 있습니까?

1. 네
2. 아니요

C2. 귀하는 자연재해(태풍, 해일 등)로 인한 경제적·신체적 피해를 입은 경험이 있습니까?

1. 네
2. 아니요

C3. 귀하는 평소 환경세(오염, 에너지, 탄소배출, 연료소비, 폐기물생산 및 처리, 천연자원사용, 자동차 및 기타운송 등에 대한 세금 등)에 대해 어떻게 생각하십니까?

1. 긍정적
2. 부정적
3. 생각해본 적 없음

C4. 현재 해안지역(바다까지 도보 10분 이내)에 거주하고 있거나, 거주한 경험이 있습니까?

1. 네
2. 아니요

C5. 현재 직계가족 중 해안지역(바다까지 도보 10분 이내)에 거주하는 분이 있습니까?

1. 네
2. 아니요

C6. 귀하의 현재 혼인 상태는 어떻게 되십니까?

1. 미혼
2. 기혼

C7. 귀하의 가구원은 총 몇 명입니까? (본인을 포함하여 현재 가구 내에 같이 살고있는 가족을 기준으로 작성하여 주십시오.)

1. 1명
2. 2명
3. 3명
4. 4명
5. 5명 이상

-> (C7 응답 2,3,4,5)인 경우 C7-1로 이동

C7-1. 귀하의 가정에 만 12세 미만의 자녀가 있습니까?

1. 네
2. 아니요

C8. 귀하의 최종 학력은 무엇입니까?

1. 중학교 졸업 이하
2. 고등학교 졸업
3. 대학교 중퇴
4. 2년제 대학 졸업
5. 4년제 대학 졸업

6. 석사 졸업
7. 박사 졸업

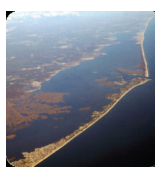
C10. 귀하(또는 가정)의 연소득(세금 전)은 얼마입니까?

1. 3,000만원 이하
2. 3,000 - 3,999만원
3. 4,000 - 4,999만원
4. 5,000 - 5,999만원
5. 6,000 - 6,999만원
6. 7,000 - 7,999만원
7. 8,000 - 8,999만원
8. 9,000 - 9,999만원
9. 10,000 - 19,999만원
10. 20,000만원 이상

연안 그린인프라 개념 및 기능 [보기카드 A]

1. 연안 그린인프라 개념

연안 **그**린인프라(Green Infrastructure)는 "자연재해 저감과 같은 **연안의 문제를 해결하는 수단**으로 **자연 또는 자연의 프로세스/재료를 활용**한 시스템" 임. 대표적인 예로는 해안사구, 염습지, 굴 또는 산호 초, 보초섬, 해중림 또는 관목군락 등이 있음.
이와 상반되는 개념으로는 연안**그레이**인프라(Gray Infrastructure)가 있으며, 방파제, 수중 방파제, 이안제 등이 있음.

해안사구	염습지	굴 또는 산호 초	보초섬	해중림 또는 관목군락
				

2. 연안 그린인프라 기능

연안 그린인프라의 기능은 대표적으로 홍수예방, 기후복원력, 수질개선, 물 공급, 대기질 개선, 생물 서식지 제공 및 연결, 레크리에이션 공간, 건강상의 이점 등이 있음.

주요 기능	정의
홍수 예방	그린인프라 시설은 우수 배출을 늦추고 감소시켜 홍수 위험을 완화함
기후복원력	습지 및 모래언덕으로 완충지대를 제공할 뿐 아니라 습지의 경우 해수면 상승에 맞추어 연안육역 고도를 높임
수질 개선	해초지, 염습지 등 식생을 통한 질소 제거 효과로 수질 향상
물 공급	토양에 스며든 물을 저장하는 사구는 지하수를 재충전하여 안정적인 물 공급 제공
대기질 개선	염습지의 경우 미세먼지 등 대기오염 물질 제거
생물 서식지 제공 및 연결	연안 자연환경을 배치한 그린인프라는 다양한 생물의 서식지로 활용되고 야생 동물 이동을 촉진하여 서식지 간 개체군 연결
레크리에이션 공간	그린인프라 시설로 인한 자연친화적인 다양한 여가 활동 공간 제공
건강상의 이점	더 많은 녹지공간은 야외 신체 활동을 장려하여 비만을 줄이고 심장병, 고혈압 등 만성 질환을 예방하여 건강한 삶의 영위하도록 함

해안사구 정비사업 사례_꽃지해변 [보기카드 B]

꽃지해변은 태안의 대표 해변으로 많은 관광객이 찾는 곳입니다. 그러나 2002년 안면도 국제 꽃 박람회 방문객을 위한 **호안도로 건설 이후 백사장의 침식**이 발생하였습니다. 원인을 분석한 결과, 도로 설치로 인해 사구의 파랑 흡수기능이 상실하게 된 것이 주요 원인으로 지적되었습니다.

도로건설로 인한 백사장 모래 유실 및 배후부지 침식이 지속됨에 따라, 2016년에 대산해양수산청은 침식에 대응하기 위해 **해안도로를 철거하고 모래와 사구 및 식생을 조성하는 정비사업**을 추진하였습니다.

이러한 **정비사업 결과**(해안사구를 조성한 결과), **백사장 평균 단면적이 2016년 대비 30% 증가**했으며, **관광객도 75%증가**하였다. 또한 사구 본래의 파력 흡수 기능을 회복시켜 **재해 위험 개선 측면에서 높은 평가**를 받았습니다.

사업 전	사업 후
	
	

2. 선행연구 목록

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
국내 연구	1	• 제목 : 기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립_ 그린인프라의 방재효과 및 적용방안 • 연구자(년도) : 강정은 외 (2011) • 연구목적 : 그린인프라 활용 제안과 그린인프라의 도시홍수 저감 측면의 효용성 분석	• 다중회귀분석을 이용한 풍수해 피해저감 효용성 분석 • GIS와 frequency ratio를 활용한 홍수취약성 분석	• 도시 리뉴얼과 그린인프라 개념과 현황 • 그린인프라 방재효과 분석 • 도시 리뉴얼을 위한 그린인프라 계획틀 개발 • 도시 리뉴얼 사례 : 부산 남구, 연제구
	2	• 제목 : 기후변화 적응을 위한 한국형 그린인프라 구축방안 연구 • 연구자(년도) : 윤주환 외 (2009) • 연구목적 : 기후변화 적응 차원에서 도시 물환경 분야의 한국형 그린인프라 구축방안 제시	• 문헌조사 • 해외사례 분석 • 전문가 자문	• 도시 물순환 체계 중심의 그린인프라 개념 정립 • 기후변화 적응에서 그린인프라의 기능과 역할 및 적용사례 연구 • 도시 물순환 체계 중심의 그린인프라 정책 제안 및 로드맵
	3	• 과제명 : 도시홍수 방재를 위한 그린 인프라스트럭처 공간분석 • 연구자(년도) : 이혜경 (2020) • 연구목적 : 스마트한 도시 홍수 방재를 위한 비구조적 저감방안 제시	• GI의 스마트한 공간배치 및 구성이 도시홍수에 미치는 영향 관계 분석	• 개발 패턴의 연결성이 높아질수록 홍수피해액이 감소하며, 개발요소 중 유효한 요소는 격리(isolation) 부분으로 개발면적 주변 800m 반경 안에 개발면적의 요소가 적게 모여 있을수록 홍수피해액이 낮게 나타남 • 개발면적 요소와 주변 개발면적 요소의 거리가 가까워질수록 홍수피해액은 감소
	4	• 제목 : 국토-환경계획 통합관리를 위한 공간환경정보 및 그린인프라 적용 연구(Ⅱ) • 연구자(년도) : 신영규 외 (2019)	• 문헌조사 • Landsat-8 열적외선 영상을 이용한 열환경 분석	• 지자체 환경보전계획 현황 및 문제점 • 지표온도지도 제작을 통한 지역별 열환경 분석 • 토지피복별 열환경 분석

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
		• 연구목적 : 지자체 환경보전계획 수립을 위한 공간환경정보 및 그린인프라 활용방안		
	5	• 제목 : 그린인프라를 이용한 도시재해 대응방안 마련 연구(I) • 연구자(년도) : 공학양 외 (2016) • 연구목적 : 도시 시가화 지구의 그린인프라 유형과 열분포 기능 분석	• 문헌조사 • 수원지역 Landsat-8 열적외선 영상을 이용한 그린인프라의 열환경 분석	• 그린인프라 정의 및 정책 사례 • 수원시 그린인프라 탐색 • 수원시 그린인프라 유형별 열환경 분석
	6	• 제목 : 도시홍수 피해 저감을 위한 최적의 표면유출 네트워크 기반의 그린인프라스트럭처 계획 • 연구자(년도) : 한효주 외 (2020) • 연구목적 : 도시홍수 발생 시 표면유출 피해 저감을 위한 최적 경로 도출, 그린인프라스트럭처 적지 선정 및 적용 계획 제시	• 문헌조사 • 최적 표면유출 네트워크 도출을 위한 최소비용경로 (Least-Cost Paths, LCP) 분석	• 대전광역시 대상으로 최적의 표면유출 경로 도출 (LCP 분석) • 그린 인프라스트럭처 우선 적용을 위한 적지 선정 • 도시홍수 피해 저감을 위한 최적의 표면유출 네트워크 기반의 그린 인프라스트럭처 계획 제시
	7	• 제목 : 연안환경 복원의 경제적 편익 분석 • 연구자(년도) : 신철오 외 (2007) • 연구목적 : 경제학적 측면에서 연안환경 복원의 편익 측정	• 문헌조사 • 컨조인트 분석법을 활용한 연안환경 복원의 편익 분석	• 연안 생태계 복원 개념 • 복원의 경제적 편익측정을 위한 방법론 • 연안환경 경제적 편익 산출
	8	• 제목 : 태풍의 통과로 인한 해안사구 지형의 침식과 회복 • 연구자(년도) : 최광희외 (2012) • 연구목적 : 서해안 사구 보전상태와 태풍에 따른 침식피해 관계 규명	• 문헌조사 • 현장조사	• 서해안 해안사구 현황 분석 • 태풍 곤파스(2010) 전후 해안사구 지대 침식 피해 분석 • 태풍 내습 이후 사구 복원 과정 모니터링

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	9	• 제목 : 연안재해 저감 대응을 위한 해안사구의 침식과 복원 메커니즘 연구 • 연구자(년도) : 신성원(2020) • 해안사구를 통한 재해 저감 및 효과적인 관리 기술 개발	• 문헌 조사 • 해안사구 조성 연안 수리특성에 관한 고정상 수리모형 실험 • 해안사구 침식 및 복원 메커니즘 분석을 위한 이동상 대형 수리모형 실험	• 수치해석을 통한 해안사구의 연안침식, 재해저감 및 표사 이동 정성적 예측 • 해안사구의 재해 저감 효과 분석 • 해안사구의 침식 및 자연복원 메커니즘 분석 • 해안사구와 연안의 횡단표사 이동의 상호작용 분석 • 인공 해안사구 조성안 및 적용성 분석
	10	• 제목 : 그린인프라 제도/정책 및 재원관리의 선진화(R&D) • 연구자(년도) : 최지용외(2021) • 연구목적 : 육상 강우유출수 관리를 위한 그린인프라 정책·제도 및 재원관리 방안 마련	• 문헌조사 • 실외 성능평가 실험 • 기후환경 실험 • GIS 기반 통계 산정	• 강우유출수 관리목표 설정 방법론 정립 • 그린인프라 정책 및 제도 개선 로드맵 구축 • 토지피복도 기반 투수/불투수 제작 • 그린인프라 법/제도/규정/지침 통합방안 • 그린인프라 재원 선진화 방안
	11	• 제목 : 도시 리질리언스 향상을 위한 재해별 그린인프라 유형 고찰 • 연구자(년도) : 이혜민외(2018) • 연구목적 : 홍수, 열섬, 가뭄 대상재해별 그린인프라 주요 유형 추출 및 활용 방안	• 이론 고찰 • 서지관리 프로그램인 Endnote X7를 이용한 선행연구 분석	• 분야별 그린인프라 유형 • 재해별 그린인프라 주요 유형 도출 • 도시 리질리언스 향상을 위한 재해별 그린인프라 활용 방안
국외 연구	1	• 제목: Defining Coastal Resilience • 연구자(년도): Masselink & Lazarus(2019) • 연구목적: Coastal Resilience에 대한 개념 정의를 통해, 환경 관리에 대한 함의 제시	• 개념 제안/정의 페이퍼 • 문헌조사	• Coastal Resilience는 해수면 상승과 같은 교란에 대응하는 사회경제 및 자연적 시스템의 수용력으로, 본질적인 기능을 유지하며 적응함 • 연안 환경 관리를 위해서는 Coastal Resilience를 활용해야 함

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	2	• 과제명 : Coastal green infrastructure as a sea level rise adaptation measure: assessing environmental, local, and institutional contexts • 연구자(년도) : Conger(2018) • 연구목적 : 환경적, 지역적, 정책적 맥락에서 CGI를 적용(사례지역 대상)	• CI index 개발(CGI coastal protection index, CGI vulnerability index) • 콘텐츠 분석 • 전문가 세미나, 워킹그룹 등 개최	• GCI의 적용은 지역, 환경, 정책적 맥락에서 매우 상이한 이익(benefit)을 가져올 수 있음 • 다양한 맥락을 고려하는 것이 성공적 GCI 실행에 중요한 요소
	3	• 제목: Developing indicators to identify coastal green infrastructure potential: The • case of the Salish Sea region • 연구자(년도): Conger & Chang(2019) • 연구목적: 해안 취약성을 고려한 coastal green infrastructure (CGI) index 제시	• index 개발(연안 취약성 고려) • 문헌리뷰	• CGI coastal protection index와 CGI vulnerability index를 제안 • 제안한 모형을 Salish Sea 연안에 적용 • 적용결과 연안 취약성을 고려하더라도 CGI가 연안 보호에 유효함을 제시
	4	• 제목: Use of Natural and Nature-Based Features (NNBF) for Coastal Resilience • 연구자(년도): The US Army Engineer Research and Development Center(2015) • 연구목적: 연안 레질리언스를 위한 자연기반해법 적용방안 제시	• 문헌분석	• 미 육군공병단에서 연안재해에 대응하기 위한 연안 그린인프라 선정과 설치를 위한 구체적인 방법 제시 • 연안재해 발생지역 규명을 위한 방법론 제시 • 연안재해 발생지역에서 연안 그린인프라 유형 선정 방법 제시

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	5	• 제목: Enhancing the Ecological Value of Sea Dikes • 연구자(년도): Scheres & Schüttrumpf(2019) • 연구목적: 생태적 가치를 고려한 제방 디자인을 리뷰하고, 해당 방법의 한계와 함의를 논함	• 리뷰 페이퍼 • 문헌조사	• 제방의 안전성을 고려하면서도, 생태적 가치를 향상할 수 있는 방법 모색 • 전빈(해빈 상부), 제방 표면 등의 자연 프로세스 혹은 자연 기반 해법을 적용하는 연구(표면의 녹화 등)가 존재하지만, 실제 적용은 소수
	6	• 제목: Erosion of Coastal Foredunes: A Review on the Effect of Dune Vegetation • 연구자(년도): Bryant, Bryant, & Grzegorzewski(2017) • 연구목적: 해양폭풍 시 사구의 침식을 완화하는 식생의 영향을 확인	• 리뷰 페이퍼 • 문헌조사	• 사구 식생의 경우 사구를 성장시키고, 사구 퇴적물의 안정을 가져오는 것으로 알려져 있으나, 침식을 감소시키는 역할에 대해서는 고려가 부족 • 침식방지 효과를 관찰 혹은 모델링한 연구들이 있으나, 향후 개선 필요 • 사구의 침식 완화 기능에 대해 연구 필요
	7	• 제목: Evaluating the Benefits of Green Infrastructure for Coastal Areas: Location, Location, Location • 연구자(년도): Ruckelshaus et al.(2016) • 연구목적: 해안 보호 정책의 일반론을 넘어서서 정책결정자가 관심을 갖게 할 수 있는 그린 인프라에 대한 실용적 가이드라인 제시	• 두 모델을 적용하여, 개별 모델이 각각 유효한지 평가 • Index-based approaches : InVEST coastal vulnerability model을 통한 coastal vulnerability index 산출 • process-based models approach: InVEST Coastal Protection model • 두 방법의 혼용	• Index-based approach는 광범위한 지역을 스크리닝하는 데 적절 • modeling approach는 정량화 가능(상세한 지역의) • Index-based approach와 modeling approach를 결합하고, 현장연구를 진행하면 더욱 상세
	8	• 제목: Investing in nature: Restoring coastal habitat blue infrastructure and green job creation	• Economic impact analysis: IMPLAN(Impact Analyses and Planning) 활용	• 첫 1년 반 동안 1,409명의 직업 창출 • 여타 보전 산업과 유사한 수치이며, 전통적인 산업

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
		• 연구자(년도): Edwards et al.(2013) • 연구목적: NOAA의 해안 서식지 복원을 담은 미 경기부양책 법(2009)의 경제적 효과를 다룸	• 직업 창출 추정치와 직업 창출에 투자한 비용을 활용	(가스, 석유 등)보다 높은 수치 • 따라서 서식지 복원이 효율적인 직업 창출 수단임을 확인
	9	• 제목: Key coastal landscape patterns for reducing flood vulnerability • 연구자(년도): Kim et al.(2021) • 연구목적: 연안 경관 패턴이 침수 취약성에 영향을 미치는지 분석	• 경관 구조 정량화(토지이용 패턴 구분) • 침수 취약성 측정(기존 지시자) • 위 두 항목에 대해 다변량 회귀분석 실시 • 주요 패턴 도출(지역적, 국지적) • 대상 지역이 서울임에 주의	• 지역적 스케일에서 산림, 초지, 수역을 구분하여 그린인프라 전략 제안 • 국지적 스케일에서 도시지역, 수역, 산림 등의 연속성에 따라 다양한 전략 제시
	10	• 제목: A green infrastructure spatial planning model for evaluating ecosystem service tradeoffs and synergies across three coastal megacities • 연구자(년도): Meerow(2019) • 연구목적: 도시 그린인프라의 다양한 이익에 대한 트레이드오프와 핫스팟을 비교하는 모델 개발	• Green Infrastructure Spatial Planning (GISP) model 활용	• 그린인프라를 자연기반 관리와 동의어로 활용 • 뉴욕, LA, 필리핀 마닐라에 개발한 모델 적용하여 도시간 비교 실시 • 개별 도시마다, 어떠한 이익을 우선시하느냐에 따라 전략이 달라짐
	11	• 제목: Sandbar Breakwater: An Innovative Nature-Based • Port Solution • 연구자(년도): van der Spek et al.(2020) • 연구목적: 사주의 자연제방기능 구현을 위한 설계 제시	• Pelnard-Considere 기반 모델 • morpho-dynamic Finel 모델(SWAN 포함) • XBeach 모델	• 퇴적 문제가 발생하는 항구에서, 퇴적물을 자연방파제로 이용 시, 건설시간 감소와 환경 영향 최소화의 효과가 있음 • 항구의 기능과 환경 영향 최소화를 동시에 만족하기 위한 방안을 지속적으로 개발해야 함

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	12	• 제목: Planning a Green Infrastructure Network to Integrate Potential Evacuation Routes and the Urban Green Space in a Coastal City: The Case Study of Haeundae District, Busan, South Korea • 연구자(년도): Jeong et al.(2021) • 연구목적: 연안도시에서 자연재해 저감을 위한 그린인프라 네트워크 계획 수립	• GIS network analysis • 그린인프라 네트워크의 대피로 기능을 평가하기 위해 Normalized Angular Choice (NACH)	• 그린 공간과 잠재적인 대피(잠재적인 재해에 대비하여)로를 통합한 그린 인프라 네트워크 제시 • 그린인프라 네트워크는 연안도시에서 자연재해 위험을 최소화할 수 있음 • 방재공원은 위급상황에서 피난처가 될 수 있고 동시에 생태적 네트워크의 허브 기능도 수행 • 부산 해운대 그린인프라의 39.8%가 대피경로의 높은 잠재력을 보유
	13	• 제목: Key coastal landscape patterns for reducing flood vulnerability • 연구자(년도): Kim et al.(2021) • 연구목적: 침수 취약성 관련 핵심 연안경관 분석	• 침수취약성의 공간적 정량화를 위한 Fuzzy logic overlay analysis • Assessment of flood vulnerability	• 연안경관 패턴은 수문학적 프로젝트에 기반한 침수 취약성과 관련 있음 • 도시 숲, 초지, 수역은 연안경관의 핵심 패턴 • 경관패턴에 대한 고려가 없는 그린인프라는 침수위험을 증가시킴 • LID는 연안도시(내륙)에서 그린인프라를 도입하는 좋은 방법임
	14	• 제목: The Effectiveness, Costs and Coastal Protection Benefits of Natural and Nature-Based Defences • 연구자(년도): Narayan et al.(2016) • 연구목적: 자연기반 관리에서 어떠한 프로젝트가 효과적이며 비용 효율이 높은지 확인	• 현장 답사(측정)를 통해 맹그로브 염습지, 산호, 해초의 파랑 저감 능력 확인 • 문헌 연구를 통해 다양한 프로젝트의 효과 확인 • 위의 두 개를 결합하여, 효과 등 확인	• 해안 서식지 파랑 저감 효과가 서식지 종류와 장소에 따라 상이함 • 산호와 염습지의 효과가 높음 • 서식지의 효율성은 파랑과 서식지의 특성, 식생의 특성에 의해 결정 • 맹그로브와 염습지가 인공물에 비해 2~5배 비용 효율적 • 자연기반 관리가 효과와 비용의 측면 모두 효율적

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	15	• 제목: The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards • 연구자(년도): Spalding et al.(2014) • 연구목적: 해안 보호를 위한 생태계의 역할 분석	• 문헌 연구 • 관점 제안 페이퍼	• 생태계와 생태계 서비스는 지역에 따라 상이하며, 정책적 노력을 통해 증진 시킬 수도 있음 • 해안 적응 정책/계획에 있어 이러한 접근법은 비용이 높은 엔지니어링 접근법을 대체할 수 있음(그것이 적절한 지역의 경우) • 해안 시스템을 유지하는 것은 다양한 생태계 서비스를 지속하게 함
	16	• 과제명 : Estimating the gaseous carbon budget of a degraded tidal wetland • 연구자(년도) : Cheng et al.(2021) • 연구목적 : 양식장 개발 등으로 훼손되었던 중국 Shanyutan 습지의 이산화탄소 교환기작 변화의 정량적 평가	• 인공위성 자료와 구글 어스 자료를 이용하여 2009년부터 2019년까지 습지 지형도 변화 조사 • 시료 채취를 통한 메테인과 이산화탄소 유동량 조사	• 모래밭과 양식장은 이산화탄소 배출원인 반면 식생이 서식하는 습지대는 이산화탄소 흡수원임을 밝힘 • 개발이 시작되기 전인 2009년에는 해당 연안 습지가 이산화탄소 흡수원(탄소 격리률 1364.4tC·a−1)이었던 반면 개발로 훼손된 후 2019년에는 배출원(1072.6tC·a−1)으로 전락한 것을 통해 연안습지대 보존의 중요성을 시사
	17	• 과제명 : Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils • 연구자(년도) : Chmura et al.(2003) • 연구목적 : 전 세계 조수 염습지 토양의 탄소 격리에 대한 평가	• 전 세계 154개 염습지 지역의 탄소 저장 상태에 대한 자료 평가	• 맹그로브 습지의 토양 내 탄소 밀도(약 0.055 g cm−3)는 연안 염습지의 토양(약 0.039 g cm−3)보다 훨씬 높은 반면, 탄소 격리율은 비슷 • 이탄 지대(peatland)와 달리 맹그로브와 염습지는 단위 면적당 소량의 온실화 가스를 배출하지만 훨씬 더 많은 탄소를 저장함
	18	• 과제명 : Carbon sequestration in wetland dominated	• 기후변화, 해수면 상승 및 인위적인 인간 활동(연안 개발)이 연안 식생 습지의	• 해안 식생 습지의 넓이는 전 세계적으로 가장 작은 면적을 차지하지만 면적 당

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
		coastal systems – a global sink of rapidly diminishing magnitude • 연구자(년도) : Hopkinson, Cai, & Hu(2012) • 연구목적 : 연안 개발로 인해 급격히 감소한 해양 탄소 격리율에 대한 평가	탄소 격리에 미치는 영향 평가 및 분석	탄소 매장 및 격리 비율은 지구상에서 가장 높음 • 지난 세기 동안 준설, 매립 및 부영양화 등으로 해당 생태계의 면적은 매년 1~7% 줄어들고 있는 상태 • 지구 온난화, 하천 개발, 농업지 확장 및 해수면 증가는 연안 식생 습지의 탄소 매장에 부정적 영향을 미쳐 탄소배출 문제를 악화하는 요인이 됨
	19	• 과제명 : Carbon dioxide fluxes of temperate urban wetlands with different restoration history • 연구자(년도) : Schäfer et al.(2019) • 연구목적 : 온대 도시 지역의 연안 습지 복원 방법이 이산화탄소 유동에 미치는 영향 분석	• 미국 뉴저지 연안 습지 대중 식생 종류를 제어하며 유기물질 구성을 변경하며 복원한 곳과 물리적으로 토사를 부어 복원만 한 곳 및 자연상태 연안습지대의 이산화탄소 교환 기작에 대해 비교	• 이산화탄소 흡수원으로서 연안습지대의 역할을 재기하기 위해 복원사업을 하였지만 복원한 방법에 따라 탄소 격리율 변화가 큼을 발견 • 습지의 관리 및 복원 방법이 이산화탄소 흡수와 잠재적인 후속 탄소 격리율에 크게 영향을 미칠 수 있음을 시사
	20	• 과제명 : Spatial-temporal change of carbon storage and sink of wetlandecosystem in arid regions, Ningxia Plain • 연구자(년도) : Xiaoyan et al.(2019) • 연구목적 : 연안 습지 생태계의 공간적 시간적 탄소 저장 및 흡수에 대한 분석	• 원격 자료와 다중 선형 회귀 모델(RS-MLRM)을 이용하여 중국 닝샤 평야의 연안 습지대의 탄소 저장 용량 측정	• 인위적으로 조성한 습지가 해당 지역 탄소흡수량을 크게 증가시킴 • 탄소 격리에 대한 인간의 긍정적인 개입은 연안 습지 탄소흡수 효과를 향상함
	21	• 과제명 : Vulnerability of the East Coast, USA to future sea level rise	• CVI 개발 • 연안 취약성에 영향을 주는 주요 동인을 식별하여 주요	• CVI 개발 및 사례 적용 • 미국 동부 해안에 대한 연안 취약성 평가 실시

구 분		연구목적	연구방법	주요 연구내용
		• 연구자(년도) : Gornitz(1990) • 연구목적 : 해수면 상승에 따른 연안 취약성 평가 지수(Coastal Vulnerability Index) 개발	변수로 선정 • 선정한 변수를 1~5 스케일로 변환 • 변환된 값을 하나의 index로 결합하여 수치 산출	
	22	• 과제명 : Habitat Creation Opportunities for Landward Coastal Re-alignment: Essex Case Studies • 연구자(년도) : Dixon et al.(1998) • 연구목적 : 홍수 및 해안 방어에서 방조제 대비 염습지의 효과에 대해 비용 편익 산정	• 영국 에식스 지역의 염습지 복원을 위해 기존 방조제 개방을 통해 해수유통을 한 결과 생성된 환경적 변화 분석 • 염습지의 폭에 따른 해안 재해 대비 효과를 방조제로 대신할 경우 드는 비용을 산정	• 염습지가 존재하지 않을 경우 12m 높이의 방조제를 건설해야 하며 그에 따른 비용은 m당 5,000파운드(810만 원)임
	23	• 과제명 : Forty years of ecological engineering with Spartina plantations in China • 연구자(년도) : Chung (2006) • 연구목적 : 중국 염습지 조성으로 인한 재해 대응 효과 분석 및 기존 방조제 대비 경제적 효율성 분석	• 중국 연안에 설치된 다양한 방조제 건설 비용과 갯끈풀 식생비용을 비교 • 염생식물 식재로 인한 파력 감쇠 효과와 퇴적물 증가율 조사	• 해안 공학에 비해 염생식물을 심어 자연기반적 해법을 이용한 생태공학적 대처가 해안재해 대응에 더 우수한 성능과 저렴한 비용이 드는 것으로 밝혀짐
	24	• 과제명 : Comparing the cost effectiveness of nature-based and coastal adaptation: A case study from the Gulf Coast of the United States • 연구자(년도) : Reguero et al. (2018) • 연구목적 : 미국 걸프해안의 자연기반해법으로 연안재해 대응시 사회경제적 비용편익 분석	• 각 자연기반해법 조치별 경제성을 정량적으로 평가, 홍수에 노출된 자산의 분포와 가치평가 및 그에 따른 피해 계산	• 자연기반해법은 500억 달러 이상의 손실을 방지하며 평균 편익 대 비용 비율(BCR)이 3.5 이상으로 비용 효율적인 것으로 나타남

기본연구보고서 발간목록

2022년

01	선박투자 가치평가 및 위험관리 모형 연구	박성화
02	항만 컨테이너 반출입 예약시스템 가격결정 모형 연구	서정용
03	연안재해 대응을 위한 그린인프라 구축방안 연구	정지호
04	탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향분석 연구	권장한
05	수산물 안전성 관리체계 개선방안 연구	조헌주
06	준해양사고 통보제도 개선방안 연구	박상원
07	MZ세대 소비트렌드를 반영한 해양관광 추진방안 연구	최일선
08	연근해 어종별 어획쿼터제도 도입방안 연구	심성현
09	행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 연구	조성진
10	항만분야 탄소중립 관리체계 개선방안 연구	안승현
11	탄소중립 시대 양식산업 대응전략 연구 - 육상 어류양식을 중심으로 -	마창모
12	수산식품산업의 탄소중립 대응방안 연구 - 가공업을 중심으로 -	김지연
13	해양환경보건정책 도입방안 연구	박수진
14	포스트 코로나 시대의 컨테이너 해운산업 대응방안 연구 - 디지털 플랫폼을 중심으로 -	최건우
15	항만분야 공공갈등 관리방안 연구	김세원
16	글로벌 가치사슬 변화와 국제물류 분야 대응방안 연구 - 전기자동차 산업을 중심으로 -	권보배
17	항만개발제도 개선방안 연구	이수영
18	클러스터 혁신을 통한 선박관리업 발전방안 연구	허성례
19	수입수산물 예방적 관리체계 도입방안 연구 - IUU 수산물을 중심으로 -	안지은
20	양식수산물 유통 빅데이터 구축방안 연구	이기영
21	글로벌 혁신성장을 위한 신남방·신북방 정책 연구 - 신남방 지역 ICT산업 가치사슬 변화에 따른 물류 공급사슬 대응방안	최나영환

2021년

01	시민참여형 해안돌봄 정책 도입방안 연구	정지호
02	해양 플라스틱 쓰레기가 선박 운항에 미치는 영향분석 연구	김보람
03	여성어업인 노동정책 방향 연구	홍혜수
04	순환경제 시스템을 활용한 어업폐기물의 자원화 방안 연구	고동훈
05	1conomy 시대, HMR 시장 확대에 따른 수산부문 대응전략 수립 연구	마창모
06	AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구	황선일
07	항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구 - 부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로 -	김근섭
08	해양분야 리빙랩 활성화 방안 연구	좌미라
09	빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구	안용성
10	해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구	최희정
11	수산식품산업 푸드테크 환경분석 및 적용전략 연구	이상건
12	AIS데이터기반 해상물동량 추정 연구	황수진
13	항만부문 정책의사결정 지원 빅데이터 플랫폼 구축 방안 연구	이기열
14	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구	서정용
15	해양수산 분야 국제산업연관표 구축기반 연구	정수빈
16	해양수산 과학기술 정책평가모형 연구 - 해양수산 R&D를 중심으로 -	전형모
17	글로벌 경제위기와 해운산업 대응체계 연구	박성화
18	항만산업 경기진단체계 구축 연구 - 경기동행지수 개발을 중심으로 -	김성아
19	전국 무역항 부두 분류 체계 개선방안 연구	이수영
20	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해사산업의 육성 및 지원을 위한 법제화 연구(5차년도) -	박한선
21	수소에너지 거점 구축을 위한 항만의 대응방안 연구	신수용

수시연구보고서 발간목록

2022년

01	항만의 탄소중립 이행·관리 표준안 연구	안용성
02	매립지 소유권 분리 제도화의 이해관계 분석과 관리방안	윤성순
03	글로벌 공급망 리스크별 영향분석 및 대응방안 연구 - 에너지·곡물을 중심으로	조지성
04	대북제재 강화와 코로나 팬데믹 이후 북한 해양수산 이슈와 대응 방안	윤인주
05	남극환경보호의정서 제6부속서의 국내 이행을 위한 법제 정비방안 연구	박예나
06	해양바이오산업 활성화를 위한 해양수산생명자원 법령 정비 방안 연구	좌미라
07	우리나라 수산종자 관리체계 개선방안 연구	조헌주
08	2050 신해양강국 미래비전 수립 연구	김민수

2021년

01	해양환경산업 육성 방안 연구	한기원
02	선원의 인권 및 근로여건 향상을 위한 선원근로감독관 제도 개선 방안 연구	허성례
03	포스트 코로나 시대를 대비하는 지역 해양축제 활성화 연구	최일선
04	회복탄력성 개념을 적용한 항만 위기관리 시스템 구축 연구	김성기
05	중대재해처벌법 시행에 따른 항만에서의 대응방안 연구	최상균
06	크루즈산업 COVID-19 방역체계 구축방안 연구	황진회
07	한국형 선주사의 최적 운영방안 연구	고병욱
08	어촌형 생활서비스 전달체계 개선 연구	이호림
09	원양산업의 ESG 도입 기초 연구	윤미경
10	수상레저활동 관리체계 개선방안 연구	홍장원
11	연안지역 자연성 회복을 위한 정책 방향_간척지·담수호 중심으로	정지호
12	스마트항만 구축에 따른 탄소저감 효과 연구 - 동력전환을 중심으로 -	김가현

일반연구보고서 발간목록

2022년

01	건화물선 시장 비용분석을 통한 해운시장 위험관리지표체계 구축	류희영
02	해상운임 예측모형 고도화 연구(Ⅰ)	황수진
03	IMO 시장기반조치 도입이 국내 해운기업에 미치는 영향	김한나
04	연안지역발전지수(CoDI) 개발 연구	황재희
05	CGE 기반 국제통상환경 변화의 해양수산부문 파급효과 분석	임병호
06	글로벌 수산부문 이머징 이슈 분석 모델 개발 연구	한기욱
07	양식 수산물 중장기 수급전망모형 구축 연구 - 굴을 중심으로 -	김철현
08	Network DEA를 이용한 물류기업 경쟁력 비교 분석 연구	황선일
09	해양수산 사업체 성과 및 효율성 분석 연구	김주현
10	베이지안 방법을 이용한 양식 멍게 단수 추정방안 연구	천성훈
11	수입수산물과 국산 간의 대체관계 분석 연구 - 활·신선냉장품을 중심으로 -	박혜진
12	국내 컨테이너 해운기업의 디지털 전환 활성화 방안 연구	전서연
13	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅰ) - 자동차, 석탄, 고철, 시멘트를 중심으로 -	최석우
14	동중국해 해양경계획정 방안 기초 연구	박영길
15	해양수산 분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구(Ⅱ)	김찬호
16	항만개발사업의 정책효과 적용방안 연구	이종필
17	국가 해양전략 기본구상 연구	정현욱
18	선박대기시간 예측모형 개발을 위한 방법론 연구	조아현
19	안전항만 구축을 위한 비용 산정 및 지원체계 마련을 위한 연구	최상균

2021년

01	해양수산 정책영향평가를 위한 기초 연구	김주현
02	해양교육의 사회·경제적 가치 평가 연구	이슬기
03	해양수산업 경기진단체계 기초연구 - 해운업을 중심으로 -	권장한
04	선박 기술진보를 고려한 탄소 배출량 추정 연구	최건우
05	서포트벡터머신(SVM) 기법을 활용한 해운시황 예측 연구	김병주
06	크루즈 여객 수요 전망 모형 구축 연구	안승현
07	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)	서정용
08	수출용 전복의 유통경로 분석 연구	이정필
09	인공지능기반 해상운임 예측 연구(3차년도)	황수진
10	인공신경망모형을 이용한 양식수산물 단수 전망에 관한 연구 - 김 양식을 중심으로 -	천성훈
11	해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구	박광서

기본연구 2022-03

연안재해 대응을 위한 그린인프라 구축방안 연구

인 쇄 2022년 12월 29일
발 행 2022년 12월 31일

발 행 인 김 종 덕
발 행 처 한국해양수산개발원
주 소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)
연 락 처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)
등 록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 효민디앤피 (051-807-5100)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337
정가 15,000원