

# 자연혜택 평가를 통한 지역경제 활성화 방안(II)

김충기 외



## ■ 연구진

연구책임자	김충기 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)
참여연구원	김시진 (한국환경정책·평가연구원 연구원)
	홍현정 (한국환경정책·평가연구원 전문연구원)
	김종호 (한국환경정책·평가연구원 선임연구위원)
	유재원·이창근·정수영·성은주 (한국연안환경생태연구소)
	최지연·강창우·전현주 (한국해양수산개발원)
	김도균 (대전시민사회연구소 연구위원)

## ■ 연구자문위원 (가나다 순)

김신지 (해양수산부 해양생태과 사무관)
김태윤 (한국환경정책·평가연구원 실장)
노백호 (계명대학교 교수)
박은진 (국립생태원 생태보전연구실 실장)
손규희 (해양환경관리공단 차장)
안소은 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)
최희선 (한국환경정책·평가연구원 센터장)

© 2017 한국환경정책·평가연구원

---

발행인	조 명 래
발행처	한국환경정책·평가연구원 (30147) 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 과학·인프라동 전화 044-415-7777 팩스 044-415-7799 <a href="http://www.kei.re.kr">http://www.kei.re.kr</a>
인 쇄	2017년 12월 26일
발 행	2017년 12월 31일
등 록	제17-254호(1998년 1월 30일)
ISBN	979-11-5980-203-4 93530

---

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처를 표시해 주십시오.  
김충기 외(2017), 「자연혜택 평가를 통한 지역경제 활성화 방안(II)」,  
한국환경정책·평가연구원.

---

값 7,000원

경제·인문사회연구회 협동연구 총서

## “녹색경제협동연구”

- 자연해택 평가를 통한 지역경제 활성화 방안(II) -

### 1. 협동연구 총서 시리즈

협동연구 총서 일련번호	연구보고서명	연구기관
17-52-01	[총괄] 녹색경제 성과 확산	한국환경정책·평가연구원
17-52-02	환경기반시설사업·투자의 타당성·효과성 평가사업(I)	한국환경정책·평가연구원
17-52-03	환경유해보조금 추계 및 개편 방향 연구	한국환경정책·평가연구원
17-52-04	사회적 경제를 활용한 친환경 소비 확산방안 연구	한국환경정책·평가연구원
17-52-05	자연해택 평가를 통한 지역경제 활성화 방안(II)	한국환경정책·평가연구원
17-52-06	메콩유역의 기후변화 대응 식량안보와 지속가능 한 물관리 정책연구	한국환경정책·평가연구원

### 2. 참여연구진

연구기관		연구책임자	참여연구진
주관 연구기관	한국환경정책·평가연구원	김충기 부연구위원 (총괄책임자)	김시진 연구원 홍현정 전문연구원 김종호 선임연구위원
협력 연구기관	한국해양수산 개발원	최지연 부연구위원	강창우 연구원 전현주 연구원
	(주)한국연안환경 경생태연구소	유재원 대표	이창근 책임연구원 정수영 연구원 성은주 연구원
	대전시민사회 연구소	김도균 연구위원	



# 서 언

건강한 생태계가 제공하는 자연혜택은 그 지역 주민의 사회·경제활동을 유지하는 데 필수적인 역할을 담당하고 있습니다. 자연혜택을 지속적으로 누리기 위한 노력을 기울여야 한다는 의견에는 대부분 동의하지만, 근본적으로 생계나 경제활동이 자연혜택과 직결된 지역 주민이나 다양한 이해관계자들은 입장이 다를 수 있습니다. 최근 이러한 보전과 개발에 대한 입장 차는 육역과 해역의 중간지대이며 이해관계가 복잡하게 얽혀 있는 연안지역을 대상으로 부각되고 있습니다. 연안 환경갈등을 줄이거나 해결하기 위해서는 보전과 이용이 균형을 이룰 수 있는 기준 혹은 체계가 필요합니다.

본 연구는 자연혜택을 정량적으로 평가하여 보전과 개발의 정도를 조율할 수 있도록 하는 과학적 의사결정지원에 도움이 되고자 하는 목적으로 수행되었습니다. 향후 본 연구가 지자체의 지역 개발 및 보전이 조화되는 지속가능한 지역경제 활성화 방안을 제시하는 데 도움이 될 수 있기를 기원합니다.

끝으로 본 연구의 책임을 맡은 김충기 박사를 비롯한 KEI 연구진과 한국해양수산개발원의 최지연 부연구위원, 강창우, 전현주 연구원, 한국연안환경생태연구소의 유재원 박사, 정수영, 성은주, 이창근 연구원, 대전시민사회연구소의 김도균 연구위원께 감사의 말씀을 전합니다. 바쁘신 와중에도 자문을 통해 연구에 도움을 주신 해양수산부 김신지 사무관, 계명대학교 노백호 교수, 국립생태원 박은진 박사, 해양환경관리공단 손규희 차장 그리고 저희 원의 김태윤 박사, 안소은 박사, 최희선 박사께 깊은 감사를 드립니다.

2017년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 **조명래**



# 국문요약

자연이 주는 다양한 혜택은 인간 생존과 후생에 직결되며 지속가능한 발전을 위한 의사결정에 있어서도 자연혜택 기반의 환경-경제 시스템의 통합적 평가에 대한 수요가 커지고 있다. 우리 사회는 80년대 후반부터 세계화, 민주화, 다원화 과정을 거치며 압축된 형태의 갈등을 경험해왔다. 특히 자연자본, 공유자원을 둘러싼 가치, 이해관계의 차이에서 발생하는 환경갈등은 지속가능발전을 저해하는 걸림돌로 작용하고 있어 갈등을 조율하고 예방할 수 있는 참여기반의 정책지원 도구 개발이 시급하다. 본 연구는 생태계서비스와 인간의 사회경제적 활동을 통합적이고 정량적으로 평가하는 기법을 개발하고 국내에 시범 적용하여 녹색경제를 지원할 수 있는 방법론과 그 활용성을 제시하는 것을 목적으로 한다.

최근 세계적으로 활용이 확대되고 있으며 이해관계자 참여기반의 의사결정지원이 가능한 해양건강성지수(Ocean Health Index) 평가기법을 국내 연안지역에 최초로 적용하였다. 또한 시범 지역에 대한 연안 개발, 갯벌 복원, 오염원 관리 시나리오를 개발하고 해양건강성 지수에 기반을 둔 자연혜택 변화를 평가하였다. 마지막으로 자연혜택 관련 법제도 및 정책수단과 그 적용한계를 분석하고, 시범 지역에 대한 지속가능한 지역관리 방안을 제시하였다.

충청남도 가로림만 지자체인 서산시와 태안군에서 6개의 목표(식량 공급, 탄소 저장, 관광 및 여가, 생계 및 경제, 깨끗한 물, 생물다양성)에 대한 해양건강성지수를 평가하였다. 각 목표별 이상적인 상태 대비(100점) 식량 공급은 62점, 생물다양성은 63점으로 비교적 낮게 평가되었고 탄소 저장이 83점으로 가장 우수하게 평가되었다. 이 지수는 현재 점수와 근미래 점수의 합산 결과로, 서산은 2개 목표(생계 및 경제, 깨끗한 물)에서 근미래 점수가 감소하였고 4개 목표(식량공급, 탄소저장, 관광 및 여가, 생물다양성)에서 점수가 상승하였다. 반면 태안은 탄소저장을 제외한 모든 목표에서 근미래 점수가 감소하였다. 태안은 서산에 비해 압력 강도가 높고 회복력 강도가 낮아 가로림만의 해양건강성 회복을 위해서는 태안 지역의 중점 관리가 필요하다. 특히 회복력 요소 중 수질 개선 방안 마련이 시급함을 알 수 있다.

해양건강성지수는 수질 및 생태계 모형 등의 연계를 통해 다양한 관리 및 보전 시나리오 분석이 가능하다. 가로림만을 대상으로 3가지 시나리오(연안 개발, 갯벌 복원, 오염원 관리)를 적용하였다. 개발을 통한 해양 이용은 해양건강성지수를 최대 -11점 하락시켰고 기존 매립지의 갯벌 복원을 시행할 경우 가로림만 해양건강성은 +9점까지 상승하였다. 또한 갯벌 복원 면적에 따라 3단계의 시나리오를 구성하였고 해양건강성 회복에 최적화된 복원 수준을 제시하였다. 이러한 결과를 바탕으로 자연혜택평가 기반의 지역계획 수립체계를 다음의 9단계로 제시한다. (1) 자연혜택 필요성 공유, (2) 이해관계자·정책결정자 구성 및 참여범위 설정, (3) 자연혜택 현안 분석, (4) 자연혜택 우선순위 선정, (5) 기초정보 수집 및 평가 방법론 결정, (6) 자연혜택 평가, (7) 정책대안 도출 및 평가, (8) 자연혜택 기반 관리 목표의 설정, (9) 지역관리 정책 및 실행수단 마련.

정책 및 계획 수립에 있어서 기존에 고려되지 못한 자연혜택 기반의 분석을 정책의사결정 과정에 적용시킴으로 보다 과학적이고 이해관계자 합의적인 발전방안을 수립할 수 있다. 이해관계자의 참여를 통한 지역발전 방향 설정으로 갈등 및 분쟁을 사전에 예방하는 효과를 가질 수 있다. 또한 지자체에서는 연간 계획 수립 시 다양한 시나리오를 활용해 자연혜택을 평가함으로써 생태환경 관리 및 지역 경제 모두에 효율적인 사업을 도출하여 예산 절감 효과를 기대할 수 있다. 자연혜택 평가 기법을 활용한 모니터링 체계의 축적은 정책의 효과를 평가하는 데 활용성이 높다. 이를 통해 이해당사자 간의 갈등을 방지하고 보다 지속가능한 발전을 보장하여 지역의 녹색경제 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어 : 자연혜택 평가, 연안 생태계서비스, 의사결정지원 도구, 해양건강성지수,  
지역 경제

# | 차례 |

제1장 서론 .....	1
1. 연구의 배경 및 목적 .....	1
2. 연구의 내용 및 방법 .....	3
제2장 자연혜택 기반 지역경제 활성화 개념 및 적용 방안 .....	5
1. 자연혜택 기반 지역경제 활성화 개념 .....	5
2. 개념 적용 방안 .....	9
제3장 자연혜택 평가 기법 개발 - 해양건강성지수 .....	10
1. 평가 기법 개요 .....	10
2. 평가 기법 개발 .....	12
제4장 자연혜택 평가 기법 시범적용 .....	27
1. 가로림만 평가 .....	27
가. 지역 주민의 자연혜택 인식 조사 .....	28
나. 가로림만의 자연혜택 평가 .....	42
다. 가로림만의 시나리오 평가 .....	47
라. 해양건강성지수 민감도 분석 .....	73
2. 시화호 개발 사례 평가 .....	78
가. 시화호 개발 개요 .....	78
나. 시화호의 자연혜택 평가 .....	80
다. 종합 고찰 .....	94
제5장 자연혜택평가 기반의 지역관리전략과 제도개선방안 .....	96
1. 자연혜택평가 관련 법제도 현황 및 적용 한계 .....	98
2. 자연혜택 기반관리를 위한 지역관리 적용방안 - 가로림만 사례로 .....	103

제6장 결론 및 제언 .....	113
참고문헌 .....	115
부    록 .....	123
부록 Ⅰ. 가로림만 자연해택 평가를 위한 주민 설문조사지 .....	125
부록 Ⅱ. 가로림만 자연해택 평가 - 현황과 추세 산정방식 및 결과 .....	133
부록 Ⅲ. 가로림만 자연해택 평가 - 압력과 회복력 강도 산정 결과 .....	171
Abstract .....	173

## | 표차례 |

〈표 2-1〉 World Bank의 Blue Growth 및 PROFISH 프로그램 .....	7
〈표 2-2〉 생태환경 복원에 의한 장기적인 경제 이득 .....	8
〈표 3-1〉 해양건강성지수 목표별 현황 평가방법(1) .....	13
〈표 3-2〉 해양건강성지수 목표별 현황 평가방법(2) .....	14
〈표 3-3〉 생태적 압력과 사회적 압력 구성 요인 .....	16
〈표 3-4〉 생태적 압력 요소에 대한 가중치 .....	17
〈표 3-5〉 압력 요인의 목표별 가중치 설정 .....	18
〈표 3-6〉 회복력 구성 요인 .....	21
〈표 3-7〉 목표별 회복력 요인에 대한 가중치 설정 .....	23
〈표 3-8〉 각 목표와 회복력 요인의 관계 여부 .....	24
〈표 3-9〉 종합 해양건강성지수 산정시 각 목표별 가중치의 분배 .....	25
〈표 4-1〉 지역 주민의 해양건강성지수 측정을 위한 설문문항 .....	30
〈표 4-2〉 5개 마을 설문조사 현황 .....	32
〈표 4-3〉 응답자의 일반적인 인구학적 특징 .....	34
〈표 4-4〉 응답자의 여촌계 가입 여부 .....	35
〈표 4-5〉 응답자의 경제활동 분포 .....	37
〈표 4-6〉 응답자의 겸업실태 .....	37
〈표 4-7〉 가로림만 주민의 연간 소득분포 .....	38
〈표 4-8〉 가로림만 자연혜택 간 비교 .....	39
〈표 4-9〉 가로림만의 자연혜택이 축소된 압력요인 .....	41
〈표 4-10〉 건강한 해양을 통해 얻을 수 있는 혜택 중 중요한 것(복수응답) .....	42
〈표 4-11〉 해양건강성지수 목표별 현황 및 추세 산정 결과 .....	43
〈표 4-12〉 가로림만에 대한 지역별 압력 점수 .....	45
〈표 4-13〉 가로림만에 대한 지역별 회복력 점수 .....	45

〈표 4-14〉 가로림만의 목표별 해양건강성지수 산정 .....	46
〈표 4-15〉 가로림만의 종합 해양건강성지수 산정 .....	47
〈표 4-16〉 시나리오 개발 접근방식 및 특성 .....	49
〈표 4-17〉 가로림만 지속가능발전협의회 지역사업 수요 .....	51
〈표 4-18〉 가로림만 권역 지자체의 중장기 계획 .....	52
〈표 4-19〉 가로림만 시나리오 설정 .....	53
〈표 4-20〉 PNPI 지수를 통한 시나리오별 비점오염원 변화 예측 결과 .....	57
〈표 4-21〉 구조물 건설 전·후의 조위 및 조간대 노출시간 변화 .....	61
〈표 4-22〉 시나리오 적용에 따른 염생식물 서식면적 변화 .....	62
〈표 4-23〉 시나리오 적용에 따른 식량 공급 세부 목표별 변화 .....	65
〈표 4-24〉 시나리오 적용에 따른 식량 공급 현황 변화 .....	65
〈표 4-25〉 시나리오 적용에 따른 탄소 저장 세부 목표별 변화 .....	66
〈표 4-26〉 시나리오 적용에 따른 탄소 저장 현황 변화 .....	67
〈표 4-27〉 시나리오 적용에 따른 깨끗한 물 세부 지표 변화 .....	68
〈표 4-28〉 시나리오 적용에 따른 깨끗한 물 현황 변화 .....	68
〈표 4-29〉 시나리오 적용에 따른 생물 다양성 세부 목표별 변화 .....	70
〈표 4-30〉 시나리오 적용에 따른 생물 다양성 현황 변화 .....	70
〈표 4-31〉 가로림만 종합 해양건강성지수의 시나리오별 변화 .....	72
〈표 4-32〉 가로림만 ‘관광 및 여가’ 기준점 설정에 따른 해양건강성지수 변화 .....	73
〈표 4-33〉 목표별 가중치 설정에 따른 종합 해양건강성지수 변화 .....	74
〈표 4-34〉 가로림만 해양건강성지수 기법의 항목별 민감도 비교 .....	77
〈표 4-35〉 시기에 따른 시화호의 연구 시점 구분 .....	80
〈표 4-36〉 식량공급평가에 사용된 파라미터 및 자료 .....	81
〈표 4-37〉 시화호의 조간대 및 조하대 면적 변화 .....	82
〈표 4-38〉 시화호의 식량공급 평가 결과 .....	82
〈표 4-39〉 탄소 저장 평가에 사용된 파라미터 및 자료 .....	83
〈표 4-40〉 시화호의 염생식물 피복률 및 조간대 면적 변화 .....	83
〈표 4-41〉 시화호의 탄소 저장 평가 결과 .....	84

〈표 4-42〉 시화호의 하천수 내 대장균 유입밀도 .....	85
〈표 4-43〉 시화호의 해양쓰레기 오염도 .....	85
〈표 4-44〉 시화호의 영양염 .....	86
〈표 4-45〉 시화호의 화학물질 .....	87
〈표 4-46〉 가로림만의 수질평가지수 .....	87
〈표 4-47〉 가로림만의 갯벌 정화능력 .....	88
〈표 4-48〉 시화호의 깨끗한 물 현황(status) .....	88
〈표 4-49〉 시화호의 생물다양성(종) 현황 및 추세 평가 결과 .....	92
〈표 4-50〉 시화호의 단계별 항목별 추세의 추정 결과 .....	93
〈표 4-51〉 시화호의 단계별 항목별 생물다양성(서식처) 현황 및 추세 평가 결과 .....	94
〈표 4-52〉 시화호 자연혜택 평가 종합(현황 결과) .....	94
〈표 5-1〉 자연혜택평가 적용가능 주요 법제도 현황 .....	98
〈표 5-2〉 자연혜택평가가 명시된 국가계획 .....	99
〈표 5-3〉 자연혜택평가 활용가능 정책수단 .....	100
〈표 5-4〉 자연혜택평가 활용가능 정책수단의 한계 .....	102
〈표 5-5〉 해양건강성지수 변화 및 목표 설정(안) .....	111

## | 그림차례 |

〈그림 1-1〉 자연생태계와 인간 웰빙 .....	2
〈그림 1-2〉 연구흐름도 .....	3
〈그림 2-1〉 산업분야별 지역 고용 효과 .....	8
〈그림 3-1〉 지수 산출의 개념적 프레임워크 .....	10
〈그림 3-2〉 목표별 해양건강성지수 산출 방식 .....	11
〈그림 4-1〉 시범적용 지역 - 가로림만 권역 .....	28
〈그림 4-2〉 설문조사 지역 .....	32
〈그림 4-3〉 웅도 어촌계의 공동작업 .....	35
〈그림 4-4〉 주민 설문 결과와 해양건강성지수 현황 및 추세 간 비교 .....	44
〈그림 4-5〉 DPSIR 프레임워크 .....	48
〈그림 4-6〉 주민 설문에 따른 자연해택 압력 요인 간 관계 .....	50
〈그림 4-7〉 서산 및 태안 중장기 발전계획에 따른 지역별 권역 구분 .....	52
〈그림 4-8〉 PNPI 지수 산정 모식도 .....	54
〈그림 4-9〉 가로림만 영향 유역 및 토지이용 현황 .....	55
〈그림 4-10〉 가로림만 비점오염 영향 지수의 공간적 분포(PNPI) .....	56
〈그림 4-11〉 갯벌 대형저서동물 군집 생물다양성을 예측하는 신경망 모형의 구조 .....	58
〈그림 4-12〉 구조물 건설 전·후의 Critical Tidal Levels 변화 .....	60
〈그림 4-13〉 시나리오별 변화값 예측 결과에 대한 추세 산정 .....	64
〈그림 4-14〉 시나리오에 의한 목표별 해양건강성지수 변화 .....	71
〈그림 4-15〉 압력/회복력 강도 및 가중치 설정에 의한 해양건강성지수 변화 .....	75
〈그림 4-16〉 베타 상수 설정에 따른 해양건강성지수 변화 .....	76
〈그림 4-17〉 방조제 공사 직전의 1988년(좌)과 2005년(우)의 시화호 .....	78
〈그림 4-18〉 시화호 내·외측의 시간에 따른 COD 변화 .....	79
〈그림 4-19〉 생물다양성(종) 추정을 위한 공간 격자 (3.0km×3.7km, 면적 약 10km <sup>2</sup> ) .....	89

〈그림 5-1〉 자연해택평가 정책수단의 지리적 적용 프레임 .....	97
〈그림 5-2〉 자연해택평가 기반 지역관리방안 절차 .....	105
〈그림 5-3〉 자연해택평가 적용 단계 .....	108
〈그림 5-4〉 자연해택평가 기반 지역관리방안 마련 체계 .....	109
〈그림 5-5〉 자연해택기반 지역관리 공간계획(안) .....	112



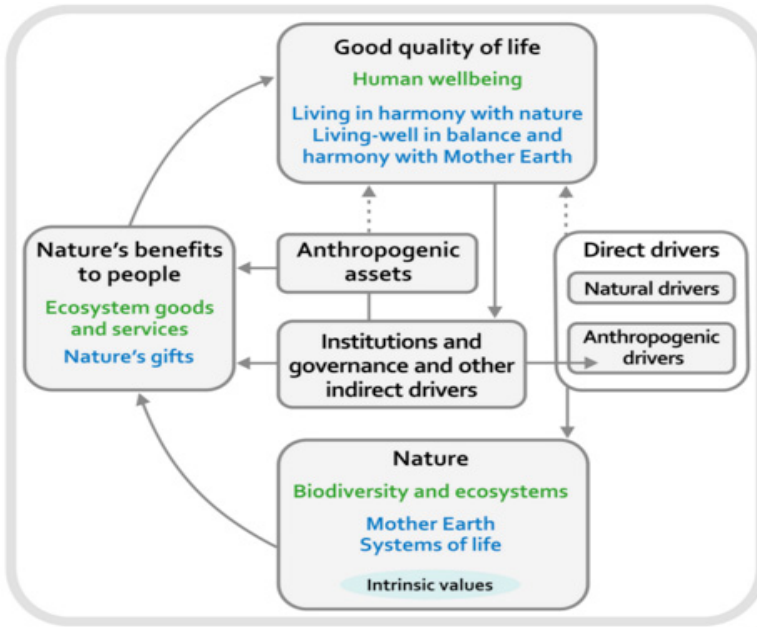
# 제1장

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

자연이 주는 혜택은 인류의 복지(Well-being)를 달성할 수 있도록 할 뿐만 아니라 기본적인 생활과 경제적 부의 원천이 되는 자본이 되기 때문에 인간 생존과 후생에 직결된다. 과거 우리나라의 경제정책과 국토관리의 의사결정에는 환경과 생태계 영향을 고려할 수 없었기 때문에 높은 경제 성장과 도시개발을 이룰 수 있었지만 생태계 질 저하, 환경오염, 사회적 불평등 등의 부작용을 초래함으로써 치료 및 복구노력과 비용을 사후적으로 부담하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 국가와 지역의 경제 및 국토관리 정책 의사결정의 경우 있어 환경과 생태계를 통합적으로 고려하는 예방적 차원에서의 접근이 필요하며, 인간의 경제 활동과 생태계시스템의 상호작용을 정량적으로 평가하는 분석기법을 마련하는 것이 그 기반이 될 수 있다.

한편, 우리 사회는 1980년대 후반부터 세계화, 민주화, 분권화, 다원화 과정을 거치며 다양한 대중의 목소리가 발현되고, 과학적 불확실성이 증대되면서 압축된 형태의 갈등을 경험하게 되었는데 이러한 갈등은 때로는 사회발전의 계기로 작용하기도 했지만, 갈등관리 체제 구축의 미흡과 부족으로 지속가능발전을 저해하는 걸림돌로 작용하여 막대한 경제적·사회적 비용이 발생한 것으로 나타나고 있다(김충기 외, 2016). 이와 같은 갈등의 양상은 우리나라가 저탄소 및 녹색 경제로 전환하기 위한 신재생에너지 확대 등 새로운 개발방식에 있어서도 정부, 지역주민, 개발자 간의 논쟁으로 나타나고 있다. 이러한 환경갈등은 환경생태를 바라보는 가치와 이해의 근본적 차이에서 발생하는 사회문제로, 갈등을 조율하고 해소하기 위한 이해관계자 참여기반의 정책도구를 개발하는 노력이 필요하다.



자료: IPBES 홈페이지(<http://www.ipbes.net>, 검색일: 2017.6.14).

〈그림 1-1〉 자연생태계와 인간 웰빙

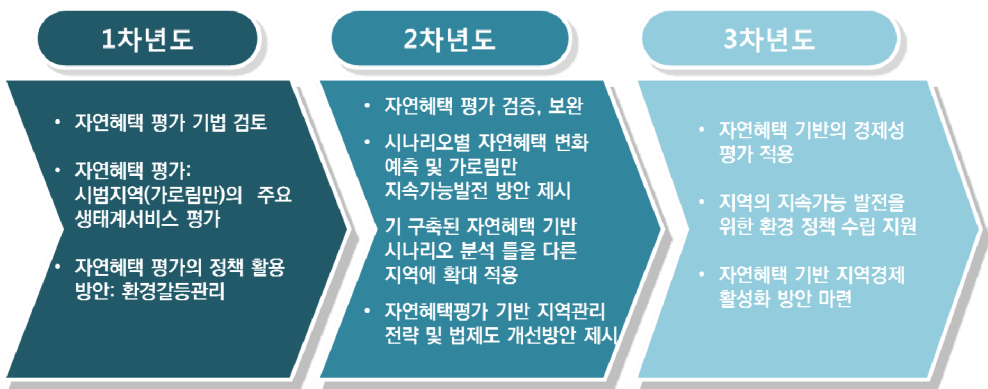
그 예로 과학적 평가 기법과 시나리오를 활용해 시스템 혹은 기능의 변화를 예측하는 기법은 의사결정에 도움을 주는 방법으로 널리 사용되고 있으며, 최근에는 공공 영역에서도 그 활용 사례가 늘어나고 있다. 시나리오 기법은 비전문가인 여러 이해관계자의 참여도를 높일 수 있고 정성적이고 창의적인 아이디어 창출이 가능하다는 점에서 자료 기반의 정량적 분석 모형과 서로 보완 관계에서 장점을 가질 수 있다(Kok, 2009). 즉, 시나리오와 모형이 연계되어 활용됨으로써 참여기반의 전략적인 대안 수립이 가능할 것으로 기대할 수 있다.

본 연구는 연안지역을 대상으로 생태계서비스 및 자연혜택을 정량적으로 평가하는 기법을 개발하여 녹색경제를 지원할 수 있는 방법론 및 그 활용성을 검토하고자 하였다. 구체적으로 연안 자연혜택의 평가 기법을 검토하고 주요 생태계서비스에 대한 시범지역 적용을 통해 자연혜택 평가를 수행하였다. 또한 시범지역의 시나리오를 작성하고 시나리오별 자연혜택 변화를 예측하여 참여기반의 의사결정 도구로서의 활용성을 검토하였다. 마지막으로 자연혜택 기반의 평가를 활용한 지역 관리 전략 및 제도 개선 방안을 제시하였다. 이를 통해

이해당사자 간의 갈등을 방지하고 지역의 개발과 환경보전이 조화되는 녹색경제 활성화에 기여하기를 기대한다.

## 2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 총 3년에 걸친 연속과제이며 본 연구는 그 중 2차년도 수행 내용을 담고 있다. 1차년에는 연안지역 생태계서비스 및 자연혜택을 평가할 수 있는 기법과 사례를 검토하였고, 해양건강성지수 방법론의 국내 적용방안을 모색하였다. 또한 가로림만을 대상으로 하여 해양건강성지수의 현황 및 추세를 시범적용하고 환경갈등관리 측면에서 자연혜택 평가의 정책적 활용방안을 살펴보았다. 올해 2차년 연구에서는 해양건강성지수 방법론 국내적용을 위한 기법 개발을 보완하여 가로림만에 대한 평가를 수행하고, 시나리오를 작성하여 자연혜택 변화를 분석하였다. 또한 평가기법을 타 지역(시화호)에 확대 적용하여 그 활용성을 검토하였으며 자연혜택 기반의 지역관리 전략과 제도 개선방안을 도출하였다. 향후 3차년 연구에서는 시나리오가 지역 경제에 미치는 직접효과, 파급효과, 환경비용 등 경제적 분석 기법을 활용해 그 수준을 분석하여 시나리오별 자연혜택과 경제적 효과를 평가하고, 자연혜택 기반의 지역경제 활성화 방안을 제시하고자 한다.



〈그림 1-2〉 연구흐름도

본 보고서의 구성과 내용은 아래와 같이 서술하였다.

2장에서는 자연혜택 기반의 지역경제 활성화 개념을 고찰하고 본 연구에서의 녹색경제 개념 및 요소를 정의하였다.

3장에서는 1차년에 구축된 해양건강성지수 평가 기법을 기반으로 ‘식량 공급’, ‘탄소 저장’, ‘깨끗한 물’, ‘관광 및 여가’, ‘생계 및 경제’, ‘생물다양성’ 항목에 대한 현황을 보완하고 압력과 회복력 요인 설정방식을 마련하여 전체 목표에 대한 산정방식을 서술하였다.

4장에서는 이 해양건강성지수 기법을 가로림만과 시화호 사례에 시범적용하여 평가하였다. 가로림만은 최근 보전과 개발 논란이 있었던 지역으로 해양건강성지수를 통해 자연혜택을 평가하고 이해관계자 의견을 반영한 시나리오를 작성하여 해양건강성지수의 변화를 예측하였다. 생태계 신경망 모형(Artificial Intelligence Neural Network) 및 유역 비점오염 영향지수(PNPI: Potential Non-point Pollutant Index)를 연계하여 시나리오에 따른 환경, 생태계 구조 및 기능의 변화를 정량적으로 예측하고 이를 해양건강성지수를 통한 자연혜택 평가에 반영하였다. 시화호는 과거 개발에 따른 대규모의 환경변화를 겪은 사례로 역시 해양건강성지수를 적용하여 자연혜택을 평가하였다. 방조제 및 조력발전소 건설시기를 고려해 두 가지 시점에 대한 해양건강성지수를 산출하였다.

5장에서는 자연혜택 평가 기반의 지역 관리 및 제도적 개선 방안을 제시하였다. 자연혜택 평가 관련 법제도 및 정책수단을 조사하여 현재의 적용한계를 분석하였으며 가로림만 사례를 기반으로 자연혜택 기반의 지역관리를 위한 제도개선 방안을 도출하였다.

## 제2장

# 자연혜택 기반 지역경제 활성화 개념 및 적용 방안

### 1. 자연혜택 기반 지역경제 활성화 개념

지속가능한 발전을 이루기 위한 지역의 녹색경제는 어떠한 형태와 방향을 가져야 할까? 먼저 유사한 개념으로 녹색성장(green growth)을 살펴보고자 한다. 녹색성장은 OECD에서 기존 경제체제로 인한 비지속가능성을 인식해 국가정부를 위한 녹색성장 전략(Green Growth Strategy)을 제시하면서 출현하였다. 녹색성장 전략은 경제성장을 강화하는 동시에 자연자산이 인류 복지에 중요하다고 판단되는 자원과 환경 서비스의 지속적인 제공을 보장하는 틀을 구축하는 것을 지원하고자 하였으며(OECD, 2015), 경제활동에서의 에너지 소비와 탄소강도(carbon intensity)를 감소시켜 환경적 압력으로부터 분리시키는 것을 목적으로 두고 있다(UN ESCAP, 2010). 우리나라 또한 이를 바탕으로 GDP의 2%를 투자해 녹색 기술, 자원과 재료의 효율화, 재생에너지, 지속가능 교통, 그린 빌딩 등에 투자하는 ‘녹색성장 5개년 계획(2009-2013)’을 수립한 적이 있다.<sup>1)</sup> 즉, 우리나라의 녹색성장은 경제활동의 효율성 및 기술 개혁을 중심으로, 경제가 끼쳤던 부정적 외부효과를 감소시키고 녹색 기술 산업 분야의 발전을 통해 지속가능발전에 접근한다고 볼 수 있다.

이러한 녹색성장의 기술 및 효율성 중심의 전략은 기존 경제구조 내에서 생산능력 증대, 기술 투자 증액 등 한정된 자원에 대한 생산성을 저해하는 결과를 초래해 경제적인 비효율성을 가져올 수 있다는 부정적인 의견이 존재한다(World Bank, 2008). World Bank(2008)는 어업을 대상으로 어선 수, 어업 기술(fishing power) 증가에 따른 비효율성

1) 한국과학기술기획평가원(No date).

을 분석하였는데 이러한 경제적 비효율성에도 어선의 이득을 기존대로 유지하기 위해 인건비 감액, 정부 보조금 활용 등의 방법이 동원되며 이는 수확단위당 비용 증가로 실질적인 소득의 감소를 불러일으키게 된다고 말하고 있다.

따라서 현재의 녹색성장 전략의 한계를 극복하고 지역의 효율적이고 지속가능한 경제발전을 위해서는 경제분야의 경계를 넘어 지역 생태자원과 생산성 중심의 관리가 기반이 되어야 한다. 본 연구에서는 지역 생태자원을 복원하고 관리하는 활동을 통해 고용을 창출하고, 생산성을 비롯한 생태계서비스를 증대해 지역의 경제적 이득을 증가시키는 것으로 녹색경제를 정의하고자 하며 이러한 자연혜택 기반 지역경제 활성화를 뒷받침하기 위한 세 가지 요소를 다음과 같이 제시하고자 한다.

- (1) 생태자원의 질적 관리 (대기 및 수질오염 감소 등 지역 환경관리 강화)
- (2) 생태자원의 양적 관리 (생태계 복원)
- (3) 지역자원 거버넌스 구축 및 직접적 관리능력의 배양 (불법 어획 규제, 자치적 획득 한도 마련 등)

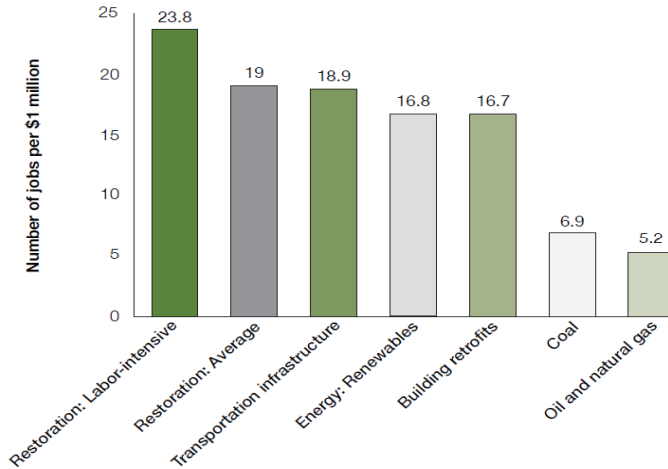
환경과 생태계 중심의 지역발전 방향은 생태계서비스를 증가시킬 뿐만 아니라 직접적인 생산성을 증대시켜 지역의 소득 증가로 이어질 수 있다. 연안 국가 및 어업지역의 지속가능 발전을 돕고 있는 World Bank의 사례는 지속가능 어업 및 거버넌스 구축, 오염원 감소 등의 환경개선이 실질적으로 어업생산량과 지역주민의 소득을 증가시킨 사례로 볼 수 있으며 지역 특유의 핵심 생태자원을 회복하여 직접적으로 경제적 이득이 돌아오게 하였다(표 2-1 참조).

〈표 2-1〉 World Bank의 Blue Growth 및 PROFISH 프로그램

구분	내용
프로그램 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 태평양 도서국가, 서아프리카, 서남인도양 국가를 대상으로 연안 지역의 지속가능발전을 위한 사업으로 64억 US\$ 지원</li> <li>· 지원 사업               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지속가능 어업 및 해양문화를 위해 연안 및 해양 서식처 강화 및 보호 사업 (10억 US\$)</li> <li>- 폐기물 처리, 유역 관리(watershed management), 기타 연안 오염 감소 활동 등 연안 기초시설 강화 사업 (54억 US\$)</li> </ul> </li> </ul>
주요 결과	<p><u>인도네시아 COREMAP</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 어촌마을의 중요한 생계지표로 고려되는 산호초를 대상으로 갱생(rehabilitation) 및 관리 프로젝트(COREMAP) 수행</li> <li>· 산호초 회복에 의한 어업 생산량 증가로 358개의 마을 커뮤니티에 혜택이 제공되었고, 2008년 대비 2014년 지역주민 소득이 21% 증가</li> <li>* COREMAP: 해양보호구역 설정, 불법적 어업활동 감소 및 주변 생태계 관리 등</li> </ul> <p><u>인도 Integrated Coastal Zone Management</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 인도의 국가 및 지역 수준의 관리 능력 배양, 토지이용 계획, 오염 관리, 자원 보호, 생계 개선 등의 사업을 2010년부터 2017년 말까지 지원</li> <li>· 현재까지의 수행 결과, 1천5백만 명의 주민이 경제적 이익을 얻었고, 약 12,000 ha의 망그로브 서식처가 회복</li> </ul>

자료: The World Bank Brief, "Ocean, Fisheries and Coastal Economies" (<http://www.worldbank.org/en/topic/environment/brief/oceans>, 검색일: 2017.05.11),

특히 생태계 복원 사업을 통한 생태자원의 양적 관리는 생태계서비스 회복을 통한 장기적 경제 효과와 더불어 사업의 계획, 디자인, 사업 수행, 관리의 전 과정을 통해서 단기적인 경제 활성화 효과를 유발하는 것이 가능하다. Kellon and Hesselgrave(2014)는 미국 오레건(Oregon)주의 유역 생태계 복원 프로젝트 수행과 관련해 과거 10년간(2001~2010년) 지역 고용효과에 미친 효과를 분석하는 연구를 수행하였다. 총 \$411.4 million가 복원 사업에 투자되었으며 \$752.4 ~ 977.5 million의 경제적 효과 및 4,628 ~ 6,483명의 고용 창출 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이는 다른 산업 분야와 비교했을 때에도 상위 수준의 효과를 보여(그림 2-1 참조) 생태계 복원 사업이 지역에 미치는 실제적 경제 파급력을 보여준다고 할 수 있다. 또한 생태계 복원 투자금액의 80%가 프로젝트 지역에 머무는 것으로 분석되어 지역의 내수 활성화에도 도움이 되는 것으로 보인다(Kellon and Hesselgrave, 2014).



자료: Kellon and Hesselgrave(2014).

〈그림 2-1〉 산업분야별 지역 고용 효과

또한 생태계 복원 사업의 결과는 주변 자산 가치 증대, 여가활동 방문 증가, 생산성 증대 등의 경제적 효과를 불러와 장기적으로도 지역경제 활성화에 영향을 미치는 것으로 파악되었다(표 2-2 참조). 이와 같이 자연혜택을 기반으로 하는 녹색경제 사업의 단기(고용 및 내수 활성화 등) 및 장기 효과(지역 산업의 부가가치 증대 등)를 통합 고려한 생태환경의 지속가능성(생산성) 확대 및 경제적 가치 창출로 지역의 지속가능발전이 가능할 것이다.

〈표 2-2〉 생태환경 복원에 의한 장기적인 경제 이득

구분	경제 이득	
심미감	· 자산 가치 증가	· 관광객 증가
여가	· 배 운항, 수영, 수상 스포츠	· 공원 방문
수렵	· 어업 생산 증대	· 야생 생태계 활력
그 외 생태계 서비스	· 침식 조절 · 우수(Stormwater) 관리 · 지하수 회복 · 지표수 이용량 증대	· 수질 관리 · 홍수 조절 · 탄소 저장

자료: BenDor 외(2014).

## 2. 개념 적용 방안

앞서 살펴본 바와 같이 연안지역의 녹색경제 활성화를 위해 지역 생태자원 중심의 관리에 따른 직접적인 경제 효과와 생태자원 증대에 따른 중장기적인 자연혜택 변화에서 얻을 수 있는 간접적인 경제 효과를 평가하는 것이 필요할 것이다. 이를 위해 활용할 수 있는 생태계서비스 평가 기법은 주로 해양공간계획(marine spatial planning)의 의사결정지원을 위한 분석도구로 활용되어 왔으며 해양을 대상으로 한 생태계서비스 분석 프로그램으로는 해양건강성지수(OHI: Ocean Health Index), Invest ARIES, MIMES 등이 있다(김충기 외, 2016). 각 평가기법의 특성과 제공 기능에 대한 구체적인 내용은 1차년 연구인 김충기 외(2016)에 자세히 제시된 바 있다. 본 연구에서는 지역 단위에서 연안 생태계서비스를 평가하고 트레이드 오프 및 영향요인 평가가 가능한 해양건강성지수 기법을 선정해 국내 상황에 적용 가능하도록 개발하였다.

해양건강성지수는 건강한 해양을 통해 제공받는 것이 가능하다고 여기는 혜택과 서비스를 10가지 목표(goals)로 설정하였으며, 각 목표에 대한 현황의 평가 그리고 해양 시스템에 직·간접적으로 영향을 미치는 생태적·사회적 요인들을 통합할 수 있도록 하고 있다(김충기 외, 2016).

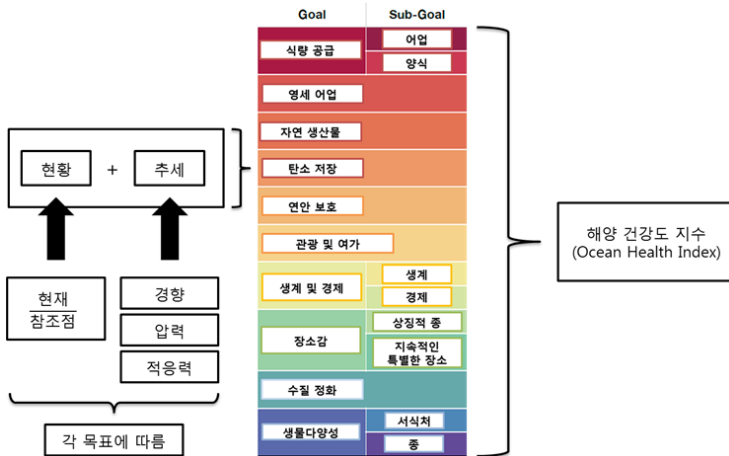
본 연구에서는 해양건강성지수가 제시한 혜택 및 서비스 중 '생계 및 경제'를 포함한 총 6개 목표(식량 공급, 탄소 저장, 관광 및 여가, 생계 및 경제, 깨끗한 물, 생물다양성)에 대해 적용하였으며 시범지역 시나리오에 따른 환경 및 생태계 변화를 자연혜택의 영향요인으로 고려해 간접적인 지역 경제 변화만을 모의하였다. 향후 연구를 통해 시범지역 시나리오의 직·간접적 효과(일자리 및 부가가치 창출 등) 변화 분석 및 해양건강성지수와의 연계를 통해 지역의 경제 효과를 향후 평가할 예정이다(3차년 수행). 이를 통해 다양한 방안을 시나리오로 적용하고 그에 따른 통합적인 지역 경제 효과를 평가해봄으로써 자연혜택을 기반으로 한 연안의 지속가능한 발전전략 수립 지원이 가능할 것이다.

# 제3장

## 자연혜택 평가 기법 개발 - 해양건강성지수

### 1. 평가 기법 개요

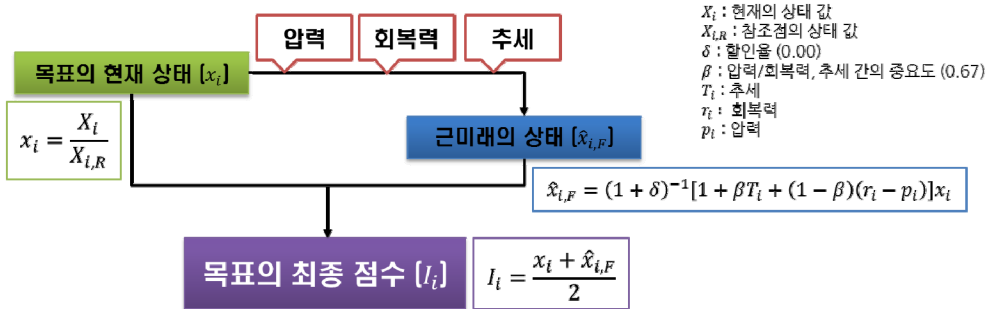
본 연구에서 연안지역의 자연혜택을 평가하는 데 적용하는 해양건강성지수 프레임워크는 해양 생태계서비스를 평가함에 있어 연구지역을 삶의 터전으로 하여 직접적으로 생태계서비스를 제공받고 있는 주민을 포함한 정책결정자, 관련 연구자 등 이해관계자의 참여를 중요하게 고려할 수 있다는 것을 큰 장점으로 한다(김충기 외, 2016). 해양건강성지수는 총 10개의 항목별 지수와 이를 통합한 종합 지수를 산출하며 전 지구, 국가, 지역 등 공간적 단위에 구애받지 않도록 하는 프레임워크를 지닌다(그림 3-1 참조).



자료: 김충기 외(2016).

〈그림 3-1〉 지수 산출의 개념적 프레임워크

해양건강성지수 프레임워크는 지수를 산출하기 위해 <그림 3-2>와 같이 기본적인 속성이 필요하다. 각각의 목표별 현황(status)과 추세(trend), 압력(pressure)과 회복력(resilience)의 네 가지 차원의 요인들이 설정되고 점수화되어야 한다. 또한 목표에 따라 현재 상태와 비교가능한 기준점을 설정해 상대적인 현황 점수가 산출된다. 여기에 목표별 압력과 회복력을 반영한 근(近)미래 점수를 평균하여 최종적인 해양건강성지수를 산출할 수 있다.



자료: 저자 작성.

<그림 3-2> 목표별 해양건강성지수 산출 방식

본 연구에서는 해양건강성지수가 제시하는 목표 중 국내 상황에 적합한 6개 목표(식량공급, 탄소저장, 관광 및 여가, 생계 및 경제, 깨끗한 물, 생물다양성)에 대한 평가기법을 설정하였다. 해양건강성지수의 10개 목표 가운데 영세어업의 기회, 자연 생산물 등 우리나라의 실정에 맞는 조작적 정의가 추가적으로 필요하거나 데이터 가용성 측면에서 분석이 어려운 목표는 제외하였다(김충기 외, 2016). 목표별 현황과 추세의 적용 방식은 1차년 연구를 통해 가로림만을 대상으로 그 내용을 수록하였지만 모델의 미비점을 보완하고 정확도를 향상시키는 과정에서 일부 내용이 수정됨에 따라 보완된 목표에 대한 현황 평가방법 및 결과를 다시 제시하였다. 또한 목표별 압력, 회복력 요인을 고려해 최종적인 해양건강성지수를 산출할 수 있도록 하였다.

## 2. 평가 기법 개발

### 가. 현황 및 추세

해양건강성지수(OHI)에서의 현황은 기준점(reference point)과 비교했을 때 목표에 대한 현재 상태를 상대적으로 나타내는 것이고 추세는 최근 5년간 목표에 대한 현황의 평균 변화율을 의미한다. OHI의 국내 적용을 위한 목표별 현황 평가방법과 기준점 설정 방식은 1차년도 과업을 통해 개발된 바 있다(김충기 외(2016) 참조). 이후 모델의 미비점을 보완하고 정확도를 향상시키는 과정에서 일부 내용이 수정됨에 따라 이를 반영한 최종 산정방식을 아래의 <표 3-1, 표 3-2>에 정리하여 제시하고자 한다. 현황 및 추세를 산정하기 위한 현황 평가식과 사용지표, 기준점 등은 OHI의 각 목표별로 다르게 설정되어 있다. 본 연구가 특정 지역을 대상으로 해양건강성을 평가하는 것에 중점을 두고 있기 때문에 기준점의 경우 대부분 시간적 기준점을 활용했으며, 깨끗한 물과 생물다양성 등과 같이 기준이 제시될 수 있는 부분에 대해서는 알려진 목표를 활용했다. <표 3-1>, <표 3-2>와 관련한 더 자세한 산정방식과 결과는 <부록 II>에 수록하였다.

〈표 3-1〉 해양건강성지수 목표별 현황 평가방법(1)

목표별 현황 평가방법			
목표	현황 평가식	사용 지표	기준점 (Reference point)
1. 식량공급	$STATUS_{FP} = \frac{X_{MAR} + X_{PPR}}{2}$ $X_{MAR}$ : 양식어업 $X_{PPR}$ : 잠재적 생산성	연간 어업 생산량	국내 어장의 최대 수용량 (ST)
		$X_{PPR} = p_i + p_s$	무척추동물 생물량
2. 탄소 저장	$STATUS_{CS} = \frac{X_{CC} + X_{SS}}{2}$ $X_{CC}$ : 식생의 탄소 고정 지표 $X_{SS}$ : 갯벌퇴적물의 탄소 저장능력	$X_{CC} = \sum_1^n \left( \frac{C_c \times A_k}{C_r \times A_T} \right)$	염생식물 1등급 서식지 (E) 과거 최대 거머리말 서식지 면적 (T)
		$X_{SS} = \frac{A_{cat}}{A_{r,t}}$	갯벌 면적
3. 관광 및 여가	$STATUS_{REC} = \frac{P_{visit}}{P_{local}}$	지역인구 대비 관광객 수	과거 최대 관광지 입장객 수 (T)
		$X_{LIV} = f(\text{Employees of marine economy})$	과거 최대 해양 경제 종사자 수 (T)
4. 세계 및 경제	$X_{ECO} = f(\text{GDP of Marine Industries})$	해양산업 종사자 수 어기인구	과거 최대 해양 경제 종사자 수 (T)
		해양산업 총생산액	과거 최대 해양산업 총생산액 (T)

주: 기준점에서 S는 공간적 비교, T는 시간적 비교, ST는 시공간적 비교, E는 수립된(알려진) 목표, F는 함수관계를 일컫음. 각 현황평가의 구체적 내용은 〈부록II〉 참조  
 자료: 저자 작성.

〈표 3-2〉 해양건강성지수 목표별 현황 평가방법(2)

목 표		목표별 현황 평가방법		
		현황 평가식	사용 지표	기준점 (Reference point)
5. 깨끗한 물	$STATUS_{cw} = \frac{X_{cw} + X_{cw\_habitatt}}{2}$ $X_{CW} : \text{수질 지표}$ $X_{CW\_HABITAT} : \text{갯벌 정화능력 지표}$	$X_{CW} = \sqrt[5]{a \times u \times l \times d \times w}$	병원균(대장균군수) 영양염(TN) 화학물질(COD) 해양쓰레기 수거량 수질평가지수(WQI)	국내 수질 환경기준 (E) WQI 1등급 기준 (E)
	$X_{spp} = \left( \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^n w_i}{M} \right) : \text{주요 종의 보전 현황}$ $\omega_j : \text{해당 셀에 대한 } i\text{종의 위협도(출현정도)}$ $M : \text{총 셀 개수}$	XCW_HABITAT : 갯벌 대형저서동물에 의한 POC 제거율	갯벌 면적 갯벌 대형저서동물 생체량	과거 최대 POC 제거량 (T)
6. 생물다양성	종	$X_{spp} = \left( \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^n w_i}{M} \right) : \text{주요 종의 보전 현황}$ $\omega_j : \text{해당 셀에 대한 } i\text{종의 위협도(출현정도)}$ $M : \text{총 셀 개수}$	국내 멸종위기종 & 보호대상해양생물 목록	출현 생물의 위험범주 등급에 따른 상대적 가중치 부여 (E)
	서식처	$X_{HAB} : \text{생물다양성과 기능 수준 지표들의 평균치}$	저서생태계 건강성 (ISEP/BPI/AMBI) 저서생물군집 생물다양성 저서생물군집 생체량 갯벌 면적 염생식물 평가지표	생태계의 자연적 상태 (E) 과거 최대 갯벌, 염생식물 서식처 면적 (T)

주: 기준점에서 S는 공간적 비교, T는 시간적 비교, ST는 시공간적 비교, E는 수립된(알려진) 목표, F는 함수관계를 일컫음. 각 현황평가의 구체적 내용은 <부록II> 참조.  
 자료: 저자 작성.

## 나. 압력 및 회복력

### 1) 압력

해양건강성지수의 산정에 있어 압력은 각 목표의 기능에 영향을 미칠 수 있는 인위적인 스트레스 요인의 강도를 정량화한 수치이다. 압력의 강도는 생태적 압력( $P_E$ )과 사회적 압력( $P_S$ )의 두 가지 요인을 통해 산출되는데, 생태적 압력은 연구지역의 생태계에 영향을 미칠 수 있는 자연적·환경적·물리적 교란 요소를 포함하고 있으며 사회적 압력은 지역사회 구성원으로부터 발생하는 사회적 교란 요소를 포함하고 있다. 해당 요인에 각 목표별로 설정된 가중치를 적용한 압력의 수치는 다음과 같이 계산된다.

$$P_X = (\gamma_E \times P_E) + (\gamma_S \times P_S)$$

$$P_E = \text{생태적 압력의 평가값}$$

$$P_S = \text{사회적 압력의 평가값}$$

$$\gamma_E, \gamma_S = \text{가중치 (총합은 1.0)}$$

본 연구에서는 <표 3-3>과 같이 각 압력 요인을 설정하였다. 생태적 압력의 스트레스 요인에는 어업 강도, 종 교란, 서식지 파괴, 오염 등이 포함되었다. Halpern et al.(2012)에서 제시된 본 기법은 충분한 문헌검토를 통해 과학적 근거 기반으로 압력 요인을 선정했으며 기후변화도 주요한 요인으로 고려했지만, 본 연구에서는 이를 판단할 해양환경 시계열 자료의 부족으로 기후변화를 압력 요인에서 제외하였다. 또한 주민 설문조사에서 관광/여가, 생계/경제의 압력요인으로 어족자원 감소를 중요한 압력요인으로 고려하고 있음을 반영해 ‘관광 및 여가’, ‘생계 및 경제’ 목표에만 이를 고려하였다. 선정된 압력 요인이 조사 지역에서 발생하는 모든 생태적 압력의 영향을 대변하지는 않으며, 퇴적상 변화, 소음 및 진동 공해, 광공해 등 직·간접적으로 생태계 구성에 영향을 미칠 수 있는 기타 다양한 요인이 누락되어 있다. 압력 요인의 선정을 위해서는 우선 조사 지역에 대해 가용할 수 있는 측정값이 존재해야 하며 이를 지표화할 수 있는 적절한 기준 혹은 참조값이 있어야 한다. 향후 본 평가 방법을 타 지역에 적용하거나 혹은 본 조사 지역에 대해 가용한 자료가 추가적

으로 확보된다면 이를 압력 요인의 하나로 포함시켜 더욱 정밀한 압력 수준을 평가할 수 있을 것이다. 사회적 압력에 있어서도 교육 수준 또는 소득 수준과 같이 포함시킬 수 있는 지표가 다수 존재하나, 본 과업에서는 농어촌 지역임을 고려하여 고령화율을 대표적인 사회적 압력 요인으로 설정하였으며 사회적 압력 요인 선정에 대한 불확실성은 추후 검토가 필요한 부분이다.

〈표 3-3〉 생태적 압력과 사회적 압력 구성 요인

구 분	압력 요인	세부요소	등급화에 활용한 자료
생태적 압력	어업 강도	상업적 어획시 강한 부수어획	트롤·통발·트랩·연승어업 등 어업의 시행 여부(1 또는 0)
		상업적 어획시 약한 부수어획	낚시, 건착망 등 어업의 시행 여부(1 또는 0)
		전통어업시 강한 부수어획	발파, 독, 위망에 의한 어업 여부(1 또는 0)
		전통어업시 약한 부수어획	기타 부수어획이 발생하는 어업 여부(1 또는 0)
	종 교란	침입종	보고된 외래종 수 대비 조사지역 내 발견된 외래종 수
	서식지 파괴	조건대 파괴	과거 대비 갯벌의 면적 감소 비율
	오염	화학물질	COD의 기준치 대비 측정치 비율
		인간 기원 병원균	대장균 수의 기준치 대비 측정치 비율
		영양염류	TN값의 기준치 대비 측정치 비율
		해양 쓰레기	쓰레기 배출량의 $1-\log(x)$ 값
어족자원 감소	양식 및 잠재적 생산성 감소	Goal-식량공급 현황 점수의 $\ln(1/x)+0.1$ 값	
사회적 압력	고령화	65세 이상 인구비율	65세 이상 인구비율 0~25%를 강도 0~1의 값으로 변환 (25% 이상은 1)

자료: 저자 작성.

각 압력 요인별 스트레스 요소를 평가할 때 영향의 여부만을 이분법적으로 평가하게 되면 스트레스의 영향력을 과평가할 수 있다. 따라서 각 요소의 강도를 정도에 따라 0~1의 값으로 등급화하여 영향력을 평가하였다. 단, 기준치를 설정하기가 어려운 ‘부수어획’에 대해서

는 Halpern et al.(2012)의 방법에 따라 어업의 시행 여부를 평가하였다.

각 목표별로 생태적 압력 요인의 스트레스 요소로부터 영향을 받는 수준이 다르다. 예를 들어 갯벌 조간대 면적의 감소는 갯벌의 '탄소 저장' 기능에 크게 영향을 미치지만, '깨끗한 물'과는 뚜렷한 연관성을 보이지 않는다. 반면 해양쓰레기의 양은 '깨끗한 물'에 크게 영향을 주지만 '양식'이나 '탄소 저장' 등의 목표와는 연관성이 없다. 이를 반영하기 위해 각각의 목표 혹은 하위 목표별로 생태적 압력 요소에 대한 가중치( $W_i$ )를 <표 3-4>와 같이 점수화 하였다. 사회적 압력의 경우에는 모든 목표 혹은 하위 목표에 동등하게 작용한다고 간주하여 가중치를 설정하지 않았으며, 연관성의 유무만을 평가하였다.

<표 3-4> 생태적 압력 요소에 대한 가중치

압력 요인에 대한 목표 및 하위 목표의 영향 정도	가중치
강함	3
중간	2
약함	1
연관성이 없음	없음

자료: 저자 작성.

생태적 압력에 있어 각 압력 요인별 세부 요소의 평가값( $P_i$ )은 목표별 가중치( $W_i$ )가 반영된 세부 요소 강도( $S_i$ )의 합을 최대 세부 요인 가중치(3)로 나누어 산정된다. 이때  $P_i$ 의 값이 1.0을 초과하는 경우에는 1.0으로 취급한다.

$$P_i = \frac{\sum_i^M W_i S_i}{3}$$

$W_i$  = 목표별 세부 압력 요소 가중치

$S_i$  = 생태적 압력의 세부 요소 강도

〈표 3-5〉 입력 요인의 목표별 기중치 설정

구 분	입력 요인	세부 요소	식량 공급		탄소 저장		관광 및 여가	생계 및 경제		생물다양성		깨끗한 물	
			양식어업	잠재적 생산성	탄소고정	퇴적물의 탄소저장		생계	경제	종	서식처		
생태적 입력	어업 강도	상업적 어획시 강한 부수어획	1	1						3	2		
		상업적 어획시 약한 부수어획	1	1						1	1		
		전통어업시 강한 부수어획	1	1						1	1		
		전통어업시 약한 부수어획	1	1						1	1		
		침입종	1	1						1	1		
	서식지 파괴	조간대 파괴	3	3	3	3	1	1	1	1	3	3	
		화학물질	3	3	1			1	1	1	2	2	3
		인간 기원 병원균						1	1	1	2	2	3
	오염	영양염류	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	3
		해양쓰레기						1			3	3	3
사회적 입력	고령화	양식 및 잠재적 생산성 감소					3	3	3				
		65세 이상 인구비율	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

자료: 저자 작성.

목표별 생태적 압력의 최종 평가값  $P_E$ 는 각 압력 요인에 대한 가중치 평균으로 계산된다. 이때 가중치는 각 압력 요인의 최대 랭크값( $W_{imax}$ )이 되며, 따라서  $P_E$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_E = \frac{\sum_i^N (W_{imax} \times P_i)}{\sum W_{imax}}$$

$P_i$  = 각 압력 요인별 세부 요소의 평가값

$W_{imax}$  = 각 압력 요인의 최대 랭크값

사회적 압력은 계산에 활용한 압력 요인의 평균값으로 같이 정의하였다. 본 연구에서는 조사지역의 고령화율 값만을 사회적 압력의 요인으로 활용하였다. 향후 본 연구 결과를 타 지역에 적용시 다양한 사회적 압력의 요인이 적용 가능하여 N개 항목의 사회적 압력 요인을 적용하였다면 다음과 같은 방법으로 사회적 압력의 수치를 계산할 수 있다.

$$P_S = \frac{\sum Z_i}{N}$$

$Z_i$  = 사회적 압력의 세부 요소 강도

이렇게 산정된 생태적 압력( $P_E$ )과 사회적 압력( $P_S$ )의 평가값은 각 목표별로 가중치를 적용, 합산하여 각 목표별 압력( $P_X$ )을 구할 수 있다. 어떠한 목표에 있어 사회적 압력과 생태적 압력이 각각 미치는 영향의 정도는 판단하기 힘들며 Halpern et al.(2012)은 따라서 각각 0.5의 동등한 기여도를 부여할 것을 제안하였으나, 이번 과업에서는 자체 연구진 및 주민 의견을 수렴해 목표별로 생태적 압력과 사회적 압력의 가중치를 다르게 반영하였으며 대체적으로 생태적 압력에 더 높은 비중을 두도록 하였다. 예를 들어, '생물다양성' 목표의 '종'과 같이 사회적 압력보다 생태적 압력이 확연히 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 목표에 대해서는 생태적 압력의 가중치는 0.7, 사회적 압력은 0.3으로 설정하였다.

## 2) 회복력

회복력은 목표의 인덱스 회복에 영향을 줄 수 있는 생태적·규범적 요소들의 영향력을 정량화한 값이다. 회복력의 산정에는 생태적 지속성( $Y_E$ ), 계획 및 규제( $G$ ), 사회적 지속성( $Y_S$ )이 포함되며, '생계 및 경제'의 목표에서는 추가적으로 '생계 및 경제' 지수( $Y_{LE}$ )를 추가적으로 포함하였다. 압력과 마찬가지로 회복력의 각 요인들 또한 0~1 사이의 값으로 등급화하여 적용하였다.

$$\gamma_x = (\gamma_E \times Y_E) + (\gamma_G \times G) + (\gamma_S \times Y_S) + (\gamma_{LE} \times Y_{LE})$$

$Y_E$  = 생태적 지속성

$G$  = 계획 및 규제

$Y_S$  = 사회적 지속성

$Y_{LE}$  = 생계 및 경제 지수

$\gamma$  = 가중치 (총합은 1.0)

본 연구에서 활용한 회복력 요인은 아래의 <표 3-6>과 같다.

〈표 3-6〉 회복력 구성 요인

구분	회복력 요인	요인별 세부요소	등급화에 활용한 자료
생태적 지속성			조간대 생물 다양성, 조하대 생물다양성, 갯벌 면적, 깨끗한 물의 평균값
계획 및 규제	계획	자연생태 복원 계획	정부 및 지자체의 생태 복원 계획 여부
		환경보호 노력 및 계획	지역/개인 차원의 환경보호 노력 및 계획
		수질 개선 계획	하수처리장·하수관거·분뇨처리시설 확충 등 수질개선사업 수행 및 계획
	규제 및 제도	수산자원보호구역 지정	수산자원보호구역 비율
		해양보호구역(MPA) 지정	해양보호구역 지정 여부(1 또는 0)
인센티브	건강한 수산물에 대한 인증제	인센티브 제도 유무(40%) + 제도의 효과성(60%)	
사회적 지속성	형평성·빈곤	사회복지급여 대상자 비율	국민기초생활보장 수급자 비율 범위
	재정	지역자치단체 재정 건전성	재정자립도(50%)+재정자주도(50%)
	거버넌스	주민참여예산 반영	예산편성시 의견수렴 여부(40%)+참여예산반영비율 범위(60%)
생계 및 경제 지표	산업구조 다양성		엔트로피지수 <sup>2)</sup>
	지역경쟁력		지역발전지수(RDI) <sup>3)</sup> (상위 1~50위를 0~0.51로 변환, 그 외 지역 0.25)

자료: 저자 작성.

생태적 지속성( $Y_E$ )은 생태계의 복원 능력을 나타내는 지표로, 생물다양성 하위목표인 종 평가는 IUCN 적색목록종의 개체군 수준에 따라 할당된 가중치를 적용하도록 권고받고 있다. 그러나 본 연구에서는 공간 규모의 차이로 변경이 불가피하여, 적색목록종을 대체할 수 있는 별도의 기준을 적용하였다. Karr(1993)가 생태학적 완전성을 생태계 요소(생물학적 다양성)와 프로세스의 합으로 정의한 것을 참고하여 평가대상 해역의 (1) 생물다양성과 (2) 화학적 오염을 나타내는 수질 평가 결과 그리고 (3) 서식처 자원의 악화 여부를 나타내는 서식처 면적의 변화 등을 평균한 값으로 대체하였다.

2) 홍사흠(2016).

3) 한국농촌경제연구원(2014).

계획 및 제도( $G$ )는 계획, 규제 및 제도, 인센티브 등 생태적 압력을 조절하기 위한 정부 및 지자체의 제도 시행 수준을 의미하며, 여기에는 목적 수행을 위한 제도의 수립, 수립한 제도를 투명하고 정당하게 수행하는지에 대한 평가, 그리고 해당 제도가 목적을 효과적으로 시행하고 있는지에 대한 평가 등이 포함된다. Halpern et al.(2012)은 특정 제도( $G_i$ )의 효과적인 시행 여부에 따라 가중치( $W_i$ )를 둘 것을 제안하였으나, 이를 객관적으로 평가할 자료 및 평가 기준의 설정이 불가능함에 따라 모든 항목별 가중치를 동일하게 적용하였다.

$$G = \frac{\sum(G_i \times W_i)}{\sum W_i}$$

$G_i$  = 계획 및 규제의 각 세부요소별 평가값

$W_i$  = 가중치 (본 연구에서는 1.0)

사회적 복원력( $Y_S$ )은 재정상태, 거버넌스 등 회복력과 관련된 커뮤니티의 내부적인 요인을 의미하며, 다음 식에 따라 산정된다.

$$Y_S = \frac{\sum_i^N Y_{s,i}}{N}$$

$Y_{s,i}$  = 사회적 복원력의 각 세부요소별 평가값

생계 및 경제 지수( $Y_{LE}$ )는 산업구조의 다양성과 지역 경쟁력을 나타내는 지수이다.

$$Y_{LE} = \frac{\sum_i^N Y_{\leq,i}}{N}$$

$Y_{\leq,i}$  = 생계 및 경제 지수의 각 세부요소별 평가값

각 요인별 가중치는 <표 3-7>과 같이 각 목표별로 설정을 달리 하였다. 각 목표별로 회복력에 영향을 줄 것으로 판단되는 요인은 <표 3-8>과 같으며, 산정된 생태적 지속성( $Y_E$ ),

계획 및 규제( $G$ ), 사회적 복원력( $Y_S$ ), 생계 및 경제 지수( $Y_{LE}$ )의 평가값은 각 목표별로 가중치를 적용, 합산하여 최종적으로 각 목표별 회복력( $R_X$ ) 값을 산출한다.

〈표 3-7〉 목표별 회복력 요인에 대한 가중치 설정

구 분	식량 공급		탄소 저장		관광 및 여가	생계 및 경제		생물다양성		깨끗한 물
	양식 어업	잠재적 생산성	탄소 고정	퇴적물의 탄소저장		생계	경제	종	서식처	
생태적 지속성		0.5	0.5		0.4	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5
계획 및 규제	0.5	0.25	0.25	0.5	0.4	0.3	0.3	0.25	0.25	0.25
사회적 지속성	0.5	0.25	0.25	0.5	0.2	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25
생계 및 경제						0.2	0.2			
합 계	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

자료: 저자 작성.

〈표 3-8〉 각 목표와 회복력 요인의 관계 여부

구 분	회복력 요인	요인별 세부 요소	식량 공급		탄소 저장		관광 및 여가	생계 및 경제		생물다양성		깨끗한 물	
			양식어업	잠재적 생산성	탄소고정	퇴적물의 탄소저장		생계	경제	종	서식처		
계획 및 제도	계획	생태적 지속성		○	○		○	○	○	○	○	○	
			자연생태 복원 계획	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				환경보호 노력 및 계획	○	○	○	○					
		규제/제도	수질 개선 계획	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			수산자원보호구역 지정	○	○			○	○	○			
			해양보호구역(MPA) 지정		○	○					○	○	○
사회적 지속성	형평성· 빈곤 재정 거버넌스	건강한 수산물에 대한 인증제	○					○	○				
		사회복지급여 대상자 비율											
		지역자치단체 재정 건전성	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		주민참여예산 반영											
생계 및 경제 지표		산업구조 다양성							○	○			
		지역경쟁력							○	○			

자료: 저자 작성.

### 다. 해양건강성지수

앞서 OHI를 구성하는 각 목표별 현황, 추세, 압력, 그리고 회복력의 산정방법을 마련하였다. 이를 통하여 '목표별 해양건강성지수'  $I_i$ 를 구할 수 있으며, '종합 해양건강성지수'는 각 목표의 결과인  $I_i$ 에 가중치  $\alpha$ 를 적용하여 합산한 값  $I$ 로 정의된다.

$$I = \alpha_1 I_1 + \alpha_2 I_2 + \dots + \alpha_6 I_6 = \sum_{i=1}^6 \alpha_i I_i$$

이때 모든  $\alpha$ 의 합은 1이다. Halpern et al.(2012)의 국가 단위 평가에서 목적별 가중치는 국가가 추진하는 해양 시나리오에 따라 0.05, 0.10, 0.15의 값이 분배된 가중치를 제시하였다. 본 연구에서는 Halpern et al.(2012)이 제시한 가중치를 목표별로 대입하여 총합계 1.0으로 표준화하였다.

〈표 3-9〉 종합 해양건강성지수 산정시 각 목표별 가중치의 분배

목 표	해양의 활용 방안			
	보존 우선 주의 (Preservationist)	비-채취적 이용 (Non extractive use)	채취적 이용 (Extractive use)	강한 채취적 이용 (Strongly Extractive use)
식량 공급	0.08	0.15	0.13	0.33
탄소 저장	0.23	0.08	0.20	0.06
관광 및 여가	0.08	0.23	0.20	0.17
생계 및 경제	0.15	0.15	0.13	0.33
깨끗한 물	0.23	0.15	0.13	0.06
생물다양성	0.23	0.23	0.20	0.06

자료: 저자 작성.

각 목표에 대한 지표의 의미하는  $I_i$ 는 현재의 상태를 나타내는  $x_i$ 와 근미래를 나타내는  $\hat{x}_{i,F}$ 의 함수로 다음과 같이 정의된다.

$$I_i = \frac{x_i + \hat{x}_{i,F}}{2}$$

여기서 현재의 값  $x_i$ 는 참조점( $X_{i,R}$ ) 대비 현재의 상태( $X_i$ )에 해당하는 현황값을 의미하며 최대값이 0~1 사이의 값을 갖는다. 또한 0에서 100 사이의 값으로 재조정하여 표현할 수 있다.

$$x_i = \frac{X_i}{X_{i,R}}$$

예측 가능한 근미래의 현황값을 나타내는  $\hat{x}_{i,F}$ 는 현황( $x_i$ ), 추세( $T_i$ ), 압력( $P_i$ ), 회복력( $r_i$ )의 함수식을 통해 예측 가능하다. 여기서 추세는 상태의 변화에 따라 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 압력과 회복력은 그 강도에 따라 0에서 1 사이의 값을 갖는다.

$$\hat{x}_{i,F} = (1 + \delta)^{-1} [1 + \beta T_i + (1 - \beta)(r_i - p_i)] x_i$$

$\delta$  = 할인율

$\beta$  = 압력 및 회복력 대비 추세의 상대적 중요도

이때  $\hat{x}_{i,F}$ 의 계산에는 할인율( $\delta$ )과 베타값( $\beta$ )이 포함된다. 할인율은 본 연구에서 예측하는 미래의 시기가 5년 이내로 짧으며, 각 목표가 비시장적인 가치를 가지는 경우가 많음을 고려하여 0으로 설정하였다. 또한 추세의 상대적 중요도를 의미하는 베타값은 0.67로 설정하였다.

## 제4장

# 자연혜택 평가 기법 시범적용

### 1. 가로림만 평가

해양건강성지수의 국내 시범적용 평가는 연안지역 중 최근 개발과 보전 논란이 있었던 충청남도 가로림만 권역을 대상으로 하였다. 가로림만은 과거 조력발전 건설로 인한 환경갈등이 있었던 지역이지만 현재 지속가능발전전략의 수립이 활발히 진행되고 있으며 본 연구 기법의 적용 결과가 지역의 의사결정을 지원하고 추후 정책적인 활용이 가능할 것으로 판단하여 시범지역으로 선정하였다. 가로림만은 충청남도 서산시의 대산읍, 지곡면, 팔봉면과 태안군의 태안읍, 원북면, 이원면으로 둘러싸인 반폐쇄성 내만으로 해안선 길이는 161.84 km, 해역면적 112.57 km<sup>2</sup>이고 입구 폭 3.2 km, 남북 폭 22.4 km로 만의 내부는 넓은 호리병 형태이다(그림 4-1 참조). 1920년대 이후 소규모 간척 및 매립이 지속적으로 실시되어 해안선의 길이는 농지, 염전, 육상양식장 조성에 의해 80년 전과 비교하여 50% 이상, 해역면적은 19% 정도가 감소하였다(김충기 외, 2016). 가로림만은 해양오염, 간척사업, 공단 조성 등으로 어업이 축소되고 있으나 그럼에도 불구하고 현재까지 지역 주민에게 가장 중요한 생계자원으로 남아있다(김충기 외, 2016).

이 장에서는 가로림만의 주요 자연혜택을 평가하기 위해 앞서 제시한 해양건강성지수 기법을 시범적용하였다. 또한 설문조사를 통해 가로림만 지역 주민의 자연혜택 인식을 조사하여 해양건강성 평가에 활용하였다. 마지막으로 이해관계자 의견이 반영된 가로림만 시나리오를 작성하여 시나리오별 자연혜택의 변화를 예측하여 해양건강성지수의 활용성을 검토하고자 한다.



자료: 김충기 외(2016).

〈그림 4-1〉 시범적용 지역 - 가로림만 권역

### 가. 지역 주민의 자연혜택 인식 조사

앞서 언급한 것과 같이 해양건강성지수는 산출 과정에 이해관계자의 의견이 반영될 수 있는 여지가 많다. 예를 들어, 그 지역 이해당사자들이 중요시하는 자연혜택은 무엇인지 조사하여 목표별로 정량적인 비율을 산출할 수 있다면 이를 해양건강성 지수의 종합점수 산출 시에 적용이 가능하다. 또한 해당 기법이 지역에서 느끼는 혜택의 정도를 얼마나 반영하고 있는지 방법론의 타당성을 검토하는 데에도 활용이 가능하다. 본 연구에서는 시범 지역에 대한 주민을 대상으로 자연혜택에 대한 설문조사를 수행하였다. 그 결과를 바탕으로 자연혜택 목표 간 중요도, 주민 환경보호를 통한 회복력에 반영했으며 현황 및 추세 결과와 비교·검토를 통해 해양건강성지수 평가기법을 보완하는 데 활용하였다. 설문조사 내용은 1차년에 설계했던 내용을 바탕으로 작성하였으며 최종 설문조사지는 〈부록 1〉에 수록했다.

### 1) 설문문항의 구성

해양 환경의 건강성을 측정하기 위해 개발된 해양건강성지수는 현황, 추세, 압력, 회복력 등 4가지 차원으로 나누어 측정하고 있다. 하지만 본 설문조사는 어촌에 거주하고 있는 일반 주민을 상대로 한다는 점에서 주민이 응답할 수 있는 방식으로 설문문항을 새롭게 구성했다. 특히 사전조사(2016년 10월 8일)를 통해 고령인 주민이 이해할 수 없는 과학적 질문과 추상성이 높은 문항은 제외하거나 조정했다.

그 결과 총 17개 문항(현황 7개, 압력 7개, 복원력 3개)으로 구성된 주민용 설문지를 만들었다(표 4-1 참조). 참조점과 회복력을 확인하는 설문문항에 대한 응답은 3점 등간척도로 구성했으며, 압력 요인은 응답자가 생각하는 주관적 원인을 복수로 선택할 수 있는 명목 척도로 구성했다. 그리고 응답자의 인구 및 사회경제적 특성을 확인할 수 있는 문항을 새롭게 추가했다.<sup>4)</sup>

---

4) 설문문항에 대한 자세한 내용은 부록에 첨부된 설문지를 참조(부록 1).

〈표 4-1〉 지역 주민의 해양건강성지수 측정을 위한 설문문항

구분	차원	주요지표	세부문항
1	현황 (7개)	식량생산 (어선어업)	1. 귀하께서는 연안바다의 어족자원(물고기 등) 양이 어느 정도나 된다고 생각하십니까?
2		식량생산 (양식어업)	2. 귀하께서는 양식어업의 생산량이 어느 정도나 된다고 생각하십니까?
3		관광 및 여가	3. 귀하께서는 관광객(바다낚시꾼 포함)이 어느 정도나 방문한다고 생각하십니까?
4		식량생산 (영세어업)	4. 귀하께서는 맨손어업(바지락, 굴, 낙지 등 맨손 채취)에 어느 정도나 참여하고 계십니까?
5		연안의 경제	5. 귀 댁(가구)의 경제(수입)는 바다에 어느 정도나 의지하고 있습니까?
6		생물다양성 (종)	6. 귀하께서 보시기에 연안바다에서 잡히는 생물의 종류가 어느 정도나 변화했다고 생각하십니까?
7		깨끗한 물	7. 귀하께서는 연안지역의 바닷물(해수)이 어느 정도나 깨끗하다고 생각하십니까?
8	압력 (총7개)	식량생산 (어선어업)	1. 귀하께서는 보시기에 연안바다의 어족자원(물고기 등)을 줄어들게 한 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?
9		식량생산 (양식어업)	2. 귀하께서는 보시기에 연안바다의 양식어업이 줄어들게 된 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?
10		관광 및 여가	3. 귀하께서 보시기에 관광객(바다낚시꾼 포함)을 줄어들게 한 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?
11		식량생산 (영세어업)	4. 귀하께서 보시기에 맨손어업을 줄어들게 한 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?
12		연안의경제	5. 귀하께서 보시기에 연안바다에 대한 경제의존(수입)이 줄어들게 된 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?
13		생물다양성 (종)	6. 귀하께서 보시기에 연안바다에서 잡히는 생물의 종류가 줄어들었다면 이유는 어디에 있다고 생각하십니까?
14		깨끗한 물	7. 귀하께서 보시기에 연안지역의 바닷물 수질이 악화된 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?
15	복원력 (3개)	개인차원	1. 귀하께서는 연안지역 환경보호(폐어구 및 쓰레기 투기 등)를 위해 어느 정도 노력하고 있습니까?
16		공동체차원	2. 귀하의 마을에서는 연안지역 환경보호를 위해 어느 정도 노력을 하고 있습니까?
17		정부차원	3. 귀하가 보시기에 정부 차원에서 연안지역 환경보호를 위해 어느 정도 노력하고 있다고 생각하십니까?

자료: 저자 작성.

## 2) 조사지역 및 조사방법

구체적인 조사지역으로는 가로림만과 인접한 5개 어촌마을(증왕리, 환성리, 응도, 오지리, 호도)을 선정했다(그림 4-1 참조). 5개 마을은 지리적으로 가로림만에 맞닿아있으면서 가로림만이 제공하는 주요한 자연해택(어선어업, 양식어업, 맨손어업, 관광업 등)을 받고 있다. 본 설문조사의 목적이 '가로림만의 자연해택과 해양건강성'을 확인하는 것에 있다는 점을 고려하면, 가로림만 연안마을이 조사지역으로 적절하다고 판단된다. 설문조사는 면대면 설문조사 방식으로 진행했다. 이는 사전교육을 받은 조사원이 마을을 방문해 마을주민에게 설문조사의 참여 의향을 확인하고 조사하는 방식이다.

현지 설문조사는 2017년 7월 7일부터 9일까지 3일 동안 진행했다. 가구별 방문조사를 기본 원칙으로 했다. 이러한 이유는 이웃 주민의 목시적 압력이나 눈치 때문에 발생할 수 있는 왜곡된 응답의 가능성을 최대한 배제하기 위해서였다. 가로림만 주변의 마을은 역사적으로 해만간척 및 임야개간을 통해서 형성되었기 때문에 뚜렷한 산촌 형태를 보이면서, 바다에 가까울수록 바다에 대한 경제적 의존도가 높은 편이다. 따라서 가로림만에서 떨어진 내륙 가구가 아니라 가로림만에 인접해 있는 가구를 중심으로 설문조사를 실시했다. 그 결과 5개 마을에서 총 60가구를 조사할 수 있었다(표 4-2 참조).



자료: Daum 지도를 활용하여 저자 작성.

〈그림 4-2〉 설문조사 지역

〈표 4-2〉 5개 마을 설문조사 현황

(단위: 가구, %)

구분	빈도(가구)	%
중앙리(지곡면)	18	30.0
환성리(지곡면)	13	21.7
옹도(대산읍)	11	18.3
오지리(벌천포, 대산읍)	9	15.0
호리(팔봉면)	9	15.0
총계	60	100.0

자료: 저자 작성.

### 3) 결과 분석

#### 가) 인구 및 사회경제학적 통계

##### (1) 응답자의 인구학적 특징

응답자의 연령은 60대 이상이 전체 응답자의 73.4%를 차지할 정도로 높았는데(표 4-3 참조) 이는 그만큼 어촌마을이 고령화되어 있다는 현실을 보여준다. 실제 현지조사 과정에서도 30, 40대의 젊은 주민을 만나는 것이 쉽지 않았다. 가구유형 또한 부부가구 비중이 전체의 61.7%를 차지할 정도로 높았다. 이는 마을 외부에서 새로운 인구유입이 없을 경우 현재의 인구 규모를 유지하는 것 자체도 힘들 수 있다는 사실을 보여준다.

응답자들이 마을에 거주한 기간을 보면 평균 57년으로 높은 수준을 보였다. 이는 응답자의 상당수가 태어난 마을에서 계속 살아왔다는 것을 보여준다. 출생지를 묻는 문항을 통해서도 이를 재확인할 수 있었다. 응답자의 78.3%가 현재 살고 있는 마을에서 출생했다고 답변했으며 배우자들 또한 66.7%가 같은 마을 출신이었다. 이는 응답자들이 마을과 가로림만의 변화과정을 장기간 경험 혹은 관찰해 왔다는 것을 사실을 보여준다.

〈표 4-3〉 응답자의 일반적인 인구학적 특징

	항목	빈도(명)	비율(%)	기술통계치
성별	남자	35	58.3	N 60
	여자	25	41.7	
연령	40대	4	6.7	N 60 Mean 66.9 S.D 11.3
	50대	12	20.0	
	60대	18	30.0	
	70대	16	26.7	
	80대	10	16.7	
거주기간	10~19년	3	5.0	N 60 Mean 57.1 S.D 20.7
	20~29년	6	10.0	
	30~39년	7	11.7	
	40~49년	6	10.0	
	50~59년	8	13.3	
	60~69년	14	23.3	
	70~79년	10	16.7	
	80년 이상	6	10.0	
가구유형	1인 가구	6	10.0	N 60
	부부가구	37	61.7	
	부부+결혼자녀	8	13.3	
	부부+미혼자녀	4	6.7	
	조부모+손자(녀)	2	3.3	
	조부모+결혼자녀+손자(녀)	3	5.0	
응답자의 출생지	마을	47	78.3	N 60
	마을 외	13	21.7	
배우자의 출생지	마을	40	66.7	N 60
	마을 외	20	33.3	

자료: 저자 작성.

## (2) 응답자의 사회경제학적 특징

어촌계는 어촌마을의 핵심조직이다. 어촌계 공동어장의 경제적 가치에 따라 상대적 차이는 있지만 어촌계는 어촌주민에게 있어 경제공동체이자 생활공동체이다. 패류양식 및 맨손 어업에 유리한 가로림만의 넓은 갯벌과 응답자의 88.3%가 어촌계 계원이라고 응답한 것으로 보아 조사지역 또한 어촌계에 대한 경제적 의존도가 높다고 볼 수 있다(표 4-4 참조). 이는 이 지역이 그만큼 생태학적 순환이 공동체의 경제·문화적 순환과정과 통합되어 있는 자연자원의존공동체(natural resource depend community)라는 사실을 보여준다(Dyer, Gill and Picou, 1992). 바꿔 말하면 생태학적 순환과정이 붕괴되면 그 순환과정과 상호관계를 맺고 있는 경제·문화적 순환과정 또한 붕괴될 수 있다는 것이다(김도균, 2011).

〈표 4-4〉 응답자의 어촌계 가입 여부

구분	빈도	비율(%)
계원이다	53	88.3
계원이 아니다	7	11.7
총계	60	100.0

자료: 저자 작성.



자료: 저자 촬영.

〈그림 4-3〉 옹도 어촌계의 공동작업

다음으로 응답자(가구)의 경제활동을 확인해 보았다. 한국 어촌마을의 경우 자연환경, 노동력, 자본력에 따라 차이는 있지만 어업과 농업이 공존하는 경제구조가 일반적이다. 여기에 국민소득 증가와 교통의 발달로 관광업 또한 빠르게 성장하고 있다. 응답자들이 선택한 가장 중요한 1순위 경제활동을 보면 맨손어업(51.7%), 어선어업(30.0%), 농업(11.7%) 순으로, 2순위는 맨손어업(43.9%), 농업(29.3%), 일용노동(14.6%) 순으로 높게 나타났다(표 4-5 참조).

이는 응답자들의 경제적 기반이 맨손어업에 있다는 사실을 보여준다. 맨손어업은 호미, 삽, 망태기 등 간단한 도구만을 사용하기 때문에 자본투자가 거의 없다. 따라서 자본동원 능력이 없는 영세어민의 주요한 경제적 토대라고 할 수 있다. 조사지역들 또한 오래전부터 가로림만의 넓은 갯벌을 이용해 바지락, 가무락 등 패류를 공동양식하고 맨손 채취를 해왔다. 즉 주민들은 어촌계의 공동양식장을 통해 공동 생산하고 공동 노동을 해온 것이다.

설문조사 결과와 지역주민 인터뷰 내용을 종합하면, 어촌계의 공동양식장에 기반을 둔 맨손어업은 일정부분 지속해서 유지되어온 반면에 어선어업은 과거에 비해 크게 쇠퇴한 것으로 보인다. 어선어업이 쇠퇴한 이유는 어족자원의 고갈과 함께 어민의 고령화가 동시에 영향을 미쳤다. 어선어업은 높은 자본투자와 함께 강한 육체적인 노동능력을 요구한다. 따라서 고령화된 어촌마을에서는 어선어업이 쇠퇴하는 경향이 뚜렷하게 포착되는데 이 지역 또한 예외는 아니다.<sup>5)</sup>

5) 본 설문문의 응답자의 경제활동을 보면, 관광업(식당, 펜션 등) 종사자들의 응답 비중이 낮다. 이는 이 지역의 관광업이 없기 때문이 아니다. 조사지역에 포함된 호리(서산시 팔봉면)에는 18개 펜션이 밀집해 펜션촌을 이루고 있었는데, 이들은 주로 펜션 운영을 목적으로 외부에서 들어온 신규이주민들이다. 거주 기간이 짧은 신규이주민들은 가로림만의 다양한 자연혜택과 해양생태 환경의 장기적 변화과정을 확인해 보고자 하는 본 설문조사의 의도에 적합하지 않은 측면이 있을 뿐만 아니라 본인들 스스로도 사정을 알지 못한다며 응답을 거부한 경우가 많았다.

〈표 4-5〉 응답자의 경제활동 분포

(단위: 명, %)

구분	1순위	2순위	1+2순위
어선업	18(30.0)	-	18(17.8)
양식어업	1(1.7)	-	1(1.0)
맨손어업	31(51.7)	18(43.9)	49(48.5)
농업	7(11.7)	12(29.3)	19(18.8)
식당	-	3(7.3)	3(3.0)
가게	1(1.7)	-	1(1.0)
일용노동	-	6(14.6)	6(5.9)
회사원	-	2(4.9)	2(2.0)
쉬고 있음	2(3.3)	-	2(2.0)
합계	60(100.0)	41(100.0)	101(100.0)

자료: 저자 작성.

다음으로 응답자들의 겸업실태를 확인해 보면, 맨손어업+어선어업(41.5%), 맨손어업+농업(26.8%), 맨손어업+일용노동(9.8%) 순으로 높게 나타났다(표 4-6 참조). 즉 맨손어업을 중심으로 어선어업, 농업, 일용노동이 결합된 겸업실태를 보였다.

〈표 4-6〉 응답자의 겸업실태

(단위: 명, %)

구분	1순위 경제활동				총계	
	어선어업	양식어업	맨손어업	농업		
2순위 경제활동	맨손어업	17(41.5)	1(2.4)	-	-	18(43.9)
	농업	1(2.4)	-	11(26.8)	-	12(29.3)
	식당	-	-	2(4.9)	1(2.4)	3(7.3)
	일용노동	-	-	4(9.8)	2(4.9)	6(14.6)
	회사원	-	-	1(2.4)	1(2.4)	2(4.9)
총계	18(43.9)	1(2.4)	18(43.9)	4(9.8)	41(100.0)	

자료: 저자 작성.

지역주민들의 경제적 수준을 살펴보면, 응답자의 61.5%가 2톤 미만의 어선톤수를,

60.1%가 경작규모 2,000평 미만(0.7ha)을 가진 것으로 나타나 영세한 수준이 우세했으며, 농업은 거의 자급자족의 수준에 머물고 있어 맨손어업을 보충하거나 대신할 수 없다고 가정할 수 있다. 소득을 묻는 질문 역시 응답자의 70%가 연간 소득이 2천만 원 미만이라고 응답하였다. 설문조사 내용을 종합해 보면, 응답자들은 복수의 경제활동을 통해 소득원을 최대한 확보하고 소비를 최소화하여 가구경제를 유지하는 영세어가의 생존전략을 뚜렷하게 보여주고 있다.

〈표 4-7〉 가로림만 주민의 연간 소득분포

구분	빈도(명)	비율(%)
거의 없다	6	10.0
500만원 미만	9	15.0
500~1000만원 미만	10	16.7
1000~2000만원 미만	17	28.3
2000~3000만원 미만	4	6.7
3000~4000만원 미만	5	8.3
4000~5000만원 미만	5	8.3
5000만원 이상	4	6.7
합계	60	100.0

자료: 저자 작성.

#### 나) 해양건강성에 대한 주민의 주관적 인식

가로림만의 해양건강성은 가로림만의 자연혜택과 정확히 정(+)의 관계를 맺고 있다. 즉 해양건강성이 좋다면 자연혜택 또한 풍부할 것이고 반대로 해양건강성이 악화되었다면 자연혜택 또한 쇠퇴할 것이다. 따라서 해양건강성을 확인하는 문항은 자연혜택을 확인하는 문항이기도 하다.

가로림만이 제공하는 자연혜택을 비교해 보면 어선어업(93.2%)이 가장 크게 쇠퇴한 것으로 나타났다(표 4-8 참조). 즉 해양건강성의 관점에서 보면 물고기 등의 어족자원이 가장 크게 악화된 것이다. 반면 사람에 의한 자원관리가 상대적으로 용이한 양식장과 그 양식장에서 행해지는 맨손(채취)어업이 상대적으로 덜 훼손된 것으로 나타났다. 물론 이는 상대적

인 차이일 뿐 양식어업과 맨손어업 또한 과거와 비교해보면 크게 감소했다. 설문조사 결과를 보면 양식어업(79.2%)과 맨손어업(78.3%)은 비슷한 수준으로 훼손된 것으로 나타났는데, 이는 이 지역주민이 주로 어촌계가 관리하는 패류공동양식장에서 맨손(채취)어업을 하고 있기 때문이다. 따라서 패류공동양식의 축소는 즉각적으로 맨손어업의 축소로 나타난다.

그런데 어업의 쇠퇴와 비교하면 관광업(46.7%)은 오히려 과거에 비해서 더 성장한 것으로 보인다. 이러한 이유는 일부 어촌마을이 어촌체험마을로 지정되면서 체험관광객이 꾸준하게 마을을 찾아오고 있기 때문이다. 하지만 체험관광객의 방문이 어업분야의 쇠퇴를 보완해 줄 수 있는 수준은 아니다. 왜냐하면 체험관광이 주로 가족 및 어린이, 청소년 등의 단체 관광에 초점을 맞추고 있기 때문에 체험요금이 낮게 책정되는 경향이 있다. 따라서 체험관광을 통한 일반 주민들이 얻을 수 있는 소득은 관광안내자로 참여하여 받는 일당 수준이며 이 또한 계절적인 한계가 있다. 물론 어촌체험마을은 경제적 기여와 별도로 어촌마을에 적지 않은 사회문화적 기여를 하고 있다. 사라져가는 어촌문화를 보전하고 이를 새롭게 해석하고 활용하여 주민들에게 문화적 자긍심을 심어준다. 또한 어촌체험마을 운영을 통해 주민들 사이의 협동과 신뢰라는 사회자본(social capital)을 증진시킨다. 사회자본은 마을의 갈등을 조정하고 협력을 촉진하는 중요한 사회적 자원이다.

〈표 4-8〉 가로림만 자연혜택 간 비교

(단위: 명, %)

구분	어선어업	양식어업	맨손어업	관광업
과거에 비해 양이 많이 줄었다	55(93.2)	42(79.2)	47(78.3)	24(40.0)
별 다른 변화 없다	4(6.8)	10(18.9)	10(16.7)	8(13.3)
오히려 과거에 비해 많이 늘어났다	-	1(1.9)	3(5.0)	28(46.7)
총계	59(100.0)	53(100.0)	60(100.0)	60(100.0)

자료: 저자 작성.

어선어업, 양식어업, 맨손어업 등이 쇠퇴한 이유를 비교해 보면 비슷한 응답 경향을 보였다. 즉 ‘바다오염’, ‘무분별한 개발’, ‘바다환경의 변화’ 순으로 압력요인을 지적했다. 주민들은 “바다가 썩었다”, “물이 많이 흐려졌다”, “바다가 죽고 있다” 등의 강한 표현으로 바다의

오염 정도를 설명했다. 그리고 어민들은 이전에 보이지 않았던 기형 망둥어의 빈번한 목격, 채취한 바지락을 씻어낼 때 나는 탁한 구정물 등을 바다오염의 경험적 증거로 제시하였다. 그리고 주요 오염원으로는 바다에 버려진 각종 해양쓰레기와 육지로부터 유입된 오염물질을 지적했다.

응답자들은 무분별한 개발을 해양건강성 또는 자연혜택을 훼손하는 두 번째 압력요인으로 지적했다. 특히 주민들은 여수, 울산과 함께 우리나라 3대 석유화학공업단지인 대산석유화학단지를 무분별한 개발의 대표 사례로 지적했다. 대산석유화학단지는 가로림만 입구부분의 갯벌(대산반도)을 대규모로 매립하여 조성한 공업단지로, 본격적으로 가동된 1990년대부터 각종 환경문제를 일으켰다. 공장에서 뿜어져 나오는 매연과 악취, 소음과 진동은 생활상의 불편과 건강피해는 물론 농작물과 수산물 피해로까지 이어졌다. 1993년에는 대산공단 앞 바다에서 대량의 나프타가 유출되는 선박사고까지 발생했었다(김도균, 이평주, 2013).

가로림만에 위치한 서산시에서 활동하고 있는 서산태안환경운동연합과 대산지역 주민들은 대산석유화학단지 일대를 ‘대기보전특별지역’으로 지정해 줄 것을 요구하고 있을 정도로 주민들이 체감하는 오염문제는 심각하다.<sup>6)</sup> “오히려 시골인데 공기가 더 나쁘다”라는 한 주민의 말에서도 확인할 수 있듯이 주민은 공업단지로 인한 환경문제를 일상적으로 체감하고 있었다. 이 지역주민은 오랜 시간 공업단지의 환경문제를 직간접적으로 경험해 오면서 무분별한 개발이 해양건강성 훼손에 영향을 미쳤을 것이라는 생각을 강화해 온 것으로 보인다.

다음으로는 기후변화로 인한 바다환경의 변화를 해양건강성 훼손 이유로 지적했다. 주민들은 바다오염과 기후변화를 구분해서 인식하고 있었다. “바다가 이상하다”, “바다가 예전 같지 않다”라는 말을 통해 환경오염과 다른 원인이 바다환경에 영향을 미친 것이 아닌가하는 의심을 품고 있었다. 상대적으로 40대, 50대 젊은 주민과 어촌계장과 같은 마을 리더들은 기후변화로 인한 해수면 온도 상승을 어업생산성이 쇠퇴한 이유라고 강조했다.

주민들의 이러한 생각은 관련 언론보도를 통해 학습한 정보와 자신의 경험이 결합한 것으로 보인다. 과학적 진위와는 별개로 주민들은 ‘기후변화 → 가뭄 → 갯벌 및 해수면 온도

6) 환경정책기본법 38조에 의하면 ‘환경오염이 다양화, 심각화, 현저화 되었거나 현저하게 될 우려가 있는 지역을 대상’으로 한다는 점을 고려할 때, 이 지역주민들이 체감하는 환경문제의 심각성을 재차 확인할 수 있다.

상승 (바다환경의 변화) → 바지락 폐사' 라는 가설을 제안하기도 했다. 또한 일부 주민은 예전에는 보이지 않았던 물고기의 등장을 언급하면서 기후변화를 가로림만 연안생태계의 변화의 원인으로 지적하기도 했다. 기후변화로 인한 가로림만 해양생태계의 변화에 대한 주민들의 지적은 전문성을 바탕으로 하는 과학적 지식에 기반을 둔 것은 아니다. 가로림만 해양생태계를 토대로 오랜 시간 살아온 집합적 경험에 기반을 두고 있다고 볼 수 있다.

일부 주민들은 가로림만 주변의 어업 쇠퇴를 해양건강성의 악화가 아니라 고령화가 더 중요한 원인이라고 강조하기도 했다. 즉 해양건강성과는 별개로 어촌주민이 고령화되면서 자연스럽게 어업이 쇠퇴했다는 것이다. 특히 육체적 능력이 왕성한 젊은 주민들 중에서는 바다의 생산성이 줄어든 것이 아니라 고령화가 원인임을 강조했다. 어떤 분야든지 고령화로 인한 경제활동의 축소는 자연스러운 결과다. 하지만 이 지역의 맨손어업의 집단적 쇠퇴는 고령화와 생산성 감소의 중첩된 결과로 보는 것이 더 설득력이 있다. 맨손어업은 어선어업에 비해 육체적 능력을 덜 요구할 뿐만 아니라 자본투자도 거의 없다. 따라서 어촌마을의 노인과 여성이 선호하는 경제활동이다. 즉 맨손어업의 쇠퇴는 채취량이 줄어들었기 때문에 힘들게 일하는 것보다 휴식을 취하거나, 다른 경제활동에 좀 더 집중하는 것이 이익이라는 기회비용을 감안한 선택이라고 볼 수 있다.

〈표 4-9〉 가로림만의 자연혜택이 축소된 압력요인

(단위: 명, %)

구분	어선어업	양식어업	맨손어업
바다 오염 때문에 줄어든 것이다	31(38.3)	25(39.7)	22(31.9)
남획으로 줄어든 것이다	4(4.9)	1(1.6)	1(1.4)
기후변화로 바다환경이 변화하면서 줄어든 것이다	18(22.2)	14(22.2)	13(18.8)
부문별한 개발로 인해 줄어든 것이다	24(29.6)	20(31.7)	15(21.7)
고령으로 인한 노동능력의 상실*	-	-	13(18.8)
기타	-	-	4(5.8)
잘 모르겠다	4(4.9)	3(4.8)	1(1.4)
합계	81(100.0)	63(100.0)	69(100.0)

주: 고령으로 인한 노동능력의 상실은 맨손어업의 쇠퇴 원인을 묻는 문항에만 포함됨  
자료: 저자 작성.

그렇다면 주민들이 생각하는 ‘건강한 해양’이란 무엇인가. 주민들의 응답 결과를 보면, ‘안정적인 수입 창출’(40.4%)과 ‘충분한 수산물 획득’(35.3%)을 높게 선택한 반면에 ‘깨끗한 수질’(12.5%), ‘생물다양성’(3.7%)에 대해서는 낮게 평가했다. 어촌마을 주민의 입장에 볼 때 바다가 자신들이 계속해서 이용할 수 있는 어업의 토대일 때 건강한 해양인 것이다. 즉 개인 혹은 공동체와 분리된 상태로 존재하는 깨끗한 해양이 아니라 지속가능하게 자신들의 생계 및 공동체, 그리고 어촌문화를 유지시켜 줄 수 있는 해양이 건강한 해양이다.

〈표 4-10〉 건강한 해양을 통해 얻을 수 있는 혜택 중 중요한 것(복수응답)

구분	빈도(명)	비율(%)
식량공급(충분한 수준의 수산물을 획득)	48	35.3
생계 및 경제(바다를 통한 안정적인 수입 창출)	55	40.4
탄소 저장(바다 생태계의 충분한 탄소 저장을 통한 기후변화 억제)	1	0.7
관광 및 여가(꾸준한 관광객 방문)	10	7.4
깨끗한 물(바닷물을 깨끗하게 유지하는 것이 중요)	17	12.5
생물 다양성(중)(바다에 다양한 생물이 함께 하는 사는 것)	5	3.7
합계	136	100.0

자료: 저자 작성.

#### 나. 가로림만의 자연혜택 평가

가로림만 권역을 대상으로 해양건강성지수를 시범적용하였다. 해양건강성지수 평가를 위한 자료의 공간적 범위는 가로림만과 인접한 서산시 3개읍, 태안군 3개읍으로 설정했고 시간적 범위는 사용 자료의 가용성에 따라 70~90년대 혹은 2000년대 자료부터 최근 자료를 대상으로 하였다. 해양건강성지수 산정기법을 적용한 가로림만의 현황 및 추세 점수 산정결과는 아래와 같다(표 4-11 참조). 각 목표별 현황 산정 기법의 상세한 방식에 대해서는 1차년 연구에서 다룬 바 있으며 2차년 연구에서 자료 및 방법론의 미비점을 보완해 그 내용 및 현황 및 추세 산정 결과를 〈부록 2〉에서 상세히 다루었다.

〈표 4-11〉 해양건강성지수 목표별 현황 및 추세 산정 결과

목 표		현황(Status)		추세(Trend)	
		서산	태안	서산	태안
1. 식량공급	$X_{MAR}$ (양식어업)	82	82		
	$X_{PPR}$ (잠재적 생산성)	43	40		
	<b>STATUS</b>	62	61	-0.40	-1.60
2. 탄소 저장	$X_{CC}$ (식생의 탄소 고정)	78	81		
	$X_{SS}$ (갯벌 퇴적물의 탄소 저장)	85	75		
	<b>STATUS</b>	82	78	-0.20	+0.70
3. 관광/여가		67	67	+0.60	+0.60
4. 생태/경제	$X_{LIV}$ (생계)	41	54		
	$X_{ECO}$ (경제)	100	86		
	<b>STATUS</b>	71	70	-1.34	-1.46
5. 깨끗한 물		79	73	-0.96	-1.29
6. 생물다양성	$X_{SPP}$ (종)	43	60		
	$X_{HAB}$ (서식처)	78	72		
	<b>STATUS</b>	60	66	+0.07	+0.55

자료: 저자 작성.

가로림만 해양건강성 지수의 현황 점수는 탄소 저장이 78~82점으로 가장 높게 평가되었고 식량공급과 생물다양성이 60점대 초반으로 가장 낮게 평가되었다. 근 5년간의 추세는 관광 및 여가와 생물다양성에서 약간 증가하는 것으로 나타났고 그 외의 목표는 모두 감소 하였으며 생태 및 경제에서 가장 큰 감소율을 보였는데 이는 생태 부문에서 감소 추세가 두드러지기 때문인 것으로 볼 수 있다.

앞서 조사된 지역 주민의 설문조사에서 자연혜택의 감소/증가 여부의 응답과 본 결과의 추세 점수를 비교 검토하였다. 해양건강성지수의 평가는 객관성을 확보하는 과학적 자료에 근거해 평가하는 것이 바람직할 것이나 이는 향후 지속적인 평가의 축적이 이루어졌을 때

가능할 것으로 판단했으며 여기에서는 주민 대상의 설문평가 결과를 검증 및 참고자료로 제한적으로 활용하였다. 주민 설문에서는 탄소 저장을 제외한 5개 목표가 조사되었는데, 과거 대비 자연혜택이 감소했다는 응답이 높은 항목은 식량공급, 생계 및 경제, 깨끗한 물, 생물다양성으로 모두 70% 이상의 주민이 감소한다고 응답하였고, 관광 및 여가 항목만 증가했다는 응답이 감소했다는 응답보다 높아 최근의 생태관광으로 인한 체험 관광객이 증가해 주민이 체감하는 수준이 높음을 반영하고 있다. 본 결과의 추세 역시 관광 및 여가 현황은 증가 추세, 식량공급, 생계 및 경제, 깨끗한 물은 감소 추세로 산출되어 해양건강성 지수가 지역 의견을 어느 정도 정량적 수준으로 반영할 수 있음을 확인하였다. 생물다양성은 주민 의견과 달리 증가 추세를 나타내지만 그 값이 거의 0에 가까우며 또한 생물다양성의 기준점이 시간적 비교가 아닌 출현 중에 따른 상대적 비교를 적용하였기 때문에 설문 결과와의 직접적인 비교는 어려울 수 있다.

〈설문 결과〉

(%)	식량공급	관광 /여가	생계 /경제	깨끗한 물	생물 다양성
감소했다	84	40	73	83	75
변화없음	14	13	23	17	24
증가했다	2	47	3	-	2

〈OHI 결과〉

	식량공급	관광 /여가	생계 /경제	깨끗한 물	생물 다양성
현황	62	67	70	76	63
추세 (trend)	-1.00	+0.6	-1.40	-1.13	+0.31

자료: 저자 작성.

〈그림 4-4〉 주민 설문 결과와 해양건강성지수 현황 및 추세 간 비교

또한 가로림만의 자연혜택 각 목표별 압력과 회복력 점수를 산출하여 〈표 4-12〉와 〈표 4-13〉에 제시하였다. 목표별 압력과 회복력 점수를 산정하기 이전에 압력과 회복력 설정요인의 강도를 0~1 범위로 산출해야 하며 가로림만 서산과 태안의 산출 결과는 〈부록 3〉에 제시하였다. 목표별 압력 점수 결과는 34~92점대로 확인되었고 탄소 저장에서 가장 낮게, 깨끗한 물에서 가장 높게 평가되었으며 대체적으로 서산에 비해 태안에서 다소 높은 점수 경향을 보였다. 회복력 점수는 목표에 따라 51~68점대로 나타나 압력 점수에 비해 점수 폭이 크지 않았으며 서산에 비해 태안의 회복력이 낮게 평가되었다.

〈표 4-12〉 가로림만에 대한 지역별 압력 점수

목 표		서산			태안		
		$P_E$	$P_S$	$P_X$	$P_E$	$P_S$	$P_X$
식량 공급	양식어업	0.24	0.68	<b>0.46</b>	0.28	0.82	<b>0.55</b>
	잠재적 생산성	0.24	0.68	<b>0.37</b>	0.28	0.82	<b>0.44</b>
탄소 저장	탄소고정	0.13	0.68	<b>0.29</b>	0.21	0.82	<b>0.39</b>
	퇴적물의 탄소 저장	0.11	0.68	<b>0.28</b>	0.20	0.82	<b>0.38</b>
관광 및 여가		0.50	0.68	<b>0.57</b>	0.53	0.82	<b>0.64</b>
생계 및 경제	생계	0.44	0.68	<b>0.56</b>	0.46	0.82	<b>0.64</b>
	경제	0.44	0.68	<b>0.56</b>	0.46	0.82	<b>0.64</b>
생물다양성	종	0.64	0.68	<b>0.65</b>	0.68	0.82	<b>0.72</b>
	서식처	0.60	0.68	<b>0.64</b>	0.64	0.82	<b>0.73</b>
깨끗한 물		1.00	0.68	<b>0.90</b>	1.00	0.82	<b>0.94</b>

주:  $P_E$ 는 생태적 압력,  $P_S$ 는 사회적 압력,  $P_X$ 는 총 압력을 일컬음  
 자료: 저자 작성.

〈표 4-13〉 가로림만에 대한 지역별 회복력 점수

목 표		서산					태안				
		$Y_E$	$G$	$Y_S$	$Y_{LE}$	$R_X$	$Y_E$	$G$	$Y_S$	$Y_{LE}$	$R_X$
식량 공급	양식어업		0.31	0.59		<b>0.45</b>		0.24	0.37		<b>0.30</b>
	잠재적 생산성	0.87	0.44	0.59		<b>0.69</b>	0.85	0.37	0.37		<b>0.61</b>
탄소 저장	탄소고정	0.87	0.55	0.59		<b>0.72</b>	0.85	0.47	0.37		<b>0.63</b>
	퇴적물의 탄소 저장		0.41	0.59		<b>0.50</b>		0.29	0.37		<b>0.33</b>
관광 및 여가		0.87	0.44	0.59		<b>0.64</b>	0.85	0.37	0.37		<b>0.56</b>
생계 및 경제	생계	0.87	0.25	0.59	0.52	<b>0.55</b>	0.85	0.14	0.37	0.47	<b>0.46</b>
	경제	0.87	0.25	0.59	0.52	<b>0.55</b>	0.85	0.14	0.37	0.47	<b>0.46</b>
생물다양성	종	0.87	0.55	0.59		<b>0.72</b>	0.85	0.47	0.37		<b>0.63</b>
	서식처	0.87	0.55	0.59		<b>0.72</b>	0.85	0.47	0.37		<b>0.63</b>
깨끗한 물		0.87	0.55	0.59		<b>0.72</b>	0.85	0.47	0.37		<b>0.63</b>

주:  $Y_E$ 는 생태적 지속성,  $G$ 는 계획 및 제도,  $Y_S$ 는 사회적 지속성,  $Y_{LE}$ 는 생계 및 경제 지수,  $R_X$ 는 총 회복력을 일컬음  
 자료: 저자 작성.

이상의 현황, 추세, 압력, 회복력을 고려하여 가로림만의 목표별 해양건강성지수를 산출한 결과는 <표 4-14>와 같다. 지수로 산출되는 결과는 각 목표의 기준점을 100점으로 했을 때 그 이상적인 기준에 대한 상대적인 상태를 의미한다고 볼 수 있다. 목표별 해양건강성지수는 식량공급이 62점으로 가장 낮게 평가되었고 탄소 저장이 83점으로 가장 높게 평가되었다. 현재 점수와 비교했을 때 서산의 해양건강성은 6개 목표 중 2개 목표의 점수가 1~3점 가량 감소한데 비해 태안의 해양건강성은 6개 목표 중 탄소저장을 제외한 5개 목표에서 점수가 1~4점까지 하락하였다. 이는 앞서 살펴본 압력과 회복력 점수에서 태안이 서산에 비해 압력 점수가 높고 회복력 점수가 낮게 평가되고 있어 가로림만 권역 중 태안 지역의 중점적인 관리가 필요함을 알 수 있다. 태안은 생태적 압력 요소에서 매립에 의한 조간대 서식지 파괴율과 사회적 압력 요소인 고령화율이 서산에 비해 높게 나타났으며(조간대 파괴: 서산 0.14, 태안 0.25, 고령화율: 서산 0.68, 태안 0.81), 회복력 요소에서는 정부의 수질개선 계획(서산 0.3, 태안 0)과 사회적 완전성 항목(형평성, 재정, 거버넌스)에서 서산과의 차이를 보였다.

<표 4-14> 가로림만의 목표별 해양건강성지수 산정

목 표	서산			태안			가로림만
	현재	근미래 변화	해양건강성 지수	현재	근미래 변화	해양건강성 지수	해양건강성 지수
식량공급	62점	▲	64점	61점	▼	60점	62점
탄소 저장	82점	▲	86점	78점	▲	80점	83점
관광 및 여가	67점	▲	68점	67점	▼	66점	67점
생계 및 경제	71점	▼	70점	70점	▼	68점	69점
깨끗한 물	79점	▼	76점	73점	▼	69점	73점
생물다양성	60점	▲	61점	66점	▼	65점	63점

자료: 저자 작성.

다음으로 가로림만의 종합 해양건강성지수를 <표 4-15>와 같이 산출하였다. 종합 지수

를 산출하기 위한 목표별 가중치는 앞서 <표 3-9>에서 제시된 값을 적용하였다. 가로림만이 오랜 기간 어업 및 인간 활동의 장으로 활용되어 왔으며, 동시에 거머리말 등 멸종위기생물을 포함한 다양한 생물서식의 장임을 고려할 때는 가로림만의 종합 해양건강성지수 평가값은 비-채취적 이용(Non-extractive use)에 해당하는 68점의 값이 타당할 수 있다. 또한 설문조사에서 가로림만 지역주민의 입장에서 연안을 바라보는 관점은 강한 채취적 이용(Strongly extractive use)에 가까웠으며 이때의 자연 혜택은 67점으로 산정할 수 있다. 이와 같이 본 방법론의 활용 주제, 활용 목적에 따라서 가중치는 다르게 설정되며 종합 지수 결과가 달라지므로 지수의 구축 과정에서 이해관계자를 대상으로 목표별 중요도를 수렴하는 단계를 고려해야 할 것이다.

<표 4-15> 가로림만의 종합 해양건강성지수 산정

해양의 활용 방안	서산	태안	가로림만
보존 우선 주의(Preservationist)	72	70	71
비-채취적 이용(Non-extractive use)	69	67	68
채취적 이용(Extractive use)	71	68	70
강한 채취적 이용(Strongly extractive use)	68	66	67

자료: 저자 작성.

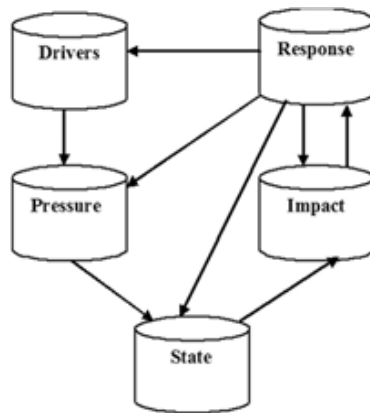
## 다. 가로림만의 시나리오 평가

### 1) 시나리오 개발

지자체 규모에서 연안과 연계된 생태계서비스 평가를 통해 현재의 자연혜택 수준을 진단해보았다면, 이를 활용하여 지역의 주요한 자연혜택 증대를 통해 생태환경적, 경제적 수준을 증대시키는 방향을 모색할 수 있다. 해양건강성지수 기법에도 다양한 시나리오를 적용한 사례가 있으며(Halpern et al., 2014) 정책 및 지역 계획 수립 시에 이루어지는 환경영향평가를 포괄하는 자연혜택 평가로써 활용이 가능할 것이다.

이 절에서는 해양건강성지수의 정책적 활용성을 모색하기 위해, 가로림만을 둘러싼 지자

체, 주민 등 이해관계자의 수요를 바탕으로 서산시와 태안군 관련 지역을 바탕으로 한 시나리오를 작성했으며 시나리오별 수질, 생태계 및 생태계 기능을 모의하여 해양건강성 지수와 연계한 가로림만의 자연해택 변화를 평가하였다. 이러한 프레임은 DPSIR(Driver-Pressure-State-Impact-Response) 접근방식의 형태를 따른다고 볼 수 있으며 Waite 와 (2014)는 DPSIR 방식을 이해관계자 참여가 용이한 시나리오 개발방식으로 평했다. 이 방식은 시나리오 개발 및 평가에 이해관계자를 참여시켜 수요에 따른 영향요인(drivers)과 압력요인을 이해하게 하고 적절한 대응방안을 모색할 수 있도록 하기 때문에(Waite, 2014) 지자체 규모에서 정책 및 계획 수립 시 다양한 이해관계자의 참여를 활성화하고 갈등을 사전 예방하며 다수의 합의를 통한 의사결정을 지원하는 도구로 사용될 수 있을 것이다.



자료: Gari et al.(2015).

〈그림 4-5〉 DPSIR 프레임워크

〈표 4-16〉 시나리오 개발 접근방식 및 특성

구분	도출 과정	주요 특성	활용 주체
연역적 접근법	불확실성 요소 파악 → 미래상(vision)과 콘셉트 확립, 시나리오 유형을 우선 제시 → 영향요인(driver) 분석·평가, 시나리오 작성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 영향요인에 따른 불확실성 요소가 적은 경우 활용</li> <li>· 통합형 주제에 용이</li> <li>· 이해관계자 참여가 용이</li> </ul>	정부 및 국가 선호
귀납적 접근법	영향요인(driver) 분석·평가를 우선 수행 → 바람직한 미래상과 유형을 도출, 시나리오 작성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 영향요인에 따른 불확실성 요소를 단순화하기 어려운 경우 활용</li> <li>· 세부적 주제에 용이</li> </ul>	기업, 컨설팅 선호
DPSIR 접근법	미래상 혹은 이해관계자 수요 설정에 따른 영향요인(driver), 압력(pressure) 파악 → 환경 상태(state) 변화와 기능 변화(Impact) 분석 → 가능한 대안(response)을 적용하여 반복적으로 평가, 시나리오 작성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특정 영향요인의 변화가 뚜렷이 예상되거나, 변화를 고려할 필요가 있는 경우 활용</li> <li>· 통합형 주제에 용이</li> <li>· 이해관계자 참여가 용이함</li> </ul>	국가 및 지역 선호

자료: 박지현(2013); Waite(2014), 저자 재구성.

이해관계자의 의견을 반영한 보다 현실적인 시나리오 마련을 위해 지역 주민 설문조사, 서산 및 태안 지자체 사업 및 계획, 관련 문헌 자료(「가로림만 권역 지속가능 발전전략 수립 연구」, 현재 진행 중) 및 워크숍 결과 등을 활용해 가로림만 지역의 수요 및 가치를 파악하고자 하였다. 실제적으로 광역 혹은 기초지자체 규모의 계획 수립에 있어서는 지역 사업체, NGO를 포함해 그 이해관계자의 범위가 더 넓을 것이다. 본 연구에서는 자료의 가용성 및 시범연구의 효율성 등을 고려해 이해관계자 중 지역 주민과 지자체를 중심으로 한정해 시나리오를 설정하였다.

주민 설문조사에 의하면 가로림만 주민들은 어장이 쇠퇴하였음에도 양식 및 맨손어업을 통해 여전히 연안 생태에 밀접한 의존도를 보여주고 있었다. 최근 활발해진 생태관광과 관련해서도 주된 압력 요인으로 관광자원의 부족보다 어족 생산량의 감소를 꼽고 있어 연안을 통한 식량의 공급이 주요한 부분임을 알 수 있다.



자료: 저자 작성.

〈그림 4-6〉 주민 설문에 따른 자연해택 압력 요인 간 관계

이러한 경향은 과거 조력발전 건설 추진에 따른 갈등 해소와 지역 정체성 정립, 지속가능 발전에 기초한 전략 수요 증가 등의 배경에 따라 현재 수행되고 있는 「가로림만 권역 지속 가능 발전전략 수립에 관한 연구」에서도 그 맥락을 이어가고 있다. 이 연구는 한국해양수산개발원과 충남연구원을 중심으로 2016년 5월에 시작되어 2017년 말까지 진행될 예정이며 주민협의회 운영 등을 통해 가로림만 주민과 시군 지자체를 대상으로 지역사업의 수요를 조사하였다. 협의회 운영 결과 가로림만 거주 주민은 어업 관련 기반시설 증대, 수질 관련 처리시설 설치, 생태관광 자원 관리 등의 사업을 제안했으며, 어업 위주의 소득증대 및 지역 경제 활성화 사업에 가장 높은 수요를 보이고 있었으나 간접적 기반시설 위주로 사업을 제안하고 있어 본질적인 생산자원의 양적 관리를 접근하는 데 제한적이라고 볼 수 있다(표 4-17 참조).

〈표 4-17〉 가로림만 지속가능발전협의회 지역사업 수요

분야	주요 사업제안 내용	수요 정도
자연환경 및 경관보전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공원 조성 사업, 지질공원사업</li> <li>· 아라메길, 솔향기길 등 경관조성사업</li> </ul>	서산: 9개 사업 (주민 6, 지자체 6) 태안: 8개 사업 (주민 7, 지자체 1)
연안 해양생태계 보전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 분뇨처리시설, 해양쓰레기처리시설 등 환경오염관리 시설 설치</li> <li>· 갯벌 생태공원, 염습지 조성 등 연안관리사업</li> <li>· 하천 수로 정비 및 담수시설 정비</li> </ul>	서산: 15개 사업 (주민 6, 지자체 9) 태안: 10개 사업 (주민 7, 지자체 3)
사회문화 보전 및 복원	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 갯벌 및 감태 등 체험장 조성, 섬 및 나오리 문화예술마을 등 관광자원 개발</li> <li>· 숙박시설 및 전망대 등 관광지원시설</li> </ul>	서산: 40개 사업 (주민 27, 지자체 13) 태안: 22개 사업 (주민 12, 지자체 10)
소득증대 및 지역활성화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 마을진입로 및 접근로 등 교통기반시설</li> <li>· 특산물 판매장, 어장 정비 및 확충 등 경계여건 개선사업</li> <li>· 어장 및 농경지 연계 도로 확충을 통한 경제활동 지원시설</li> <li>· 항, 포구, 선착장 등 생활에 필요한 기반시설</li> </ul>	서산: 57개 사업 (주민 49, 지자체 8) 태안: 66개 사업 (주민 51, 지자체 15)

자료: 한국해양수산개발원(2017).

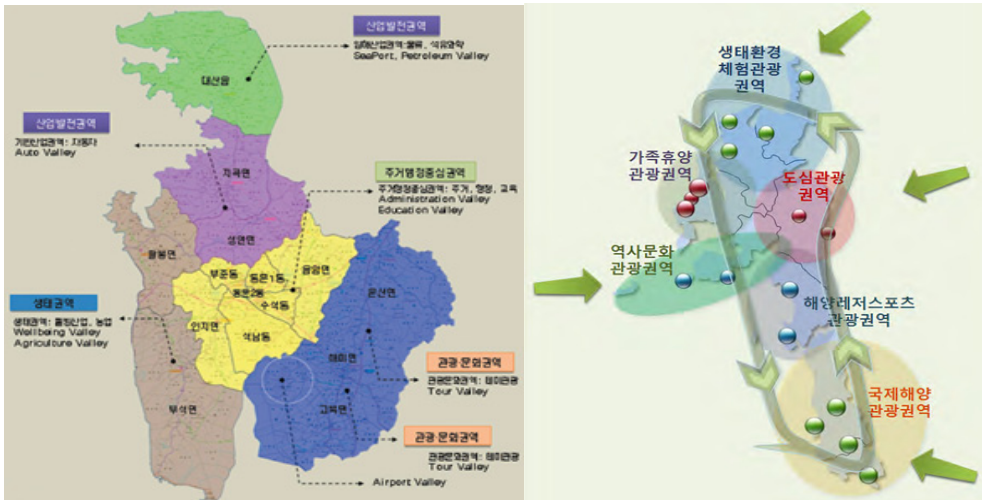
또한 가로림만 관련 지자체인 서산시와 태안군의 과거 계획을 살펴보았다. 서산시는 「2020 서산시 종합발전전략」에서 지역을 크게 4대 권역으로 구분하여 발전계획을 수립하였다. 그 중에서 가로림만과 인접한 대신읍과 지곡면은 ‘산업발전권역’으로 현재의 산업단지를 확장하여 자동차, 물류, 석유화학 등의 첨단산업 집적화 단지로 발전시키는 계획이 수립된 바 있다. 또한 팔봉면에 대해서는 ‘생태권역’으로 구분해 생태자원 기반의 농촌 체험마을을 조성하거나 웰빙산업 특화권역을 조성하는 등 농업 기반의 산업 활성화를 목표로 하였다. 태안군 역시 「2014~2023 태안군 중장기 종합계획」을 수립하였으며 군 전체를 관광휴양도시로 조성하는 것을 비전으로 하고 있다. 가로림만과 접해있는 이원면, 원북면은 ‘생태환경 체험관광 권역’, 태안읍은 ‘도심관광권역’으로 구분되어 있고 특히 가로림만을 대상으로 관광지 조성을 위한 인프라 확대를 명시하고 있다(표 4-18 참조). 정리해보면 서산시의 가로림만 지역은 주로 자동차 산업과 농업 관련 산업단지 개발을 통한 경제 활성화에 집중하고 있는 반면, 태안군은 연안 생태 및 산림 자원을 활용한 휴양지로서의 기반시설 조성에 중점을 두고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 지자체의 계획은 시군 규모로 진행되

기 때문에 앞서 조사된 가로림만 읍면 단위의 지역 주민의 의견과 비교하기는 어려울 수 있지만, 주민은 어업 활성화를 주된 수요로 고려하는 것과 달리 지자체는 생태관광과 산업 단지 개발을 주요 사업으로 고려하고 있어 연안지역 서비스의 이용을 둘러싼 상반된 가치를 보여준다고 할 수 있다.

〈표 4-18〉 가로림만 권역 지자체의 중장기 계획

구분	서산	태안
가로림만 관련 계획	( <b>팔봉면</b> ) 바이오·웰빙특구 조성 및 생태자원 기반의 농촌 체험마을 조성, 농업 생산물 등 웰빙산업 특화권역과 농업권역 조성 ( <b>지곡면</b> ) 기반산업권역으로 자동차 부품산업 클러스터 조성, 자동차 부품산업과 IT산업 결합의 첨단산업 집적화 단지로 발전	( <b>가로림만</b> ) 생태환경 체험관광 권역으로 해양관광 인프라 확대를 위한 개발 추진(관광지 조성) ( <b>태안읍</b> ) 백화산 산림휴양치유단지 조성
기타 관련 계획	물순환형 그린도시 구성(빗물이용시설을 통한 유출률 감소), 친환경 농업 실천지구 조성	농어촌 소등증대를 위한 기반 조성(친환경 농업 육성, 바다숲 조성을 통한 수산자원 회복 등)

자료: 서산시(2009); 태안군(2014).



주: (왼쪽) 서산시 발전권역 구상도, (오른쪽) 태안군 관광권역 구상도  
 자료: 서산시(2009); 태안군(2014).

〈그림 4-7〉 서산 및 태안 중장기 발전계획에 따른 지역별 권역 구분

이 과업에서는 연안 생태계서비스와 자연해택의 변화에 대해 가로림만 전 지역을 대상으로 평가하였기 때문에 특정 마을에 한정된 소규모 사업은 제외하였고 지자체, 주민의 수요를 반영하여 아래와 같이 시나리오를 설정하였다(표 4-19 참조).

〈표 4-19〉 가로림만 시나리오 설정

구분	2030 미래 시나리오	
시나리오0	현 상태 유지	
시나리오1	연안 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가로림만 입구에 조력댐을 건설하여 연안 개발 사업 수행</li> <li>· 태안군 내리~서산시 오지리를 연결하는 조력댐 건설</li> </ul>
시나리오2	갯벌 복원	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가로림만의 매립지(경작지, 염전 등)의 갯벌 복원 사업 수행</li> <li>· 60년대 이후 대규모 사업에 의해 매립된 경작지를 중심으로 갯벌 복원 (복원 면적 14.8km<sup>2</sup>)</li> </ul>
시나리오3	오염원 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 서산, 태안 지자체의 친환경 농업 육성을 통한 육상 오염원 관리 활성화</li> <li>· 가로림만 유역에 해당하는 경작지의 비료 및 농약 사용 50% 절감을 가정</li> </ul>

자료: 저자 작성.

## 2) 시나리오별 자연해택 평가

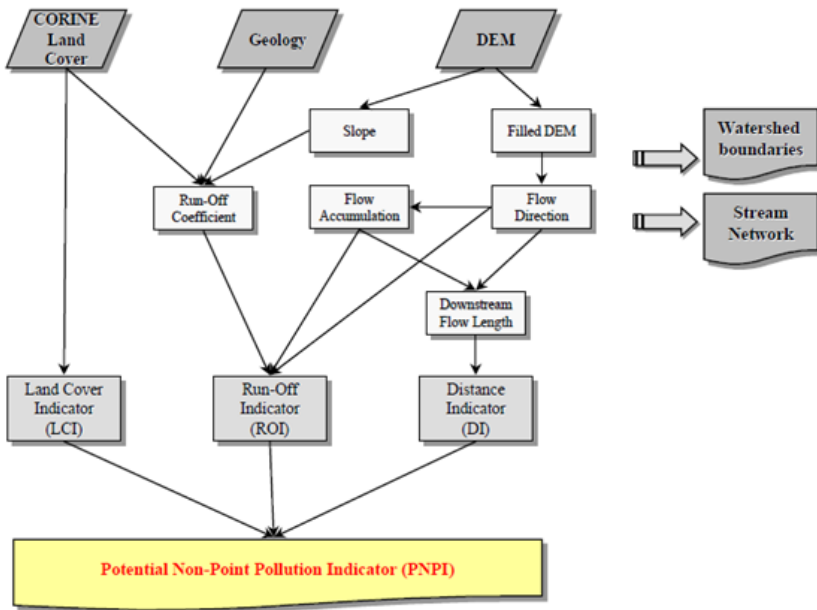
### 가) 환경 및 생태계 평가

#### (1) 비점오염에 의한 수질 평가

연안에 영향을 주는 육상 오염원은 도시지역, 하수처리장 등으로부터 관거에 의해 하천으로 방류되는 점 오염원과, 강우에 의해 유역 지표면의 오염물질이 용해되거나 쓸려 내려와 하천 및 연안으로 유입되는 비점오염원이 있다. 개인 및 사회의 발전 혹은 압력에 의한 토지이용은 도시 개발, 경작 등 그 이용 유형에 오염원의 양 및 종류, 토양 특성에 변화를 주어 잠재적으로 수질에 미치는 영향이 달라진다. 이 장에서는 연안 지역사회 미래 시나리오 중 육상에서 이루어지는 사업(시나리오 2, 시나리오 3)이 연안 수질환경에 미치는 영향을 살펴보기 위해 비점오염 영향 지수(PNPI: Potential Non-point Pollutant Index)를

활용하여 오염배출량의 변화를 정량적으로 분석하였다.

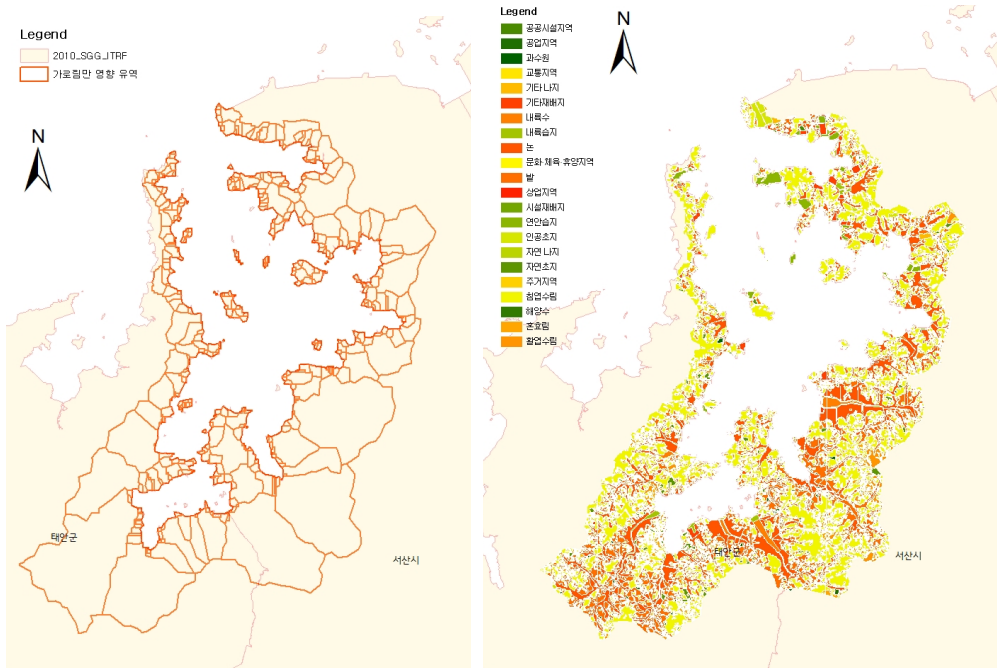
PNPI 지수는 Munafa 외(2005)에서 GIS 기반으로 유역에서 수질에 미치는 압력 정도를 평가하기 위해 개발되었으며 토지이용, 토양 특성, 지형적 특성에 따른 비점오염의 영향을 고려할 수 있도록 하였다(그림 4-8 참조). PNPI는 0~1의 범위로 산정되는 지수 형태로, 지수가 높을수록 해당 지점이 수질에 미치는 부정적 영향이 크음을 의미한다.



자료: Munafa et al.(2005).

〈그림 4-8〉 PNPI 지수 산정 모식도

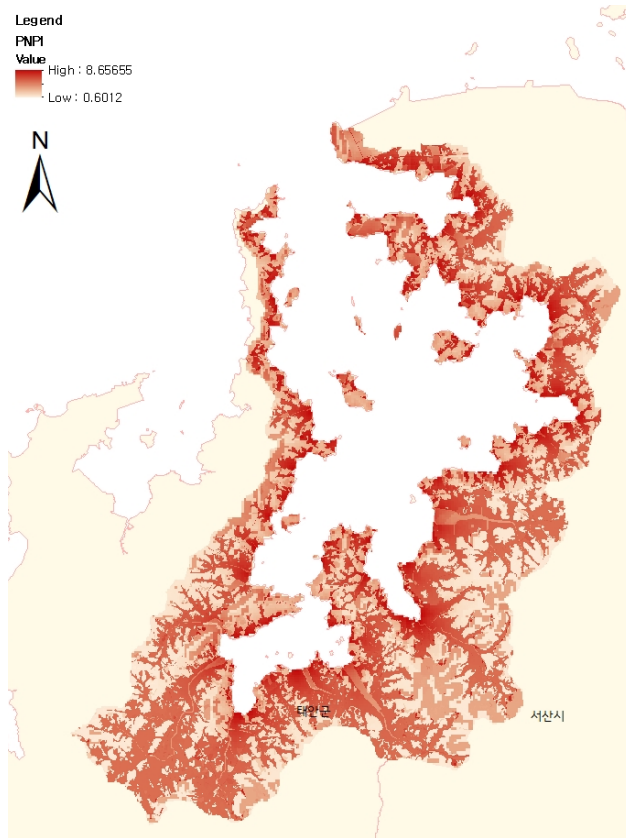
시나리오에 따른 비점오염 배출량 변화를 모의하기 위해 가로림만 환경을 기반으로 하여 PNPI를 적용하였다. 가로림만에 영향을 주는 유역은 〈그림 4-9〉의 왼쪽과 같이 만의 입구 보다는 내륙 쪽으로 상대적으로 크게 형성되어 있음을 알 수 있으며, 유역의 토지이용은 산림지역이 약 48%로 가장 큰 비율을 보였고 논과 밭 등 경작지 이용이 42%로 높은 수준을 보였다.



자료: 저자 작성.

〈그림 4-9〉 가로림만 영향 구역 및 토지이용 현황

가로림만 현재 상태에 대해 PNPI를 적용한 결과 총 유역에 대한 비점오염 영향은 0.345 점(0~1 사이 값)으로 산정되었다. 지수는 다양한 요인이 통합적으로 고려된 값이지만 대체적으로 가로림만에 가깝게 인접한 지역, 경작 지역, 경사가 큰 지역에서 영향이 큰 것으로 파악된다(그림 4-10 참조).



자료: 저자 작성.

〈그림 4-10〉 가로림만 비점오염 영향 지수의 공간적 분포(PNPI)

시나리오 2(갯벌 복원)는 기존 경작지 일부가 갯벌로 복원된 이후의 상황을 가정하였으며 토지이용이 갯벌로 변경된 만큼 오염원 자체가 감소되므로 생태계 모형 및 해양건강성지수에 서 반영하고 있는 수질오염 요인 중 COD, 총질소량(T-N), SS가 영향을 받을 것으로 가정하였다. 시나리오 3(오염원 관리)은 가로림만 권역에서 친환경 농업 육성을 시행함으로써 경작지에 사용되는 비료와 농약을 50% 절감하는 것을 가정하며 이는 해당 경작지가 가진 현재 COD와 총질소량(T-N)의 오염잠재력을 50% 감소시키고 그 외 토양 및 지형적 특성은 변하지 않는 것으로 가정하였다. PNPI 산정 결과는 〈표 4-20〉과 같으며 이러한 비점오염 배출량의 변화에 의한 수질오염 변화를 생태계 모형과 해양건강성지수에 적용하였다.

〈표 4-20〉 PNPI 지수를 통한 시나리오별 비점오염원 변화 예측 결과

구분	PNPI	비점오염 배출량 변화 가정	변화 반영대상
시나리오0 (현 상태)	PNPI 평균 0.345 영향 셀 개수 197277 총 합산 점수 68060.6	-	-
시나리오1 (연안 개발)	육상 오염원 변화 없음		
시나리오2 (갯벌 복원)	PNPI 평균 0.310 영향 셀 개수 180813 총 합산 점수 560520.3	-17.64 %	COD, 총질소량(T-N)
시나리오3 (오염원 관리)	PNPI 평균 0.269 영향 셀 개수 197277 총 합산 점수 530675.1	-22.03 %	COD, 총질소량(T-N), 부유물질(SS)

자료: 저자 작성.

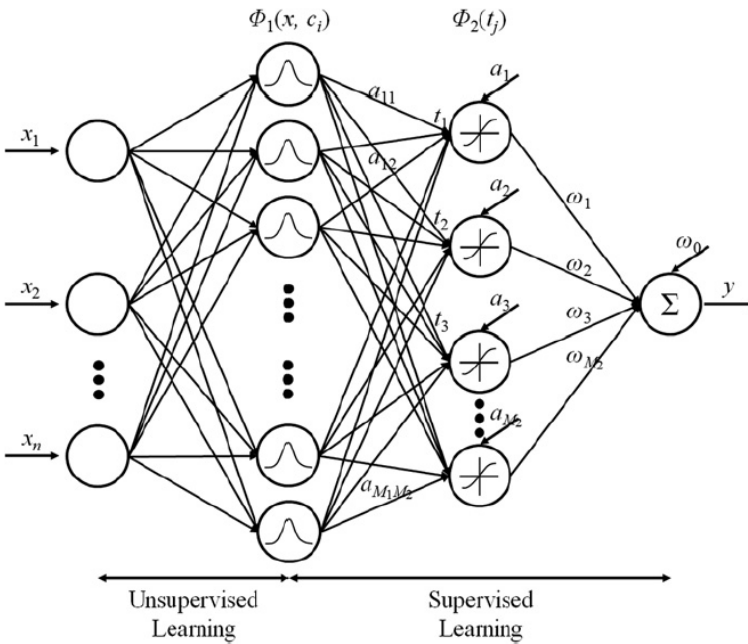
## (2) 연안 생태계 및 기능 평가

### ○ 갯벌과 조하대의 대형저서동물

대형저서동물은 서식처의 물리적 조건을 능동적으로 변화시켜 주변 생물들에 영향을 미치기도 하나(Reise, 1985) 이를 포함하는 생태계 내 대부분의 생물적 구성원은 환경의 변화에 따라 반응(군집 구조와 기능)을 달리한다. 이들 가운데 대형저서동물 군집은 환경의 변화에 대해 비교적 정확한 상태 변화를 지시하는 것으로 알려져 있으며, 이들의 변화는 생태계 내 물질의 매물/순환이나 기능적 변화(예를 들어, 어류나 대형 갑각류 등의 초대형 동물군집과 물새류의 생산력 부양 기능)뿐만 아니라 생태계 서비스의 변화와도 직결되는 것으로 알려져 있다(Reise, 1985; Levin et al., 2001).

본 연구에서는 위와 같은 중요성을 갖는 대형저서동물 군집을 이용하여 생태계 시나리오에 따른 해양건강성지수의 변화를 살펴보았다. 시나리오에 따른 시뮬레이션은 가로림조력 발전(2014) 당시에 활용된 인공지능생태계모형을 활용하였다. 이 당시에는 환경 조건에 따라 갯벌과 조하대 대형저서동물 군집의 구조(생물다양성)와 기능(생체량/생산량)의 변화를 예측하는 모형 연구를 수행하였다(Yoo et al., 2013). 〈그림 4-11〉은 갯벌 생물다양성

을 예측하는 신경망 모형의 구조이며, 환경요인이 입력되면 생물다양성을 출력하는 구조로 되어 있다.



자료: Yoo et al.(2013).

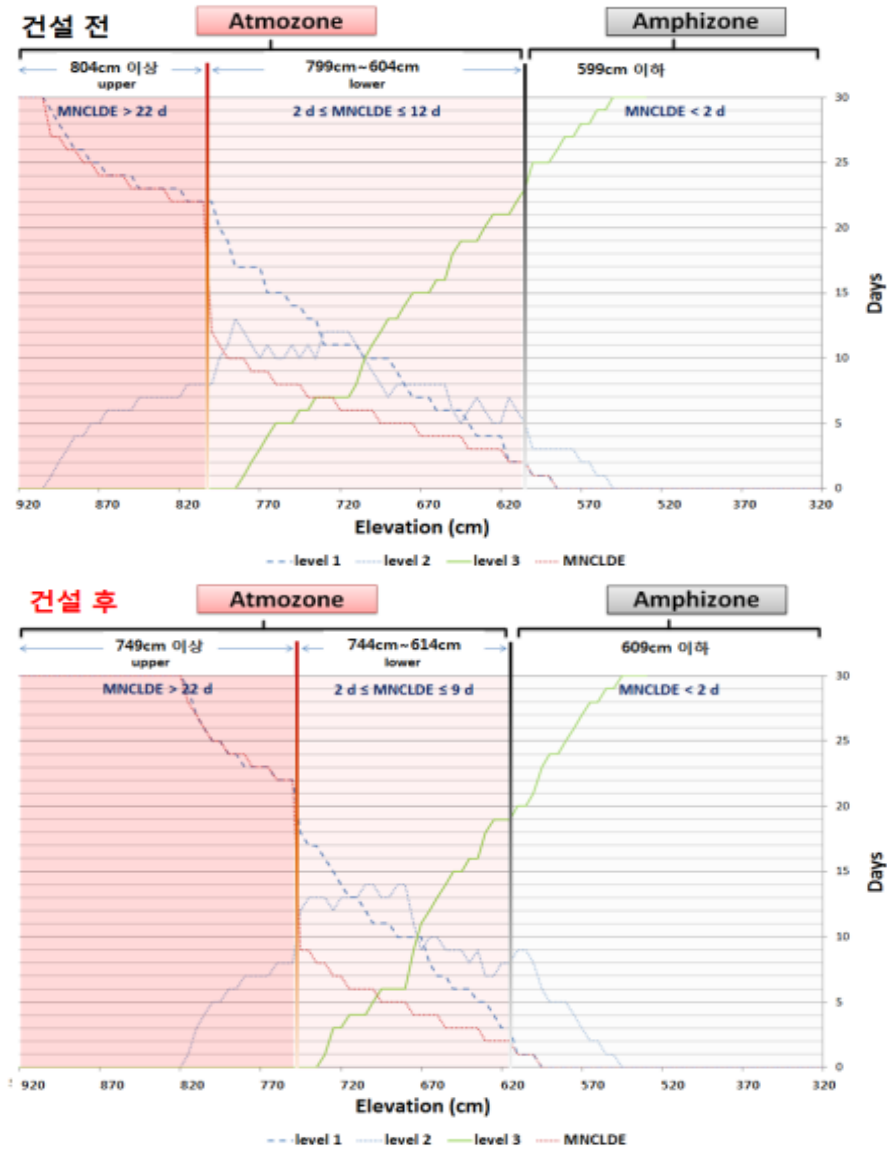
〈그림 4-11〉 갯벌 대형저서동물 군집 생물다양성을 예측하는 신경망 모형의 구조

갯벌 생태계의 구조와 기능을 예측하는 데에 활용된 모형은 채집 노력량과 갯벌의 너비, 조위 범위, 계절, 퇴적물과 수질 특성, 식생 존재 여부 등을 입력 변수로 하며, 조하대의 경우에는 이와 유사하나 퇴적물 내 중금속이 추가되어 있다. 이와 같은 인자들의 변화에 따라 출력되는 구조와 기능의 변화는 해양건강성지수의 목표, 깨끗한 물, 탄소 저장, 생물 다양성 그리고 식량 공급 등의 계산 및 예측에 활용되었다.

### ○ 염생식물

염생식물의 서식 범위에 가장 크게 영향을 미치는 요인은 염분도와 침수조건이다. 일반적으로 조간대 지역의 염분도는 담수 유입과 조석에 의한 침수 및 노출 정도에 따라 결정되며, 염생식물은 이들 조건에 따라 적정 서식 조위에 분포하게 된다. 시나리오 적용으로 인하여 적정 서식 조위에 변화가 생기면 염생식물의 서식 위치는 서식 가능한 적정 조위 범위로 이동할 것이다. 따라서 염생식물의 서식지 변화를 예측하기 위해서는 조위 변화에 따른 조간대 지역의 노출 및 침수 정도 변화를 예측할 필요가 있다.

본 과업에서 적용한 시나리오 중 조위의 변화가 발생하는 시나리오는 만 초입부에 구조물을 설치하는 연안 개발 시나리오이다. 가로림만에서 이와 같은 개발을 시행할 경우 나타날 수 있는 염생식물의 분포 변화에 대해서는 과거 실시된 가로림종합발전(2014)의 보고서에서 분석된 바가 있다. 따라서 본 연구에서는 Swinbanks and Murray(1981)와 Swinbanks(1982)가 제시한 CTLs (Critical Tidal Levels) 방법을 이용하여 기 실시된 가로림만의 조위 변화 결과를 인용하였다(표 4-21; 그림 4-12 참조).



자료: 가로림종합발전(2014).

〈그림 4-12〉 구조물 건설 전·후의 Critical Tidal Levels 변화

〈표 4-21〉 구조물 건설 전·후의 조위 및 조간대 노출시간 변화

Discrete Exposure Zone	Subdivision	Range of elevation (approximate lowest low water)		Consecutive Days of Expose	
		before	after	before	after
Atmozone	Upper	804cm and above	749cm and above	MNCLDE $\geq$ 22d	MNCLDE $\geq$ 22d
	Lower	604~799cm	614~744cm	2d $\leq$ MNCLDE $\leq$ 12d	2d $\leq$ MNCLDE $\leq$ 9d
Amphizone	-	599cm and below	609 cm and below	MNCLDE $\leq$ 2d	MNCLDE $\leq$ 2d

주: MNCLDE : Maximum Number of Consecutive Days of Expose

자료: 가로림종합발전(2014), 저자 재구성.

조사가 이루어진 2012년 기준 가로림만에 서식하는 염생식물은 대개 퇴적상에 대해 넓은 서식범위를 갖는 generalists가 우점하고 있다. 이들 염생식물의 잠재적 출현고도범위는 580~800cm로 나타났으며, 구조물 설치 후 잠재적 출현고도범위는 600~745cm로 변화할 것으로 예측되었다.

따라서 Swinbanks and Murray(1981), Swinbanks(1982)의 CTL 분류 체계를 적용할 때 염생식물의 출현 범위는 구조물 설치 전과 후 모두 lower atmozone에 해당한다. 염생식물의 주요 서식공간인 lower atmozone는 구조물 설치에 따라 수직 범위가 604~799cm에서 614~744cm으로 감소하는 것으로 예측되었는데 이 고도범위 감소율을 염생식물의 분포면적에 적용하면 가로림 전체 염생식물의 염생식물 분포 규모는 기존의 약 67% 가량 감소할 것으로 추정할 수 있다(가로림종합발전, 2014).

염생식물의 서식면적에 영향을 주는 또 다른 시나리오로는 ‘갯벌 복원’이 있다. 갯벌 복원 시나리오에서는 간석 및 농지화 등으로 유실된 갯벌을 다시 복원하게 되는데, 이때 복원 면적은 총 14.8km<sup>2</sup>이며 이로 인해 증가되는 해안선의 길이는 약 94.1km에 달할 것으로 예측된다. 이 갯벌 복원 시나리오의 경우에는 염생식물의 분포에 영향을 주는 조위의 변화가 발생하지 않기 때문에, 기존에 서식하고 있는 염생식물의 분포 면적은 그대로 유지될 것이

라 판단된다. 따라서 기존의 염생식물 서식지에 새롭게 복원되는 갯벌에 조성되는 염생식물 서식지가 추가되는 것으로 이해할 수 있다.

따라서 갯벌 복원 시나리오에서 새롭게 복원되는 갯벌에 대한 염생식물 서식지 면적은 현재의 행정구역별 총식생량(TCV)을 계산하여 이를 새롭게 추가되는 해안선의 길이에 적용하여 산정하였다. 갯벌의 총식생량은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{총식생량}(TCV) = \frac{\text{염생식물 서식면적}(m^2)}{\text{해안선의 길이}(m)}$$

현재 가로림만 내측에 서식하는 염생식물에 대한 총식생량 값은 서산이 0.781, 태안이 0.145이다. 또한 갯벌 복원을 통해 새롭게 추가되는 해안선의 길이는 서산이 약 37,640m, 태안이 약 56,460m으로 예상된다. 여기에 단위 길이(m)당 식생량 값인 총식생량 값을 곱하면 새롭게 추가되는 갯벌에 조성되는 염생식물의 서식지 면적을 예측할 수 있다.

본 연구에서 설정한 세 가지 시나리오 중 오염원 관리의 경우에는 비점오염원에서 발생하는 영양염류 등의 오염물질 감소를 목적으로 하며, 염생식물의 서식지 면적에 직접적으로 영향을 주지는 않을 것으로 예상된다.

이상의 방법들을 통해 시나리오별로 예측되는 염생식물 면적의 변화값은 다음의 <표 4-22>와 같다.

<표 4-22> 시나리오 적용에 따른 염생식물 서식면적 변화

구 분	현재 상태		연안 개발		갯벌 복원		오염원 관리	
	서산	태안	서산	태안	서산	태안	서산	태안
서식 면적 (㎡)	81,291	8,368	54,465	5,607	110,688	16,555	81,291	8,368

자료: 저자 작성.

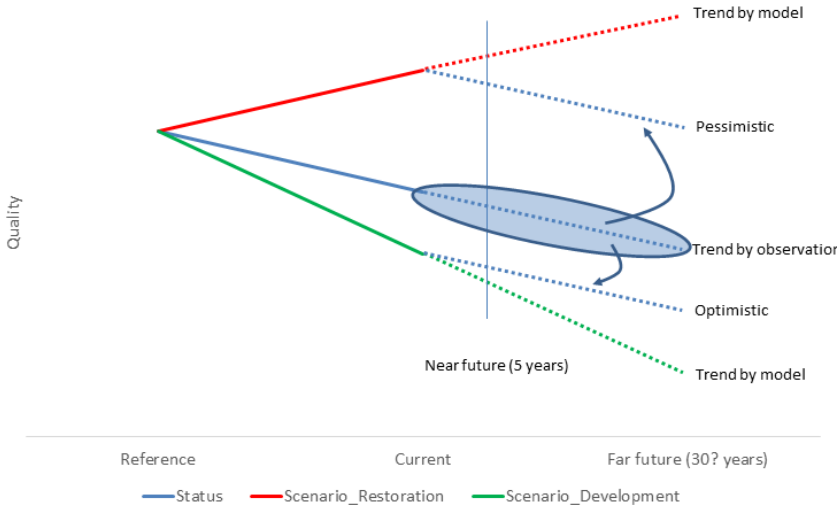
### 나) 해양건강성지수 평가

가로림만의 시나리오에 따른 자연해택 변화를 예측하기 위해 앞서 분석한 수질환경, 연안 생태계 및 기능을 개별적으로 모의한 것을 해양건강성지수에 적용하여 통합적인 자연해택 변화를 평가하였다. 평가 결과는 목표에 따라 현황, 압력, 회복력 점수가 모두 바뀌거나 혹은 현황 점수는 변화 없이 압력, 회복력 점수만 변화하여 산출되었다.

각각의 시나리오는 환경 상태와 생태계 기능에 긍정적 혹은 부정적 영향을 미치며 이에 따라 각 목표별 지표는 이에 따른 긍정적인 효과로 인한 상태값의 증가 혹은 부정적인 효과로 인한 상태값의 감소가 나타나게 된다. 이때 현재의 상태값이 변화함에 따라 과거의 대조점부터 현재에 이르는 목표의 추세 또한 변화하게 되는데, 이 추세의 변화는 시나리오라는 이벤트로 인하여 발생한 것으로 향후 지속적으로 이러한 추세가 계속될 것이라고는 볼 수 없다.

본 연구진은 이를 장기간에 걸쳐 가로림만의 자연적인 변화를 지배한 외력에 의한 것으로 보았다. 이에 비해 시나리오에 포함된 개발·관리 옵션은 국지적인 규모로 행해지는 것이므로 자연적인 변화에 의한 추세보다 우월하거나 기존 관찰값에 근거하여 평가된 변화 추세를 변경할 것으로 판단하기는 어려웠다. 따라서 긍정적인 조치로 인하여 현재까지의 추세가 상승하였다 하더라도 이 추세가 지속되지는 않으며, 향후에는 조치가 적용되지 않은 상황의 추세로 다시 복원될 것이다. 반대로 부정적인 조치로 인하여 추세가 감소하였다 하더라도, 부정적인 요인이 지속적으로 적용되지 않는 이상은 조치 이전의 추세로 돌아갈 것으로 생각할 수 있다(그림 4-13 참조).

시나리오별 해양건강성지수를 산정할 때 추세는 각 목표별 근미래의 상태를 예측하는 지표로 활용된다. 따라서 본 연구진은 각 목표의 추세값을 과거부터 시나리오가 적용된 시점까지의 추세가 아닌, 과거부터 시나리오가 적용되지 않은 현재 시점까지의 추세값을 이용하였다. 이를 통해 근미래를 예측하는 데 생태계의 항상성을 고려한 결과를 얻을 수 있을 것이다.



자료: 저자 작성.

〈그림 4-13〉 시나리오별 변화값 예측 결과에 대한 추세 산정

(1) 목표별 현황 평가

○ 식량공급

조사가 이루어진 가로림만에서 수산물의 생산은 주로 양식에 의존하고 있다. 주요 양식 대상 생물로는 가무락, 굴, 바지락, 홍합 등 이매패류와 송어 등 어류, 그리고 새우류와 전복류가 있는데, 대다수의 양식이 자연적으로 발생한 수산생물을 취득하기보다는 종패 혹은 치어와 같은 어린 개체를 인위적으로 투입한 후 성장시켜 취득하는 방법으로 시행되고 있다. 이와 같은 방법으로 양식을 수행할 때 수산물의 취득량은 최초 투입한 어린 개체의 양에 크게 좌우되며, 환경변화에 따른 변화는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 더욱이 어류 및 갑각류의 양식은 연안에 제방을 축조하여 독립된 환경을 구축하고 그 내부에서 양식을 실시하는 축제식 양식이 주를 이루고 있어, 이들 수산생물의 양식 생산량이 가로림만 내측의 환경변화로부터 받는 영향은 거의 없을 것으로 볼 수 있다.

따라서 식량 공급 지수를 산정할 때 환경 변화에 영향을 받는 요인은 조사 해역의 잠재적 생산성이 될 것이다. 잠재적 생산성은 조사 해역의 조간대 및 조하대에 서식하는 무척추동물

물에 의해 생산 가능한 생체량을 나타내는 지표로 정의하였기 때문에 이 값은 환경 조건의 변화에 대해 민감한 변화를 보이게 된다.

시나리오별 생태계 기능의 변화 내용을 보면 시나리오별로 조건대 대형저서동물의 생체량에 변화가 있는 것으로 확인되었다. 구체적으로는 개발 시나리오의 경우 조건대 대형저서동물의 생체량이 30% 가량 감소할 것으로 예측이 되었고, 갯벌 복원 시나리오에서는 23% 가량 증가할 것으로 예측되었으며, 오염원 관리 시나리오에서는 20%가 증가하는 것으로 예측되었다.

이를 반영한 식량 공급 목표의 현황 결과 변화는 다음의 <표 4-23>과 같다.

<표 4-23> 시나리오 적용에 따른 식량 공급 세부 목표별 변화

구 분	현재 상태		개발		갯벌 복원		오염원 관리	
	$X_{MAR}$	$X_{PPR}$	$X_{MAR}$	$X_{PPR}$	$X_{MAR}$	$X_{PPR}$	$X_{MAR}$	$X_{PPR}$
서산	0.816	0.431	0.816	0.389	0.816	0.488	0.816	0.457
태안	0.816	0.399	0.816	0.372	0.816	0.458	0.816	0.427

자료: 저자 작성.

따라서 가로림만에서의 시나리오 적용에 따른 최종적인 식량 공급 목표의 현황 결과는 다음과 같이 산출할 수 있다.

<표 4-24> 시나리오 적용에 따른 식량 공급 현황 변화

구 분	현재 상태	개발	갯벌 복원	오염원 관리
서산	0.624	0.603	0.638	0.637
태안	0.608	0.594	0.623	0.622

자료: 저자 작성.

#### ○ 탄소 저장

염생식물 군락의 서식지 분포는 갯벌 면적에 크게 영향을 받는다. 갯벌 면적은 연안 개발 및 수리 환경변화에 따라 감소할 수 있으며, 반대로 유실된 갯벌의 복원을 통해 증가할

수 있다. 본 과제에서 설정한 3개의 시나리오 중 개발 시나리오는 수리환경의 변화로 인해 갯벌 면적이 감소하는 것으로 예상되며, 갯벌 복원 시나리오에서는 갯벌의 면적이 증가할 것으로 예상된다. 또한, 오염원 관리의 경우에는 염생식물의 서식처 면적에 직접적으로 영향을 미치지 않는 것으로 예상된다.

갯벌 면적의 변화는 염생식물의 서식처를 변화시키기도 하지만, 갯벌 면적 그 자체로 탄소 저장 기능에 영향을 미치기도 한다. 이는 갯벌의 퇴적층에 저장되는 탄소의 양이 갯벌 면적에 직접적으로 영향을 받기 때문이다.

시나리오별 환경 상태 및 생태계 기능의 변화를 보면 개발 시나리오에서는 갯벌 면적이 16.6% 감소하고, 염생식물 서식지는 33% 가량 감소하는 것으로 예측되었다. 갯벌 복원 시나리오에서는 갯벌 면적이 14.8km<sup>2</sup> 증가하고, 해안선 길이가 94.1km 감소하며, 이에 따라 염생식물의 식생량은 총 37,584km<sup>2</sup>이 증가하는 것으로 예측되었다. 그리고 오염원 관리 시나리오에서는 갯벌 면적 및 염생식물의 식생량에 변화가 없을 것으로 예측되었다.

이를 반영한 탄소 저장 목표의 시나리오별 세부 목표 결과 변화는 다음의 <표 4-25>와 같다.

<표 4-25> 시나리오 적용에 따른 탄소 저장 세부 목표별 변화

구 분	현재 상태		개발		갯벌 복원		오염원 관리	
	$X_{CC}$	$X_{SS}$	$X_{CC}$	$X_{SS}$	$X_{CC}$	$X_{SS}$	$X_{CC}$	$X_{SS}$
서산	0.779	0.851	0.699	0.710	0.648	0.997	0.779	0.851
태안	0.810	0.753	0.860	0.628	0.705	0.955	0.810	0.753

자료: 저자 작성.

$X_{CC}$ 의 값이 개발 시나리오의 경우 태안에서 증가하고, 갯벌 복원 시나리오의 경우 서산과 태안 모두 감소하는 것으로 나타난 것은  $X_{CC}$ 가 조사지역 내에서 탄소를 고정하는 다양한 종류의 식물상이 고르게 분포하였을 때를 이상적인 상태로 간주하고 있기 때문이다. 가로림만에는 갯벌에 서식하는 염생식물과 함께 조하대에 약 21,568m<sup>2</sup> 규모의 잘피숲이 분포하고 있으며, 이 두 종류의 식생 분포에 따라  $X_{CC}$ 의 값이 결정된다. 따라서 염생식물

과 잘피숲이 함께 증가하는 경우가 탄소 고정이 안정적으로 이루어지는 이상적인 상황이라 할 수 있다. 다만 가로림만의 잘피숲은 대조 시점인 과거 2002년부터 2012년까지 면적 분포에 변화가 없었으며, 본 과업에서도 시나리오 적용에 따른 잘피숲의 면적 변화는 없는 것으로 간주하였다.

여기서 발생하는 탄소 저장 능력의 오평가를 막기 위해 본 과업에서는 갯벌 퇴적물의 탄소 저장 능력을 반영하여 조사 지역의 최종 탄소 저장 능력을 평가하였다. 이에 따라 가로림만에서의 시나리오 적용에 따른 최종적인 탄소 저장 현황 변화는 다음과 같이 산출할 수 있다.

〈표 4-26〉 시나리오 적용에 따른 탄소 저장 현황 변화

구 분	현재 상태	개발	갯벌 복원	오염원 관리
서산	0.815	0.704	0.823	0.815
태안	0.782	0.744	0.830	0.782

자료: 저자 작성.

#### ○ 깨끗한 물

깨끗한 물 목표는 병원균, 해양쓰레기, 영양염, 화학물질, 수질평가지수의 5개 구성요소에 의한 상태값( $X_{CW}$ )과 갯벌 대형저서동물에 의한 연간 POC 제거율( $X_{cw\_habitat}$ )을 통해 다음과 같이 산정된다.

$$STATUS_{cw} = \frac{X_{cw} + X_{cw\_habitat}}{2}$$

따라서  $X_{CW}$ 는 가로림만의 환경상태 변화를 반영하며,  $X_{cw\_habitat}$ 는 생태계의 기능 변화를 반영하게 된다. 본 과제에서 선정한 3개의 시나리오에 따른 환경상태 및 생태계 기능의 변화를 살펴보면, 개발 시나리오에서는 갯벌 면적 감소에 따른 갯벌 대형저서동물의 생체량 30% 감소가 예상되며, 갯벌 복원 시나리오에서는 유역 비점오염원에서의 COD,

총질소, 부유물질이 각각 17.64% 감소하고 갯벌의 대형저서동물 생체량이 23% 가량 증가할 것으로 예상된다. 그리고 오염원 관리 시나리오에서는 유역의 비점오염원에서 배출되는 COD와 총질소가 각각 22.2% 감소하고 갯벌의 생체량이 20% 증가할 것으로 예측된다. 이를 반영한 깨끗한 물 세부지표의 결과 변화는 다음의 <표 4-27>과 같다.

<표 4-27> 시나리오 적용에 따른 깨끗한 물 세부 지표 변화

구 분		서 산				태 안			
		현재	개발	갯벌 복원	오염원 관리	현재	개발	갯벌 복원	오염원 관리
$X_{CW}$	병원성대장균 $a$	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	해양쓰레기 $d$	1.24	1.24	1.24	1.24	1.27	1.27	1.27	1.27
	영양염 $u$	1.31	1.28	1.45	1.50	1.31	1.28	1.45	1.50
	화학물질 $l$	1.20	1.13	1.40	1.47	1.20	1.13	1.4	1.47
	수질평가지수 $w$	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
$X_{CW}$		0.75	0.74	0.79	0.81	0.76	0.75	0.80	0.81
$X_{cw\_habitat}$		0.82	0.43	1.00	1.00	0.71	0.36	1.00	0.90

자료: 저자 작성.

따라서 가로림만에서의 시나리오 적용에 따른 최종적인 깨끗한 물 목표의 현황 변화는 다음과 같이 산출할 수 있다.

<표 4-28> 시나리오 적용에 따른 깨끗한 물 현황 변화

구 분	현재 상태	개발	갯벌 복원	오염원 관리
서산	0.786	0.588	0.897	0.903
태안	0.734	0.552	0.899	0.856

자료: 저자 작성.

### ○ 생물다양성

생물다양성의 하위 목표 중에서 종( $X_{SPP}$ )은 가정에 대한 전문가 판단으로 변화를 가정하였고, 서식처( $X_{HAB}$ )의 경우 생태계 모형의 예측에 근거하여 계산하였다.

하위 목표-종( $X_{SPP}$ )은 연안 개발·갯벌 복원·오염원 관리의 3개 시나리오 가운데 연안 개발과 갯벌 복원 시나리오에서 변화가 발생할 것이며, 오염원 관리 시나리오의 경우 현재 조건에 비해 큰 변화가 없을 것으로 가정하였다. 먼저 연안 개발이 이루어질 경우, 갯벌 상부 조간대의 상당 부분에 육화가 진행될 것이며, 따라서 이식(tranplant)이나 대체 서식처를 조성하는 것이 필요하다는 대안이 마련된 바 있다(가로림조력발전, 2014). 이 제안에 근거하여 현재 관찰 기록이 존재하는 가로림만 내 격자 11과 17에서 이들이 사라질 것으로 가정하였다. 반면 갯벌 복원 시나리오의 경우, 보호종 흰발농게(*Uca lactea*)와 붉은발말뚝게(*Sesarmops intermedius*)가 관찰된 격자 17을 중심으로 가로림만 안쪽의 갯벌 상부(격자 18, 19, 20)에 대한 복원이 이루어진다. 따라서 격자 17을 중심으로 내측에 위치한 갯벌 상부에 유사한 조건의 서식처가 복원될 것이며, 격자, 18, 19, 20에는 이들 두 종 가운데 적어도 1종은 출현할 것으로 가정하였다.

하위 목표-서식처( $X_{HAB}$ )는 생태계 모형의 예측 결과에 근거하였다. 연안 개발이 이루어질 경우, 갯벌 면적이 17% 감소하고, 이에 따라 갯벌 생물 다양성과 생체량이 각각 20, 30% 감소하며, 조하대의 경우 큰 변화는 없을 것으로 예측되었다. 복원 시나리오의 경우에는 갯벌 생물다양성과 생체량이 각각 13, 23%로 증가하였으며, 역시 조하대의 경우에는 큰 변화가 없을 것으로 예측되었다. 오염원 관리 시나리오의 경우에는 갯벌 생물다양성은 변화가 없으나, 갯벌 생체량의 경우 20% 증가할 것으로 예측되었다.

위와 같은 조건 변화에 따라 각 하위 목표 내 항목에 대한 계산을 실시한 결과는 <표 4-29; 4-30>과 같다. 앞서 언급한 바와 같이 현재 상태와 오염원 관리 시나리오 하에서  $X_{SPP}$ 는 변화가 없는 것으로 보였다. 그러나 이 값은 개발이 이루어짐에 따라 서산과 태안 두 지역에서 0.1에 해당하는 감소를 나타내었다. 반면 복원 시에는 태안에서 0.2 이상 큰 폭으로 증가하는 것으로 계산되었다.  $X_{HAB}$ 의 경우, 개발 시에 0.05~0.07 규모로 감소하며, 복원 시에는 유사한 규모로 증가하는 것으로 나타났다. 오염원 관리 시나리오의 경우

0.02~0.04 정도로 근소하게 개선되는 것으로 예측되었다.

〈표 4-29〉 시나리오 적용에 따른 생물 다양성 세부 목표별 변화

구 분	현재 상태		개발		갯벌 복원		오염원 관리	
	$X_{SPP}$	$X_{HAB}$	$X_{SPP}$	$X_{HAB}$	$X_{SPP}$	$X_{HAB}$	$X_{SPP}$	$X_{HAB}$
서산	0.430	0.776	0.320	0.730	0.533	0.830	0.430	0.784
태안	0.600	0.717	0.500	0.650	0.800	0.780	0.600	0.722

자료: 저자 작성.

이상의 결과에 근거하여 생물다양성을 평가한 결과, 개발 시나리오 하에서 서산과 태안 두 곳 모두 0.09 규모로 질적 악화가 발생하며, 복원의 경우 특히 태안에서 가장 큰 폭(0.13)의 긍정적인 변화를 나타낼 것으로 예측되었다. 오염원 관리 시나리오의 경우 서산과 태안 모두 큰 변화가 없는 것으로 볼 수 있는 예측 결과가 계산되었다.

〈표 4-30〉 시나리오 적용에 따른 생물 다양성 현황 변화

구 분	현재 상태	개발	갯벌 복원	오염원 관리
서산	0.601	0.525	0.682	0.607
태안	0.659	0.575	0.790	0.661

자료: 저자 작성.

## (2) 목표별 및 종합 해양건강성지수 평가

시나리오에 따른 목표별 해양건강성지수 결과를 종합하여 〈그림 4-14〉에 제시하였다. 대체적으로 개발 시나리오에서는 모든 자연혜택 목표가 감소하였고 특히 깨끗한 물에서 21점으로 크게 감소하였다. 갯벌 복원 시나리오와 오염원 관리 시나리오에서는 모든 자연혜택의 점수가 증가하는 결과를 보였으며 복원 시나리오는 깨끗한 물과 생물다양성에서, 오염원 관리 시나리오는 깨끗한 물 목표에서 가장 큰 증가율을 보였다.



자료: 저자 작성.

〈그림 4-14〉 시나리오에 의한 목표별 해양건강성지수 변화

시나리오에 따른 종합 해양건강성지수는 <표 4-31>과 같이 산출되었다. 가로림만의 전체적인 자연혜택 수준은 연안 개발 시나리오에서 -11점에서 -5점까지 감소하였고 갯벌 복원 시나리오는 가로림만의 자연혜택을 현재 대비 3~9점 증가시키는 것으로 평가되었다.

시나리오별 종합 해양건강성지수에서 '보존 우선'은 탄소 저장, 깨끗한 물, 생물다양성의 가치에 무게를 두고 있으며 '강한 채취적 이용'은 식량공급과 생계 및 경제에 더 무게를 두어 가중치를 산정하고 있다. 본 과업에서는 시나리오 결과 경향이 해양활용 방안 설정(목표별 가중치)과 상관없이 유사하게 나타났지만 향후 시나리오 설정 및 적용방법 보완에 따라서 해양활용 방안 설정에 따른 결과 경향이 달라질 수 있으며, 지역 정책 방향에 따라 시나리오 선택으로 인한 의사결정이 달라질 수 있을 것이다.

<표 4-31> 가로림만 종합 해양건강성지수의 시나리오별 변화

시나리오	해양활용 방안	
	보존 우선 주의 (Preservationist)	강한 채취적 이용 (Strongly extractive use)
0. 현 상태 유지	71점	67점
1. 연안 개발	-11점	-5점
<b>2. 갯벌 복원</b>	<b>+9점</b>	<b>+3점</b>
3. 오염원 관리	+3점	+1점

주: Non extractive use 경우의 가중치 반영 결과  
자료: 저자 작성.

## 라. 해양건강성지수 민감도 분석

본 연구에서 연안지역의 자연혜택을 평가하는 데 사용한 해양건강성지수는 과학적 프로세스나 경험적 수식 기반의 수치모델은 아니지만 지수를 산출하기 위해서 각 항목별 현황, 추세, 압력 및 회복력 강도 산정을 위한 변수, 가중치, 그 외 상수 등 여러 입력 인자를 필요로 한다. 이는 어떤 변수를 선택하고 어떤 산출 방식을 택하는지, 그리고 어느 인자에 중요도를 줄 것인지 등 사용자의 결정에 따라 최종적인 지수가 다르게 산출될 수 있음을 뜻한다. 이 장에서는 해양건강성 지수가 여러 입력 인자에 따라 어떻게 반응하는지 그 민감도를 살펴보고 지수를 활용하는 데 고려해야 할 점을 살펴보고자 한다.

해양건강성지수 방법론을 제안한 Halpern은 미국 서부해안 지역을 중심으로 해양건강성지수를 적용하면서 기준점 설정방식과 목표(goal)별 가중치에 대한 민감도를 분석하여 그 결과를 제시하였다(Halpern et al., 2014). 식량공급 목표의 기준점에 대해 공간 규모를 달리한 기준점(세계 최대 생산밀도, 미국 내 생산밀도), 그 외 지역별 시간적 기준점, 생산 함수를 활용한 기준점을 각각 적용했을 때 워싱턴(Washington)주의 식량공급 지수는 1~81의 범위를 보여 그 편차가 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 국가 간 비교를 제외한 미국 내 기준점 비교로 한정하였을 때에도 해양건강성지수의 범위는 10~81점으로 나타났다. 유사한 방식으로 가로림만의 관광 및 여가 목표에 <표 4-32>와 같이 3개의 기준점을 적용하여 비교한 결과, 관광 및 여가 지수는 12~67점의 범위로 나타나 기준점 설정이 결과에 미치는 영향이 큼을 확인했다.

<표 4-32> 가로림만 ‘관광 및 여가’ 기준점 설정에 따른 해양건강성지수 변화

기준점 설정	설명	지수 결과
1. 시간적 기준 (가로림만)	가로림만 권역의 관광지 입장객 수/지역민수의 최대값	67점
2. 시공간적 기준1 (충남 연안지역 시군 전체)	충청남도 연안 시군 7지역의 관광지 입장객 수/지역민수 최대값	12점
3. 시공간적 기준2 (제주도)	제주시도의 관광지 입장객 수/지역민수 최대값	50점

자료: 저자 작성.

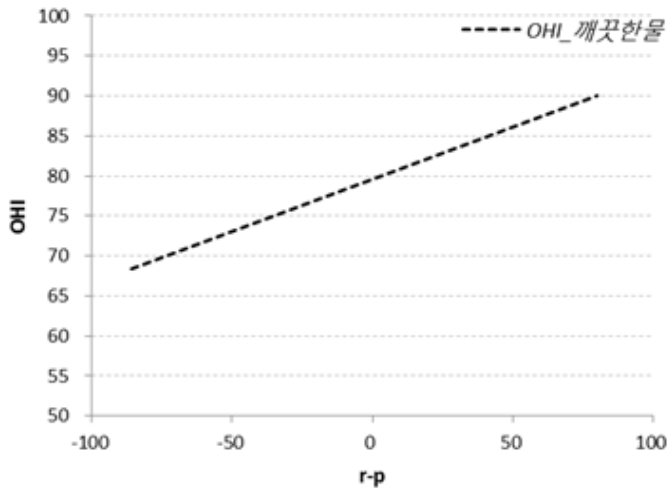
두 번째로 종합 해양건강성지수를 산출하기 위한 목표별 가중치의 영향을 서술하였다. Halpern et al.(2014)의 미국 적용 사례에서는 목표별로 동일 가중치를 적용하였을 때와 이해관계자 산정 가중치를 적용하였을 때 지역에 따라 산정된 종합지수는 0~2점의 범위로 차이를 보였고, 가로림만 적용사례의 경우 4가지 경우의 목표별 가중치를 적용하였을 때(제 3장 3-다 부분 참고) 서산과 태안 지역의 종합지수는 3~4점의 차이가 나타났다.

〈표 4-33〉 목표별 가중치 설정에 따른 종합 해양건강성지수 변화

지역		적용 가중치	종합 해양건강성지수	출처
미국 서부해안	Washington	동일 및 이해관계자 산정 가중치	65-66	Halpern et al.(2014)
	Oregon		74	
	N. California		66-67	
	C. California		69-71	
	S. California		71-73	
가로림만	서산	해양 활용방안에 따른 4가지 가중치	73-77	본 연구
	태안		71-74	

자료: 저자 작성.

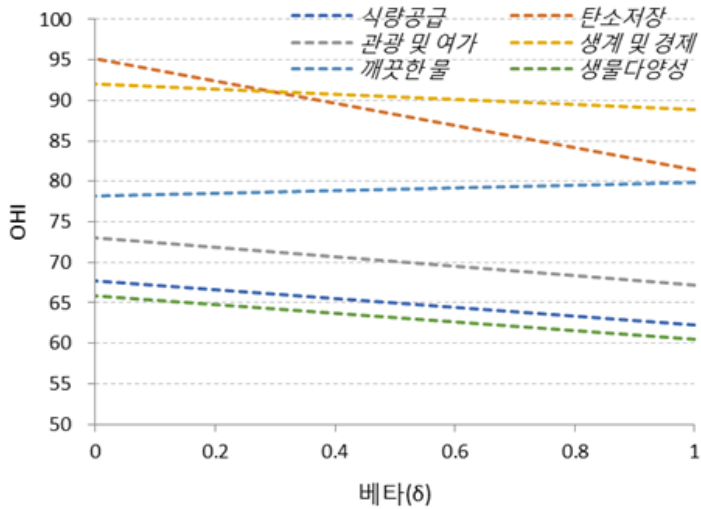
다음으로, 해양건강성지수는 산출된 현황에 각 목표에 따른 압력과 회복력 강도 차와 추세의 영향이 더해져 최종 지수가 산출된다. 추세의 경우는 현황의 산정 방식에 따라 자동적으로 주어지는 값으로 볼 수 있으며 그에 비해 압력과 회복력 강도는 요인의 선정, 강도 산정방식, 목표별 가중치 등 설계자가 어떤 요소를 고려하는지에 따라서 그 값이 달라질 수 있다. 여기에서는 가로림만의 ‘깨끗한 물’ 지수를 대상으로 압력/회복력 강도 차에 대한 해양건강성지수( $I$ )의 민감도를 살펴보았다. 지수의 민감한 정도를 살펴보기 위해 (회복력 강도 - 압력 강도) 값과 가중치를 임의적으로 조정해 적용했을 때 그에 따른 ‘깨끗한 물’ 지수는 68.4~90점의 분포를 보였다(그림 4-15 참조).



주: r은 회복력 점수, p는 압력 점수로 회복력과 압력의 상대적 크기에 따라 (r-p)는 -100에서 100까지의 점수를 가질 수 있음  
자료: 저자 작성.

〈그림 4-15〉 압력/회복력 강도 및 가중치 설정에 의한 해양건강성지수 변화

또한 해양건강성지수를 산출하기 위해서는 현황에 영향을 미치는 요인(압력, 회복력)과 추세 간의 상대적 중요도로 베타( $\beta$ )라는 상수가 필요하다. 베타는 0~1사이의 값을 적용할 수 있으며 Halpern et al.(2012)은 과거의 5년 추세가 압력-회복력 요인보다 2배 정도의 영향력이 있다는 가정 하에 0.67을 기본값으로 제시하고 있고, 미래를 바라보는 시각, 혹은 영향 정도가 과학적으로 뒷받침되는 근거에 따라 베타값을 변경할 수 있을 것이다. 여기에서는 가로림만 6개 목표의 해양건강성 지수를 활용해 베타값을 0에서 1로 적용하여 민감도를 테스트하였다. 그 결과, 목표마다 지수의 변화 정도는 다르게 나타났으며 가장 큰 변화를 보인 '탄소 저장'의 경우 81~95점으로 약 14점의 변화를 보였다.



자료: 저자 작성.

〈그림 4-16〉 베타 상수 설정에 따른 해양건강성지수 변화

해양건강성지수의 민감도 검토 결과를 종합해보면 <표 4-34>와 같이 제시할 수 있다. 해양건강성지수는 현황 기준점 설정에 대한 지수 변화가 가장 큰 것으로 나타났고, 압력/회복력 강도 차이와 가중치에 대해서도 비교적 높은 변화를 보이는 것을 알 수 있다. 그에 비해 베타( $\beta$ )와 종합지수 산출을 위한 목표별 가중치는 상대적으로 지수 변화에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났다. 그러나 베타( $\beta$ )의 경우, 회복력과 압력의 강도 차가 클수록 지수 변화는 더 커질 수 있음을 확인하였다. 실제로 가로림만 ‘깨끗한 물’의 (회복력-압력) 강도 차를 기존 값에 비해 크게 조정했을 때, 베타에 대한 지수의 분포 범위는 약 30점까지 커질 수 있음을 확인하였다. 따라서 압력과 회복력, 그리고 베타의 조합에 따라 해양건강성 지수 결과의 민감도가 커질 수 있으므로, 현황의 기준점 산정과 함께 지수 설계 시 중요한 요소들로 고려되어야 할 것이다.

〈표 4-34〉 가로림만 해양건강성지수 기법의 항목별 민감도 비교

민감도 검토 항목	OHI지수		비고
	결과 범위	점수 차 (최대-최소)	
현황 기준점	12 ~ 67점	55점	가로림만 '관광 및 여가' 지수 기준
목표별 가중치	73 ~ 77점	4점	가로림만 종합지수 기준
압력/회복력 강도 및 가중치	68 ~ 90점	22점	가로림만 '깨끗한 물' 지수 기준
베타( $\beta$ )	81 ~ 95점	14점	가로림만 '탄소저장' 지수 기준

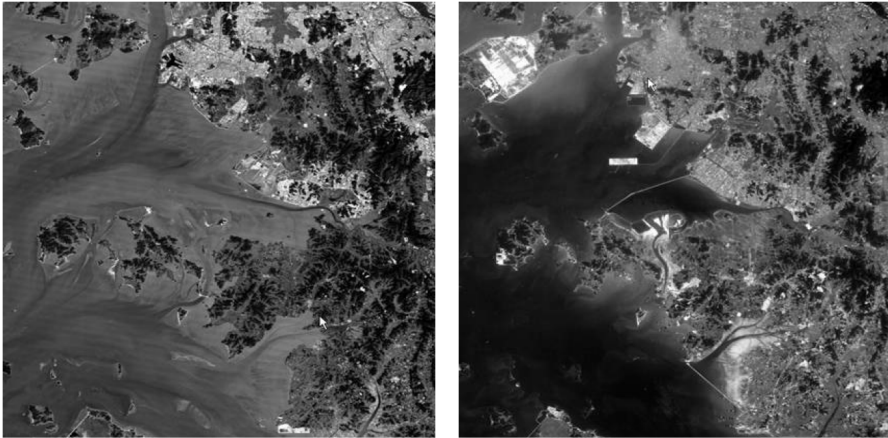
자료: 저자 작성.

## 2. 시화호 개발 사례 평가

### 가. 시화호 개발 개요

본 장에서는 해양건강성지수 평가기법을 시화호 지역에 시범 적용하였다. 시화호는 가로림만의 상황과는 대조적으로 조력발전을 위한 댐 건설이 시행된 곳으로, 조력발전소의 건설, 운영 과정에 따른 자연혜택 변화를 평가하는 것이 가능하고 자료의 가용성 측면에서 평가기법을 시범 적용하는 데 적합할 것으로 판단하였다.

시화지구 개발사업이 시행되기 이전의 시화호는 165.1 km<sup>2</sup>의 넓은 조간대가 형성되어 있었으며 하천이 유입되는 만의 구조로 생물이 서식하기 매우 적합한 지역이었으며, 경기만 내에서 해양 생물자원이 가장 풍부한 지역이었다(김민규, 구본주, 2015). 그러나 1987년 7월 대단위 국토확장을 목적으로 시화지구 개발사업이 시행되고 시화방조제 건설 및 내부 조간대의 간척을 시행함에 따라 시화호의 환경은 급격히 변화하기 시작하였다.



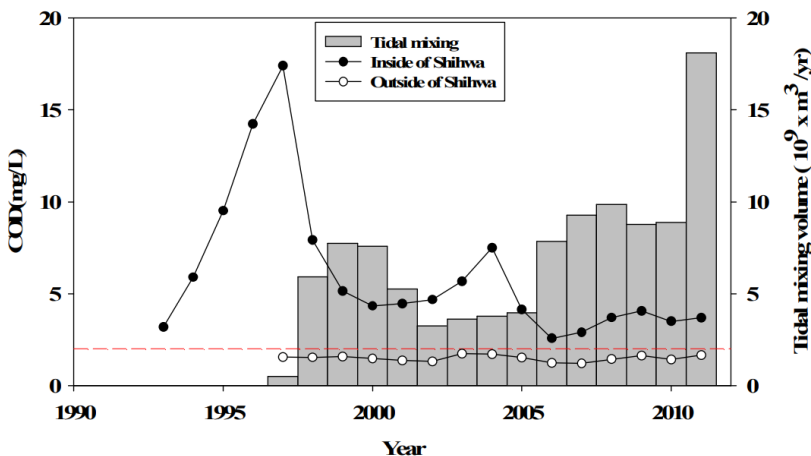
자료: 한국해양과학기술원 해양위성센터: 이해경(2012)에서 재인용.

〈그림 4-17〉 방조제 공사 직전의 1988년(좌)과 2005년(우)의 시화호

1994년 방조제 건설이 완료된 후 간척으로 조성된 농지에 농업용수를 공급한다는 명목 하에 담수화가 진행되면서 시화호의 수질은 급격하게 악화되었고(KORDI, 1999), 더 이상

어류가 살 수 없는 환경에까지 이르게 되었다(이태원, 문형태, 허성희, 1997). 이에 정부는 수질 개선을 위해 담수화 정책을 포기하고 1996년 7월에 배수갑문개방을 통한 시화호 해수화 및 수질 개선 방안을 발표하였으나, 1997년부터 시행된 배수갑문의 해수 유통은 시화호의 환경을 크게 개선하기에는 부족한 수준이었다. 약 1조 1천억 원을 투자하여 각종 수질개선 대책을 마련하였음에도 불구하고 시화호의 수질은 COD 3.0mg/l 이상으로 당시 관리목표였던 COD 2.0mg/l 를 달성하지 못하였다.

환경 악화의 가장 큰 원인은 방조제 건설에 따른 해수유통의 제한이었다. 이에 정부는 시화호 조력발전소 건립을 통해 해수의 유통량을 크게 늘리고 이를 통해 내측 환경의 개선을 추진하기에 이른다. 일일 해수 유통 목표는 시화호 총 저수용량인 3억 3천만 $m^3$ 의 약 50%에 달하는 1억 6천만 $m^3$  이었다(국토해양부, 2011). 2012년 8월, 시화호 조력발전소가 완공되고 조력발전을 가동함에 따라 또한 시화호 내측 수역에는 조력발전 주기에 따른 규칙적인 조석 환경이 형성되었고, 해수가 순환하여 내측 환경이 개선되기 시작하였다.



자료: 이범선(2017).

〈그림 4-18〉 시화호 내·외측의 시간에 따른 COD 변화

## 나. 시화호의 자연해택 평가

### 1) 시화호 개발에 따른 평가 시점 설정

시화호의 환경은 크게 2번의 변화를 겪었다. 첫 번째는 시화호 물막이 공사가 시행되어 방조제로 인해 시화호가 폐쇄호가 되었던 1987년이고, 두 번째는 조력발전을 시행하여 시화호 내측의 환경이 대폭 개선되기 시작한 2011년이다.

1987년 이전의 시화호는 인위적 개입으로 악화되기 전의 시점이다. 따라서 이 시기는 시화호의 변화 과정에 있어 시간적 참조점으로 볼 수 있다. 그리고 1994년 물막이 공사 완공 이후의 시화호는 해수 유통이 없이 담수화가 진행되었다가, 이후 갑문을 통한 소규모의 해수 유통만이 시행된 반폐쇄성 해수호였다. 또한 조력발전이 시행된 2011년 이후의 시화호는 해수 유통량이 증가하고 내측 환경이 개선된 시점에 해당한다.

본 연구진은 이와 같은 시화호의 시간적 변화에 따라 Phase 1과 Phase 2의 두 개의 분석 시점을 설정하였다. Phase 1은 시화방조제 건설 이후부터 조력발전 실시 이전까지의 가장 환경이 악화되었던 시점의 시화호이고, Phase 2는 조력발전 시행 이후 환경적으로 개선이 이루어진 시화호를 대상으로 한다. 이때 두 연구시점의 참조점은 시화개발사업으로 인해 방조제가 완공되기 전으로 설정하였다(표 4-35 참조).

〈표 4-35〉 시기에 따른 시화호의 연구 시점 구분

시 기	내 용	연구 시점
1987년 이전	시화개발사업 시행 전 초기 상태	Reference
1987~1994년	시화방조제 건설	
1994~2010년	폐쇄성 환경 조성 및 갑문을 통한 소규모 해수 유통	Phase 1
2011년 이후	시화 조력발전소 완공 및 가동 시작	Phase 2

자료: 저자 작성.

## 2) 해양건강성지수 평가

### 가) 식량 공급

조사 지역인 시화호는 시화방조제가 건설되고 있던 1992년에 어업권에 대한 손실 보상이 완료되었고 그 후로는 시화호 내측에서의 어업은 허가되지 않았다.<sup>7)</sup> 따라서 시화호 내측에서는 어업권이 존재하지 않는 상황이다. 허가를 받지 않은 불법적인 어업이 간혹 이루어지고 있으나 불법 어업의 특성상 생산량에 대한 통계자료가 존재하지 않아 그 규모를 파악하기가 어려운 상황이다. 따라서 시화호에 대한 식량 공급 평가에서는 어업에 의한 평가를 포함하지 않으며, 갯벌의 잠재적 생산성만을 고려하여 평가하였다.

식량공급 항목의 평가에는 시화호 내측의 갯벌조간대와 조하대의 무척추동물 생물량을 이용하였다. Phase 1는 1998년, Phase 2는 2013년으로 각각 설정하였으며, 이상적인 상태를 나타내는 시간적 참조점은 물막이 공사 이전인 1992년으로 하였다.

각 Phase별로 조간대와 조하대의 면적비를 고려하여 최대 생물량 대비 실존하는 무척추동물의 생존량을  $X_{PPR}$ 로 산정하였다.

〈표 4-36〉 식량공급평가에 사용된 파라미터 및 자료

Sub-Goal	Parameter	Reference point	Data source
양식어업 (Mariculture)	-	-	-
잠재적 생산성 (Potential Production)	무척추동물 생물량	출현 가능한 최대 무척추동물 생물량	Yoo et al.(2010) 김창수(1998)

자료: 저자 작성.

7) 안산인터넷뉴스(2017.07.13), “시화호 어업권 갈등, 어민의 생존권이 우선인가 시화 생태계 복원이 우선인가”.

〈표 4-37〉 시화호의 조간대 및 조하대 면적 변화

구 분	조간대(km <sup>2</sup> )	조하대(km <sup>2</sup> )	조간대:조하대 비율
Reference	115.2	42.7	0.73:0.27
Phase 1	5.6	49.0	0.10:0.90
Phase 2	20.3	42.4	0.32:0.68

자료: 김민규, 구분주(2015); 이해경(2012).

시화호의 식량공급 현황은 Phase 1에서 0.284, Phase 2에서 0.485로 각각 평가되었다. Phase 1과 Phase 2 모두 시간적 참조점인 시화호 물막이 완료 이전 시점보다는 낮은 점수를 보였으나, 현재까지의 변동성을 나타내는 추세는 Phase 1의 경우 -0.0246, Phase 2의 경우 -0.0139로 Phase 2에서 개선이 이루어진 것으로 나타났다. 두 시점 모두 가로림만의 서산(0.624) 및 태안(0.608)에 비해서는 상당히 낮은 수준을 보였는데, 이는 높은 효율로 수산생물을 생산해 내는 양식 및 어업이 시화호 내측에서 이루어지지 않기 때문으로 생각된다.

〈표 4-38〉 시화호의 식량공급 평가 결과

구 분	잠재적 생산성 ( $X_{PPR}$ )	Food Provision ( $STATUS_{FP}$ )	Trend of Food Provision
Phase 1	0.284	0.284	-0.0246
Phase 2	0.485	0.485	-0.0139

자료: 저자 작성.

#### 나) 탄소 저장

탄소 저장 항목에서 사용된 자료는 〈표 4-39〉와 같다. Phase 1은 1998년, Phase 2는 2013년으로 각각 설정하였으며, 이상적인 상태를 나타내는 시간적 참조점은 물막이 공사 이전인 1992년으로 하였다.

〈표 4-39〉 탄소 저장 평가에 사용된 파라미터 및 자료

Sub-Goal	Paramater	Reference point	Data source
탄소고정 (Carbon Capture)	염생식물의 조간대 피복비율	시간적 참조점 당시 염생식물 피복비율	정종철, 조홍래(2008) 정종철 (2011)
퇴적물의 탄소 저장 (Storage in Sediment)	현재 갯벌 면적	시간적 참조점 당시 갯벌 면적	김민규, 구본주(2015)

자료: 저자 작성.

가로림만의 분석에서는 염생식물의 상태 평가에 해양수산부(2005)가 제시한 구역별 총 식생량(TCV)을 이용한 염생식물 갯벌 서식지 평가 방법을 활용하였으나, 이 분석을 위해서는 조사시기별 염생식물의 분포와 밀도, 그리고 서식종에 대한 자세한 정보가 필요하다. 시화호의 경우에는 이와 같은 연구가 이루어진 바 없어 염생식물의 TCV 산정이 불가능하였다. 따라서 시기별 식생지역의 식생점유 비율 자료를 이용하여 염생식물의 상태 변화를 평가하였다.

시화호는 물막이 공사 이후 조간대의 대부분이 육상화되어 형성된 간석지에 칠면초를 주요 우점종으로 하는 광범위한 염생식물 서식지가 조성되었다(정종철, 2011). 이에 식생의 피복비율은 시간적 참조점과 비교할 때 Phase 1과 Phase 2 모두 높은 수준으로 증가하였다. 그러나 조석의 영향이 없어짐에 따라 갯벌의 면적은 매우 감소하여, 물막이 공사 이전에 115.2km<sup>2</sup>이었던 갯벌이 Phase 1에서는 5.6km<sup>2</sup>까지 감소하였다가 이후 Phase 2에서 20.3km<sup>2</sup> 수준으로 회복되는 양상을 보였다.

〈표 4-40〉 시화호의 염생식물 피복률 및 조간대 면적 변화

구 분	식생 피복비율 (%)	조간대 면적 (km <sup>2</sup> )
Reference	0.16	115.2
Phase 1	26.2	5.6
Phase 2	27.1	20.3

자료: 정종철, 조홍래(2008); 정종철(2011).

이들 정보를 통해 산정한 시화호의 탄소 저장 현황은 Phase 1에서 0.524, Phase 2에서 0.588로 각각 평가되었다. Phase 1과 Phase 2 모두 염생식물의 서식 면적이 급격히 증가하여  $X_{CC}$ 에서는 참조점 대비 최대값인 1.000을 기록하였으나, 탄소를 저장하는 갯벌의 면적이 현저히 감소함에 따라  $X_{SS}$ 가 급격히 감소해 최종적으로는 탄소 저장 기능이 시간적 참조점 대비 감소한 것으로 나타났다. 이에 현재까지의 변동성을 나타내는 추세는 Phase 1의 경우 -0.0601, Phase 2의 경우 -0.0128로 확인되었다. 또한 가로림만의 서산(0.823) 및 태안(0.830)과 비교해 볼 때도 시화호의 탄소 저장 기능은 상당히 낮은 수준으로 나타났다.

〈표 4-41〉 시화호의 탄소 저장 평가 결과

구 분	탄소고정 ( $X_{CC}$ )	퇴적물의 탄소 저장 ( $X_{PS}$ )	Carbon Storage ( $STATUS_{CS}$ )	Trend of Carbon Storage
Phase 1	1.00	0.049	0.524	-0.0601
Phase 2	1.00	0.176	0.588	-0.0128

자료: 저자 작성.

#### 다) 깨끗한 물

본 연구를 통해 개발한 깨끗한 물 산정방식을 적용해 시화호의 현황을 평가하였다. 가로림만 평가와 동일하게 수질지표(병원균, 해양쓰레기, 화학물질, 영양염, 수질평가지수)와 갯벌 정화능력을 평가하여 시화호의 Phase 1과 Phase 2 상태의 현황과 추세를 산정했다.

##### (1) 병원균 유입량(Pathogen input)

환경부 물환경정보 시스템의 월별 수질측정망 자료를 확보하여 한강 수계 중 시화호 유역으로 구분되는 4개 하천(반월천, 남양호 1,2,3)에서 1992년부터 월별 총 대장균군수(*E.coli*)를 연간 자료로 평균하여 산출하였다. 그 후 「환경정책기본법」에 따른 *E.coli*의 하천수 1등급 수질기준인 50cfu/100mL과의 비율을 표준화하여 평가하였다(표 4-42 참조).

〈표 4-42〉 시화호의 하천수 내 대장균 유입밀도

연도	<i>E. coli</i> (cfu/100mL)	기준 (cfu/100mL)	기준/측정치	Normalized	<i>a</i> (Normalized+1)
Phase 1 (2009)	32,257	50	0.002	0.13	1.13
Phase 2 (2016)	49,928	50	0.001	0.07	1.07

자료: 환경부 물환경 정보시스템 자료를 바탕으로 저자 작성.

## (2) 해양쓰레기 유입량(Trash input)

본 연구에서 해양쓰레기 양은 가로림만 해양건강성지수와 동일한 방법으로 연간 수거된 쓰레기 양을 해안선의 길이로 나누어 표준화하였다. 시화호에서 수거된 해양쓰레기와 해안선 길이를 취득할 수 없어 해양환경관리공단에서 수행한 해양쓰레기 대응센터의 시흥시, 안산시, 화성시의 해양쓰레기 양과 해양조사원에서 공표한 해안선 길이를 이용하였다. 다른 구성요소들과 달리 해양쓰레기에 대한 국내 기준값이 존재하지 않아 시간적 기준점을 적용하여 과거 자료 중 가장 쓰레기 배출이 적었던 시기의 값으로 평가하였다. 이에, 높은 밀도의 유입값이 높은 현황값을 의미하게 되어 결과값에 역수를 취해 주었다. 다만, 물막이공사 이전 시점에 대해서는 해양쓰레기 유입량 자료가 존재하지 않아 분석 시 제외하였다(표 4-43 참조).

$$\text{쓰레기 오염도(Trash pollution)} = \text{연간 수집된 해양쓰레기 양(m}^3\text{)/해안선의 길이(km)}$$

〈표 4-43〉 시화호의 해양쓰레기 오염도

연도	해양쓰레기 수거량 (m <sup>3</sup> )	해안선 (km)	수거량/길이 (m <sup>3</sup> /km)	Normalized	1-Normalized	<i>d</i> (Normalized+1)
Phase 1 (2009)	883.0	76.87	11.43	0.73	0.27	1.27
Phase 2 (2016)	1,105.0	150.5	7.34	0.45	0.55	1.55

자료: 해양수산부, 국립해양조사원 자료를 바탕으로 저자 작성.

## (3) 영양염과 화학물질 유입량(Nutrient and Chemical input)

유기물(영양염 및 화학물질 등)에 의한 오염도를 평가하기 위하여 시화호 내측에서 분기별로 측정된 해양환경 측정망 조사자료를 이용하여 산출하였다. 시화호의 측정 정점은 2004년~2010년은 정점 3개, 2011년~2012년은 정점 6개, 2013년부터 현재까지는 정점 10개로 그 중요도가 높아짐에 따라 점차 정점의 수도 증가되어왔다. 본 연구에서는 해당 모든 정점의 자료를 활용하여 영양염과 화학물질 유입량을 산출했다.

영양염은 2004년부터 2016년까지 총질소(TN)의 농도를 활용하였다. 각각의 정점별로 연간 평균값을 구한 후 수질 1등급(해양오염방지법)의 농도와 비율을 구하여 표준화하였다(표 4-44 참조). 화학물질도 2004년부터 2016년까지 분기별로 측정된 화학적산소요구량(COD)을 정점별로 연간 평균값을 구한 후 영양염과 동일한 방법으로 1등급과의 비율을 구한 후 표준화였다. 한편, 「해양오염방지법」은 현재 폐지되었으며 수질평가방법은 「환경정책기본법」에 따라 ‘WQI(water quality index)’라는 종합평가방법으로 개선되었다. 이에, TN과 COD에 대한 수질등급은 「해양오염방지법」 제 4조의 2 및 해양수산부고시 제 2007-160호<sup>8)</sup>에 명시된 수질 1등급을 기준으로 하였다(표 4-44, 표 4-45 참조).

〈표 4-44〉 시화호의 영양염

연도	총질소 (TN, mg/L)	기준 (TN, mg/L)	기준/측정치	Normalized	$U$ (Normalized+1)
Phase 1 (2009)	0.49	0.3	0.6	0.93	1.93
Phase 2 (2016)	0.59	0.3	0.5	0.69	1.69

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

8) 「해양오염방지법」 제 4조의 2 및 해양수산부고시 제 2007-160호; 현재 폐지됨.

〈표 4-45〉 시화호의 화학물질

연도	화학적산소요구량 (COD, mg/L)	기준 (COD, mg/L)	기준/측정치	Normalized	/ (Normalized+1)
Phase 1 (2009)	4.1	1.0	0.25	0.27	1.27
Phase 2 (2016)	1.8	1.0	0.55	1.00	2.00

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

#### (4) 수질평가지수(Water Quality Index)

수질평가지수는 국내 해양생태계 보호를 위해 2012년에 수립된 기준으로 기본 수질측정 항목들을 종합적으로 고려하여 총 5등급, 생태계 기반 5개 해역으로 세분화한 통합수질등급지수이다. 이에 시화호에 속하는 서해중부해역을 기준으로 연간 수질평가지수를 산출하였다. 활용자료는 해양환경망 측정자료를 이용하였고, 다른 항목들과 동일하게 1등급 수질 기준과 비율을 산출한 후 표준화였다(표 4-46 참조).

〈표 4-46〉 가로림만의 수질평가지수

연도	WQI	기준	기준/측정치	Normalized	$w$ (Normalized+1)
Phase 1 (2009)	52	23	0.44	0.35	1.35
Phase 2 (2016)	38	23	0.61	0.73	1.73

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

#### (5) 갯벌 정화능력

갯벌 정화능력은 시화호의 물막이 공사 완료 3년 전인 1991년을 시간적 참조점으로 하여 조력발전 가동 전인 2010년, 그리고 조력발전가동 이후인 2013년의 값을 비교하였다. 갯벌면적은 Phase 1 시점에서 5% 이하 수준으로 감소하였고, 조간대의 단위면적당 저서동물 생체량은 12.6% 수준으로 감소하였다. 이후 Phase 2에서는 갯벌면적이 Phase 0 대비 17.6% 수준으로 회복되었고 단위면적당 생체량 또한 81.0% 수준으로 회복되는 것으로 나타났다.

〈표 4-47〉 가로림만의 갯벌 정화능력

연도	갯벌면적 (㎡)	평균 조간대 저서동물 생체량(g/㎡)	평균 POC 제거량 (mg/㎡/hr)	총 POC 제거량 (kg/hr)	변동률
Reference (1991)	115,200,000	271.5	-6.7	-769.1	-
Phase 1 (2010)	5,600,000	34.1	-0.2	-1.3	0.14
Phase 2 (2013)	20,300,000	220.0	-5.3	-107.2	84.52

자료: 저자 작성.

#### (6) 평가 결과

시화호 깨끗한 물 목표의 현황은 Phase 1에서 0.342, Phase 2에서 0.463으로 나타났다 (표 3-15 참조). 현재까지의 변동성을 나타내는 추세는 Phase 1 시점에서 -0.0126, Phase 2 시점에서 -0.0019로 물막이 공사 이전 시점에 비해서는 악화된 상태가 지속되었으나, Phase 1에 비해 Phase 2에서는 수질이 개선된 것으로 나타났다. 이는 시화호 조력 발전의 시행으로 인하여 수질 개선과 함께 갯벌 복원에 따른 POC 제거량의 증가가 이루어 졌기 때문으로 판단된다.

〈표 4-48〉 시화호의 깨끗한 물 현황(status)

연도	$a$	$d$	$u$	$l$	$w$	$X_{cw}$	$X_{cw\_habitat}$	$STATUS_{cw}$	Trend of Clean Water
Phase 1	1.13	1.27	1.93	1.27	1.35	0.862	0.002	0.342	-0.0126
Phase 2	1.07	1.55	1.69	2.00	1.73	0.787	0.139	0.463	-0.0019

자료: 저자 작성.

#### 라) 생물다양성

##### (1) 분석 방법

앞서 3장에서 서술한 것과 같이, 생물다양성은 두 가지 하위 목표(중, 서식처)에 대한 상태를 추정하고 이를 산술 평균하여 목표 점수를 나타낸다.

생물다양성(종)의 계산에는 아래와 같은 식을 적용하였다. 시화호를 19개의 격자(면적,  $3.0 \times 3.7\text{km}^2$ )로 구분하였으며, 아래의 식과 같이 각의 셀 내 위협도를 모두 합쳐 전체 셀 개수(M)로 나누었다.

$$X_{SPP} = \left( \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^n w_i}{M} \right)$$



자료: 구글 어스(Google Earth)를 활용하여 저자 작성.

〈그림 4-19〉 생물다양성(종) 추정을 위한 공간 격자 ( $3.0\text{km} \times 3.7\text{km}$ , 면적 약  $10\text{km}^2$ )

평가에 활용한 종 목록은, 앞서 가로림만에서 활용한 것과 동일하게, 한국의 법적 보호종인 멸종위기동식물(I, II급)과 보호대상해양생물 리스트를 활용하였다. 멸종위기동식물의 위협에 대한 각 종별( $i$ ) 가중치(위협도),  $w_i$ 는 멸종위기동식물 I급의 경우 국내에서 멸종 위기에 처한 위급성을 고려하여 IUCN의 EX 범주와 동일한 1, 멸종위기동식물 II급과 보호대상해양생물의 경우에는 가까운 장래에 멸종 위기에 처할 수 있음을 고려하여 CR 범주와

동일한 0.8로 설정하였다. 추세에 대한 계산 역시, 앞서 가로림만의 경우와 같이, 국내에서 알려진 멸종위기종과 보호대상해양생물 가운데 알려진 연간 개체군 감소율을 참고로 하였다.

갯벌과 조하대 연성기질 서식처가 존재하는 시화호의 sub-goal, Habitat 계산에는 가로림만의 경우와 같이 동일한 식을 적용하였다.

$$X_{HAB} = \frac{\sum_{i=1}^k C_k}{k}$$

시화호 물막이 이전 상태를 Phase 0으로 분류하고 이때의 값을  $C_r$ 로 설정하였다. 일부 지시자(예를 들어, 대형저서동물 군집 건강도 지수, ISEP)의 경우 96년 방조제 외측 자료를, 그리고 시화호 조하대의 경우 92년 4월에 조사된 자료(인하대학교, unpublished)를 역사적 기준치(historical reference)로 활용하였다. 갯벌 면적의 경우에는 1910년의 측정 자료를 기준치로 활용하였다. 물막이 이후부터 조력발전소 가동 이전의 기간은 Phase 1으로 설정하고 이를 Phase 0과 비교하여 시화호 폐쇄 기간 동안의 상태를 평가하였다. 조력발전소 가동 이후의 기간을 Phase 2로 설정하고 이를 Phase 0과 비교하여 물막이공사 이전 그리고 폐쇄 기간의 생태학적 상태와의 차이를 평가하였다.

생물다양성(서식처)의 계산에 활용된 항목은 갯벌과 조하대 대형저서동물 건강성 지수와 생물다양성 지수, 생체량/생산량 그리고 갯벌 면적이었다. 염생식물의 경우 문헌으로부터 이용 가능한 면적이거나 식생등급에 대한 평가 결과가 없어서 제외하였다.

9) 김민규, 구본주(2015), “조력발전소 가동 후 시화호 내 조간대의 면적 변화”, *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, 18(4), p.310.

## (2) 분석 결과

### (가) 종

현재까지 시화호에는 해양이나 전이지대에 서식하는 생물 가운데 멸종위기종이 존재하지 않는 것으로 보고되었다. 2004년에 IUCN 적색목록종의 취약 범주(VU)에 해당하는 상괭이(*Neophocaena phocaenoides*)가 발견된 바 있으나 당시 발견된 개체는 시화호 내 측의 불법 그물에 걸린 사체로 발견되었다. 상괭이(*N. phocaenoides*)는 황해에서는 비교적 흔하게 관찰되는 종으로 멸종위기종에는 누락되어 있으나 국제적으로는 아시아 해역에 국한되어 분포하며 IUCN에 의해 그 개체군 크기가 감소하는 추세에 있는 것으로 평가되었다. 최근 이러한 상황을 반영하여 이 종은 2016년 보호대상해양생물 리스트에 추가로 등재되었다. 시화호 내에서는 상괭이(*N. phocaenoides*) 1종만 출현하였으며, 종별 감소 추세는 앞서 가로림만에서 추정된  $-0.0136$ 을 적용하였다.

시화호 내 격자에서 갯벌을 제외한 10개의 격자(시화호 내 조하대 전 해역)를 서식처로 활용할 것으로 판단하였고 주어진 위협도와 출현 종수를 고려하여 <표 3-49>와 같이 계산하였다. 그 결과 시화호의  $X_{SPP}$ 는 0.421이며, 가까운 미래를 나타내는 추세는 0.353으로 계산되었다. 이와 같은 평가 결과는 Phase 0부터 2까지 차이가 없는 것으로 간주할 수 있다.

### (나) 서식처

서식처 현황의 변화 추세를 파악하기 위하여 Phase 0-1, Phase 1-2 간 자료에 선형모형을 적합하고 기울기를 추정하였다. 갯벌 면적을 포함하여 대부분의 파라미터는 분명한 감소 추세를 나타내었으며, 물막이 공사 전후를 비교했을 때 감소 추세는 더욱 현저하였다. Phase 0-1의 경우 연간 약 11%의 양적, 질적 하락 추세가 관찰되었으며, Phase 1-2의 경우에는 이것의 1/7에 해당하는 완만한 감소 추세를 나타내었다(표 4-50 참조).

〈표 4-49〉 시화호의 생물다양성(종) 현황 및 추세 평가 결과

Grid	$n$	$\sum w_i$
1	1	0.8
2	1	0.8
3	1	0.8
4	1	0.8
5		
6	1	0.8
7	1	0.8
8	1	0.8
9	1	0.8
10	1	0.8
11	1	0.8
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
시화호 total		8
$M$		19
$x_{spp}$		0.421
Trend		0.353

자료: 저자 작성.

〈표 4-50〉 시화호의 단계별 항목별 추세의 추정 결과

	Phase 1	Phase 2
갯벌 면적	-0.0865	-0.0412
갯벌 생물다양성	-0.0463	-0.0815
갯벌 생체량/생산량	-0.0795	-0.0095
조하대 건강성	-0.0909	-0.0050
조하대 생물다양성	-0.1675	-0.0000
조하대 생체량/생산량	-0.1746	-0.0335
평균 추세	-0.1075	-0.0162

자료: 저자 작성.

시화호 내 갯벌과 조하대의 대형저서동물 군집 및 갯벌 면적 변화에 대한 문헌 정보를 활용하여 물막이공사 이후(Phase 1) 그리고 조력발전 가동 이후(Phase 2)를 물막이공사 이전의 상태(Phase 0)와 비교하여 〈표 4-51〉에 제시하였다. 시화호 물막이공사 이후의  $X_{HAB}$ 는 0.25이며, 추세를 반영한 가까운 미래(5년)의 상태는 0인 것으로 추정되었다. 조력발전소 가동 이후의 서식처 현황을 평가한 결과는 0.68이며, 추세를 반영한 가까운 미래(5년)의 상태는 0.59인 것으로 추정되었다.

이상과 같은 두 가지 하위 목표에 대한 산술 평균으로 생물다양성의 상태 ( $STATUS_{biodiversity}$ )를 추정한 결과는 Phase 1에서 0.231 그리고 Phase 2에서 0.446으로 추정되었으며, 후자의 평가에서 일부 항목은 큰 폭으로 개선되었으나 전반적으로는 전자에 비해, 기대와 달리 크게 나아지지 않은 것(갯벌 면적의 경우 0.18)으로 볼 수 있었다.

〈표 4-51〉 시화호의 단계별 항목별 생물다양성(서식처) 현황 및 추세 평가 결과

		Phase 1	Phase 2
갯벌	갯벌 면적(m <sup>2</sup> )	0.05	0.18
	대형저서동물군집 생물 다양성(H')	0.49	0.84
	대형저서동물군집 생체량(g/m <sup>2</sup> )	0.13	0.81
조하대 연성기질	저서생태계 건강성 (ISEP/BPI/AMBI)	0.20	0.90
	대형저서동물군집 생물 다양성(H')	0.49	0.84
	대형저서동물군집 생체량(g/m <sup>2</sup> )	0.13	0.81
$X_{HAB}$		0.25	0.68
Trend (5년 후)		0.00	0.59

자료: 저자 작성.

#### 다. 종합 고찰

시화호의 물막이 공사 이후(phase1) 및 해수유통 이후(phase2), 2시점에 대한 자연혜택 평가를 해양건강성지수 일부 목표의 현황 점수에 적용하였으며 그 결과를 〈표 3-52〉와 같이 정리하였다. 시화호의 물막이 공사로 가장 악화된 자연혜택은 생물다양성(서식처)과 식량 공급으로 나타났으며, 해수 유통을 통해서 생물다양성(서식처)과 식량공급은 크게 개선되었으나 탄소 저장과 깨끗한 물의 증가 폭은 비교적 크지 않은 것을 알 수 있다.

〈표 4-52〉 시화호 자연혜택 평가 종합(현황 결과)

	Phase 1	Phase 2
식량 공급	28점	49점
탄소 저장	52점	59점
깨끗한 물	34점	46점
생물다양성(서식처)	25점	68점

자료: 저자 작성.

가로림만 지역에 적용하였던 해양건강성지수의 틀을 시화호에 적용해본 결과, 방법론을 동일하게 적용하기에는 공간 및 시간적 자료가 상대적으로 제한적이어서 평가내용을 생략하거나 방법론 일부를 변경하여 진행하였다. 따라서 자연혜택 평가 기법을 정책적으로 활용하기 위해서는, 지역에 관계없이 동일한 방법론이 적용될 수 있도록 전국적으로 생산되는 자료를 활용해 평가 기법의 방법론을 설정하거나, 제시된 방법론에 따라 지역적으로 산출되어야 하는 자료 목록이 제시되고 구축될 필요가 있다.

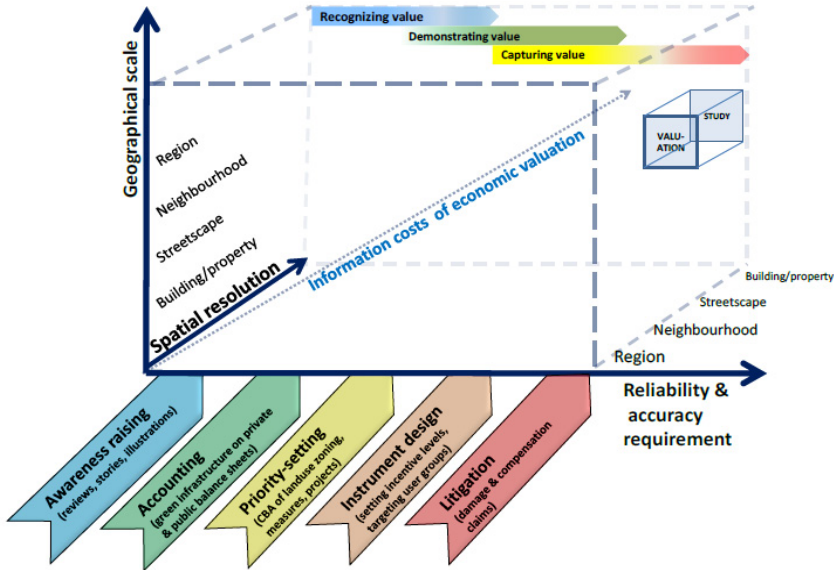
## 제5장

# 자연혜택평가 기반의 지역관리전략과 제도개선방안

영국, 미국 등에서는 자연혜택평가를 환경·생태계 등을 효과적으로 보전·관리하기 위해 국가·지역정책수단에 적용하려는 노력을 적극적으로 이행하고 있다. 영국의 환경·식품·지역개발부(DEFRA: Department for environment, food and rural affairs)에서는 2007년에 ‘생태계가치평가도입지침(An introductory guide to valuing ecosystem services)’을 마련해 산림·물·토지이용·연안관리·관광개발 등에 적용되는 정책수단인 환경영향평가, 전략영향평가, 생애주기분석, 위해분석, 비용효과분석, 다기준분석 등에 생태계가치평가가 어떻게 적용되는가에 대한 사례와 방법 등에 제시하고 있다. 미국에서도 연방정부와 주정부에서는 연안·하구·물·산림 등과 관련된 법률에서 생태계가치평가와 관련된 조항을 만들어 법제화하기 위한 노력을 하고 있다. 예를 들어 1983년 경제개발을 우선목적으로 한 「물자원개발법(water resources development act)」에 대해 2007년 백악관 환경질위원회에서는 미공병단이 수행하는 모든 물자원개발사업에 대해 생태계손실비용과 혜택을 분석해 환경보호와 복원에 관한 국가적 의무를 명시하였고, 「연안역관리법(coastal zone management act)」에서는 주정부연안관리프로그램의 수립단계에서 연안생태계 관리체계를 마련하고, 자연혜택평가에 활용 가능한 정보체계를 구축하도록 하였다. 자연혜택평가는 중앙·지방정부의 환경관리정책에 관한 이해관계자의 인식제고, 개발에 의한 환경영향과 생태보상체계, 토지이용계획, 보호구역 지정·관리, 이용·개발행위의 인·허가 등에 활용하고 있다.

한편 Gómez-Baggethun & Barton(2013, p.241)에 따르면, 자연혜택은 지리적 영역 범위에 따라 달라지기 때문에 자연혜택평가를 적용하는 정책수단도 다르게 적용해야 함을 지적하고 있다. <그림 5-1>에서 보듯이 자연혜택평가의 정책수단에 관한 신뢰도와 정확도에 따라 인식제고, 회계, 우선순위 설정, 정책수단설계, 손해배상 소송 등에 활용이 가능한

데, 이는 필지-마을-지역-국가라는 지리적 영역범위에 따라 다르게 적용되며, 지리적 영역이 작아질수록 구체적 적용이 가능하다. 따라서 자연해택평가를 활용한 정책·계획 등을 수립할 때 지리적 범위에 따라 환경적·사회경제적·문화적 차이를 감안해 그 영역에 따라 다르게 적용할 필요가 있다.



자료: Gómez-Baggethun & Barton(2013), p.241.

〈그림 5-1〉 자연해택평가 정책수단의 지리적 적용 프레임

그러나 현재 우리나라는 자연해택평가를 국가와 지역차원의 환경·생태계관리, 토지·해양이용계획, 자원이용·개발정책 등에 활용하기 위한 정책적 이해와 노력이 부족한 실정이다. 앞서 4장까지는 해양건강성지수라는 자연해택 평가 기법을 우리나라 지역에 적용해 국내에 최적화된 방법을 개발하고 활용성 및 시사점을 모색해보았다면 본 장에서는 전반적인 자연해택평가 수단과 관련한 우리나라의 법제도 현황 등을 검토해 국가·지역정책 활용 기반을 점검하고 이의 효과적 작동을 위한 제도개선방향을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 특히 가로림만을 대상으로 자연해택평가를 활용한 지역관리방안 등을 제시해 지역의 생태계 보전과 지역사회의 경제발전을 도모할 수 있는 방안을 모색해 본다.

## 1. 자연해택평가 관련 법제도 현황 및 적용 한계

### 가. 자연해택평가 관련 법제도 현황

우리나라에는 현재까지 자연해택평가를 법적으로 명문화한 사례는 없다. 그러나 국토계획, 연안관리, 환경·생태계, 자원·공간개발, 관광개발, 정주환경 개선 등과 관련된 법제도에 자연해택평가가 활용이 가능한 주요 법제도는 <표 5-1>과 같다.

<표 5-1> 자연해택평가 적용가능 주요 법제도 현황

구분	주요 법률	주요 계획	주요 정책수단
국토계획 토지이용	- 국토의 계획 및 관리에 관한 법률	- 국토종합계획 - 시·도 기본계획 - 시·군 관리계획	- 용도지역·지구제 - 토지적성평가
연안관리	- 연안관리법 - 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률	- 연안통합관리계획 - 연안관리지역계획 - 연안정비기본계획 - 공유수면매립계획	- 연안용도해역제 - 자연해안관리목표제 - 연안정비사업 - 공유수면 점용·사용 허가 - 공유수면 매립면허
환경 생태계보전	- 자연환경보전법 - 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률 - 환경영향평가법 - 습지보전법 - 해양생태계 보전 및 관리에 관한 법률 - 해양환경관리법	- 자연환경보전기본계획 - 국가생물다양성전략 - 습지보전계획 - 해양생태계종합계획 - 해양환경종합계획	- 생태·경관보호지역 - 생물다양성관리계획 - 환경영향평가 - 습지보호지역 - 해양보호구역 - 생태계복원사업 - 생태계보전협력금 - 해역이용영향평가
자원·공간 개발	- 수산업법, 수산자원관리법 - 광업법, 골재채취법 - 산업입지 및 개발에 관한 법률 - 항만법 - 어촌·어항법	- 수산자원관리계획 - 골재수급계획 - 국가산업단지계획 - 어항개발계획	- 어업권, 수산자원 조사평가 - 광업권, 바다모래채취 - 관가
관광개발	- 관광진흥법 - 해양수산발전기본법	- 관광진흥계획 - 해양관광진흥기본계획	- 관광개발사업
정주환경 개선	- 농어촌 삶의 질 향상과 농어촌지역개발 촉진에 관한 법률 - 농어촌 주거환경 개선 및 리모델링 촉진을 위한 특별법	- 농어촌 삶의 질 향상과 농어촌지역개발기본계획 - 농어촌마을정비종합계획	- 농어촌마을정비구역

자료: 저자 작성.

최근 자연해택평가의 정책 활용에 관한 사항은 법적으로 명시하기보다는 국가차원의 기본계획에 반영·이행되고 있다. 환경부의 『제3차 자연환경보전기본계획(2016-2025)』에서는 6대 기본목표 중 목표 4를 ‘자연해택의 현명한 이용’으로 정하고, 생태계서비스 이용에 관한 비용을 지불하는 ‘생태계서비스 지불제’를 확대해 생태계서비스의 가치에 대한 주기적 평가와 인식증진을 명시하고 있다. ‘생태계서비스 지불제’를 확대하기 위한 실천방안으로 국립공원 등 입장·관람료, 물이용부담금과 생태계보전협력금의 현실화 등을 명시하고, 생태계서비스의 수혜자부담원칙을 확립하기 위한 제도기반 마련을 제시하고 있다. 또한 생태계서비스(공급, 조절, 지원, 문화) 평가방법론을 표준화하고, 생태계서비스의 개념, 평가, 활용 등을 관련 법률에 명문화할 수 있도록 하였다. 해양수산부의 『제2차 연안통합관리계획변경계획(2016-2021)』에서는 5대 추진전략 중 추진전략 3을 ‘건강한 연안생태·환경유지’로 정하고, 해양생태계의 서비스가치평가를 위한 서비스항목분류, 평가지표, 평가방법과 이를 활용한 연안·해양공간의 적합성 평가 등을 실천과제로 명시했다. 또한 추진전략 4의 ‘합리적 연안이용 및 가치제고’에서는 공유수면의 공공성 회복과 지속가능한 관리를 위해 해역의 고유특성·기능과 이용행위의 수익구조, 환경영향 등을 반영한 합리적 요율체계를 마련하도록 하였다.

〈표 5-2〉 자연해택평가가 명시된 국가계획

구분	주요전략	주요내용
제3차 자연환경보전기본계획 (2016-2025)	자연해택의 현명한 이용	- 생태관광을 포함한 생태계서비스 확대 - 생태계서비스지불제 확대
제2차 연안통합관리변경계획	건강한 연안생태·환경유지	- 해양건강성지수 개발 - 연안·해양생태계서비스 가치 평가
	합리적 연안 이용 및 가치제고	- 해역가치 기반 공유수면 점용료·사용료 요율체계 개편 기반 정비 - 해역감정평가제도 도입을 위한 정책 기술개발 추진

자료: 저자 작성.

자연해택평가의 활용이 가능한 정책수단을 육역과 해역으로 구분해 ‘공간평가’, ‘환경평가’, ‘보상평가’, ‘개발행위허가’로 구분하여 <표 5-3>에 제시해 놓았다.

<표 5-3> 자연해택평가 활용가능 정책수단

구분	공간평가	환경평가	보상평가	개발행위허가
육역	토지적성평가 (용도지역·지구제)	환경영향평가	생태계보전협력금	개발행위허가제
해역	연안해역적성평가 (연안용도해역제)	해역이용영향평가	해양생태계보전협력금	공유수면 점용·사용허가

자료: 저자 작성.

공간평가와 관련한 주요 정책수단으로는 ‘토지적성평가’와 ‘연안해역적성평가’가 있다. 토지적성평가는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제20조를 근거로 수행하는 것으로, 토지의 환경생태적·물리적·공간적 특성을 종합적으로 고려하여 개별 토지가 갖는 환경적·사회적 가치를 과학적으로 평가해 도시·군 기본계획을 수립·변경하거나 도시·군 관리계획을 입안하는 경우에 정량적·체계적인 판단 근거를 제공하기 위한 것이다. 연안해역적성평가는 「연안관리법」 제18조에 따라 연안용도해역 중 관리연안해역에 관한 이용·보전적성을 결정하기 위한 것으로, 공간데이터를 이용한 과학적 체계적인 의사결정을 지원하기 위한 제도이다. 연안해역적성평가는 연안해역을 격자단위로 구분해 환경적 특성, 이용특성, 활용가능성을 고려해 이용적성과 보전적성으로 나누도록 하고 있다.

환경평가와 관련된 정책수단으로는 「환경영향평가법」에 따른 ‘환경영향평가’와 「해양환경관리법」에 의한 해역이용영향평가가 있다. 환경영향평가는 주로 육역부문에 이루어지는 일정규모의 개발계획·사업이 이루어지기 전에 미리 환경영향을 조사·예측·평가하는 것으로 전략환경영향평가, 환경영향평가, 소규모 환경영향평가로 구분된다. 해역이용영향평가는 공유수면 준설·매립행위, 바다모래채취 등 해역을 대상으로 비교적 환경영향이 크다고 인정되는 사업이나 행위에 대해 사전에 환경영향을 조사·예측·평가하는 제도이다.

보상평가와 관련된 정책수단으로는 「자연환경보전법」에 따른 생태계보전협력금이 있는데 이는 자연환경 또는 생태계에 미치는 영향이 현저하거나 생물다양성의 감소를 초래하는

사업을 하는 사업자에 대하여 생태계보전협력금을 부과·징수하는 것으로, 훼손면적( $m^2$ )에 단위면적당 300원으로 하고 지역계수(주거·상업·공업·계획관리지역(0 또는 1), 녹지지역(2), 생산관리지역(2.5), 농림지역(3), 보전관리지역(3.5), 자연환경보전지역(4))로 정해진다. 「해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률」에 의한 해양생태계보전협력금은 생태계보전협력금과 같은 목적으로 부과·징수하는 것으로 훼손면적( $m^2$ )에 단위면적당 250원으로 하고 지역계수를 항만구역(2)과 항만구역 외 지역(4)으로 정하고 있다.

개발행위허가와 관련된 정책수단으로는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 시행령 제56조에 따라 토지의 경제적 이용과 환경적 보전의 조화를 도모하며, 계획의 적정성, 기반시설의 확보 여부, 주변 경관 및 환경과의 조화 등을 고려하여 허가 여부를 결정하는 것으로, 토지의 보전적 가치, 역사문화적 가치, 향토적 가치, 국방상의 목적 등에 고려해 결정한다. 공유수면 점용·사용허가는 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」에 의한 것으로, 공유수면에서 행해지는 11가지 행위에 대해 권리자의 동의 여부에 따라 허가를 결정한다.

#### 나. 자연해택평가 관련 정책수단의 적용 한계

자연해택평가는 다양한 부문의 계획·정책을 수립·이행하는 데 유용한 수단이라는 것에 대해서는 큰 이견이 없다. 그러나 실제적으로 관련 법제도로 명문화하여 실효적인 정책수단으로 활용하기에는 현재까지 많은 어려움이 있다. Marre et al.(2016, p.54)는 이미 자연해택평가를 정책의사결정체계로 포함하여 적용하기에는 그 유효성이 충분히 인정되지 않았고, 오히려 자연해택평가를 통해 의도되지 않은 결과가 나타날 경우 이해관계자의 이해와 가치의 차이로 갈등을 유발할 수 있다는 점을 지적하였다.

현재 국내 정책수단 중 자연해택평가를 활용한다고 가정하면 다양한 적용한계의 문제가 발생할 가능성이 있다. 우선 일정규모의 이용·개발행위규제를 위한 인·허가수단과 관련하여 살펴보면, 특정구역에서 이용·개발행위를 할 경우에 그 행위로 인해 얻어지는 자연해택과 손실의 범위와 기준을 정하는 것은 어려운 일이다. 예를 들어 특정 해변의 관광여가활동을 위해 해안접근 등을 위한 기반시설을 설치할 경우에 관광해택은 최대가 될 수 있지만, 나머지 해택은 감소될 가능성이 크다. 이런 경우는 개발행위별에 따른 자연해택의 평가방법

과 기준을 정하여 최적의 trade-off 지점을 정하는 것이 중요하다.

용도지역·지구 등 미래 수요를 예측하여 이용·개발·보전 등을 위해 일정공간의 위치와 규모를 정하는 구역설정과 관련된 정책수단은 지리적 영역의 미시적 범위를 설정하고 그 해당영역의 자연해택 유형과 범위 등을 밝혀내는 것이 중요하다. 이런 경우는 국가차원의 일반화된 기준에 따른 자연해택 설정기준과 방법론을 적용하기보다는 지역의 장소성이 반영된 자연해택 설정기준과 방법론이 필요하다. 자연해택평가를 통해 특정구역의 가치를 밝혀지더라도 해당구역의 가치와 기능을 연계하는 것은 쉽지 않은 일이다. 예를 들어 특정 구역의 수산자원 등 생산해택이 다른 해택보다 높게 평가되었다고 해서 그 해역을 수산이용 구역으로 설정할 것인지 아니면 해양생물자원과 서식지 보호 등을 위해 보호구역으로 설정할 것인지는 정책결정자 판단에 의존하게 된다. 즉, 구역설정을 위한 자연해택의 평가는 정책결정을 위한 참고사항으로 고려될 뿐 결국에는 정책결정자에 의해 결정될 수 있다.

〈표 5-4〉 자연해택평가 활용가능 정책수단의 한계

구분	목적	주요 정책수단	자연해택평가 적용한계
인·허가	- 허가·인가·면허·등록·신고 등을 통해 특정행위를 규제하여 공공복리와 질서 유지	- 개발행위허가제 - 공유수면 점용·사용허가	- 개발행위에 따른 자연해택평가 지표와 방법론 결여 - 자연해택의 trade-off 평가수단 결여
구역설정	- 미래 수요를 예측하여 이용·개발·보전 등을 위해 일정공간의 위치와 규모를 정하고자 하는 것	- 토지적성평가와 용도지역·지구제 - 연안해역적성평가와 연안용도해역제	- 국가·지역별 자연해택 유형체계 부재 - 공간의 자연해택과 공간기능간의 연계체계 부재
부담금	- 원인자·수익자 부담원칙에 따른 공공 서비스 창출	- 생태계보전협력금 - 해양환경보전협력금	- 자연해택평가의 결과가 오히려 개발행위를 정당화하는 근거로 작용 - 자연해택의 경제평가에 따른 화폐단위로 환원하는 것에 대한 근본적 한계
환경영향	- 개발계획·사업 등에 의한 환경영향의 사전예측·평가 후 저감대책 마련	- 환경영향평가 - 해양환경영향평가	- 자연해택평가 결과에 대한 이해관계 차이로 갈등유발 - 자연해택의 유형별에 따른 조사항목·방법·지표 선정에 어려움

자료: 저자 작성.

현재 국내 생태계보전협력금 등과 같은 경제수단에 자연혜택평가를 적용할 경우, 가장 어려운 점은 자연혜택가치를 어떻게 금전화할 것인가이다. Costanza(1998)가 시도한 자연혜택을 금전화한 연구는 이해관계자의 이해를 돕고 정책우선순위를 정하는 데 큰 의미가 있었지만, 실제 자연혜택을 금전화하는 것은 사회적 합의가 필요한 부문이다. 또한 오히려 부담금과 같은 경제수단은 공익보다는 사익을 정당화하는 수단으로 활용될 가능성이 높기 때문에 관련 법제도에 생태계기반관리의 원칙과 구성요소, 부담금의 용도 등을 명확히 제시할 필요가 있다.

환경영향평가수단은 근본적으로 개발계획·사업에 의한 환경영향을 예측·평가하여 저감대책을 마련하는 것이 주목적이다. 개발계획이나 사업이행에 따라 자연혜택의 유형별에 따라 그 영향범위에 차이가 나타날 수 있으므로, 개발계획이나 사업성격에 따라 자연혜택의 유형을 고려한 조사항목·평가지표와 평가방법 등을 차별적으로 고려할 필요가 있으며, 이에 대한 이해관계자의 충분한 고려가 필요하다.

## 2. 자연혜택 기반관리를 위한 지역관리 적용방안 - 가로림만 사례로

### 가. 가로림만의 자연혜택평가 기반 지역계획 수립체계

자연혜택평가를 활용한 지역 정책수단을 마련하기 위해서는 지역관리 차원에서의 목표 설정과 실행수단을 만드는 과정 단계별로 해당되는 자연혜택평가 평가 절차가 적용되어야 한다. 지역정책수립 및 자연혜택평가 적용 절차가 하나의 과정으로 작용될 때 비로소 가로림만 지역의 자연혜택의 가치가 반영된 정책의사결정이 가능할 수 있다.

자연혜택평가 기반 지역관리방안 절차로는 9단계로 구성할 수 있다. 1단계는 가로림만 자연혜택 필요성을 해당 이해관계자들 간에 공유하는 것이다. 이해관계자들은 가로림만이 있는 태안군, 서산시 지역주민, 공무원, 시민단체, 어업인 등의 직접이해관계자와 충남 도민, 방문객 등 간접이해관계자로 구분하여 직·간접이해관계자들에 따른 자연혜택 가치 및 평가 필요성에 대한 의견과 공감대를 파악할 필요가 있다. 이에 따라 자연혜택평가 기반 지역관리방안 마련을 위한 절차가 진행된다.

이러한 자연혜택평가에 대한 공감대와 필요성이 형성되면 2단계로 이해관계자 및 정책결

정자 구성과 참여자들의 참여 범위 설정, 사전 자연해택 관련 정보 제공 및 공유하는 단계로 넘어간다. 가로림만 지역의 직·간접 이해관계자들에 대한 기초 분석을 통한 자연해택평가 협의의 거버넌스 구축이 필요하다. 이유는 근본적으로 가로림만 지역의 관리 목표를 설정하고 실행수단을 마련하는 일련의 정책수립 과정이기 때문에 본 절차에서 주민의견 수렴을 넘어서 의사결정의 주체로서의 역할이 필요하기 때문이다. 또한 정책수립과정 내 의사결정과정에서 자연해택평가의 정보에 대한 이해도를 높이기 위해 이들을 지원하는 전문가 풀 구성도 뒷받침되어야 한다. 본 단계에서 전문가 풀은 이해관계자들에게 자연해택 관련 정보 설명과 더불어 자연해택평가의 한계점을 미리 파악함으로써 이후 지역관리방안 마련에 자연해택평가의 적용범위를 알 수 있도록 하는 역할을 수행한다.

3단계로 자연해택평가에 대한 사전 이해와 참여 주체가 마련되면 본격적인 가로림만 자연해택평가를 위한 절차가 진행된다. 평가를 위한 가로림만 자연해택 현안 분석을 위해 자연해택평가 절차 중 평가지역과 항목 결정, 관련계획 및 사업내용 검토가 이루어진다.

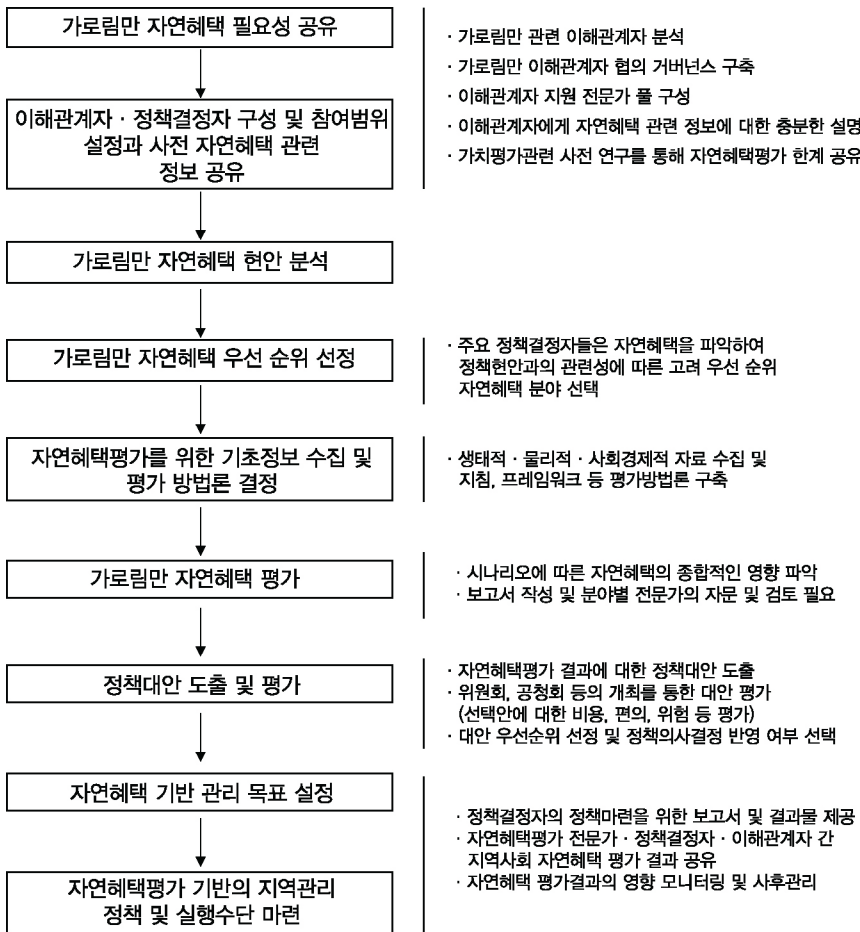
4단계로는 현안분석을 통해 가로림만의 자연해택 항목 중 현재 현안과의 관련성이 높고 정책적 관리가 필요한 항목의 우선순위를 선정한다. 우선순위를 정하기 위해 가로림만 자연해택 유형별 중요도 분석을 통해 우선순위를 결정할 수 있는데 이를 위해 자연해택평가 절차 중 사회경제적·생태적 정보를 수집하는 작업이 필요하다.

5단계로 우선순위 선정과 자연해택의 기술적 평가를 위한 자료가 수집되면 정보를 기반으로 평가 지침, 프레임 워크 등의 평가 방법론을 결정하게 된다. 이후 가로림만 자연해택 평가가 진행되며, 시나리오에 따른 자연해택의 종합적인 영향 파악과 그 결과에 따른 보고서 작성 및 분야별 전문가의 자문의견을 통한 자료 검수 및 보완작업이 이루어진다.(6단계)

7단계에서는 자연해택평가 결과에 대한 정책대안이 도출되며, 위원회, 공청회 등의 직·간접 이해관계자·전문가 등이 참여하여 정책대안에 대한 평가가 진행된다. 이때 평가 고려사항으로 선택안에 대한 비용, 편익, 위험요소 등이 고려될 수 있다. 의견 수렴 및 개선사항을 반영하여 대안 우선순위 선정 및 정책의사결정 반영 여부를 결정한다.

8단계에서는 본 단계에 이르기까지 나온 결과물의 검수 등을 통해 작성된 보고서 및 기타 자료를 정책결정자에게 제공하며, 자연해택 평가 전문가, 정책결정자, 이해관계자에게 가로림만 지역 자연해택 평가 결과를 공유하여 가로림만의 자연해택 기반 지역 관리 목표를

설정하도록 한다. 지역관리 목표 설정과 함께 가로림만 자연해택의 시계열적 자료 구축 및 영향을 파악하기 위해서 자연해택 평가결과의 영향에 대한 지속적 모니터링과 그에 따른 사후관리방안도 마련되어야 한다. 마지막 단계로 자연해택 기반 지역관리 목표가 설정되면 목표 추진을 위한 정책 제도 및 실행수단을 마련함으로써 실질적인 지역관리가 이행될 수 있도록 한다.



자료: 저자 작성.

〈그림 5-2〉 자연해택평가 기반 지역관리방안 절차

자연혜택평가 기반 지역관리방안 절차에서 자연혜택평가가 각 단계별 적용되는 방식에 대해 정리하면 7단계로 구분할 수 있다. 첫 번째로 지역관리방안 절차 중 가로림만 자연혜택 필요성에 대해 이해관계자 간 공감대가 형성되면 다음으로 지역관리방안 마련을 위한 참여 주체 구성과 참여 범위가 정해지며, 자연혜택평가에 대한 정보가 제공된다. 이때 자연혜택평가의 개념과 평가 요인 및 절차 등의 대한 설명이 이루어진다.

두 번째로 가로림만 자연혜택 현안 분석과 현안 관련 자연혜택평가 항목의 우선순위를 설정하기 위해 자연혜택 평가 범위 및 대상을 정하게 된다. 이 때 가로림만 지역 내 평가 대상이 되는 공간적 범위(가로림만 해역·육역)가 정해지며, 평가를 위한 항만기본계획, 보호구역 관리계획, 군관리계획, 연안관리지역계획, 지자체 개발 및 복원 사업 등 관련계획이 검토된다. 또한 해양건강성지수 중 가로림만 자연혜택평가에 활용되는 지표(식량공급, 탄소저장, 관광 및 여가, 생계 및 경제, 깨끗한 물, 생물다양성) 선정 및 이유에 대한 정보를 제공한다.

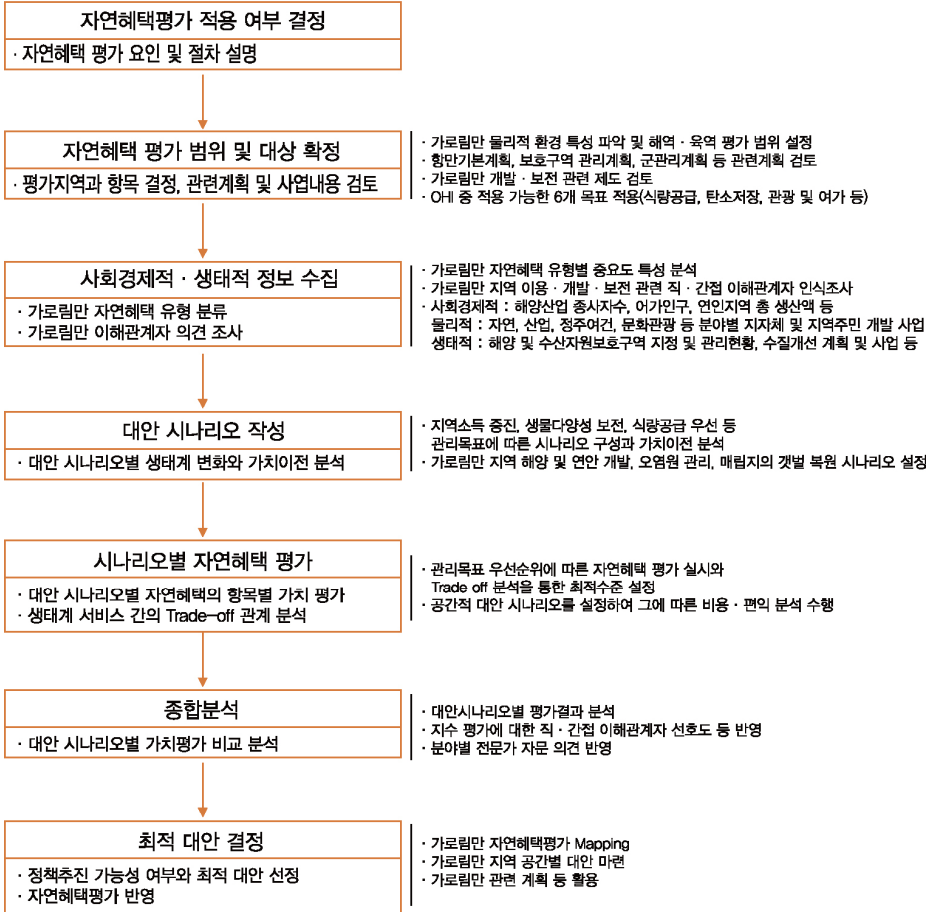
세 번째로 가로림만 자연혜택 우선순위 선정 이후 기술적 평가를 위한 사회경제적·생태 정보를 수집해야 한다. 사회경제적 자료로 해양산업 종사자 수, 어가인구, 연안지역 총생산액 등이 활용될 수 있으며, 물리적 자료로는 자연, 산업, 정주여건, 문화관광 등 분야별 지자체 및 지역주민 개발 사업이 해당된다. 생태자료에는 해양 및 수산자원보호구역 지정 및 관리 현황, 수질개선계획 및 관련 사업 등이 포함된다. 또한 본 단계에서 가로림만 자연혜택 유형별 중요도 특성을 분석하며, 가로림만 지역의 이용·개발·보전 관련 직·간접 이해관계자의 인식을 통해 평가항목의 중요도를 반영할 수 있다.

네 번째로는 평가방법론에 따라 가로림만 자연혜택을 평가하기 위해 기존의 수집된 자료와 다양한 이해관계자들의 인식조사 등을 통해 얻은 가로림만 지역 현안 등을 고려한 대안 시나리오 작성이 이루어진다. 지역소득 증진, 생물다양성 보전, 식량공급 우선 등 예상 관리 목표에 따른 대안 시나리오별 생태계 변화와 가치이전 분석이 진행된다. 현재 가로림만 지역 대안시나리오로는 조력댐, 방조제 건설 등 개발 수요에 의한 가로림만 해양 및 연안 개발 시나리오, 친환경 농업 육성을 통해 비료와 농약 사용을 줄여 농업 관련 소득증대 및 유역 수질환경을 관리하는 오염원 관리 시나리오, 가로림만 수산자원 회복을 통한 어업중심 지역 경제활성화 및 연안생태계 가치 증대를 위한 매립지의 갯벌 복원 시나리오로 구성되어 있다.

다섯 번째로 대안 시나리오 작성에 따라 가로림만 자연혜택의 기술적 평가를 위해 시나리오별 자연혜택의 항목별 가치 평가가 이루어지며 생태계 서비스 간의 Trade-off 관계를 분석하여 자연혜택의 최적수준을 설정한다. 또한 공간적 대안 시나리오 설정을 통해 그에 따른 비용·편익 분석을 수행하게 된다. 여섯 번째는 대안 시나리오별 가치평가결과를 비교·분석하고 지수 평가에 대한 직·간접 이해관계자 선호도 등을 반영한다. 또한 기술적 측면에서 분야별 전문가 자문의견을 반영하여 결과의 신뢰도를 제고하도록 한다. 마지막으로 종합 분석을 통해 얻은 결과를 바탕으로 정책추진 가능성 여부와 최적 대안을 선정한다. 가로림만 자연혜택평가 결과를 매핑(Mapping)하며, 이를 토대로 가로림만 지역 공간별 관리방안을 마련하고 관련계획 등에 활용할 수 있도록 한다.

지역관리를 위한 정책 수립 및 제도마련을 위한 절차에 자연혜택평가 기법을 적용해 자연혜택 기반의 지역관리방안 마련 체계를 구축하였다. 기존의 관리 지역의 정책 현안, 사회경제적·물리적·생태적 현황 등의 기초 자료를 기반으로 한 정책의사결정 및 정책수립과정에서는 개발·보전 관련 이해관계자 갈등과 그에 따른 자연혜택의 변화에 대한 과학적 평가결과가 반영되지 못했다. 지금의 자연혜택평가기법에 대해서도 여러 가지 한계점과 개선해야 될 사항들이 지적되고 있다. 그러나 기존의 정책의사결정 및 정책수립과정에서 고려되지 못한 자연혜택 요소들을 반영한 과학적 분석기법을 정책의사결정 과정에 적용시켜 과학적 환경관리와 이를 추진할 수 있는 정책수단을 지원할 수 있는 체계가 마련되었다는 점에서 자연혜택평가 기반 지역관리방안 절차에 의의가 있을 것으로 판단된다.

자연해택평가 적용 단계

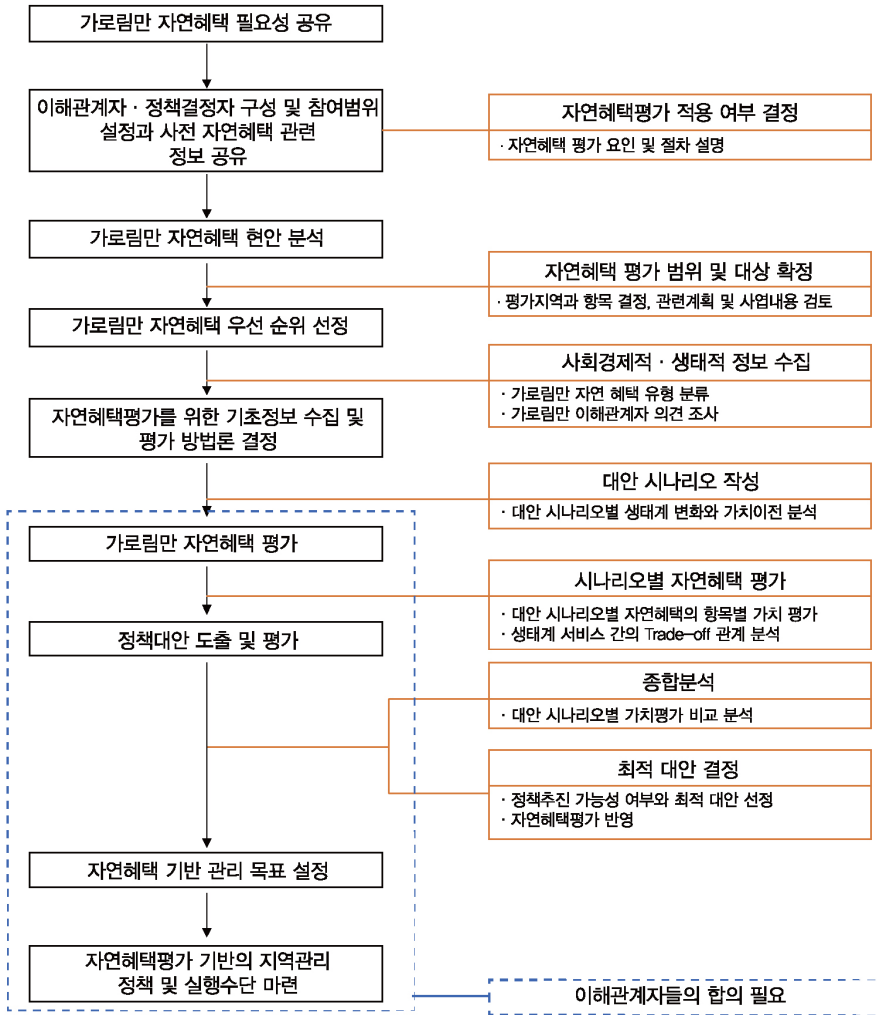


자료: 저자 작성.

〈그림 5-3〉 자연해택평가 적용 단계

자연해택평가 기반 지역관리방안 절차

자연해택평가 적용 단계



자료: 저자 작성.

〈그림 5-4〉 자연해택평가 기반 지역관리방안 마련 체계

### 나. 가로림만의 자연해택평가 기반 지역공간관리 방안

해양건강성지수가 정책적 의미를 갖기 위해서는 자연해택평가를 통해 산정된 해양건강성지수를 지역의 정량목표로 제시하여, 지역의 생태계관리정책 목표의 달성 여부를 정기적으로 확인해나갈 수 있는 메커니즘의 구축이 필요하다 할 것이다.

가로림만 자연해택평가 시나리오별 분석을 통해 나타난 결과 중 갯벌 복원 시나리오를 바탕으로 지역공간관리방안을 제시해 보면 다음과 같다. 자연해택평가 결과, 가로림만 자연해택증진을 위해 본 구역은 생태복원과 수질개선 등을 통한 생물다양성 증진을 기본목표로 설정해 볼 수 있다.<sup>10)</sup> 본 연구에서 산정·적용한 갯벌복원시나리오에 따라 가로림만의 갯벌 복원노력을 지속적으로 추진한다면 생물다양성을 현 상태의 30% 정도까지 증진할 수 있다는 가정을 지역목표로 적용해 볼 수 있다.<sup>11)</sup> 생물다양성 증진의 목표를 달성할 수 있도록 실질적 자연해택 관련 정책수단이 함께 고려되어야 하는데, 본 연구에서는 생물다양성 증진 목표에 따라 갯벌복원과 육상기인오염원 관리가 우선적으로 필요한 지역을 정하고, 이에 따른 관리방안을 제시해 보았다.

자연해택평가 시나리오결과를 근거로 지역별로 우선순위에 따라 갯벌복원계획과 오염원 관리 사업을 단계별로 추진할 필요가 있다. 우선 1단계 복원지역은 바지락 양식장이 밀집해 있는 지역으로 서산시 팔봉면과 지곡면이 접해 있는 해역이다. 본 구역은 일부 축제식 양식장과 염전 등이 있는 지역으로 현 어업활동을 유지하되, 지역주민의 양식활동을 통한 수산생산성을 올려 생계에 도움이 될 수 있도록 이 지역에 대한 체계적 관리가 필요하다. 또한 주변 농경지로부터 오염물질 유입을 제어하기 위해 친환경 농업 등이 이루어질 수 있도록 하고, 갯벌생태공원 등 생태관광 추진을 위한 인프라 등을 조성하여 지역주민의 생계유지에 기여할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다. 2단계 복원구역은 태안군 태안읍 이원면과

10) 생물다양성 증진 목표는 자연해택의 6개 유형과 연관된다고 볼 수 있음. 예를 들어 생물다양성 증진을 통해 가로림만 지역주민의 주요생계수단인 수산생산성을 제고하는 데 기여할 수 있으므로 궁극적으로 생물다양성의 증진은 곧 지역주민의 삶의 질 제고와 연관됨. 그리고 생물다양성 증진에 따라 지역주민의 생계·유지의 목표를 어느 정도로 정할 것인가에 대해서는 예를 들어 생물다양성이 10%가 증진한다면 지역주민의 경제수준이 얼마나 나아질 것인가에 대한 별도의 산정체계를 마련해 이를 기본목표로 동시에 제시가 가능함.

11) 본 연구의 갯벌복원원시나리오를 적용한 결과, 해양건강성지수 6개 항목별 점수를 산술평균한 76점을 기준으로 정했을 때의 현 상태에서의 변화율을 고려해 보면, 갯벌 복원 시 지수 변화가 현 상태에서 30% 증진하는 것으로 나타났음.

서산시 팔봉면 주변 해역으로 정해볼 수 있다. 본 구역은 가로림만 가장 내만에 위치한 곳으로 태안읍과 인접해 있고 농경지가 다수 분포해 있다. 이 지역에 대해서는 우선적으로 갯벌복원을 통해 생물생산성을 올려 지역주민 생계유지에 기여할 수 있도록 하며, 갯벌보호를 위해 주변 농경지로부터 유입되는 각종 오염물질에 관한 관리가 필요하다.

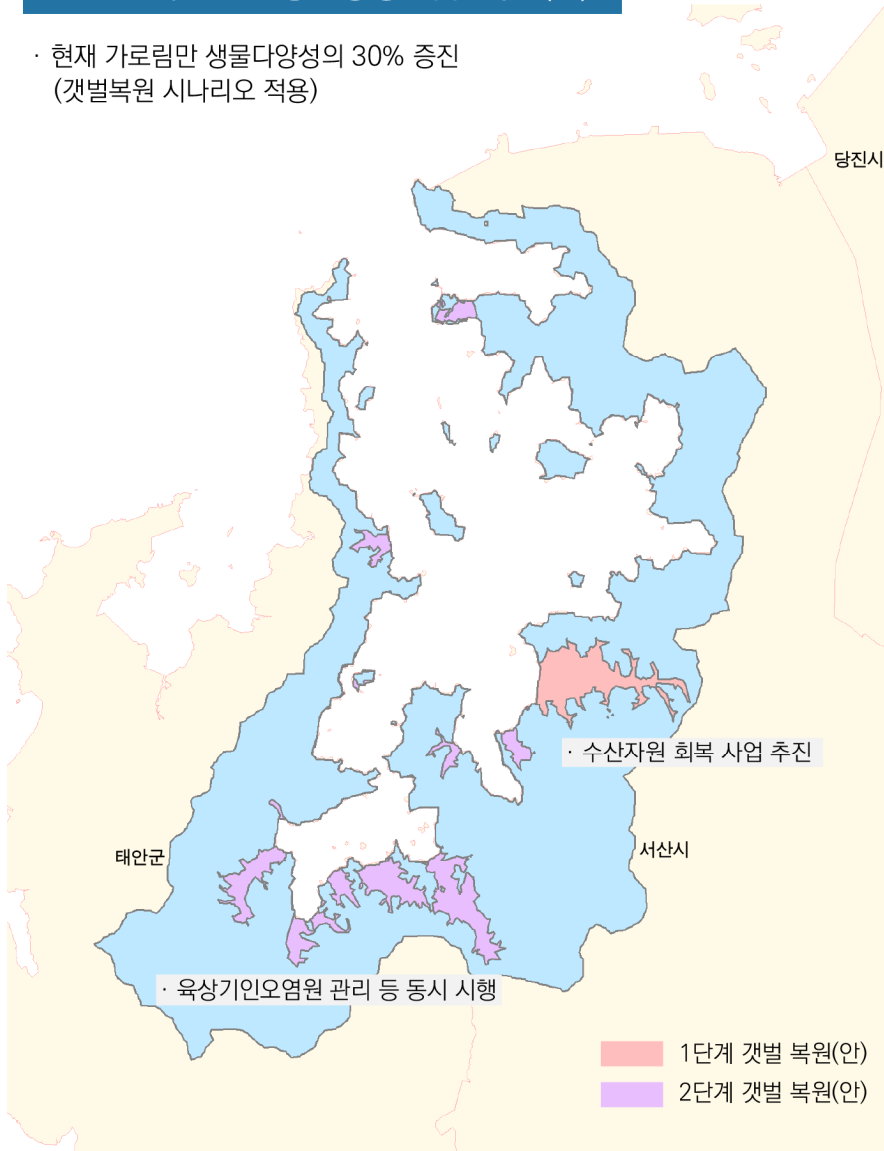
〈표 5-5〉 해양건강성지수 변화 및 목표 설정(안)

OHI 항목	해양건강성 지수 변화			목표 설정
	현 상태	갯벌 복원	변화율(%)	
생물다양성	63	82	30	- 현 상태에서 30% 이상 증진

자료: 저자 작성.

### 자연혜택기반 해양건강성 지수 목표(안)

- 현재 가로림만 생물다양성의 30% 증진  
(갯벌복원 시나리오 적용)



자료: 저자 작성.

〈그림 5-5〉 자연혜택기반 지역관리 공간계획(안)

## 제6장

### 결론 및 제언

본 연구에서는 지역 단위의 자연혜택을 평가하기 위해 해양건강성지수 프레임워크에서 제시하고 있는 목표 중 6개 목표(식량공급, 탄소 저장, 관광 및 여가, 생계 및 경제, 깨끗한 물, 생물다양성)를 평가하기 위한 방법론을 개발하였다. 이를 우리나라의 가로림만과 시화호에 시범 적용하였으며 가로림만의 연안 개발, 갯벌 복원, 오염원 관리 시나리오에 따른 자연혜택 변화를 평가하였다. 가로림만의 해양건강성의 경우 이상적인 상태 대비(100점) 생물다양성(63점), 식량 공급(62점)이 비교적 낮은 수준을 보였고 탄소 저장(83점)이 가장 우수하게 평가되었다. 가로림만 권역 중 태안은 서산에 비해 압력 강도가 높고 회복력 강도가 낮아 해양건강성 회복을 위한 중점 관리가 필요한 것으로 확인되었다.

본 연구를 통한 국내에 최적화된 해양건강성지수 기반의 자연혜택 평가기법은 정책의사 결정 과정에서 보다 과학적이고 이해관계자 합리적인 지역 발전방안을 수립하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 시나리오를 활용해 사업비용 대비 자연혜택 변화를 추정해 생태환경 관리 및 지역 경제 모두에 효율적인 중점 사업을 도출할 수 있으며, 이러한 이해관계자 참여에 기반을 둔 지역발전 전략 수립은 환경분쟁을 사전에 예방하는 효과를 가질 수 있다.

현재 우리나라는 개별사업 수준의 상위 의사결정 단계에서 환경에 미칠 수 있는 영향을 평가하기 위해 전략환경영향평가를 도입하였으며 이 제도는 개별사업이 아닌 국토의 일부 지역 혹은 전 지역을 대상으로 하는 정책계획과 개발기본계획에 대해 시행하고 있어(환경부, 2016) 평가 규모면에서 해양건강성지수의 활용성이 클 수 있다. 더불어 현재 전략환경영향평가를 통해 평가서를 작성해야 하는 항목은 환경보전계획과의 부합성, 계획의 적정성,

입지의 타당성 등인데 생태환경과 사회경제적 측면을 세부적으로 평가하기 위한 과학적 기술은 매우 미흡한 실정이다. 해양건강성지수 등의 자연혜택 평가 기법을 기반으로 생태계 서비스 평가와 이로부터 파생되는 사회경제적 가치 평가를 연계할 수 있는 프레임워크를 마련하고 그 지침 또는 매뉴얼을 개발해 제공하면 현재의 전략환경영향평가의 기술적 측면을 보완할 수 있을 것이다.

해양건강성지수 기반의 자연혜택 평가 기법은 산정 방식 및 자료의 가용성 등에 한계점이 있어 다음과 같은 고려가 필요하다. 첫째, 본 연구에 적용한 방법론의 특성상 지표 설정, 요인별 강도 및 가중치 설정 등 시범적으로 적용한 기준에 대해 향후 충분한 논의 및 검증을 통해서 신뢰도를 확보하는 과정이 우선시 되어야 한다. 둘째, 읍면 규모의 사업 등 국부적 영향 평가에 한계점을 보이기 때문에 정책 목표에 따라 공간 규모를 신중히 선정할 필요가 있다. 셋째, 지표별 가중치 산정에 따라 점수 변화가 크기 때문에 전문가 및 이해관계자 의견이 반영된 가중치 선정이 필요하다. 넷째, 육역 시나리오에 대한 자연혜택을 평가할 경우 유역의 점오염과 비점오염을 종합적으로 고려할 수 있는 수질 모형과의 연계가 필요하다. 마지막으로, 자연혜택 기반의 지역경제 활성화 전략 수립을 효과적으로 지원하기 위해서는 자연혜택이 지역경제에 미치는 다양한 효과(직접효과, 파급효과, 투자비용, 환경비용 등)를 고려하여 평가해야 한다.

## | 참고문헌 |

## [국내문헌]

- 가로림조력발전(2014), 「가로림 조력 건설사업 환경영향평가서[해양생태계조사 및 생태계 모델링]」.
- 국토해양부(2011), 「시화호 연안환경관리 백서」.
- 김도균, 이평주(2013), “지역환경운동의 형성과 도전: 서산태안환경운동연합을 중심으로”, 『환경사회학연구(ECO)』, 17(1), pp.121-161.
- 김도균(2011), 「환경재난과 지역사회의 변화」, 한올아카데미, p.28.
- 김민규, 구본주(2015), “조력발전소 가동 후 시화호 내 조간대의 면적 변화”, 『한국해양환경·에너지학회지』, 18(4), pp.310-316.
- 김창수(1998), “방조제 건설이후 시화호내 저서동물군집의 시·공간적 변화에 대한 연구”, 인하대학교 대학원, 석사학위논문.
- 김충기 외(2016), 「자연혜택 평가를 통한 지역경제 활성화 방안(I)」, 한국환경정책·평가연구원.
- 농림수산식품부(2012), 「해삼양식 가이드북」.
- 류명진, 방기웅, 조양석(1990), “담수호의 수질예측모형의 개발”, 『대한토목학회 1990년도 학술발표회 개요집』, pp.525-528.
- 박지현(2013), “참여형 시나리오 플래닝을 통한 미래상 전망”, 『한국보건산업진흥원 HT R&D 이슈리포트』, [HT R&D 2013-004], 2013.12.
- 박창석, 노백호, 정재현(2008), 「국토연안생태네트워크 구축과 계획적 관리방안(I)」, 한국환경·정책평가연구원.
- 서산시(2009), 「2020 서산시 종합발전전략」, 충청남도 서산시.
- 신영태(2009), “한국 수산업의 미래 발전전략”, 『수산정책연구』, 1, pp.7-15.
- 유선재, 김종구(1999), “갯벌의 오염물질 정화능력 평가”, 『한국수산학회지』, 32(4), pp.409

-415.

이범선(2017), “시화호 해수유통량 증대가 수질에 미치는 영향”, 명지대학교 대학원, 박사학위 논문.

이태원, 문형태, 허성희(1997), “시화호 수질 악화에 따른 시화호와 주변 해역 어류의 종조성 변화”, 「한국해양학회지」, 2(2), pp.110-116.

이혜경(2012), “시화호 간척개발사업과 환경관리정책의 변화”, 「환경법과 정책」 제 9권, pp.153-173.

정종철, 조홍래(2008), “시화호 연안습지 식생의 공간분포 분석”, 「환경영향평가지」, 17(2), pp.105-112.

정종철(2011), “시화 갯벌식생범위의 시-공간적 변이 분석”, 「환경영향평가지」, 20(3), pp.349-356.

태안군(2014), 「2014~2023 태안군 중장기 종합계획 요약보고서」, 충청남도 태안군.

채명준, 홍순영, 제원목(1988), “안산연안해수의 수질 분석-중금속 및 COD 를 중심으로”, 「분석과학」, 1(2), pp.229-235.

한국해양수산개발원(2017), “가로림만 권역 지속가능 발전전략 수립에 관한 연구” 지속가능 발전협의회 워크숍 발표자료, 2017.2.16~17. 안면도 리솜 오션캐슬 비너스홀.

해양수산부(2005), 「갯벌생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구」.

한국과학기술기획평가원(No date), “OECD, 한국녹색성장전략 분석”(KISTEP 내부 보고자료).

한국농촌경제연구원(2014), 「2014 지역발전지수(RDI)를 통해서 본 농어촌 삶의 질 실태」.

한국해양연구소 (1995), 「해양 저서생물상에 의한 환경평가(해양환경관리기술보고서)」, 환경부, 과학기술처, 339p.

홍사흠(2016), “안정적 지역성장을 위한 지역산업구조 다양화 방안”, 「국토정책 Brief」, 549, 국토연구원.

환경부(2013), “2013년 백령도 점박이물범 모니터링 보고서 -멸종위기 야생생물 2급-”, 환경부-한강유역환경청, 11-1480347-000056-10, pp.61.

환경부(2016), 「환경영향평가제도」, 2016.01.

## [국외문헌]

- Alongi, D. M.(2002), "Present State and Future of the World's Mangrove Forests", *Environmental Conservation*, 29, pp.331-349.
- BenDor, T. K. et al.(2014), Exploring and Understanding the Restoration Economy, Published Forbes Magazine.
- Borja et al. (2000). A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12), 1100-1114.
- Bouillon, S.(2011), Carbon Cycle: Storage Beneath Mangroves. *Nature Geoscience*, 4, pp.282-283.
- Costanza, R. et al.(1998), "The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital". *Ecological economics*, 25(1), pp.3-15.
- Dyer, Christopher L. Gill Duane A. & Picou, J. Steven.(1992), "Social Disruption and the Valdez Oil Spill: Alaskan Natives in a Natural Resource Community", *Sociological Spectrum*, 12, pp.105-126.
- Gari et al(2015), A Review of the Application and Evolution of the DPSIR Framework with an Emphasis on Coastal Social-Ecological Systems, *Ocean & Coastal Management*, 103, 63-77.
- Gómez-Baggethun & Barton(2013), "Classifying and Valuing Ecosystem Services for Urban Planning", *Ecological Economics*, 86, pp.235-246.
- Halpern, B. S. et al.(2012), "An Index to Assess the Health and Benefits of the Global Ocean", *Nature*, 488, pp.615-620.
- Halpern, B. S.et al.(2014), "Assessing the Health of the US West Coast with a Regional-Scale Application of the Ocean Health Index", *Plos one*, 9(6), e98995.
- Howes, B. L., J. W. Dacey, and G. M. King(1984), "Carbon Flow Through Oxygen and Sulfate Reduction Pathways in Salt Marsh Sediments", *Limnology and*

- Oceanography*, 29(5), pp.1037-1105.
- Karr, J. R.(1993), Defining and Assessing Ecological Integrity: Beyond Water Quality. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12(9), 1521-1531.
- Kellon, C. P., & Hesselgrave, T.(2014), Oregon's Restoration Economy: How Investing in Natural Assets Benefits Communities and the Regional Economy, SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society, (7.2).
- Kok(2009), The Potential of Fuzzy Cognitive Maps for Semi-Quantitative Scenario Development, with an Example from Brazil. *Global Environmental Change*, 19(1), 122-133.
- KORDI(1999), "Report on Study of Environmental Changes and Establishment of Conservation Countermeasure for Lakes Shihwa", KORDI, p.363.
- Lambert, S. M.(1967), "Functional Relation Between Sorption in Soil and Chemical Structure", *Journal of agricultural and food chemistry*, 15(4), pp.572-576.
- Levin et al,(2001), "The Function of Marine Critical Transition Zones and the Importance of Sediment Biodiversity", *Ecosystems*, 4(5), pp.430-451.
- Ma, D., Q. Fang, and S. Liao(2016), "Applying the Ocean Health Index Framework to the City Level: A Case Study of Xiamen, China", *Ecological Indicators*, 66, pp.281-290.
- Marre, J. B. et al.(2016), "Is Economic Valuation of Ecosystem Services Useful to Decision Makers? Lessons Learned from Australian Coastal and Marine Management", *Journal of Environmental Management*, 178, pp.52-62.
- Munafò, M. et al.(2005), "River Pollution from Non-point Sources: a New Simplified Method of Assessment", *Journal of Environmental Management*, 77(2), pp.93-98.
- OECD(2015), "Towards Green Growth? Tracking Progress", *OECD Green Growth Studies*.

- Prager, M. H.(2002), "Comparison of Logistic and Generalized Surplus-Production Models Applied to Swordfish, *Xiphias Gladius*, in the North Atlantic Ocean", *Fisheries Research*, 58(1), pp.41-57.
- Reise, K.(1985), Tidal Flat Ecology: An Experimental Approach to Species Interactions, *Ecological Studies* 54.
- Shannon and Weaver.(1949), The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Swinbanks, D. D. and Murray, J. W.(1981), "Biosedimentological Zonation of Boundary Bay Tidal Flats, Fraser River Delta, British Columbia", *Sedimentology*, 28, pp.201-237.
- Swinbanks, David D.(1982), "Intertidal Exposure Zones: a Way to Subdivide the Shore", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 62(1), pp.69-86.
- Thamdrup, B. and D. E. Canfield(1996), "Pathways of Carbon Oxidation in Continental Margin Sediments Off Central Chile", *Limnology and Oceanography*, 41(8), pp.1629-1650.
- Thamdrup, B.(2000), "Bacterial Manganese and Iron Reduction in Aquatic Sediments", *Adv. Microbial Ecology*, 16, pp.41-84.
- Trujillo, P.(2008), "A Comparative Assessment of Biodiversity, Fisheries and Aquaculture in 53 Countries' Exclusive Economic Zones", Alder, J., Pauly, D. Eds., *Fisheries Centre Research Reports*, 16(7), pp.28-56.
- UN ESCAP(2010), Financing an Inclusive and Green Future. A Supportive Financial System and Green Growth for Achieving the Millennium Development Goals in Asia and the Pacific, United Nations publication.
- Vitousek, P. M. et al.(1997), "Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences", *Ecological applications*, 7(3), pp.737-750.
- Waite et al.(2014), *Coastal Capital: Ecosystem Valuation for Decision Making in*

*the Caribbean*, World Resources Institute.

- Wang, S. et al.(2002), "Carbon Storage in Northeast China as Estimated from Vegetation and Soil Inventories", *Environmental Pollution*, 116, pp.157-165.
- World Bank(2008), *The Sunken Billions, The Economic Justification for Fisheries Reform*, The World Bank, Washington D.C.
- Yim, M. W. and N. F. Y. Tam(1999), "Effects of Wastewater-Borne Heavy Metals on Mangrove Plants and Soil Microbial Activities", *Marine Pollution Bulletin*, 39, pp.179-186.
- Yoo et al.(2010), "Environmental Quality of Korean Coasts as Determined by Modified Shannon-Wiener Evenness Proportion." *Environmental monitoring and assessment*, 170(1), pp.141-157.
- Yoo et al.(2013), "Effective Prediction of Biodiversity in Tidal Flat Habitats Using an Artificial Neural Network". *Marine environmental research*, 83, pp.1-9.
- Zhang, C. I.(1987), "Biological Characteristics and Fishery Assessment of Alaska Plaice, *Pleuronectes Quadrituberculatus*, in the Eastern Bering Sea", Doctoral Dissertation, University of Washington, Seattle.

#### [온라인 자료]

- 국립생물자원관, <http://www.korearedlist.go.kr>, 검색일: 2016.10.11.
- 안산인터넷뉴스(2017.07.13), "시화호 어업권 갈등, 어민의 생존권이 우선인가 시화 생태계 복원이 우선인가", <http://asinews.co.kr/ArticleView.asp?intNum=47034&Action=001001>, 검색일: 2017.10.17.
- 위키피디아, "일본강치", <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9D%BC%EB%B3%B8%EA%B0%95%EC%B9%98>, 검색일: 2017.6.20.
- 해양환경관리공단, [www.koem.or.kr](http://www.koem.or.kr), 검색일: 2017.9.1.
- 환경부 물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr>, 검색일: 2017.9.1.

해양수산부, “2014~2016년 해양수산부 보호대상해양생물 지정현황”, <http://www.mof.go.kr/article/view.do?menuKey=376&boardKey=10&articleKey=1958>, 검색일: 2016.9.10.

IPBES 홈페이지, <http://www.ipbes.net>, 검색일: 2017.6.14.

IUCN Red List, <http://www.iucnredlist.org>, 검색일: 2016.10.11.

The World Bank Brief “Ocean, Fisheries and Coastal Economies”, <http://www.worldbank.org/en/topic/environment/brief/oceans>, 검색일: 2017.5.11.



## 부 록

- I. 가로림만 자연해택 평가를 위한 주민설문조사
- II. 가로림만 자연해택 평가 - 현황과 추세 산정방식 및 결과
- III. 가로림만 자연해택 평가 - 압력과 회복력 강도 산정 결과



## 부록 1. 가로림만 자연혜택 평가를 위한 주민 설문조사지

ID \_\_\_\_\_

안녕하십니까

본 설문조사는 가로림만 주변에 거주하고 계시는 지역주민을 대상으로 하는 조사입니다. 설문조사를 통해 가로림만이 지역주민에게 주는 다양한 자연혜택을 확인해 보고자 합니다. 조사결과는 향후 가로림만 주변 지역주민의 삶의 질 개선을 위한 유용한 자료로 활용될 수 있을 것입니다.

귀하의 응답은 오로지 학술적인 목적을 위해서만 사용되며, 응답의 내용은 익명으로 통계처리 됩니다. 따라서 귀하의 개인적인 정보는 남에게 알려질 염려는 전혀 없습니다. 바쁘시더라도 이번 연구가 원만하게 수행될 수 있도록 협조해 주실 것을 부탁드립니다.

2017년 7월

조사자: 000

연락처: 000-0000-0000

- 조사날짜: 2017년 7월 \_\_\_\_ 일
- 조사지(마을): \_\_\_\_\_
- 조사원(이름): \_\_\_\_\_



## [경제활동에 관한 문항]

문7. 귀댁(부부)의 경제활동에 대해 묻겠습니다(복수응답가능).

구분	경제활동	규모	우선순위 업종 (택2)
1	어선어업	_____톤	
2	양식어업	_____ha	
3	맨손어업		
4	농업	실경작 _____평	
5	낙숫배		
6	식당		
7	숙박		
8	가게 (식품 및 잡화)		
9	일용노동	(사례: 굴 까기, 청소, 그물손질, 선원 막노동 등)	
10	회사원		
11	기 타		

문8. 귀 댁(부부합산)의 한 해 소득은 얼마나 됩니까?

- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| ① 500만원 미만       | ② 500만원~1000만원 미만 |
| ③ 1000~2000만원 미만 | ④ 2000~3000만원 미만  |
| ⑤ 3000~4000만원 미만 | ⑥ 4000~5000만원 미만  |
| ⑦ 5000만원 이상      | ⑦ (거의) 없다         |

## [참조점과 압력]

문9. [식량생산(어선)] 귀하께서는 연안바다의 어족자원(물고기 등) 양이 과거에 비해 어느 정도나 된다고 생각하십니까?

- ① 과거에 비해 물고기 양이 많이 줄었다.
- ② 별 다른 변화 없다.
- ③ 오히려 과거에 비해 많이 늘어났다.

(문9-1) 귀하께서는 보시기에 연안바다의 어족자원(물고기 등)을 줄어들게 한 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?(2개까지 선택 가능)

- ① 바다오염(해양쓰레기, 수질오염 등) 때문에 줄어든 것이다.
- ② 남획으로 줄어든 것이다.
- ③ 기후변화로 바다환경(해수면 온도 상승 등)이 변화하면서 줄어든 것이다.
- ④ 부문별한 개발(간척사업, 공업단지, 화력발전소 등)로 인해 줄어든 것이다.
- ⑤ 기타 \_\_\_\_\_
- ⑥ 잘 모르겠다.

문10. [식량생산(양식)] 귀하께서는 양식어업의 생산량이 과거에 비해 어느 정도나 된다고 생각하십니까?

- ① 과거에 비해 양식(장)의 규모가 많이 줄었다.
- ② 별 다른 변화 없다.
- ③ 오히려 과거에 비해 많이 늘어났다.

(문10-1) 귀하께서는 보시기에 연안바다의 양식어업이 줄어들게 된 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?(2개까지 선택 가능)

- ① 바다오염(해양쓰레기, 수질오염 등) 때문에 줄어든 것이다.
- ② 남획으로 줄어든 것이다.
- ③ 기후변화로 바다환경(해수면 온도 상승 등)이 변화하면서 줄어든 것이다.
- ④ 무분별한 개발(간척사업, 공업단지, 화력발전소 등)로 인해 줄어든 것이다.
- ⑤ 기타 \_\_\_\_\_
- ⑥ 잘 모르겠다.

문11. [관광 및 여가] 귀하께서는 관광객(바다낚시꾼 포함)이 과거에 비해 어느 정도나 방문한다고 생각하십니까?

- ① 과거에 비해 찾아오는 관광객이 많이 줄었다.
- ② 별 다른 변화 없다.
- ③ 오히려 과거에 비해 관광객이 많이 늘어났다.

(문11-1) 귀하께서 보시기에 관광객(바다낚시꾼 포함)을 줄어든게 한 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?(2개 까지 선택 가능)

- ① 바다오염(해양쓰레기, 수질오염 등) 때문에 줄어든 것이다.
- ② 무분별한 개발(간척사업, 공업단지, 화력발전소)로 자연경관이 많이 훼손되었기 때문이다.
- ③ 어족자원의 고갈 때문이다.
- ④ 관광객을 유인할 만한 관광자원(아름다운 경관, 먹거리, 유적지 등)이 부족하기 때문이다.
- ⑤ 교통, 숙박, 식당, 놀이시설 등 관광인프라(시설)가 부족하기 때문이다.
- ⑥ 장기적인 경기침체가 영향을 미친 것으로 보인다.
- ⑦ 기타 \_\_\_\_\_
- ⑧ 잘 모르겠다.

문12. [영세어업] 귀하께서는 맨손어업(바지락, 굴, 낙지 등 맨손 채취)에 과거에 비해 어느 정도나 참여하고 계십니까?

- ① 과거에 비해 많이 줄었다.
- ② 별 다른 변화 없다.
- ③ 오히려 과거에 비해 많이 늘어났다.

(문12-1) 귀하께서 보시기에 맨손어업을 줄어든게 한 이유가 어디에 있다고 생각하십니까? (2개까지 선택 가능)

- ① 바다오염(해양쓰레기, 수질오염 등) 때문에 줄어든 것이다.
- ② 남획으로 줄어든 것이다.
- ③ 기후변화로 바다환경(해수면 온도 상승 등)이 변화하면서 줄어든 것이다.
- ④ 무분별한 개발(간척사업, 공업단지, 화력발전소 등)로 인해 줄어든 것이다.
- ⑤ 고령으로 인한 노동능력의 상실 때문에 줄어든 것이다.
- ⑥ 기타 \_\_\_\_\_
- ⑦ 잘 모르겠다.

문13. [연안의 경제] 귀 댁(가구)의 경제(수입)는 과거에 비해 바다에 어느 정도나 의존하고 있습니까?

- ① 과거에 비해 바다에 대한 경제적 의존도(수입)가 많이 줄었다.
- ② 별 다른 변화 없다.
- ③ 오히려 과거에 비해 많이 늘어났다.

(문13-1) 귀하께서 보시기에 연안바다에 대한 경제의존(수입)이 줄어들게 된 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?(2개까지 선택 가능)

- ① 물고기 어획량이 줄어들었기 때문이다.
- ② 양식어업 및 맨손어업의 어획량이 줄어들었기 때문이다.
- ③ 관광객이 줄어들었기 때문이다.
- ④ 기타 \_\_\_\_\_
- ⑤ 잘 모르겠다.

문14. [생물다양성(종) 귀하께서 보시기에 연안바다에서 잡히는 생물(물고기, 해조류 등)의 종류가 어느 정도나 변화했다고 생각하십니까?

- ① 과거에 비해 잡히는 생물의 종류가 많이 줄었다.
- ② 별 다른 변화 없다.
- ③ 과거와 비교해서 오히려 다양한 생물들이 많이 잡히고 있다.

(문14-1) 귀하께서 보시기에 연안바다에서 잡히는 생물의 종류가 줄어들었다면 이유는 어디에 있다고 생각하십니까?(2개까지 선택 가능)

- ① 바다의 오염(해양쓰레기, 수질오염 등) 때문에 줄어든 것이다.
- ② 지나친 남획으로 줄어든 것이다.
- ③ 기후변화로 바다환경(생태계)이 변화하면서 줄어든 것이다.
- ④ 무분별한 개발(간척사업, 공업단지, 화력발전소 등)로 인해 줄어든 것이다.
- ⑤ 기타 \_\_\_\_\_
- ⑥ 잘 모르겠다.

문15. [깨끗한 물] 귀하께서는 연안지역의 바닷물(해수)이 과거에 비해 어느 정도나 깨끗하다고 생각하십니까?

- ① 과거와 비교하면 바닷물의 수질이 많이 악화되었다.
- ② 별 다른 변화 없다.
- ③ 과거와 비교해서 오히려 많이 깨끗해졌다.

(문15-1) 귀하께서 보시기에 연안지역의 바닷물 수질이 악화된 이유가 어디에 있다고 생각하십니까?

- ① 해양쓰레기(폐그물 및 폐어구, 선박 쓰레기 투기 등) 때문이다.
- ② 육지에서 흘러들어온 오염물질(하천의 오폐수 및 분뇨, 생활폐수, 양식장 오폐수, 농경지의 농약 등) 때문이다.
- ③ 무분별한 연안지역 개발 때문이다.
- ④ 기타 \_\_\_\_\_
- ⑤ 잘 모르겠다.

[복원력]

문17. 다음은 바다환경 보호를 위한 노력을 평가하는 문항입니다. 해당번호에 (√)로 기입해 주십시오.

항목별	아무런 노력을 하고 있지 않다	노력하지만 부족한 수준이다	많이 노력하고 있는 편이다
1) 귀하께서는 연안지역 환경보호(폐어구 및 쓰레기 투기 등의 해양쓰레기 수거)를 위해 어느 정도 노력하고 있습니까?	①	②	③
2) 귀하의 마을(어촌계 포함)에서는 연안지역 환경보호를 위해 어느 정도 노력을 하고 있습니까?	①	②	③
3) 귀하가 보시기에 정부 차원에서 연안지역 환경보호를 위해 어느 정도 노력하고 있다고 생각하십니까?	①	②	③

문18. 귀하께서는 ‘건강한 해양’을 통해 얻는 혜택 중 중요한 것이 무엇이라고 생각하십니까?  
(3개까지 선택 가능). (     ), (     ), (     )

- ① 식량공급 (충분한 수준의 수산물을 획득하는 것이 중요하다)
- ② 생계 및 경제 (바다를 통한 안정적인 수입창출이 중요하다)
- ③ 탄소 저장 (바다 생태계의 충분한 탄소 저장을 통해 기후변화를 억제하는 것이 중요하다)
- ④ 관광 및 여가 (꾸준한 관광객 방문이 중요하다)
- ⑤ 깨끗한 물 (바닷물을 깨끗하게 유지하는 것이 중요하다)
- ⑥ 생물다양성(종) (바다에 다양한 생물이 함께 사는 것이 중요하다)

## 부록 II. 가로림만 자연해택 평가 - 현황과 추세 산정방식 및 결과

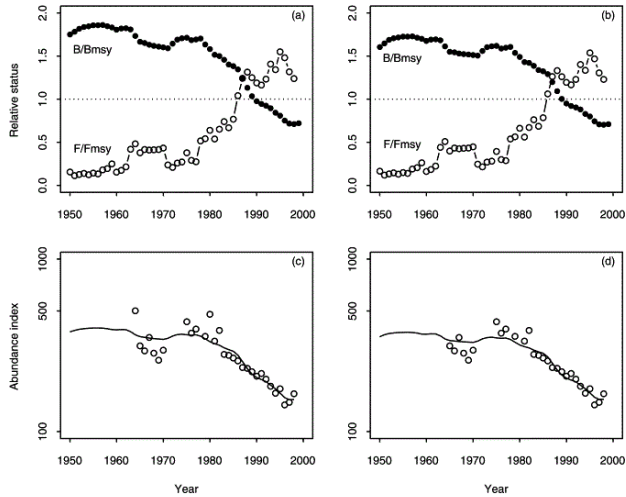
### 1) 식량 공급

#### 가) 분석 방법

식량의 공급은 해양이 제공하는 가장 기본적인 기능 중 하나이다. 특히 대한민국은 수산물의 소비량이 많은 국가로 세계 평균 1인당 연간 수산물 소비량인 16.4kg보다 높은 1인당 연간 50kg의 수산물을 소비하는 주요 수산물 소비국이며, 삼면의 해양에서 생산되는 내수 기반 수산물의 공급이 이러한 소비 형태를 뒷받침하고 있다(신영태, 2009).

수산물의 공급 효율을 증대시키고 지속적인 어획이 이루어질 수 있도록 하기 위해서는 수산물의 공급 기능을 명확하게 파악하는 것이 중요하다. 전통적인 형태의 수산자원 평가는 주로 특정 대상종에 초점을 맞추어서 수행되어 왔다. 개체군 수준의 수산자원 평가모델인 가입당 생산량 모델(yield-per-recruit models)과 잉여생산량 모델(surplus production models) 등이 이에 해당한다(Zhang, 1987). 가입당 생산량 모델은 가입량, 증증량, 자연사망량, 어획량의 네 가지 요소에 기반을 둔 수산자원을 평가하는 모델이며, 잉여생산량 모델은 최대지속적생산량(MSY: Maximum Sustainable Yield)의 개념에 기반을 둔 생물개체량의 재생산율과 어획률을 파악하여 조사지역의 수산자원을 평가한다(그림 II-1 참조).

그러나 자원 역학적 개념에 기반을 둔 수산자원의 평가는 지역 단위의 소규모 지역에는 직접적으로 적용하기가 쉽지 않다. 첫 번째로는 모델의 구축에 필요한 기초자료인 어획량 및 어업 인구수가 소규모 지역에 대해 체계적으로 정리·보관되어 있는 경우가 많지 않기 때문이며, 두 번째로는 국내 연안의 조간대 및 천해에서 어업은 대부분 양식의 형태로 이루어지고 이를 통한 생산량이 자연적 자원 가입량을 어구어법으로 포획하는 어업에 비해 매우 높기 때문이다.



자료: Prager(2002).

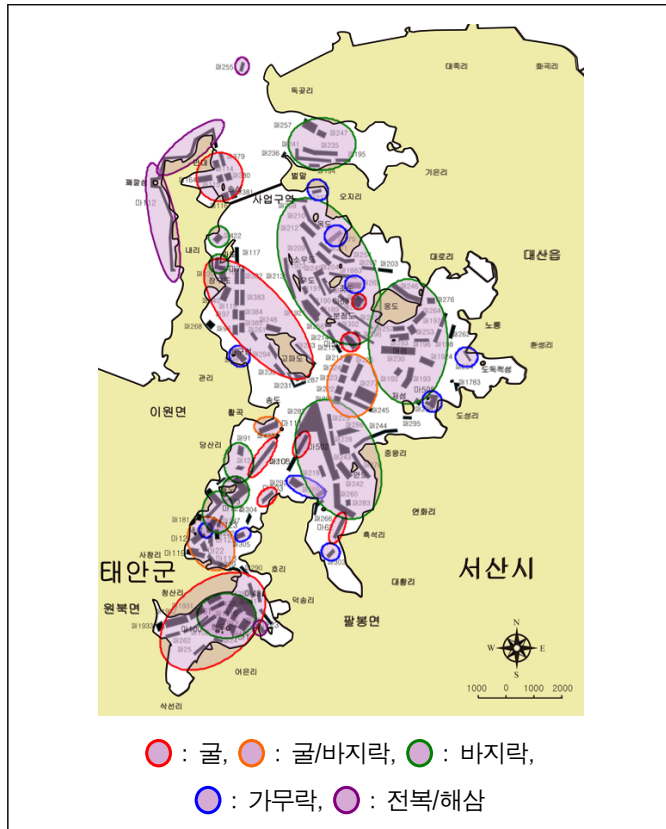
〈그림 II-1〉 잉어생산량 모델에 의한 어류 개체군의 생산모델 예

본 과제의 조사지역인 가로림만 또한 양식에 의한 어업이 주로 시행되고 있으며, 내측에 분포하는 어업지역은 모두 양식어장으로 구성되어 있다. 낙지 채취와 같은 개인 단위의 맨손어업이 일부 시행되고는 있으나 전체적인 수산물 생산량에 비해 미미한 수준이며, 소매 매의 형태로 전량 비계통 판매되기 때문에 어업에 소요되는 노동력과 생산되는 자원의 양을 파악하기는 매우 어려운 실정이다. 따라서 가로림만에서 생산되는 수산물을 평가하기 위해서는 양식을 통해 생산되는 수산물을 평가하는 방식으로 접근하는 것이 가장 타당할 것이다 (표 II-1, 그림 II-2 참조).

〈표 II-1〉 2015년 기준 가로림만 내 어업권 허가 현황

구 분	서산시	태안군
복합양식	15	4
어류양식	10	7
패류양식	99	83
해조류양식	5	0
<b>합 계</b>	<b>129</b>	<b>94</b>

자료: 해양수산부 고시 (제2016-105호).



자료: 가로림조력발전(2014).

〈그림 II-2〉 2011년 가로림만 양식어장 분포

Ma et al.(2016)은 중국 샤먼시 연안지역을 대상으로 해양건강성지수를 추정한 연구에서 해당 해역의 수산물 생산 기능을 평가하기 위하여 양식생물의 종별 환경수용력 대비 생산량 비율을 이용하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 Ma et al.(2016)의 방법을 기본으로 다음과 같은 평가 방법을 개발·적용하였다.

$$STATUS_{FP} = \frac{X_{MAR} + X_{PPR}}{2}$$

$X_{MAR}$ 은 조사 해역에서 양식에 의해 공급되는 수산물에 대한 상태값으로,  $w_k$ 는 각각의  $k$ 품종에 대한 weight sum을 의미하고  $x_k$ 는  $k$ 품종의 단위면적당 현재 생산량( $Y_k$ )과 단위 면적당 최대 수용량( $Y_{r,k}$ )의 비율을 의미한다. 이때  $S_k$ 는 Mariculture Sustainability Index(Trujillo, 2008)에 근거한 품종별 지속가능성 지수를 의미한다.

$$X_{MAR} = \sum_1^n (w_k \times x_k)$$

$$w_k = \frac{Y_k S_k}{\sum_1^n (Y_k S_k)} \quad x_k = \frac{Y_k}{Y_{r,k}} S_k$$

$X_{PPR}$ 은 조사 해역의 잠재적 생산성을 의미하며, 조간대 해역의 잠재적 생산력( $p_i$ )과 조하대 해역의 잠재적 생산력( $p_s$ )의 합으로 나타낸다. 이때  $B_i$ 와  $B_s$ 는 각각 갯벌조간대와 조하대의 현재 무척추동물 생물량을 의미하며,  $B_{r,i}$ 와  $B_{r,s}$ 는 각각 갯벌조간대와 조하대의 발생가능한 최대 무척추동물 생산량을 의미한다. 또한  $A_i$ 와  $A_s$ 는 조간대와 조하대의 면적을,  $A_t$ 는 조간대와 조하대를 합한 면적을 의미한다.

$$X_{PPR} = p_i + p_s$$

$$p_i = \frac{B_i}{B_{r,i}} \times \frac{A_i}{A_t} \quad p_s = \frac{B_s}{B_{r,s}} \times \frac{A_s}{A_t}$$

#### 나) 분석 결과

본 항목에서는 조사 해역 내에서 인간에 의해 생산되는 수산생물의 생산량을 평가하였다. 식량공급 항목의 평가에 사용된 자료들은 <표 II-2>와 같다.

〈표 II-2〉 식량공급평가에 사용된 파라미터 및 자료

Sub-Goal	Parameter	Reference point	Data source
양식어업 (Mariculture)	연간 어업 생산량	어장의 최대 수용량	지자체 해양수산과, 해양수산부
잠재적 생산성 (Potential Production)	무척추동물 생물량	출현 가능한 최대 무척추동물 생물량	현장 조사 자료

자료: 저자 작성.

### (1) 양식어업

양식어업의 생산량 자료는 가로림만의 행정구역에 해당하는 6개 지역(서산시 대신읍, 지곡면, 팔봉면; 태안군 태안읍, 원북면, 이원면)에 대한 어업생산량을 각 지자체의 해양수산 담당 부서에 요청하였다. 조사 결과, 태안군에서는 가로림만 인근 어장에 대한 수산생물 생산량 통계가 없었으며, 서산시에서는 자료를 획득할 수 있었다(표 II-3 참조).

〈표 II-3〉 2015년 가로림만 내 서산시 어장에서의 어업생산량

구 분	품 종	어장 단위면적당 생산량 (kg/ha)	어장 단위면적당 최대 수용량 (kg/ha)
이매패류	가무락	845.2	7,956.3
	굴	1,206.8	
	바지락	4,699.4	
	홍합	5,000.0	
	참맛	371.6	
어류 및 수산동물	어류	2,135.4	3,777.7
	갑각류	980.4	14,182.7
	전복	2,800.0	1,073.3
	해삼	292.3	866.7
해조류	미역	7,189.1	17,720.3
	감태	1,497.3	3,767.9

주: 1개 어장에서 2종 이상의 수산생물이 생산될 경우에는 생산 비율을 동일하게 적용하였음  
자료: 서산시 해양수산과(2016. 11), 내부자료.

단위면적당 최대수용량의 산정은 이매패류의 경우 어장 내에서의 연체동물 서식확률을 신경망모형을 통해 예측한 후 단위면적당 서식량을 68% 신뢰구간에 기초한 상한선으로 선정하였고, 어류, 갑각류, 전복, 미역, 감태의 품종은 2013~2015년의 전국 해수면 어업 생산량의 평균값에 대한 상위 68% 신뢰구간 값을 활용하였다. 해삼의 경우에는 농림수산식품부(2012)의 단위면적당 최대 양식가능량을 참조하였다.

각 품종별 지속가능성을 나타내는 Sustainability score는 Mariculture Sustainability Index(Trujillo, 2008)에 의거하여 산정하였다. 이때, 전복과 굴은 대한민국의 MSI값을 이용하였고, 가무락, 바지락, 참맛 등 이매패류는 Clam류의 세계평균값을 이용하였으며, 홍합은 Musell의 세계평균값을 이용하였다. 그리고 어류는 대한민국 양식 어종들의 평균값을 이용하였으며, 미역과 감태는 갈조류의 세계평균값을 이용하였다(표 II-4 참조).

〈표 II-4〉 서산시 어장에서 생산되는 양식생물의 지속가능성 점수

구 분	품 종	Fishmeal	Seed and larvae origin	Waste treatment	Sustainability Score
이매패류	가무락	10.0	4.5	9.5	0.80
	굴	10.0	5.0	10.0	0.83
	바지락	10.0	4.5	9.5	0.80
	홍합	10.0	7.0	8.0	0.83
	참맛	2.0	5.0	4.5	0.38
어류 및 수산동물	어류	3.0	5.0	7.0	0.50
	갑각류	5.0	7.0	5.0	0.57
	전복	5.0	5.0	5.0	0.50
	해삼	10.0	8.0	10.0	0.93
해조류	미역	10.0	8.0	10.0	0.93
	감태	10.0	8.0	10.0	0.93

자료: 저자 작성.

이를 통해 계산된 가로림만 내 양식어업 지수는 다음과 같다. 태안군 지역에서는 양식생물의 생산량 산정이 불가능하여 양식어업 지수를 구할 수가 없었다. 따라서 본 조사에서는 가로림만 내 태안군 어장과 서산시 어장의 생산력이 동일하다고 가정하고 서산시의 양식어

업 지수를 태안군에 적용하여 Food Provision 항목을 계산하였다(표 II-5 참조).

〈표 II-5〉 가로림만의 식량 제공 기능 중 양식생물 지수

시 기	서산시	태안군
2010년	0.816	-
2015년	0.882	-

자료: 저자 작성.

## (2) 잠재적 생산성

잠재적 생산성의 산정을 위한 자료로는 가로림만 내측의 갯벌조간대와 조하대의 무척추동물 생물량을 이용하였다. 조간대의 자료는 2002년, 2010년, 2012년에 각각 조사한 결과값을 이용하였으며, 조하대의 자료는 2012년에 조사한 결과를 이용하였다. 그리고 이상적인 상태를 나타내는 최대 무척추동물 생물량 값은 가로림만의 정점별 생물량의 평균값에 대한 68% 상한값을 이용하였다.

조간대와 조하대의 면적비를 고려하여 최대 생물량 대비 실존하는 무척추동물의 생존량을  $X_{PPR}$ 로 산정하였으며, 2002년부터 2012년까지의  $X_{PPR}$ 값 변화에 대한 추세를 구하여 2015년의  $X_{PPR}$ 값을 추정하였다(표 II-6 참조).

〈표 II-6〉 가로림만 내 단위면적당 무척추동물 서식량 및 생산성 지수

시 기	서산시 (g/m <sup>2</sup> )			태안군 (g/m <sup>2</sup> )		
	조간대 28%	조하대 72%	$X_{PPR}$	조간대 36%	조하대 64%	$X_{PPR}$
2002년	173.3	69.8	0.457	114.5	69.8	0.515
2010년	169.4	69.8	0.453	170.51	69.8	0.522
2012년	141.4	69.8	0.427	56.4	69.8	0.371
2015년	-	-	0.431	-	-	0.399

자료: 가로림조력발전(2014).

(3) 식량공급 기능 평가 결과

앞서 제시한 평가 방법에 따라 가로림만이 현재 제공하는 식량공급 기능은 <표 II-7>과 같이 산정되었다.

<표 II-7> 가로림만의 식량공급 기능 평가 결과

조사지역	양식어업 ( $X_{MAR}$ )	잠재적 생산성 ( $X_{PPR}$ )	Food Provision ( $STATUS_{FP}$ )	Trend of Food Provision
서산시	0.822	0.431	0.624	-0.004
태안군	-	0.399	0.608	-0.016

자료: 저자 작성.

2) 탄소 저장

가) 분석 방법

대기 중으로 배출된 탄소 중 연간 2,000TgC 가량이 해양에 의해 제거되며 이는 인간활동에 의해 발생하는 탄소의 약 25%에 해당하는 양이다(Vitousek et al., 1997). 해양에서의 탄소고정은 특히 염생식물이 서식하고 해초림이 조성되어 있는 연안습지 지역에서 활발하게 일어나는데, 연안습지 생태계에 저장되는 탄소의 양은 육상의 초목 지역보다도 높으며, 전 지구적으로 볼 때 최소 67~215TgC이 매년 연안습지를 통해 대기 중에서 제거되는 것으로 알려져 있다(Yim & Tam, 1999).

연안습지의 우수한 탄소고정 능력은 온난화와 같은 전 지구적 기후 변화를 제어하는 데 중심적인 역할을 하고 있다. 연안습지의 유실은 대기 중 탄소의 증가로 이어질 수 있으며, 실제로 지금까지 유실된 맹그로브 서식지로 인한 대기 중 탄소 증가량은 연간 20~120 TgC에 달하는 실정이다(Alongi, 2002).

이렇게 대기로부터 고정된 탄소는 일차적으로 유기물의 형태로 퇴적물에 흡착된다. 퇴적물에 저장되는 TOC의 양은 퇴적물의 입도에 영향을 받는데, 갯벌과 같은 세립질 입자 퇴적물은 표면적이 조립질 입자보다 넓어서 더 많은 양의 유기물이 흡착하는 것으로 알려져 있다(Lambert, 1967). 흡착된 유기탄소는 퇴적물 내에 서식하는 박테리아 혹은 원생동물

과 같은 다양한 미생물의 활동에 의해 다시 무기탄소로 전환되는데, 이때 유기물의 유입량이 많은 갯벌의 퇴적층에서는 유기물의 분해에 필요한 산소의 공급보다 유기물의 유입이 훨씬 빠르기 때문에, 대기 혹은 수층으로부터 산소를 공급받을 수 있는 표층 수 센티미터를 제외하면 대부분 혐기성 환경이 조성된다(Thamdrup and Canfield, 1996; Thamdrup, 2000).

이처럼 갯벌이 넓게 발달한 연안습지는 단위면적당 탄소 보유량이 가장 높으며 관리·보존·복구가 지속적으로 이루어지지 않을 경우에는 막대한 양의 탄소 배출로 이어질 수 있다. 국내에서는 유선재, 김종구(1999)의 연구에서 갯벌 유형에 따른 유기물 정화 능력을 평가하였으며, 해외의 연구에서는 염습지(Howes et al., 1984), 맹그로브(Bouillon, 2011), 갯벌 및 염생식물(Wang et al., 2002) 등의 탄소저장 능력에 대한 연구가 수차례 보고되어 왔으나, 이를 인덱스화하여 평가하는 기법에 대해서는 Halpern et al.(2012)이 해양건강성 지수의 지표 중 하나로 탄소 저장 기능을 평가하도록 제안한 것을 제외하면 보편적인 방법이 전무한 실정이다.

본 연구에서는 해양건강성지수에서 제시하는 탄소고정에 직접적인 영향을 미치는 염생식물 군락과 해초류의 분포에 대한 평가를 실시하였으며, 갯벌조간대가 넓게 발달한 대한민국 연안지역의 특성을 고려하여 고정된 탄소의 저장고로 작용하는 조간대 갯벌의 분포를 추가적으로 분석하고 다음과 같이 탄소저장에 대한 평가를 실시하였다.

$$STATUS_{CS} = \frac{(X_{CC} + X_{SS})}{2}$$

$X_{CC}$ 는 염생식물, 해초류, 맹그로브 등 연안에 존재하는 식생에 의한 대기 중 탄소의 고정을 나타내는 지표이며,  $C_c$ 는  $k$ 식생의 현재 상태,  $C_r$ 은  $k$ 식생의 대조구 상태를 의미한다. 따라서  $C_c/C_r$ 은 조사지역의 식생  $k$ 의 상태를 나타내는 score값으로 볼 수 있다. 또한 각 식생에 대해서는 조사 해역에 존재하는 모든 식생의 분포면적( $A_T$ ) 대비 식생의 분포면적( $A_k$ )을 곱하여 서식지 넓이에 따른 보정을 하였다.

$$X_{CC} = \sum_1^n \left( \frac{C_c}{C_r} \times \frac{A_k}{A_T} \right)$$

$X_{SS}$ 는 갯벌 퇴적물에 의한 탄소의 저장 능력을 나타내는 지표로, 갯벌조건대의 현재 넓이( $A_{c,t}$ )와 과거 넓이( $A_{r,t}$ )의 비율로 표현된다.

$$X_{SS} = \frac{A_{c,t}}{A_{r,t}}$$

나) 분석 결과

본 항목에서는 조사 해역 내의 탄소고정량과 퇴적물의 탄소저장 기능을 고려하였다. 탄소 저장 항목에서 사용된 자료들은 <표 II-8>과 같다.

<표 II-8> 탄소저장 평가에 사용된 파라미터 및 자료

Sub-Goal	Paramater	Reference point	Data source
탄소고정 (Carbon Capture)	염생식물 서식지 등급	염생식물 1등급 서식지	현장 조사 자료, 해양수산부(2015)
	현재 거머리말 서식지 면적	과거 거머리말 서식지 면적	현장 조사 자료, 해양수산부(2015), 박창석 외(2008)
퇴적물의 탄소저장 (Storage in Sediment)	현재 갯벌 면적	과거 갯벌 면적	현장 조사 자료

자료: 저자 작성.

(1) 탄소고정

염생식물에 의한 탄소고정을 평가하기 위하여 해양수산부(2005)가 제시한 염생식물 갯벌 서식지 평가 방법을 활용하여 가로림만 내 서산시 및 태안군의 갯벌 내 염생식물을 평가하였다. 이에 따르면 염생식물의 식물상 자료 중 표징종과 수반종을 근거로 한 정성적인 부분과 식생량에서 산출한 식생량의 정량적인 부분으로 염생식물 서식 갯벌의 등급이

산정된다. 이때 식생에 의한 정성적 기준은 0.3, 정량적 부분은 0.7의 가중치를 부여하였으며, 식생량은 다음의 방법을 통해 산출되었다.  $AV_i$ 는  $i$ 종의 서식면적( $m^2$ ),  $IC_i$ 는  $i$ 종의 피도지수(%)를 의미한다.

$$\text{구역별 총 식생량 (TCV)} = \frac{\sum(AV_i \times IC_i)}{\text{해안선의 길이}(m^2)}$$

해양수산부가 제시한 염생식물 서식 갯벌 방법에는 거머리말의 서식 여부가 포함되어 있었으나, 본 조사에서는 거머리말의 서식 면적을 해초류 항목에서 별도로 평가하기 때문에 배제하였으며, <표 II-9> 및 <표 II-10>과 같은 평가 방법을 적용하였다.

<표 II-9> 염생식물의 구성종에 의한 갯벌 평가의 정성적 기준(30%)

등급 (score)	기 준
1등급 (1.0)	표징종이 모두 서식하고 수반종이 3종 이상 (총 8종) 서식
2등급 (0.8)	표징종이 4종 이상, 수반종이 4종 이상 (총 8종) 서식
3등급 (0.6)	표징종이 3종 이상, 수반종이 3종 이상 (총 6종) 서식
4등급 (0.4)	표징종이 2종 이상, 수반종이 2종 이상 (총 4종) 서식
5등급 (0.2)	위의 어느 항목에도 들어 있지 않은 지역

자료: 저자 작성.

<표 II-10> 염생식물의 식생량에 의한 갯벌 평가의 정량적 기준(70%)

등급 (score)	기 준
1등급 (1.0)	염생식물의 식생량(TCV)이 10 이상
2등급 (0.8)	염생식물의 식생량(TCV)이 5~8
3등급 (0.6)	염생식물의 식생량(TCV)이 1~5
4등급 (0.4)	염생식물의 식생량(TCV)이 0.5~1
5등급 (0.2)	염생식물의 식생량(TCV)이 0.5 이하

자료: 저자 작성.

따라서 염생식물의 서식등급이 가장 높은 해역은 1.0의 score를 갖게 되며, 염생식물이 서식하지만 정성적, 정량적으로 불량한 해역은 0.2의 score를 갖게 된다. 이와 같은 방법을

통해 파악한 가로림만의 염생식물 서식 지수는 <표 II-11>과 같다.

<표 II-11> 가로림만의 염생식물 서식 지수

구 분	서산시	태안군
2002년	0.800	0.600
2012년	0.720	0.320

주: 2002년의 결과값은 염생식물과 거머리말을 모두 포함하여 평가한 상태값을 인용하였음  
자료: 저자 작성.

해초림의 면적은 가로림만 내에 서식하고 있는 거머리말의 서식지 면적 변화를 통해 파악하였다. 2002년 및 2008년의 문헌자료와 2012년의 현장조사 결과를 대조한 결과, 2002년에는 거머리말의 서식이 확인되었으며, 이후 2008년 조사에서는 거머리말의 서식이 보고되지 않았다(해양수산부, 2005; 박창석 외, 2008). 가로림만 내 거머리말 서식지 면적은 전국의 거머리말 서식지의 면적을 넓이순으로 나열할 때 상위 50% 이상에 해당하며, 2008년 조사 문헌에서 가로림만보다 현저히 협소한 면적의 인근 거머리말 서식지 (충남 보령시 삼시도 50㎡, 충남 태안군 의항리 500㎡)까지 포함되어 있음을 고려할 때 약 20,000㎡에 이르는 가로림만 내측 거머리말 서식지가 누락되었다고 보기는 어렵다.

이와 같은 점을 종합하여 볼 때 가로림만 내 거머리말 서식지는 과거에 현재보다 협소하여 관찰하기가 힘들었거나 일시적으로 소실되었다가 현재의 면적까지 확장되었다고 보는 것이 타당하다. 따라서 거머리말 서식처의 조건은 증가 혹은 안정적 추세에 해당하는 1.0의 값을 부여하였다(표 II-12 참조).

<표 II-12> 가로림만 내 거머리말 서식

구 분	거머리말 서식 면적	거머리말 서식지 상태값
2002년	일부 지역에 거머리말이 서식함	증가 추세 혹은 안정적 상태 시 = 1.0 감소 추세 시 감소량을 0~1 사이의 값으로 스케일링화하여 사용
2008년	보고되지 않음	
2012년	21,568㎡	

자료: 해양수산부(2005); 박창석 외(2008).

가로림만 내 염생식물 갯벌 서식지에 대한 평가 결과와 거머리말 서식지에 대한 평가 결과를 각각의 서식지 면적 비율을 적용하여 다음과 같이 탄소고정 기능을 평가하였다. 이때 거머리말의 서식지 면적은 조하대에 위치하고 있어 태안지역과 서산지역의 구분이 불가능한 관계로 서식지 면적 값을 서산시와 태안군에 각각 동일하게 적용하였다(표 II-13 참조).

〈표 II-13〉 가로림만 내 지역별 탄소고정 기능 평가

시 기	서산시			태안군		
	염생식물 상태값	거머리말 상태값	탄소고정 기능( $X_{CC}$ )	염생식물 상태값	거머리말 상태값	탄소고정 기능( $X_{CC}$ )
2002년	0.800		0.800	0.600		0.600
2012년	0.720 (8.1 ha)	1.000 (2.2 ha)	0.779	0.320 (0.8 ha)	1.000 (2.2 ha)	0.810

주: 2002년의 결과값은 염생식물과 거머리말을 모두 포함하여 평가한 상태값을 인용하였음  
자료: 저자 작성.

## (2) 퇴적물의 탄소 저장

퇴적물에 의한 탄소의 저장 기능은 갯벌 면적의 변화를 통해 평가하였다. 가장 넓은 면적의 갯벌이 드러나는 대조기를 기준으로 서산시와 태안군의 가로림만 내 갯벌 면적을 산정하였으며, 이때 면적의 대조구는 매립 등으로 갯벌이 유실되기 전에 해당하는 1975년의 면적 값을 이용하였다. 또한 1975년, 2000년, 2012년의 시간에 따른  $X_{SS}$  값에 대한 기울기를 산정하여 이를 통해 2002년의  $X_{SS}$  값을 산정하였다(표 II-14 참조).

〈표 II-14〉 가로림만 갯벌 면적의 시간에 따른 변화

구 분	서산시		태안군	
	면적 (km <sup>2</sup> )	퇴적물의 탄소 저장 기능 ( $X_{SS}$ )	면적 (km <sup>2</sup> )	퇴적물의 탄소 저장 기능 ( $X_{SS}$ )
1975년	60.2	1.000	29.3	1.000
2000년	53.9	0.888	23.9	0.814
2002년	-	0.875	-	0.832
2012년	51.6	0.851	22.1	0.753

자료: 저자 작성.

(3) 탄소 저장 기능 평가 결과

앞서 제시한 평가 방법에 따라 가로림만이 현재 제공하는 탄소 저장 기능은 <표 II-15>와 같이 산정되었다.

<표 II-15> 가로림만의 탄소 저장 기능 평가 결과

조사지역	탄소고정 ( $X_{CC}$ )	퇴적물의 탄소 저장 ( $X_{PS}$ )	Carbon Storage ( $STATUS_{CS}$ )	Trend of Carbon Storage
서산시	0.779	0.851	0.815	-0.002
태안군	0.810	0.753	0.782	0.007

자료: 저자 작성.

3) 관광 및 여가

1차년 연구에서 변동 없음. 김충기 외(2016) 참조.

4) 생계 및 경제

가) 생계

(1) 분석 방법

본 연구의 1차년 연구에서는 해양건강성지수의 '생계 및 경제' 목표 중 '생계' 항목을 평가하기 위해 해양 경제의 고용자 수를 지표로 선정했으며, 연안기본조사에서 구축된 '해양산업 종사자 수'와 '어가 인구' 자료를 활용해 시범 평가를 진행하였다. 해양건강성지수 프레임을 보다 완성도 높게 반영하기 위해서는 각각의 소득에 대한 정보를 적용해야 하지만, 해양산업만을 대상으로 하는 소득 정보는 현실적으로 구득이 불가능하다고 판단되어 지표를 산정하는 방식은 1차년과 동일하게 설정하였다.

$$X_{LIV} = f(\text{Employees of marine economy})$$

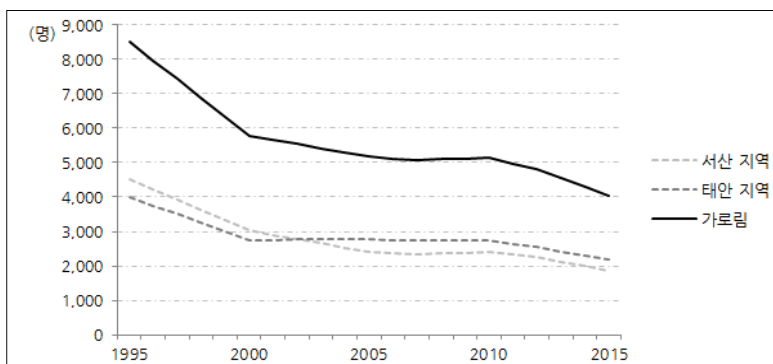
다만, 지역에서는 과거에 비해 생계 수준이 크게 감소한다고 느끼는데 반해 해양건강성지수의 '생계' 점수는 6개의 목표 중 가장 높은 점수인 92점으로 산출되었고 추세 점수도

양의 값을 가졌다. 지역 설문문의 대부분의 응답자가 가로림만 지역에 장기간 거주한 주민임을 고려해, 이번 연구에서는 자료의 과거 기간을 최대화하고 공간적 해상도를 높여 '생계' 지수를 보완하였다.

## (2) 분석 결과

'어가 인구'는 농림어업 총조사에 의해 읍면동 단위로 5년마다 조사되고 있으며, 서산과 태안에 대해서 1995년 자료부터 적용하였다. 어가 인구를 제외한 '해양산업 종사자 수'는 1차년과 동일한 자료로 연안기본조사의 시군 단위 자료를 활용하였다. 이를 통해 가로림만 '생계' 수준을 해양 경제 고용자 수로 추정해보면, 2000년대 초반까지는 서산 지역의 고용자 수가 높은 반면 그 이후에는 태안 지역의 고용자 수가 더 높았으며 모든 지역에서 시간에 따른 고용자 수가 감소하여 2015년은 1996년에 비해 1/3 수준을 보였다(그림 II-3 참조). 가로림만을 통한 해양 경제 고용자 수는 어가 인구가 2007년과 2012년 각각 87.5%, 74.4%로 대부분의 비율을 차지하여 1차 산업 위주의 생계가 이어지고 있음을 알 수 있다.

이를 통해 가로림만 연안을 통한 '생계' 점수를 평가해보면 47점으로, 서산에 비해 태안 지역이 다소 높은 점수를 보였다(표 II-16 참조). 추세는 최근 5년간의 값으로 가로림만 전체 지역에서 다소 높은 감소 추세를 보이고 있음을 확인하였다.



주: 가로림만 해당 읍면동을 기준으로 작성. 서산 지역은 대신읍, 팔봉면, 지곡면이며 태안 지역은 태안읍, 원북면, 이원면임  
자료: 저자 작성.

〈그림 II-3〉 가로림만 지역의 해양 경제 고용자 수 추이

〈표 II-16〉 가로림만의 ‘생계’ 평가 결과

구분	현황 (STATUS)	추세 (Trend)
서산	41	-2.7
태안	54	-2.9
가로림만	47	-2.8

## 나) 경제

## (1) 분석 방법

경제 항목에 대한 현황 평가 지표는 연안 지역의 지역내총생산 자료를 활용하였고 가로림만 관련 서산시 및 태안군의 시군 자료를 이용해 1차년 시범평가를 수행하였다(김충기 외, 2016).

$$X_{ECO} = f(GDP \text{ of Marine Industries})$$

해양건강성지수의 경제 항목에서는 해양과 연안으로부터 발생하는 경제적 혜택을 정량화하는 것을 목표로 하여 〈표 II-17〉과 같이 관련된 해양산업을 구분하고 있다. 본 연구에서도 이와 같은 세부적 해양산업에 대한 지역의 총생산 자료를 적용하는 것이 가장 이상적일 것이나 자료의 확보가 어려워 좀 더 포괄적인 범위에서의 대분류 산업군별 생산액을 적용해 보완하였다. 또한 물가상승률에 의한 경제적 가치 상승을 배제하기 위해 충청남도에서 제공하고 있는 2005년 기준년가격을 이용하였다.

〈표 II-17〉 가로림만의 ‘경제’ 지표 산정을 위한 해양산업 구분

OHI에서의 생계 및 경제 관련 Sector	가로림만의 해양산업 설정(대분류 구분)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관광</li> <li>- 어업</li> <li>- 양식</li> <li>- 해양포유류 관찰</li> <li>- 관상어 어업(Aquarium fishing)</li> <li>- 파력 &amp; 조력 에너지</li> <li>- 교통 &amp; 수송</li> <li>- 항구 &amp; 항만</li> <li>- 조선업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 광업</li> <li>- 도매 및 소매업</li> <li>- 운수업</li> <li>- 숙박 및 음식점</li> <li>- 예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스업</li> </ul>

주: 해양산업의 비중이 높다고 판단하기 어려운 군은 제외하였음(농림어업, 제조업, 부동산업 및 임대업)  
 자료: Halpern et al.(2012), 저자 재구성.

## (2) 분석 결과

경제 항목에 대한 분석기법을 가로림만에 적용한 결과, 해양산업군에 대한 지역내총생산 대비 비율은 2000년 기준으로 서산이 8.3%, 태안이 11.1%로 태안의 비율이 높게 나타났으며 두 지역 모두 비율이 감소하여 2011년은 서산이 5.5%, 태안이 9.0%의 비율을 보였다. 그러나 연도별 해양산업의 생산액 자체는 시간에 따라 증가하는 추세였으며 이에 따른 2011년도 ‘경제’ 부문의 현황 점수는 서산이 100점, 태안이 86점으로 나타나 서산은 현재의 해양산업 경제가 가장 높게 평가되었다(표 II-18 참조).

〈표 II-18〉 가로림만의 ‘경제’ 평가 결과

구분	현황 (STATUS)	추세 (Trend)
서산	100	0.0
태안	86	0.0
가로림만	99	0.0

자료: 저자 작성.

## 5) 깨끗한 물

## 가) 분석 방법

본 서비스의 평가 목적은 자연과 사람에 의한 해양오염의 정도를 평가하는 것으로 병원균(Pathogen), 해양쓰레기(Trash), 영양염(Nutrient), 화학물질(Chemical), 수질평가지수(WQI)를 이용하였다. 5가지 구성요소(components)의 최신자료를 표준화하여 기하평균한 후 현재 상태값을 산출하고, 법률로 수립된 수질 기준값을 기준으로 사용하였다.

$$x_{CW} = \sqrt[5]{a \times u \times l \times d \times w}$$

$$a = \textit{pathogen}$$

$$u = \textit{nutrient}$$

$$l = \textit{chemical}$$

$$d = 1 - \textit{trash}$$

$$w = \textit{WQI}$$

$$X_{cw} = \frac{\textit{Present}}{\textit{Reference}} = \frac{x_{CW}}{x_{CW,R}}$$

한편, 기하평균을 산출할 때 표준화로 인한 0과 1의 값을 보정해주기 위해 표준화 값에 +1을 하여 최소값 1과 최고값 2를 적용하였다. 여기에 추가적으로, 가로림만 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 서식처 면적의 변화와 생체량을 과거로부터 추정하여 연간 POC 제거율을 평가하였다. 그 후, 해양건강성지수에서 제시하는 현황값과의 평균을 최종적인 현황으로 산출하였다.

$$STATUS_{cw} = \frac{X_{cw} + X_{cw\_habitat}}{2}$$

〈표 II-19〉 ‘깨끗한 물’ 현황 산정을 위한 지표

구분	지표
현황(state)	병원균, 해양쓰레기, 영양염, 화학물질, 수질평가지수(WQI), 조간대(갯벌) 저서생물의 POC 제거율

자료: 저자 작성.

## 나) 분석 결과

### (1) 병원균 유입량(Pathogen input)

충청남도 보건환경연구원에서 수행한 주요하천 수질측정망 월별자료를 확보하여 태안과 서산 내 5개 하천(청지천, 둔당천, 도당천, 태안천, 장검천)의 2011년부터 월별 총 대장균군수(*E.coli*)를 연간 자료로 평균하여 산출하였다. 그 후 「환경정책기본법」에 따른 *E.coli*의 하천수 1등급 수질기준인 50cfu/100mL과의 비율을 표준화하여 평가하였다(표 II-20 참조).

〈표 II-20〉 태안/서산의 하천수 내 대장균 유입밀도

연도	<i>E. coli</i> (cfu/100mL)	기준 (cfu/100mL)	기준/측정치	Normalized	<i>a</i> (Normalized+1)
2015	10,643	50	0.00470	1.00	2.00

자료: 충청남도 보건환경연구원 자료를 바탕으로 저자 작성.

### (2) 해양쓰레기 유입량(Trash input)

본 연구에서 해양쓰레기 양은 Halpern et al.(2012)의 해양건강성지수와 동일한 방법으로 연간 수거된 쓰레기 양을 해안선의 길이로 나누어 표준화하였다. 가로림만에서 수거된 해양쓰레기와 해안선 길이를 취득할 수 없어 해양환경관리공단에서 수행한 해양쓰레기 대응센터의 태안군과 서산시 각각의 해양쓰레기 양과 해양조사원에서 공표한 해안선 길이를 이용하였다. 다른 구성요소들과 달리 해양쓰레기에 대한 국내 기준값이 존재하지 않아 시간적 참조점을 적용하여 과거 자료 중 가장 쓰레기 배출이 적었던 시기의 값으로 평가하였다. 이에, 높은 밀도의 유입값이 높은 현황값을 의미하게 되므로 결과값에 역수를 취했다(표 II-21 참조).

쓰레기 오염도(Trash pollution) = 연간 수집된 해양쓰레기 양(m<sup>3</sup>)/해안선의 길이(km)

<표 II-21> 태안/서산의 해양쓰레기 오염도

연도	지역	해양쓰레기 수거량 (m <sup>3</sup> )	해안선 (km)	수거량/길이 (m <sup>3</sup> /km)	Normalized	1-Normalized	<i>d</i> (Normalized+1)
2015	태안	2,550	419.1	6.08	0.73	0.27	1.27
	서산	310	120.9	2.57	0.76	0.24	1.24

자료: 해양수산부, 국립해양조사원 자료를 바탕으로 저자 작성.

(3) 영양염과 화학물질 유입량(Nutrient and Chemical input)

유기물(영양염 및 화학물질 등)에 의한 오염도를 평가하기 위하여 만 내부와 입구의 2개 정점에서 분기별로 측정된 해양환경 측정망 조사자료를 이용하여 산출하였다.

영양염은 Ma et al.(2016)의 평가방법대로 2001년부터 2015년까지 2개 정점에서 분기별 측정된 총질소(TN)의 농도를 각각의 정점별로 연간 평균값을 구하여 「해양오염방지법」에 기록된 수질 1등급의 총질소 농도를 기준으로 비율을 구하여 표준화하였다(표 1-27 참조). 화학물질은 1997년부터 2015년까지 분기별 측정된 화학적산소요구량(COD)을 정점별로 연간 평균값을 구하여 영양염과 동일한 방법으로 1등급과의 비율을 구한 후 표준화하였다. 한편, 「해양오염방지법」은 현재 폐지되어 수질평가방법이 「환경정책기본법」에 따라 ‘WQI(water quality index)’라는 종합평가방법으로 개선되었다. 이에, TN과 COD에 대한 수질등급은 「해양오염방지법」 제 4조의 2 및 해양수산부고시 제 2007-160호<sup>12)</sup>에 명시된 수질 1등급을 기준으로 하였다(표 II-22, 표 II-23 참조).

<표 II-22> 가로림만의 영양염

연도	총질소 (TN, mg/L)	기준 (TN, mg/L)	기준/측정치	Normalized	<i>u</i> (Normalized+1)
2015	0.33	0.3	0.9	0.31	1.31

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

12) 「해양오염방지법」 제 4조의 2 및 해양수산부고시 제 2007-160호; 현재 폐지됨.

〈표 II-23〉 가로림만의 화학물질

연도	화학적산소요구량 (COD, mg/L)	기준 (COD, mg/L)	기준/측정치	Normalized	$\frac{1}{\text{Normalized}+1}$
2015	1.18	1.0	0.85	0.20	1.20

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

#### (4) 수질평가지수(Water Quality Index)

수질평가지수는 국내 해양생태계 보호를 위해 2012년에 수립된 기준으로 기본 수질측정 항목들을 종합적으로 고려하여 총 5등급, 생태계 기반 5개 해역으로 세분화한 통합수질등급지수이다. 이에 가로림만이 속하는 서해중부해역을 기준으로 연간 수질평가지수를 산출하였다. 활용자료는 해양환경망 측정자료를 이용하였고, 다른 항목들과 동일하게 1등급 수질기준과 비율을 산출한 후 표준화였다(표 II-24 참조).

〈표 II-24〉 가로림만의 수질평가지수

연도	WQI	기준	기준/측정치	Normalized	$\frac{1}{\text{Normalized}+1}$
2015	20	23	1.15	1.00	2.00

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

#### (5) 평가 결과

가로림만 깨끗한 물의 현황 점수는 태안은 0.73, 서산은 0.79로 유사하게 평가되었다(표 II-25, 표 II-26 참조). 그러나 현재까지의 변동성을 나타내는 추세는 태안이 -0.013, 서산은 -0.010으로 두 지역 모두 미약하게나마 악화되어온 것으로 추정되었다(표 II-27 참조).

〈표 II-25〉 태안군의 Clean water 현황(status)

	<i>a</i>	<i>d</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>w</i>	Geometric mean	$X_{cw}$	$X_{cw\_habitat}$	$STATUS_{cw}$
Present value ( $x_{CW}$ )	2.00	1.27	1.31	1.20	2.00	1.51	0.76	0.71	0.73
Reference value ( $x_{CW,R}$ )	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00			

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

〈표 II-26〉 서산시의 Clean water 현황(status)

	<i>a</i>	<i>d</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>w</i>	Geometric mean	$X_{cw}$	$X_{cw\_habitat}$	$STATUS_{cw}$
Present value ( $x_{CW}$ )	2.00	1.24	1.31	1.20	2.00	1.51	0.75	0.82	0.79
Reference value ( $x_{CW,R}$ )	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00			

자료: 해양환경관리공단 자료를 바탕으로 저자 작성.

〈표 II-27〉 태안군과 서산시의 Clean water 추세(trend)

연도	태안군				서산시			
	Geometric mean	$X_{cw}$	$X_{cw\_habitat}$	$STATUS_{cw}$	Geometric mean	$X_{cw}$	$X_{cw\_habitat}$	$STATUS_{cw}$
1997년	2.00	1.00	1	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00
1998년	1.81	0.91	1	0.95	1.81	0.91	1.00	0.95
1999년	1.69	0.85	1	0.92	1.69	0.85	1.00	0.92
2000년	1.19	0.60	1	0.80	1.19	0.60	1.00	0.80
2001년	1.16	0.58	1	0.79	1.16	0.58	1.00	0.79
2002년	1.54	0.77	1	0.88	1.54	0.77	1.00	0.88
2003년	1.58	0.79	1	0.90	1.58	0.79	1.00	0.90
2004년	1.28	0.64	0.71	0.68	1.28	0.64	0.82	0.73
2005년	1.35	0.67	0.71	0.69	1.35	0.67	0.82	0.75
2006년	1.34	0.67	0.71	0.69	1.34	0.67	0.82	0.75
2007년	1.61	0.81	0.71	0.76	1.61	0.81	0.82	0.81
2008년	1.58	0.79	0.71	0.75	1.58	0.79	0.82	0.80
2009년	1.73	0.87	0.71	0.79	1.65	0.83	0.82	0.82
2010년	1.58	0.79	0.71	0.75	1.57	0.78	0.82	0.80
2011년	1.57	0.79	0.71	0.75	1.41	0.71	0.82	0.76
2012년	1.41	0.70	0.71	0.71	1.26	0.63	0.82	0.73
2013년	1.32	0.66	0.71	0.69	1.30	0.65	0.82	0.73
2014년	1.35	0.68	0.71	0.69	1.40	0.70	0.82	0.76
2015년	1.24	0.62	0.71	0.66	1.30	0.65	0.82	0.74
Slope	1.51	0.76	0.71	0.73	1.51	0.75	0.82	0.79
<b>Trend</b>	-0.013				-0.010			

자료: 저자 작성.

## 6) 생물다양성

### 가) 분석 방법

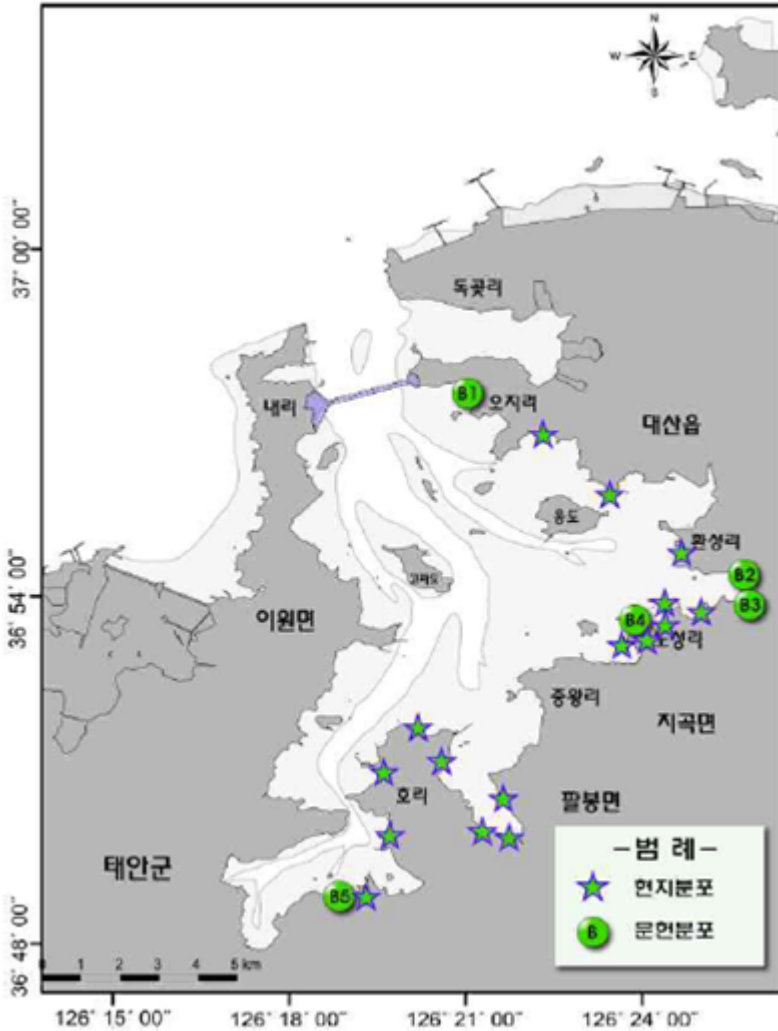
생물다양성 목표의 세부목표(sub-goal), 종(Species)과 서식처(Habitats) subgoal에 대한 상태와 추세의 평가 방법은 김충기 외(2016)에 기술된 바와 같다. 본 보고서에서는 이들 두 가지 세부 목표 가운데 종(Species)의 평가 방법에 대한 수정의 필요성과 방안을 논하고 재평가된 결과에 대해 서술하였다. 기존 평가 방법에 대한 수정 필요성은 다음과 같다. 당초 세부목표, Species는 IUCN 적색 목록과 종에 대한 위협 범주(threatened categories)를 활용하도록 제안된 것이다. 이를 통해 알려진 서식 범위는 주로 해역, 국가, 주(state) 또는 지방(province)에 해당하는 비교적 넓은 규모의 공간 단위이며, 따라서 국가 단위의 평가나 국가 간 비교에서는 공간적 차이를 나타내는 변별력에 큰 문제가 없어 적절한 활용이 가능한 것으로 볼 수 있다.

1차년 과업에서 가로림만을 대상으로 연구할 당시에는 충청남도의 하부 행정 단위에 해당하는 태안군과 서산시의 상태를 평가, 비교하는 것을 목적으로 하였다. 주어진 공간적 규모에서는 IUCN으로부터 획득한 정보가 변별력을 갖기 어려운 것으로 판단되었다. IUCN의 적색 목록 이외에도 한국 정부에서 발간한 국내 적색 목록도 이용 가능하나 이 역시 일부 종의 경우에만 가로림과 같은 만 또는 한강, 금강 등과 같은 주요 하천 단위의 서식 정보가 이용 가능하며 대부분은 이 같은 공간적 규모를 넘어선, 강원, 충남 등과 같은 도 단위로 제공되고 있었다. 이러한 정보에 의존한다면, 가로림만 주변의 태안군과 서산시 간 평가는 무리이며, 국내에서 앞으로 행해질 도 이하 단위에 대한 비교 대상 간 변별력 있는 평가는 불가능해진다.

IUCN 적색 목록종이나 국내 적색 목록종 이외에도 국내에는 멸종위기동식물과 보호대상 해양생물 목록이 활용 가능하다. 비록 이들 종의 관찰 빈도도 낮은 하나 국지적으로 조사된 결과나 정보를 이용한 객관성의 확보는 가능하며 위에 언급한 공간 규모의 비교에서 변별력을 기대할 수 있다(가로림조력발전, 2014). 그러나 이들의 서식 여부는, 적색목록에 기초한 국가 또는 지역의 생물 다양성의 손실 정도를 평가하는 것과 달리, 보존 가치가 높은 서식처를 식별하거나 서식처 보호의 정당성을 확보하는 용도로 활용되고 있다. 기존

OHI의 Species sub-goal은 평가 대상 해역의 IUCN 적색 목록종 가운데 75%가 절멸종(EX, extinct)의 범주인 경우 최저값인 0이 산출되고 모두가 관심대상(LC: least concern)의 범주인 경우 최대값, 1로 평가되므로 국내 멸종위기동식물과 보호대상해양생물 종 목록을 활용할 경우에는 점수 계산 방식의 변경이 불가피하다. 이에 대한 수정 없이 OHI 프레임워크를 그대로 적용하면, 멸종위기동식물 1급이 다수 출현하는 해역일수록 생물 다양성은 낮게 평가된다.

멸종위기동식물과 보호대상해양생물은 생물을 중심으로 보면 각종 위협에 노출되어 개체군의 크기가 현저하게 감소한 종들로 볼 수 있으나, 서식처 측면에서는 원형이 보존된 곳이며, 이들의 출현은 서식처 보존의 긍정적인 상태를 나타내고 생물 다양성이 보유, 유지되는 보존가치가 큰 곳을 지시하는 것으로 간주할 수 있다. 이들 종은 국지적인 조사를 통해 국내의 갯벌이나 기수역과 같은 전이대(transitional zone)를 포함하는 다양한 해양 서식처에서 보고되고 있으며, 현장에서의 관찰 결과나 보고서에 기록된 출현에 대한 정보는 본 연구에서 시도하고 있는 0.02°의 위경도 격자 또는 셀(2.9×3.7km<sup>2</sup>)에 적절하게 활용될 수 있는 것으로 판단되었다.



주: 해당 사례는 2006-2007년 가로림만의 갯벌에 분포하는 염색식물 군락 주변 멸종위기종에 대한 조사 결과로서 태안군과 서산시 간의 평가에서 충분한 공간적 변별력을 갖는 것으로 볼 수 있음.

자료: 가로림조력발전(2014).

〈그림 II-4〉 국내 멸종위기종의 분포에 대한 조사 사례

## (1) 종

본 연구에서는 한국의 법적 보호종인 멸종위기동식물(I, II급)과 보호대상해양생물 리스트를 활용하였다. IUCN의 위협 카테고리인 EX, CR, EN, VU, NT, LC 등의 6개이며, 앞서 언급한 바와 같이, EX의 1부터 0.2 간격으로 LC의 0까지 가중치가 설정되어 있다. 멸종위기동식물의 위협에 대한 중별( $i$ ) 가중치(위협도),  $w_i$ 는 멸종위기동식물 I급의 경우 국내에서 멸종 위기에 처한 위급성을 고려하여 IUCN의 EX 범주와 동일한 1, 멸종위기동식물 II급의 경우에는 가까운 장래에 멸종 위기에 처할 수 있음을 고려하여 CR 범주와 동일한 0.8로 설정하였다. 그리고 우리나라의 고유한 종이 개체수가 현저하게 감소하는 종을 대상으로 선정된 보호대상해양생물의 경우, 멸종위기동식물 I급에 해당하지 않는 나머지는 모두 II급과 동일한 0.8의 가중치를 할당하였다. 이는 과거 환경부의 멸종위기종 선정 초기 현재의 II급 동식물을 보호종으로 구분한 점을 고려한 것이다(표 II-28 참조).

〈표 II-28〉 생물 다양성의 종 평가에 활용되는 우리나라 멸종위기종과 보호대상해양생물 위협 범주별 가중치

Risk Category	Weight
멸종위기종 1급	1.0
멸종위기종 2급	0.8
보호대상해양생물	0.8

자료: 저자 작성.

관찰 결과에 근거하여, 0.02°의 위경도 격자(셀), 2.9×3.7km<sup>2</sup>(약 10.7km<sup>2</sup>)로 구성된 단위 면적의 각 셀 내에 서식하는 멸종위기종과 보호대상해양생물 종(n)들을 대상으로 각각의  $i$ 종에 대한 위협도를 합산하여 많은 종들이 출현할수록 높은 점수가 산출되도록 하였다. 각 셀의 위협도가 합산되면, 평가대상 해역의 총 셀 개수(M)로 나누어 주도록 고안되었다. 제안된 방법에 따르면, 8개의 셀로 구성된 태안은 4개에서 멸종위기종 1급이 2종씩 출현하면 1점, 셀 8개에서 한 종도 출현하지 않은 경우에는 0점이 산출된다(그림 II-5 참조). 본 연구에서는 아래와 같은 우리나라의 멸종위기종과 보호대상해양생물 리스트의 종 목록을 활용하였다(표 II-29 참조).



주: 일부 해역의 경우 태안과 서산 간 배타적 구분이 어려워 각각의 계산에 공통적으로 포함될 수 있도록 shared area를 설정  
자료: 구글 어스(Google Earth)를 활용하여 저자 작성.

〈그림 11-5〉 하위 목표-종 추정에 활용하기 위하여 제한된 약 10km<sup>2</sup> 면적(2.9×3.7km<sup>2</sup>)의 공간 격자

〈표 II-29〉 우리나라 보호대상해양생물 52종과 해당 종의 국제적 멸종위기종 목록 포함 현황

1. 포유류 (15종)			
번호	국명(보통명)	학 명	비 고
1	흑등고래	<i>Megaptera novaeangliae</i>	IUCN Least Concern
2	북방긴수염고래	<i>Eubalaena glacialis</i>	IUCN Endangered D
3	귀신고래	<i>Eschrichtius robustus</i>	Catalogue of Life
4	브라이드고래	<i>Balaenoptera edeni</i>	DD
5	보리고래	<i>Balaenoptera borealis</i>	IUCN Endangered A1ad
6	참 고 래	<i>Balaenoptera physalus</i>	IUCN Endangered A1d
7	대왕고래	<i>Balaenoptera musculus</i>	IUCN Endangered A1abd
8	향 고 래	<i>Physeter macrocephalus</i>	IUCN Vulnerable A1d
9	남방큰돌고래	<i>Tursiops aduncus</i>	DD
10	바다사자	<i>Zalophus japonicus</i>	IUCN Extinct
11	큰바다사자	<i>Eumetopias jubatus</i>	멸종위기 야생생물II급 IUCN Near Threatened
12	물개	<i>Callorhinus ursinus</i>	멸종위기 야생생물II급 IUCN Vulnerable A2b
13	점박이물범	<i>Phoca largha</i>	멸종위기 야생생물II급 천연기념물 제331호 IUCN Least Concern
14	고리무늬물범	<i>Pusa hispida</i>	IUCN Least Concern
15	띠무늬물범	<i>Histiophoca fasciata</i>	IUCN Least Concern
2. 무척추동물 (24종)			
번호	국명(보통명)	학 명	비 고
1	나팔고둥	<i>Charonia sauliae</i>	멸종위기 야생생물 I 급
2	남방방게	<i>Pseudohelice subquadrata</i>	Catalogue of Life
3	갯게	<i>Chasmagnathus convexus</i>	Catalogue of Life
4	검붉은수지맨드라미	<i>Dendronephthya suenoni</i>	Catalogue of Life
5	깃산호	<i>Plumarella spinosa</i>	Catalogue of Life
6	대추귀고둥	<i>Ellobium chinense</i>	DD
7	둔한진총산호	<i>Euplexaura crassa</i>	멸종위기 야생생물 II급 Catalogue of Life
8	망상맷시산호	<i>Plexauroidea reticulata</i>	Catalogue of Life
9	밤수지맨드라미	<i>Dendronephthya castanea</i>	Catalogue of Life
10	별혹산호	<i>Verrucella stellata</i>	Catalogue of Life
11	붉은발말뚝게	<i>Sesarmops intermedius</i>	Catalogue of Life
12	선찹거미불가사리	<i>Ophiacantha linea</i>	Catalogue of Life

〈표 II-29〉 계속

번호	국명(보통명)	학 명	비 고	
13	연수지맴드라미	<i>Dendronephthya mollis</i>	멸종위기 야생생물 II급	Catalogue of Life
14	유착나무돌산호	<i>Dendrophyllia cribrosa</i>		Catalogue of Life
15	의염통성게	<i>Nacospatangus alta</i>		Catalogue of Life
16	자색수지맴드라미	<i>Dendronephthya puetteri</i>		Catalogue of Life
17	잔가지나무돌산호	<i>Dendrophyllia ijimai</i>		Catalogue of Life
18	장수삿갓조개	<i>Scelidotoma vadososinuata hoonsooi</i>		
19	금빛나팔돌산호	<i>Tubastraea coccinea</i>		Catalogue of Life
20	착생깃산호	<i>Plumarella adhaerans</i>		Catalogue of Life
21	촉맷시산호	<i>Plexauroides complexa</i>		
22	해송	<i>Antipathes japonica</i>		Catalogue of Life
23	흰수지맴드라미	<i>Dendronephthya alba</i>		Catalogue of Life
24	기수갈고둥	<i>Clithon retropictus</i>		Catalogue of Life
<b>3. 해조류(해초류를 포함한다) (7종)</b>				
번호	국명(보통명)	학 명	비 고	
1	삼나무말	<i>Coccolophora langsdorfii</i>	멸종위기 야생생물 II급	
2	거머리말	<i>Zostera marina</i>	개체수가 현저하게 감소하고 있는 종으로서 학술적·경제적 가치가 높은 종	Catalogue of Life
3	포기거머리말	<i>Zostera caespitosa</i>		Catalogue of Life
4	수거머리말	<i>Zostera caulescens</i>		Catalogue of Life
5	왕거머리말	<i>Zostera asiatica</i>		Catalogue of Life
6	새우말	<i>Phyllospadix iwatensis</i>		Catalogue of Life
7	계바다말	<i>Phyllospadix japonicus</i>		Catalogue of Life
<b>4. 파충류 (4종)</b>				
번호	국명(보통명)	학 명	비 고	
1	푸른바다거북	<i>Chelonia mydas</i>	CITES종 I	
2	붉은바다거북	<i>Caretta caretta</i>		
3	매부리바다거북	<i>Eretmochelys imbricata</i>		
4	장수거북	<i>Dermochelys coriacea</i>		
<b>5. 어류 (2종)</b>				
번호	국명(보통명)	학 명	비 고	
1	가시해마	<i>Hippocampus histrix</i>	CITES종 II	
2	복해마	<i>Hippocampus kuda</i>		

주: DD는 data deficient, Catalogue of Life는 과학적으로 인정된 학명임을 나타냄.

자료: 해양수산부, “2014~2016년 해양수산부 보호대상해양생물 지정현황”, 검색일: 2016. 9. 10; 저자 재구성.

하위 목표-종의 계산 시에는 서산시와 태안군을 구분하였으며, 아래의 식과 같이 각 지자체 내에 포함된 각각의 셀 내 위협도를 모두 합치고 전체 셀 개수(M)로 나누었다.

$$X_{spp} = \left( \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^n w_i}{M} \right)$$

추세는 당초 지역 내 모든 종들의 개체군 추세 평가 결과(IUCN의 population trend data 활용)의 평균으로 하며, 증가하는 경우에는 0.5, 안정적인 경우에는 0, 그리고 감소하는 경우에는 -0.5를 할당하는 범주형 추세(categorical trend)가 활용하도록 제안되었다. 그러나 이 값은 그리드의 크기가 크고 복수의 목록 종들이 관찰되는 해역의 평가에 적합한 수준이며 그렇지 않은 경우에는 5년 정도의 미래 추세를 과도하게 평가할 수 있는 것으로 판단되었다. 따라서 현재까지 국내에서 알려진 연간 개체군 감소율을 참고로 추정하였다. 현재는 포유류 2종, 점박이물범(*Phoca largha*)과 바다사자(*Zalophus japonicus*)를 대상으로 감소율 평균을 추정하였으며, 이를 바탕으로 증가율도 설정하였다. 우선 점박이물범(*P. largha*)은 1940년대 8,000여 마리에서 2010년 200~300여 마리가 관찰된 결과를 바탕으로 연평균 -1.39%를 감소율로 추정하였다(환경부, 2013). 바다사자(*Z. japonicus*)의 경우 1900년대 초 2만~3만 마리, 1970년대 중반 일본에서 1개체가 관찰된 사례<sup>13)</sup>에 근거하여 연간 감소율을 -1.33%로 추정하였다. 이들 두 개체군의 감소율을 평균하여 감소 개체군의 추세를 -1.36, 중립은 0, 증가 추세는 1.36%로 설정하였고, 관찰된 종들의 추세를 평균하여 각 지자체별 sub-goal, Species의 추세로 활용하였다. 개체군 변동 추세에 대한 추정은 IUCN에 보고된 것보다는 국내에서 그리고 이용 가능한 경우에는 평가 대상 해역에서 조사된 결과나 정보를 우선하였다. 점박이물범(*P. largha*)의 경우 IUCN<sup>14)</sup>에서는 개체군 변동 추세가 불분명하였으나, 앞서 언급한 바와 같이, 국내에서는 현저한 감소 추세를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 종들의 경우에는 국내의 위험 수준을 우선적

13) 위키피디아, “일본강치”, 검색일: 2017.6.20.

14) IUCN Red List, <http://www.iucnredlist.org>.

으로 반영하여 그 추세를 감소의 범주로 분류하였다.<sup>15)</sup>

## (2) 서식처

‘하위 목표-서식처’를 평가하는 방법은 Halpern et al.(2012)의 것을 아래의 식과 같이 변경 없이 적용하였다. 평가하는 방식은 서식처 손실이나 상태 악화를 지시하는 상태 추정치(condition estimates),  $k$ 개의 평균이다. 이때  $C_k = C_c / C_r$ 이며  $C_c$ 는 현재 상태 그리고  $C_r$ 은 참조 상태이다.

$$X_{HAB} = \frac{\sum_{i=1}^k C_k}{k}$$

가로림만 내에 분포하는 서식처의 유형과 분포 현황은 2016년의 1차년도 최종보고서에 제시된 것과 동일하다. 당시에는 조하대 연성기질과 갯벌 각각의 대형저서동물 군집 건강도 (ISEP,<sup>16)</sup> BPI,<sup>17)</sup> AMBI<sup>18)</sup>, 생물다양성(H<sup>19)</sup>), 생체량/생산량 그리고 갯벌에 분포하는 잘피류 서식처 면적 등의 7개 항목을 이용하여 서식처 상태를 평가하였다. 2차년도인 본 연구에서는 갯벌 면적과 염생식생 평가 점수를 추가하여 총 9개의 항목을 이용한 평가를 실시하였다.

상태 추정에 활용된 생태학적 자료의 시간적 범위는 각 파라미터 유형에 따라 다르며 갯벌 면적의 경우 1975~2012년이며, 대부분 2002~2012년의 기간의 자료이나 조하대와 갯벌 대형저서동물 군집에 기초한 건강성 평가는 2007, 2010~2012년의 자료를 활용하였다. 과거 상태,  $C_r$ 은 역사적 기준치(historical reference)를 사용(갯벌 면적의 경우에는 1975년 값을 기준으로 설정)하였으며, 대부분의 경우 자료가 풍부하지 않아 각 계절별 평균으로부터 68% 신뢰구간을 추정하고 이 신뢰구간의 상한치(즉, 84 백분위수)로 대신하였다.

15) 국립생물자원관, <http://www.korearedlist.go.kr>.

16) Yoo et al.(2010).

17) 한국해양연구소(1995).

18) Borja et al.(2000).

19) Shannon and Weaver(1949).

염생식물 식생등급(해양수산부, 2005)과 같이 전국적인 평가가 가능한 파라미터 또는 지표의 경우에는 해당 평가시스템의 최고등급을 기준치(즉, established target)로 하였으며 이에 해당하는 유형에는 염생식물 식생등급 이외에 대형저서동물 군집에 기초한 건강성 평가 등급이 포함되었다.

하위 목표-서식처의 가까운 미래 상태를 나타내는 추세외의 경우, 서식처 상태를 반영하는 각 항목 별 연간 변화율( $C_t$  vs.  $C_c$  간 상태로부터 추정된 선형 모형의 기울기)  $k$ 개의 평균으로부터 계산하였다. 추세의 추정에 활용한 항목 가운데 상태 변화 추정 기간(즉, 참조 기준과 현재 상태 간 기간)이 짧은 조하대와 갯벌 대형저서동물 군집에 기초한 건강도 항목은 제외하였다.

이상과 같은 Sub-goal, 종(species)과 서식처(habitat)를 별도로 평가하고 아래의 식을 활용하여 Goal, 생물다양성을 서산시와 태안군을 대상으로 점수를 산출하였다.

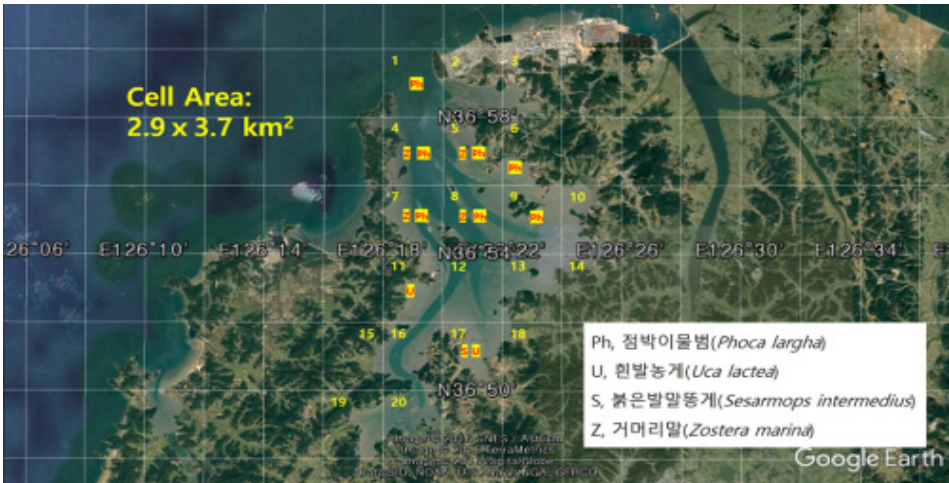
$$STATUS_{biodiversity} = \frac{X_{spp} + X_{HAB}}{2}$$

## 나) 분석 결과

### (1) 종

#### (가) 위험 상태(Risk Status)와 추세의 추정

현재까지 가로림만에 서식하는 것으로 파악된 주요 종(멸종위기동식물 I, II급, 보호대상 해양생물)의 현황을 <그림 II-6>에 나타내었다. 가로림만 내에는 기각류의 점박이물범(*Phoca largha*), 십각류의 흰발농게(*Uca lactea*), 붉은발말뚝게(*Sesarmops intermedius*) 그리고 해초류에 속하는 거머리말(*Zostera marina*) 등의 총 4종이 서식하는 것으로 나타났다(가로림조력발전, 2014). 서산시와 태안군 별로 구분해 보면, 서산시의 경우 이들 4종이 모두 분포하며, 태안군의 경우 붉은발말뚝게(*Sesarmops intermedius*)를 제외한 3종이 분포하였다.



자료: 구글 어스(Google Earth)를 활용하여 저자 작성.

〈그림 II-6〉 우리나라 멸종위기종 I, II급, 그리고 보호대상 해양생물의 가로림만 내 서식 현황

하위 목표-종의 현황 평가를 위해 가로림만에 서식하는 주요 종(멸종위기동식물 I, II급, 보호대상 해양생물)의 위험 범주와 가중치를 <표 II-30>에 제시하였다. 가로림만에서 관찰된 점박이물범과 무척추동물 2종(흰발농게, 붉은발말뚝게) 등은 국내 기준에 따라 멸종위기종 II급, 거머리말은 보호대상해양생물로 분류되었다. 앞서 언급한 기준에 따라 가중치를 설정하고 국제 기준과 국내 기준이 동등한 중요성을 갖는 것으로 간주하여 산술 평균을 계산하고 이를 가로림만 생물다양성(종)의 평가를 위한 종별 위험도 가중치( $w_i$ )로 활용하였다(표 II-30 참조).

〈표 II-30〉 가로림만 내 서식하는 주요 종들의 위험 범주 및 가중치

		점박이물범	흰발농게	붉은발말뚝게	거머리말
위험 범주	멸종위기종 I, II급/보호대상 해양생물 (MPS)	II	II	II	MPS
가중치	멸종위기종 I, II급/보호대상 해양생물 (MPS)	0.8	0.8	0.8	0.8

자료: 저자 작성.

이용 가능한 정보<sup>20)21)</sup>를 활용하여 종별 개체군 변동 추세를 할당하고 그 결과를 <표 3-36>에 제시하였다. 개체군 변동 추세는 국내 상황에 근거하였다. 점박이물범의 경우 국내에서 감소하는 추세가 현저한 반면, 흰발농게와 붉은발말뚝게는 뚜렷한 근거를 찾기가 어려웠으며, 거머리말의 경우 보호대상해양생물종의 선정 이유인 국내 연안역에서의 현저한 감소추세를 근거로 하였다. 앞서 species sub-goal의 평가를 위해 제안한 격자 내 이들 종의 출현 여부를 고려하여 서산과 태안 간 추세를 평균적으로 추정하였는데, 이는 연간 상태 추정치의 감소율이라 할 수 있다. 태안의 감소 추세가 우세하게 나타난 것은 중립적인 추세를 갖는 붉은발말뚝게가 출현하지 않아 평균 계산에 포함되지 않았기 때문이다.

<표 II-31> 가로림만 내 서식하는 주요 종들의 개체군 변동 추세 범주 및 추세

		점박이물범	흰발농게	붉은발말뚝게	거머리말
추세 범주	멸종위기종 I, II급/보호대상 해양생물 (MPS)	감소	중립	중립	감소
종별 추세(국내현황 고려)		-0.0136	0	0	-0.0136
분포	서산	√	√	√	√
	태안	√	√		√
추세	서산	-0.0068			
	태안	-0.009			

자료: 저자 작성.

#### (나) 하위 목표-종 평가

위와 같은 정보를 활용하여 서산 해역의 종 현황을 평가한 결과를 <표 II-32>에 제시하였다. 서산 해역의  $X_{SPP}$ 는 0.426이며, 추세를 반영한 가까운 미래(5년)의 상태는 0.393인 것으로 추정되었다. 태안 해역의 종 현황을 평가한 결과는 <표 II-33>에 제시하였다. 태안 해역의  $X_{SPP}$ 는 0.600이며, 추세를 반영한 가까운 미래(5년)의 상태는 0.55인 것으로 추정되었다.

20) IUCN Red list, <http://www.iucnredlist.org>.

21) 국립생물자원관, <http://www.korearedlist.go.kr>.

〈표 II-32〉 서산 해역에 대한 Species sub-goal 평가 결과

Grid	$n$	$\sum w_i$
1	1	0.8
2		
3		
5	2	1.6
6		
8	2	1.6
9	1	0.8
10		
12		
13		
14		
16		
17	2	1.6
18		
20		
서산시 total		6.4
$M$		15
$X_{SPP}$		0.43
Trend		-0.0068

자료: 저자 작성.

〈표 II-33〉 태안 해역에 대한 Species sub-goal 평가 결과

Grid	$n$	$\sum w_i$
1	1	0.8
4	2	1.6
7	2	1.6
11	1	0.8
15		
16		
19		
20		
태안군 total		4.8
$M$		8
$X_{spp}$		0.60
Trend		-0.009

자료: 저자 작성.

## (2) 서식처

## (가) 추세의 추정

생물다양성 하위 목표-서식처의 가까운 미래 변화의 추정을 위한 추세 산출을 위해 주어진 과거 자료(연도별 평균)를 활용하여 선형 모형을 적합하고 기울기를 추정하였다. 갯벌 면적을 포함하여 대부분의 파라미터는 0에 가까운 감소추세를 나타내었으나 조하대의 생체량과 다양성은 증가 추세를 나타내었다. 각 해역별 파라미터별 추세를 평균한 결과 서산과 태안의 추세는 중립적인 추세를 의미하는 0에 가까운 값(서산과 태안, 각각 0.007, 0.006)이 계산되었다(표 II-34 참조).

〈표 II-34〉 가로림만 내 해역별, 서식처 유형별 파라미터의 추세 추정 결과

	서산	태안
갯벌 생체량	-0.006	-0.008
갯벌 다양성	-0.006	-0.010
조하대 생체량	0.042	0.042
조하대 다양성	0.037	0.037
염생식물	-0.022	-0.022
갯벌 면적	-0.004	-0.007
평균 추세	0.007	0.006

자료: 저자 작성.

## (나) 하위 목표-서식처 평가

기존 문헌 정보를 활용하여 가로림만 내에 존재하는 서식처 유형별, 생물학적 구성원별로 서산과 태안 해역의 habitat sub-goal을 평가한 결과를 〈표 II-45〉에 제시하였다. 서산 해역의  $X_{HAB}$ 는 0.776이며, 추세를 반영한 가까운 미래(5년)의 상태는 0.810인 것으로 추정되어 매우 안정적인 상태를 유지할 것으로 판단할 수 있었다. 태안 해역의 서식처 현황을 평가한 결과는 0.717이며, 추세를 반영한 가까운 미래(5년)의 상태는 0.740인 것으로 추정되어 현재 상태와 크게 다르지 않을 것으로 예상할 수 있었다.

〈표 II-35〉 서산과 태안 해역에 대한 서식처 평가 결과

		서산	태안
조하대 연성기질(subtidal soft-bottom habitats)	저서생태계 건강성 (ISEP/BPI/AMBI)	0.80	0.80
	저서생물군집 생물 다양성(H')	1.00	1.00
	저서생물군집 생체량(g/m <sup>2</sup> )	0.57	0.57
조간대 연성기질(Intertidal soft-bottom habitats)	갯벌면적(m <sup>2</sup> )	0.85	0.75
	저서생물군집 생물 다양성(H')	0.81	0.93
	저서생물군집 생체량(g/m <sup>2</sup> )	0.35	0.20
	저서생태계 건강성 (ISEP/BPI/AMBI)	1.00	0.80
염생식물	거머리말서식처면적(m <sup>2</sup> )	1.00	1.00
	염생식생 평가점수	0.60	0.40
$X_{HAB}$		0.78	0.72
Trend (5년 후)		0.81	0.74

자료: 저자 작성.

이상과 같이 생물 다양성에 대한 서산시와 태안군의 상태( $STATUS_{biodiversity}$ )를 평가한 결과는 각각 0.601과 0.659인 것으로 산출되었다. 두 지역은 생물 다양성 측면에서 근소한 차이를 갖는 것으로 볼 수 있었다.

## 부록 III. 가로림만 자연해택 평가 - 압력과 회복력 강도 산정 결과

## 가. 압력 강도

〈표 III-1〉 가로림만 압력 강도 산출 결과

구 분	압력 요인	세부요소	등급화에 활용한 자료	강도(0~1)	
				서산	태안
생태적 압력	어업 강도	상업적 어획시 강한 부수어획	트롤·통발·트랩·연승어업 등 어업의 시행 여부(1 또는 0)	1.00	1.00
		상업적 어획시 약한 부수어획	낙시, 건착망 등 어업의 시행 여부(1 또는 0)	1.00	1.00
		전통어업시 강한 부수어획	발파, 독, 위망에 의한 어업 여부(1 또는 0)	0	0
		전통어업시 약한 부수어획	기타 부수어획이 발생하는 어업 여부(1 또는 0)	0	0
	중 교란	침입종	보고된 외래종 수 대비 조사지역 내 발견된 외래종 수	0	0
	서식지 파괴	조간대 파괴	과거 대비 갯벌의 면적 감소 비율	0.14	0.25
	오염	화학물질	COD의 기준치 대비 측정치 비율	0.18	0.18
		인간 기원 병원균	대장균 수의 기준치 대비 측정치 비율	1.00	1.00
		영양염류	TN값의 기준치 대비 측정치 비율	0.10	0.10
		해양 쓰레기	쓰레기 배출량의 $1-\log(x)$ 값	1.00	1.00
어족자원 감소	양식 및 잠재적 생산성 감소	Goal-식량공급 현황 점수의 $\ln(1/x)+0.1$ 값	0.57	0.60	
사회적 압력	고령화	65세 이상 인구비율	65세 이상 인구비율 0~25%를 강도 0~1의 값으로 변환 (25% 이상은 1)	0.68	0.82

자료: 저자 작성.

### 나. 회복력 강도

〈표 III-2〉 가로림만 압력 강도 산출 결과

구 분	회복력 요인	요인별 세부요소	등급화에 활용한 자료	강도(0~1)	
				서산	태안
생태적 지속성			조간대 생물다양성, 조하대 생물다양성, 갯벌면적, 깨끗한 물의 평균값	0.86	0.85
계획 및 규제	계획	자연생태 복원 계획	정부 및 지자체의 생태복원 계획 여부	0.35	0.20
		환경보호 노력 및 계획	지역/개인 차원의 환경보호 노력 및 계획	0.57	0.67
		수질 개선 계획	하수처리장·하수관거·분뇨처리시설 확충 등 수질개선사업 수행 및 계획	0.30	0
	규제 및 제도	수산자원보호구역 지정	수산자원보호구역 비율	0	0
		해양보호구역(MPA) 지정	해양보호구역 지정 여부(1 또는 0)	1.00	1.00
	인센티브	건강한 수산물에 대한 인증제	인센티브 제도 유무(40%) + 제도의 효과성(60%)	0.34	0.34
사회적 지속성	형평성·빈곤	사회복지급여 대상자 비율	국민기초생활보장 수급자비율 범위	0.60	0.20
	재정	지역자치단체 재정 건전성	재정자립도(50%) + 재정자주도(50%)	0.40	0.38
	거버넌스	주민참여예산 반영	예산편성시 의견수렴 여부(40%)+참여예산반영비율 범위(60%)	0.76	0.52
생계 및 경제 지표	산업구조 다양성		엔트로피지수	0.51	0.69
	지역경쟁력		지역발전지수(RDI) (상위 1~50위를 0~0.51로 변환, 그 외 지역 0.25)	0.53	0.25

자료: 저자 작성.

# Abstract

## **Strategies for the Local Economy Activation through Assessment of Nature's Benefits (II)**

Kim, Choong-ki et al.

Various benefits from the nature are directly connected to people's lives and wellbeing, and demand for integrated assessment based on the natural benefits of environmental-economic system has been increasing. Our society has experienced the conflicts in a condensed form passing through the process of globalization, democratization and diversification after the late 80's. Especially, environmental conflict, which occurs because of the differences in values and interests with natural capitals and common resources, can hinder a sustainable development. Therefore, a development of policy support tool based on the participation which can mediate and prevent the conflicts is strongly needed. This study intends to develop a synthetic and quantitative tool assessing the socio-economic activities of the ecosystem and human, and applies it to the example region in order to propose a method for its availabilities for supporting the green economy.

This study applies the Ocean Health Index assessment tool to a coast region in Korea, which has recently extended its usage worldwide, and it is possible to support the decision making based on the stakeholder's participation. This study also develops the coastal development, the tidal flat restoration and the pollutant management scenarios to quantify changes of the natural benefits for each scenario based on the Ocean Health Index.

Finally, the study investigates the related laws, policy tool and application limit of natural benefits, and suggests the sustainable regional management measure for the example area.

The six goals of Ocean Health Index (food provision, carbon storage, tourism & recreation, coastal livelihoods & economies, clean waters and biodiversity) for Seosan-si and Taean-gun in Garolim Bay region located in Chungcheongnam-do, are evaluated. In contrast to the ideal situation for each goal (100), the food provision and biodiversity are assessed comparatively low (62, 63) and the carbon storage score is assessed as the highest (83). These indicators are sum of the present status and the likely future status. In case of Seosan, two goals (livelihoods & economies and clean waters) decreased and the other scores increased in the likely future score. On the other hand, all goals except carbon storage decreased likely in the future score in case of Taean. Taean has the higher pressure and the lower resilience status than Seosan. Therefore, it is necessary to focus on Taean area to recover the marine health of Garolim Bay, especially, in improvement of water quality among the resilience factors.

The Ocean Health Index can analyze various scenarios of regional management or conservation by linking water quality models and other ecosystem models. The study applies the three scenarios, coastal development, tidal flat restoration and pollutant management into the Garolim Bay area. Ocean usage through the development makes the Ocean Health Index decrease by 11 points. In the case of tidal flat restoration scenario for the existing reclaimed areas, the Ocean Health Index of Garolim increases by 9 points. In addition, the study also forms tidal flat scenarios in three steps according to the restoration scale and proposes the suitable restoration level for the region's ocean health recovery. From these results, the study suggests the following 9 steps of regional planning system based

on the natural benefits evaluation: 1) sharing the need for natural benefits, 2) establishing organization and participation scope of stakeholder and policy maker, 3) analyzing current status of the natural benefits, 4) prioritizing the natural benefits, 5) collecting basic information and deciding assessment methodology, 6) assessing the natural benefits, 7) conducting derivation and evaluation of policy alternatives, 8) establishing management goals based on the natural benefits and 9) providing regional management policies and implementing the measures.

It is possible to establish more scientific and stakeholder consensus development plans by applying the previously unobserved analysis of the natural benefits into the policy decision making process. It is also possible to prevent conflicts and disputes in advance by establishing the region's development direction through the participation of stakeholder. In addition, when the municipal government establishes the annual plan, they can evaluate the natural benefits by utilizing the various scenarios, and it can be possible to cause efficient budgeting by deriving the project which is effective to both ecological-environmental management and regional economy. The accumulation of monitoring systems using the natural benefit evaluation technique is highly applicable for assessing the effectiveness of policies. This will contribute to revitalization of the local green economy by preventing the conflicts among stakeholder and ensuring more sustainable development.

Keywords: Natural benefits, Ecosystem services, Scientific decision-making support system, Ocean Health Index, Local economy

## ■ 저자약력

### 김충기 (연구책임)

미국 남앨라배마주립대학교 해양과학 박사

한국환경정책·평가연구원 부연구위원(현)

E-mail: ckkim@kei.re.kr

### 주요 연구실적

- 자연혜택 평가를 통한 지역경제 활성화 방안(I) (2016)
- 생태계서비스 평가기법 활용 해양공간계획 수립 시범적용 연구 (2016)

### 김시진

한국환경정책·평가연구원 연구원(현)

E-mail: sjkim@kei.re.kr

### 홍현정

한국환경정책·평가연구원 전문연구원(현)

E-mail: hjhong@kei.re.kr

### 김종호

한국환경정책·평가연구원 선임연구위원(현)

E-mail: kjongho@kei.re.kr