

---

# **천수만 건강성 지표 설정을 위한 전문가 워크숍**

---

2017. 11. 15.(수)





천수만 건강성 지표 설정을 위한 전문가

## 워크숍 개최 계획

- 충남연구원에서는 ‘천수만권역 지역자원을 활용한 중장기 전략’ 전략과제를 수행하면서, 천수만 주변에 대한 지속가능성의 핵심가치를 높이기 위한 방안을 마련하고 있음
- 본 워크숍에서는 상기의 전략과제와 관련하여 대표적인 반폐쇄성 해역인 천수만의 생태적 건강성 평가지표 설정에 대해 관련 국내 전문가들의 의견을 듣고, 정책의 효율성에 기여할 수 있는 추진전략을 마련하고자 함

### □ 워크숍 개요

- 주 제 : 천수만 건강성 지표 설정을 위한 전문가 워크숍
- 일 시 : 2017. 11. 15(수) / 15:30~17:30
- 장 소 : 대전역 동광장 본사 회의실(해바라기 실)
- 참 석 : 8 여명(전문가 2, 충남연구원 5, 충청남도 1)
- 주최/주관 : 충남연구원

### □ 세부일정(발표주제 및 발표자)

시 간		내 용	비고
15:30~15:40	10′	인사 및 참석자 소개	
15:40~15:50	10′	천수만 해양환경 지표 현황(안)	윤종주 책임연구원 (충남연구원)
15:50~16:10	20′	국립공원 해양생태계 건강성 평가 소개 및 천수만 지표 도입 제안 (안)	안중관 박사 (국립공원연구원)
16:10~16:30	20′	해양환경기준의 정책적 활용도 개선 방안 및 천수만 적용 가능성 (안)	장원근 박사 (한국해양수산개발원)
16:30~17:30	60′	토 론	윤종주 책임연구원
17:30		폐 회	

## □ 기대 효과

- 천수만, 연안, 하구 등 천수만 유역에 대한 각종 국가정책과 충남도 정책을 연계할 수 있는 정책논리를 마련
- 천수만권역의 현황 및 정책목표 설정 기초자료 활용
- 천수만 주변에 대한 지속가능성의 핵심가치 평가
- 지속적이고 표준화된 해역건강성 평가를 통한 관리 체계 강화
- 지방정부 주도의 앞서가는 해양환경 보전 정책 추진 강화

## □ 향후 일정

- '17.11.27. 과제 최종연심회
- '17.12.31. 최종보고서 제출 및 과업 완료

## 국립공원 해양생태계 건강성 평가

### 연구배경

국립공원 육상 자연생태계의 보전상태(생태계 건강성, 안정성, 생산성)를 효과적으로 진단하고 평가하고자 생태계 건강성 평가를 계획하였다. 국내·외 사례, 워크숍 및 전문가 자문회의를 통해 계량화된 지수를 갖춘 지표를 설정하였고, 그 결과 2012년 “국립공원 생태계 건강성 평가 방안”에서 생물종다양성, 멸종위기종, 생태계교란종, 식생, 수질 등의 지표로 생태계 건강성 평가를 실시하였다. 하지만, 이들 건강성 평가지표가 생태계의 상태 및 현상만을 평가하고 공원관리에 대한 평가가 미흡한 점을 보완하기 위해서, 2014년에는 종다양도, 멸종위기종, 생태계교란(외래)종, 수질, (서식지)파편화 등 5개 지수를 개발하여 기존의 문제점을 개선한 생태계 건강성 평가를 재실시하였다.

생태계 건강성 평가지표의 지수화에는 장기간 축적된 다량의 신뢰성 있는 데이터를 필요로 한다. 2014년에 실시된 건강성 평가의 종다양도, 멸종위기종, 외래종 지수는 최근 10년간 국립공원 자연자원조사와 자원모니터링 데이터를 분석하여 산출하였으며, 수질 지수는 환경부의 하천수 수질환경기준에 의거 환경부에서 지정한 지점을 대상으로 각 지역 지방환경청에 분석 의뢰한 결과를 이용하였다. (서식지)파편화 지수는 각 공원별 탐방로 길이, 공원면적 등으로 환경부 고시자료(대한민국 관보)를 활용하여 공신력을 높였다. 국립공원 생태계의 건강성 지수별 평가 결과는 직관적으로 이해할 수 있는 픽토그램(그림문자)을 이용하였고, 픽토그램은 건강상태의 변동을 나타내는 화살표와 건강상태를 표현하는 5가지 색상으로 구성하여 생태계 건강성 평가 결과를 표시하도록 하였다(국립공원연구원, 2014).

다양한 분야에서 장기간 실시되어온 국립공원 육상생태계 조사에 비해서 해상·해안국립공원의 해양생태계에 대한 조사는 한정된 분야와 단기간의 조사로 매우 한정적인 자료만 축적되어 있어 해양생태계의 건강성 평가를 실시하기에는 어려운 실정이었다.

연안의 해양환경은 육상기원의 담수, 영양염 및 오염물 등의 유입과 외양에서 발생하는 태풍과 해일 등의 영향을 동시에 받고 있으며, 최근 수온상승과 같은 기후변화의 영향이 크게 증가하고 있다. 그 결과 해수의 물리·화학적인 환경이 변화하게 되며, 이러한 환경 변화는 해양생물의 생리·생태적인 변화를 초래하는 원인이 된다. 따라서 해양생태계에 대한 이해는 해양환경 변화와 이에 따른 생물의 영향 여부를 함께 판단하고 이해하여야 한다. 최근 해양환경에 대한 이해와 평가는 해양생물에 대한 영향 여부와 영향 정도를 판단하는 생태계기반의 접근(Ecosystem-based approach)이 이루어지고 있다.

연안역에 위치하는 해상·해안국립공원은 하구역, 연안습지, 갯벌 등 매우 다양한 환경을 포함하고 있으며, 해양생물 생산의 많은 부분을 차지하고 있다. 연안역의 높은 생물 생산성은 연안역에 나타나는 다양한 환경이 해양생물의 훌륭한 서식처가 되고 있음을 의미하고 있다. 하지만 도시와 항만의 발달, 임해산업공단 증가, 연안개발 등 자연환경에 대한 위해성도 증가하고 있어 국립공원 내 해양생태계의 상태평가와 변동 추적의 필요성이 날로 대두되고 있다.

해양생태계를 위협하는 다양한 요인(생물, 화학, 물리, 지리 등)에 대응하는 종합적인 평가법의 필요성이 대두되고 있으며, 해양생태계 건강정보를 조직화, 단순화 그리고 일반화시켜 표현할 수 있는 수단 즉, 해양생태계 건강지수(Marine Ecosystem Health Index: MEHI)의 개발이 필요한 실정이다.

국립공원 해양생태계의 건강 상태를 지속적으로 추적 관리하기 위한 건강성 평가 방법(해양생태계 건강성 평가: Marine Ecosystem Health Assessment)을 개발하고, 평가지표에 필요한 지수화 자료를 축적해 나가는 평가 프레임워크(framework)<sup>1)</sup>를 설정하고자 한다.

1) 프레임워크(Framework): 프로젝트나 연구를 진행하기 위해 우선적으로 연구 방향성 및 절차에 따라 수립된 기

## 해양생태계 건강성 개념

인류의 미래인 건강한 바다는 1990년 이후 해양생태계건강(Marine ecosystem health: MEH)이라는 용어로 설명되기 시작하였다. Epstein(1999)은 “바다생물의 활성이 있고, 해양생태계 구조와 유기적 관계를 유지하며, 시공간적 넓은 범위의 스트레스 저항력이 있는 상태”를 MEH라 정의하였다.

Costanza(1992)의 생태계 건강성 개념에 입각하여 해양생태계 건강성도 활력(Vigor), 유기력(Organization) 그리고 회복력(Resilience)의 3요소가 고르게 갖추어 졌을 때 건강성을 보유한다고 할 수 있다.

해양생태계의 활력(Vigor)에 대해서 Jørgensen 등(2005)은 ‘생물의 신진대사가 활발하여 생물 생산성이 높고 풍부한 수산자원이 제공되는 해양생태계의 상태’를 건강하다고 정의하였다. 해양생태계는 수서환경, 저서환경, 조간대 등의 다양한 해양생물 서식지환경과 해양생물의 공존이 나타나고 있다. 해양생물과 다양한 해양환경의 유기력(Organization)이 높아야 건강한 해양생태계로 평가 될 수 있다. 자연 상태의 생태계는 지속적이거나 혹은 돌발적인 압박이 가해지면 생태계의 구조는 물론 기능까지 영향을 받는다. 생태계 내·외부의 다양한 압력에 대한 변형에서 빠르게 회복되는 경우를 건강한 생태계로 볼 수 있다. 해양생태계에 가해지는 다양한 압력에 대한 회복력(Resilience)이 뛰어나야 하며, 회복속도가 느리거나 회복 한계를 넘어서는 압력을 받으면 생태계가 회복 불능의 상태에 처하기도 한다. 회복 불능의 해양생태계는 생태계 고유 기능에 대한 항상성을 잃은 것이 된다.

세계 주요 생태계의 급격한 악화로 효과적인 환경 모니터링과 생태계 건강의 평가 지표 개발에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 환경의 효율적 관리를 위해서도 생태계 건강성 평가는 필수적이다. 미국 환경보호국(US EPA)도 ‘인간의 건강’ 보호에서 전반적인 ‘생태계 건강’ 보호를 위한 모니터링과 집행 활동으로 변경하였고, 생태계 건강성은 다음의 내용을 포함하여 정의내리고 있다(Costanza and Mageau, 1999).

- 건강에 대한 항상성(health as homeostasis)
- 무병성(health as absence of disease)
- 다양성 또는 복잡성(health as diversity or complexity)
- 안정성 또는 회복성(health as stability or resilience)
- 활성 또는 성장의 여지(health as vigor or scope for growth)
- 생태계 구성 요소 사이의 균형(health as balance between system complex)

특히 Costanza(1992)는 앞선 여러 요소들을 포함한 종합적인 건강지수(HI; overall health index)를 다음과 같이 표현하였다.

$$HI = V \times O \times R$$

(V; vigor, 생태계 활력, O; organization, 생태계 유기력, R; resilience, 생태계 회복력)

Costanza와 Mageau(1999)는 생태계의 종합적인 건강지수(HI)를 나타내는 생태계의 활력, 유기력, 회복력에 대해서 다양한 분야에서 관련 개념과 측정을 제안하였다(표 1).

따라서 생태계의 건강성 나타내는 생태계 활력, 유기력, 회복력을 잘 대변할 수 있는 적절한 지표

---

초 틀을 정하는 일련의 작업

(indicator)가 필요하다. 이들 지표의 선정에 대해서는 Jørgensen 등(2005)이 생태계 건강성 평가의 생태 지표 안내서에 자세히 정리하였다. 건강성 평가 지표의 선별요건으로는 먼저, 생태계 구조와 기능에 관련된 지표여야 하며, 둘째로 조합을 통해 지표를 선별해야 하고, 마지막으로 공인된 기준을 갖춘 가이드라인에 의해서 선별된 지표여야 한다고 안내하고 있다.

표 1. 다양한 분야에서 나타나는 활력, 유기력 그리고 회복력 지수

건강성 구성	관련 개념	관련 척도	기원분야	규명방법
활력	기능	GPP, NPP, GEP	생태학	측정
	생산력	GNP	경제학	
유기력	처리량	물질대사	생물학	네트워크분석
	생물다양성 구성	생물다양성지수 평균상호정보	생태학	
회복력		예보 성장범위	생태학	모의계산
		개체군 회복시간		
조합		교란수용능력	생태학	
		우세도		
		생물학적 온전성 지수		

## 해양생태계 특성

삼면이 바다인 지정학적 특성으로 국내 해양생태계에 관한 관심과 중요성은 날로 증가하고 있으며, 특히 일본의 후쿠시마 원전 사태나 황해 연안에 인접한 중국 대도시들의 빠른 공업화에 따른 해양환경의 변화는 국내 해양생태계에 큰 영향을 끼치고 있다. 따라서 해양생태계를 위협하는 다양한 요인의 압력에 대한 종합적인 평가가 시급한 실정이다. 해역 생태계의 정기적이고, 지속적인 감시를 위한 체계적인 건강진단 방법의 개발이 절실히 요구되고 있으며, 해양생태계의 건강성 평가는 정부, 연구자 그리고 대중들에게 공감대를 형성할 수 있는 자료로 제공되어야 한다. 즉, 해양생태계 건강 정보는 단순하고 일반적으로 가공되어야 하며 다양한 건강정보의 조직화가 이루어져야 한다.

자연생태계는 자연환경에 살고 있는 생물들이 환경과 어우러져 생태계를 형성하며, 다른 생물과 그들을 둘러싸고 있는 환경에 영향을 주고받는다. 생물들은 생태계 환경에 좌우되지만 환경을 변화시키기도 한다. 생물은 생태계의 물질들을 소모하거나 고갈시키고 축적하기도 한다. 일반적으로 연안환경은 영양염, 오폐수 등 육상기원 오염원과 태풍과 해일 등 대양기원 영향요인 그리고 해수온도상승 같은 기후변화 등의 다양한 압력요인이 작용한다. 해수환경이 변화하면, 이에 대한 반응으로 해양생물의 생태적 변화 초래하게 된다. 따라서 해양생태계의 종합적인 관리를 위해서는 해양환경 변화와 함께 나타나는 생물의 반응을 이해하여야 한다(그림 1).

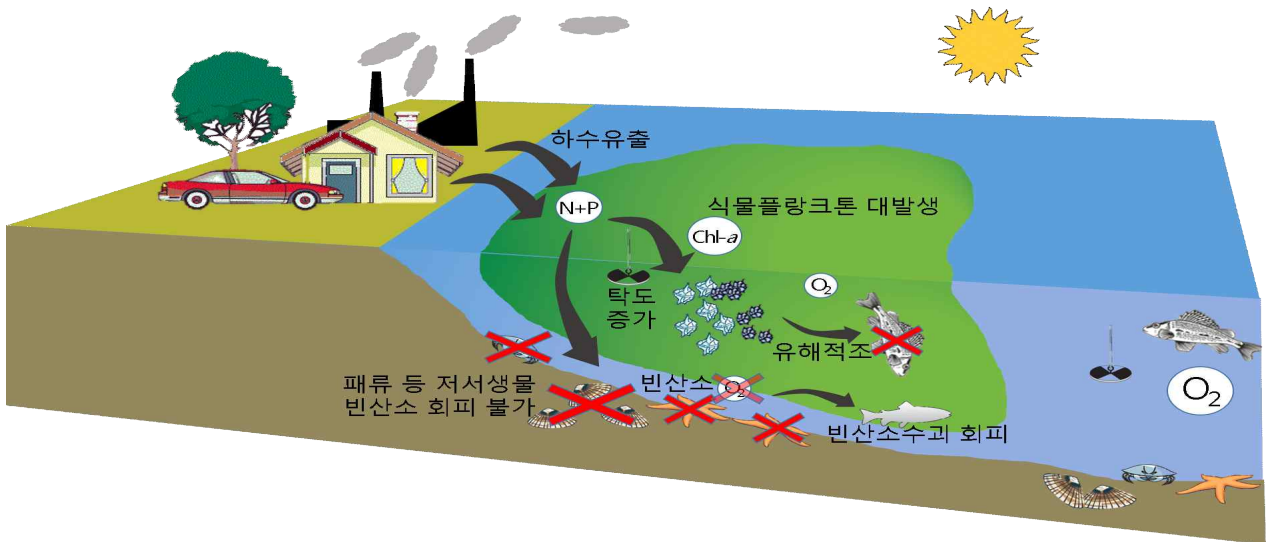


그림 1. 해양생태계 변동 모식도, 부영양화에 의한 조류 대발생(algal bloom)과 저층 빈산소수과(hypoxia).

해양생태계는 해양생물의 서식형태를 기준으로 저서나 해저에 서식하는 저서생태계(benthic or sea-bottom ecosystem)와 연안·천해역 및 외양역의 표층, 중층, 심층에 위치하는 표영생태계(pelagic or water-column ecosystem)로 구분된다. 표영생태계는 해양환경에 직접적인 영향을 받게 되고, 저서생태계는 해양환경과 더불어 퇴적환경의 영향을 받는다. 해양생물의 서식환경은 해류, 조석간만, 심도(수심), 수온, 염분도 차이, 빛의 투과도 차이 등 물리적 변화요인이 크며, 환경의 화학적 변화요인 역시 큰 것이 특징이다.

이와 같이 복잡하게 얽힌 상호작용에 의해서 유지되는 생태계를 이해하고 평가하기 위해서는 과거에 실시되었던 이화학적 환경평가뿐만 아니라 생물이 영향을 받는지 여부와 정도를 같이 이해하고 평가하여야 한다. 즉 환경변화에 따른 생물 영향여부와 정도를 같이 파악하고 평가하는 것을 생태계기반 접근(Ecosystem-based approach)의 평가라 하며, 이를 기반으로 생태계 건강성 평가가 이뤄져야 한다.

## 생태계 건강성 평가지표 요건

생태계 건강성을 평가하기 위한 지표는 생태계의 특성을 반영해야 함은 물론이고, 지표의 측정 용이성과 활용성이 충족되어야만 한다. Jørgensen 등(2005)은 생태계 건강성 평가항목을 다음과 같은 선정기준에 부합되어야 한다고 제시하였다(그림 2).

### ○ 생태계 건강성 평가항목 선정기준(Jørgensen et al. 2005)

- 대표성: 해양생태계의 구조와 기능의 변화를 잘 나타내어야 함
- 민감성: 외부 교란요인의 영향을 반영하여 제때 추적 가능하여야 함
- 과학성: 지표/지수와 생태계 건강성 사이에 과학적인 인과관계 필요
- 측정용이성: 쉽게 측정 가능한 정량적 정보 제공 가능
- 정책연결성: 해양생태계 관리정책의 목표를 반영한 건강성 평가지표 및 지수
- 친밀성: 정책결정자와 지역 이해당사자들이 쉽게 이해하고 활용 가능해야 함
- 효율성: 지표/지수 확보에 지나치게 많은 비용이 들지 않아야 함
- 가용성: 정기적 모니터링이나 연구 조사를 통해 쉽게 확보 가능



- 중복성: 각 지표/지수는 독립적이어야 함

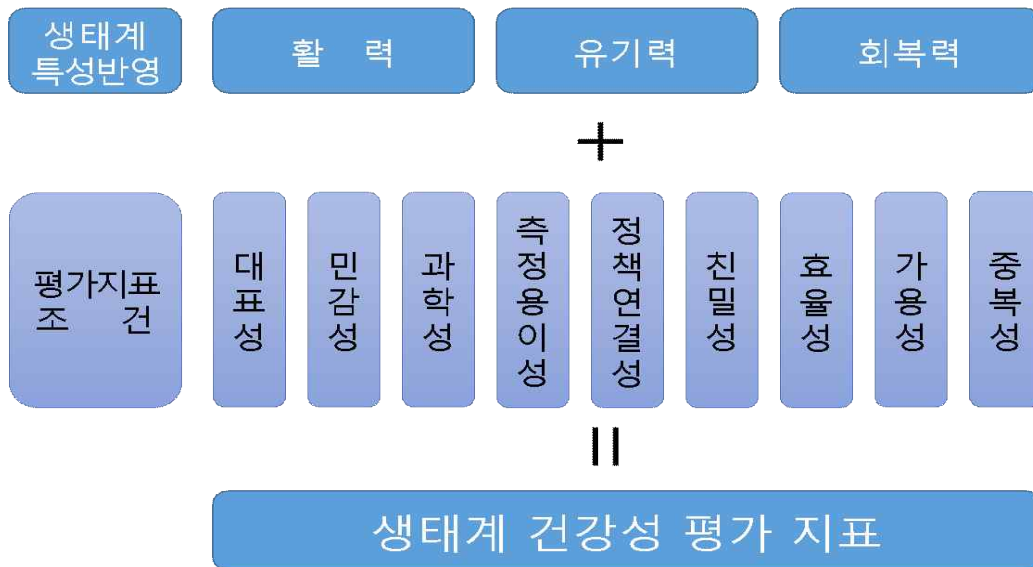


그림 2. 건강성 평가지표 선별 조건.

#### 국내·외 평가 사례

미국, 국가 연안 상태 보고서(National Coastal Condition Report)

미국 유역의 수질회복과 관리를 위해서 1998년 맑은 물 공급을 위한 실천 계획(The clean water action plan, U.S. EPA)을 수립하여 추진하고 있다. 이 계획의 핵심은 유역관리체제 도입, 배출규제 강화, 자연자원의 보전 및 복구 그리고 정보전달의 강화를 들 수 있다. 국가 연안 상태 보고서는 유역관리 체제의 일환으로 작성된 하구역과 연안에 대한 평가보고서이며, 정보전달을 목적으로 일반에 공개되고 있다(그림 5).

미국, 체사피크만 건강성(Chesapeake Bay Health)

미국 동북부 체사피크만은 미국 내 최대의 반폐쇄성 수역으로 만 길이 512km, 유역면적 163,840km<sup>2</sup>, 워싱턴 D.C와 6개주가 포함되어 있으며, 약 100,000개 이상의 지류지천에 주요 유입하천 수만 150여개에 달한다. 1970년대 초에 체사피크만에서 어류폐사 등 급격한 수질오염현상이 나타나 수질개선과 생태계 복원을 위한 노력으로 1976년부터 5년간의 연구를 통해 1983년 “Chesapeake Bay: A framework for Action” 보고서 일명 Chesapeake Bay Program(CBP)을 시작하였다. 특히 국립공원 지역을 포함하여 수 생태계 건강성을 평가하고 있다(그림 4).

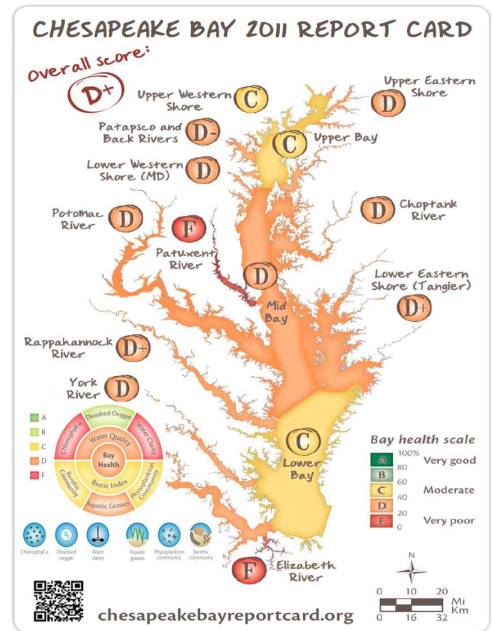
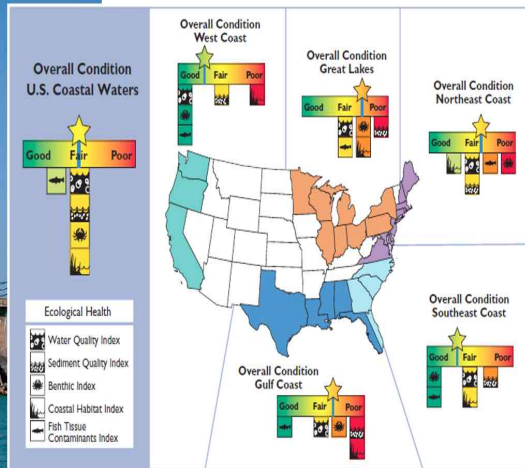
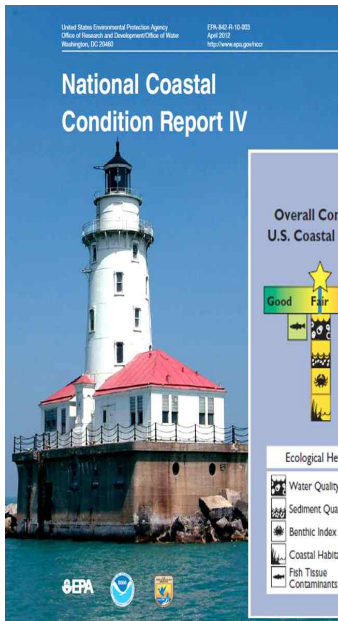


그림 3. 미국 연안 상태 보고서(National coastal condition report) 및  
 결과의 요약 도식화(US EPA, 2004).

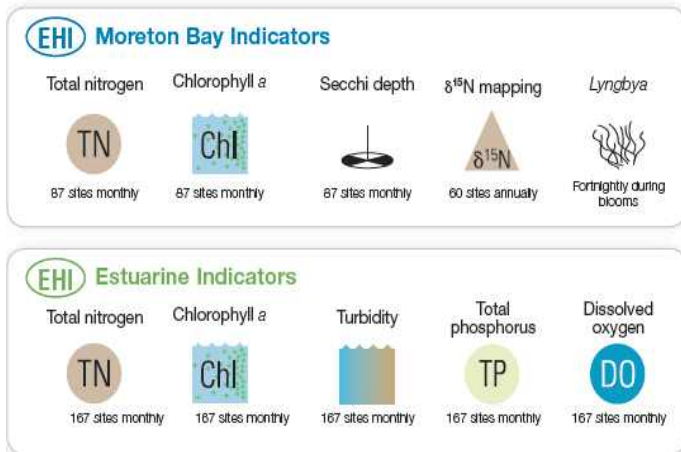
그림 4. 체사피크만 건강성 평가지표 및  
 평가결과(Chesapeake Bay Program, 2011).

#### 호주, 퀸즈랜드주 하구생태계 건강성 평가

퀸즈랜드주는 1999년부터 주 남동부 지역(South East Queensland Region)의 수로(waterways) 관리의 일환으로 생태계 건강성 모니터링 프로그램(Ecosystem Health Monitoring Program)을 실시하고 있으며, Moreton 만을 중심으로 하천, 하구, 만의 건강성을 매년 평가하고 있다. 생태계 건강 지수(Ecosystem Health Index, EHI)는 해수(만)에서 총질소(TN), 염록소-a, 투명도(Secchi depth),  $\delta^{15}N$  맵핑, 링비아(Lyngbya)를 그리고 해수(하구): 총질소(TN), 염록소-a, 탁도(Turbidity), 총인(TP), 용존산소(DO) 등의 1년 조사자료의 중간값을 구하고, 해당 지표의 공간분포 추정하며, 5개 지표의 평균값으로 평가 한다. 생물학적 건강 지수(Biological Health Rating, BHR)는 관리기준이 설정되지 않은 생물지표를 평가하는 것으로 만에서 해초 분포(면적), 해초 분포수심, 산호피도를 하구에서 해초 분포(면적), 영양염 부지도(Nutrient plots),  $\delta^{15}N$  맵핑<sup>2)</sup>, 수변식생 등을 산정 평가한다(그림 5).

2)  $\delta^{15}N$  맵핑:  $\delta^{15}N$ 는 질소 안정동위원소로 질소순환 연구에 사용, 수계 내의 질소(영양염) 발원지를 규명하는데 이용

## Parameters used for Ecosystem Health Index (EHI)



## Parameters used for Biological Health Rating (BHR)

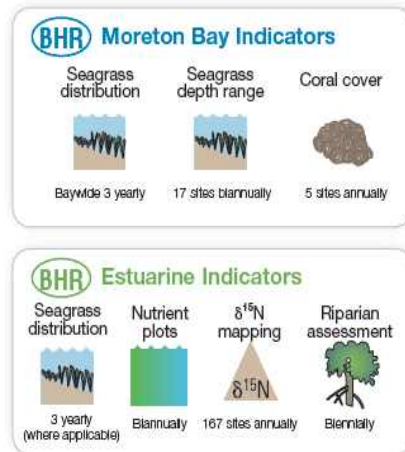


그림 5. 호주 퀸즈랜드주 하구생태계 건강성 평가지표(EHMP, 2013).

국내, 남해 특별관리해역 생태계 건강지수 개발

특별관리해역은 해역별 해양환경기준의 유지가 곤란한 해역 또는 해양환경 및 생태계 보전에 현저한 장애가 있거나 장애가 발생할 우려가 있는 해역으로 해양환경관리법 제15조에 해양환경 기준을 초과하게 되어 국민의 건강이나 생물의 생육에 심각한 피해를 가져올 우려가 있는 해역으로 부산연안, 울산연안, 광양만, 마산만, 시화호·인천연안이 지정되었으며, 남해에는 광양만과 마산만이 해당된다. 이들 특별관리해역의 생태계 관리를 위해 “해양생태계 건강지수 개발을 위한 기획연구”(국토해양부, 2009)를 시작으로 “남해 특별관리해역 생태계 건강지수 개발”(국토해양부, 2010-2014)을 시행하고 있다(그림 6, 7).



그림 6. 남해 특별관리해역 생태계 건강지수 평가체계 및 평가지표군(한국해양연구원, 2012).

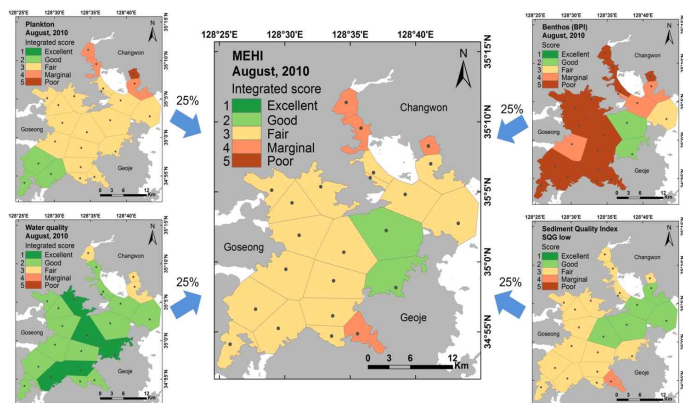


그림 7. 남해 특별관리해역 진해만 생태계 건강 평가(한국해양연구원, 2012).

## 국내, 수생태계 건강성 평가

2006년 ‘물 환경관리 기본계획’에 수생태계 건강성 복원 장기계획 및 건강성 조사·평가 등 일정이 구체적으로 명시됨에 따라 국내 수생태계 건강성과 생물다양성 변화 분석을 통해 복원 방안 등을 제시하고자 2007년부터 국립환경과학원 주관으로 매년 실시되고 있다(표 2).

### ○ 유기물질 위주의 수질개선 목표를 수생태계 건강성 목표로 전환

- 물 관리의 목표 및 방향을 ‘이화학적 수질(BOD, COD 등) 보전’에서 ‘하천의 생물상 및 서식환경 등 생태계 보전’으로 전환

### ○ 생물지표를 이용한 생물학적 접근

- 부착조류, 대형저서무척추동물, 어류, 식생의 생물군집 이용

- 생물군집은 화학적, 물리적, 생물적 요인 등 다양한 교란요인에 영향을 받고, 생물지표는 생태계 교란요인의 누적 효과를 잘 반영한다는 점에서 효과적인 생태계 건강성 평가 수단임(EPA, 2002)

표 2. 수생태 건강성 평가지표(국립환경과학원, 2008)

구 분		평 가 등 급
수생생물	부착조류	· 유기물질지수(DAI <sub>po</sub> ): 출현종 상대밀도, 종의 오염민감도, 종의 출현도에 따른 지표 값 · 영양염지수(TDI): 출현종의 유기물 지표성(유기오염 민감종, 유기오염 내성종) : A(최적), B(양호), C(보통), D(악화)
	저서 대형 무척추동물	· 한국오수생물지수(KSI): 지표생물군 출현종수, 개체수, 오탁계급치, 지표가중치 · 수생태계 건강성 평가지수: 출현분류군수, EPT분류군수, 개체수, EPT/깔다구류 개체수, 종다양도 지수, 종풍부도지수, ESB지수, (걸러먹는무리+굵어먹는무리)/총개체수 비 : A(최적), B(양호), C(보통), D(악화)
	어 류	· 어류생물지수(IBM): 다양도, 우점종 개체수, 총생체량, 외부손상 개체수, 상류지역 2차담수어, 하류지역 1차담수어, 외래종출현, 보호대상종 및 고유 출현종, 회유종 출현종수, 연안납시어류 출현율, 전체 출현종수 및 개체수 : A(최적), B(양호), C(보통), D(악화)
식생		· 식생자연도: 하구자연도, 외래종 우점면적, 건조지 식물면적, 다년생 습지식물 및 염생식물 면적, 적지군락 다양성 I(매우양호), II(양호), III(보통), IV(불량), V(매우불량)

## 국내, 하구역 종합관리 시스템 개발연구

수계의 기후변화 및 하천여건 변화에 대한 하구역의 종합관측시스템과 통합모델링의 정보시스템 구축을 목표로 종합관리시스템을 개발하였다. 개발 내용으로는 하구 환경영향 예측 시나리오와 대책, 실시간 관측시스템 구축 및 환경-생태모니터링 시스템 개발 등이며 특히 하구환경의 가치평가와 건강성 지표를 개발하였다(해양수산부, 2014).

## 평가사례 시사점

### ○ 다양한 정보를 종합적으로 고려하여 생태계 건강성 평가

- 미국의 경우 방대한 자료의 취합, 충분한 분석·평가 시간 소요

- 체사피크만에서는 서식지 특성에 따라 평가지표를 다르게 사용

- 호주의 사례에서는 각 지표별 가중치를 고려하여 평가

- 정기적인 모니터링 결과를 활용한 건강성 평가 및 정보 공개
  - 미국은 다양한 모니터링 결과를 활용, 3~4년 주기의 평가보고서 발간 및 공개
  - 체사피크만은 매년 건강성 평가, 연도별 건강성 변동 추세 공개
  - 호주 퀸즐랜드주에서는 생태계건강성모니터링 프로그램(Ecosystem Health Monitoring Program) 운영, 매년 평가보고서 발간 및 공개
  - 지역에 따른 평가결과를 쉽게 이해하도록 시각화
- 건강성 판단이 용이한 건강등급 제시
  - 미국 연안상태 보고서는 1~3 등급으로 제시
  - 체사피크만의 건강 등급은 A~F의 5등급 체계
  - 호주 하구생태계 건강성은 A~F의 5등급 체계
- 각 지역의 환경요인과 사회경제적 여건을 고려하여 통합평가체계 운영
  - 미국의 경우 권역별 환경 특성을 감안하여 일부 지표/지수는 권역별로 평가기준을 서로 다르게 운영 적용
  - 체사피크만 건강성 평가에서도 서식지 특성에 따라 지수 적용
  - 호주 하구생태계 건강성 평가는 평가 년도에 따라 생태계 건강 지수와 생물학적 건강 등급의 비율조정
- 건강성 평가 결과와 관리 노력의 연계 분석으로 관리 효과 및 향후 대응 방향 제시
  - 호주 Moreton Bay의 경우 매년 건강성 보고서와 함께 관리대응 추진상황도 함께 제시
- 건강성 평가 목적, 생태계의 이용용도, 관리목표를 고려한 건강성평가체계 구축
  - 진해만의 경우 적조가 주요 환경 현안임을 고려하여 유해성 미세조류를 부유생물지수에 포함
  - 수생태계 건강성은 수변 식생과 저서성 생물을 포함
  - 하구역의 특성에 따라 부영양화 정도, 부유생물(식물플랑크톤)을 지표로 사용
  - 국립공원의 경우 서식지 관리 노력의 지표로 (서식지) 파편화 지표 사용
- 생태계 건강성평가에서 생물지표의 중요성
  - 기존 이화학적 자료의 평가 탈피
  - 이화학 지표와 생물지표를 통합한 건강성 평가체계 제시
- 건강성 평가에 필요한 충분한 자료 확보 필수
  - 생태계 건강성 평가에 필요한 항목의 경우 일상적인 모니터링 항목에 포함

## 국립공원 해양생태계 건강성 평가지표 선정

생태계는 다양한 시공간 범위에서 일어나는 무생물 및 생물 요소사이의 복잡한 상호작용으로 유지되고 있어 생태계의 건강성은 단일 지표 또는 변수를 이용하여 평가하기보다는 다양한 지표와 변수를 종합하는 체계로 구성되어야 한다. 따라서 생태계 기반의 건강성 지표가 선정되어야 해양환경 변화에 따른 생물의 영향 유무를 측정 할 수 있다. 국립공원의 해양생태계 건강성 평가지표로는 환경을 평가하는 해수 수질환경과 저서생물 그리고 생물에 대한 지표로는 부유생물(식물플랑크톤)과 저서생물(저서무척추동물)을 선정하였다.

각 지표군 내의 상세 지표는 표 3과 같으며, 각 지표 등급은 1-5까지의 5등급으로 구분·평가하였다. 최종 건강성 평가 등급은 각 지표별 등급을 산술평균하여 5등급 체계로 평가하였으며, 등급별 컬러코드를 부여하였다(그림 8).



그림 8. 건강성 평가 등급 및 컬러코드.

국립공원의 보호 및 보전을 위해서는 자연환경 위해요소를 제거하고 생태계가 온전히 유지되도록 세심한 관리가 뒷받침되어야 한다. 사회의 발전에 따라 공원 자연 생태계 위해요소가 증가하고 있어 이들에 대한 실태 파악과 저감 및 제거는 생태계 건강증진의 예방 차원에서 필수적으로 시행되어야 하며, 다양한 위협요인을 인지하고 그 영향 정도를 파악할 목적으로 위협요인 지표를 추가하였다(그림 9).

○ 국립공원 자연생태계 위협요인

- 탐방객 및 지역주민에 의한 생태계 훼손 - 해산물 채취, 양식장, 해양쓰레기 등
- 시설물에 의한 생태계 훼손 및 교란 - 해안도로, 인공구조물(방파제) 등
- 기후변화에 의한 생태계 영향 - 해수면 및 해수수온 상승
- 외래종 등 야생 동·식물에 의한 생태계 교란
- 국립공원 생태계 위협요인 평가 필요

○ 위협요소 평가지표

- 양식장 면적, 어업허가 등의 과잉 수산업 관련 지표
- 도류제<sup>3)</sup>, 방파제 등 인공구조물, 해안도로 등 위협 시설물 지표
- 적조발생일수, 외래종 등 해양생태계 위협 지표
- 해양생물 채취, 탐방객수, 해양쓰레기, 해안지형변경(해사채취) 등 인위적 교란지표

3) 도류제 : 하천 합류점이나 하구부근에 하도형태와 흐름을 유지할 목적으로 설치하는 제방.

표 3. 국립공원 해양생태계 건강성 평가지표 및 특성

지표군	지 표	특 성
수질환경	용존산소 (Dissolved oxygen, DO)	수중에 녹아 있는 산소량, 수중생물의 호흡에 이용
	엽록소(Chl-a)	식물이 광합성에 필요한 빛을 흡수하는 녹색색소, 엽록소는 a~e가 있으며, 엽록소-a는 모든 광합성식물에 공통으로 소지하여 이를 측정함으로 광합성 식물의 양을 유추하고 부영양화 지표로 사용
	투명도(Transparency, Secchi disk depth)	지름 30cm 백색원판을 이용하여 측정하는 물의 맑은 정도
	용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP)	질소와 인은 영양염의 대표 물질로 부영양화 지표로 사용
부유생물	식물플랑크톤 다양성	해양 일차생산자로 생태계 먹이사슬의 기초, 다양한 크기와 종류로 구성, 식물플랑크톤의 다양성은 생물다양성의 기반이 됨
	적조생물 개체수	기억상실성패독, 설사성패독 등 독성을 내포하고 있는 유해독성 플랑크톤 유무, 분포량, 적조 유무의 판단
	유해적조생물 출현비율	전체 식물플랑크톤 대비 유해적조생물의 출현비율, 적조발생 정도의 예측
퇴적환경	유기오염물	독성이 강하고 잘 분해되지 않는 다이옥신, DDT, 유기염소계화합물(PCBs), 다방향족탄화수소(PAHs), 유기주석화합물 등 종류 및 함량
	중금속오염물	납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As), 수은(Hg) 등 중금속오염물질 종류 및 함량
저서생물	저서생물 다양성	바다 밑바닥에서 생활하는 생물들의 다양성, 높을수록 건강
	저서오염지수(BPI)	저서생물의 환경에 대한 민감도 또는 내성도를 이용하여 산출하는 지수
	저서생물지수(AMBI)	





그림 9. 국립공원 해양생태계 건강성 평가지표.

#### 한려해상국립공원 해양생태계 건강성 평가 결과

2014년 한려해상국립공원을 대상으로 실시한 해양국립공원 생태계 건강성 평가 결과 Ⅱ등급의 건강한 것으로 나타났다. 급, 보통수준으로 나타났으며, 지표별 평가는 수질과 저서생물 Ⅱ등급의 건강한 상태로 부유생물과 위협요인(허가어업)은 Ⅲ등급의 보통상태로 나타났다(표 4). 지표에 따른 각 지구별 해양생태계 건강성 상태는 그림 10과 같다.

표 4. 2014년도 한려해상국립공원 해양생태계 건강성 평가 결과

평가 지표별 등급					종합평가
수질	퇴적환경	부유생물	저서생물	위협요인 (허가어업)	
Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ



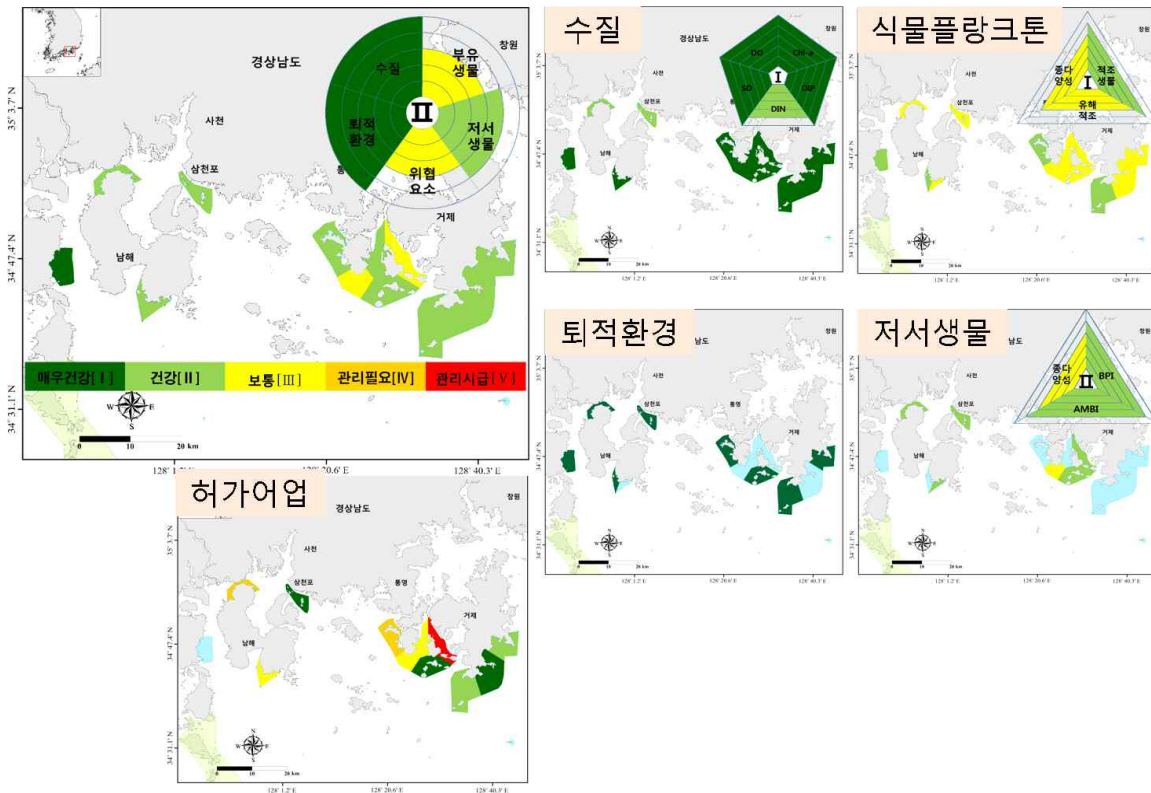


그림 19. 2014 한려해상국립공원 지역별 해양생태계 건강성 평가 결과.

## 참고문헌

- 국토해양부. 2009. 해양생태계 건강성지수 개발을 위한 기획연구. 한국해양연구원. BSPE98306-2017-7.
- 한국해양연구원. 2012. 남해 특별관리해역 생태계 건강지수 개발. 396 p.
- 국립공원연구원. 2014. 국립공원 생태계 건강성평가 고도화연구. 국립공원관리공단. 138 p.
- 국립환경과학원. 2008. 수생태계 건강성 조사 및 평가. 439 p.
- 해양수산부. 한국해양과학기술원. 2014. 하구역 종합관리시스템 개발연구. R&D/2010-0051.
- Costanza R. 1992. Toward an operational definition of health. In: Costanza R, Norton B and Haskell B (eds.) Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Island Press, Washington DC.
- Costanza R. and M. Mageau. 1999. What is a healthy ecosystem? Aquatic Ecology. 33: 105-115.
- Chesapeake Bay Program, 2011. [http://www.chesapeakebay.net/blog/post/chesapeake\\_bay\\_health\\_receives\\_d\\_on\\_2011\\_report\\_card](http://www.chesapeakebay.net/blog/post/chesapeake_bay_health_receives_d_on_2011_report_card).
- Jørgensen S.E., Costanza R. and Xu F.L. 2005. Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. Taylor & Francis, Boca Raton. 439 p.
- U.S. EPA. 2004. National Coastal Condition Report. Office of Research and Development/Office of Water, Washington, DC. 286 p.

# 해양환경기준의 정책적 활용도 개선 방안 및 천수만 적용 가능성(안)

한국해양수산개발원 최석문

## 目次

I. 서론	
II. 환경기준의 현황과 정책	
III. 해양환경기준의 현황과 정책 활용	
IV. 해양환경기준의 활용의 문제점	
V. 해양환경기준 정책의 개선방	
향	

### I. 서론

#### 1. 연구의 배경 및 필요성

선진국은 육상기인 오염원 관리, 해양과 연안의 통합관리, 생태계 기반 관리와 함께 ‘과학적 불확실성을 고려한 의사결정’을 강조함으로써 지속가능한 해양환경자원의 이용을 담보하고 과학적 불확실성의 해소를 위해 해양환경기준에 관한 정책을 보다 체계적이고 효과적으로 추진하려 하고 있다. 우

리나라도 해양환경 보전 및 관리의 수준을 선진국 수준으로 향상시키고자 해양환경기준의 매체별 기준을 고도화하고 수질평가지수(WQI)의 개발·적용하는 등 기존의 해양환경기준을 개정하여 해양환경 정책의 개선을 위해 노력 중이다.

하지만 국내 해양환경기준은 대표적인 수질평가지수의 경우 여러 항목을 복합적으로 합산하는 지수이기 때문에 단일 항목이 알려주는 정보가 상호 간섭될 수 있어 정확한 해양환경 현상과 문제를 진단하기 어렵게 만든다는 점, 환경관리해역의 지정·해제기준 부재과 같이 해양환경의 공간관리를 위한 정책적 활용이 미진한 점 등 많은 문제점과 한계를 드러내고 있다.

위와 같이 해양환경기준 고도화를 거치면서 매체별 기준이 확립되고 해역별 기준 설정 작업이 진행되고 있는 현 상황에서는 과연 해양환경기준을 정책적으로 어떻게 잘 활용할 수 있을지, 개선이 필요한 사항은 무엇인지를 면밀히 검토할 필요가 있다.

## 2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 우리나라 해양환경기준 정책과 관련된 법률을 점검하고, 그 한계와 문제점을 진단하여 개선방향을 도출하는 것이다. 해양수산부는 지난 정책사업을 통하여 매체별 기준을 개정하여 과학적이고 보다 해양생태계를 고려하는 해양환경기준을 구축하였으나, 이를 정책적으로 활용하는 측면에서 여러 한계점을 노출하고 있다. 이에 본 연구에서는 해양환경의 보전 및 관리를 위한 정책의 근간이 되는 해양환경기준의 특징을 분석하여 보다 효과적인 정책 활용 방안을 제시하고자 한다.

## 3. 연구의 범위·방법 및 선행 연구와의 차별성

해양환경기준의 정책 활용도를 개선하는 방안을 제시하기 위하여 현행 환경기준의 현황과 관련 정책을 살펴보고, 해양환경기준의 현황과 정책 활용을 검토하여 개선방향을 제시해 보았다.

우선적으로 문헌연구를 기본적인 방법론으로 삼아 「해양환경관리법」과 「환경정책기본법」을 중심으로 국내 해양환경 관련 법률 및 법정계획, 학술논문 및 단행본 정책연구보고서, 관련 정부 문서 등의 자료를 심층 분석하거나 비교 연구함으로써 현황을 파악하고 문제점을 도출하였다.

그리고 해양환경기준의 과학기술적 측면, 해양환경정책과 관련성이 있는 인접분야의 현황, 환경부 관련 자료의 정리 등에 대해서는 외부전문가의 자문을 실시하였다.

기존 연구가 해양의 환경기준에 대하여 과학적 측면이 아닌 법·정책과 연계하여 사회과학적으로 검토한 사례가 없었다는 점에서 본 연구는 해양환경기준에 대한 최초의 정책적 연구로서 큰 의미가 있다고 볼 수 있다.

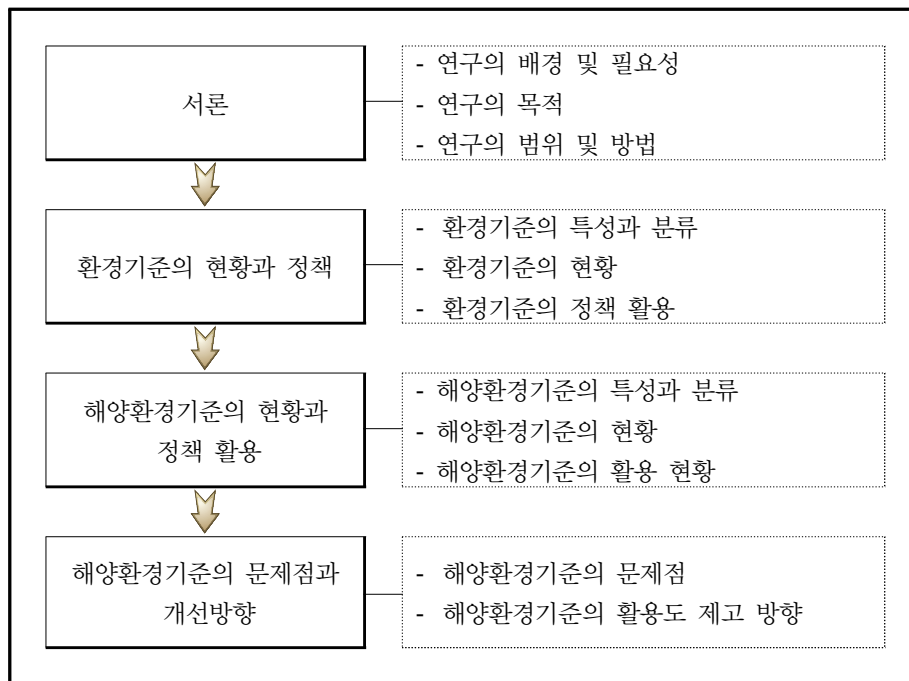


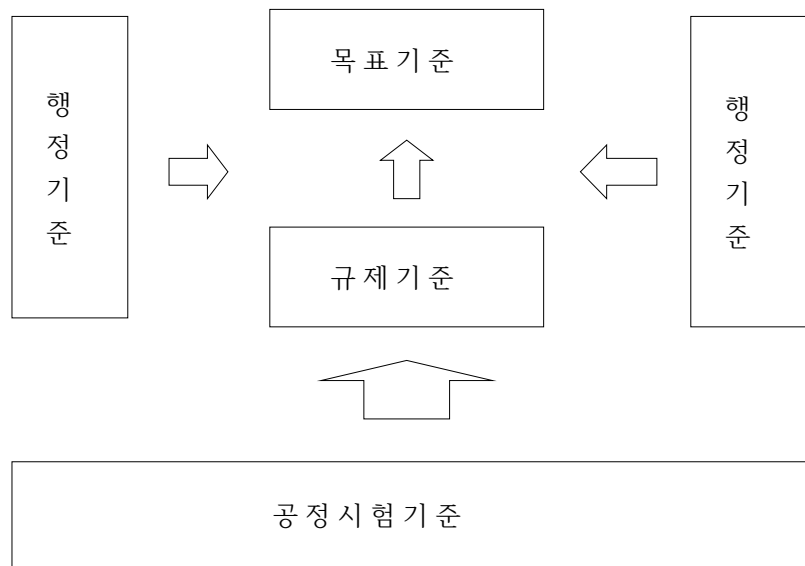
그림 1 | 연구 흐름도

## II. 환경기준의 현황과 정책

환경기준은 목표기준, 규제기준, 행정기준, 공정시험기준으로 크게 분류할 수 있다. 즉, 환경기준은 환경정책이 달성하고자 하는 목표인 ‘목표기준’, 목표기준을 달성하기 위한 수단으로서 오염물질에 대한 직접적인 통제기준인 ‘규제기준’, 목표기준과 규제기준을 뒷받침하는 수단으로서 오염물질에 대한 간접적인 통제기준인 ‘행정기준’, 오염물질의 확인 등의 사실관계를 규명함에 있어 필요한 행위인 측정·분석·평가의 정확성 및 정밀성을 담보하기 위하여 정한 기준인 ‘공정시험기준’으로 나눌 수 있다.

그리고 환경기준은 ‘보편성’, ‘대표성’, ‘합리성’이라는 중요한 특성을 지녀야한다. 여기서 ‘보편성’이란 국민 대부분이 인정할 수 있는 일반적인 대상, 항목과 내용으로 구성되어야하는 것을, ‘대표성’이란 환경의 환경 문제와 현안을 대표할 수 있는 대상과 항목으로 표현되어야하는 것을, ‘합리성’이란 대상과 항목의 범위에 연계된 영향이 되도록 선형적인 상관관계에 있다는 것을 체감할 수 있어야 하는 것을 의미한다.

동 기준은 정책 및 계획 수립, 이행평가 과정에 활용될 수 있고, 실제 환경부의 경우 권역별 물환경관리계획 수립, 특정수질유해물질 지정 및 배출허용기준 마련 등 정책 개발시 목표·규제·행정·처분의 수단으로 활용하고 있다.



｜ 그림2 ｜ 환경기준의 구성

### Ⅲ. 해양환경기준의 현황과 정책 활용

해양환경기준은 광의의 해양환경기준과 협의의 해양환경기준으로 크게 구분할 수 있다. 즉, 해양환경기준은 해양환경과 관련된 모든 법률상의 환경기준을 의미하는 광의의 해양환경기준과 해양환경관리법상의 해양환경기준을 의미하는 협의의 해양환경기준으로 나눌 수 있다.

그리고 협의의 해양환경기준은 예방적 특성·국제법 우선적 특성 등 일반적인 특성과 함께 공법상 벌칙기준과 사법상 위법성 판단기준으로 작동되는 특수한 성격을 가지고 있다. 즉, 동 기준은 해양환경관리법상 규정으로부터 발생하는 예방적 특성, 국제법 우선적 특성, 공간적·기능적 특성, 보전과 회복을 동시에 추구하는 일반적인 특성이 있고, 해양환경과 관련된 법률의 벌칙기준과 손해배상청구·유지청구의 위법성 판단기준으로 적용될 수 있는 특수한 성격이 있는 것이다.

｜ 표1 ｜ 협의의 해양환경기준의 특성

특 성	주 요 내 용	비 고
예방적 특성	해양환경의 훼손 또는 해양오염으로 인한 위해 방지	제1조
국제법 우선적 특성	국제협약의 효력 우선	제4조
공간적·기능적 특성	해양환경기준의 해역별·용도별 고시	제8조
보전과 회복을 동시에 추구하는 특성	지속적인 보전이 필요한 환경보전해역과 해양환경기준의 유지가 곤란한 특별관리해역으로 구분하여 지정·관리	제15조

표2 | 협의의 해양환경기준과 공법 및 사법과의 관계

구 분	기 준	내 용
공법	해양환경 관련 법률의 벌칙기준	해양환경기준 위반으로 개선명령 등을 받고 이행하지 않은 경우 징역, 벌금 등 처벌 가능
사법	손해배상청구 위법성 판단기준	위법성 판단기준인 수인한도의 판단자료 중 하나인 ‘공법적 규제의 위반여부’에서 고려 가능
	유지청구 위법성 판단 기준	위법성 판단기준인 수인한도의 판단자료 중 하나인 ‘공법적 기준에의 적합여부’에서 고려 가능

주요 해양환경기준으로는 해양환경관리법의 해양환경기준, 어장관리법의 어장환경기준, 해수욕장의 이용 및 관리에 관한 법률에 따른 해수욕장환경기준이 있고, 이 기준들은 해양환경종합계획, 환경관리해역 제도 및 연안오염총량관리제, 해양보호구역 제도 등에 정책적으로 활용되고 있다. 하지만 해양환경종합계획의 경우 계획의 수립 및 평가에 있어 해양환경기준이 활용되지 않고 있고, 환경관리해역 제도는 뚜렷한 지정 기준 및 절차는 제시하지 않고 있으나 해양환경기준을 활용하여 해역별 목표를 설정하고 있으며, 해양보호구역 제도는 해양환경기준의 해양생태계 보호 기준을 고려한 지정 방식이 아니라 해양생태도 등급을 활용하고 있을 뿐이다.

#### IV. 해양환경기준 활용의 문제점

해양환경기준은 정책 활용측면에서 다음과 같은 한계를 드러내고 있다.

첫째, 해양환경기준의 법률적 활용 측면에서 보면, 「해양환경관리법」의 해양환경기준은「환경정책기본법」의 환경기준에 비하여 해양환경기준에 대한 명확한 정의가 없어 올바른 정책방향이 설정되어 있지 않다는 점, 환경과 경제의 조화라는 중요한 환경정책상 화두가 결여되어 있다는 점, 협의제도와 같은 환경문제의 갈등을 민주적으로 해결하는 수단에 대한 언급이 없다는 점, 지방자치단체에서 법상의 해양환경기준보다 완화된 기준을 설정할 수 있다는 점에서 한계점으로 나타나고 있다.

표3 | 환경정책기본법과 해양환경관리법의 비교

구 분		환경정책기본법	해양환경관리법
환경기준에 대한 정의		제3조	없음
법상 원칙	오염원인자책임원칙	제7조	제7조
	사전예방	제8조	제5조
	환경과 경제의 통합적 고려 등	제9조	없음

구 분		환경정책기본법	해양환경관리법
	자원 등의 절약 및 순환적 사용 촉진	제10조	없음
	국제협약과의 관계	없음	제4조
	해양환경 관련 과학기술 및 국제협력의 촉진	없음	제6조
환경 기준의 설정·유지	환경기준의 유지	제13조	제8조
	광역시·지방자치단체의 조례 제정권을 통한 기준 확대 강화	제12조	없음
	적정한 이용·개발을 위한 기준 설정	없음	제8조

둘째, 해저퇴적물에 관한 기준은 「해양환경관리법」의 해저퇴적물 기준과 정화복원기준이 동일한 항목을 포함하고 있어 혼선이 야기되고 있다.

표 4 | 해저퇴적물 기준과 정화복원기준 비교(단위 : ppm)

	해저퇴적물기준		정화복원기준	
	주의	관리	기준1	기준2
비소	14.5	75.5	9	41.6
카드뮴	0.75	2.72	0.68	4.21
크롬	116	181	80	370
구리	50.5	126	24	108
수은	0.11	0.62	0.15	1
니켈	47.2	80.5	23	52
납	44.0	119	50	220
아연	179	421	200	410

셋째, 용도별 해역별 기준의 활용에 있어서는 해역별 기준의 경우 우리나라 해역의 수질환경 및 퇴적물 환경에 대한 특성을 반영하지 않는다는 점, 용도별 기준의 경우 우리나라 해역의 이용 특성을 포괄적으로 반영하지 못한다는 점, 해역별 기준과 용도별 기준 간의 구분이 모호하고 관련 법률의 기준과의 정책적 연계가 어렵다는 점, 생물에 대한 해역별 기준과 용도별 기준이 없다는 점 등이 문제점으로 드러나고 있다.

표5 | 해양환경 관련 기준의 해역별 용도별 특성

		해역별 기준	용도별 기준
해수 수질	해양환경관리법	생태기반 해수수질 기준	생활환경기준

		해역별 기준	용도별 기준
		해양생태계 보호 기준 사람의 건강보호기준	
	기타 법률	-	어장환경기준(수질) 해수욕장기준(수질)
해저 퇴적물	해양환경관리법	주의기준-관리기준	
	기타법률	-	어장환경기준(퇴적물) 해수욕장 기준(백사장, 쓰레기)
해양 생물	해양환경관리법	-	-
	기타 법률*	-	-

넷째, 해양수질 기준의 활용에 있어서는 수질기준인 WQI의 경우 5등급으로 구분되나 각 등급별로 해양환경·생태계 상태 및 기존 기준에서 제시된 적합한 용도에 대한 설명이 없다는 점, 여러 항목을 투입하여 단일 지수화하기 때문에 단일 항목이 알려주는 정보를 희석시켜 오히려 정확한 해양환경 상태를 파악하기 어렵게 한다는 점 등이 정책활용상 문제점이라고 판단된다.

## V. 해양환경기준 정책의 개선방향

해양환경기준의 정책활용도 개선방안은 법제도 정비방향과 정책 정비방향으로 구분하여 제시할 수 있다.

첫째, 법제도의 경우 단기적으로는 해수수질의 해양생태계 보호 기준에 관하여 「환경정책기본법」의 기준과 「해양환경관리법」의 기준을 일치시켜야 하는 등 「해양환경관리법」의 정비가 필요하고, 장기적으로는 해양환경기준의 정의, 정책 방향을 제시할 수 있는 ‘해양환경 관련 기본법’을 제정하고 이를 실현할 수 있는 개별 법률을 제·개정하는 한편, 해양환경정책을 통할할 수 있는 위원회를 신설하여 관련 정책의 연계성을 강화해야 한다.

둘째, 정책적인 측면에서는 환경관리해역의 경우 해양환경기준을 활용하여 환경관리해역의 지정기준 뿐만 아니라 해제기준을 마련하고, 연안관리법 등 다른 법률의 용도별 기준과 연계하여 용도별 해양환경기준을 제시해야 하며, 해양생태계 보전 및 관리 정책에 수질평가지수인 WQI를 활용하거나, 적어도 활용가능성을 검토해볼 필요가 있다.

이와 같이 본 연구는 해양환경기준의 체계적인 구분을 통한 해양환경 관련 법률의 정비, 환경관리해역의 지정·해제기준 마련, 타 법률과 연계된 용도별 해양환경기준의 설정 등 개선방안을 제시하였다. 이는 해양환경기준이 과학적 불확실성을 해소하는 동시에 지속가능한 해양환경자원 이용을 담보하는 수단이 되도록 함으로써 해양환경기준에 관한 정책을 보다 체계적이고 효과적으로 추진하는데 기여할 것으로 기대한다.