

## COVID-19 팬데믹에 따른 해양환경 변화와 생태계 영향: 해양건강성지수 적용

송현서<sup>1</sup> · 서우성<sup>1</sup> · 박신영<sup>1</sup> · 권인하<sup>1</sup> · 김태우<sup>2</sup> · 김종성<sup>3,†</sup><sup>1</sup>서울대학교 지구환경과학부 대학원생<sup>2</sup>서울대학교 블루카본사업단 연수연구원<sup>3</sup>서울대학교 지구환경과학부 교수

## Impact of the COVID-19 Pandemic on the Marine Environment and Ecosystem: Application of the Ocean Health Index

Hyunseo Song<sup>1</sup>, Useong Seo<sup>1</sup>, Shin Yeong Park<sup>1</sup>, Inha Kwon<sup>1</sup>, Taewoo Kim<sup>2</sup>, and Jong Seong Kim<sup>3,†</sup><sup>1</sup>Graduate Student, School of Earth and Environmental Sciences & Research Institute of Oceanography,  
Seoul National University, Seoul 08826, Korea<sup>2</sup>Post-doctoral researcher, Blue Carbon Research Center, Seoul National University, Seoul 08826, Korea<sup>3</sup>Professor, School of Earth and Environmental Sciences & Research Institute of Oceanography,  
Seoul National University, Seoul 08826, Korea

### 요 약

국제사회는 해양의 지속가능한 발전을 위해 인류가 나아갈 방향과 목표를 제시하고 그 목표에 달성하기 위해 다양한 노력을 기울이고 있다. 그러나 국제사회가 COVID-19 팬데믹에 직면하게 되면서 해양환경 문제가 악화되고 있다. 본 연구에서는 해양건강성지수(Ocean Health Index, OHI)의 목표 점수 10개를 이용하여 2012년부터 2020년까지의 대한민국과 전세계 국가의 해양건강성을 정량적으로 평가하고 비교 분석하였다. 대한민국의 COVID-19 발생 전(2019년)과 후(2020년)의 해양건강성지수 목표 별 점수 변화는 ‘식량공급(-1.08)’, ‘관광 및 여가(-0.66)’, ‘생물다양성(-0.11)’, ‘장소성(0.02)’, ‘깨끗한 물(0.19)’, ‘영세어업의 기회(0.19)’, ‘천연물(4.46)’ 순으로 나타났다. 대한민국의 ‘탄소 저장’과 ‘연안 보호’ 점수는 자료가 부족하기 때문에 도출하지 못하였으며 이 항목에 대한 연구가 필수적이다. 대한민국과 연안을 공유하고 있는 국가들 중에서 COVID-19 이후 가장 큰 해양건강성지수 감소폭을 보인 경우는 러시아의 ‘연안 보호(-4.02)’였다. 전 세계적으로 대양에 위치하는 대부분의 섬나라가 지속적으로 높은 해양건강성지수를 보이며 아프리카를 제외하고 OECD 가입국이 적은 남아메리카(-0.69)와 오세아니아(-0.54)에서 평균 해양건강성지수가 가장 크게 감소하였다. 대한민국의 해양 생태, 사회 및 경제적 시스템 현황을 평가하고 COVID-19 팬데믹의 교란에 따른 해양건강성 변화를 확인하여 회복에 집중이 필요한 목표 항목을 구체화하였다. 본 연구 결과는 향후 해양환경의 지속가능한 보전을 위한 방향성 연구에 기초데이터로 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract** – The international community has been making various efforts to signpost and achieve goals for sustainable development of the ocean. However, in the face of the COVID-19 pandemic, marine environmental problems have worsened. In this study, the ocean health of Korea and other countries from 2012 to 2020 was quantitatively evaluated, compared, and analyzed using the 10 goal scores of the Ocean Health Index (OHI). Before(2019) and after (2020) the COVID-19, Korea’s OHI score changes were: food provision (-1.08), tourism & recreation (-0.66), biodiversity (-0.11), sense of place (0.02), clean water (0.19), artisanal opportunities (0.19), natural products (4.46), with the absence of data for carbon storage and coastal protection. During the COVID-19, Russia’s OHI score for coastal protection (-4.02) decreased the most. Yet globally, most of the island countries consistently showed high indices, excluding Africa (-0.2), South America (-0.69) and Oceania (-0.54); continents with fewer OECD members showed the largest decline on average. Through this, we evaluated the current status of Korea’s marine ecology, society and economic system, and changes caused by the COVID-19 pandemic were identified to specify

†Corresponding author: jskocean@snu.ac.kr

target goals that require recovery. The results of this study can be used as basic data in future direction research for sustainable conservation of the marine environment.

**Keywords:** Ocean health index(해양건강성지수), Sustainable development goals(지속가능발전목표), COVID-19(코로나-19), Coastal management (연안 관리), Coastal protection(연안 보호)

## 1. 서 론

2015년 The united nations(UN) 총회를 통해 국제사회가 2030년 까지 공동으로 달성해야 할 지속가능발전목표(Sustainable development goals; SDGs) 17개가 제시되었다(UN[2023]). 17개 목표는 5가지(인간, 지구, 번영, 평화, 파트너십)로 나누어 인류가 나아갈 방향을 제시하고 각 목표마다 더 구체적인 내용을 담은 세부 목표로 구성된다. 17가지 목표 중 '해양'과 관련된 목표는 14번으로 대양, 바다, 해양자원 보호 및 지속가능한 이용 등의 내용을 담고 있다. 해양은 인간을 포함한 다양한 생물의 서식지이며 날씨, 기후, 식수, 음식 등 인간의 삶을 영위하는데 주요한 자원을 제공한다. 그렇기 때문에 이러한 자원을 신중하게 관리하는 것이 지속가능한 미래의 핵심이 된다. 대한민국 또한 이해관계자와 일반국민 등이 참여하여 국가 실정에 맞는 Korean-Sustainable Development Goals를 수립하였다. 대한민국은 14번 해양생태계 보전 목표를 달성하기 위해 9가지 세부목표를 수립하고 있다. 첫번째 세부목표인 '육상과 해상의 오염물질로부터 해양환경 보전을 위한 관리체계를 확립한다'를 달성하기 위해 수질평가 지수(Water quality index)를 통해 해역 별 수질을 관리하고 해양생태계의 체계적인 보전과 현명한 이용을 위해 해양보호구역 지정 면적을 확대하는 등의 노력을 기울이고 있다.

각국의 정부가 지속가능한 발전을 위해 노력을 기울이는 와중에 국제사회는 COVID-19 팬데믹에 직면하였다. COVID-19 팬데믹 이후, 포장음식, 온라인구매 등의 일회용품 사용과 의료폐기물, 도시폐기물과 같은 쓰레기 배출이 증가하면서 많은 환경문제를 일으켰다(Raza *et al.*[2023]). 특히, 일회용 개인용보호구(personal protective equipment) 소비 증가로 인한 많은 양의 미세플라스틱과 미세세균 방출은 수생 생물에 의해 쉽게 소비되어 먹이 사슬에 부정적인 영향을 미친다(Khan *et al.*[2023]). COVID-19는 감염자의 건강에 직접적인 피해를 줄 뿐만 아니라 비감염자에게 스트레스 등의 정신적인 영향을 미치고 실업, 빈곤, 경기 침체 등 경제적인 피해를 준다(Emanuel *et al.*[2020]). 더 나아가 인간의 건강과 연관된 환경 자원의 감소가 가속화되면서 팬데믹의 시너지 영향이 강해지고 있다(Giannetti *et al.*[2023]). 반면 COVID-19 팬데믹으로 인한 인간 활동의 감소는 해양생태계를 보전하는 등 긍정적인 영향을 미칠 것이라 판단하였으나 오히려 일회용 플라스틱 쓰레기 사용량이 급증하면서 해양오염이 가속화될 수도 있다는 우려가 공존하였다(SRI[2021]). 또한, 심화된 플라스틱 쓰레기 관리 및 폐기의 복잡성을 해결하기 위한 연구가 진행되었다(Sawal *et al.*[2021]). 팬데믹 상황을 반영하는 SDGs 이행 방향으로 나아가기 위해서는 COVID-19 팬데믹으로 인해 발생한 변화를 명확히 판단해야 하기 때문에 현재 UN은 COVID-19 효과를 측정할 수 있는 74개 SDGs 지표를

제시하고 있다(SRI[2021]). 현재 대한민국은 재난피해율, 항공 승객 수, 화물운송량, 실업률, 식품물가지수, 미세먼지 농도 등에 대한 항목을 대상으로 COVID-19 전후 영향을 파악하고 있다.

해양환경에 대한 상태를 확인하는 방법으로는 해양건강성지수(Ocean health index; OHI)가 있다. 해양건강성지수는 2012년 국제보존협회(Conservation International)와 미국 산타바바라 대학(UC Santa Babara)에서 공동개발하여 Nature를 통해 발표하였다(Halpern *et al.*[2012]). 해양건강성지수는 해양이 인간에게 제공할 수 있는 혜택을 10가지로 구분하고 각각에 대한 세부 평가지표를 두어 종합적으로 평가된다. 각 목표는 현재 뿐만 아니라 미래 동향까지 파악하여 점수를 부여하고 있다(NCEAS[2023]). 현재 해양건강성지수를 통해 전세계 바다를 235개 해역으로 나누어 매년 평가하고 있다. 대한민국 또한 2012년부터 현재까지의 해양건강성지수를 통해 매년 평가되고 있기 때문에 COVID-19 대유행 시점인 2020년과 이전 시기를 비교하면 COVID-19 영향이 해양환경에 미치는 영향을 파악하는데 용이할 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 1) COVID-19 팬데믹으로 인한 해양환경 연구에 대한 관심과 연구동향 변화 분석, 2) 해양건강성지수를 통해 COVID-19가 대한민국 해양환경에 미친 영향 파악, 그리고 3) 국외 해양건강성지수 비교하여 대한민국의 해양환경 관리방안을 제시하고자 한다. 본 연구 결과는 향후 SDGs의 14번 목표인 해양환경 보전 이행을 위한 방향성 연구에 기초데이터로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 COVID-19 팬데믹의 영향

전 세계 연안인구는 대략 전체 인구의 40% 이상을 차지한다고 알려져 있으며(MOF[2021]), 연안인구는 UN의 새천년생태계평가(Millennium Ecosystem Assessment)에서 제시한 해안선 100 km 이내 거주하는 총 인구비율로 정의한다(KMI[2016]). 대한민국의 2021년 연안인구는 전체 인구의 약 27%인 1,400만 명이며 2018년 연안 지역내 총생산은 국내총생산의 약 34%를 차지하고 있다. 그러나 급속한 경제 성장에 따른 사회·경제적 불평등, 인구 고령화, 무분별한 개발과 이용, 기후변화 등으로 인해 연안 환경의 지속가능한 이용이 위협받고 있는 실정이다(KEI[2016]). 이에 따라 대한민국 정부는 제4차 해양환경 종합계획에 따라 2011년 15개소였던 해양보호구역 지정을 2020년 30개소까지 대폭 확대하고 통합적인 연안환경 관리체계를 구축하였다(MOF[2021]).

2020년 COVID-19로 인해 대한민국에서 24,634,296명의 확진자와 28,246명의 사망자가 발생하고 사회적으로 큰 변화가 일어났다.

COVID-19 이전 대비 항만물동량이 감소하고 해운산업 피해를 보았으며 수산물 소비와 수출 모두 위축되는 경향을 보였다. 또한 해양축제의 취소 및 연기, 해양레저관광 관련 서비스 산업이 축소되는 양상을 보였다(KMI[2020]). 이러한 해양 관련 산업 및 정책의 전반적인 위축 속에서 연안환경 관리에 어떤 영향이 나타났는지를 알아보고자 한다.

## 2.2 네트워크 분석

본 연구를 위해 2020년부터 2021년까지 출간된 문헌(Article 1,774편, Review 298편, conference paper 254편, book chapter 71편, note 33편, conference review 28편, editorial 22편, letter 13편, book 7편)에서 “covid-19”, “environment”, “effect”를 키워드로 Scopus 검색하여 총 2,500건(2020년 619건, 2021년 1,881건)의 문헌을 수집하였다. 문헌자료 데이터에는 저자, 제목, 출판연도, 출판정보, DOI, 초록, 키워드가 포함된다. 그중 문헌의 키워드는 VOSviewer software(Van Eck and Waltman[2014])를 이용하여 동시발생(Co-occurrence) 키워드 네트워크 분석을 수행하였다.

COVID-19가 연안 관리를 위한 연구 노력에 미치는 영향을 파악하기 위해 COVID-19 이전(2018–2019년)과 이후 기간(2020–2021년)으로 나누어 “coastal management”를 키워드로 검색하여 문헌을 수집하였고, 동일한 분석을 수행하였다. 해당 네트워크 분석방법은 검색을 통해 얻은 특정 키워드의 출현 횟수가 많을수록 크게 표기된다. 또한 중복 검색이 많이 될수록 키워드들 사이에 연결된 선의 굵기는 중복 검색량을 반영하여 상대적인 연결성을 확인할 수 있다. 키워드의 순위는 키워드들의 출현 횟수와 연결성을 반영하여 정렬하였다.

## 2.3 해양건강성지수

본 연구에서는 해양건강성지수를 이용하여 대한민국의 해양건강성을 정량적으로 평가하였다(KMI[2018]). 해양건강성지수는 인간이 바다에서 생태적, 사회적, 경제적으로 얻는 혜택을 10개의 목표로 나누고 0과 100 사이의 점수로 수치화한 뒤 종합한 지표이다(Castro-Cadenas *et al.*[2017]). 해양건강성지수 목표는 식량공급(Food provision), 영세어업의 기회(Artisanal opportunities), 천연물(Natural products), 탄소 저장(Carbon storage), 연안 생계/경제활동(Coastal livelihood & economies), 관광 및 여가(Tourism & recreation), 장소성(Sense of place), 연안 보호(Coastal protection), 깨끗한 물(Clean waters), 생물다양성(Biodiversity)으로 구분되며 몇몇 목표는 세부적으로 평가하는 하위 목표를 포함한다(KAST[2021]).

‘식량공급’은 어선 어업(Fisheries)과 양식(Mariculture)의 두 하위 목표로 구성되어 지속 가능한 해산물의 공급량을 평가한다. ‘영세어업의 기회’는 소규모 어업에 종사할 수 있는 기회로 접근성과 지속가능성에 기반하여 평가한다. 해양생물자원에서 나오는 ‘천연물’은 생태적 피해가 적고 지속가능한 방식을 바탕으로 수확량을 평가한다. ‘탄소 저장’은 대기 중 탄소를 격리하는 세 가지 연안 생태계 맹그로브, 염습지, 해초의 면적과 상태를 평가한다. ‘연안 생계/경제활동’은 생계(Livelihoods)와 경제(Economies) 두 하위목표로 구성되며 해양 관련 산업에서 나오는 일자리의 양적 및 질적 평가를 통해 생계 건강성을 평가하고 경제에서 수익을 평가한다. ‘관광 및 여가’는 여행을 통해 해양 시스템을 얼마나 중요하게 여기는지, 경험하고 즐기는데 갖는 가치를 평가한다. ‘장소성’은 문화적, 미적으로 정체성과 가치를 부여할 수 있는 것으로 상징 생물종(Icnic species)과 특별한 장소(Lasting special places) 두 하위목표로 나누어 보전 현황을 평가한다. ‘연안 보호’는 과거와 비교했을 때 현재 서식지가

**Table 1.** Description of 10 goals and subgoals comprising the OHI

Goal	Subgoal	Abbreviation	Description
Food provision		FP	The ability to sustainably maximize the amount of seafood from wild-caught and marine aquaculture
	Fisheries	FIS	The ability to sustainably maximize the amount of seafood from wild-caught fisheries
	Mariculture	MAR	The ability to sustainably maximize the amount of seafood from marine aquaculture practices
Artisanal opportunities		AO	The opportunity for small and local scale fishing to supply catch in each country
Natural products		NP	The sustainability of extracting natural resources from living marine resources
Carbon storage		CS	The condition and area of carbon store area such as mangrove, seagrass, salt marsh
Livelihoods & economies		LE	Livelihoods (employment) and economies (income) dependent on marine sectors
	Livelihoods	LIV	Livelihoods (employment) dependent on marine sectors
	Economies	ECO	Economies (income) dependent on marine sectors
Tourism & recreation		TR	The number and quality of tourists who have for experiencing and enjoying coastal areas
Sense of place		SP	The conservation of iconic species and special places that have culture value
	Iconic species	ICO	The conservation of iconic species that have culture value
	Lasting special places	LSP	The conservation of special places that have culture value
Coastal protection		CP	The ability of the habitats to physically protect incoming waves
Clean water		CW	The degree of marine pollution by chemicals, eutrophication, harmful algal blooms, disease pathogens, and trash
Biodiversity		BD	The conservation status of habitats (condition and area) and marine species (number and distribution area)
	Habitat	HAB	The conservation status of habitats (condition and area)
	Species condition	SPP	The conservation status of marine species (number and distribution area)

파도나 자연재해에 대해 물리적으로 얼마만큼 보호할 수 있는지 평가한다. '깨끗한 물'은 수질오염을 부영양화, 화학 오염, 병원체, 쓰레기 4가지 기준으로 구분하여 인위적으로 수질이 오염되지 않은 정도를 평가한다(Lee *et al.*[2016]). '생물다양성'은 서식지(Habitat)와 생물종(Species condition)이라는 두 가지 하위 목표로 구분하여 생물 종 수와 분포 면적으로 종 보전 상태를 평가하고 서식지 상태와 면적을 평가한다(KMI[2018])(Table 1).

## 2.4 해양건강성지수의 계산

해양건강성지수에서 각각의 목표지수는 현재 상태(Current Status)와 예상 미래 상태(Likely Future Status)의 평균으로 계산되며 예상 미래 상태는 압력(Pressures)과 이에 대한 회복력(Resilience), 추세(Trend)의 영향을 받는다(Lee *et al.*[2016]). 현재 상태는 기준점과 비교했을 때 목표의 현황을 상대적으로 나타낸 것이고 예상 미래 상태는 5년 후 현재 상태에서부터의 예측이다(KEI[2017]). 추세는 일반적으로 최근 5년간의 데이터를 기준으로 목표의 평균 변화율을 나타낸 것이고 압력은 목표에 부정적인 변화를 유발할 수 있는 변수이다. 복원력은 반대로 긍정적인 영향을 미쳐 압력을 상쇄하고 목표의 상태를 개선하는 생태학적, 사회적 변수이다(KEI[2017]). 예상 미래 상태는 현재의 상태에 추세를 대입하고 압력과 회복력으로 조정된 함수의 결과이며 추세를 67%, 압력과 회복력은 각각 16.5% 반영하여 산출한다.

본 연구에서는 시간 경과에 따른 해양건강성지수의 변화를 2012년부터 2020년까지 비교 분석하였다. COVID-19 발생 시기인 2020년 1월을 기준으로 전후 해양 건강성 지수를 계산해 변화율을 확인하고, 각 목표에 대해 현재 상태, 예상 미래 상태, 압력, 회복력, 추세로 구분해 세부적인 분석을 수행하였다. 또한 중국, 일본, 러시아, 북한 총 4개 주변국가에 대해서도 해양건강성지수를 도출하고 COVID-19로 인한 변화에 대해 비교하였다. 나아가 전 세계 국가에 대해서도 같은 방식으로 대륙 및 대양 국가별 평균 점수 비교를 통해 해양건강성지수 통계를 만들었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 연안관리의 국내·외 연구 동향분석

2020년부터 2021년까지 COVID-19의 환경 영향과 관련된 연구 분야의 상호관계는 크게 3가지 그룹으로 나뉘었다(Fig. 1A). 먼저 그룹 A는 약물효과(drug effect), 바이러스학(virology), 예방과 제어(prevention and control) 등으로 코로나 치료제 개발과 관련된 연구가 수행되었다. 그룹 B는 환경 영향(environmental impact), 환경 요인(environmental factor), 지속가능한 발전(sustainable development) 등으로 환경보전과 관련된 연구가 주로 진행되었다. 마지막으로 그룹 C는 여성(female) 및 남성(male), 정신 건강(mental health), 심리학(psychology) 등으로 COVID-19로 인한 생활변화에 대한 심리 연구로 나타났다.

COVID-19가 연안관리에 미친 영향을 파악하기 위해 COVID-

19 발생 전과 발생 시기로 나누어 연안관리와 관련된 연구 분야의 상호관계를 비교하였다(Fig. 1B). COVID-19 발생 시기의 상위 10개 키워드를 기준으로 비교한 결과, '기후 변화(climate change)', '해안 공학(coastal engineering)', '해변(beach)', '생태계(ecosystem)', '연안 침식(coastal erosion)'에 대하여 꾸준히 많은 연구가 이루어졌으며, COVID-19 발생 이후 '해수면(sea level)'과 '해수면 변화(sea level change)'와 관련한 연구가 증가하였다. 연안관리와 관련된 연구분야에서 중요하다고 생각하는 주요 키워드의 순위변화를 비교해본 결과, 먼저 '지속가능한 발전(sustainable development)'은 16위에서 19위로 순위가 감소하였으나 비교적 다른 키워드들에 비해 높은 순위를 보였고, '연안 보호(coastal protection)'는 23위에서 11위로 증가하며 계속해서 활발하게 연구가 진행되고 있는 것으로 나타났다. 반면, '환경 관리(environmental management)'와 '생태계 회복력(ecosystem resilience)'은 각각 19위에서 33위와 138위에서 234위로 순위가 감소하는 경향을 보였다. 특히, 연안관리에서의 '모니터링(monitoring)'은 키워드 출현 횟수와 연결성의 급격한 감소로 키워드 순위가 71위에서 186위로 낮아졌고, 좀더 세부적인 키워드인 '환경 모니터링(environmental monitoring)' 역시 19위에서 33위로 감소하며 이전보다 관심이 줄어든 것으로 보였다. 연안과 관련된 연구는 COVID-19에 따른 변화에 큰 영향 없이 꾸준히 증가하는 반면에, 장기적인 모니터링 및 관리에 대한 노력은 줄어든 것으로 보인다.

### 3.2 대한민국의 해양건강성지수

OHI[2022]에서 제시한 해양건강성지수 자료를 통해 2012년부터 2020년까지 대한민국의 해양건강성지수의 변화를 확인하였다(Fig. 2). 해양건강성지수의 전체 평균은 2012년 73.95점에서 2020년 78.60점으로 증가하였다. 2012년부터 2020년간 목표 별 점수는 '관광 및 여가'를 제외하고 59점에서 97점 사이였으며, 2012년부터 2015년까지 4년간 '생물다양성'이 가장 높은 점수를 나타냈고, '영세어업의 기회'와 '연안 생계/경제활동'이 뒤를 이었다. 이후 2016년부터 2019년까지 4년간 '영세어업의 기회' 점수가 꾸준히 증가하여 가장 높은 점수를 보였다. '연안 생계/경제활동'과 감소하는 추세를 보인 '생물다양성'이 뒤를 이었으며 2020년에는 '천연물'이 가장 높은 점수를 나타냈다.

대한민국의 해양건강성지수는 2014년을 제외하고 2012년부터 2020년까지 꾸준히 증가하였으며, 2017년부터 증가폭이 감소하는 경향을 보였다. '영세어업의 기회'는 2012년부터 2020년까지 꾸준히 증가하였고, '천연물'은 2014년 이후부터 평균 5.39점의 큰 증가폭으로 꾸준히 증가하였다. 이후 '천연물'은 2019년도에 가장 높았던 '영세어업의 기회'보다 높아지며, 2020년에 10가지 목표들 중 가장 높은 점수를 나타냈다.

COVID-19 이후 점수가 감소한 목표는 '식량공급', '관광 및 여가'와 '생물다양성'이었다. '식량공급'은 2012년부터 2016년까지 점수의 변화가 크고 2017년 이후에 꾸준히 증가하였다. 또한 2019년에는 91.81점에서 COVID-19 이후(2020년) 90.73점으로 감소하였다. 해



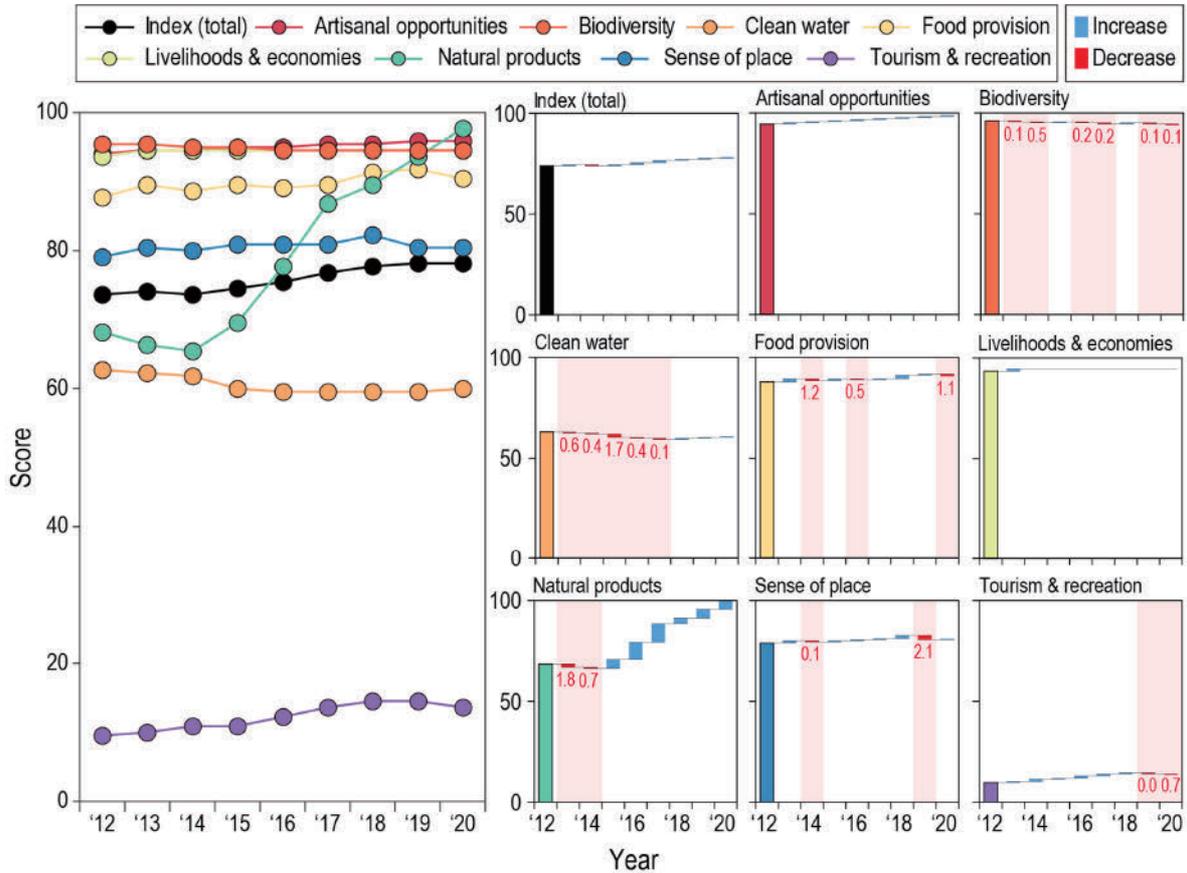


Fig. 2. Time series of current status for Korea Ocean Health Index scores with available historical data, ranging from 2012 to 2020. Scores range from 0 to 100, and red area for decreasing scores.

2019년 대비 2020년에 1.0% 감소하였다(KMI[2021b]).

‘관광 및 여가’는 9년간 평균 12.30점으로 목표들 중에서 가장 낮은 값을 보였고, 2019년 14.50점에서 COVID-19 이후(2020년) 13.84점으로 감소하였다. 2020년 실시한 온라인 설문조사에 따르면 COVID-19 확산에 대한 위험지각은 자기효능감이 낮은 경우 관광의향에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났고, 국외보다 국내 관광의향이 위험지각이 클수록 감소하는 것으로 나타났다(Cho[2021]). 전염성 높은 감염병이 유행하게 될 경우, 관광지를 재선택하거나 취소 또는 연기하게 되어 관광산업에 위기가 닥치게 된다. 실제로 사회적 거리두기 방역정책에 따라 해수욕장 방문객 수가 2019년 7,158만 명에서 2020년 2,680만 명으로 약 63% 감소하였으며 이러한 영향을 많이 받은 것으로 보인다.

‘생물다양성’은 2015년과 2018년을 제외하고 꾸준히 감소하는 추세를 보였으며, 2019년에 비해 COVID-19 이후(2020년) 더 큰 감소폭을 보였다. 실제로 대한민국의 해양생태계 격년 조사인 ‘국가 해양생태계 종합조사’ 자료에 따르면 주기별 출현종수는 4,878종(2017–2018년)에서 4,307종(2019–2020년)으로 나타났으며, 이러한 영향을 통해 ‘생물다양성’의 점수가 감소한 것으로 판단된다. 또한 해양생태계에 영향을 줄 수 있는 태풍, 폭우, 가뭄 등과 같은

자연현상과 해양쓰레기, 오염물질의 유입 등의 인위적 요인에 의해 출현종수에 변동이 생길 수 있으며, 지속적인 관찰과 조사를 통하여 향후 해양생태계에 대한 파악이 필요하다(MOF[2021]).

특정 목표에 대한 자료가 부족한 경우에는 평가에서 제외되기도 한다. 대한민국의 경우 해양건강성지수 10개 목표 중 ‘탄소 저장’과 ‘연안 보호’가 그동안 자료 부족으로 인해 정확한 평가가 이루어지지 않았다(KAST[2021]). 대한민국은 맹그로브가 서식하지 않으며 염습지와 해초지와 같은 국내 연안 생태계가 흡수하는 탄소인 ‘블루카본’을 산정할 수 있다. 2017년부터 2021년까지 진행된 ‘블루카본 평가체계 구축 및 관리 기술 개발’ 연구에 따르면 대한민국의 염습지의 면적은 32 km<sup>2</sup>, 해초지는 45 km<sup>2</sup>로 추정된다. 2022년에 승인된 국가 온실가스 배출·흡수계수에서 염습지의 탄소 흡수계수는 0.33 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>으로 연간 탄소흡수량은 3,872 tCO<sub>2</sub> yr<sup>-1</sup>로 계산할 수 있고 토양 유기탄소 저장량을 64 tC ha<sup>-1</sup>, 생물 유기탄소 저장량을 1.0–11.2 tC ha<sup>-1</sup>으로 계산했을 때 총 유기탄소 저장량에서 208,000–240,640 tC의 결과를 얻을 수 있다. 해초지 유기탄소 흡수계수는 0.45 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>으로 전체 면적에서의 연간 탄소흡수량은 7,425 tCO<sub>2</sub> yr<sup>-1</sup>로 계산된다. 토양 탄소 저장량 계수는 94 tC ha<sup>-1</sup>이므로 토양에서의 유기탄소 저장량은 423,000 tC로 계

산된다. 한편 생물의 유기탄소 저장량은 토양의 0.5–2.8%로 알려졌기에 토양과 생물 모두 포함한 총 유기탄소 저장량은 425,115–434,844 tC의 범위로 산정할 수 있다. 이렇게 대한민국 블루카본의 기초적인 양을 대략적으로나마 산정할 수 있으나 아직 블루카본에 대한 국제적인 인증은 이루어지지 않고 해양건강성지수에도 반영되지 않은 실정이다. 향후 ‘탄소 저장’에 대한 항목을 평가 받기 위해서는 정부 차원의 블루카본에 대한 적극적인 지원과 관련 연구진의 지속적인 연구가 필요할 것이다.

대한민국은 해양 연안지역의 2.5% 만이 해양보호구역으로 지정되어 있으며, 해양보호구역 관리계획의 실효성 부재로 인해 해양보호구역 제도의 성과가 미흡한 실정이다(MOF[2019]). 이를 개선하기 위해 2017년 제정된 「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률」 제 5조에 따라 해양건강성을 평가하도록 규정하였지만 현재까지 평가는 수행되지 않았다(KAST[2021]). 국립해양조사원의 조위 관측소 자료에 따르면 대한민국 평균 해수면 상승률은 전세계 평균보다 높게 나타났고, 기후변화에 따른 해수면 상승과 잦은 고파랑, 슈퍼태풍의 발생 등은 연안 침식을 가속화하는 것으로 알려져 있다(Gang *et al.*[2007]). 실제로 해양수산부 연안침식 실태조사에 따르면 2014년도 기준 침식우심률은 43.6%였으나 그 이후 계속해서 상승하여 2020년에는 침식우심률이 62.4%에 이르렀다. 이 결과는 2020년도 기준 59.7%의 침식우심률을 기록한 영국과 비슷한 수치를 나타내고 있다. 영국의 2020년 ‘연안 보호’ 점수가 53.80점임을 고려하였을 때, 대한민국의 ‘연안 보호’ 수준도 50점대로 추정할 수 있다. 영국의 경우 2014년도 기준 66.4%의 침식우심률이 2020년 59.7%까지 완만하게 감소하였고, 대한민국은 그와 달리 상승하는 경향성을 보였기에 2022년을 기준으로 좀 더 낮은 수준을 보일 것이라 예상된다(NECO[2021]). 그렇기 때문에 2020년도 기준으로 대한민국의 ‘연안 보호’에 대한 평가가 이루어진다면, 대한민국의 해양건강성지수는 현재 평균 78.60점보다 더 낮아질 것으로 예상된다.

### 3.3 코로나 발생에 의한 대한민국의 해양건강성지수의 변화

대한민국의 해양건강성지수 자료를 통해 2020년의 8개 목표 및 8개 세부목표의 현재 상태(Current status), 예상 미래 상태(Likely future status), 압력(Pressure), 복원력(Resilience) 및 추세(Trend)를 확인하였다(Fig. 3). 현재 상태와 예상 미래 상태에서 가장 많은 차이를 보인 목표는 ‘연안 생계/경제활동’과 그 세부 목표인 ‘생계’로 예상 미래 상태가 현재 상태보다 각각 10.44점과 20.88점 높았다. 다음으로 많은 차이를 보인 목표는 ‘장소성’과 그 세부 목표인 ‘상징 생물종’과 ‘특별한 장소’로 각각 8.96점, 10.03점 그리고 7.91점 차이를 보였다. ‘식량공급’의 세부 목표인 ‘어선 어업’은 예상 미래 상태 점수가 현재 상태 점수보다 3.66점 낮았다. 이렇듯 ‘식량공급’과 ‘어선 어업’을 제외한 예상 미래 상태 점수는 현재 상태 점수와 비슷하거나 더 높았다. 해양의 건강성은 빠르게 변화할 수 있는 것이 아니며, 1년 단위의 상대적으로 짧은 기간 동안에는 점수가 천천히 변하게 된다. 따라서, 환경 교란 및 변화에 대한 미래 상태 점수는 한계가 있을 수 있다(Longo *et al.*[2017]). 이는 COVID-19가 해양

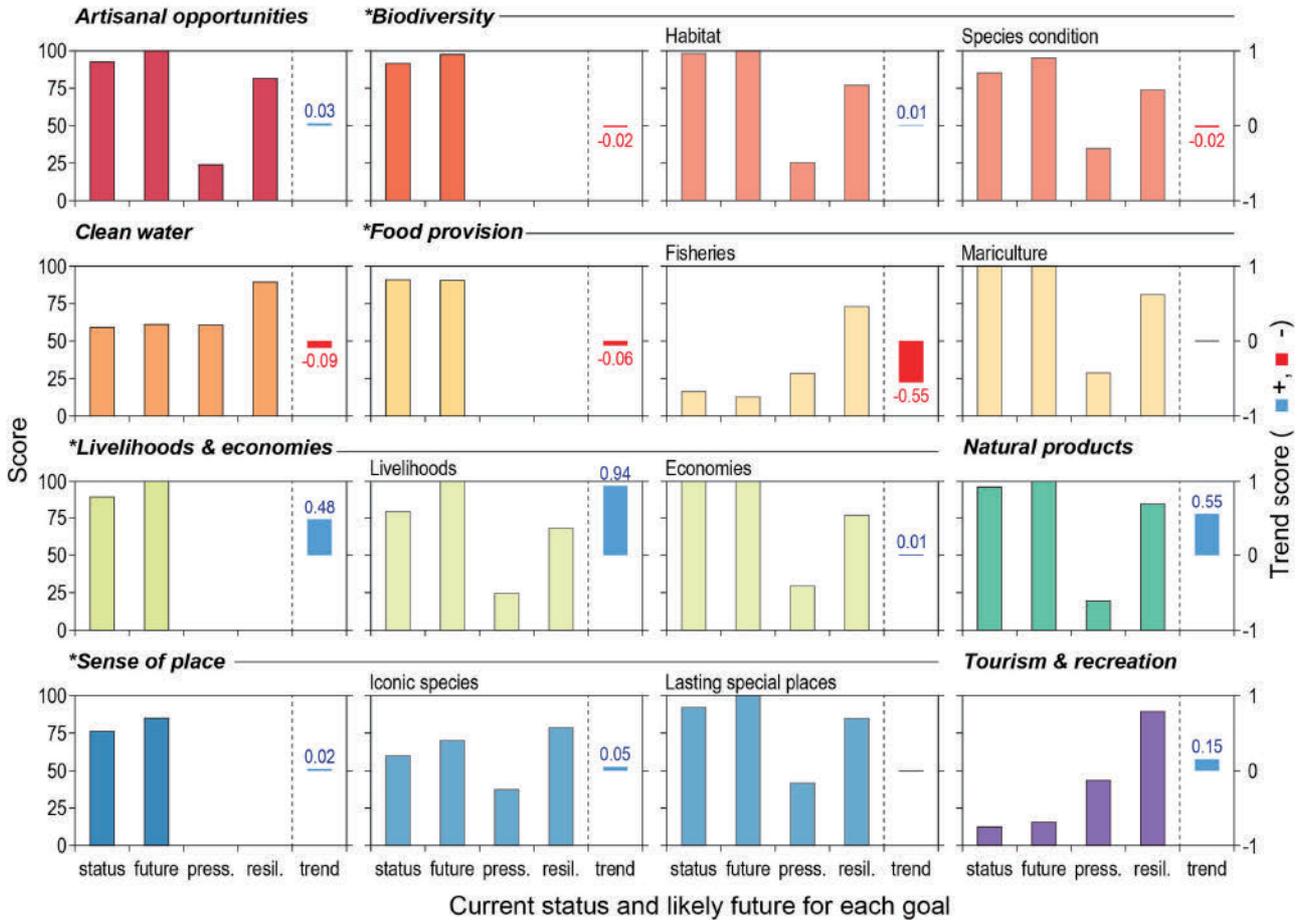
건강성에 미치는 영향을 미래 상태 점수를 통해 예측하기에는 한계가 있을 수 있음을 시사한다. 또한, 현재 상태 점수가 높은 지역의 경우 예상 미래 상태 점수가 과대 평가되고, 낮은 지역의 경우 과소 평가되는 경향이 있다(Harlpem *et al.*[2017]).

복원력 점수는 압력 점수보다 적게는 1.47배(깨끗한 물)에서 많게는 4.37배(천연물) 높았다. 8개 목표 중 3개는 ‘깨끗한 물’, ‘식량공급’, ‘생물다양성’ 순으로 부정적인 경향을 보였다. 나머지 5개 목표는 ‘천연물’, ‘연안 생계/경제활동’, ‘관광 및 여가’, ‘영세어업의 기회’, ‘장소성’ 순서로 긍정적인 경향을 나타냈다. KMI[2021]에 따르면, 세계 해양 경제는 천연 자원을 주로 활용하는 사업이 구조적으로 지배하고 있고 해양 석유 및 가스는 34%, 해양 및 연안 관광은 26%로 해양 기반 산업 내 총 부가가치의 60%를 차지한다고 보고되었다. 한국관광데이터랩에 따르면 2020년 외국인(외지인+외국인) 방문자수는 2019년에 비해 543,060,351명이 감소하였으나, 2021년에 35,412,928명, 2022년에 296,828,728명이 증가하여 점차 회복하는 추세를 보였다. 해양수산부의 해양수산업통계조사에 따르면, 어업유형 중 영세어업에 속하는 ‘맨손/나잠어업’의 비율은 2020년도 기준 85.7%로 ‘어로어업’과 ‘양식어업’보다 많은 비중을 차지한다.

COVID-19 발생 이후 2020년의 해양건강성지수 목표 중에서 ‘생물다양성’, ‘식량공급’, ‘연안 생계/경제활동’, ‘장소성’은 세부 목표의 추세에 대한 패턴이 다른 양상을 보였다(Fig. 3). ‘생물다양성’의 세부 목표인 ‘서식지’는 긍정적인 경향을 보인 반면에 ‘생물종’은 부정적인 경향을 보였다. ‘어선 어업’은 모든 목표들 중에서 가장 부정적인 경향을 보였고, ‘양식’은 변화가 없었다. 어선 어업 생산량은 1980년대 이후부터 변화를 보이지 않았고, 향후에도 변화를 보이지 않을 것으로 예상되고 있다. 수산물 소비율의 50% 이상을 이미 양식업을 통해 공급하고 있으며, 향후 수산물의 수요를 맞추기 위해 양식업에 의존하게 될 경우 지속가능한 발전을 위해 체계적인 관리가 필요하다(KAST[2021]). ‘연안 생계/경제활동’의 세부 목표인 ‘생계’와 ‘경제’는 모두 긍정적인 경향을 보였다. 마지막으로, ‘장소성’의 세부 목표인 ‘상징 생물종’은 긍정적인 경향을 보였고, ‘특별한 장소’는 변화가 없었다.

### 3.4 국가별 해양건강성지수 비교

대한민국과 해역을 공유하고 있는 국가인 중국, 일본, 러시아 그리고 북한의 해양건강성지수를 COVID-19 전(2015–2019년)과 후(2020년)로 나누어 각 목표 점수를 비교하였다(Fig. 4). 5개 국가 중 COVID-19 전후로 가장 높은 해양건강성지수 점수를 받은 국가는 대한민국이었으며, 일본, 러시아, 중국, 북한이 뒤를 이었다. ‘식량공급’, ‘영세어업의 기회’와 ‘생물다양성’은 대한민국에서, ‘연안 보호’와 ‘장소성’은 일본에서, ‘탄소 저장’과 ‘깨끗한 물’은 러시아에서, ‘연안 생계/경제활동’, ‘천연물’과 ‘관광 및 여가’는 중국에서 가장 높았다. 가장 크게 증가한 목표는 ‘천연물’로 크게는 14.46점(대한민국)에서 3.04점(중국)까지 다양하게 변화했다. COVID-19 이후 크게 감소한 목표는 ‘장소성’으로 평균 0.61점 감소하였다. ‘연안



\*Each score of overall goal was suggested by calculating and weighting each score of subgoals equally.

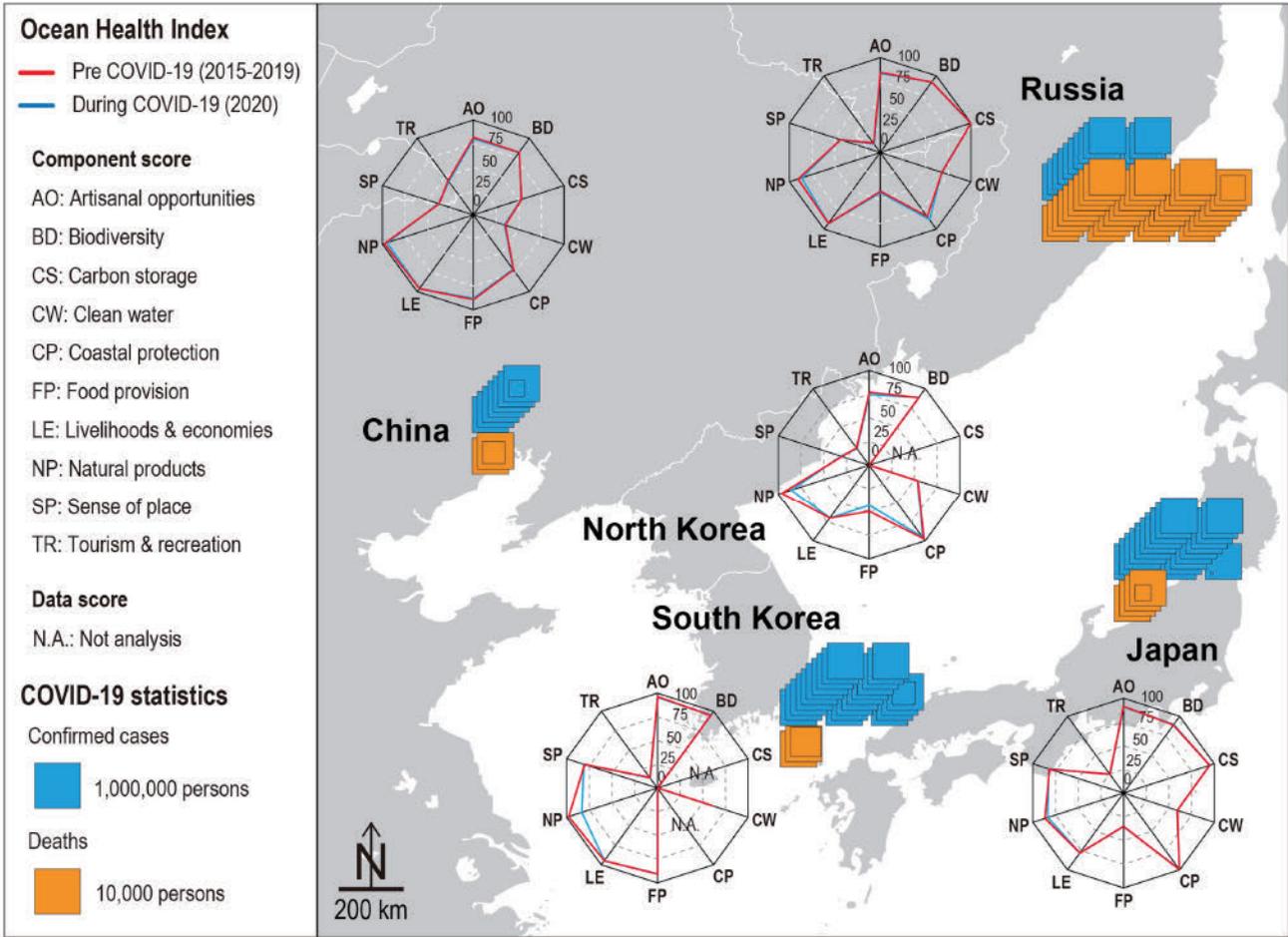
**Fig. 3.** Bar graph for current status (status), likely future status (future), pressure (press.) and resilience (resil.) and trend per each goal or subgoal in 2020. Status, future, pressure and resilience range from 0 to 100. Trend ranges from -1 to +1. Trend color shows blue for positive and red for negative trend.

보호'에서는 데이터가 없는 대한민국을 제외하고 평균 0.31점, '생물다양성'에서는 평균 0.23점 감소하였다. 모든 목표들 중에서 COVID-19 이후 러시아의 '연안 보호'가 4.02점으로 가장 크게 감소하였다. 러시아에서는 2020년 5월 지난 40년 중에서도 매우 높은 기온이 관측되었다. 그 때문에 영구동토층이 빨리 해빙되고 융해수가 표면 위에 빠르게 배수되면서 침식을 일으키는 모습이 관찰되었다(Rajendran *et al.*[2021]). 기후변화와 영구동토층 해빙은 석유 탱크의 지지 기반을 가라앉혀 노릴스크 기름 유출 사고로 이어졌다(Hijort *et al.*[2022]). 노릴스크 기름 유출 사고는 러시아 역사상에서도 손꼽힐 정도로 규모가 컸으며 영구동토층 해빙으로 인한 연안 침식의 결과로 러시아 연안보호에 매우 큰 악영향을 주었을 것이라 판단된다.

전세계 218개 국가를 6개 대륙과 5개 대양으로 나누어 각 대륙 및 대양 별 해양건강성지수의 변화를 나타내고 2019년도에서 2020년도의 지수 점수를 비교하였다(Fig. 5). 태평양과 인도양에 위치한 국가는 계속해서 높은 점수를 유지하였다. 2012년부터 2016년까지

유럽이 인도양 다음으로 높은 점수를 보였고, 2017년부터 2020년까지는 대서양의 점수가 오르면서 3개 대양이 가장 높은 지수를 보였다. 대양에 위치하는 섬나라의 경우에는 인구수가 적고 자연 그대로의 모습을 유지하고 있는 경우가 많으며, 인위적 교란에 대한 위험이 적기 때문에 높은 해양건강성 점수를 받는 경향이 있다(Harpern *et al.*[2012]). 2012년부터 2020년까지 대양에 위치한 대부분의 섬나라는 계속해서 높은 해양건강성지수를 보였고, 특히 태평양의 경우 모든 국가가 35위 이내로 높게 나타났다.

COVID-19 이후 2020년도에 지수가 증가한 대륙 및 대양보다 감소한 경우가 더 많았다. 가장 많이 감소한 대륙은 남아메리카(0.69점)와 오세아니아(0.54점)였고 북아메리카(0.28점)와 아프리카(0.15점), 아시아(0.02점)가 뒤를 이었다. 총 38개의 OECD 국가 중 6개의 내륙국을 제외한 32개국은 유럽(20개), 아시아(4개), 북아메리카(4개), 오세아니아(2개), 남아메리카(2개) 순으로 가입되어 있으며, 이는 OECD 가입국이 없는 아프리카를 제외하고 COVID-19 이후 2020년도에 지수가 감소한 순서와 일치했다. 특히, 유럽의 경



**Fig. 4.** Map of Ocean Health Index scores for individual goals in pre COVID-19 era (blue) and during COVID-19 pandemic (red) in South Korea, Japan, Russia, China and North Korea. Scores range from 0 to 100. Yellow square shows confirmed cases per 1 million people and red square shows deaths per 10 thousand people caused by COVID-19. There was no COVID-19 data for North Korea.

우 많은 OECD 가입국이 존재하는 만큼 COVID-19 이후 평균적으로 증가하는 경향을 보였다. 선진국은 개발도상국보다 더 높은 점수를 보이는 경향이 있다. 선진국은 더 경제적이고 더 나은 규제 및 압력을 관리하기 위한 인프라를 구축하고 있고 지속 가능한 자원 사용이 가능하기 때문이다(Harlpem *et al.*[2012]).

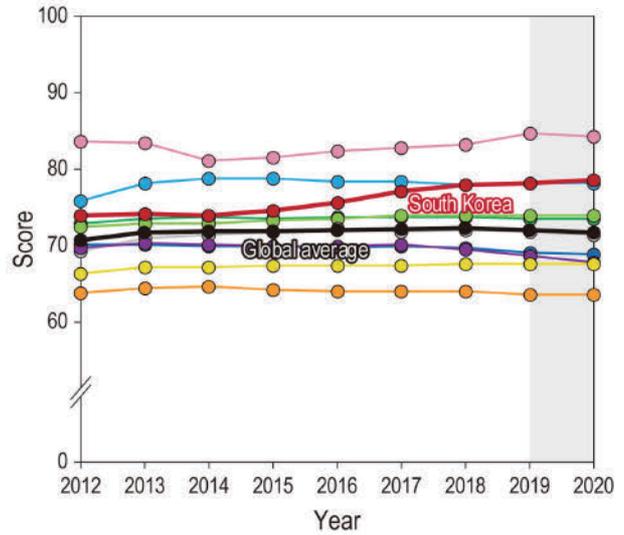
전세계 평균 점수는 2019년 72.13점에서 2020년 71.78점으로 감소했다. COVID-19 팬데믹 이후, 전세계에 광범위한 사회적, 환경적, 경제적, 건강 문제가 발생했다. 특히, 해양쓰레기 문제는 계속해서 전세계의 큰 주목을 받고 있는 문제 중 하나이자, COVID-19 이후 개인용보호구(personal protective equipment) 사용 증가로 더욱 가속화되었다(Siwal *et al.*[2021]). COVID-19 감염 유행으로 인한 자가격리 환자, 재택근무자, 의료종사자가 증가하게 되면서, 의료폐기물의 수거 및 재활용 능력은 감소하였고 이는 환경과 생태계 시스템을 손상시켰다(Raza *et al.*[2023]). 개발도상국의 경우, 대기질, 수질, 폐기물수거 등의 관리 방안이 존재하지 않는 경우도 있었으며, 팬데믹이 정점에 달했던 2021년 8월 20일을 기준으로 전 세계

적으로 800만 톤의 플라스틱 쓰레기가 생성되었고 이 중 25,000톤이 해양으로 유입되었다. 해양쓰레기는 해양서식지와 생물다양성에 영향을 미치며, 다른 인위적 요인과 결합하는 경우에는 개체군 또는 종 수준의 영향에 기여할 수 있고 핵심종이 포함된 경우 영양 상호작용에 간접적으로 영향을 미칠 수 있다(Gall and Thompson[2015]).

**3.5 대한민국의 해양환경 관리방안**

해양보호구역은 2021년을 기준으로 바다 표면적 중 약 7.9%인 28,714,608 km<sup>2</sup>로 지정되었다(Jang *et al.*[2022]). 국제사회는 계속해서 해양보호구역의 범위를 넓히기 위해 노력하고 있다. 대한민국의 해양보호구역 지정 구역은 총 32개소(1,799 km<sup>2</sup>)로 습지보호구역 14개소(1,438 km<sup>2</sup>), 해양생태계보호구역 15개소(262 km<sup>2</sup>), 해양생물보호구역 2개소(94 km<sup>2</sup>), 해양경관보호구역 1개소(5 km<sup>2</sup>), 습지보호지역 총 29개소(134 km<sup>2</sup>), 람사르습지 15개소(17 km<sup>2</sup>), 해상·해안국립공원 총 4개소(2,754 km<sup>2</sup>) 등이 지정되어 있다. OECD 통계에 따르면, 대한민국의 해양보호구역은 2021년 기준 약 1.8%로

**A. Comparison with other countries**



**B. Countries affected by COVID-19**

**Group with increased OHI**

**Europe ▲**

1 <sup>st</sup> Bosnia and Herzegovina	51.9 → 54.2 (+2.4)
2 <sup>nd</sup> Norway	80.5 → 82.8 (+2.3)
3 <sup>rd</sup> Slovenia	76.6 → 78.7 (+2.2)

**Atlantic Ocean ▲**

1 <sup>st</sup> Guadeloupe and Martinique	72.1 → 74.8 (+2.7)
2 <sup>nd</sup> Madeira	79.3 → 80.7 (+1.5)
3 <sup>rd</sup> Ascension	73.9 → 75.3 (+1.4)

**Pacific Ocean ▼**

1 <sup>st</sup> Clipperton Is.	84.6 → 83.0 (-1.6)
2 <sup>nd</sup> Palmyra Atoll	80.5 → 80.2 (-0.3)
3 <sup>rd</sup> Howland and Baker Is.	93.6 → 93.4 (-0.2)

**Group with decreased OHI**

**Asia ▼**

1 <sup>st</sup> Christmas Is.	82.4 → 78.0 (-4.3)
2 <sup>nd</sup> Lebanon	57.2 → 54.9 (-2.3)
3 <sup>rd</sup> Brunei	67.2 → 66.6 (-0.6)

**Africa ▼**

1 <sup>st</sup> Libya	50.6 → 48.3 (-2.3)
2 <sup>nd</sup> Canary Is.	68.8 → 66.7 (-2.1)
3 <sup>rd</sup> Equatorial Guinea	59.5 → 57.6 (-1.9)

**Indian Ocean ▼**

1 <sup>st</sup> Amsterdam and Saint Paul Is.	72.8 → 70.9 (-2.0)
2 <sup>nd</sup> Ile Tromelin	76.4 → 75.5 (-0.9)
3 <sup>rd</sup> British Indian Ocean Territory	73.6 → 72.8 (-0.8)

**North America ▼**

1 <sup>st</sup> Bermuda	70.4 → 68.3 (-2.1)
2 <sup>nd</sup> Sint Eustatius	75.4 → 73.5 (-1.9)
3 <sup>rd</sup> United States	74.4 → 73.2 (-1.3)

**South America ▼**

1 <sup>st</sup> Argentina	67.5 → 64.0 (-3.4)
2 <sup>nd</sup> S. Georgia and the S. Sandwich Is.	84.2 → 82.6 (-1.6)
3 <sup>rd</sup> Falkland Is.	62.9 → 61.3 (-1.6)

**Oceania ▼**

1 <sup>st</sup> Wallis and Futuna	79.4 → 74.8 (-4.5)
2 <sup>nd</sup> Solomon Is.	66.9 → 64.6 (-2.3)
3 <sup>rd</sup> Niue	64.8 → 62.9 (-2.0)

\* Score in 2019 → Score in 2020 (Difference)

**Fig. 5.** (A) Time series and map of current status for World Ocean Health Index scores with available historical data, ranging from 2012 to 2020. Scores range from 0 to 100. (B) Change in index scores between 2019 and 2020 for 6 Continents and 3 Oceans of the world. There was no data for the Atlantic Ocean and the Arctic Ocean.

타국가에 비해 굉장히 낮은 수준이다(OECD Statistics[2022]). 대한민국의 해양보호구역 지정은 2019년에 0.019%, 2020년에 0.0003%가 증가한 이후로 2021년에는 증가하지 않았다.

해양수산부의 제2차(2019-2028년) 해양생태계 보전 관리 기본계획에 따르면 해양생태계 서식지를 보호하기 위한 해양 내 보호구역의 지정 개소 및 면적은 계속해서 증가하고 있으나, 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity, CBD)의 2020년까지 해양의 10%를 보호구역으로 지정한다는 권고수준에는 미치지 못했다. 2022년 12월, 캐나다 몬트리올에서 열린 제15차 생물다양성협약 총회에서는 전지구적 생물다양성을 위해 2030년까지 육상 및 해양 면적의 30%를 보호구역으로 지정하여 생물다양성 위기를 막기 위한 노력을 강조했다. 보호구역 추가 지정을 통한 해양생태계의 보호는

필수적이며 기존 보호구역의 지속적인 관리를 통해 훼손이나 보호구역 지정에 따른 지역 주민의 긍정적인 체감효과가 줄어들어 추가 지정에 한계가 생기지 않도록 노력해야한다. 또한, 생물다양성 및 해양생물 자원의 변화를 지속적으로 모니터링하여 문제점을 보완할 필요가 있다.

**4. 결 론**

본 연구에서는 대한민국의 해양건강성지수에 대해 고찰하였다. OHI를 활용하여 COVID-19 팬데믹에 따른 국내 해양 건강성의 변화와 현황을 파악하였고, 각 목표의 세부 평가 항목을 분석하였다. 또한 대한민국의 해양건강성지수가 10가지 목표 중 ‘탄소 저장’과

‘연안 보호’를 제외하여 계산된 것임을 보완하기 위해 해양수산부에서 제시한 국내 블루카본과 침식우심률 데이터로 향후 지수의 변화 양상에 대해 예측하였다. 현재 맹그로브, 해초지, 염습지에 초점이 맞춰졌던 ‘탄소 저장’에 갯벌의 탄소 격리 데이터가 추가되었다. 본 연구에서 예측한 대한민국의 해양건강성지수 점수 경향은 추후에 계산되어 제공될 점수와 비교할 수 있을 것이고, 이를 통해 예상 점수의 한계점 혹은 국가별 특이성을 반영하기 어려운 해양건강성지수 점수의 한계점을 확인할 수 있을 것이다. 갯벌이 포함된 ‘탄소 저장’ 데이터가 구축된다면 높은 점수와 함께 대한민국의 갯벌 가치를 알릴 수 있는 계기가 될 것이고, 앞으로 더 많은 블루카본 및 연안침식에 대한 데이터를 구축하면 더 과학적이고 체계적인 대한민국의 해양건강성지수가 도출될 것이라 판단된다. 전세계 국가의 대륙 및 대양 별 평균 점수의 변화를 비교한 결과, OECD 가입된 국가가 COVID-19 이후 영향에 차이를 적게 보이는 것으로 나타났다며 대한민국 또한 같은 결과를 보였다. 본 연구 결과에서 활용한 해양건강성지수는 범지구적 팬데믹 사태가 해양환경에 미치는 영향을 10가지 목표와 그 세부 목표로 나누고 종합적으로 점수를 계산하여 정량적으로 제시하였다. 이를 통해 국가별 해양환경의 문제점을 파악하기 위한 충분한 활용가치를 보여주었으며 향후 지속가능발전목표 중 해양생태계 보전 목표의 세부 목표 이행을 확인하고 보전을 위한 방향성을 제시하는데 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2022년도 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원-블루카본 기반 기후변화 적응형 해안 조성 기술개발 사업 지원(KIMST-20220526)과 해양수산과학기술진흥원-해양유해물질 오염원 추적기법 개발 사업 지원(KIMST-20220534)을 받아 수행된 연구이며, 한국해양수산개발원이 후원한 해양수산 미래 리스트 공모전 수상작임을 밝힙니다.

## References

- [1] Castro-Cadenas, M.D., Loiseau, C., Reimer, J.M. and Claudet, J., 2022, Tracking changes in social-ecological systems along environmental disturbances with the ocean health index, *Sci. Total Environ.*, 841, 156423.
- [2] Cho, S., 2021, The influence of risk perception for virus disaster on tourism intention: Focus on COVID-19, *Tourism Research*, 1(70), 485-504.
- [3] Emanuel, E.J., Persad, G., Kern, A., Buchanan, A., Fabre, C., Halliday, D., Health, J., Herzog, L., Leland, R.J., Lemango, E. T., Luna, F., McCoy, M.S., Norheim, O.F., Ottersen, T., Schaefer, G.O., Tan, K.C., Wellman, C.H., Wolff, J. and Richardson, H.S., 2020, An ethical framework for global vaccine allocation, *Science*, 369(6509), 1309-1312.
- [4] Gall, S.C. and Thompson, R.C., 2015, The impact of debris on marine life, *Mar. Pollut. Bull.*, 2015, 170-179.
- [5] Gang, T.S., Nam, S.Y., Kim, M.H. and Baek, G.G., 2007, A study on current state analysis of coastal erosion in Korea using real-time video monitoring technique, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 7, 47-56.
- [6] Giannetti, B.F., Fonseca, T., Agostinho, F., Santos, L.C.T. and Almeida, C.M.V.B., 2022, How has the sustainability of countries changed after COVID-19? Evidence from the pandemics' first year, *Sci. Total Environ.*, 855, 158766.
- [7] Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, <http://www.gir.go.kr/home/board/> (accessed 2023.01.10).
- [8] Harlpern, B.S., Longo, C., Hardy, D., McLeod, K.L., Samhour, J.F., Katona, S.K., Kleisner, K., Lester, S.E., O'Leary, J., Ranelletti, M., Rosenberg, A.A., Scarborough, C., Selig, E.R., Best, B.D., Brumbaugh, D.R., Chapin, F.S., Crowder, L.B., Daly, K.L., Doney, S.C., Elfes, C., Fogarty, M.J., Gaines, S.D., Jacobsen, K.I., Karrer, L.B., Leslie, H.M., Neeley, E., Pauly, D., Polasky, S., Ris, B., Martin, K.S., Stone, G.S., Sumaila, U.R. and Zeller, D., 2012, An index to assess the health and benefits of the global ocean, *Nature*, 488, 615-620.
- [9] Harlpern, B.S., Frazier, M., Afflerbach, J., O'Hara, C., Katona, S., Stewart Lowndes, J.S., Jiang, N., Pacheco, E., Scarborough, C. and Polsenberg, J., 2017, Drivers and implications of change in global ocean health over the past five years, *PLoS one*, 12(7), 1-20.
- [10] Hijort, J., Streletskiy, D., Dore, G., Wu, Q., Bjella, K. and Luoto, M., 2022, Impacts of permafrost degradation on infrastructure, *Nat. Rev. Earth Environ*, 3, 24-38.
- [11] Raza, T., Shehzad, M., Abbas, M., Eash, N.S., Jatav, H.S., Silanpaa, M. and Flynn, T., 2023, Impact assessment of COVID-19 global pandemic on water, environment, and humans, *Environ. Adv.*, 11, 100328.
- [12] International Monetary Fund (IMF), 2021, *World Economic Outlook: Recovery during a pandemic*.
- [13] Jang, D., Lee, C. and Cho, E.Y., 2022, Research of international comparison about ranging the Marines protected areas(MPA), *Ocean Polar Res.*, 44(4), 339-353.
- [14] KAST(Korean Academy of Science and Technology), 2021, Current status and future policy direction on "Protection of Marine Environments," activity, 1-215.
- [15] KEI (Korea Environment Institute), 2016, Development of Natural Capital Sustainability Index Based on Ecosystem Services (I), 1-165.
- [16] KEI (Korea Environment Institute), 2017, Development of Natural Capital Sustainability Index Based on Ecosystem Services (II), 1-112.
- [17] KEI (Korea Environment Institute), 2017, Strategies for the Local Economy Activation through Assessment of Nature's Benefits (II), 1-187.
- [18] Khan, M.T., Shah, I.A., Hossain, M.F., Akther, N., Zhou, Y.,

- Khan, M.S., Al-shaeli, M., Bacha, M.S. and Ihsanullah, I., 2023, Personal protective equipment (PPE) disposal during COVID-19: An emerging source of microplastic and microfiber pollution in the environment, *Sci. Total Environ.*, 860, 160322.
- [19] KMI (Korea Maritime Institute), 2016, Reform Proposal for Coastal Planning System as Adapting Low Population Growth, 1-198.
- [20] KMI (Korea Maritime Institute), 2019, A Study on Improvement for the Policy Utilization of Marine Ecological Map, 1-144.
- [21] KMI (Korea Maritime Institute), 2020, A Study on Post COVID-19 Policy Measures in the Ocean and Fisheries Sector, 1-514.
- [22] KMI (Korea Maritime Institute), 2021a, 2021 Marine & Fisheries Economic Indicators.
- [23] KMI (Korea Maritime Institute), 2021b, 2021 Ocean and fisheries perspective.
- [24] Lee, C., Noh, J., Kwon, B.O. and Khim, J.S., 2021, A Review on Marine Environmental Impact Assessment for Offshore Wind Farm: Status, Issue, and Future Direction, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 24(4), 201-209.
- [25] Longo, C.S., Frazier, M., Doney, S.C., Rheuban, J.E., Humberstone, J.M. and Harlpern, B.S., 2017, Using the Ocean Health Index to identify opportunities and challenges to improving Southern Ocean ecosystem health, *Front. Mar. Sci.*, 4(20), 1-18.
- [26] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2019, National Marine Ecosystem total investigation 2019, 1-426.
- [27] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2019, The 3rd Environmental Management Area Basic Plan, 1-125.
- [28] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2021, The 5th Marine Environment Comprehensive Plan, 1-143.
- [29] Ministry of Oceans and Fisheries Coastal portal, <https://coast.mof.go.kr/> (accessed 2022.09.29).
- [30] NCEAS (National Center for Ecological Analysis and Synthesis), <https://ohi-science.org/data/> (accessed 2023.01.13).
- [31] North East Coastal Observatory (NECO), 2021, 2020 Cell 1 Coastal Asset Condition Summary, 1-15.
- [32] Ocean Health Index, 2020, National Center for Ecological Analysis and Synthesis, University of California, Santa Barbara. <https://ohi-science.org/>.
- [33] Protected areas: Marine protected area, 2022, OECD Statistics, <https://stats.oecd.org/#>.
- [34] Rajendran, S., Sadooni, F.N., Al-Kuwari, H.A-S., Oleg, A., Govil, H., Nasir, S. and Vethamony, P., 2021, Monitoring oil spill in Norilsk, Russia using satellite data, *Sci. Rep.*, 11, 3817.
- [35] Siwal, S.S., Chaudhary, G., Saini, A.K., Kaur, H., Saini, V., Mokhta, S.K., Chand, R., Chandel, U.K., Christie, G. and Thakur, V. K., 2021, Key ingredients and recycling strategy of personal protective equipment (PPE): Towards sustainable solution for the COVID-19 like pandemics, *J. Environ. Chem. Eng.*, 9, 106284.
- [36] SRI (Statistical Research Institute), 2021, SDGs in the Republic of Korea: Progress Report 2021, 1-100.
- [37] UN (United Nations), Sustainable Development Goals, <https://sdgs.un.org/goals/> (accessed 2023.01.13).
- [38] Van Eck, N.J. and Waltman, L., 2014, Visualizing bibliometric networks. in: Ding, Y., Rousseau, R., Wolfram, D. (Eds.), *Measuring Scholarly Impact*. Springer, Berlin, 285-320.
- [39] WHO, <https://www.who.int/countries/kor/> (accessed 2022.9.26).

---

Received 17 October 2022

1st Revised 30 November 2022, 2nd Revised 6 February 2023

Accepted 7 February 2023