

## COVID-19 팬데믹에 따른 연안환경의 변화와 해양생태계 영향 고찰

김호상<sup>1</sup> · 이청재<sup>1</sup> · 이정현<sup>2</sup> · 김태우<sup>3</sup> · 이인옥<sup>1</sup> · 김종성<sup>4,†</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구환경과학부 대학원생

<sup>2</sup>서울대학교 블루카본사업단 선임연구원

<sup>3</sup>서울대학교 블루카본사업단 연수연구원

<sup>4</sup>서울대학교 지구환경과학부 교수

## Changes in Coastal Environment and Effects on Marine Ecosystem due to the COVID-19 Pandemic

Hosang Kim<sup>1</sup>, Cheongjae Lee<sup>1</sup>, Junghyun Lee<sup>2</sup>, Taewoo Kim<sup>3</sup>, In Ok Lee<sup>1</sup>, and Jong Seong Khim<sup>4,†</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>Senior researcher, Blue Carbon Research Center, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>3</sup>Post-doctoral researcher, Blue Carbon Research Center, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>4</sup>Professor, School of Earth and Environmental Sciences & Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

### 요 약

COVID-19 사태가 전세계적으로 장기화됨에 따라 사회적 봉쇄 조치 및 방역용품 사용 의무화 등으로 사람들의 생활 방식이 바뀌었다. 본 연구는 문헌 리뷰를 통해 COVID-19가 변화시킨 사람들의 생활 방식이 연안 생태계에 미친 영향을 고찰하였다. 리뷰는 COVID-19가 확산되기 시작한 2020년 이후에 출판된 논문을 대상으로 진행하였다. 연구 결과, COVID-19 팬데믹으로 인한 연안 환경 및 연안 서식 생물 영향은 지역별, 생물 분류군별로 상이하게 나타났다. COVID-19 확산 이후 많은 지역에서는 연안 쓰레기가 줄고, 연안 서식 생물 개체수가 증가하는 긍정적인 영향이 나타났다. 이는 환경을 교란시키고 생물에 스트레스를 주었던 관광 및 산업 활동이 사회적 봉쇄 조치로 인해 감소되었기 때문인 것으로 나타났다. 반면, 연안 환경이 악화되고 연안 서식 생물에 부정적인 영향이 나타난 경우는 코로나바이러스 전파를 막기 위한 방역 활동의 영향이 컸다. 버려진 마스크나 일회용 장갑 등이 연안에서 발견되는 빈도가 증가했고, 마스크나 소독제 등의 잔여물은 생물의 기능을 저하시키거나 중 풍부도를 감소시키기도 하였다. 리뷰를 통해 팬데믹은 인간의 생활뿐만 아니라 질병과 관계없는 생물 및 환경까지 연쇄적으로 영향을 미칠 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 짧은 기간일지라도 인간 활동의 제한은 생태계를 일부 회복시킬 수 있다는 점이 드러났다. 본 연구는 인간 활동과 생태계와의 긴밀한 연결성을 보여주며, 연안 생태계 관리를 위한 기초 연구로써 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

**Abstract** – As the coronavirus disease-19 (COVID-19) situation has been prolonged worldwide, the lifestyles of people have changed in various ways, such as through lockdowns and the mandatory use of personal protective equipment. This study examined the effects of COVID-19 on coastal ecosystems through a literature review. The review was conducted for papers published after 2020, when the spread of COVID-19 began. The effects of the COVID-19 pandemic on the coastal environment and coastal organisms were found to be different according to region and species. In terms of the positive aspects, coastal litter decreased, and the number of individuals in the coastal regions increased. This was likely because tourism and industrial activities, which normally contribute to environmental disturbance and stress of organisms, were reduced due to lockdown. However, activities to prevent the spread of the coronavirus have led to deterioration in the coastal environment with negatively effects on coastal organisms. There has been an increase in the rate of discarded masks and disposable gloves found along the coastline. In addition, the remains of masks and disinfectants have impaired the function of organisms, and decreased

<sup>†</sup>Corresponding author: jskocean@snu.ac.kr

the species abundance. Through the review, it was confirmed that pandemics can not only influence people, but also organisms and environments unrelated to the disease. It has also been shown that restrictions on human activities, even for short periods, can improve the structure and function of ecosystems. The findings of this study have highlighted the close connection between human activities and ecosystems and are expected to be used to support coastal ecosystem management.

**Keywords:** COVID-19 Pandemic(코로나-19 팬데믹), Coastal Ecosystem(연안 생태계), Biological Effect(생물 영향), Human Activity(인간 활동), Coastal Management(연안 관리)

## 1. 서 론

연안은 해양과 육지가 맞닿아 있는 곳을 포함한 그 주변 지역으로, 경제·산업시설이 입지하기 좋은 곳이다. 이곳은 수산물의 생산, 항만·공단 개발, 레저, 관광 등 다양한 측면의 생태계서비스를 사람들에게 제공한다(Barbier *et al.*[2011]). 때문에 오랜 기간 동안 연안은 인간 생존의 근거지였고, 현재도 전 세계 인구의 40% 이상이 거주하고 있다(Martínez *et al.*[2007]). 특히, 삼면이 바다인 한국 연안에는 국민의 약 27%(약 1,400만 명)가 거주하고 있다(MLTM[2009]). 산업, 주거단지 수요가 증대되면서 이를 확충하기 위한 대규모 매립사업, 물자 수송을 위한 항만시설 개발 등 다양한 사업들이 연안에서 진행되고 있다. 경제적 이득을 위한 무분별하고 과도한 포획은 연안 서식 생물의 개체수를 급감시키는 원인이 되었고, 연안 개발 및 연안으로의 오염물질 유입은 환경을 오염시킬 뿐만 아니라 생물의 생존을 위협했다. 연안에 물리적 변화와 더불어 환경 및 생태 측면에서도 심각한 교란이 야기되고 있는 것이다(Lotze *et al.*[2006]).

한편, 2019년 11월 중국 우한에서의 첫 감염 보고를 시작으로 전 세계에 급속하게 확산된 변종 코로나바이러스(SARS-CoV-2)는 현재까지 다양한 변이를 거치며 전 세계 사람들을 감염시키고 사망에까지 이르게 하고 있다(Wu *et al.*[2020]; Kumar *et al.*[2021]). 국내에서도 2020년 1월 최초 감염자가 발생한 이후 현재까지 확진자와 사망자가 지속적으로 보고되고 있다(MOHW[2023]). COVID-19는 그 위험성으로 인해 세계보건기구에서 2020년 3월에 범유행전염병(팬데믹, Pandemic)을 선언하였고, 국내 질병관리청에서도 2020년 2월 이후 2023년 2월까지도 감염병 경보 단계를 심각 단계로 유지하고 있다.

각국의 정부는 COVID-19의 확산을 막기 위해 외부 이동 및 시설 이용 인원을 제한하는 사회적 거리두기 또는 봉쇄 조치(Lockdown)를 시행하였다(MOHW[2023]; Ficetola and Rubolini[2021]). 그 결과, 연안을 찾는 관광객의 수가 감소하였고(Lewis *et al.*[2022]), 사람들의 구매 수요 감소로 인해 어업과 산업 등 사회경제적 활동 역시 감소하였다(Minahal *et al.*[2020]; Khan *et al.*[2021]; Jiang *et al.*[2022]). 외출 시 의무적인 일회용 마스크 착용과 손소독제, 손소독 티슈, 일회용 장갑 등의 개인 방역용품의 사용 증가는 이와 관련된 쓰레기 배출량을 증가시키는 원인이 되었다(De-la-Torre *et al.*[2021]).

사람들의 활동 변화는 직접적 또는 간접적으로 생태계 변화를 유발할 수 있다(Huveneers *et al.*[2021]; Jiang *et al.*[2022]). 본 연구에서는 COVID-19 팬데믹 동안 국내외에서 연안 환경 및 연안 서

식 생물 변화에 대해 보고한 문헌을 리뷰하여 (1) COVID-19 팬데믹 동안 변화된 사람들의 활동으로 인한 연안 환경 변화를 살펴보고, (2) 연안 서식 생물에 긍정적 또는 부정적으로 작용한 원인을 분류하는 한편, (3) COVID-19로 인한 개체수 변동 정도를 파악함으로써 COVID-19 팬데믹으로 인해 변화된 연안 생태계의 현 상황을 조망해보고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

COVID-19 팬데믹이 연안 환경과 연안 서식 생물에 미치는 영향을 분석하기 위해 학술 데이터 베이스인 “Google Scholar”에서 검색하였다. 본 연구는 COVID-19가 전세계적으로 확산되고 사회적 봉쇄가 이루어졌던 2020년 이후에 출판된 논문을 대상으로 하였다. 검색 키워드는 “COVID-19”, “coastal organism”, “lockdown”, “personal protective equipment” 등을 활용하여 분석에 필요한 문헌만을 선별하였고, “fish”, “crab”, “clam”, “bird”, “benthos”, “phytoplankton” 등 세부적인 생물명을 검색에 추가하여 “coastal organism”만으로는 검색되지 않는 분류군 결과를 보완하였다.

본 연구에서는 2023년 2월 6일까지 검색된 문헌 중에서 연안 환경 변화 및 생물학적 영향을 보고한 내용을 정리하였다. COVID-19로 인한 생물 영향을 분석하기 위해 연안 서식 생물의 구체적인 개체수 변동, 개체수의 정성적 증가 또는 감소, 생태 지수 변화, 개체수 준에서의 특징 변화 등을 보고한 논문 22 편을 리뷰하였다. 이 중 연안 서식 생물의 구체적 개체수 변동을 보고한 논문 5편을 정리하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 COVID-19 팬데믹 동안의 연안 환경 변화

COVID-19로 인한 연안 환경 변화는 지역별로 상이하게 나타났다(Fig. 1). COVID-19 확산 방지를 위해 실시한 사회적 봉쇄 조치로 연안 생태계에 긍정적 영향이 나타난 지역에서는 연안 관광객 수의 감소(Ormaza-González *et al.*[2021]), 낚시 및 저인망 어업의 감소(Prakash *et al.*[2021]; Mosbahi *et al.*[2022]), 산업활동의 감소(Nigam *et al.*[2021]) 등의 현상이 대표적으로 나타났다.

연안을 찾는 관광객 및 낚시꾼 수가 감소함에 따라 연안에서 발견되는 쓰레기 양이 줄어들었다(Edward *et al.*[2021]). 연안에서의 공사, 어업, 운송 등의 인간 활동 또한 봉쇄 조치로 인해 작업이 중

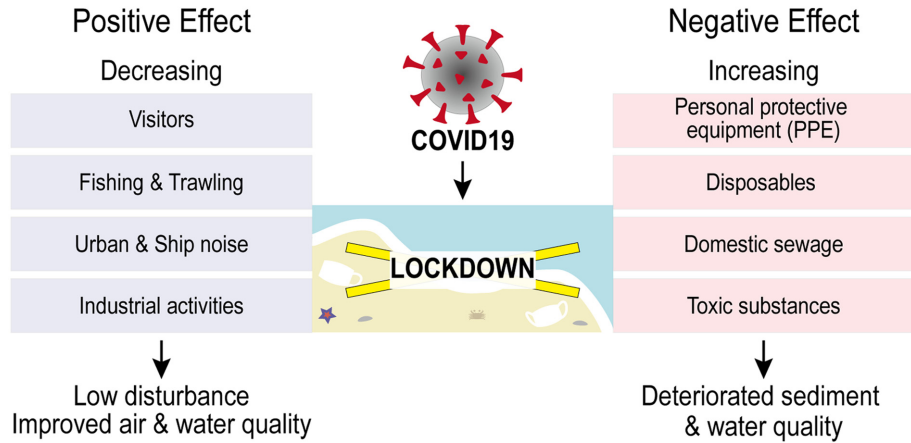


Fig. 1. Schematic flow of change in the coastal environment during COVID-19 pandemic.

단되고, 선박의 운항 횟수도 함께 감소하면서 인간 활동에 의해 발생하던 소음이 줄어들었다(Mitra *et al.*[2020]; Ormaza-González *et al.*[2021]). COVID-19 사태로 인해 공장 가동이 중단되면서 공장에서 배출되던 먼지, 유해물질, 폐수의 양도 줄어들었고, 대기와 해수로 유입되는 오염물질 농도가 감소하게 되었다(Nigam *et al.*[2021]; Cheablam *et al.*[2021]).

이렇게 COVID-19로 인해 긍정적인 영향이 나타난 지역이 있는 반면, 오히려 연안에 부정적인 영향이 나타난 지역도 있었다. 연안 환경에 부정적 영향을 일으킨 원인으로는 방역용품 및 일회용품의 무단 투기(Ammendolia *et al.*[2021]; Liu *et al.*[2021]; Neto *et al.*[2021]; Gunasekaran *et al.*[2022]; Okuku *et al.*[2021]; Ribero *et al.*[2022]; Mvovo and Magagula[2022]; Clemente *et al.*[2022]), 가정용 하수의 유입(Polikarpov *et al.*[2021])이 있었다. 또한, 소독제와 치료제 사용 증가도 COVID-19 팬데믹 동안 연안 오염을 일으켰던 원인으로 지목되었다(Elsaid *et al.*[2021]).

연안에 버려진 일회용 마스크, 장갑 등의 쓰레기는 연안의 미관을 악화시키기도 하지만, 이 쓰레기가 분해되면서 생성되는 미세플라스틱 및 용출되는 독성물질이 생물에 피해를 일으킬 수 있다는 위험성도 제기되었다(Chowdhury *et al.*[2021]; Akhbarizadeh *et al.*[2021]; Sendra *et al.*[2022]). 일부 지역에서는 하수 처리장 용량 이상으로 가정용 하수가 유입되면서 폐수가 그대로 연안에 방류되었고, 오염물질이 충분히 여과되지 않은 하수로 인해 해수의 질이 악화되기도 하였다(Polikarpov *et al.*[2021]). 소독제 및 COVID-19 치료제 사용 증가로 인해 연안 해수에서 이들의 구성 성분인 유해화합물질 농도가 COVID-19 팬데믹 이전보다 높게 나타나기도 하였다(Liu *et al.*[2022]).

### 3.2 COVID-19 팬데믹 동안의 연안 서식 생물 영향

연안 서식 생물에도 COVID-19로 인한 영향이 지역별, 생물 분류군별로 상이하게 나타났다. COVID-19가 연안 서식 생물에 미친 영향, 생물 분류군, 영향이 나타나게 된 원인, 측정 항목, 연구 국

가 등의 상세한 내용은 Table 1에 정리하였다. 22건의 연구에서는 연안 서식 생물에 긍정적인 변화가 나타났으며, 부정적인 변화가 나타났다고 보고된 횟수는 13건이었다. 또한 COVID-19 팬데믹 동안 개체수에 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다는 보고도 2건 되었다. 환형동물과 식물플랑크톤의 경우, 각 분류군에서 긍정적 영향과 부정적 영향이 모두 보고되었다(Fig. 2).

COVID-19로 인한 영향이 가장 많이 보고된 분류군은 7건이 조사된 식물플랑크톤이었다. 식물플랑크톤의 경우, 인공위성 자료를 활용하여 생물량 변화를 확인할 수 있어 봉쇄 기간에도 데이터를 획득할 수 있었고, 이로 인해 다른 분류군에 비해 연구된 횟수가 많았던 것으로 사료된다(Polikarpov *et al.*[2021]). 식물플랑크톤 다음으로는 어류와 조류에서 각각 5건, 4건 보고되었다. 선형동물(Nematoda)과 원형동물(Rotifera)은 독성 물질 노출 실험을 위해 특정적으로 선택된 분류군이었고, 추형동물(Phoronida), 주걱벌레붙이류(Tanaidacea), 패충류(Ostracoda)는 조사 과정 중 우연히 함께 채집되어 계수된 경우로 보인다.

COVID-19 팬데믹 동안 연안 환경 내 인간 활동에 의한 교란이 완화되면서 연안 서식 생물의 개체수는 증가한 것으로 보고되었다. 인간 활동에 의한 교란에는 관광객, 도심 및 선박 소음, 저인망과 같은 물리적 교란이 포함되었다. 이 중에서도 교란의 종류로는 선박 및 도심 소음보다 관광객과 물리적 교란의 비중이 높았다. 교란에 의한 스트레스가 낮아지면서 맹그로브와 해초, 거북, 게 등을 포함한 여러 분류군에서 개체수가 증가하는 경향이 나타났다(Cheablam *et al.*[2021], Costa *et al.*[2022]). 특히, 어업 활동의 중단으로 인해 어류와 이매패류에서는 개체수 회복이 나타났다. COVID-19 팬데믹 전에는 경제성 있는 수산물이 어업 활동에 의해 개체수가 조절되고 있었다. 사회적 봉쇄 조치로 인해 억제되고 있던 어패류 개체군의 크기가 확대될 수 있었고, 종다양성도 함께 증가되었다(Edward *et al.*[2021]; Mosbahi *et al.*[2022]).

환형동물은 교란이 감소하면서 개체수의 증감이 모두 나타났다. 저인망 어업 활동이 중지된 지역에서는 개체수 증가했다는 보고가

**Table 1.** Summary of the type of coastal organisms and changes in human activities affected by the COVID-19 pandemic

Effect	Taxa	Changes	Endpoint	Country	Reference		
Positive	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Tourists visiting decrease	Thailand	Cheablum <i>et al.</i> [2021]		
		Liliopsida			Cheablum <i>et al.</i> [2021]		
	Chordata	Teleostei	Fishing decrease	Abundance	India	Edward <i>et al.</i> [2021]	
			Marine traffic decrease		Ecuador	Ormaza-González <i>et al.</i> [2021]	
		Tourists visiting decrease	Species diversity	India	Mitra <i>et al.</i> [2020]		
		Aves	Species richness	Israel	China <i>et al.</i> [2021]		
			Reptilia	Tourists visiting decrease	Abundance	South Africa	Lewis <i>et al.</i> [2022]
	Breeding area expansion	Ecuador			Charles Darwin Foundation [2020]		
	Arthropoda	Malacostraca	Tourists visiting decrease	Burrow density	Brazil	Costa <i>et al.</i> [2022]	
	Mollusca	Bivalvia	Fishing decrease	Abundance	Tunisia	Mosbahi <i>et al.</i> [2022]	
	Annelida	Polychaeta		Biomass		Mosbahi <i>et al.</i> [2022]	
	Cnidaria	Anthozoa	Tourists visiting decrease	Population		Mosbahi <i>et al.</i> [2022]	
	Phytoplankton	-	Domestic sewage increase	Chlorophyll <i>a</i> concentration	Thailand	Cheablum <i>et al.</i> [2021]	
	Negative	Chordata	Aves	Mask ingestion	Death	India	Edward <i>et al.</i> [2021]
		Arthropoda	Copepoda	Disturbance decrease	Abundance	Italy	Kuwait
Malacostraca			Nepote <i>et al.</i> [2022]				
Annelida		Polychaeta				Nepote <i>et al.</i> [2022]	
Phoronida		-				Nepote <i>et al.</i> [2022]	
Nematoda		-	Drug treatment exposure	Species diversity	Tunisia	Essid <i>et al.</i> [2020]	
				Species evenness		Ali <i>et al.</i> [2021]	
				Species diversity			
Rotifera		Monogononta	Disinfectant exposure	Activities of antioxidant enzymes	Korea	Won <i>et al.</i> [2022]	
Phytoplankton		-	Atmospheric NO <sub>2</sub> decrease	Chlorophyll <i>a</i> concentration	Spain	Sala <i>et al.</i> [2022]	
					Korea	Yoon <i>et al.</i> [2022]	
			N, P decrease	India	Mishra <i>et al.</i> [2020]		
				Ecuador	Ormaza-González <i>et al.</i> [2021]		
Microbe		-	Microplastic exposure	Cell volume	Spain	Sendra <i>et al.</i> [2022]	
No effect		Chordata	Teleostei	Turbidity decrease	Cell density	India	Edward <i>et al.</i> [2021]
	Arthropoda	Malacostraca	-	Species richness	Israel	China <i>et al.</i> [2021]	
			-	Abundance	Italy	Nepote <i>et al.</i> [2022]	

있었던 반면(Mosbahi *et al.*[2022]), 흡입식 준설(hydraulic dredging)을 사용했던 지역에서는 개체수가 감소한 것으로 나타났다(Nepote *et al.*[2022]).

환경이 개선되면 개체수가 증가하는 다른 분류군과 달리 식물플랑크톤은 오히려 대기 환경이 개선되었을 때에 개체수가 감소하는 것으로 나타났다. 사회적 봉쇄 조치로 인근 지역의 공장 가동 및 차량 운행 감소는 배출되는 NO<sub>2</sub> 감소로 이어져, 대기로 유입되는 질소가 줄어들게 되었다(Yoon *et al.*[2022]; Sala *et al.*[2022]). 식물플랑크톤이 성장에 활용해야 하는 질산염이 부족해짐에 따라 COVID-19 팬데믹 전보다 엽록소 *a* 농도, 즉 생물량이 낮아졌을 것으로 보고되었다.

식물플랑크톤도 지역에 따라 생물량의 증감이 다르게 나타났다. 수질이 개선된 경우와 수질이 악화된 경우 모두 식물플랑크톤 생물량 증가와 관련되었다. 수질이 개선된 경우는 탁도가 감소하면서 광합성을 하기 위한 광량을 충분히 확보할 수 있게 되어 생물량이 증가했다고 해석하였다(Edward *et al.*[2021]). 반면, 가정에서의 하수 배출량이 하수처리시설 용량을 초과하면서 하수 일부가 정화되지 않고 연안에 방류되어 수질이 악화되는 사건이 있었다. 정화되지 않은 폐수에 포함된 질소와 인을 식물플랑크톤이 활용하면서 생물량이 증가했던 경우로, 도시 하수가 연안에 직접적으로 유입되는 경우에 발생한 부영양화로 미세조류가 번성할 수 있다는 점을 시사하였다(Polikarpov *et al.*[2021]).



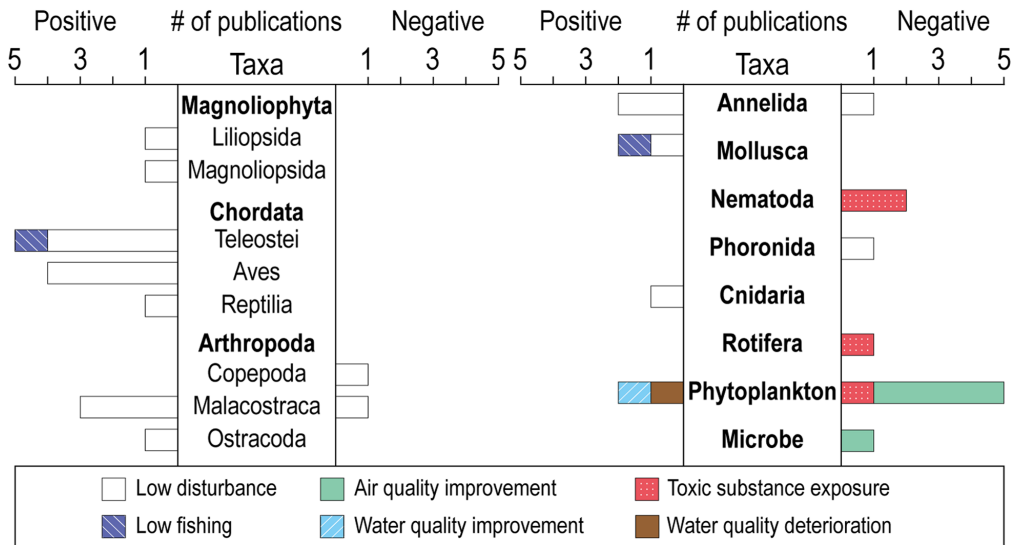


Fig. 2. Number of literatures for reporting effects to coastal organisms during the COVID-19 pandemic. The studies were separated into the report for the positive effect on the organisms and the negative effect.

자연 환경에서의 개체수 변화를 관찰한 것이 아닌 실험실 내 실험을 통해 마스크, 소독제, COVID-19 치료제가 연안 서식 생물에 미치는 영향도 확인할 수 있었다. 규조류, 윤형동물, 선형동물을 대상으로 실험한 결과, 위의 물질 농도가 높아질수록 개체수가 감소하거나 이상 현상을 보인다는 것이 관찰되었다(Ali *et al.*[2021]; Essid *et al.*[2020]; Won *et al.*[2022]; Sendra *et al.*[2022]). Sendra *et al.*[2022]에서는 마스크가 들어있는 해수에 노출된 규조류 (*Phaeodactylum tricoratum*)가 24시간이 지났을 때 엽록소 a 농도가 유의하게 감소되었고, 광합성 기관의 기능 저하가 나타남을 밝혔다. Won *et al.*[2022]에서는 윤형동물(*Brachionus koreanus*)이 소독제 성분인 클로록실레놀(Chloroxylonol) 10 mg L<sup>-1</sup>와 염화벤잘코늄(Benzalkonium chloride) 0.3 mg L<sup>-1</sup>에 노출되었을 때, 대조구에 비해 수영 속도가 각각 약 40%, 15% 감소된 결과 및 수영 패턴에서의 비정상적인 움직임을 보고했다. Essid *et al.*[2020]은 치료제 성분인 이버멕틴(Ivermectin)을 18 ng g<sup>-1</sup>의 농도로 선충 군집에 노출시켰을 때 군집의 풍부도와 종다양성을 감소시킨다고 보고하였다.

모든 생물이 긍정 또는 부정적 영향만 나타났던 것은 아니었다. COVID-19 팬데믹 동안에도 일부 지역에서는 어류 종수 및 쿠마류(Cumacea) 개체군 풍부도에 유의한 변화가 없었다고 보고하였다(China *et al.*[2021]; Nepote *et al.*[2022]). 그 중 China *et al.*[2021]에서 COVID-19 팬데믹 전후로 어류 종수에 유의한 차이가 나타나지 않았던 경우, 조사 지역이 COVID-19 팬데믹 전에도 인간의 영향이 거의 미치지 않았던 지역이었고, 팬데믹 동안에도 계속해서 낮은 인간 활동이 유지되었기 때문이라고 해석하였다.

### 3.3 COVID-19 팬데믹 동안 연안 서식 생물 개체수의 변화

COVID-19 팬데믹 동안 자연 상태에서 개체수 변화를 정량적으로 보고한 논문은 총 5편이었다. 이 기간에 분류군별 개체수 증가 또는

감소를 Fig. 3에 도식화하였다. 사회적 봉쇄 조치 기간에 한 분류군 내에서 개체군이 증가하는 경우와 감소하는 경우가 모두 보고된 분류군이 있었다. 한 분류군 내에서도 환경에 따라서 개체수 증가 또는 감소 비율이 다르게 나타나기도 하였다.

동물 중에서는 어류와 조류의 개체수가 팬데믹 전에 비해 각각 26%, 513%씩 증가하였다. 어류의 경우, 팬데믹 동안 *Lutjanus fulviflamma*, *L. fulvus*, *Scarus ghobban* 등 일부 종의 면적당 개체수가 증가되었고, 사회적 봉쇄 조치로 인해 낚시 활동이 감소된 것을 개체수 증가의 주요 원인으로 분석하였다(Edward *et al.*[2021]). 조류의 경우도 서식지로 접근하는 사람들이 감소된 것을 개체수 증가의 주요 원인으로 분석하였다(Lewis *et al.*[2022]). 사람들과 이들이 데려오는 애완동물의 접근이 줄어들어 소음 및 위협이 감소되면서 조류가 서식하기에 좀 더 안정적이게 되었다고 해석되었다. 또한, 조류의 먹이인 저서생물도 사람들의 채집 및 답압에 의한 스트레스가 감소되면서 안전한 서식 환경을 얻게 되었고, 이에 조류가 충분히 먹이를 섭취하면서 개체수가 증가되었을 것으로 추측하였다.

팬데믹 동안 이매패류와 단각류 개체수는 팬데믹 전보다 증가한 반면, 다모류는 지역에 따라 상반된 결과가 나타났다. 이매패류는 팬데믹 동안 어업 활동의 감소가 개체수 증가의 직접적인 원인으로 제시되었다(Nepote *et al.*[2022]; Mosbahi *et al.*[2022]). 단각류 역시 저인망 활동이 감소되면서 저서 환경이 안정화되었고, 이로 인해 개체수가 증가했다고 해석하였다(Mosbahi *et al.*[2022]). 다모류 개체수의 증가를 보고한 연구 역시 저인망의 영향이 감소되면서 서식지 환경이 안정된 것을 주요 원인으로 보고했으나(Mosbahi *et al.*[2022]), Nepote *et al.*[2022]에서는 오히려 준설이 감소하면서 퇴적물이 교란이 감소되어 개체수가 감소되었다고 보고하였다. 퇴적물 교란이 감소되었지만 개체수 변화가 다르게 나타났던 것은 서식구를 파괴하는 저인망 방식과 퇴적물의 부유를 일으키는 준설

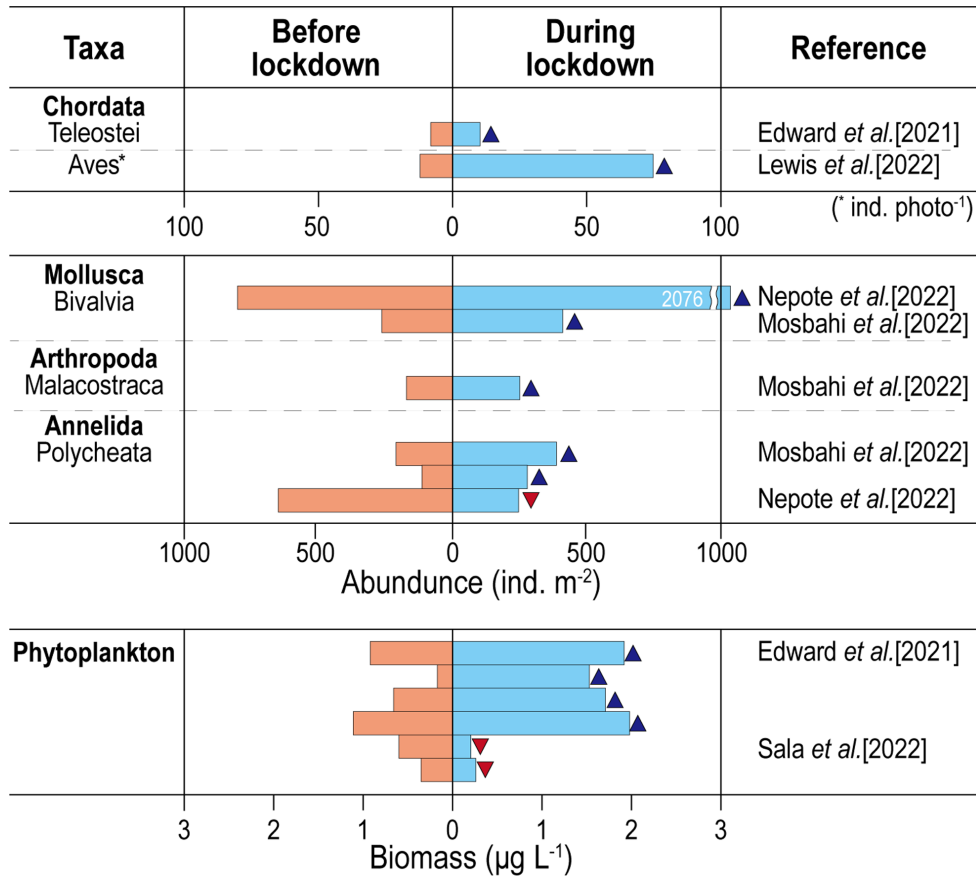


Fig. 3. Changes in abundance and biomass of coastal organisms reported in the literatures before and during the COVID-19 pandemic.

방식의 차이로 사료된다.

식물플랑크톤의 경우에도 생물량의 증가와 감소 모두 보고되었다. Edward *et al.*[2021]은 식물플랑크톤 생물량이 팬데믹 전보다 78–800% 증가했다고 보고했다. 해당 지역은 COVID-19가 확산되면서 쓰레기 배출, 공장 가동의 감소 등과 같은 변화가 나타났고, 연안으로 유입되는 용존 물질이 감소되었다. 이로 인해 해수의 투명도가 증가하여 식물플랑크톤이 더 많은 광합성을 할 수 있는 조건이 형성되었고, 생물량이 증가하게 되었다. Sala *et al.*[2022]는 26–66%의 식물플랑크톤 생물량 감소를 보고했다. 차량 운행이나 폐수 방류 등으로부터 질산염이 연안으로 이동되었어야 했으나 COVID-19로 활동이 제한되면서 질산염 양도 감소되었고, 성장에 필요한 질소를 공급받지 못했다고 해석하였다. 추가적으로 어업 활동 역시 감소하면서 어류의 개체수가 유지 또는 증가되었고, 이들이 식물플랑크톤을 주요 먹이로 활용하면서 결과적으로 생물량이 감소했을 수 있다는 주장을 제시했다.

#### 4. 결론 및 제언

본 연구에서는 COVID-19 팬데믹으로 인한 사람들의 생활 방식 변화가 연안 생태계에 미치는 영향을 국내외 문헌 분석을 통해 확

인하였다. COVID-19 팬데믹으로 인해 연안 환경 및 연안 서식 생물이 받은 영향은 지역별, 생물 분류군별로 상이하게 나타났다. COVID-19로 인해 연안을 찾는 관광객 수, 선박 이용 등의 감소로 연안 환경이 깨끗해진 지역에서는 생물이 받는 스트레스가 감소되면서 연안 서식 생물 개체수가 증가하는 긍정적인 결과로 이어졌다. 하지만 방역용품 사용의 증가로 오히려 연안에 쓰레기가 더욱 쌓이는 지역에 서식하는 생물은 기능에 문제가 생기거나 심하면 개체가 사망하는 결과로 이어졌다. COVID-19 팬데믹 발생 이후 연안지역에서 수행된 지역별, 생물별 자료를 충분하게 얻는 데는 한계가 있었다. 사회적 봉쇄 조치로 인해 현장 연구가 제한된 영향도 있을 것이고, COVID-19로 인한 영향이 생태계를 변화시키고, 이것이 연구되어 보고되기까지 약 3년이라는 기간은 충분하지 않았다고 사료된다. 따라서 COVID-19 팬데믹으로 인한 연안환경의 변화와 해양생태계의 영향에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다. 단계적 일상회복(With-Corona) 정책 전환으로 인해 인위적 영향이 다시 증가되는 상황에서 지역별, 생물 분류군별 자료 확보가 이루어진다면 COVID-19가 연안 생태계에 미친 영향을 포괄적이고 심층적으로 이해할 수 있을 것으로 보인다. 본 연구의 결과는 효과적이고 효율적인 연안 관리 방안을 제시하는데 기초 자료로써 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 2023년도 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원 과학기술기반 해양환경영향평가 기술개발 사업(KIMST-20210427) 및 새만금 주변해역 해양환경 및 생태계관리 연구개발 사업(20140257)의 지원을 받아 수행하였습니다.

## References

- [1] Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Tangestani, M., Abedi, D., Javanfekr, F., Jeddi, F., and Zendeboodi, A., 2021, Abandoned Covid-19 personal protective equipment along the Bushehr shores, the Persian Gulf: An emerging source of secondary microplastics in coastlines, *Mar. Pollut. Bull.*, 168, 112386.
- [2] Ali, M.B., Hedfi, A., Almalki, M., Karachle, P.K. and Boufahja, F., 2021, Toxicity of hydroxychloroquine, a potential treatment for COVID-19, on free-living marine nematodes, *Mar. Pollut. Bull.*, 167, 112361.
- [3] Ammendolia, J., Saturno, J., Brooks, A.L., Jacobs, S., and Jambeck, J.R., 2021, An emerging source of plastic pollution: environmental presence of plastic personal protective equipment (PPE) debris related to COVID-19 in a metropolitan city, *Environ. Pollut.*, 269, 116160.
- [4] Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., and Silliman, B.R., 2011, The value of estuarine and coastal ecosystem services, *Ecol. Monogr.*, 81(2), 169-193.
- [5] Charles Darwin Foundation, Population records for the Galapagos penguin and the flightless cormorant, <https://www.darwin-foundation.org/en/blog-articles/640-population-records-for-the-galapagos-penguin-and-the-flightless-cormorant>, 2020 (accessed 2023.02.06).
- [6] Cheablam, O., Dachyosdee, U., and Purintarapiban, S., 2021, The COVID-19 pandemic's effect on marine national parks in Thailand, *Tour. Mar. Environ.*, 16(4), 225-238.
- [7] China, V., Zvuloni, A., Roll, U., and Benmaker, J., 2021, Reduced human activity in shallow reefs during the COVID-19 pandemic increases fish evenness, *Bio. Conserv.*, 257, 109103.
- [8] Chowdhury, H., Chowdhury, T., and Sait, S.M., 2021, Estimating marine plastic pollution from COVID-19 face masks in coastal regions, *Mar. Pollut. Bull.*, 168, 112419.
- [9] Clemente, C.C., Paresque, K., and Santos, P.J.P., 2022, Impact of plastic bags on the benthic system of a tropical estuary: An experimental study, *Mar. Pollut. Bull.*, 178, 113623.
- [10] Costa, L.L., Machado, P.M., de Moura Barboza, C.A., Soares-Gomes, A., and Zalmon, I.R., 2022, Recovery of ghost crabs metapopulations on urban beaches during the Covid-19 "anthropause", *Mar. Environ. Res.*, 180, 105733.
- [11] De-la-Torre, G.E., Rakib, M.R.J., Pizarro-Ortega, C.I., and Dioses-Salinas, D.C., 2021, Occurrence of personal protective equipment (PPE) associated with the COVID-19 pandemic along the coast of Lima, Peru, *Sci. Total Environ.*, 774, 145774.
- [12] Edward, J.K.P., Jayanthi, M., Malleshappa, H., Jeyasanta, K.I., Laju, R.L., Patterson, J., Raj, K.D., Mathews, G., Marimuthu, A.S., and Grimsditch, G., 2021, COVID-19 lockdown improved the health of coastal environment and enhanced the population of reef-fish, *Mar. Pollut. Bull.*, 165, 112124.
- [13] Elsaid, K., Olabi, V., Sayed, E.T., Wilberforce, T., and Abdelkareem, M.A., 2021, Effects of COVID-19 on the environment: An overview on air, water, wastewater, and solid waste, *J. Environ. Manage.*, 292, 112694.
- [14] Essid, N., Allouche, M., Lazzem, M., Harrath, A.H., Mansour, L., Alwasel, S., Magmoudi, E., Beyrem, H., and Boufahja, F., 2020, Ecotoxic response of nematodes to ivermectin, a potential anti-COVID-19 drug treatment, *Mar. Pollut. Bull.*, 157, 111375.
- [15] Ficetola, G.F., and Rubolini, D., 2021, Containment measures limit environmental effects on COVID-19 early outbreak dynamics, *Sci. Total Environ.*, 761, 144432.
- [16] Gunasekaran, K., Mghili, B., and Saravanakumar, A., 2022, Personal protective equipment (PPE) pollution driven by the COVID-19 pandemic in coastal environment, Southeast Coast of India, *Mar. Pollut. Bull.*, 180, 113769.
- [17] Huvneers, C., Jaine, F.R.A., Barnett, A., Butcher, P.A., Clarke, T.M., Currey-Randall, L. M., Dwyer, R.G., Ferreira, L.C., Gleiss, A.C., Hoenner, X., Ierodionou, D., Lédée, E.J.I., Meekan, M.G., Pederson, H., Rizzari, J.R., van Ruth, P.D., Semmens, J.M., Taylor, M.D., Udyawer, V., Walsh, P., Heupel, M.R., and Harcourt, R., 2021, The power of national acoustic tracking networks to assess the impacts of human activity on marine organisms during the COVID-19 pandemic, *Biol. Conserv.*, 256, 108995.
- [18] Jiang, Q., Xu, Z., Ye, G., Pahlow, M., Hu, M., and Qu, S., 2022, A systematic scoping review of environmental and socio-economic effects of COVID-19 on the global ocean-human system, *Sci. Total. Environ.*, 849, 157925.
- [19] Khan, I., Shah, D., and Shah, S.S., 2021, COVID-19 pandemic and its positive impacts on environment: An updated review, *Int. J. Environ. Sci. Te.*, 18, 521-530.
- [20] Kumar, A., Singh, R., Kaur, J., Pandey, S., Sharma, V., Thakur, L., Sati, S., Mani, S., Asthana, S., Sharma, T.K., Chaudhuri, S., Bhattacharyya, S., and Kumar, N., 2021. Wuhan to world: The COVID-19 pandemic, *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 11, 596201.
- [21] Lewis, J., Collison, J., and Pillay, D., 2022, Effects of COVID-19 lockdowns on shorebird assemblages in an urban South African sandy beach ecosystem, *Sci. Rep.*, 12, 5088.
- [22] Liu, J., Hu, L.X., Deng, W.J., Ying, G.G., Hong, H., Tsang, E.P., and Barceló, D., 2022, Pilot study of pollution characteristics and ecological risk of disinfection byproducts in natural waters in Hong Kong, *Environ. Toxicol. Chem.*, 41(10), 2613-2621.
- [23] Liu, J., Vethaak, A.D., An, L., Liu, Q., Yang, Y., and Ding, J., 2021, An environmental dilemma for China during the COVID-19 pandemic: The explosion of disposable plastic wastes, *B. Envi-*

- ron. Contam. Tox., 106, 237-240.
- [24] Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M.C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H., and Jackson, J.B.C., 2006. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 312(5781), 1806-1809.
- [25] Martínez, M.L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., and Landgrave, R., 2007. The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological economics*, 63(2-3), 254-272.
- [26] Minahal, Q., Munir, S., Komal, W., Fatima, S., Liaqat, R., and Shehzadi, I., 2020. Global impact of COVID-19 on aquaculture and fisheries: A review, *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 8(6), 42-48.
- [27] Ministry of Health and Welfare (MOHW), Coronavirus (COVID-19), Republic of Korea, <https://ncov.kdca.go.kr/> (accessed 2023.02.05).
- [28] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2009, Fundamental research on the actual Korean coastal conditions, Seoul.
- [29] Mishra, D.R., Kumar, A., Muduli, P.R., Equeenuddin, S.M., Rastogi, G., Acharyya, T., and Swain, D., 2020. Decline in phytoplankton biomass along Indian coastal waters due to COVID-19 lockdown, *Remote Sens.*, 12(16), 2584.
- [30] Mitra, A., Pramanick, P., Zaman, S., and Mitra, A., 2020. Impact of COVID-19 lockdown on the ichthyoplankton community in and around Haldia port-cum-industrial complex, *NUJS J. Regul. Stud.*, 57-61.
- [31] Mosbahi, N., Pezy, J.P., Dauvin, J.C., and Neifar, L., 2022. COVID-19 pandemic lockdown: An excellent opportunity to study the effects of trawling disturbance on macrobenthic fauna in the shallow waters of the Gulf of Gabès (Tunisia, Central Mediterranean Sea), *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(3), 1282.
- [32] Mvovo, I., and Magagula, H.B., 2022. Prevalence of Covid-19 personal protective equipment in aquatic systems and impact on associated fauna, *Environ. Syst. Decis.*, 42, 328-337.
- [33] Nepote, E., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Greco, S., Martire, M.L., and Danovaro, R., 2022. Positive effects of the decrease of hydraulic dredging due to the SARS-CoV-2 pandemic on benthic fauna and clam harvesting in the northern Adriatic (Mediterranean Sea), *Aquat. Sci. Manage.*, 10(1), 8-15.
- [34] Neto, H.G., Bantel, C.G., Browning, J., Della Fina, N., Ballabio, T.A., de Santana, F.T., de Karam e Britto, M., and Barbosa, C.B., 2021. Mortality of a juvenile Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*, Spheniscidae) associated with the ingestion of a PFF-2 protective mask during the Covid-19 pandemic, *Mar. Pollut. Bull.*, 166, 112232.
- [35] Nigam, R., Pandya, K., Luis, A.J., Sengupta, R., and Kotha, M., 2021. Positive effects of COVID-19 lockdown on air quality of industrial cities (Ankleshwar and Vapi) of Western India, *Sci. Rep.*, 11(1), 4285.
- [36] Okuku, E., Kiteresi, L., Owato, G., Otieno, K., Mwalugha, C., Mbuhe, M., Gwada, B., Nelson, A., Chepkemboi, P., Achieng, Q., Wanjeri, V., Ndwiga, J., Mulupi, L., and Omire, J., 2021. The impacts of COVID-19 pandemic on marine litter pollution along the Kenyan Coast: A synthesis after 100 days following the first reported case in Kenya, *Mar. Pollut. Bull.*, 162, 111840.
- [37] Ormazza-González, F.I., Castro-Rodas, D., and Statham, P.J., 2021. COVID-19 impacts on beaches and coastal water pollution at selected sites in Ecuador, and management proposals post-pandemic, *Front. Mar. Sci.*, 8, 669374.
- [38] Polikarpov, I., Al-Yamani, F., Petrov, P., Saburova, M., Mihalkov, V., and Al-Enezi, A., 2021. Phytoplankton bloom detection during the COVID-19 lockdown with remote sensing data: Using Copernicus Sentinel-3 for north-western Arabian/Persian Gulf case study, *Mar. Pollut. Bull.*, 171, 112734.
- [39] Prakash, K.V., Vimala, C.S.G., Latha, T.P., Jayaram, C., Nagamani, P.V. and Laxmi, C.N.V., 2021. Assessment of water quality along the southeast coast of India during COVID-19 lockdown, *Front. Mar. Sci.*, 8, 659686.
- [40] Ribeiro, V.V., De-la-Torre, G.E., and Castro, Í.B., 2022. COVID-19-related personal protective equipment (PPE) contamination in the highly urbanized southeast Brazilian coast, *Mar. Pollut. Bull.*, 177, 113522.
- [41] Sala, M.M., Peters, F., Sebastián, M., Cardelús, C., Calvo, E., Marrasé, C., Massana, R., Pelejero, C., Sala-Coromina, J., Vaqué, D., and Gasol, J.M., 2022. COVID-19 lockdown moderately increased oligotrophy at a marine coastal site, *Sci. Total Environ.*, 812, 151443.
- [42] Sendra, M., Rodriguez-Romero, A., Yeste, M.P., Blasco, J., and Tovar-Sánchez, A., 2022. Products released from surgical face masks can provoke cytotoxicity in the marine diatom *Phaeodactylum tricorutum*, *Sci. Total Environ.*, 841, 156611.
- [43] Won, E.J., Byeon, E., Lee, Y.H., Jeong, H., Lee, Y., Kim, M.S., Jo, H.W., Moon, J.K., Wang, M., Lee, J.S., and Shin, K.H., 2022. Molecular evidence for suppression of swimming behavior and reproduction in the estuarine rotifer *Brachionus koreanus* in response to COVID-19 disinfectants, *Mar. Pollut. Bull.*, 175, 113396.
- [44] Wu, Y.C., Chen, C.S., and Chan, Y.J., 2020. The outbreak of COVID-19: An overview, *J. Chin. Med. Assoc.*, 83(3), 217-220.
- [45] Yoon, J.E., Son, S., and Kim, I.N., 2022. Capture of decline in spring phytoplankton biomass derived from COVID-19 lockdown effect in the Yellow Sea offshore waters, *Mar. Pollut. Bull.*, 174, 113175.

---

Received 17 October 2022

Revised 17 January 2023

Accepted 9 February 2023