

인간활동에 대한 해양생태계의 상대적 취약도 산정 및 해양공간계획 적용

Relative Vulnerability Study of Marine Ecosystem by Human Activity and its Applicability to Marine Spatial Planning

차승아* · 김보라* · 한아름* · 박은택* · 김나령*

Seung Ah Cha, Bo Ra Kim, A Reum Han, Eun Taek Park, Na Ryeong Kim

요약 우리나라 해역의 누적영향평가를 위한 누적영향지수의 계산수식에 필요한 항목 중 압력요인에 대한 해양생태계의 상대적 취약도를 전문가 36명을 대상으로 설문지를 통해 평가하였다. 압력요인은 기후변화 관련 3개 항목(수온상승, 자외선증가, 해양산성화), 수산활동 관련 6개 항목(어업, 가두리양식, 육상어류양식, 수하식물양식, 갯벌조개양식, 해조류양식), 육상활동 관련 10개 항목(연안 인구밀도, 국가산업단지, 일반/농공산업단지, 하수처리장, 무역항, 연안항, 국가어항, 지방어항, 온배수, 냉배수), 해양활동 관련 11개 항목(항로, 해상채취, 유지준설, 정화준설, 해상풍력(지주식), 해상풍력(부유식), 파력발전, 조류발전, 조력발전, 해양투기, 침몰선박)을 선정하였다. 총 30개의 압력요인으로부터 영향을 받는 15개의 해양생태계별(갯벌, 염습지, 암반, 해안사구, 대륙붕 경성/연성지질, 갈피밭, 해조숲, 대륙사면 경성/연성지질, 심해저 경성/연성지질, 유광대, 무광대) 영향 강도를 1점(매우 약함)~5점(매우 강함)으로 평가하였다. 설문 결과를 바탕으로 산술평균으로 계산하여 상대적 취약도 값을 산출하였다. 분석결과 기후변화(수온상승, 해양산성화)에 대한 해양생태계의 상대적 취약도가 높았으며, 연안인근에 위치한 해양생태계가 압력요인에 취약한 것으로 나타났다.

키워드 누적영향평가, 해양공간계획, 상대적 취약도, 해양생태계

Abstract The questionnaire of 36 experts assessed the relative vulnerability of the marine ecosystem to pressure factors among the items required for the calculation of the cumulative impact index. A total of 30 parameters including climate change (anomaly of sea surface temperature, ocean acidification and UV), fisheries (aquaculture of fish, shellfish and macroalgae), land-based activities (coastal population density, industry complexes, harbors, ports, water discharges of power plant and LNG terminal) and ocean-based activities (dredging, offshore wind, ocean power plants, sinking ship, sand mining and ocean dumping) were considered as pressures and 15 valuable ecosystem components (VECs) including mud flat, salt marsh, coastal dune, rocky, seagrass bed, seaweed forest, beach, shelves(hard, soft), slopes(hard, soft), deeps(hard, soft) and euphotic zone, aphotic zone were considered as affected marine ecosystems. Influence intensity was evaluated from 1 point(very weak) to 5 point(very strong). Based on the results of the questionnaire, the relative vulnerability were calculated by mean. As a result, the relative the relative vulnerability of the marine ecosystem to climate change (temperature increase, ocean acidification) was high. Marine ecosystems located near coastal areas were found to be vulnerable to pressure factors.

Key words Cumulative impact assessment, Marine spatial planning, Relative vulnerability, Marine ecosystem

1. 서론

해양에서는 어업, 양식, 모래 및 자갈 채취, 해양투기, 생태계 및 환경보전, 관광 및 휴양 등 사회발전에 따라 새로운 사회경제활동이 복합적으로 이루어지고 있다(남, 2010; 최 등, 2016). 이렇게 해양의 이용과 개발이 지속가능하게 이루어지기 위해서는 국가적인 차원에서 해양을 관리하기 위한 수단으로 해양생태계 기반관리와 해양공간계획체계가 강조되고 있다(최 등, 2015; 최와 좌, 2018). 특히 해양공간계획(Marine Spatial Planning, MSP)은 해양에서 이루어지는 다양한 인간 활동을 효율적으로 관리하기 위한 도구로 이용된다(조와 최, 2018).

누적영향이란 어떠한 영향행위의 원인과 시간에 관계없이 그 행위가 과거, 현재, 그리고 예측 가능한 미래의 추가적인 영향행위에 더해질 때 그로부터 야기되는 누적되는 환경영향을 의미한다(CEQ regulation, 2005; Murray et al., 2015; 이, 2005). 누적영향은 기본적으로 매우 복잡한 시스템의 결과로 나타나는 것이며(김, 2012), 누적영향평가는 해양생태계에 미치는 인간의 활동 및 정도를 분석할 수 있는 하나의 틀이다(최 등, 2015).

유체의 특성을 지니고 있는 해양공간관리는 고정성이 있는 육상과 달리 행위 간 상호작용과 영향성이 상대적으로 크며 광역적 공간속에서 장기적으로 인간 및 자연환경에 축적되는 특성을 가지고 있다(최 등, 2015).

우리나라는 해양공간관리를 위한 수단으로 연안용도해역 및 보호구역 지정, 해양환경영향평가 관련 제도, 모니터링 및 조사를 시행하고 있지만 개별법에 따라 구분하여 관리하고 있어 통합적인 접근이 어렵다. 최근 해양생태계기반 관리에 대한 관심이 증대되고 있지만 해양공간관리를 위한 해양생태계 기능 및 구조, 인간영향에 따른 해양생태계 변화에 대한 정보가 부족하여 해양공간성 및 해양생태계 서비스를 평가하기 위한 수단이 미비하고, 그 평가 결과를 정책결정에 적극 활용하기 어려운 실정이다(최 등, 2015). 국내에서는 대기 등 제한된 항목에 대해 누적영향평가가 일부 적용되고 있지만 계획대상지 전체에 대한 누적영향평가 사례는 거의 없다(김, 2012).

또한 해양생태계 누적영향지수 산출에 필요한 압력요인에 대한 해양생태계의 상대적 취약도를 현 우리나라 실정에 맞는 압력요인과 해양생태계를 목록화하고 취약도를 산출한 연구는 없다(차 등, 2019).

본 연구에서는 현 우리나라의 해양생태계와 해양생태계에 직·간접적으로 영향을 주는 압력요인을 목록화하여 해양분야 전공자들에게 영향 강도 설문조사를 실

시하고, 압력요인에 대한 해양생태계의 상대적 취약도를 산출하고자 한다.

2. 재료 및 방법

누적영향평가를 위해 Teck et al.(2009)에서 제시한 계산수식에 의해 지수가 산출된다. 계산수식은 아래와 같다.

$$I_c = \sum_{i=1}^n \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m D_i \times E_j \times \mu_{ij}$$

여기서, I_c 는 누적영향지수, D_i 는 압력요인(i)의 값(0~1), E_j 는 중요 해양생태계 요소(j)의 존재유무(0 or 1), μ_{ij} 는 압력요인(i)에 대한 해양생태계(j)의 상대적 취약도(0~4)를 의미한다. 위의 수식에서 압력요인에 대한 해양생태계의 상대적 취약도(vulnerability)를 산출하였다.

상대적 취약도는 해양분야 전공자를 대상으로 설문 조사를 실시하여 산출하였다. 설문대상자는 교수, 연구원, 대학원생, 대학생으로 구성되어 있으며, 박사 8명, 석사 11명, 학사이하 17명이다.

설문지에는 기후변화 관련 3개 항목(수온상승, 자외선증가, 해양산성화), 수산활동 관련 6개 항목(어업, 가두리양식, 육상어류양식, 수하식물양식, 갯벌조개양식, 해조류양식), 육상활동 관련 10개 항목(연안 인구밀도, 국가산업단지, 일반/농공산업단지, 하수처리장, 무역항, 연안항, 국가어항, 지방어항, 온배수, 냉배수), 해양활동 관련 11개 항목(항로, 해상채취, 유지준설, 정화준설, 해상풍력(지주식), 해상풍력(부유식), 파력발전, 조류발전, 조력발전, 해양투기, 침몰선박)에 대해 15개 해양생태계가 받는 영향 강도를 체크하도록 구성하였다. 15개의 주요 해양생태계는 갯벌(Mud Flat), 염습지(Salt marsh), 암반(Rocky), 해안사구(Coastal dune), 대륙붕 경성/연성저질(Hard/Soft shelf), 잘피밭(Seagrass bed), 해조숲(Seaweed forest), 대륙사면 경성/연성저질(Hard/Soft slope), 심해저 경성/연성저질(Hard/Soft deep), 유광대(Euphotic zone), 무광대(aphotic zone)를 선정하였다.

기후변화와 인간활동과 관련된 압력요인 30개 항목에 대한 15개 주요 해양생태계가 받는 영향강도를 1점(매우 약함)~5점(매우 강함)으로 나누어 응답자의 그동안의 경험과 지식을 바탕으로 평가를 하도록 하였다. 또한 기본적인 배경질문으로 경력, 최종학력, 전공분야를 체크할 수 있도록 하였다.

상대적 취약도는 취합된 설문지 결과를 바탕으로 산

술평균을 계산하여 최종값을 산출하였다.

3. 결 과

3.1 인간활동이 해양생태계에 미치는 피해 강도 평가

해양분야 전공자 36명을 대상으로 설문지에 응답을 요청한 결과 전원 응답을 하였다. 설문지 응답에 대한 분석결과는 다음과 같다.

각 인간활동이 해양생태계에 미치는 영향을 응답자들이 평가한 영향강도 점수를 산술평균하여 상대적 취약도(vulnerability)를 산출하였다. 상대적 취약도는 표로 제시하였다(Table 1). 수온상승은 해조숲과 유광대에 4.3의 상대적으로 높은 취약도를 보였으며, 해양산성화는 유광대에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다.

전반적으로 수온상승이 해양생태계에 많은 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

인간활동별 해양생태계에 미치는 피해강도는 기후 변화 항목인 수온상승(3.7)과 해양산성화(3.5)가 가장 높게 나타났다. 해양투기, 국가산업단지, 연안 인구밀도도 비교적 높은 영향을 주는 것으로 평가되었다. 피해강도가 상대적으로 낮게 평가된 항목은 수산활동과 관련된 육상어류양식, 갯벌조개양식, 해조류양식이다. 또한 해상풍력발전(부유식), 파력발전은 해양생태계에 피해를 가장 적게 주는 것으로 평가되었다(Fig. 1-a).

주요 해양생태계가 인간활동에 의해 받는 피해 강도는 갯벌이 3.4로 가장 취약하였으며, 그 다음으로 대륙붕의 연성기질, 유광대가 가장 많은 영향을 받는 것으로 평가되었다. 대부분 연안인근과 근접한 해양생태계

Table 1. Vulnerability scores for 30 stressors in 15 ecosystems.

Stressors		Intertidal					Subtidal			
		MF	SM	RI	CD	BE	HSh	SSh	EB	SF
Climate	Temperature increase	4.1	3.9	3.6	2.9	3.4	4.1	3.9	4.1	4.3
	UV increase	3.4	3.3	3.6	2.9	3.2	3.3	3.1	3.4	3.6
	Ocean acidification	3.8	3.2	3.5	2.5	3.1	3.7	3.8	3.9	4.0
Fishery	Fishery	3.7	2.8	3.0	2.6	2.9	3.6	3.6	3.5	3.5
	Cage culture	3.4	2.9	2.7	2.5	2.8	3.6	3.5	3.4	3.5
	Land fish farming	3.0	2.8	2.6	2.4	2.4	3.1	3.2	2.9	3.0
	Water drop oyster farm	3.5	2.7	2.9	2.4	2.5	3.4	3.4	3.3	3.2
	Mud flat shellfish culture	3.8	2.9	2.7	2.5	2.4	2.8	3.0	3.0	2.6
Land-based	Macroalgae fishery	3.0	2.6	2.6	2.2	2.4	3.0	2.9	3.3	3.3
	Coastal population density	3.6	3.6	3.4	3.6	4.1	3.4	3.3	3.3	3.2
	National industry complex	4.1	4.1	3.8	3.6	3.8	3.6	3.4	3.6	3.4
	General/Rural industry complex	3.3	3.4	3.1	3.4	3.5	3.1	3.1	3.2	3.0
	Sewage treatment plant	3.6	3.7	3.4	3.1	3.4	3.4	3.3	3.5	3.4
	Trade harbor	3.6	3.3	3.4	3.1	3.2	3.5	3.4	3.3	3.2
	Coastal harbor	3.4	3.1	3.2	3.0	3.2	3.4	3.2	3.1	3.1
	National fisheries port	3.2	3.1	3.1	2.9	3.1	3.5	3.3	3.3	3.1
	Local fisheries port	2.9	3.0	3.0	2.8	3.0	3.2	3.1	3.2	3.1
	Hot waste water	3.8	3.6	3.3	2.8	3.3	3.4	3.4	3.7	3.8
Ocean-based	Cold waste water	3.6	3.6	3.4	2.9	3.2	3.4	3.3	3.8	3.8
	Course	2.9	2.4	2.3	2.4	2.6	3.3	3.1	3.0	3.0
	Sand mining	3.6	3.0	2.6	3.8	3.7	3.5	3.6	3.3	3.2
	Maintain dredging	3.4	2.9	2.6	3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2
	Purify dredging	3.4	2.9	2.4	3.2	3.1	3.1	3.5	3.2	3.2
	Offshore wind(stiffleg)	2.9	2.5	2.7	2.6	2.4	3.1	3.3	2.9	2.9
	Offshore wind(floating)	2.6	2.4	2.5	2.4	2.4	2.9	3.0	2.6	2.8
	Wave power generation	2.6	2.4	2.9	2.7	2.7	3.0	2.9	2.7	2.8
	Tidal stream power generation	3.2	2.6	2.8	2.7	2.6	3.0	2.9	2.7	2.8
	Tidal power generation	3.4	2.8	2.8	2.8	2.6	3.1	2.9	2.8	2.9
Average vulnerability scores	Ocean dumping	3.7	3.0	3.1	3.0	3.3	3.6	3.6	3.6	3.5
	Sinking ship	3.1	2.6	2.7	2.5	2.9	3.5	3.5	3.0	3.3
	Average vulnerability scores	3.4	3.0	3.0	2.8	3.0	3.3	3.3	3.3	3.3

Notes: MF(Mud flat), SM(Salt marsh), RI(Rocky intertidal), CD(Coastal dune), BE(Beach), HSh(Hard shelf), SSh(Soft shelf), EB(Eelgrass bed), SF(Seaweed forest), HSl(Hard slope), SSl(Soft slope), HD(Hard deep), SD(Soft deep), EZ(Euphotic zone), AZ(Aphotic zone)

Stressors		Continental slope		Deep seafloor		Float		Score
		HSI	SSI	HD	SD	EZ	AZ	Mean
Climate	Temperature increase	3.6	3.4	3.1	3.1	4.3	3.9	3.7
	UV increase	2.8	2.7	2.1	2.2	4.2	3.0	3.1
	Ocean acidification	3.5	3.3	3.2	3.3	3.8	3.6	3.5
Fishery	Fishery	2.9	3.0	2.2	2.3	3.8	3.3	3.1
	Cage culture	2.7	2.6	1.9	1.9	3.7	2.9	2.9
	Land fish farming	2.3	2.1	1.6	1.7	3.0	2.4	2.6
	Water drop oyster farm	2.6	2.4	1.7	1.7	3.4	2.5	2.8
	Mud flat shellfish culture	2.3	2.1	1.6	1.7	2.9	2.3	2.6
	Macroalgae fishery	2.3	2.2	1.6	1.7	2.9	2.3	2.6
Land-based	Coastal population density	2.8	3.0	2.1	2.3	3.8	3.0	3.2
	National industry complex	2.8	3.0	2.2	2.3	3.8	3.0	3.4
	General/Rural industry complex	2.5	2.6	2.0	2.1	3.3	2.8	3.0
	Sewage treatment plant	2.7	2.7	2.1	2.0	3.7	2.8	3.1
	Trade harbor	2.8	2.7	2.0	2.1	3.6	2.7	3.0
	Coastal harbor	2.7	2.6	2.0	2.0	3.3	2.6	2.9
	National fisheries port	2.6	2.5	1.9	1.9	3.2	2.5	2.9
	Local fisheries port	2.5	2.4	1.9	2.0	3.1	2.5	2.8
	Hot waste water	2.7	2.8	2.0	2.1	3.6	2.9	3.1
	Cold waste water	2.7	2.7	2.0	2.1	3.6	2.8	3.1
Ocean-based	Course	2.8	2.8	2.3	2.2	3.3	2.6	2.7
	Sand mining	3.1	3.3	2.2	2.3	3.0	2.8	3.1
	Maintain dredging	2.5	2.9	1.9	2.1	3.0	2.6	2.9
	Purify dredging	2.6	2.9	1.9	2.1	3.0	2.6	2.9
	Offshore wind(stiffleg)	2.6	2.8	2.0	1.9	2.8	2.7	2.7
	Offshore wind(floating)	2.4	2.6	1.9	1.9	3.0	2.7	2.5
	Wave power generation	2.3	2.5	1.9	1.9	2.6	2.3	2.5
	Tidal stream power generation	2.4	2.6	1.9	1.9	2.8	2.3	2.6
	Tidal power generation	2.3	2.5	1.9	1.9	2.8	2.3	2.6
	Ocean dumping	3.5	3.3	3.1	3.4	3.4	3.4	3.4
Sinking ship	3.4	3.4	3.0	3.1	2.6	3.1	3.0	
Average vulnerability scores		2.7	2.7	2.1	2.2	3.3	2.8	2.8

Notes: MF(Mud flat), SM(Salt marsh), RI(Rocky intertidal), CD(Coastal dune), BE(Beach), HSh(Hard shelf), SSh(Soft shelf), EB(Eelgrass bed), SF(Seaweed forest), HSI(Hard slope), SSI(Soft slope), HD(Hard deep), SD(Soft deep), EZ(Euphotic zone), AZ(Aphotic zone)

가 인간활동의 영향을 많이 받고, 심해는 상대적으로 영향을 적게 받는 것으로 평가되었다(Fig. 1-b).

인간활동 분야(기후변화, 수산활동, 육상활동, 해양활동)별 해양생태계 분야(조간대, 조하대, 대륙사면, 심해저, 부유생태계)의 피해강도를 살펴보면 다음과 같다. 조하대와 부유생태계가 모든 인간활동에 대해 가장 높은 피해강도를 보였다(Fig. 1-C).

3.2 학위별 상대적 취약도 평가

학위별(박사, 석사, 학사이하)로 인간활동이 해양생태계에 미치는 상대적 취약도를 분석하였다.

인간활동별로 해양생태계에 미치는 영향강도를 평가한 결과 학위와 관계없이 기후변화(수온상승, 해양산성화)와 해양투기가 해양생태계에 많은 영향을 미치는 것으로 평가되었다(Fig. 2). 학위별로는 박사는 수

온상승과 해양산성화, 어업이 높은 취약도를 보였으며, 상대적으로 육상활동이 낮은 취약도를 보였다(Fig. 2-a). 석사와 학사이하도 기후변화와 어업이 높은 취약도를 보인다고 평가하였으나, 인간활동에 대해 낮은 취약도를 갖는 항목은 해양활동이라고 평가하였다(Fig. 2-b, c).

해양생태계별 상대적 취약도는 박사와 학사이하는 잘피밭, 해조숲, 조하대(경성/연성저질)가 높은 취약도를 보였다(Fig 3-a, c). 석사는 갯벌과 염습지가 인간활동에 의해 많은 영향을 받는다고 평가하였다(Fig. 3-b). 전반적으로 학위와 상관없이 대륙사면과 심해저는 인간활동에 대한 영향이 적다고 나타났다(Fig. 3).

인간활동의 큰 분야별 해양생태계에 미치는 영향강도를 평가한 결과 박사는 조하대가 가장 높은 상대적 취약도를 보였다(Fig. 4-a). 석사는 기후변화와 수산활

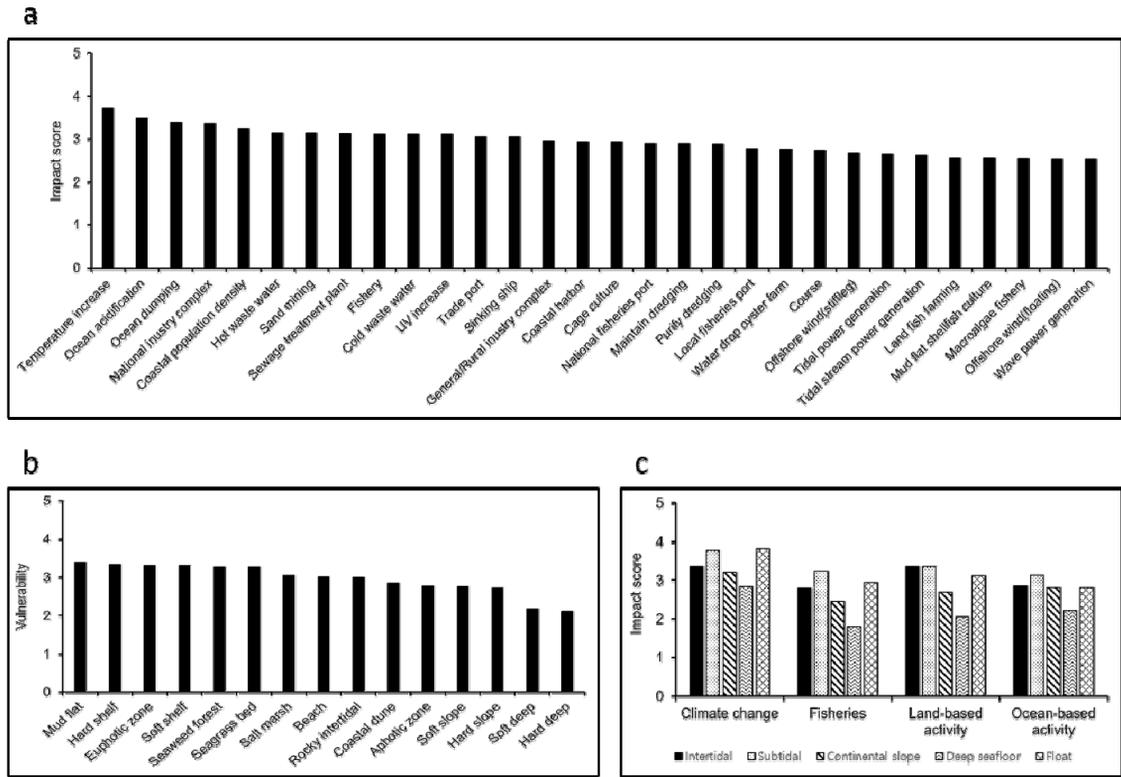
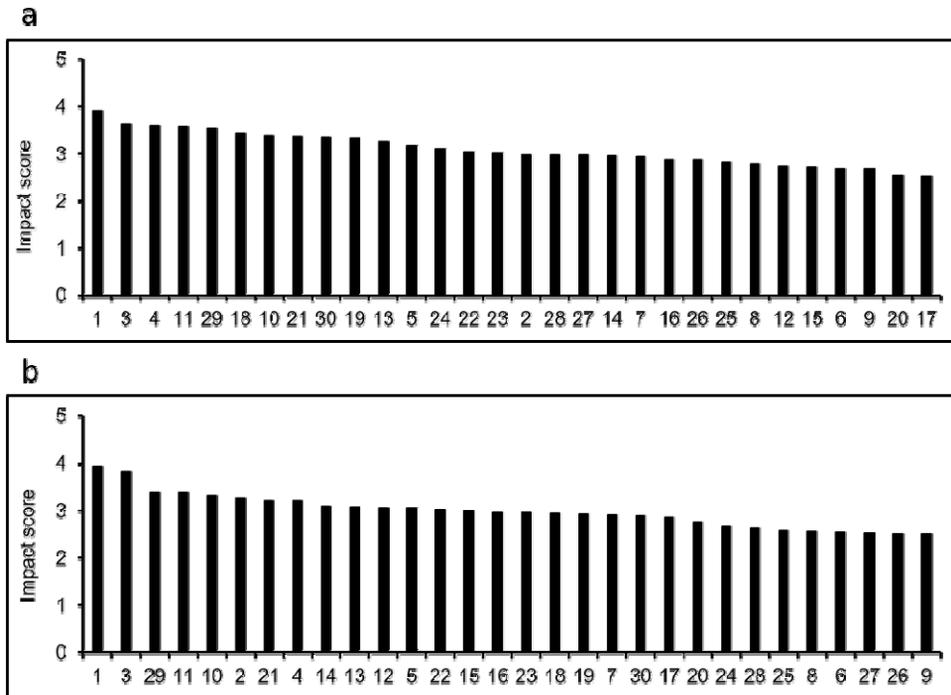


Figure 1. Impact scores and vulnerability of drivers. Impact scores and vulnerability for each driver are reported within (a) human activity, (b) ecosystems, (c) driver categories.



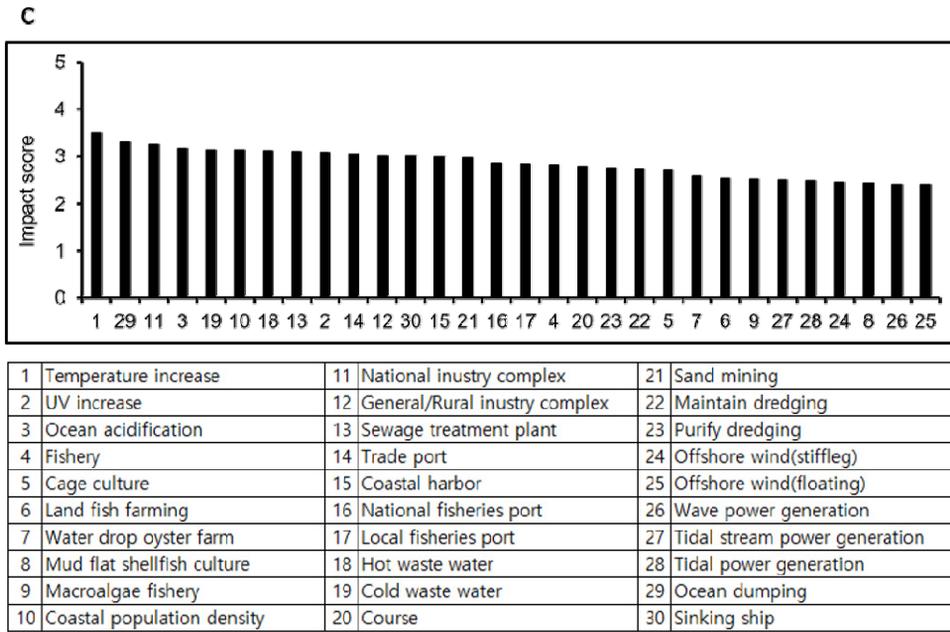


Figure 2. Impact scores of drivers. Impact scores for each driver are reported within (a) doctorate degree, (b) Master degree, (c) bachelor degree or less

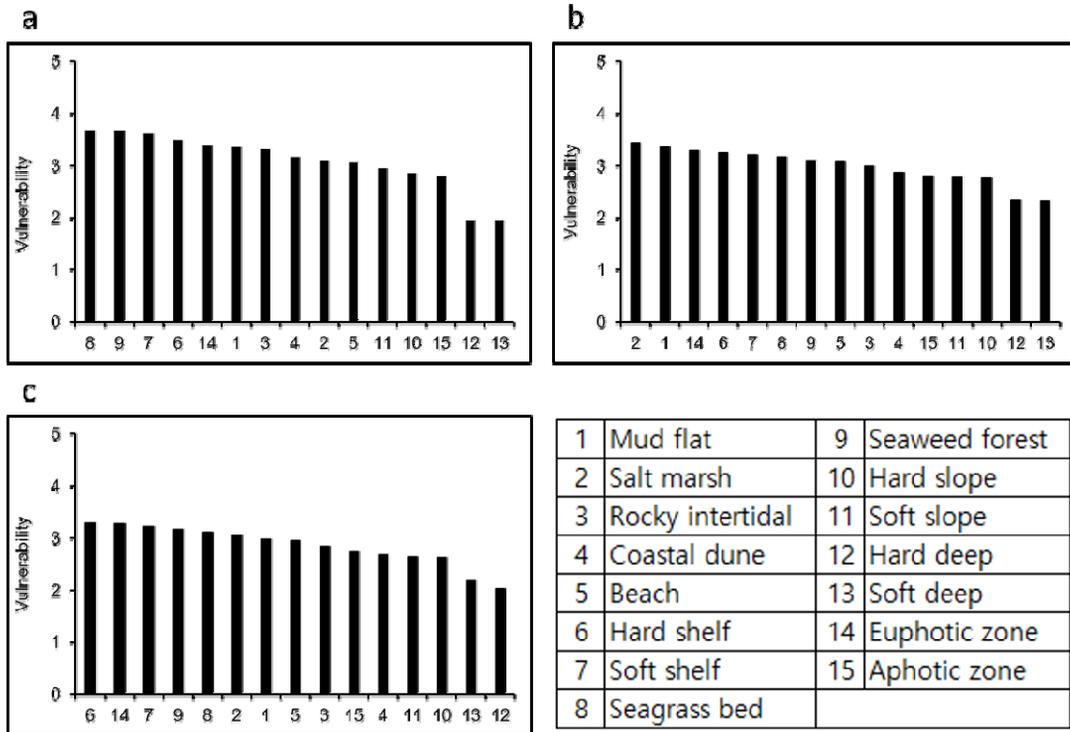


Figure 3. Vulnerability of drivers. Vulnerability for each driver are reported within (a) doctorate degree, and (b) Master degree, (c) bachelor degree or less

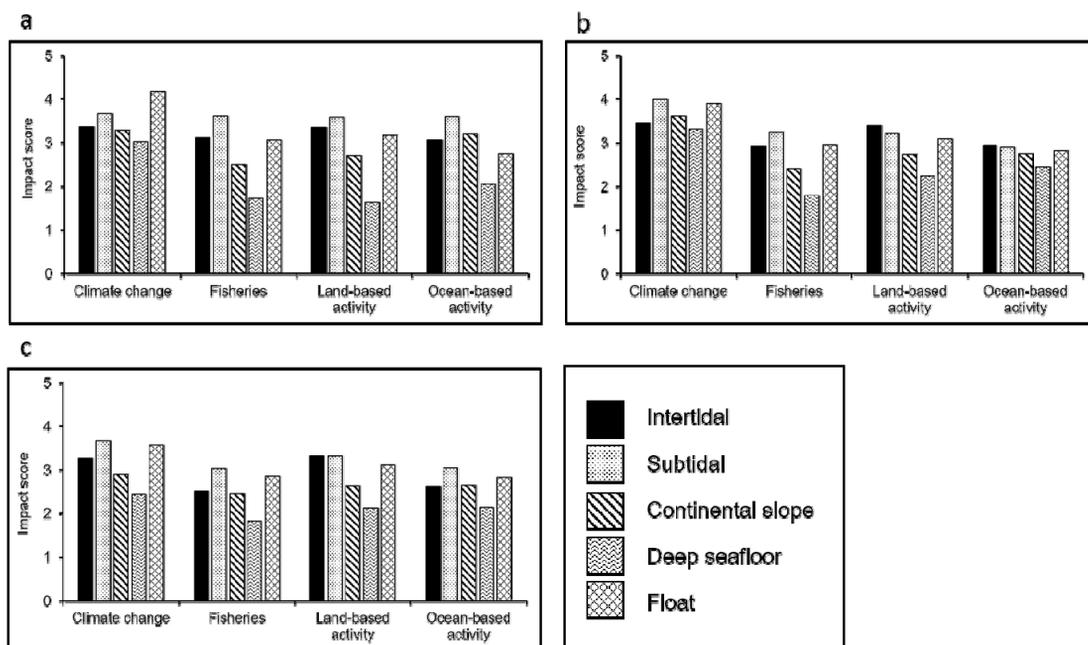


Figure 4. Contribution of impact score by region and diver categories. (a) doctorate degree, and (b) Master degree, (c) bachelor degree or less

등은 조하대에, 육상활동과 해양활동은 조간대에 많은 영향을 주는 것으로 평가하였다(Fig. 4-b). 학사이하는 박사과 동일한 상대적 취약도 결과를 보였다(Fig. 4-c).

4. 토 의

누적영향은 광역적 공간속에서 장기적으로 기후변화와 인간활동이 해양생태계에 미치는 영향을 복합적으로 평가하는 매우 복잡한 시스템이다(김, 2012). 이러한 복잡한 시스템을 해양관련 정책과 환경관리를 위한 합리적 이용을 위해 인간활동에 의해 해양생태계가 받는 취약성을 평가하는 과정이 필요하다(M.M. et al, 2015; Micheli et al, 2013; Teck et al, 2010; Weibhuhn et al., 2018).

취약성을 평가하기 위해서는 공간적 규모(Spatial), 빈도(Frequency), 영양 영향(Trophic impact), 비율변화(Percentage change), 회복시간(Recovery time)이 반영되어야한다(Teck et al, 2010). 그러나 본 연구에서는 이러한 사항들이 고려되지 않고 응답자의 경험과 지식을 바탕으로 한 주관적인 결과이다. 주관적인 결과이지만 인간활동에 의해 해양생태계가 받는 영향강도는 Teck et al.(2010)의 결과와 비슷하게 나타났다. 수온상승은 주요 해양생태계에 많은 영향강도를 미치며, 연안인근에 위치한 해양생태계가 인간활동의 영향

을 상대적으로 많이 받는다는 것을 보여주고 있다.

학위별(박사, 석사, 학사이하)로 인간활동이 해양생태계에 미치는 영향강도를 평가한 결과 비슷하면서도 다른 결과가 나왔다. 그러나 수온상승이 해양생태계에 미치는 영향은 매우 크다는 결과는 동일했다. 그만큼 수온상승에 대한 문제는 현재 전 세계적으로 관심을 가지고 있는 심각한 해양문제이기도 하고 많은 전문가들이 그 위험성에 대해 논하고 있기 때문에 이러한 결과가 나온 것이라 사료된다. 해양생태계에 영향을 적게 주는 인간활동은 박사의 경우 대부분 육상활동이었고, 석사와 학사이하는 해양활동으로 나타났다. 박사의 경우 10년 이상의 경력으로 많은 경험으로 평가 결과가 다르게 나왔다.

해양생태계별로 취약도를 평가한 결과는 박사와 학사이하는 잘피밭과 해조숲이 상대적으로 인간활동에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 석사는 갯벌과 염습지가 높은 취약도를 보였다. 이러한 결과는 인간활동이 대부분 연안에 밀집되나 이러한 부분이 고려되어 나타난 결과라고 생각된다. 또한 대륙사면, 심해저, 무광대는 취약성이 낮다는 점으로도 위의 결과를 뒷받침해준다. Teck et al.(2010)에서도 이러한 결과를 보여주고 있다.

인간활동이 해양생태계에 미치는 누적영향을 평가하기 위해서 Halpern et al.(2009)이 제시한 계산수식

에 압력에 대한 해양생태계의 상대적 취약도를 넣어 최종적으로 누적영향지수를 산출할 수 있다. 그러나 이는 캘리포니아를 대상지역으로 하여 연구가 이루어졌다. 취약도를 산출한 압력요인과 해양생태계 목록을 작성하는데 있어서 평가하고자 하는 지역의 특징과 이슈를 반영하여야 한다(M.M. et al, 2015; Teck et al, 2010). 때문에 우리나라 현 상황에 맞춰 취약도를 산출하여야 한다. 우리나라에 존재하고 있는 해양생태계의 종류를 목록화하고, 그 해양생태계에 직접, 간접적으로 영향을 주는 행위들에 대해 많은 문헌조사를 통해 구체화하는 것이 중요하다. 본 연구에서 제시한 목록은 현재 우리나라 해양생태계와 바다에서 이루지고 있는 행위이다(Table 1). 이러한 행위는 언제든지 변화할 수 있고, 아직은 고려되지 않은 공간적 규모(Spatial), 빈도(Frequency), 영양 영향(Trophic impact), 비율변화(Percentage change), 회복시간(Recovery time)이 반영되면 인간활동이 해양생태계에 미치는 상대적 취약도는 달라질 것이다. 앞으로 이러한 요소를 반영할 수 있도록 많은 추가적인 연구가 필요하다.

우리나라 현실에 맞춰 필요한 추가적인 요소들의 자료를 확보하면 해양공간관리를 위한 누적영향을 평가하는데 많은 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부와 해양수산과학기술진흥원의 ‘생태계기반 해양공간분석 및 활용기술개발’ 3단계 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 논문을 세심하게 검토해 주신 심사위원님께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

- 김진오, 2012. 누적영향평가 적용의 사례분석 및 시사점 연구, 한국환경정책·평가연구원 Working paper 2012-06 p.16.
- 남정호, 2010. 우리나라 해양공간계획 이슈 분석 및 제언, 해양국토21 제 5권, p.11-26.
- 이영수, 2005. 누적영향평가 도입 방안, 환경포럼, 제 9권 제 19호(통권 117호)
- 조성진, 최희정, 2018. 해양공간계획을 위한 해양활동지도 제작 동향과 시사점, 한국해양환경·에너지학회지, Vol.21(4) p.270-280.
- 차승아, 김보라, 한아름, 이지선, 이무준, 2019. 기후변화와 인간활동에 의한 우리나라 동남해역 해양생태계 누적영향평가와 해양공간계획 적용 가능성, 한국수목학회, 제8권 제 1호, p.19-25.
- 최희정, 남정호, 최지연, 정지호, 장정인, 전현주, 2015. 해양공간계획체제 정립 방안 연구, 한국해양수산개발원 수시연구보고서 2015-03.
- 최희정, 남정호, 최문석, 전현주, 2016. 해양공간관리를 위한 정보체계 확립방안 연구, 한국해양수산개발원 기본연구 보고서, 2016-03.
- 최희정, 좌미라, 2018. 바다이용의 대전환, 해양공간계획 추진을 위한 대책 마련시급, KMI 주간보고서, VOL.77.
- Cathryn Clarke M., Selina A., Natalie C.B., 2015. Cumulative effects of planned industrial development and climate change on marine ecosystems. *Global Ecology and Conservation* 4(2015) 110-116.
- CEQ(The council on environmenta quality) regulation(40 CFR parts 1500-1508), 2005.
- Benjamin S. H., Carrie V. K., Kimberly A. S., Fiorenza M., Colin M. E., Caitlin K., Caitlin M. C., Rebecca G. M., Christine S., Sarah J. T., 2009. Mapping cumulative human impacts to California current marine ecosystems, *Conservation Letters* 2(2009) 138-148.
- Fiorenza M., Benjamin S. H., Shaun W., Saul C., Francesco F., Simonetta F., Rebecca L., Leo N., Andrew A. R., 2013. Cumulative human impacts on Mediterranean and Black Sea marine ecosystem: Assessing current pressures and opportunities. *PLOS*, Volume 8, Issue 12, e79889.
- Ojoyi M.M., Antwi-Agyei P., Mutanga O., Odindi J. and Abdel-Rahman E.M., 2015. An analysis of ecosystem vulnerability and management interventions in the Morogoro region landscapes, Tanzania. *Tropical Conservation Science*, Vol.8(3): 662-680.
- Sarah J. T., Benjamin S. H., Carrie V. K., Fiorenza H., Kimberly A. S., Caitlin M. C., Rebecca M., Christine S., Joe A., Baruch F., Grant M., Rabin N., Roger C., 2010. Using expert judgment to estimate marine ecosystem vulnerability in the California current. *Ecological Applications*, 20(5), pp.1402-1416.
- Peter, W., Felix, M., Hubert, W., 2018. Ecosystem vulnerability review: Proposal of an interdisciplinary ecosystem assessment approach. *Environmental Management*, 61:904-915.