

해양산업시설 배출 유해화학물질의 해양환경영향평가 방법론 연구

여보현¹ · 김태윤^{2,†} · 맹준호² · 김태성³ · 이문진⁴

¹한국환경연구원 연구원

²한국환경연구원 선임연구위원

³한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 선임연구위원

⁴한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 영년 책임연구위원

A Methodology Study for Marine Environmental Impact Assessment (EIA) of HNS Discharged from Marine Industrial Facilities

Bohyun Yeo¹, Taeyun Kim^{2,†}, Jun-Ho Maeng², Tae-Sung Kim³, and Moonjin Lee⁴

¹Researcher, Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea

²Chief Research Fellow, Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea

³Senior Researcher, Maritime Safety and Environmental Research Division,

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon 34103, Korea

⁴Tenured Principal Research Scientist, Maritime Safety and Environmental Research Division,
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon 34103, Korea

요 약

해양산업시설로부터 배출되는 위험·유해물질(Hazardous Noxious Substances, HNS)이 연안에 미치는 영향을 평가하는 방법론을 제시하였다. 해양산업 클러스터 대상지이자 유해화학물질의 배출이 많은 광양만을 연구해역으로 선정하고 보호지역 분야와 사회환경 분야로 구분하여 평가요인을 분석한 후 취약성 지도를 도출하였다. 보호지역 분야에서는 법정보호지역 중 세계유산 지역, 국제적 보호구역, 자연공원과 같이 보존이 우선시되는 지역과 환경보전해역, 특별관리해역 등과 같이 환경적으로 중요한 지역으로 구분하여 평가인자를 설정하고, 합수 생성 및 지수화를 통해 취약성 지도를 도출하였다. 사회환경적 분야에서는 어업 분야, 양식 분야, 연안 관광 분야, 항만 분야, 기타 분야로 구분하여 평가인자를 적용하고, 계절별 및 공간역별(표층, 수중, 저층, 대기)로 시·공간적인 취약도를 도출하였다. 보호지역 분석 결과에 따르면 항 내측에서 낮은 취약성을 보였으며, 국립공원이 위치한 동 측 및 남측해역에서 높은 취약성을 보였다. 사회환경적 취약도의 경우, 여름철에는 높은 취약도, 겨울철에는 낮은 취약도를 보여 계절적인 변동이 발생하였다. 이는 해조류 서식지 및 양식장, 해수욕장과 낚시 포인트 지점, 연안어업, 레저활동 등에 의해 기인하며, 공간적으로는 광양만 동측 해역, 남측해역 및 해수욕장이 위치한 연안 지역에서 높은 취약도를 나타냈다. 본 연구 결과는 향후 HNS의 시공간적 분포 현황 및 추가적인 취약성 분석(중, 서식지 등)을 통하여 국내 실정에 맞는 HNS 해양환경 영향평가의 수행을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Abstract – This study suggests a methodology for assessing the impact of the emission and diffusion of HNS (Hazardous Noxious Substances) discharged from marine industrial facilities. Gwangyang Bay, which is a national marine industry cluster and emits a lot of harmful chemicals, was selected as the study area. Evaluation factors were analyzed by dividing them into factors of socio-environmental features and protected areas used for creating vulnerability maps. The applied factors as protected areas are legally protected areas such as World Heritage Sites, environmental conservation areas, and special management areas. For vulnerability assessment of the socio-environmental features, evaluation factors were applied by dividing into fishing, aquaculture, coastal tourism, ports, and other fields, and spatial and temporal vulnerability was analyzed by four seasons and four spaces (surface, column, seabed, atmosphere). The analysis result of the protected areas showed low vulnerability inside the bay and high vulnerability in the eastern and southern waters where the national park is located. As a result of socio-environmental

[†]Corresponding author: kimty@kei.re.kr

ronmental features, seasonal fluctuations occurred with high vulnerability during summer and low vulnerability during winter. These resulted from seasonally changing impacts of HNS on seaweed habitats, fish farms, beaches, fishing points, coastal fishing, leisure activities, etc. Spatially, it showed high vulnerability in the eastern, southern waters, and the coastal area where the beach is located. The results of this study can be used as basic data for conducting HNS marine environment impact assessment for Korean conditions through the current status of HNS spatial and temporal distribution and additional vulnerability analysis (species, habitats, etc.).

Keywords: Environmental impact assessment(환경영향평가), Vulnerability map(취약성 지도), Marine industrial facility(해양산업시설), Hazardous noxious substances(위험·유해물질), GIS analysis(공간자료분석)

1. 서 론

해상 운송 물질의 다양화와 대량화가 이루어지며 화학물질의 해상 유출에 대한 가능성과 그에 의한 위험성이 높아지고 있다. 이에 따라 해상 위험·유해물질(Hazardous Noxious Substances, HNS)에 대한 관심이 증대하고 있다. 전 세계적으로 1970년도부터 현재까지 운송 사고로 인한 HNS의 유출은 해양 서식지 환경의 오염으로 이어져 단기 및 장기적인 악영향이 미치고 있다. 이와 같은 환경 및 경제적인 피해를 최소화 및 예방하기 위하여 IMO에서는 OPRC 협약(International convention on oil pollution Preparedness, Response and Co-operation)을 채택하는 등 HNS 유출에 대한 의정서를 마련하였다. 그러나 유류오염에 비하여 HNS 오염에 의한 잠재적인 생태적 위험이 과소평가 되고 있으며 모니터링 방법론에 관한 연구가 부족한 실정이다(Singhota[1995]; Kirby and Law[2010]; Neuparth *et al.*[2012]).

우리나라는 제조업 세계 3위 강국(UNIDO[2021])이며 대부분 화물과 화학물질은 해상을 통해 운반된다. 이에 따라, 대규모 산업단지는 유통이 쉬운 해안가에 위치하고 있으며, 임해 산업단지의 공장시설로부터 기인한 폐수 및 화학물질이 해양으로 유출된다. 따라서 오염물질에 취약한 해안가의 생물, 서식지 등 해양환경 및 생태계의 단기적 및 장기적으로 상당한 피해가 우려된다(Wilhelmsson *et al.*[2013]; Vikas and Dwarakish[2015]). Kim *et al.*[2016]에 따르면 4만 여종의 화학물질이 사용되고 있으며, 매년 신규 사용 물질이 증가하고 소량다품종으로 생산 공정이 변화함에 따라 다양한 사업장에서 다른 종류의 유해 물질이 수계로 배출되고 있다.

환경계에서는 HNS 배출에 대한 강력한 규제와 처벌을 요구하는 반면 산업계는 경제의 활성화를 위해 규제의 완화를 요구하고 있으나, 현재 우리나라는 제도상 HNS의 해양배출이 전면 금지로 합리적인 제도가 부재한 상황이다(Mok[2008]). 환경 및 산업 분야의 갈등을 완화하기 위한 종합적이고 체계적인 정책 마련을 위하여 해양환경적 영향뿐만 아니라 사회환경적인 영향을 고려한 해양환경 영향평가 방법론 등 과학적인 근거를 생산할 수 있는 다양한 연구가 필요하다.

해외의 HNS 관련 연구의 경우, 유해 물질의 영향평가를 위한 3-D 모델링, 거동 및 생태학적 영향 추정 모델링, 초기 환경 위해성 평가, 데이터베이스(Data base, DB)와 수치모델의 연계 등 HNS 유출로 인한 환경 및 사회에 대한 영향평가와 관련된 연구가 이루어졌다. 또한 HNS 배출 환경영향평가를 위해 취약성 지수 등을 활용하여

영향평가를 수행하고 있다.

국내의 경우, 위험관리제도 관련 연구와 위험관리제도를 효율적으로 운용하기 위한 위험·유해물질의 분석 기법 및 우선순위 선정에 관한 연구, HNS의 확산 및 물리화학적 거동 모델링, 독성 및 위험성 모델링에 대한 연구가 수행되었다. 그러나, 영향평가에 관한 연구는 부족하며, 우리나라 해양환경에 맞는 영향평가 방법론 개발을 위한 연구가 필요한 상황이다.

본 연구에서는 국내·외의 HNS 영향평가 사례 조사 및 분석을 통해 국내의 실정에 맞는 해양환경 영향평가 방법론의 방향성을 제시하고자 한다. 국내의 가용한 자료를 취합하여 DB를 구축하고, 수집된 공간자료를 평가요인별로 구분하여 점수화를 하였다. 그리고 보호지역 분야와 사회환경 분야의 취약성 지도를 작성하여 HNS 배출에 대한 해양환경 영향평가를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 국내외 사례

2.1 국내 연구사례

국내에서는 해상 위험·유해물질을 관리하기 위한 제도 개선부터 사고 관리 및 대응 등에 관한 연구가 이루어졌다. 위험·유해물질 오염사고에 대한 해양오염 방제 정책과 대응 방안의 국외 및 국내 사례 비교 및 법령 운영 체계, 사고의 경향 분석 등을 통한 HNS의 관리 및 사고 대응에 관한 운영기구, 관리체계, 행정, 정책의 구축 및 개선의 방향을 제시하였다(Choi[2002]; Chen *et al.*[2019]; Kim *et al.*[2018a]; Choi *et al.*[2020]). HNS 해상물동량 및 유출 사고 분석, 시나리오별 F-N curve 도출 및 HNS 사고 위험도 평가, 국내외 사례 비교 분석을 통해 HNS의 우선 순위선정 방법 및 DB 관리의 개선 방안을 제시하였다(Cho *et al.*[2013]; Park *et al.*[2017]). HNS의 방제자원 모델 개발에 관한 연구로 HNS의 물리 화학적 특성 정보, 해상운송량 정보, 물리적 거동 특성 모델링 등을 통해 HNS의 위험도 평가를 통해 국내 해역의 HNS 해상 유출에 대한 대응기술 및 방제자원 모델의 방향성을 제시하고 모델을 설계하였다(Lee *et al.*[2012]; Kim *et al.*[2015a]; Lee *et al.*[2017]). 하지만 위험·유해물질이 해상에 유출되었을 경우 해양생태계 및 사회환경적 영향에 관한 연구는 부족하며, 이와 관련한 연구가 필요하다.

2.2 국외 연구사례

국외의 경우, 유출된 화학물질의 거동 및 운명에 대한 모델링, 유

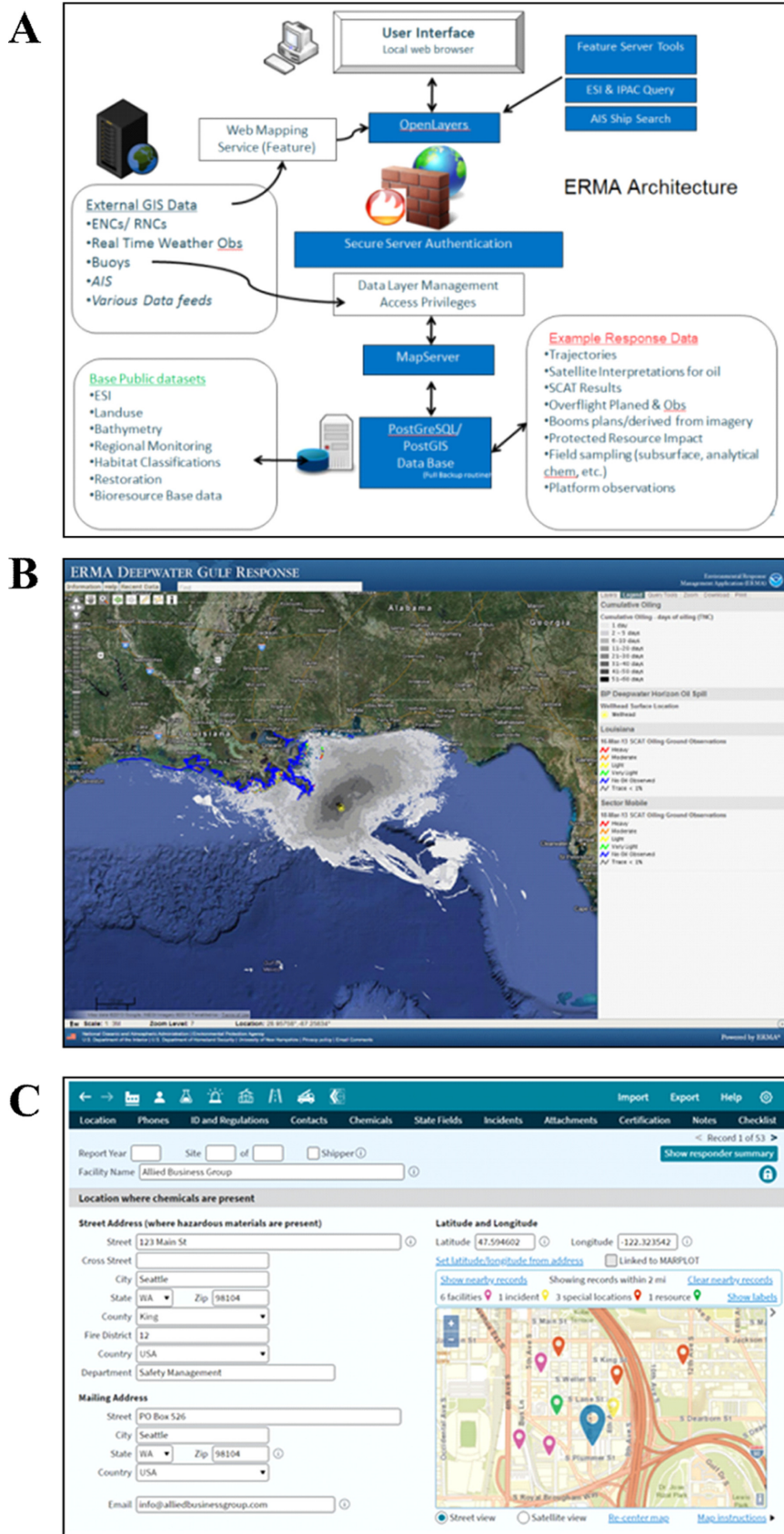


Fig. 1. Environmental impact assessment and response tools of NOAA. (A. Environmental response management application, B. Environmental sensitivity index map, C. Computer-aided management or emergency operation) (<https://response.restoration.noaa.gov/>).

출로 인한 위험-위해성과 영향 추정 및 평가, 모델 간 연결 및 표출을 위한 연구가 수행되었다.

유류 및 화학물질 유출 사고의 해양환경 영향평가를 위해 3-D 모델을 통해 유해 물질의 거동을 표현(Reed and Rye[1995])하였으며, 화학물질의 유출 모델을 통해 거동 및 생태학적 위험도를 추정(McCay *et al.*[2006])하였다. Rosenbaum *et al.*[2008]에서는 다양한 모델을 비교하여 가장 효과적인 거동-노출-영향 모델을 개발하기 위하여 세 가지 독성 모델을 선정해 각각의 이점을 결합해 하나의 모델을 개발하였다. 미분방정식 기반의 생태계 모델을 사용하여 생태학적 시나리오에 따른 수생태계의 영향을 추정(De Laender *et al.*[2015])하고 화학물질의 거동과 생태학적 위험도를 추정 및 초기환경 위해성을 평가(Kim *et al.*[2019])하는 연구가 이루어졌다. 영향평가 방법론과 관련하여, HNS의 영향이 클 것으로 예상되는 이탈리아 전 지역의 335개 해안에서 GIS DB를 활용하여 위험성 지표(Risk Hazardous Noxious Substances, RHNS)를 도출함으로써 HNS 위험성 영향평가(Garcia *et al.*[2013])를 하는 등 국내에 비하여 폭넓은 연구가 진행되었다.

이와 더불어 HNS 해양환경 영향평가 도구와 모델이 개발되었으며 대표적인 사례는 미국의 CAMEO(Computer-Aided Management of Emergency Operations), NRDA(Natural Resource Damage Assessment)와 EU의 MARINER platform이다(Fig. 1, Fig. 2). 미국의 EPA와 NOAA에서 개발한 CAMEO software suite는 저장 및 운반되는 화학 위험물질의 유출에 대한 영향 평가를 위해 개발된 시스템으로 화학물질 데이터를 관리(CAMEO data manager), 유해화학물질 관련 정보를 구축(CAMEO chemical)하며, 확산 및 영향에 관한 도구로써 대기 확산 및 이동 추정도구(ALOHA)와 맵핑도구(MARPLOT)를 제공한다. 또한 해양 환경 영향을 예측하고 천연자원 손상 평가를 수행하는 도구를 개발하였다. NRDA에서는 웹 기반 지형학적 정보 시스템(Environmental Response Management Application, ERMA)을 사용하여 환경 민감성 지수지도(ESI maps)와 선박의 위치, 날씨, 해류와 같은 정적 및 실시간 자료를 통합하여 제공한다. 그리고, 온라인 데이터 웨어하우스(Data warehouse)인 자료 통합, 가시화 및 조사

보고 시스템(Data Integration Visualization Exploration and Reporting, DIVER)을 통해 NRDA 평가와 관련된 자료를 수집, 통합 및 배포한다. 이 도구들은 공중 보건, 안전, 보호 목적과 비상계획 수립 및 대응에 활용되고 있다(NOAA[2022]).

EU에서 개발한 MARINER platform은 HNS 물질 정보, 유출시 대응체계, 유출 거동 특성 모델링, 정책 결정자 및 대응자들을 위한 교육 등을 웹페이지를 통해 지원한다. 120가지의 HNS를 물리·화학적 특징, 거동, 생태독성, 유해성 등에 따라 분류하여 관리한다(HNS-MS[2022]). EU의 beAWARE project를 통해 영향평가 방법론 및 기반 데이터를 구축하였다. 26가지 서식지, 12가지 생물종, 4가지 보호구역, 15가지 사회·경제적 평가요인을 채택하여 공간자료를 수집하고 시·공간별로 각각의 평가요인에 점수를 부여하여 지도에 나타내었다. 점수의 배분(부여 방법)은 기질, 노출도, 지속성 등을 고려하였으며 분야별(서식지, 생물종, 보호구역, 사회·경제)로 취약성 지도를 작성하였다. 각각의 분야별 취약성 지도를 통합하기 위해 등급화 및 가중치를 적용하여 통합적인 취약성 지도를 완성하였다. 본 연구에서는 우리나라 환경에 맞는 평가요인을 설정하고 위의 방법론을 대입하여 실효성 있는 평가방법론의 방향성을 제시하기 위해, 서식지, 종, 보호구역과 같은 해양환경 요인과 사회·경제적 요인을 모두 고려한 MARINER platform의 방법론을 활용하고자 한다.

3. 방법론

3.1 연구해역

광양항은 해양 항만물류 측면 및 국가균형발전 측면으로 국가와 지역경제에 큰 기여가 기대되는 무역항으로 해양산업 및 연관 산업이 집적되어있는 해양산업 클러스터이다(Kim *et al.*[2015b]; Kim *et al.*[2018b]). 광양항의 해운 항만산업의 경제효과 산출액은 8,333억 원(2007년 기준)으로 우리나라 전체 해운 물동량의 17.85%(2008년 기준)를 차지하고 있다. 광양항의 컨테이너 처리실적은 2억 321만 여 TEU로 인천항 다음으로 전국에서 두 번째로 높은 처리실적을 보

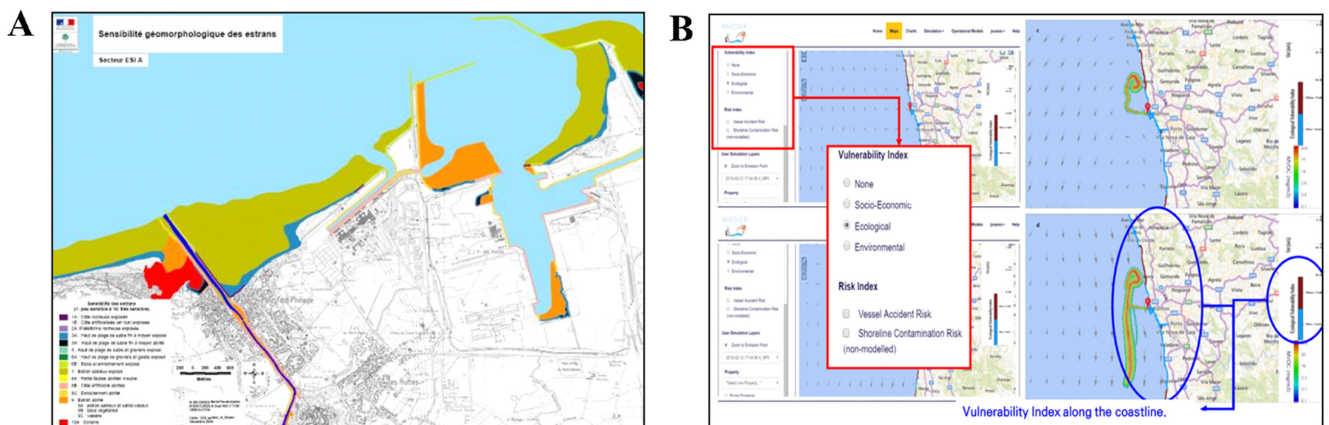


Fig. 2. Environmental impact assessment and response tools of EU (A. Environmental sensitivity index maps, B. MARINER platform) (Soares *et al.*[2020]; <http://mariner.actionmodulers.com/index.shtml>).

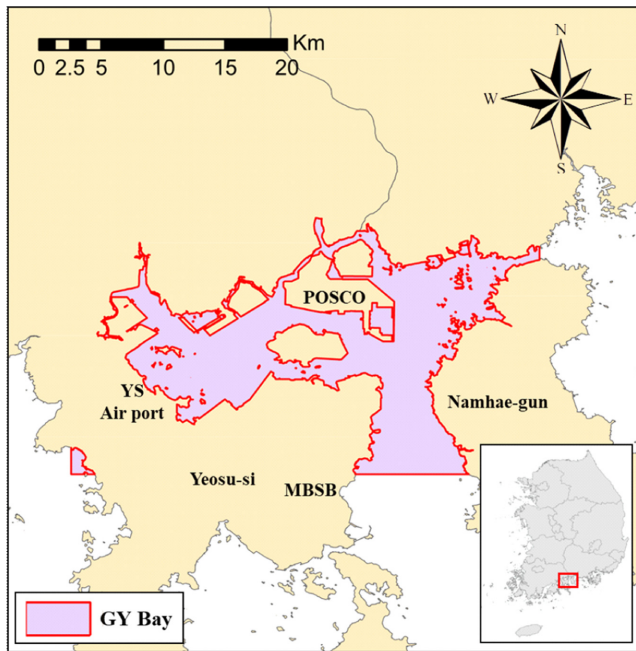


Fig. 3. Gwangyang Bay, the Yeosu industrial cluster (YS Air port, Yeosu airport, MBSB, Manseongni black sand beach).

이는 등 해운 항만산업의 경제적 효과가 큰 항만으로 유해 물질의 배출 가능성도 큰 해역이다(Joo *et al.*[2009]).

1997년부터 컨테이너 부두를 운영 중인 광양항은 3,880,000 m²의 배후단지가 운영 중이며, 9,046,604 m²의 면적이 자유무역단지로 지정되어 있어 제조, 물류, 유통 및 무역 활동이 활발한 지역이다. 복합물류 및 제조시설, 업무 편의시설 등이 위치한 종합물류단지로서 여객선 터미널, 물류센터, 냉동·냉장창고, 위험물창고 등 위험·유해 물질의 상시 배출로 인한 오염의 가능성이 존재한다(YGPA[2022]). 2019년 기준으로 전남의 화학물질 배출량은 3,846 ton/yr로 광역지자체별 순위에서 6위에 해당하며, 여수국가산단의 배출량은 1,215 ton/yr로 조사되었다(NICS[2022]). 따라서 본 연구에서는 유해화학 물질의 배출이 많은 광양만을 연구해역으로 선정하고 공간자료를 구축하여 취약성 지도를 작성하였다(Fig. 3).

3.2 공간분석방법

해양산업시설이 밀집되어있는 광양만을 중심으로 사회환경 분야와 법정보호지역 분야로 구분하여, 공간분석을 수행하고자 한다. 각 분야에 대한 자료를 수집하여 DB를 구축하고, 각 평가요인에 계절 및 공간역별 점수를 부여하여 합수 생성 및 지수화를 통해 취약성 지도를 작성하였다. 취약성 지도의 작성 방법은 노출도와 지속성 등을 고려하여 서식지, 생물종, 보호구역, 사회환경적 특징에 대한 평가 요인을 공간(표층, 수층, 저층, 대기) 및 계절별(봄, 여름, 가을, 겨울)로 점수화 및 취약성 지도를 도출한 MARINER platform에서 사용한 방법론을 활용하였으며, 구체적인 방법론은 아래와 같다.

Table 1. Features of protected areas from the MARINER platform

Presence of the protected areas (0 or 1)	Ranking
Ramsar	RamsarR
Nat2000	Nat2000R
Ospar	OsparR
W_herita	W_heritaR

Table 2. Scoring of protected areas features in the MARINER platform

Final score	
Protect_aR	(Ramsar*RamsarR) + (Nat2000*Nat2000R) + (Ospar*OsparR) + (W_herita*W_heritaR)

3.2.1 보호지역 분야

MARINER platform의 경우, 1) 유럽의 육상 및 해양의 동·식물과 조류 멸종위기종의 특별 보존 및 보호구역 네트워크인 Natura 2000 area, 2) 람사르 협약으로 지정된 해양, 연안습지, 내륙 습지, 인공 습지로 구성된 RAMSAR Convention areas, 3) North eastern Atlantic의 생물종, 서식지, 생태학적 과정을 보호하기 위한 해양환경 보호구역인 OSPAR Convention areas, 4) 문화유산, 자연유산, 복합유산으로 구성된 유네스코에서 지정한 World heritage sites와 같은 네 가지 보호지역을 평가요인으로 설정하였다(Table 1). 각각의 평가요인을 표층, 수층, 저층, 대기의 공간역으로 구분하고 계절별로 1~4점의 점수 중 취약도에 따라 점수를 배분하였다. 보호지역의 경우에는 모든 평가요인의 취약도를 동일하게 판단하여 최고 점수인 4점으로 일괄 부여하였다. 그리고 보호지역 분야가 중첩되는 영역의 경우에는 합산된 점수가 부여되어 취약성 지도가 작성되었다(Table 2).

3.2.2 사회환경 분야

MARINER platform의 경우, 사회·경제 분야의 평가요인을 크게 1) Fisheries, 2) Aquaculture, 3) Coastal tourism, 4) Ports, marinas and cruise liner stops, 5) others 분류군으로 나누었다. 어업 분야는 근해어업 및 연안어업으로 구분하였고 양식 분야는 어류양식, 이매 패류 양식, 조류양식으로 분간하였다. 연안 관광은 관광호텔, 해수욕장, 주요 낚시지점으로 구별하였으며, 항만 분야는 항만, 마리나, 크루즈 정박지를 담고 있다. 마지막으로 기타 분류군에는 유산지역, 인구 밀집 지역, 광물 채취지점, 해상풍력단지, 취수구가 포함되었다(Table 3).

사회·경제 분야의 평가요인은 총 16개이며 각각의 평가요인에 대한 점수는 표층, 수층, 저층, 대기의 공간역과 계절별로 구분하여 1~4점 중 취약도에 따라 다르게 할당되었다. 그리고 다수의 평가요인이 중복되는 영역에 대해서는 합산된 점수가 부여되었다(Table 4).

MARINER platform에서 활용한 방법론을 차용하여 광양만의 취약성 지도를 도출하고자 공간자료를 수집하였다. 연구해역을 기준으로 polygon을 생성하였으며, 구축된 공간정보 DB는 내륙에 해당하는 부분을 제외하고 최종적으로 해양 공간역의 polygon을 추출하는 방식으로 진행하였다.

Table 3. Socio-economic features from the MARINER platform

Socio-economic features	Fisheries	Offshore fisheries Coastal fisheries
	Aquaculture	Fish farms Shellfish cultures Algae cultures
	Coastal tourism	Overnight stays coastal tourist hotels Amenity beaches Main recreational fishing locations
	Ports, marinas and cruise liner stops	Ports Marinas Cruise liner stops
	Other	Heritage sites Densely populated towns and communities Mineral extraction sites Offshore wind farms Water intakes

Table 4. Scoring of socio-economic features field in the MARINER platform

Final score	
Socio-ecoR	$(Fisheries * FisheriesR) + (Fishfarms * FishfarmsR) + (Shellfish * ShellfishR) + (Algae * AlgaeR) + (Am_beach * Am_beachR) + (Marinas * MarinasR) + (Tou_stays * Tou_staysR) + (Dens_pop * Dens_popR) + (Rec_fish * Rec_fishR) + (Cruise_li * Cruise_liR) + (Heritage * HeritageR) + (Ports * PortsR) + (Mineral * MineralR) + (Windrarms * WindrarmsR) + (Wa_inlets * Wa_inletsR)$

보호지역 및 사회환경 분야의 취약성 점수 산정을 위하여 연산 과정을 거쳤으며, 격자 단위는 0.001°(WGS[1984])로 정의하여 raster를 생성하였다. 메타데이터의 경우 명칭, 자료설명, 발행일자, 발행기관, 출처, 좌표계, 데이터 포맷, 구축 단위, 데이터 공간 및 시간 범위 등 공간정보의 특성을 반영하여 필수적인 정보를 포함하도록 정리하였다.

4. 결 과

광양만의 보호지역과 사회환경 분야의 취약성 평가 지도를 작성하기 위하여 분야별 평가요인 항목을 설정하였다. 평가요인은 MARINER platform에서 적용한 항목과 유사한 항목으로 정하고 해당하는 공간정보 자료를 수집하였다. 항목별 점수 부여 방법은 MARINER platform에서 적용한 점수체계를 기본적으로 활용하였다.

4.1 보호지역 분야

국내의 육·해상 보호지역의 면적은 총 40,158.7 km²으로 자연공원법, 야생생물 보호 및 관리에 관한 법률, 해양환경관리법, 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률, 문화재보호법 등의 근거 법률에 따라 자연공원, 야생생물 보호구역, 습지보호지역·갯벌, 해양보호구역 등의 보호지역으로 지정되었다(KDPA[2022]). 13가지의 관계 법령에 근거하여 지정된 26여 가지의 보호지역은 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)을 중심으로 개발된 보호지역 정의와 카테고리에 해당하며 국제적으로 보호지역으로써 인정받고 있다(Kim *et al.*[2017]). 이처럼 국제적

으로 인정받는 보호지역과 국내 법령에 근거한 보호지역을 활용하여 보호지역 분야의 취약성 지도를 작성하였다.

MARINER platform에서는 네 개의 보호지역을 대상으로 동일한 점수(4점)를 부과하였으나 국내에서는 다양한 보호지역이 존재하고 환경적 측면에서의 중요도가 상이할 수 있으므로 차등하여 적용할 수 있다. 2022년 1월에 환경부에서 제정한 「해상풍력발전 환경성 평가 협의 지침」에서는 해상풍력 개발로 인한 환경적 영향의 정도에 따라 보전 가치가 높아 시설 입지가 어려운 입지 회피 검토지역과 민감한 환경적 영향이 예상되는 입지 신중 검토지역으로 구분하였다. 입지 회피 검토지역은 세계유산지역, 국제적 보호구역, 습지보호구역, 해양보호구역, 자연공원, 천연보호구역, 법정보호종 집단 서식지가 포함되며, 입지 신중 검토지역에는 특정도서, 절대보전무인도서, 환경보전해역, 특별관리해역, 수산자원보호구역, 수산자원 관리 수면, 법정보호종의 주요 이동 경로가 포함된다(KEI[2021a]; KEI[2021b]).

환경부의 지침에서 구분된 입지 회피 검토지역과 입지 신중 검토지역은 전문가 자문, 이해당사자 의견 청취, 부처 간 의견조율 등을 통하여 정해진 사항으로 동 기준으로 적용하여 취약성 점수를 차등하게 부여하는 것도 가능할 것으로 판단하였다. 본 연구에서는 입지 회피 검토지역으로 분류된 보호지역에 대해서는 4점을 부과하고 입지 신중 검토지역의 경우에는 2점을 부여하였다(Table 5). MARINER platform에서 적용한 방법과 같이 보호지역에 대한 공간역(표층, 수층, 저층, 대기) 및 계절별 점수는 동일하게 적용하였다.

광양만 해역을 중심으로 다양한 법정보호지역에 대한 공간자료를 수집하여 분류하였으며, 보호지역의 경우에는 공간역 및 계절별 점

Table 5. Ranking matrices of protected areas

No	Protected areas	Surface/Column/ Sea bed/Air
		SP/SM/AT/WT
1	Getbol, Korean tidal flats (heritage area & buffer zone)	4
2	Korea national park	4
3	Country park	4
4	Provincial park	4
5	Ramsar wetland	4
6	Wetland protection area	4
7	Natural monument protected area	4
8	Seascape protected area	4
9	Marine organism protection area	4
10	Marine ecosystem protected area	4
11	Fishery resource protected area	2
12	Specific management area	2
13	Environmental preservation	2

*SP: spring, SM: summer, AT: autumn, WT: winter

Table 6. Rates of scores in protected areas vulnerability map (%)

Scores	Surface/Column/Sea bed/Air
	SP/SM/AT/WT
1	0.0
2	91.5
3	0.0
4	6.9
5	0.0
6	1.5
7	0.0
8	0.0
9	0.0
10	0.0
11	0.0
12	0.0

*SP: spring, SM: summer, AT: autumn, WT: winter

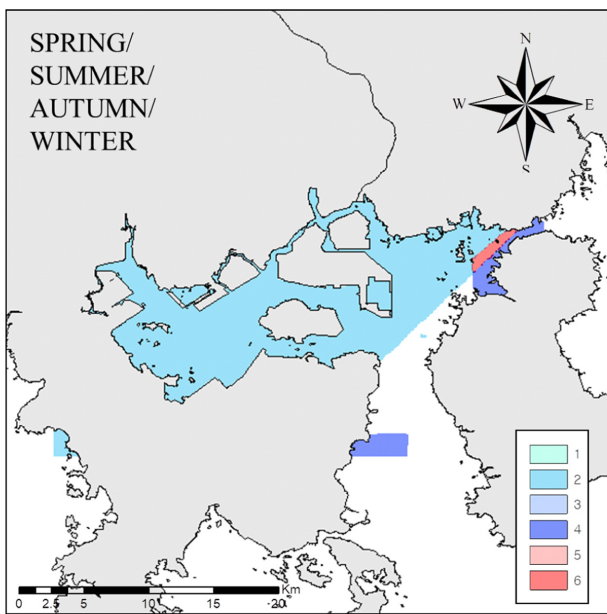


Fig. 4. Seasonal vulnerability map of protected areas in the water surface, water column, sea bed and air.

수를 동일하게 부여하였기 때문에 하나의 취약성 지도가 생성되었다(Fig. 4).

수평적인 점수의 분포를 살펴보았을 때 2점에서 6점 사이로 나타났다. 광양항 서 측 배후단지, 포스코 광양제철소 등 산업클러스터와 여수공항, 허치슨 포트 광양, 광양항 국제 여객터미널 등 항공 및 여객 터미널과 같은 경제활동 지역이 위치한 광양만 내는 특별관리해역(신중 검토지역)에 해당하며 비교적 낮은 2점으로 나타났다.

개구리 섬, 큰목 섬, 작은목 섬 등이 위치한 설천면 일대의 동북의 연안 지역의 경우, 4점에 해당하는 지역은 회피 검토지역인 국립공

원에 해당하며, 6점의 높은 점수 분포는 국립공원(회피 검토지역), 특별관리해역(신중 검토지역)이 위치하여 이와 같은 값을 보였다. 4점인 남측지역은 만성리 검은 모래 해변으로 국립공원(회피 검토지역)이며, 광양항에 해당하지 않는 2점에 해당하는 서 측 해역은 수산자원보호구역(신중 검토지역)에 해당한다. 표층, 수중, 저층 및 대기 중에서 보호지역 분야의 취약도 분포는 90% 이상이 2점을 보이고 있으며, 그다음으로 4점이 약 7%를 차지한다. 약 2%의 비율로 가장 높은 취약도인 6점을 보였다(Table 6).

4.2 사회환경 분야

사회환경 분야의 평가요인은 MARINER platform에서 이용된 항목과 가급적 유사한 항목으로 선정하였다. 어업 분야의 경우에는 어장정보도, 조업 구역의 정보를 활용하였으며, 양식 분야에서는 양식장, 해조류, 바다목장 지역을 포함하였다. 연안 관광 분야에는 경관도로, 여촌 체험 마을, 산책로, 해수욕장, 주요 낚시터의 공간 자료를 적용하였다. 항만 분야는 국가 어항, 연안항만 구역, 어촌 어항, 소형선용 항만의 공간역을 이용하였다. 마지막으로 기타 분야에서는 유산지역, 해상풍력단지, 취수해역을 고려하였다. 각각의 평가요인에 적용한 공간역 및 계절별 취약성 점수는 MARINER platform에서 이용된 점수를 그대로 차용하였다. 다만, 양식장 부분은 수산 동물에 대한 자료 구분의 어려움으로 이때패류 양식장과 어류 양식장의 평균값을 사용하였다(Table 7).

평가요인별 점수를 살펴보면, 어업구역 및 양식장과 같이 수산업과 관련된 항목은 해양 공간역 전반에 걸쳐서 높은 점수가 부여되었다. 해수욕장과 같은 시설은 계절적으로 점수의 변동이 있으며 여름철에 가장 높은 점수가 부여되었다. 해수욕장과 더불어 낚시터와 같이 유락 시설의 경우에는 해양공간역보다 가시 권역인 대기 공간역에 높은 점수가 할당되었다. 평가요인별로 시·공간적인 점수가 중요도에 따라 차등으로 분배되었으며 해상풍력과 같은 평가요인은 시·공간역별로 최저점수가 부여되었다.

표층과 수중의 취약성 지도를 살펴보았을 때, 표층은 2점부터 10

Table 7. Ranking matrices of socio-environmental features

No	Socio-environmental features	Surface				Column				Sea bed				Air			
		SP	SM	AT	WT	SP	SM	AT	WT	SP	SM	AT	WT	SP	SM	AT	WT
1	Coastal fisheries (fishery information map, high-density fishing areas)	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	2	2	2	2
2	Fish farms and shellfish cultures	3	3	3	3	3	3	3	3	**2	**2	**2	**2	2	2	2	2
3	Algae cultures	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	2	3	4	3	2
4	Overnight stays coastal tourist hotels (scenic route, ecological tourism program in marine village, Pedestrian path)	2	3	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	3	3	2
5	Amenity beaches	3	4	3	2	2	3	2	1	3	4	3	2	4	4	4	3
6	Main recreational fishing locations	3	4	3	2	3	3	2	2	3	4	3	2	4	4	4	3
7	Ports (coastal port area, fishing village fishing port, national fishing harbour)	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
8	Marinas	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	2
9	Cruise liner stops (ports for small vessels)	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2
10	Heritage site (Korean Getbol)	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4
11	Offshore wind farms	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	Water intakes	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1

*SP: spring, SM: summer, AT: autumn, WT: winter
 **2: Mean of fish farm's and shellfish farm's score((3+1)/2)

Table 8. Rates of scores in socio-environmental features vulnerability map (%)

Scores	Surface				Column				Sea bed				Air			
	SP	SM	AT	WT	SP	SM	AT	WT	SP	SM	AT	WT	SP	SM	AT	WT
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	64.7	24.1	24.1	24.1	88.5
3	88.5	88.3	88.5	88.3	88.4	88.4	88.3	88.3	64.5	0.0	64.5	0.0	64.4	0.0	64.4	0.1
4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	23.8	88.3	23.8	23.9	2.8	67.1	2.8	11.2
5	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	8.5	0.0	8.5	0.2
6	11.2	11.1	11.2	11.1	11.2	11.2	11.1	11.1	2.7	2.6	2.7	11.1	0.1	8.5	0.1	0.0
7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	8.5	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

*SP: spring, SM: summer, AT: autumn, WT: winter

점, 수중은 1점에서 9점의 분포를 보이며 계절별 변동을 보이지 않았다. 표층과 수중에서 사회환경적 취약도는 88% 이상이 3점을 보이고 있으며, 그다음으로 6점이 11%를 차지한다(Table 8). 광양항 동 측 지역은 연안어업(coastal fisheries)으로 취약도 3점이 부여되었다. 6점으로 높은 점수를 보이는 곳은 설천면 및 고현면 인근의 해역으로 연안어업 및 양식장 지역에 해당한다. 남측의 넓은 해역의 취약도 3점을 보이는 곳은 해조류 서식지이며, 동 지역에서 상대적으로 적은 면적이면서 중앙에 있는 일부 지역은 선상 낚시 포인트로 높은 취약도를 보인다. 모사금 해수욕장, 신덕해수욕장, 서상항, 구미동 해변 등이 위치하는 해안과 밀접한 해역은 해조류 서식지, 어장정보도, 해수욕장에 해당하며 비교적 높은 취약도(6점)를 보였다(Fig. 5(a,b)).

저층의 경우 1점에서 12점의 취약도 분포를 보이며 계절적 변동을 보였다. 계절적으로 보면 여름철에 높은 취약도 점수, 겨울철에는 상대적으로 낮은 점수, 봄과 가을철에는 비슷한 양상이 관찰된다. 여름철에 최고점수는 12점으로 겨울의 최고 점수인 10점에 비하여

높은 취약도를 보였다. 광양항 동 측 지역의 경우, 4점은 연안어업, 6점은 연안어업 및 양식장에 해당한다. 남측 지역의 경우, 3점은 해조류 양식장, 해안에 인접한 비교적 높은 7점은 해수욕장, 어업 지역, 해조류 양식장에 해당한다. 중간의 높은 점수인 6점은 해조류 양식장 및 선상 낚시포인트가 위치하였다. 계절별로 차이를 보이는 이유는 여름철에는 해조류 양식장, 해수욕장과 낚시 포인트 지점에 최고 점수인 4점이 부여됐지만, 겨울철에는 2점으로 가장 낮은 점수가 부여되었기 때문이다. 봄과 가을철에는 3점이 부여되고, 광양만에는 해조류 양식과 레저활동 지역이 위치하므로, 이에 따라 사회환경적 취약도는 계절적 변동을 보인다(Fig. 5(c)).

대기의 경우에도 저층과 동일하게 계절적 변동을 보이고 있으며 점수의 범위는 2점에서 10점 사이이다. 여름철에 높은 점수를 보이고 있으며, 겨울철에 낮은 점수를 보였다. 그리고 봄과 가을에 유사한 점수를 나타내고 있다. 동 측 지역의 경우, 어업 지역의 경우 2점, 어업 지역 및 양식장의 경우 4점으로 사계절 모두 같은 분포를 보였다. 하지만, 남측지역의 경우, 해조류 양식장, 어업 지역, 해수

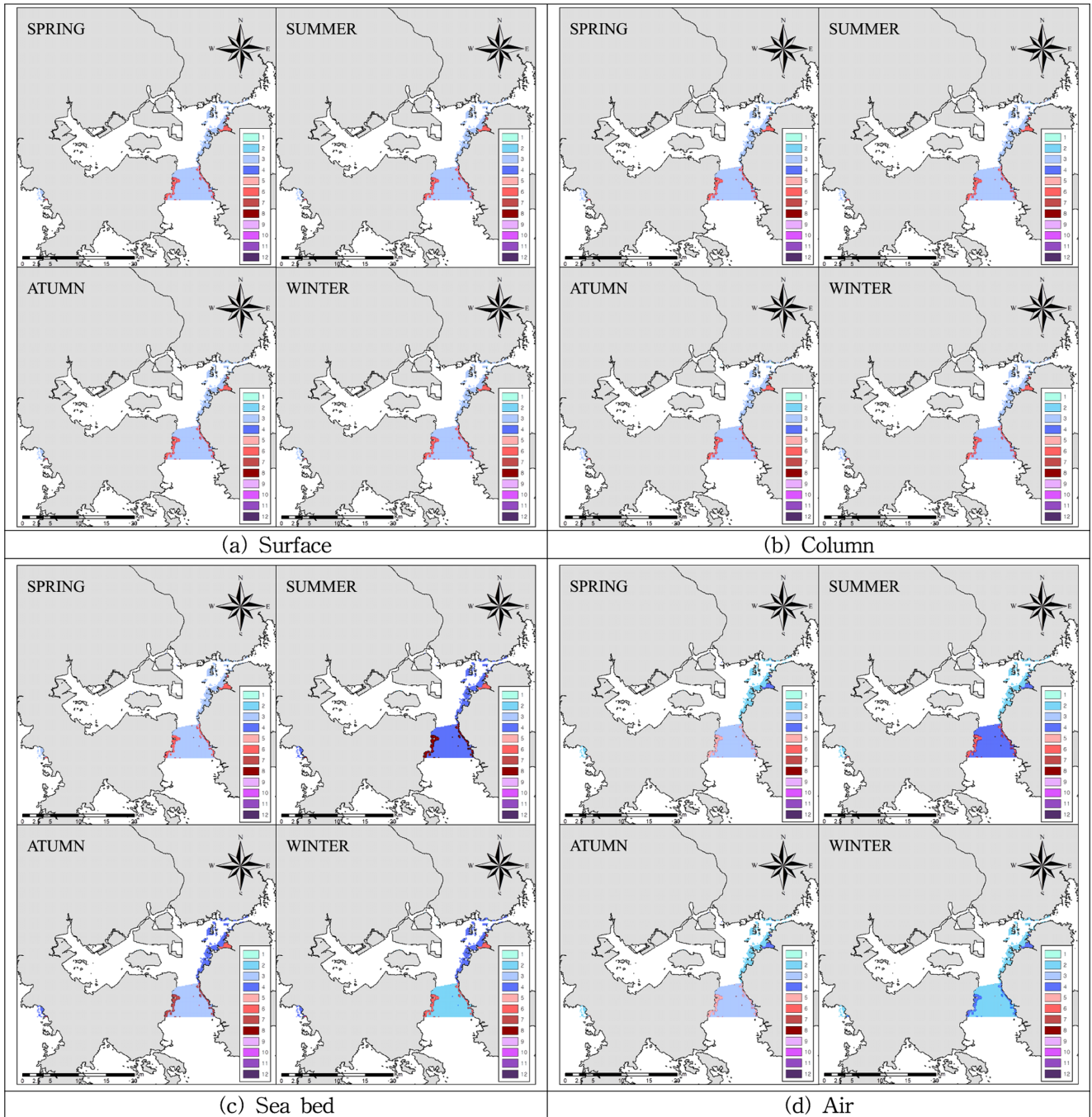


Fig. 5. Seasonal vulnerability map of socio-environmental features in the water surface, column, sea bed and air.

육장, 낚시 포인트 등 어업, 해양생물, 연안 활동으로 인해 여름철에는 대부분 지역에서 4점에서 6점 사이의 분포를 보이고, 겨울철에는 2점에서 4점의 분포를 보였다. 봄과 가을에는 2점에서 5점의 분포를 보였다. 대기에서의 취약도는 봄과 가을의 경우 3점, 2점, 5점, 4점의 순으로 높은 분포를 보였다(Fig. 5(d)).

저층에서 사회환경적 취약도의 분포는 봄과 가을철에 약 65%가 3점을 보이고 있으며, 4점이 약 24%를 차지한다. 가장 높은 점수는 7점으로 약 9%, 그다음으로 높은 점수인 6점이 약 3%를 차지하고

있다. 여름철에는 88% 이상이 4점을 보이고 있으며, 8점이 약 9%, 6점이 약 3%를 차지한다. 겨울철에는 약 65%가 가장 낮은 점수인 2점을 보이고 있으며, 가장 높은 점수인 6점이 11% 이상을 차지한다(Table 8).

대기에서 사회환경적 취약도의 분포는 봄과 가을철에 64% 이상이 3점을 보이고 있으며, 2점이 약 24%를 차지한다. 8% 이상이 가장 높은 점수인 5점, 그다음으로 높은 4점이 약 3%를 차지하고 있다. 여름철에는 67% 이상이 4점을 보이고 있으며, 그다음으로 큰 비율로

2점이 24% 이상을 차지한다. 가장 높은 점수는 6점으로 약 9%를 차지한다. 겨울철에는 88% 이상이 가장 낮은 점수인 2점을 보이고 있으며, 그다음으로 큰 비율인 11%가 4점을 차지한다(Table 8).

5. 고 찰

MARINER platform의 경우에는 보호구역과 사회환경 분야의 평가요인뿐만 아니라 수심별 및 생물의 특성별로 서식지를 나누어 평가요인을 설정하였다. 또한 조류 및 어류를 대상으로 종의 평가요인을 설정하여 계절별 및 공간별로 취약성을 평가하여 서식지, 종, 보호구역, 사회환경 분야를 통합적으로 고려하는 취약성 지도를 도출하였다. 본 연구에서는 보호지역과 사회환경적 특징에 대한 평가요인 분석 및 취약성 지도를 도출하였다. 보호지역의 경우에는 국내의 실정에 맞추어 다양한 법정보호지역을 활용하였으며, 사회환경 분야도 가용한 공간 자료를 활용하여 취약성 지도를 작성하였다. 하지만 해양 및 사회환경의 종합적 취약성 지도의 작성 및 해양환경 영향평가가 이루어지기 위해서는 종과 서식지에 대한 취약도 분석 및 지도 구축이 필요할 것으로 판단된다.

연구해역을 광양만으로 설정하여 취약성 지도를 작성하였으나 공간적 취약성 정도를 상호비교하기 위해서는 광양만뿐만 아니라 타 항만과 HNS를 수송하는 항로 등과 같은 연안역으로 연구 해역을 확장하는 것도 필요하다. 이와 더불어 보호지역 분야의 경우에는 국내의 특성이 반영된 다양한 공간자료를 활용하였으나 사회환경 분야의 경우에는 해외 사례를 바탕으로 평가 요인을 선정하여 국내의 특성을 반영하는 데 한계가 있었다. 따라서 이해당사자 및 전문가를 대상으로 설문조사, 심층 면담 등을 실시하여 국내 특성을 반영할 수 있는 평가요인을 발굴하여 취약성 평가에 추가하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

궁극적으로 HNS로 인한 해양환경 영향평가를 수행하기 위해서는 취약성 지도와 함께 다양한 거동을 가진 HNS의 배출 현황조사 및 물리화학적 거동의 시뮬레이션을 통하여 HNS의 공간적 분포 자료와 접목하여야 한다. 광양만뿐만 아니라 주요 항만에 대해서 HNS 배출 현황조사가 수행되고 있으며, HNS의 거동을 수치적으로 모의하는 연구도 진행 중이다. 향후 이들 연구와 상호 협력하여 연구 결과를 공유하고 HNS의 계절별 확산 범위와 취약성 지도를 접목하여 실질적인 HNS 해양환경 영향평가 방법론을 개발할 필요가 있다.

6. 결 론

해양산업시설에서 HNS 해양배출로 인한 환경영향을 평가하고 적절한 관리방안을 도출할 수 있는 방법론을 제시하였다. 국외에서 이용되는 다양한 HNS 해양환경 영향평가 도구를 검토한 후, 국내에 적용 가능한 MARINER platform의 평가방법론을 활용하였다. MARINER platform은 서식지, 종, 보호구역과 같은 해양환경 요인과 사회환경적 요인을 모두 고려하고 있다.

본 연구에서는 유해화학물질의 배출이 많은 광양만을 연구해역

으로 선정하고 사회환경 분야와 법정보호지역 분야로 구분하여 공간 자료를 구축하고 함수 생성 및 지수화를 통해 취약성 지도를 작성하였다.

법정보호지역 중에 상대적으로 중요한 세계유산지역, 국제적 보호구역, 습지보호구역, 해양보호구역, 자연공원, 천연보호구역에 높은 가중치를 부여하였으며 환경보전해역, 특별관리해역, 수산자원보호구역 등에는 낮은 가중치를 부여하였다. 광양만 내측에는 특별관리해역으로 지정되어 있었으며, 광양만 동 측해역과 남측해역에 자연공원이 있어 해당 지역에는 높은 취약도를 보였다.

사회환경적 평가에서는 어업 분야, 양식 분야, 연안관광 분야, 항만 분야, 기타 분야로 구분하여 다양한 평가인자를 적용하였으며, 공간역별(표층, 수중, 저층, 대기) 및 계절별로 취약성 지도를 산출하였다. 표층 및 수중의 경우에는 계절적 변동이 거의 없었으나, 저층 및 대기의 경우에는 계절적 변동을 보였다. 여름철에 상대적으로 취약성이 높았으며, 그 다음으로 봄철과 가을철이었고 겨울철에 취약성이 가장 낮았다. 광양만 동 측 해역에는 어장과 양식장이 있어 동 지역에 취약성이 높았으며, 남측해역에서는 해조류 양식 및 선상 낚시포인트가 위치하고 있어 해당 공간역에는 높은 취약성을 보였다. 그리고 해수욕장이 위치한 연안지역에서도 취약성이 높았다.

HNS로 인한 환경영향을 평가하기 위해서는 취약성 지도와 더불어 HNS의 시공간적 분포 자료가 요구된다. 향후 HNS 배출 현황을 고려하여 공간역 및 계절별 분포자료를 작성하고 이를 토대로 해양환경 영향평가를 수행하여 연구해역에 대한 적절한 관리방안을 마련할 수 있는 핵심 자료를 제공하는 것이 필요하다.

후 기

본 논문은 2022년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(과제번호: 20210660)의 지원을 받아 한국환경연구원이 수행한 “해양산업시설 배출 위험유해물질 영향평가 및 관리기술 개발(2022-008(R))” 사업의 연구결과로 작성되었습니다.

References

- [1] Chen, J., Kim, C.K. and Ha, C., 2019, A Study on the Improvement of National Marine Pollution Response Policy according to Change of Marine Pollution Incident Trend, J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 22(1), 57-65.
- [2] Cho, S.J., Kim, D.J. and Choi, K. S., 2013, Hazardous and Noxious Substances(HNS) Risk Assessment and Accident Prevention Measures on Domestic Marine Transportation, Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 19(2), 145-154.
- [3] Choi, J., 2002, A Comparative Study on Risk Management Systems for Hazardous and Noxious Substances at Sea, in Korea and USA, Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 8(1), 15-52.
- [4] Choi, K.H., Ha, C. and Kim, B.C., 2020, A Study on the improvement of Hazardous and Noxious Substances Accidents Response System by Sea, J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 23(3),

- 173-180.
- [5] De Laender, F., Morselli, M., Baveco, H., Van den Brink, P.J. and Di Guardo, A., 2015, Theoretically exploring direct and indirect chemical effects across ecological and exposure scenarios using mechanistic fate and effects modelling, *Environ. Int.*, 74, 181-190.
- [6] Garcia, D.A., Cumo, F., Gugliermetti, F. and Rosa, F., 2013, Hazardous and Noxious Substances (HNS) risk assessment along the Italian Coastline, *Chem. Eng. Trans.*, 32, 115-120.
- [7] HNS-MS, Decision support tools, <https://www.hns-ms.eu/>, 2022 (accessed 2022. 7. 12).
- [8] Joo, K., Park, B.I. and Bae, J.W., 2009, The Economic Effects of the Maritime Industry of Gwangyang Port, *Korean Assoc. Shipp. Logist.*, 25(2), 285-309.
- [9] Kim, G., Kong, S. J., Kim, O. S., Son, S.W. and Lee, E.J., 2017, A Strategy on Extracting Terrestrial Protected Areas of the Republic of Korea under the Convention on Biological Diversity, *J. Assco. Koran Geogr.*, 6(3), 407-423.
- [10] Kim, K., Ryu, K.H., Lee, M. and Kang, W., 2018a, A study on the necessity of strengthening HNS discharge regulation at offshore facilities and amendment of regulation law, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 37-48.
- [11] Kim, S., Jang H. and Kim, S., 2015b, Economic Impact of Gwangyang Bay Area Shipping and Port Logistic Industry on the Regional Economy : A Regional Input-Output Analysis, *J. Korea Port. Econ. Assoc.*, 31(4), 53-73.
- [12] Kim, S., Choi, Y., Kim, Y., Kim, J., Chang, G., Bae, S. and Cho, Y., 2016, Study on characteristics of specific hazardous substances in the industrial wastewater effluent, *Anal. Sci. Technol.*, 29(3), 114-125.
- [13] Kim, U.S., Choi, K.H. and Kim, H.Y., 2018b, A Study on Analysis of Maritime Industry Structure on Chungnam Province, *J. Korea Port. Econ. Assoc.*, 34(2), 1-15.
- [14] Kim, Y.R., Kim, T.W., Son, M.H., Oh, S. and Lee, M., 2015a, A Study on Prioritization of HNS Management in Korean Waters, *Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 21(6), 672-678.
- [15] Kim, Y.R., Lee, M., Jung, J.Y., Kim, T.W. and Kim, D., 2019, Initial environmental risk assessment of hazardous and noxious substances (HNS) spill accidents to mitigate its damages, *Mar. Pollut. Bull.*, 139, 205-213.
- [16] Kirby, M.F. and Law, R.J., 2010, Accidental spills at sea—Risk, impact, mitigation and the need for co-ordinated post-incident monitoring, *Mar. Pollut. Bull.*, 60(6), 797-803.
- [17] Korea Database on Protected Areas(KDPA), Area Ratio Statistics, <http://www.kdpa.kr/>, 2022 (accessed 2022. 7. 18).
- [18] Korea Environment Institute (KEI), 2021a, A study of developing Marine Environmental Impact Assessment for Offshore Wind Farm.
- [19] Korea Environment Institute (KEI), 2021b, Establishment of Environmental Geological Information to Support the Location Selection of Offshore Wind Farm.
- [20] Lee, E., Yun, J.W. and Chung, S.T., 2012, A Study on the Development of the Response Resource Model of Hazardous and Noxious Substances Based on the Risks of Marine Accidents in Korea, *J. Navig. Port. Res.*, 36(10), 857-864.
- [21] Lee, M., Park, M.O., Jung, J.Y. and Kang, Y.Q., 2017, HNS behavior modelling for atmospheric and oceanic dispersion model, in *proc. of KOSOMES Fall Meeting*, Busan, Korea, 157-157.
- [22] MARINER platform, <http://mariner.actionmodulers.com/index.shtml>, 2022 (accessed 2022. 7. 12).
- [23] McCay, D.P.F., Whittier, N., Ward, M. and Santos, C., 2006, Spill hazard evaluation for chemicals shipped in bulk using modeling, *Environ. Model. Softw.*, 21(2), 156-169.
- [24] Mok, J.Y., 2008, A study on the Marine Environment Management Act, *J. Korean Marit. Law. Assoc.*, 30(1), 255-279.
- [25] National Institute of Chemical Safety (NICS), Chemical emissions statistics, <https://icis.me.go.kr/pageLink.do>, 2022 (accessed 2022. 7. 21).
- [26] Neuparth, T., Moreira, S.M., Santos, M.M. and Reis-Henriques, M.A., 2012, Review of oil and HNS accidental spills in Europe: identifying major environmental monitoring gaps and drawing priorities, *Mar. Pollut. Bull.*, 64(6), 1085-1095.
- [27] NOAA, Office of Response and Restoration, <https://response.restoration.noaa.gov/>, 2022 (accessed 2022. 7. 12).
- [28] Park, M.O., Min, S.H., Lee, Y.J., Jeon, M.H., Kim, H.G., Chun, S.J., Lee, M.J. and Oh, S.W., 2017, Problems and solutions for HNS Database for physico-chemical properties and preparation and response information, in *proc. of KAOSTS Spring Meeting*, Busan, Korea, 164-164.
- [29] Reed, M. and Rye, H., 1995, A three-dimensional oil and chemical spill model for environmental impact assessment. *IOSC, Am. Petrol. Inst.*, 1995(1), 61-66.
- [30] Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, M.A., Jolliet, O., Juraske, R. and Hauschild, M.Z., 2008, USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 13(7), 532-546.
- [31] Singhota, G.S., 1995, IMO's role in promoting oil spill preparedness, *Spill sci. technol. bull.*, 2(4), 207-215.
- [32] Soares, J., Fernandes, R., Brito, D., Oliveira, H., Neuparth, T., Martins, I. and Santos, M.M., 2020, Environmental risk assessment of accidental marine spills: A new approach combining an online dynamic Hazardous and Noxious substances database with numerical dispersion, risk and population modelling, *Sci. Total Environ.*, 715, 136801.
- [33] UNIDO, 2021, “World Manufacturing Production” UNIDO Quarterly Report on Manufacturing 2021-Quarter2 (2021): 4-5.
- [34] Vikas, M. and Dwarkish, G.S., 2015, Coastal pollution: a review, *Aquat. Procedia*, 4, 381-388.
- [35] Wilhelmsson, D., Thompson, R.C., Holmström, K., Lindén, O. and Eriksson-Hägg, H., 2013, Marine pollution, in: Fegley, S.R.,

Managing Ocean Environments in a Changing Climate: Sustainability and Economic Perspectives, CHOICE: Current Reviews for Academic Libraries, Connecticut, 127-169.

[36] Yeosu Gwangyang Port Authority (YGPA), <https://www.ygpa.or.kr/kr/index.jsp>, 2022 (accessed 2022. 7. 21).

Received 21 September 2022

Revised 27 October 2022

Accepted 3 November 2022