

환경영향평가 향상을 위한 ICT 기반의 해양환경 분야 의사결정 알고리즘 구축 방안

Establishment Plan of ICT-Based Marine Environment Decision-Making Algorithm for Improvement of Environmental Impact Assessment

김태윤^{1,*}Taeyun Kim^{1,*}¹환경평가본부, 한국환경연구원¹Korea Environment Institute, Sejong 30147, Republic of Korea*Correspondence to Taeyun Kim
E-mail: kimty@kei.re.krReceived August 8, 2023
Revised August 22, 2023
Accepted August 28, 2023

Abstract : In this study, we analyzed the structure and impact assessment methods of strategic environmental assessments (SEA), environmental impact assessments (EIA) and small-scale EIA reports prepared from 2020 to 2022 for development projects, focusing on the marine environment field. We also classified and organized them into four categories: current status survey, impact assessment, mitigation measures and post-environmental monitoring. Moreover, by analyzing the expert review opinions contained in the EIA reports, we suggested the measures for establishing specialized decision-making support algorithms focusing on the major issues in the marine environment field - seawater exchange, coastal erosion, tidal flat reclamation, and bathymetry change. To develop an ICT-based decision-making support algorithm in the marine environment field, not only the public data provided by national agencies but also the processed-data and predictive models such as numerical models for the proper operation of the algorithm must be prepared.

Keywords : Marine environment, EIA, ICT, Decision-making, Algorithm

서론

정보통신기술(Information and Communication Technologies, ICT)은 정보와 컴퓨터기술이 인터넷과 접목되면서 글로벌 지식정보네트워크가 형성되어 급속도로 발전하였다(Chung, 1999). 국내에서는 무선 인터넷이 2000년도에 서비스가 시작된지 3년 만에 무선 인터넷 이용자가 2,000만 명을 넘었으며, 현재 전 세계 인구의 60.6%인 48억 8천만 명이 소셜 미디어(SNS)를 사용하고 있을 정도로 ICT를 통하여 방대한 자료가 지속적으로 생산되고 있다(Choi, 2003; KBS NEWS, 2023).

ICT는 물정보 통합관리시스템 개발, 스마트팜 개발, 운송장비 최적화 등 다양한 연구 및 산업 분야에 활용되고 있으며, 최근에는 탄소중립 및 탄소거래 분야에서 적용되고 있다(Hong and Jang, 2017; Yoon and Yoo, 2022; Kwon and Park, 2023). 텍스트 마이닝 기법을 통하여 환경 분야의 ICT 활용 동향 분석 결과에 따르면 최근 5년 사이에 ICT를 사용한 환경 분야 연구

가 약 2배 이상 증가하고 있으며, ‘환경일반’ 및 ‘기후’ 세부 분야에 주로 이용되고 있다. 또한 수질, 대기, 생물다양성, 해양 등의 세부 분야에서도 적용되고 있다(Park *et al.*, 2017).

플랫폼이나 최적화와 같은 상업기술 분야와 더불어 ICT는 인공지능 및 빅데이터와 접목하여 의사결정 지원시스템 분야에도 활용되고 있다(Yang *et al.*, 2000; Park and Kim, 2018; Shin and Cha, 2021). 환경부에서도 2020년부터 ICT 기반의 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발을 진행하고 있다. 동 기술개발 과제는 환경영향평가 매체별 데이터화 및 환경영향 분석기술 개발, 환경영향평가 통합 의사결정 지원모델 개발, 환경영향평가 의사결정 검토지원모델 결과의 시·공간 표출 기술개발을 포함하고 있다. 그중에서 환경영향평가 통합 의사결정 지원모델은 다수의 매체별 의사결정 지원 알고리즘을 상호연계하여 개발이 진행되고 있다(MOE, 2019).

관광지개발, 에너지사업, 항만건설 등과 같은 다양한 개발사업은 해양환경에 직·간접적으로 부정적인 영향을 미치며, 나아가 수산자원 및 생태계의 저하를 초래한다. 따라서 해양환경 분

야를 포함한 환경영향평가를 통하여 해양의 지속가능한 발전과 수산자원 및 해양환경 보전에 크게 이바지해 오고 있다. 그러나 한정된 자원에 비해 환경영향평가 업무량이 증가하고 있으며 환경영향평가서 작성의 문제점이 지속적으로 대두되고 있다(Choi *et al.*, 2019; Kim and Lee, 2021). 따라서 본 연구에서는 기존의 전략환경영향평가서, 환경영향평가서, 소규모환경영향평가서 중에 해양환경 항목을 중심으로 평가서 작성 및 영향평가 방법을 분석하고 환경영향평가 해양환경 분야의 의사결정 지원 알고리즘 구축 방안을 제시하여 향후 한정된 자원으로 실효적인 환경영향평가를 수행하여 수산자원과 해양생태계를 효과적으로 보전하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 환경부가 운영하는 환경영향평가정보지원시스템에 2020년부터 2022년까지 작성된 전략환경영향평가서, 환경영향평가서, 소규모환경영향평가서 중에 해양환경 항목을 포함한 사업을 대상으로 평가서 작성 및 영향평가 방법을 분석하였다(EIASS, 2023). 대부분의 환경영향평가서는 현황조사, 영향예측, 저감방안, 사후환경영향조사로 구성되어 있었으며, 동 연구에서도 해양환경 항목을 대상으로 위에서 언급한 4가지 구성요소로 정리하였다.

1. 현황조사

해양환경 분야에서 현황조사는 해양물리, 해양수질, 해양저질, 해양동·식물로 구분된다. 해양물리의 경우에는 조석, 파랑, 유속, 부유사, 해안선 조사, 해빈류 조사, 수심 조사 등을 포함하고 있으며, 해양수질은 수온, 염분, pH, COD, TOC, DO, SPM, 총대장균수, T-N, T-P, DIP, DIN, Chl-a, 투명도, 저층 DO 포화도, 중금속 등의 조사 결과를 제시한다. 해양저질은 입도, 함수율, 강열감량, AVS, COD, SOD, TOC, 중금속 등을 측정하고

해양동·식물은 식물/동물 플랑크톤, 어란 및 자치어, 조간대/조하대 저서생물, 해양보호생물, 해산어류, 해양보호생물 등을 조사한다(Table 1).

조사 결과는 수질평가지수(Water Quality Index, WQI), 유해화학물질 정화지수(Cleanup Index of Harmful Chemicals, CIHC), 부영양화 정화지수(Cleanup Index of Eutrophication, CIET), 농축계수(Enrichment Factor, EF), 저서건강도지수(Benthic Health Index, BHI), 저서오염지수(Benthic Pollution Index, BPI) 등과 같은 다양한 지수를 통하여 해양환경적 현황을 분석할 수 있다(Lee and Kim, 2021).

2. 영향예측

영향예측은 현황조사와 같이 해양물리, 해양수질, 해양저질, 해양동·식물 분야로 구분할 수 있으며, 추가적으로 공간역 분석도 수행한다. 공간역 분석에서는 해양보호구역 저촉 여부, 갯벌 및 해안선 훼손 여부 등이 고려될 수 있다. 해양물리에서는 조석, 파랑, 유속, 부유사 농도, 해수교환율, 침퇴적 변화, 해안선 변형을 수치모형을 통하여 환경적 영향을 예측하고 있다. 해양수질에서는 수온, 염분, DO, TOC, T-N, T-P, DIP, DIN, Chl-a 등의 변화를 수질모형을 통하여 예측하고 있다. 해양저질 분야는 해양수질과 같이 각각의 항목별로 변화양상을 파악하기에는 기술적 및 경제적 어려움이 있어 중금속과 같은 특정유해물질이 다량으로 배출되는 경우를 제외하고는 실질적인 영향예측을 수행하는데 한계가 있다. 해양동·식물 분야는 계절 및 연도별 변동성이 높으며, 대부분의 생물들이 이동을 하기 때문에 개별 사업으로 인한 영향을 예측하기에는 현실적인 어려움이 있다. 다만 해조·초류와 같은 식물에 대해서는 영향예측이 가능하나 환경영향평가 과정에서 활발히 진행되고 있지는 않다(Table 2).

3. 저감방안

저감방안은 영향예측의 결과를 토대로 환경적 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제시하고 있다. 따라서 영향예측과 동일

Table 1. Status survey in the field of marine environment in EIA reports

Category	Survey Items
Marine physics	- Tides, waves, currents, suspended sediment - Coastline, rip current, near-shore current, buoy tracking - Sedimentation
Marine water quality	- Water temperature, salinity, pH, COD, TOC, DO, SPM, T-N, T-P, DIP, DIN, Chl-a, transparency, bottom DO, heavy metal, etc.
Marine benthic quality	- Grain size, seafloor porosity, loss on ignition, AVS, COD, SOD, TOC, heavy metal, etc.
Marine biota	- Plankton, intertidal/subtidal benthic biota - Marine protection biota, fish, fish eggs and larvae, juvenile fish

Table 2. Impact assessment in the field of marine environment in EIA reports

Category	Impact assessment
Spatial analysis	- Marine protection areas, mud flat, coastline
Marine physics	- Suspended sediment, seawater exchange rate, coastline change, sedimentation, etc.
Marine water quality	- Water temperature, salinity, TOC, DO, DIP, DIN, Chl-a, etc.
Marine benthic quality	- Grain size, heavy metal, etc.
Marine biota	- Plankton, seagrass, marine protection biota

Table 3. Mitigation measures in the field of marine environment in EIA reports

Category	Mitigation measures
Spatial area conservation	- Excluding marine protection areas, mud flat and coastline
Marine physics	- Improving seawater exchange rate - Minimizing coastline change and sedimentation - Installing sediment protector curtain
Marine water quality	- Reinforcing pollutant treatment facility - Selecting an appropriate discharge point
Marine benthic quality	- Reinforcing pollutant treatment facility - Selecting an appropriate discharge point
Marine biota	- Excluding habitats for marine protection biota - Adjusting construction period

한 분류군으로 나누어 저감방안을 수립할 필요가 있다. 공간역 보호에서는 해양보호구역, 갯벌 및 해안선 훼손이 발생하지 않도록 사업구역 변경이 필요하다. 해양물리에서는 사업 시행으로 인하여 해수교환을 저하, 과도한 침퇴적 발생, 해안선 변형, 부유사 농도 증가 등의 부정적인 영향을 저감하기 위한 방안이 마련되어야 한다. 해양수질과 해양저질은 각각의 수질 및 저질 항목의 악화가 최소화될 수 있도록 사업지구에서 배출되는 오염물질의 처리시설 강화 및 적절한 배출지점 선정이 중요하다. 해양동·식물은 해양보호생물의 서식지 보전이 가장 중요하며, 생육이 활발한 시기를 피하여 사업이 진행될 수 있도록 저감방안을 마련하고 있다(Table 3).

4. 사후환경영향조사

사후환경영향조사를 통하여 사업 시행으로 인하여 주변 환경에 미치는 영향을 조사하고 그 결과를 토대로 필요시 조치를 시행하고 있다. 환경영향평가 협의과정에서 계획한 저감시설이 적절하게 설치되고 관리되는지 확인하고 오염물질 방류수질 등과 같은 협의 내용 이행 여부를 검토한다. 사업의 진행상황에 따라 해양환경에 미치는 영향이 상이하기 때문에 공사시와 운영시로 구분하여 수립한다(Table 4). 또한 현황조사에서

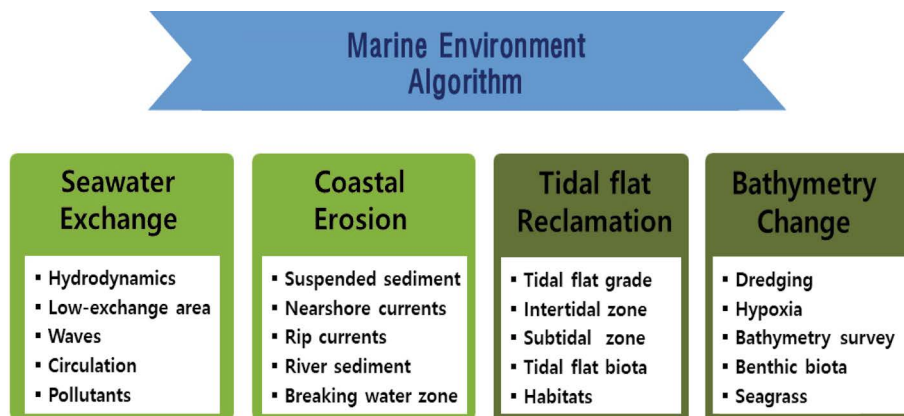
언급한 바와 같이 사후환경영향조사결과는 다양한 지수(WQI, CIHC, CIET, EF, BHI)를 활용하여 시·공간적인 환경변화를 확인할 수 있다.

결과 및 고찰

ICT 기반의 해양환경 분야 환경영향평가 의사결정 지원 알고리즘은 환경영향평가서의 기본적인 틀인 현황조사, 영향예측, 저감방안, 사후환경영향조사 순으로 작성하는 것이 필요하다. 현황조사 및 사후환경영향조사는 문헌자료 수집 및 분석, 현지조사가 주요 사항이므로 영향예측과 저감방안에 초점을 맞추어 알고리즘을 작성하고자 한다. 영향예측과 저감방안 분야는 해양에서 개발사업을 진행하면서 발생하는 주요 이슈 사항을 토대로 특성화된 알고리즘 개발이 요구된다. 본 연구에서는 환경영향평가서(본안)에 수록된 전문가가 주요 검토의견을 토대로 해양환경 분야에서 주목해야 할 이슈를 해수교환, 연안침식, 갯벌매립, 지형변화로 구분하여 알고리즘 구축 방안을 제시하였다.

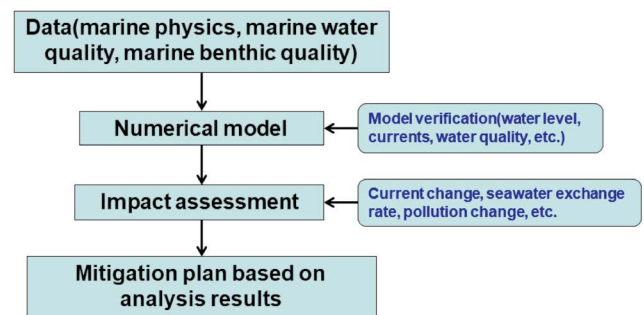
Table 4. Post-environmental monitoring in the field of marine environment in EIA reports

Category		Monitoring Items
Marine physics	Construction	- Tides, waves, currents, suspended sediment - Sediment protector curtain - Coastline, sedimentation
	Operation	- Tides, waves, currents, suspended sediment - Coastline, sedimentation
Marine water quality	Construction	- Water temperature, salinity, pH, COD, TOC, DO, SPM, T-N, T-P, DIP, DIN, Chl-a, transparency, bottom DO, heavy metal, etc.
	Operation	- Water temperature, salinity, pH, COD, TOC, DO, SPM, T-N, T-P, DIP, DIN, Chl-a, transparency, bottom DO, heavy metal, etc.
Marine benthic quality	Construction	- Grain size, seafloor porosity, loss on ignition, AVS, COD, SOD, TOC, heavy metal, etc.
	Operation	- Grain size, seafloor porosity, loss on ignition, AVS, COD, SOD, TOC, heavy metal, etc.
Marine biota	Construction	- Plankton, intertidal/subtidal benthic biota - Marine protection biota, fish, fish eggs and larvae, juvenile fish - Underwater noise
	Operation	- Plankton, intertidal/subtidal benthic biota - Marine protection biota, fish, fish eggs and larvae, juvenile fish

**Fig. 1.** Major algorithms for decision-making in the field of marine environment.

1. 해수교환

해안에 구조물이 설치될 경우에는 해수의 흐름이 변화하고 정체구역이 발생하여 수질악화를 유발한다. 따라서 해수교환에 대한 영향예측 및 저감방안 마련이 중요하다. 해수교환 알고리즘에서는 해양물리, 해양수질, 해양저질의 데이터가 주로 이용될 것이며 문헌자료 및 현장조사 자료를 토대로 해양환경의 현황을 파악하고 검증된 수치 모형을 통하여 해당 해역의 유동장, 흐름 정체, 항내 순환, 해수교환율 및 오염도 변화 등을 검토하고 저감방안을 마련하여야 한다(Fig. 2).

**Fig. 2.** Conceptual diagram of seawater exchange algorithm.

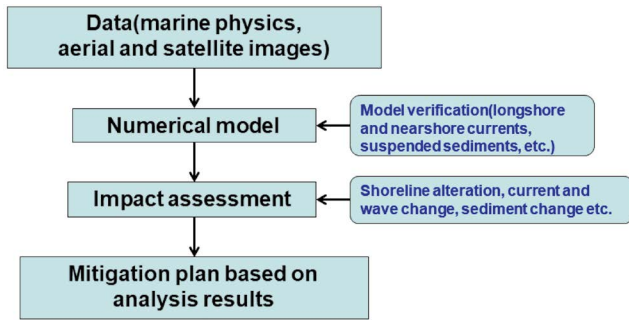


Fig. 3. Conceptual diagram of coastal erosion algorithm.

2. 연안침식

해안 구조물로 인하여 영향을 받는 중요 이슈 중에 하나는 연안침식이다. 연안침식 알고리즘에서는 해양물리 데이터가 주로 이용될 것이며, 해수교환과 마찬가지로 문헌자료 및 현장조사 자료를 토대로 환경 현황을 파악해야 한다. 연안침식은 파랑, 부유사이동, 연안류, 이안류, 하천 토사 유입, 쇄파 등이 중요한 인자이다. 연안침식 알고리즘 개발에서는 공간적 자료 및 장기간 자료도 함께 검토되어야 하므로 항공사진, 인공위성자료, 해안선 측정, Buoy 이동, 수심조사 결과도 이용된다. 또한 예측모형이 활용될 것이며 수치모형 검증을 위하여 부유사 시계열, 침·퇴적 공간적 변화도, 해안선 변화도 수행된다. 예측 모형을 통해 사업 전·중·후의 부유사 이동, 침·퇴적 변화, 해안선 변화 등을 분석하고 대안 검토를 포함하여 의사결정이 수행될 수 있는 알고리즘 개발이 요구된다(Fig. 3).

3. 갯벌매립

갯벌매립은 매립 예정지의 중요성을 판단하는 알고리즘 개발이 필요하다. 문헌조사를 통하여 갯벌 및 매립지의 현황을 우선적으로 파악하여야 한다. 해양보호구역 중첩여부, 갯벌의 훼손 면적, 해양생태계등급 등의 정보를 활용하여 갯벌의 가치를 확인할 필요가 있다. 또한 해양수산부에서는 갯벌의 이용·환경·생태·오염현황을 토대로 갯벌을 5단계 등급으로 구분하여 관리할 계획이므로 이들 자료의 활용도 가능하다(MOF, 2021). 또한 해양생물생존량, 해양보호생물 서식 여부 등에 대한 현황을 기존자료와 현지조사 자료를 이용하여 파악하여야 한다. 사업으로 인하여 갯벌지역 상실, 서식지 훼손, 해양보호생물의 서식환경 악화 등의 다양한 영향이 발생할 수 있으며, 이들 영향을 저감하기 위하여 갯벌훼손 지양, 서식지 보전, 해양보호생물 서식환경 유지 등의 대책을 마련하여야 한다(Fig. 4).

4. 지형변화

지형변화에서는 항만사업 준설로 인한 수심 변화가 주요 이

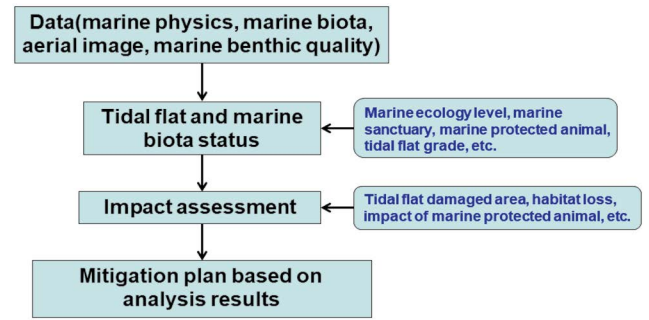


Fig. 4. Conceptual diagram of tidal flat reclamation algorithm.

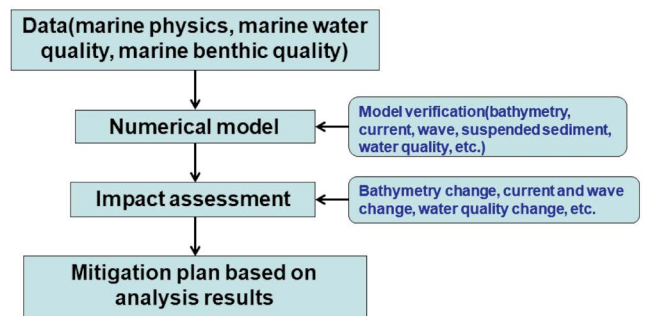


Fig. 5. Conceptual diagram of bathymetry change algorithm.

슈이며, 해저 공사로 기인하여 잘피 서식처 훼손, 저서 생태계 파괴 등의 생태계 이슈도 내재되어 있다. 또한 급격한 수심저하로 인하여 저층 저산소가 현상이 발생하여 해양생물에 부정적인 영향을 미치므로 단순한 지형변화뿐만 아니라 해저 지형의 훼손으로 인하여 발생하는 해양환경의 문제점을 전반적으로 다루는 알고리즘이 필요하다. 따라서 잘피 서식처 및 저서 생태계 훼손을 방지하기 위하여 저서환경을 파악하여야 하며, 수치모형 등을 통하여 퇴적물 거동, 수질 변화를 검토하여야 한다. 그리고 이들 분석 결과를 토대로 저감방안이 마련되어야 한다(Fig. 5).

ICT 기반의 해양환경 분야의 의사결정 지원 알고리즘은 공공데이터를 포함한 문헌자료와 조사자료를 활용하여야 하며 해양환경에 미치는 주요 이슈를 파악하기 위하여 데이터 가공도 필요하다. 이와 더불어 영향예측 및 저감방안을 마련하기 위해서는 다양한 수치모형을 활용하여야 한다. 수치모형의 경우에는 의사결정 지원 시스템에 내재화할 수 있으며, 입력과 출력 자료를 의사결정 지원 시스템에서 직접 사용할 수도 있다.

결론

항만 및 마리나 개발사업과 더불어 다양한 개발사업이 연안

에 진행되고 있으며 그로 인하여 해양오염을 유발하고 해양생태계 및 수산자원 저하를 초래한다. 개발사업에서 기인한 부정적인 해양환경적 영향을 환경영향평가를 통하여 저감하고 있으며, ICT를 활용하여 효율적으로 환경영향평가 의사결정 지원을 할 수 있다. 본 연구에서는 2020년부터 2022년까지 작성된 전략환경영향평가서, 환경영향평가서, 소규모환경영향평가서 중에 해양환경 항목을 중심으로 평가서 작성 및 영향평가 방법에 대한 분석을 수행하였으며 현황조사, 영향예측, 저감방안, 사후환경영향조사로 구분하여 정리하였다. 현황조사와 사후환경영향조사는 해양물리, 해양수질, 해양저질, 해양동·식물 분야로 나누어 조사가 진행되고 조사 결과를 분석하기 위한 다양한 지수들도 사용되었다. 영향예측 분야는 수치모델을 통하여 환경적 영향을 예측하고 있으며, 해수교환을 저하, 과도한 침퇴적 발생, 해안선 변형, 부유사 농도 증가, 해양보호생물 서식지 보전 등의 영향을 저감하기 위한 방안이 제시되고 있다. 또한 해양환경 분야에서 주목해야 할 이슈를 해수교환, 연안침식, 갯벌 매립, 지형변화로 구분하여 특성화된 해양환경 의사결정 지원 알고리즘 구축 방안을 제시하였다. 해수교환은 연안오염과 밀접한 연관이 있으며 유동장, 흐름 정체, 항내 순환, 오염도 변화 등을 예측하여 저감방안을 마련하여야 하며, 연안침식은 사업 전·중·후의 부유사 이동, 침·퇴적 변화, 해안선 변화 등을 분석하고 대안 검토를 포함하여 의사결정이 수행되어야 한다. 갯벌 매립은 갯벌지역 상실, 서식지 훼손, 해양보호생물의 서식환경 악화 등의 다양한 영향이 발생할 수 있으므로 이들 영향을 저감하기 위한 방안이 강구되어야 한다. 마지막으로 항만 준설 등으로 인하여 발생하는 지형변화는 저서생태계 훼손과 더불어 준설지역의 저산소 현상에 대한 문제점을 해결하는 것이 중요하다.

요 약

본 연구에서는 2020년부터 2022년까지 작성된 전략환경영향평가서, 환경영향평가서, 소규모환경영향평가서 중에 해양환경 항목을 중심으로 평가서 작성 및 영향평가 방법을 분석하고 현황조사, 영향예측, 저감방안, 사후환경영향조사로 구분하여 정리하였다. 또한 평가서에 수록된 전문가 검토의견을 토대로 해양환경 분야의 주요 이슈(해수교환, 연안침식, 갯벌매립, 지형변화)를 선정하고 각 이슈별로 특성화된 의사결정 지원 알고리즘의 구축 방안을 제시하였다. 그리고 ICT 기반의 해양환경 분야의 의사결정 지원 알고리즘을 개발하기 위해서는 공공 자료 이외에도 알고리즘이 적절히 구동되기 위한 현장 관측자료, 가공자료 및 수치모델과 같은 예측모형도 함께 준비되어야 한다.

사 사

본 논문은 한국환경산업기술원(과제번호: 2020002990007)의 지원을 받아 한국환경연구원이 수행한 “환경영향평가 통합 의사결정 검토 지원 모델 개발(4차년도) (2023-006 (R))” 사업의 연구 결과를 기초로 작성되었습니다.

참고 문헌

- Choi, J.G., J.H. Park and B.K. Lee, 2019. The Future of Korea's Environmental Impact Assessment System. Environmental Forum, 23(4), Korea Environment Institute, 21pp.
- Choi, Y.G., 2003. Status and prospects of mobile wireless internet in Korea. *Review of Korean Society for Internet Information*, 4(2), 10-18.
- Chung, S.J., 1999. Information and communication technology development direction. *JKICS*, 16(1), 21-29.
- EIASS, 2023. Environmental impact assessment supporting system, Ministry of Environment. Available online: <https://www.eiass.go.kr/main.do> (August 25, 2023).
- Hong, S.M. and A. Jang, 2017. The development study on the integrated management system for water information based on ICT. *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 39(12), 723-732.
- KBS NEWS, 2023. More than 60% of the world's population uses social media... Average use of 2 and a half hours. Available online: <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=7729602> (July 23, 2023).
- Kim, M.K. and S.D. Lee, 2021. Survey on the perception of stakeholders on the EIA system in Korea. *J. Environ. Impact Assess.*, 30(1), 49-60.
- Kim, S.J. and H. Yoe, 2021. Development of smart agricultural ICT convergence technology. *JKITS*, 16(6), 1369-1377.
- Kwon, S.O. and J.S. Park, 2023. ICT technologies to carbon-neutrality: trends and developments. *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 41(5), 9-18.
- Lee, E.J. and T.Y. Kim, 2021. Improvement of the environmental impact assessment and post-environment impact survey reports using marine environment assessment indices. *J. Environ. Impact Assess.*, 30(2), 61-74.
- MOE, 2019. 2020 environmental technology development project promotion plan announcement and project guide. Ministry of Environment, 271pp.
- MOF, 2021. 1st fundamental plan for tidal flat management and restoration (2021-2025). Ministry of Oceans and Fisheries, 61pp.
- Park, B.Y., K.Y. Oh, J.H. Lee, J.H. Yoon, S.K. Lee and M.J. Lee, 2017. A study on environmental research trends by information and communications technologies using text-mining technology. *Korean J. Remote Sens.*, 33(2), 189-199.
- Park, J.Y. and K.I. Kim, 2018. ICT utilization for optimization of SME

- decision making. *J. Converg. Inf. Technol.*, 8(1), 275-280.
- Shin, G.W. and Y.J. Cha, 2021. Decision support system for irrigation based on ICT technology. *Proceedings of the Korea Information and Communications Society General Academic Conference*, 25(2), 56-58.
- Yang, D.M, S.K. Kang, B.S. Kim and S.D. Kim, 2020. Development of large-scale flood risk assessment and decision-making platform for ICT-based climate change response (Final Report). Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, 182pp.
- Yoon, S.Y. and D.G. Yoo, 2022. An analysis of crane safety for optimal transportation system: Technological convergence of ICT and PLC. *e-biz*, 23(6), 201-215.