



## 연안재해 부문 기후위기 적응정보 생산 및 활용 방안 연구

마승주\* · 이화영\*\*† · 김수민\*\*\* · 지형석\*\*\* · 구본호\*\* · 서광호\*\*\*\* · 김명원\*\*\*\*\*

\*㈜지오시스템리서치 공간융합부 전임, \*\*국립해양조사원 해양과학조사연구실 연구사, \*\*\*㈜지오시스템리서치 공간융합부 선임, \*\*\*\*국립해양조사원 해양과학조사연구실장, \*\*\*\*\* ㈜지오시스템리서치 상무이사

### A study on the production and utilization of climate crisis adaptation information in a coastal disaster

Ma, Seung-Joo\* · Lee, Hwa Young\*\*† · Kim, Soo Min\*\*\* · Ji, Hyung-Seok\*\*\* · Gu, Bon-Ho\*\* · Seo, Gwang Ho\*\*\*\* and Kim, Myung Won\*\*\*\*\*

\*Engineer, Department of Spatial Convergence, GeoSystem Research Corporation, Gyeonggi, Korea  
\*\*Researcher, Ocean Research Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, KHOA, Busan, Korea  
\*\*\*Senior Engineer, Department of Spatial Convergence, GeoSystem Research Corporation, Gyeonggi, Korea  
\*\*\*\*Director, Ocean Research Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, KHOA, Busan, Korea  
\*\*\*\*\*Managing Director, Department of Spatial Convergence, GeoSystem Research Corporation, Gyeonggi, Korea

#### ABSTRACT

Climate change is accelerating, increasing the vulnerability of coastal areas to natural hazards such as typhoons, storm surges, and floods and resulting in greater losses of life and property. Addressing these challenges requires reliable climate crisis adaptation information. The Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA) has operated a coastal disaster risk assessment system based on historical data and is now developing a forward-looking framework that integrates climate change scenarios, particularly SSP5-8.5. This study reviews domestic and international cases of risk assessment under climate change, focusing on the production of adaptation information, applied methodologies, and strategies for practical use. Recent trends show a shift from hazard-centered assessments (e.g., rainfall, strong winds, waves, storm surges, and sea level rise) toward more integrated evaluations that consider exposure and vulnerability. This reflects a growing recognition that risk assessment must move beyond single forcing factors to include socio-economic dimensions. Building on these directions, the study applied future-oriented coastal disaster risk assessment to the entire coastline of South Korea. The results categorized projections into the three periods of near future (2021 - 2040), mid future (2041 - 2060), and far future (2081 - 2100) to reduce uncertainties and enhance practical utility. Practical approaches for utilizing adaptation information derived from the assessment were presented and evaluated, confirming their potential applicability. The findings suggest that improving coastal disaster risk assessment systems can strengthen governmental and municipal decision-making, enhance disaster risk reduction, and support the development of effective climate adaptation policies. These results can serve as foundational information for planning and policy formulation to better protect coastal areas in response to future climate change.

*Key words : Coastal Disaster, Risk Assessment, Climate Change, SSP Scenarios, Climate Crisis Adaptation Information*

†Corresponding author : hylee81@korea.kr (49111, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 351, Haeyang-ro, Yeongdo-gu, Busan, Korea. Tel. +82-51-400-4366)

ORCID 마승주 0009-0009-8147-2838      구본호 0000-0002-7897-4329  
이화영 0000-0002-3624-9719      서광호 0000-0001-9417-9942  
김수민 0000-0002-5676-3504      김명원 0000-0001-5274-1685  
지형석 0009-0008-5151-6070

Received: August 22, 2025 / Revised: September 15, 2025 1st, October 1, 2025 2nd / Accepted: October 13, 2025

### 1. 서론

전 세계적으로 기후변화로 인한 피해는 점점 더 심화되고 있으며 이러한 피해는 연안 지역에서 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다(Brown et al., 2014; Kim et al., 2022; Petzold and Ratter, 2015). 특히 연안에서 해수면 상승 속도는 예상보다 빠르게 진행되고 있으며, 그 결과 저지대 침수, 태풍 및 폭풍해일 발생빈도 증가, 영토손실 등의 위험이 증가하고 있다(Kim et al., 2022). 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) AR6 평가보고서에서도 모든 기후변화 시나리오에서 2021~2040년 동안 평균 기온이 1.5℃ 상승할 것으로 보고 있으며 전 지구 지표 온도 상승을 제한하더라도 해수면 상승이나 남극 빙하의 붕괴 등은 불가피할 것으로 전망하고 있다(IPCC, 2022). 이와 함께 과거와 다른 양상을 나타낸 강력한 태풍 차바(TY1618), 마이삭(TY2009), 힌남노(TY2211) 등이 부산, 창원, 거제, 울산, 포항 등 연안 도시에 큰 피해를 주었다. 이러한 기후변화가 미치는 영향이 점점 뚜렷해지면서 홍수, 태풍 등과 같은 자연재해 발생빈도가 증가하고 있으며, 향후 기후변화에 의한 연안 지역의 피해는 더욱 커질 것으로 보인다(Ha and Yu, 2023; Park, 2023). 이처럼 연안 지역은 기후변화 대응에 보다 적극적인 노력이 필요하지만, 현재까지 기후변화로 인한 국내 연안 지역의 재해위험 평가체계 마련과 대응방안 수립은 미흡한 실정이다.

국립해양조사원은 2010년부터 IPCC AR4 (IPCC, 2007) 평가보고서를 기반으로 우리나라 연안역에 대한 재해 취약성을 평가 해왔으며(KHOA, 2023) 2024년부터 IPCC AR6 (IPCC, 2022) 평가 보고서 기반 위험평가체계로 전환하여 리스크 기반의 재해위험성을 평가하고 있다(KHOA, 2024). 최근에는 연안재해 위험평가를 고도화하기 위한 연구(Lee et al., 2024)에서 침수관련 평가지표의 불확실성을 개선하기 위한 확률론적인 접근방법의 필요성을 강조하였다. 이와 함께 기후위기 적응정보 생산을 위해 남해안을 대상으로 기후변화 시나리오 기반 미래 연안재해 위험평가체계를 시범 구축하고 평가하였다(KHOA, 2024). 미래 연안재해 위험평가에서 적용한 기후변화 시나리오는 강우, 강풍, 해일, 파랑, 해수면 상승에 대한 위해성(외력)에 한정되었다. 이는 현재 노출성과 취약성에 대해 적용 가능한 미래 기후변화 시나리오의 부재와 연간 또는 국가 단위로 제공되는 시·공간적 해상도의 한계로 위험평가에 직접 활용하기에 어려운 제한사항이 존재하기 때문이다. 이러한 한계는 평가자료의 신뢰성 및 결과

활용성 측면에서 개선이 필요한 부분으로 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 기후변화를 고려한 연안재해 위험평가 관련 국내의 연구 사례를 검토하고 미래 연안재해 위험평가로 생산되는 기후위기 적응정보의 활용과 방향성을 제시하고자 한다.

### 2. 연안재해 부문 적응정보 생산 현황

#### 2.1. 연안재해 취약성평가

연안재해 취약성평가는 국립해양조사원에서 2010년부터 우리나라 연안역에 위치한 73개 기초지자체(시·군·구)를 대상으로 연안재해에 대한 취약성을 정량적으로 평가하기 위해 시작되었으며, IPCC AR4 평가보고서에서 제시한 노출(Exposure), 민감도(Sensitivity), 적응능력(Adaptive capacity)의 함수인 취약성 개념들을 기반으로 한다. 다만, 적응능력은 재해 노출 및 민감도의 부정적 영향을 저감하는 정책 및 대책으로 표현할 수 있으나, 이를 정량화하거나 노출 및 민감도에 따른 잠재적 취약성을 상쇄하는 지표로 도출하는 데 한계가 있으며, 재해 영향을 왜곡시킬 가능성이 있으므로 제외하였다. 이에 따라 취약성 평가의 프레임워크는 연안재해 노출지수(COastal Disaster exposure Index, CODI), 연안재해 민감도지수(COastal Sensitivity Index, COSI)를 통합한 연안재해 영향지수(Coastal Potential Impact Index, CPII)로 구축하였다. 이를 활용해 연안지역의 잠재적 피해 수준을 정량화하고 이 결과를 토대로 지자체별 적응·대응 방안 제시를 목적으로 하였다.

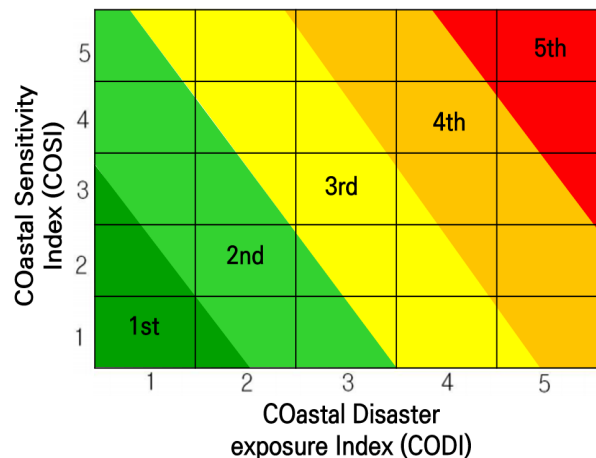


Fig. 1. Coastal Potential Impact Index classification (CPII)

연안재해 노출지수(CODI)는 태풍, 해일, 파랑, 조석, 해수면 상승과 같은 해양 자연현상이 연안의 인간 활동에 미치는 직·간접적인 잠재적 위험성을 정량화하였다. 연안재해 민감도지수(COSI)는 인명, 인간활동, 지형적 특성과 같은 자연재해 취약 요소를 반영하여 인적 민감도, 물적 민감도, 지형적 민감도로 세분화하였다. 연안재해 노출지수와 민감도지수를 기반으로 산정된 연안재해 영향지수(CPII)는 잠재적 재해 영향의 크기를 나타내며, 1등급(낮음)부터 5등급(높음)까지 총 5개 등급으로 구분된다(Fig. 1).

### 2.2. 연안재해 위험평가

IPCC는 AR5 (2014) 및 AR6 (2022) 평가보고서를 통해 취약성평가 기반 적응체계를 리스크관리 중심 체계로 전환하고 적응능력의 중요성을 강조하였다(IPCC, 2014, 2022). 연안재해 취약성평가는 IPCC AR4 평가보고서 기반 취약성 개념틀로 평가체계가 구축되었으나 재해 발생 가능성 개념 부재, 지자체의 적응능력 요소를 반영하지 못하는 한계가 있었다. 또한 위해성(외력) 평가에서 과거

약 30년간의 자료를 활용한 상대평가로 발생확률에 대한 고려가 부족하였으며, 이로 인해 평가결과는 과대 또는 과소 평가될 가능성이 있었다. 반면 연안재해 위험평가는 IPCC AR6 평가보고서에서 제시한 위해성(Hazard), 노출성(Exposure), 취약성(Vulnerability)과 적응·대응성(Adaptation·Response)을 포함하는 기후 리스크(Risk) 개념틀을 기반으로 한다. 연안재해 위험평가는 IPCC AR6에서 권장한 리스크 프레임워크를 기반으로 재해 발생 가능성과 적응능력 요소를 고려한 평가체제로 국가 및 지자체의 각종 방재 및 적응대책에 활용도를 높일 수 있는 장점이 있다.

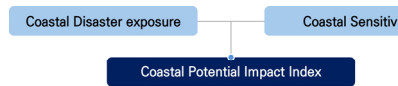
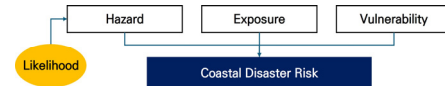
여기서 적응·대응성에 해당되는 지표들은 지자체별 위험 요인에 대한 대응 한계로 정책적으로 활용되기 어려운 측면이 존재하므로 이를 별도의 독립된 지수로 평가하지 않고 취약성 지수 내 저감요소로 통합하여 위험평가 체계를 구성하였다. 최종적으로 위해성, 노출성, 취약성의 합수로 산정된 연안재해 위험지수로 연안지역의 종합적인 재해 위험성을 정량적으로 평가한다.

위해성은 강풍, 강우, 해일, 파랑, 해수면 상승의 5개 지표, 노출성은 인구, 건물, 도로, 양식장 등의 8개 지표, 취약성은 고령인구, 위험시설물, 침수면적 등의 7개 가중요소와 대피소, 재난재해관리기금, 공무원 수 등 5개 저감요소를 포함한 12개 지표로 구성된다(KHOA, 2024). 연안재해 위험지수는 각 지표에 가중치를 부여한 후 합산하여 산출되며 1등급(안전)부터 5등급(위험)까지 5단계로 등급화된 정보로 제공된다. 각 등급별 정의 및 대응에 따른 고려사항은 Table 1에 정리하였으며, 연안재해 취약성평가와 연안재해 위험평가 체계의 주요 차이점을 Table 2에 함께 제시하였다.

Table 1. Definition of risk index by grade and considerations for countermeasures

| Grade | Definition   | Considerations for countermeasures |                     |               |
|-------|--------------|------------------------------------|---------------------|---------------|
|       |              | Likelihood of damage               | Urgency of response | Required cost |
| 1st   | Safe         | Low                                | Low                 | Low           |
| 2nd   | Mostly safe  | Mostly low                         | Mostly low          | Mostly low    |
| 3rd   | Moderate     | Moderate                           | Moderate            | Moderate      |
| 4th   | Mostly risky | Mostly high                        | Mostly high         | Mostly high   |
| 5th   | High risk    | High                               | High                | High          |

Table 2. Comparison of coastal disaster vulnerability and risk assessment

| Classification | Vulnerability assessment   | Risk assessment  |
|----------------|--|--|
| Reference      | Climate change risk concept in IPCC 4th (2007) report  | Climate change risk concept in IPCC 6th (2022) report  |
| Framework      |  <p>Vulnerability = <math>f</math>(Exposure, Sensitivity)</p> |  <p>Risk = <math>f</math>(Hazard, Exposure, Vulnerability)</p> |
| Methods        | Relative evaluation based on standardized probability scores and cumulative distributions  | Absolute evaluation based on extreme value analysis to determine occurrence probability  |
| Indicators     | 18 indicators considering exposure and sensitivity.  | 5 hazard indicators, 8 exposure indicators, and 12 vulnerability indicators.   |
| Applicability  | Used in policies related to climate change and disaster mitigation<br>Used to provide foundational data for local government planning            |  |

2.3. 미래 연안재해 위험평가

연안재해 위험평가를 기반으로 기후변화에 따른 미래 연안 지역의 위험을 평가하기 위해 기후변화 시나리오를 적용한 연구와 평가가 진행되었다(KHOA, 2024; Seo et al., 2023). 기후변화 시나리오를 고려한 미래 연안재해 위험평가는 자료의 신뢰성, 명확성, 접근 용이성을 종합적으로 고려하여 기상청과 국제 표준 기후모델링 실험인 CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project)에서 제공하는 SSP5-8.5 시나리오를 사용한다. 연안재해 위험평가 요소 중 위해성 지수를 구성하는 강풍, 강우, 해일, 파랑, 해수면 상승 지표들은 기후변화 시나리오가 직접 적용되는 외력으로 기후변화 시나리오 산출자료를 수집하여 적용된다(Table 3). 그러나 기존 위험평가 체계에 활용된 기초자료와 기후변화 시나리오 산출자료는 시·공간 해상도, 갱신 주기, 제공 범위 등의 측면에서 상이하여, 평가 결과의 일관성을 유지하는 데 한계가 있다. 예를 들면 해일 지표 선정에 필요한 해면기압과 풍향, 풍속은 시간 단위 자료가 필요하지만 기후변화 시나리오에서는 공간해상도가 1 km인 경우, 일평균 자료만 제공되고 있으며 공간해상도가 25 km인 경우, 3시간 간격의 자료를 사용할 수 있다. 이러한 사용 가능한 자료의 해상도 제한으로 공간해상도를 중요시 할 경우, 각 지표의 최댓값을 적용할 수 없기 때문에 최악의 기후변화 시나리오 자료를 사용한 평가에서 미래 위험이 과소 평가되는 문제가 있다. 이외 기후변화 시나리오 적용 범위가 위해성 외력에만 한정되고 노출·취약성의 자산가치 기반 자료는 현재 상태자료를 사용함으로써 미래에 발생 가능한 위험을 평가하는데 한계가 있다.

3. 연구 방법

기후변화 시나리오 기반 미래 연안재해 위험평가와 적응정보 활용에 대한 방향성을 수립하기 위해 국내외 관련 연구를 대상으로 다양한 데이터베이스와 검색엔진을 활용하여 선행연구를 조사하였다. 국내 연구는 국립중앙도서관과 KCI (Korean Citation Index)를 이용하고 국외 연구는 Scopus, Web of Science, Google Scholar를 통해 조사하였다. 검색 키워드는 ‘연안재해 위험평가’, ‘위험평가 프레임워크’, ‘기후변화 시나리오’ 등을 사용하였다. 선행연구 선정 기준은 IPCC AR5 평가보고서 발간 직후인 2014년 이후 발표된 연구를 대상으로 하였으며 이 중 위험평가 사례와 기후변화 시나리오를 적용한 연구사례를 포함하였다. 이에 따라 국내 2건, 국외 5건, 총 7건의 연구 사례를 선정하였으며(Table 4), 각 사례에 대하여 평가 방법론, 시나리오 적용 여부, 적용성 검토, 연구 결과에 대한 시사점 등을 기준으로 분석하고 도출된 결과를 정리하였다.

3.1. 국내 연구 사례 분석

기후변화 시나리오를 적용하여 위험평가를 수행한 국내 연구 사례를 검토하였다. 국내 연안재해 위험평가 사례는 대부분 홍수 재해에 집중되어 있는 것으로 확인되었다. 첫 번째 연구 사례(Dom. 1)는 전국 단위 홍수위험도 평가를 통해 국가 차원의 적응 대책 수립에 기여한 연구로, HadGEM3-RA 기반의 RCP 시나리오를 활용하였다. 두 번째 연구 사례(Dom. 2)는 기후변화에 대응하기 위한 홍수방어 기준을 개선하기 위해 SSP 시나리오를 적용하여 피해 예측 및 대응 전략을 수립한 연구이다. 두 가지 연구 사례에 대한 개요를 Table 5에 정리하여 제시하였다.

Table 3. Data for each indicator of hazard in coastal disaster risk assessment based on climate change scenarios

| Index  | Indicator      | Data                           | Reference  | Scenario | Resolution |          | Period      |
|--------|----------------|--------------------------------|--|----------|------------|----------|-------------|
|        |                |                                |  |          | Spatial    | Temporal |             |
| Hazard | Precipitation  | Precipitation                  | Korea Meteorological Administration (KMA)          | SSP5-8.5 | 1 km       | daily    | 2021 ~ 2100 |
|        | Wind speed     | Wind speed                     | CMIP6 HighResolution MIP                           |          | 25 km      | 3 h      | 2021 ~ 2099 |
|        | Wave           | Wind dir/x and y-vel           |  |          |            |          |             |
|        | Storm surge    | Wind dir/x and y-vel, pressure |  |          |            |          |             |
|        | Sea level rise | Sea level rise                 | Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA) |          | 6 km       | yearly   | 2021 ~ 2100 |

Table 4. List of domestic and international research

| No.                   | Research title |  | Authors                |
|-----------------------|----------------|--|------------------------|
| Domestic (Dom.)       | 1              | Development of index for flood risk assessment on national scale and future outlook  | Kim et al. (2020)      |
|                       | 2              | Analysis on the Establishment of Strategies for Flood Evaluation and Flood Defense Criteria against Climate Change (II)                        | Jeong et al. (2023)    |
| International (Intl.) | 1              | Flash Flood Risk Assessment and Driving Factors: A Case Study of the Yantanxi River Basin, Southeastern China                                  | Chen et al. (2022)     |
|                       | 2              | Potential Sea Level Rise Inundation in the Mediterranean: From Susceptibility Assessment to Risk Scenarios for Policy Action                   | Rizzo et al. (2022)    |
|                       | 3              | Seamless Projections of Global Storm Surge and Ocean waves Under a Warming Climate   | Shimura et al. (2022)  |
|                       | 4              | Coastal Hazard Risk Assessment for Small Islands: Assessing the Impact of Climate Change and Disaster Reduction Measures on Ebeye              | Giardino et al. (2018) |
|                       | 5              | Assessing the Impact of Climate and Land Use Change on Flood Vulnerability: A Machine Learning Approach in Coastal Region of Tamil Nadu, India | Abijith et al. (2025)  |

국내 1 (Dom. 1) 연구 사례에서는 과거 홍수피해액을 기반으로 평가 요소별 가중치를 산정하고 HadGEM3-RA 기반 RCP4.5 및 RCP8.5 시나리오를 적용하여 미래 홍수 위험도를 평가하였다. 위해성은 일 최대 강수량, 3일 최대 강수량, 80 mm 이상 호우일수로 세분화하여 다양한 강수 특성을 반영하였으며, 노출성은 인구 밀도와 자산 밀도 등 사회·경제적 자산 지표를 포함해 구성하였다. 이를 통해 전국 단위의 일관된 홍수위험도 평가체계를 구축하고 기후변화 시나리오를 반영한 미래 위험 전망을 제시함으로써 국가 및 지자체의 방재계획과 적응전략 수립에 활용하는 것을 목적으로 하였다. 지표 세분화 방식은 다양한 외력 패턴을 반영하여 위해성 평가의 정밀도를 향상시킬 수 있으나 지표 간 중복성과 복잡도 증가에 대한 체계적인 검토가 필수적이라 판단된다. 한편, 자산 기반 노출성 지표의 활용은 위험지역 우선순위 결정, 대응·복구 전략 수립 등 실무적 의사결정을 지원하는 기후위기 적응정보로 활용 가능하며 강우·침수 지표의 정밀도 향상을 통해 연안재해 위험평가의 정책적 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 연안지역만을 대상으로 하는 위험평가 특성상 공간 해상도의 제약으로 인해 입력자료로써 적용성이 제한될 가능성이 있다.

국내 2 (Dom. 2) 연구 사례에서는 기상청 제공 RCP 시나리오 기반 95퍼센타일 강수일수 자료와 IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis)의 SSP 시나리오 기반 인구 및 GDP 전망자료를 활용하여 격자별 공간 인벤토리를 구축하였다. 기후변화와 사회·경제적 변화를 동시에 고려한 홍수 위험평가를 통해 미래 피해액을 정량적으로 산정하고 이를 기반으로 위험성이

Table 5. Overview of domestic research

| Classification | Dom. 1   | Dom. 2   |
|----------------|--|--|
| Scenarios      | RCP4.5 / RCP8.5  | SSP1-RCP2.6 / SSP2-RCP4.5 / SSP5-RCP8.5                                |
| Framework      | Hazard, Exposure, Capacity   | Hazard, Exposure, Vulnerability  |
| Indicators     | 3 Hazard indicators, 8 Exposure indicators, 15 Capacity indicators | 3 Hazard indicators, 5 Exposure indicators, 2 Vulnerability indicators |
| Periods        | 2030, 2050, 2080   | 2021 ~ 2100  |

높은 지역을 효과적으로 선별하여 국가 및 지자체의 방재 계획, 홍수방어기준 개선, 기후변화 적응전략 수립에 활용을 목적으로 하였다. 시범지역의 연 기대 피해액 분석 결과, 환경부 제공 홍수 위험지도에 비해 위험성이 높은 지역을 효과적으로 식별할 수 있음이 확인되었다. SSP 시나리오 기반 인구 및 GDP 전망자료는 국가별 단위와 5년 주기의 시간해상도를 가지며, 연령·성별 인구 정보를 포함하고 있어 활용 가능성을 검토하였으나 공간해상도의 한계로 연안재해 위험평가 입력자료로서 적용성은 낮은 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 사회·경제 전망자료를 활용한 피해액 산정 방식은 기후변화에 따른 인구 및 자산 변화가 위험수준에 미치는 영향을 정량적으로 반영할 수 있어 향후 연안재해 대응전략 수립 시 의사결정 지원 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.2. 국외 연구 사례 분석

국외에서는 다양한 기후변화 시나리오를 기반으로 한

연안재해 관련 위험평가 및 관련 연구가 활발히 수행되고 있다. 본 연구에서 검토한 대표적인 5가지 주요 국외 연구 사례는 해수면 상승, 폭풍해일, 파고 등 복합적인 재해 요소를 고려하여 위험평가를 수행하였다. 첫 번째 연구 사례(Intl. 1)는 중국 남동부 Yantanxi 강 유역을 대상으로 기후변화 시나리오를 적용하여 홍수 위험을 평가한 연구이며 두 번째 연구 사례(Intl. 2)는 지중해 지역을 대상으로 해수면 상승에 따른 홍수 위험을 분석하여 정책 결정을 지원한 연구이다. 세 번째 연구 사례(Intl. 3)는 전 지구적 수준에서 기후변화로 인한 폭풍해일 및 파랑의 변화를 예측하고 연안 지역의 적응 및 전략 수립을 목표로 한 연구이며, 네 번째 연구 사례(Intl. 4)는 마셜제도 Ebeye 섬을 대상으로 외력에 대한 시나리오별 연안 기대손실액과 피해인구 산정을 목표로 한 연구이다. 마지막으로 다섯 번째 연구 사례(Intl. 5)는 인도 타밀나두 해안을 대상으로 머신러닝 기반 홍수취약성 지도를 제작한 연구이다. 5가지 국외 연구사례 개요를 Table 6에 정리하였다.

국외 1 (Intl. 1) 연구 사례는 중국 Yantanxi 강 유역을 대상으로 기후변화와 사회경제적 요인을 반영한 종합적 홍수 위험평가를 수행하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 RCP4.5와 RCP8.5 시나리오에서 미래 강우 패턴 변화를 분석하고 이를 SSP2와 SSP5 사회경제 시나리오와 결합하였다. 분석 결과, RCP8.5-SSP5 시나리오에서 홍수 위험이 가장 크게 증가하는 것으로 나타났으며 인구 밀도와 자산 가치의 증가로 인해 경제적 피해 규모도 크게 확대될 것으로 예측하였다. 이러한 결과는 지역 계획 수립과 홍수 제어시설 설계·보강에 활용할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있으며 나아가 정책 의사결정 및 기후변화 대응 전략 수립에 중요한 근거를 제공한다. 특히 위해성뿐 아니라 사회경제 지표를 기후변화 시나리오에 반영한

종합적인 위험평가의 중요성을 확인하였으며, 이러한 접근은 미래 홍수 위험 지도 제작, 위험지역 우선순위 결정, 방재계획 수립 등에 필요한 적응정보로 활용될 수 있음을 보여준다.

국외 2 (Intl. 2) 연구 사례는 국가 및 지자체의 중·장기 연안 적응전략과 해안 관리·정책 수립에 활용 가능한 의사결정 지원 정보 제공을 목적으로 수행되었다. 이를 위해 위성 기반 고도 자료와 IPCC 제공 해수면 상승 시나리오(RCP2.6, RCP8.5, SSP1-2.6, SSP5-8.5)를 활용하여 2050년과 2100년의 잠재적 침수 위험을 예측하였다. 위해성(민감도), 노출 및 취약성 평가를 결합하여 위험 수준을 산정하고 이를 4단계 등급(R1~R4)으로 구분하였다. 평가 결과, 2050년과 2100년 모두 SSP5-8.5 시나리오에서 SSP1-2.6 시나리오에 비해 R1(저위험), R2(중위험) 등급의 비율은 감소하고 R3(고위험), R4(초고위험) 등급의 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 이를 통해 최적, 중간, 최악의 다양한 기후변화 시나리오를 적용한 연안재해 위험평가의 타당성을 확인하였으며, 특히 평가 시점을 2050년, 2100년 등으로 구분하여 진행하였다.

국외 3 (Intl. 3) 연구 사례는 국가 및 지자체의 장·단기 연안재해 적응전략 수립과 정책적 의사결정 지원에 필요한 과학적 근거를 마련하기 위해 수행되었다. CMIP6 HighResMIP의 고해상도(25 km) MRI-AGCM3.2S 모델을 활용하여 1950년~2099년 전 지구 파랑 및 폭풍해일 변화를 연속적으로 예측하고 SSP5-8.5 시나리오 기반 highresSST 실험자료를 적용하여 기후변화에 따른 전 지구 및 지역별 파랑·폭풍해일 변화 양상을 고해상도로 분석하였다. 그 결과 서태평양과 남반구에서는 파랑과 폭풍해일이 감소한 반면, 동태평양과 동대서양에서는 증가하는 경향이 나타났으며 이러한 변화는 지역별 열대저기압

Table 6. Overview of international research

| Classification | Intl. 1   | Intl. 2  | Intl. 3                                     | Intl. 4  | Intl. 5   |
|----------------|---|--|---|--|---|
| Scenarios      | RCP4.5-SSP2, RCP8.5-SSP5  | RCP2.6, RCP8.5, SSP1-2.6, SSP5-8.5                                     | SSP5-8.5                                    | RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5   | SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5                                |
| Framework      | Hazard, Exposure, Capacity  | Hazard, Exposure, Vulnerability  | Analysis of Changes in Storm Surge and Wave | Hazard, Exposure, Vulnerability  | -   |
| Indicators     | 3 Hazard indicators, 3 Exposure indicators, 2 Capacity indicators | 3 Hazard indicators, 4 Exposure indicators, 4 Vulnerability indicators | Storm surge, Wave, Sea level rise           | 5 Hazard indicators, 2 Exposure indicators, 2 Vulnerability indicators | 12 geo-environmental factors including precipitation, LULC and others |
| Periods        | 2052 ~ 2100   | 2050, 2100   | 2015 ~ 2099                                 | 2030, 2050, 2100   | 2030, 2040, 2050  |

Table 7. Comparison of domestic and international risk assessment studies

| Classification                     | Dom. 1 | Dom. 2 | Intl. 1 | Intl. 2 | Intl. 3 | Intl. 4 | Intl. 5 |
|------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| RCP scenarios                      | ○      | ○      | ○       | ○       | ×       | ○       | ×       |
| SSP scenarios                      | ×      | ○      | ○       | ○       | ○       | ×       | ○       |
| IPCC risk framework                | ×      | ○      | ×       | ○       | ×       | ○       | ×       |
| Scenario on exposure/vulnerability | ×      | ○      | ○       | ×       | ×       | ×       | ×       |
| Focus on flood hazards             | ○      | ○      | ○       | ×       | ×       | ○       | ○       |
| Damage cost estimation             | ○      | ○      | ○       | ×       | ×       | ○       | ×       |
| Machine learning                   | ×      | ×      | ×       | ×       | ×       | ×       | ○       |

빈도 변화와 밀접한 연관성이 있는 것으로 분석되었다. 특히 한반도 주변 해역에서는 파랑과 폭풍해일이 증가하는 양상이 확인되었다. MRI-AGCM3.2S 모델 산출자료는 기압, 풍향·풍속 등 연안재해 위험평가에 필요한 핵심 자료를 고해상도로 제공하여 입력자료로서 활용성이 높으며 SSP5-8.5 기반 장기 위험 전망에 대한 신뢰성도 향상시킬 수 있다. 이러한 결과는 기후변화 시나리오에 따른 연안재해 위험 변화를 정밀하게 예측함으로써 향후 해안 관리, 방재계획, 적응정책 수립에 있어 중요한 의사결정 지원 도구로 활용될 수 있음을 보여준다.

국외 4 (Intl. 4) 연구 사례는 소규모 섬 및 저지대 연안 지역의 맞춤형 적응·방재 대책 수립을 위한 과학적 근거를 마련하고 국가 및 지역 차원의 연안 관리 정책과 재해 대응 의사결정을 지원하는 것을 목표로 수행되었다. 이를 위해 수치모형(Delft3D, XBeach)을 활용하여 마셜제도 Ebeye 섬을 대상으로 해수면 상승, 파랑, 태풍, 지진해일 등 다양한 외력에 따른 다중재해 위험을 정량적으로 평가하고 재해 저감 대책의 효과를 분석하였다. 위험성 요소는 RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 기후변화 시나리오를 적용하여 2100년까지의 해수면 상승 및 파랑 조건의 변화를 반영하였으며 이를 통해 미래 침수 및 침식 위험을 평가하였다. 노출성과 취약성은 인구, 자산 가치, 건축물 유형 등의 지표를 사용하였으나 모두 현재 시점의 값을 고정하여 평가에 적용하였고 미래 변화는 반영하지 않았다. 분석 결과, 기후변화로 인해 연간 피해액은 3~4배, 연간 피해 인구는 2배 증가할 것으로 예측되었다. 이 연구 사례의 피해 산정은 미래 외력 조건에만 기초하여 자산 및 인구 변화가 반영되지 않았으므로 미래 피해 규모가 과소 또는 과대 평가될 가능성이 있어 활용에는 다소 한계가 있다. 그러나 다중재해 위험평가 결과를 피해액 분석에 직접 연계함으로써 기후위기 적응정보로 활용할 수 있는 실효성을 확인한 중요한 사례로 평가된다.

국외 5 (Intl. 5) 연구 사례에서는 인도 타밀나두 연안 지역을 대상으로 CMIP6 기반 SSP 기후변화 시나리오와 토지이용 및 피복(Land Use and Land Cover) 변화 예측을 반영하여 미래 홍수 위험 변화를 분석하였다. 토지이용 및 피복 변화는 머신러닝 기법(Random Forest)과 경험적·통계적 기법인 다층 퍼셉트론 신경망을 활용한 Cellular Automata 기법을 적용하여 과거(2000, 2010, 2020년) 자료를 기반으로 2030, 2040, 2050년의 미래 변화를 예측하였다. 이후 SSP 시나리오 기반 CMIP6 강수량 자료와 예측된 토지이용 및 피복 자료를 포함한 12개의 환경·지형·기후자료를 입력변수로 구성하고 과거 침수 이력을 학습시켜 Random forest 기법으로 침수 가능성 점수를 산출하고 등급화하여 미래 기간별 홍수 위험지역을 예측하였다. 이 연구 결과로 기후변화와 토지이용 변화가 복합적으로 홍수 위험을 증대시킬 수 있음을 정량적으로 확인하였다. 본 연구 사례는 머신러닝 기반 분석을 통해 미래 위험지역을 공간적으로 식별하고 정책결정자와 계획 수립자에게 기후변화 대응 및 토지이용 관리전략 마련을 위한 과학적 근거를 제공한 사례로 평가된다. 이를 통해 향후 연안재해 위험평가에서 머신러닝 기반 노출성·취약성 예측치를 적용함으로써 평가 결과의 신뢰성을 높이고 국가 및 지역 맞춤형 방재정책 수립에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 적응정보 생산 및 활용 방안

기후변화로 인한 연안지역의 자연재해 위험 증가에 대응하기 위한 다양한 위험평가 관련 국내외 주요 연구 사례로 평가 요소별 특징과 차별성을 검토하였다. 특히 기후변화 시나리오 활용 및 IPCC 프레임워크 적용, 사회경제적 지표의 시나리오 반영 여부 등을 비교·분석하였다 (Table 7). 이를 통해 미래 연안재해 위험평가는 미래 평

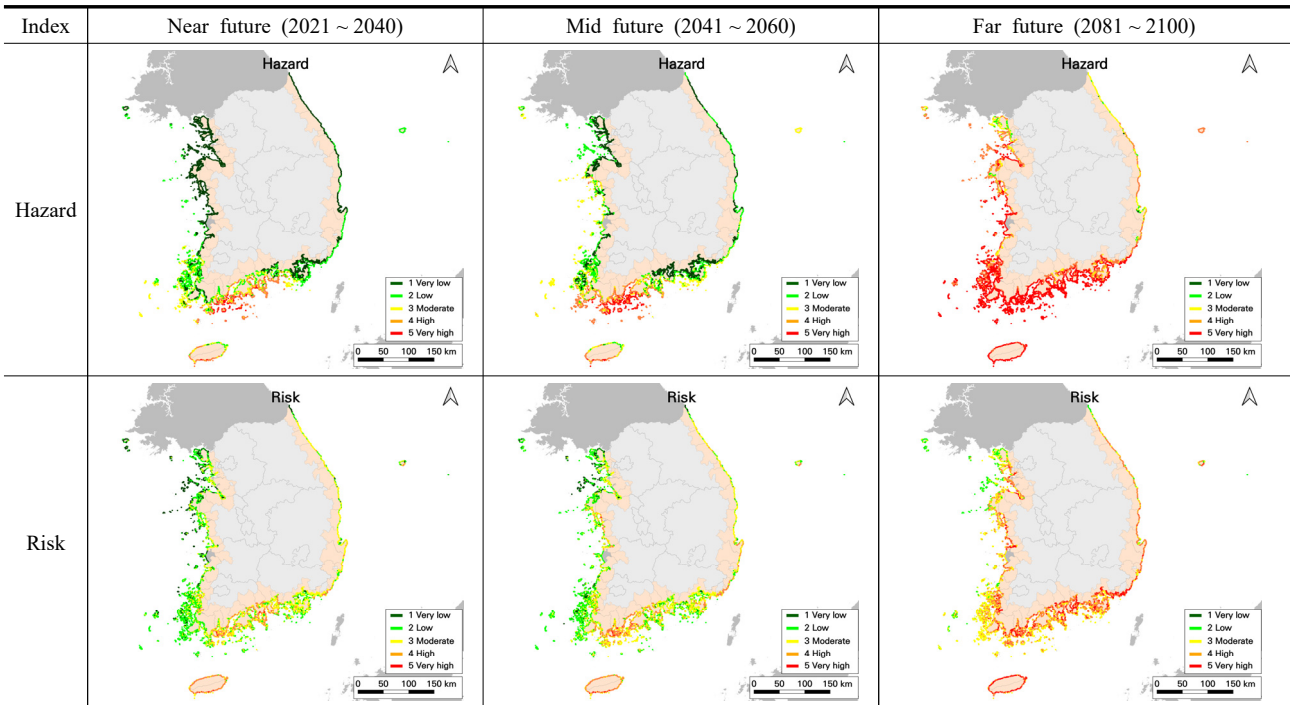
가 시점을 단계별로 구분하고 해수면 상승, 폭풍해일, 파고 등 다양한 위해성뿐만 아니라 노출성과 취약성에도 기후변화 시나리오를 반영한 다각적인 평가로 사회·경제적 변화에 대한 통합적인 고려가 필요함을 확인하였다. 기후변화 시나리오 기반 위험평가로 생산된 결과를 위험지역 지도 제작, 방재계획 수립, 적응전략 마련 등 정책 또는 계획 수립에 활용함으로써 적응정보로써 활용 가능성을 확인하였다. 본 연구에서는 이러한 도출된 결과로 기후변화 시나리오 기반 미래 연안재해 위험평가에 적용하여 적응정보 생산과 활용에 필요한 방향성을 제시하였다. 이는 향후 연안재해 위험평가 체계 고도화뿐만 아니라 정부와 지자체의 의사결정을 지원하기 위한 과학적·객관적 적응정보 생산에 중요한 토대가 될 수 있다.

4.1. 적응정보 생산

기후변화 시나리오를 활용한 미래 연안재해 위험평가는 정부 및 지자체의 기후위기 관련 계획수립 및 정책적 요구에 필요한 적응정보를 생산하기 위해 미래 특정 시점 및 기간을 명확히 정의하고 평가해야 한다. IPCC AR6 평가보고서는 2040년을 단기, 2040년 이후의 기간을 장기로 정의하고 있으며 우리나라 기상청은 미래 전반기(2021 ~

2040년) 중반기(2041 ~ 2060년) 후반기(2081 ~ 2100년)로 구분하고 있다. 본 연구에서는 앞서 분석된 선행 연구 사례와 정부 지자체의 기후적응 및 도시계획 등의 수립 주기가 5년 ~ 20년임을 고려하여 미래 연안재해 위험평가를 이용한 적응정보 생산 시점을 근미래, 중미래, 먼미래 3개로 구분하고 각 기준연도(2030, 2050, 2090년)를 중심으로 전·후 10년을 포함한 총 20년 단위로 설정하였다. 각 미래 시점별 기간은 근미래를 2021 ~ 2040년, 중미래를 2041 ~ 2060년, 먼미래를 2081 ~ 2100년으로 정의하였으며 각 미래 시점별로 연도별 최댓값을 평가 격자별로 산정하고 해당 시점별 최댓값을 가지고 연안재해 영향을 5단계(1:안전 ~ 5:위험)등급으로 구분(Table 1)한 적응정보로 생산하였다. 본 연구에서는 위해성 요소에 한정하여 IPCC SSP5-8.5 시나리오를 적용하였으며 상세한 평가 결과는 연안재해 위험평가 보고서(KHOA, 2024)에 상세히 기술되어 있으므로 위해성(hazard) 및 연안재해 위험지수(Risk)를 대표적으로 제시하였다(Table 8). 연안재해에 대한 위해성은 먼 미래로 갈수록 재해 위험이 낮은 1~2등급의 비율은 감소하고 상대적으로 높은 위험에 해당하는 4~5등급이 근미래 대비 먼미래에 71.4% 증가하였다. 미래 위해성에 대한 연안의 노출성과 취약성이 반영된 위험지수는 위해성과 같이 미래로 갈수록 1~2등급의 비율은

Table 8. Risk assessment results by future periods



감소하고 위험에 해당하는 4~5등급이 근미래 대비 먼미래에 42.0% 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 노출성과 취약성에 대한 기후변화 영향이 반영되지 않았으며 연안재해 위험지수를 결정하는 노출성(0.24), 취약성(0.33) 대비 상대적으로 가중치가 높은 위험성(0.43)이 주요한 영향으로 작용하였다. 노출성과 취약성에 대한 기후변화 시나리오를 고려할 경우, 미래 시점별 위험은 크게 증가할 것으로 판단된다.

#### 4.2. 적응정보 활용

본 연구에서는 정부 및 지자체의 기후위기 관련 계획수립 및 정책 등에 활용할 수 있도록 미래 위험평가 기간을 근미래, 중미래, 먼미래로 설정하고 연안재해 위험을 5단계 등급으로 표현한 적응정보를 생산하였다. 생산된 적응정보는 크게 거시적 관점과 미시적 관점에서 각종 정책과 대책 수립, 의사결정 등에 활용 가능하다.

거시적 관점에서 기후적응 및 재해저감대책 수립 등을 지원할 수 있도록 등급별 저감대책 수립에 필요한 요소와 등급별 적응 및 대응방안을 함께 제시하여 활용할 수 있다. 위험등급은 Table 1과 같이 안전(낮음), 다소안전(다소 낮음), 재해발생가능(보통), 재해다소위험(다소높음), 재해위험(높음)을 의미하는 5개 등급으로 구분된다. 적응정보에 대한 등급화는 재해 발생 가능성, 대책의 시급성 및 소요비용에 대해 등급별 고려 수준과 재해대응 측면을 함께 고려해야 한다. 재해 발생 가능성으로부터 안전한 1등급은 재해에 대한 이력 조사 및 관련 DB 구축, 2등급은 연안재해 발생 시 지역주민의 행동 요령과 대비요령 홍보, 교육, 재해 정보시스템 및 시설물 등에 대한 점검 및 모니터링, 3등급은 각종 기후 및 재해관련 기본계획과 종합계획 수립, 4등급은 실시계획을 수립 및 시설물 관리 및 재해위험지구, 연안침식관리구역, 붕괴위험지역을 지정하고 분야별 정비계획 수행, 재해 관련 예산 및 구호물자 확보, 5등급은 앞에 제시된 내용들에 대한 실질적인 검토로 특별재난지역 선포 등 정책 및 의사결정을 지원하는 적응정보로 활용될 수 있다.

미시적 관점에서는 연안재해 저감대책 수립을 지원하기 위한 재해 원인과 연안지역 형태를 고려한 적응 및 대응 방안에 활용될 수 있다. 미시적 적응 및 대응방안은 위해성, 노출성, 취약성, 위험성 등 위험평가로 생산된 결과를 종합적으로 분석하여 위험지역을 선별해야 한다. 여기서 위험지역은 일반적으로 연안재해 위험지수 4~5등급

에 해당된다. 1등급부터 5등급까지 각 해당 등급별 적응정보를 활용하여 위험한 연안지역을 선정하고 해당 지역의 재해원인을 위해성 지표를 토대로 적응 및 대응방안을 도출하여 지역별 맞춤형 연안재해 저감대책 수립에 활용될 수 있다.

## 5. 토의 및 결론

본 연구는 국내외 주요 위험평가 연구 사례를 검토·분석하여 기후변화 시나리오 기반 미래 연안재해 위험평가로 생산되는 적응정보 생산과 활용에 대한 방향성을 제시하였다. 대부분의 연구 사례는 홍수나 단일 재해 중심으로 이루어지고 있으며 종합적인 재해에 대한 위험평가는 현재까지 충분한 연구가 수행되지 않은 것으로 나타났다. 연구 사례 중 대다수는 위해성(외력)에 한정하여 기후변화 시나리오를 제한적으로 적용하였으며 노출성과 취약성은 통계(현황)자료를 활용하였다. 일부 연구에서는 인구·토지이용 등 사회경제 지표를 기후변화 시나리오를 기반으로 예측하거나 머신러닝 혹은 통계기법을 활용해 미래 변화를 반영하였으며, 평가시점을 특정 단일 연도로 설정할 경우, 극한 상황이나 장기적 변동성을 충분히 반영할 수 없는 것으로 나타났다. 이외 SSP 기후변화 시나리오 기반 사회·경제 전망자료와 토지이용 및 피복 변화를 반영하고 미래 자산·인구 변동이 위험 수준에 미치는 영향을 정량화하여 방재계획, 연안정비기본계획, 토지이용 관리전략 등 실무 단계에서 활용할 수 있는 기초자료로 활용 가능한 것으로 분석되었다.

이러한 분석 결과로 도출된 방향성을 우리나라 전 연안을 대상으로 미래 연안재해 위험평가에 적용하여 활용성을 검토하였다. 미래 연안재해 위험평가는 위해성뿐 아니라 노출성 및 취약성에도 미래 변화를 반영하고 평가시점을 근미래(2021~2040년), 중미래(2041~2060년), 먼미래(2081~2100년) 등 범위로 설정하여 미래 상황의 불확실성을 최소화할 필요가 있음을 확인하였다. 이와 함께 연안재해 위험평가 결과로 생산된 적응정보로 활용 가능성을 확인하였다. 등급화된 적응정보를 이용하여 적응 및 대응대책 수립을 위한 위험지역의 우선순위를 결정하는 등 정책 의사결정 단계에 직접 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

종합하면, 미래 연안재해 위험평가는 위해성 평가 중심의 접근에서 벗어나 노출성과 취약성에도 미래 변화를 반영하고 평가 시점을 근미래, 중미래, 먼미래 등의 범위로

평가하여 결과의 신뢰성과 활용성을 높이는 방향으로 발전해야 한다. 또한 자산 기반 피해액 산정, 위험지도 제작, 사회·경제 변화 전망 등을 반영하여 적응정보로써 정책·계획 수립의 활용도를 높이는 것이 중요하다. 나아가 노출성 및 취약성에 대한 기후변화 시나리오 적용, 고해상도 기초자료 구축, 머신러닝 기반 사회경제 예측을 통해 보다 정밀한 연안재해 위험평가 체계로 고도화가 필요하다. 이를 통해 국가와 지자체가 기후위기에 선제적으로 대응하고 지역 맞춤형 적응전략 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 사사

본 논문은 해양수산부 국립해양조사원 「연안재해 위험평가」사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## Reference

- Abijith D, Saravanan S, Parthasarathy KSS, Reddy NM, Niraimathi J, Bindajam AA, Mallick J, Alharbi MM, Abdo, HG. 2025. Assessing the impact of climate and land use change on flood vulnerability: A machine learning approach in coastal region of Tamil Nadu, India. *Geosci Lett* 12: 1. doi: 10.1186/s40562-025-00377-7
- Brown S, Nicholls RJ, Hanson S, Brundrit G, Dearing, JA, Dickson ME, Woodroffe CD. 2014. Shifting perspectives on coastal impacts and adaptation. *Nat Clim Change* 4(9): 752-755. doi: 10.1038/nclimate2344
- Chen L, Yan Z, Li Q, Xu Y. 2022. Flash flood risk assessment and driving factors: A case study of the Yantanxi River Basin, Southeastern China. *Int J Disaster Risk Sci* 13(2): 291-304. doi: 10.1007/s13753-022-00408-3
- Giardino A, Nederhoff K, Vousdoukas M. 2018. Coastal hazard risk assessment for small islands: assessing the impact of climate change and disaster reduction measures on Ebeye (Marshall Islands). *Reg Environ Change* 18: 2237-2248. doi: 10.1007/s10113-018-1353-3
- Ha GJ, Yu SY. 2023. A study on spatial vulnerability of coastal cities by climate change: The case of coastal cities in Gyeongsangnam-do (in Korean with English abstract). *J Climate Change Res* 14(4): 453-464. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.4.453
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. AR4 climate change 2007: Impact, adaptation and vulnerability. Geneva, Switzerland: Author.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. AR5 climate change 2014: Impact, adaptation and vulnerability. Geneva, Switzerland: Author.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. AR6 climate change 2022: Impact, adaptation and vulnerability. Geneva, Switzerland: Author.
- Jeong KC, Cho KW, Lee MH, Hwang BE, Kim SH, Yoo JH. 2023. Analysis on the establishment of strategies for flood evaluation and flood defense criteria against climate change (II). *Climate and environmental policy research*.
- KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency) 2023. Coastal disaster vulnerability (risk) assessment and maintenance. Busan, Korea: Author.
- KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency) 2024. Coastal disaster risk assessment. Busan, Korea: Author.
- Kim DH, Kim YO, Jee HW, Kang TH. 2020. Development of index for flood risk assessment on national scale and future outlook (in Korean with English abstract). *J Korea Water Resour Assoc* 53(5): 323-336. doi: 10.3741/JKWRA.2020.53.5.323
- Kim NY, Lee SH, and Park CS. 2022. Policy assessment of climate change adaptation measures using bayesian networks: Busan Metropolitan City (in Korean with English abstract). *J Climate Change Res* 13(5): 597-610. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.5.597
- Lee HY, Kim SM, Seo GH, Jeong KY, Kang TS, Kim MW. 2024. Improving indicators for coastal disaster risk assessment to produce climate change adaptation information (in Korean with English abstract). *J*

Clim Change Res 15(5-2): 919-927. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.5.919

Park JH. 2023. The status and characteristics of local climate change adaptation plans in Korea (in Korean with English abstract). J Climate Change Res 14(5): 561-568. doi: 10.15531/kscrr.2023.14.5.561

Petzold J, Ratter BM. 2015. Climate change adaptation under a social capital approach - An analytical framework for small islands. Ocean Coastal Manag 112: 36-43. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.003

Rizzo A, Vandelli V, Gauci C, Buhagiar G, Micallef AS, Soldati M. 2022. Potential sea level rise inundation in the Mediterranean: From susceptibility assessment to risk scenarios for policy action. Water 14(3): 416. doi: 10.3390/w14030416

Seo GH, Oh HJ, Jung KY, Lee HY, Kim SM, Kim MW, Kang TS. 2023. Coastal disaster risk assessment based on climate change scenarios (in Korean with English abstract). J Clim Change Res 14(6-2): 973-980. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.6.973

Shimura T, Pringle WJ, Mori N, Miyashita T, Yoshida K. 2022. Seamless projections of global storm surge and ocean waves under a warming climate. Geophys Res Lett 49(6): e2021GL097427. doi: 10.1029/2021GL097427