



국가 기후위기 적응정보 표준분류체계 기반 핵심리스크 식별 방법론 고도화 및 영향체인 평가지표 우선순위화 연구

정시원* · 유영재** · 전성우***† · 오윤영**** · 서도현**** · 진형아*****

*고려대학교 환경생태공학과 학생, **고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수, ***고려대학교 환경생태공학부 교수, ****국립환경과학원 기후변화연구과 환경연구사, *****국립환경과학원 기후변화연구과 전문연구원, *****국립환경과학원 기후변화연구과 환경연구관

Advancing the methodology for identifying key risks and prioritizing impact chain indicators based on the Korea Climate Crisis Adaptation Information Taxonomy (KADT)

Jeong, Si Won* · Yoo, Young Jae** · Jeon, Seong Woo***† · Oh, Yunyeong**** · Seo, Do Hyun***** and Jin, HyungAh*****

*Student, Dept. of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

**Research Professor, Ojeong Resilience Institute, Korea University, Seoul, Korea

***Professor, Dept. of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

****Researcher, Climate Change Research Division, National Institute of Environmental Research (NIER), Incheon, Korea

*****Research Fellow, Climate Change Research Division, NIER, Incheon, Korea

*****Senior Researcher, Climate Change Research Division, NIER, Incheon, Korea

ABSTRACT

Systematic climate risk assessment and adaptation information management are increasingly emphasized in response to the climate crisis, yet Korea lacks a standardized framework for evaluating nationally designated climate risks. This study advances the methodology for identifying key risks within the Korea Adaptation Information Taxonomy (KADT) by incorporating quantitative evidence into the traditionally qualitative, expert-driven process. A scoring system was established by quantifying the occurrence trends of climate impact factors through slope analysis of time-series data and by evaluating the magnitude of risk impacts using disaster-related damage costs. Based on this approach, the top 30% of risks within each sector were selected as candidate key risks. For these risks, impact chains were constructed, and indicators categorized into hazard, exposure, and vulnerability were systematically listed and prioritized according to interpretability and data availability. The proposed methodology provides a structured basis for linking indicators with key risks, enhances the objectivity and reliability of climate risk assessment, and offers practical criteria for evaluating indicator applicability while identifying gaps in climate-related data. By supporting the development of a national climate adaptation information platform, this study contributes to strengthening the evidence base and enabling the effective and evidence-based implementation of Korea's climate crisis adaptation policies.

Key words : KADT, Climate Risk, Key Risk Identification, Impact Chain, Indicators, Climate Risk Assessment

†Corresponding author : eepps_korea@korea.ac.kr (Korea University, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Korea. Tel. +82-2-3290-3043)

ORCID 정시원 0009-0009-0966-6494
유영재 0000-0003-0595-3911
전성우 0000-0001-5928-8510

오윤영 0000-0002-9115-814X
서도현 0000-0001-9528-2060
진형아 0006-0001-6573-1985

Received: August 24, 2025 / Revised: September 15, 2025 / Accepted: September 29, 2025

1. 서론

기후변화는 전 세계적으로 인류 사회의 생존과 지속가능성을 위협하는 중요한 문제로 인식되고 있다. 최근에는, 기후변화라는 용어는 심각성을 명확히 표현하지 못한다는 관점에서 기후위기라는 용어를 사용하고 있다. 우리나라는 기후위기에 효과적으로 대응하기 위해 「저탄소 녹색성장 기본법」에서 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하 탄소중립기본법)으로의 개정을 통해 기후변화가 인간의 활동임을 명시하고, 기후위기에 대응하기 위한 체계를 강화하고자 하였다.

기후변화로 인한 리스크는 국제적으로도 주요한 관심사로 인식되고 있다. IPCC는 제5차 평가보고서(AR5)를 통해 리스크 개념을 제시하였으며 제6차 평가보고서(AR6)를 통해서도 주요 사회·경제 시스템에 위협을 가하는 핵심 리스크(Key Risks) 개념을 제시하였다(IPCC, 2022). 리스크 개념의 발전과 함께 리스크 평가 또한 표준화된 방향으로 제시되고 있다. ISO 14091:2021 「기후변화 적응 - 취약성, 영향 및 리스크 평가에 관한 지침」에서는 적응계획 수립 시 필수적인 기후 리스크 평가(CRA) 과정에서 영향체인(Impact Chain)을 도출하여 리스크의 인과관계를 구조적으로 이해할 것을 권고하고 있다(ISO, 2021). 이에 기반한 실천적 접근으로 독일 국제협력기구(GIZ)가 개발한 기후 리스크 자료집(Climate Risk Sourcebook, CR-SB)이 있으며, 영향체인을 중심으로 평가지표를 연계하는 리스크 평가 절차를 상세하게 제시하고 있다(Zebisch et al., 2023).

그러나 ISO 14091과 CR-SB는 보편적 프레임워크를 제공하는 데 초점을 두고 있어, 국가별 법·제도, 정책, 데이터 체계와의 정합성을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 한국에서도 국가 기후위기 적응대책에 따라 국가 차원의 기후 리스크 목록이 제시되고 있으나, 이를 정량적으로 평가하고 관리하는 체계는 아직 미흡하다.

이에 대응하여, 국내에서는 「탄소중립기본법」 제정에 따라 기후위기 적응정보 통합플랫폼의 구축이 법적으로 명시되었다. 이를 실현하기 위해 환경부 국립환경과학원에서는 과학기반(SCI), 적응해법(SOL), 정책평가(PEV)의 3개 대분류 항목을 중심으로 기후 적응정보를 통합·관리하기 위한 기반을 제공하는 국가 기후위기 적응정보 표준 분류체계(Korea Adaptation Information Taxonomy, KADT)를 개발하고 있다(Seo et al., 2024). 국제 표준을 준수하면서도 국내 데이터 및 정책 수요를 반영하기 위해

서는, KADT 기반의 평가 틀을 적용한 기후 리스크 평가 체계가 필요하다.

Jeong et al. (2024)은 KADT-SCI 분류체계를 활용하여 핵심리스크 및 영향체인 도출 방법론을 제시하였으나, 핵심리스크 도출 과정이 전문가의 주관적 판단에 기반한 정성적 접근에 머물러 있다는 한계점이 존재한다. 따라서 보다 객관적이고 신뢰할 수 있는 정량적 근거의 보완이 요구된다.

또한 「탄소중립기본법」에서 제시하는 기후위기 적응정보 통합플랫폼은 단순한 정보의 집적 공간을 넘어, 수집된 데이터를 기반으로 국가 기후 리스크를 평가하고 대국민 서비스를 제공하는 것을 궁극적인 목적으로 한다. 이를 위해서는 평가 대상인 핵심리스크에 대한 구조적 이해와 더불어, 이를 정량적으로 측정·평가할 수 있는 평가지표의 구축 및 우선순위가 선정되어야 한다. 국내에서도 극한기후에 대한 리스크 평가나(Chae et al., 2021) 특정 재해에 대한 리스크 평가(Seol and Kim, 2023; Yoo et al., 2025) 연구가 수행되고 있지만, 국가 기후위기 적응대책 상 제시되는 특정 국가 기후 리스크를 대상으로 하는 리스크 평가 방법론은 제시되고 있지 않다. 즉, 제도적으로 제시하는 국가 기후 리스크에 대하여 정보를 제공하기 위한 평가 방법론 및 지표의 구성 체계가 마련되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 기존 핵심리스크 식별 과정에 정량적 근거를 추가하여 방법론을 고도화한다. 둘째, 식별된 핵심리스크를 대상으로 영향체인을 구성하고 평가지표를 목록화하여, 각 지표의 활용 우선순위를 검토한다. 이러한 과정을 통해 기후위기 적응정보 통합플랫폼의 데이터 관리 방향을 제시할 뿐만 아니라, 국가 기후위기 적응대책에서 요구하는 국가 기후 리스크 평가의 실현 가능성을 제고하여 실질적인 적응정보 제공을 위한 기반 마련에 기여하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. KADT 과학기반(SCI) 분류체계

KADT 과학기반(SCI) 분류체계는 부문별 국가 기후 리스크로 이어지는 하향식(Top-down) 분류와, 기후영향인자를 중심으로 리스크를 식별하는 상향식(Bottom-up) 분류를 모두 지원하는 양방향 연결구조로 설계되어 있다. 그 중 하향식 분류는 중분류-소분류-세분류의 구조로 구

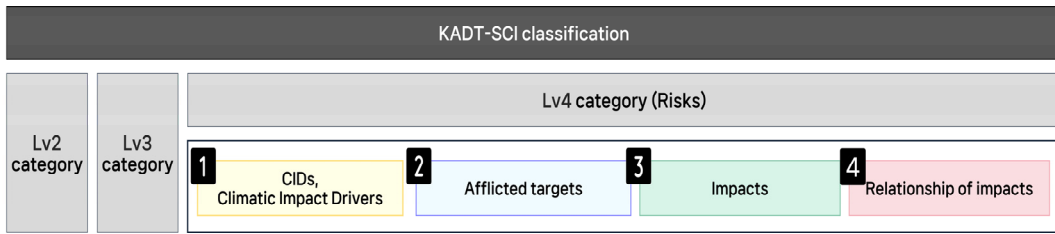


Fig. 1. Structure of the KADT-SCI classification framework

성된다(Fig. 1). 중분류(Level 2 Category)는 국토·교통, 농업·축산·식품, 물환경, 보건·복지, 산림, 산업·통상·에너지, 생태계, 해양·수산, 공동활용의 9개 부문으로 구성되며, 소분류(Level 3 Category)는 세분류 항목의 ‘대상’ 및 ‘영향’을 요소를 중심으로 그룹화되어 부문별로 n개의 항목으로 구성된다. 세분류(Level 4 Category)는 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책에서 제시된 72개 국가 기후 리스크를 기반으로 작성된다. 세분류 항목은 기존의 국가 기후 리스크를 기반으로 데이터 연결 및 통일성을 위해 4개 구성요소 체계로 보완하여 작성된 것으로, 기후영향인자(Climatic Impact Drivers, CIDs), 대상(Afflicted targets), 영향(Impacts), 영향의 관계성(Relationship of impacts)으로 구성된다. 기후영향인자는 리스크를 유발하는 기후요인이며(IPCC, 2022), 대상은 기후 영향을 받는 대상이나 지역, 영향은 그로 인해 발생하는 현상, 영향의 관계성은 영향의 방향성 및 특성을 말한다(Jeong et al., 2024; Seo et al., 2024). 이 과정에서 국가 기후 리스크의 고유 코드는 KADT 과학기반(SCI) 세분류 항목의 신규 코드로 변환된다. 본 연구에서는 KADT 과학기반(SCI) 분류체계 구조 및 세분류 항목의 4개 구성요소를 활용하여 핵심리스크 및 영향체인 도출에 활용하였다.

2.2. 부문별 핵심리스크 식별 방법론 고도화

핵심리스크는 ‘잠재적으로 심각한 위협’으로 정의되며, 부정적 결과의 규모, 발생 가능성, 리스크의 시간적 특성, 리스크에 대응할 수 있는 능력, 시스템의 중요성을 기준으로 기존의 지식 및 문헌, 전문가 의견 등을 종합하여 식별된다. 이렇게 식별된 핵심리스크는 적응 정책과 전략 수립의 근거 마련을 목적으로 위협의 조건, 시기, 심각성 등을 분석하는 심층 리스크 평가의 대상이 된다(IPCC, 2022; Zebisch et al., 2023).

선행연구에서는 IPCC AR6 및 CR-SB에서 제시하는 핵심리스크 식별 기준을 기반으로 KADT 기반의 핵심리스크 식별 방법론을 구축하였으나, 핵심리스크 식별에 대한 정

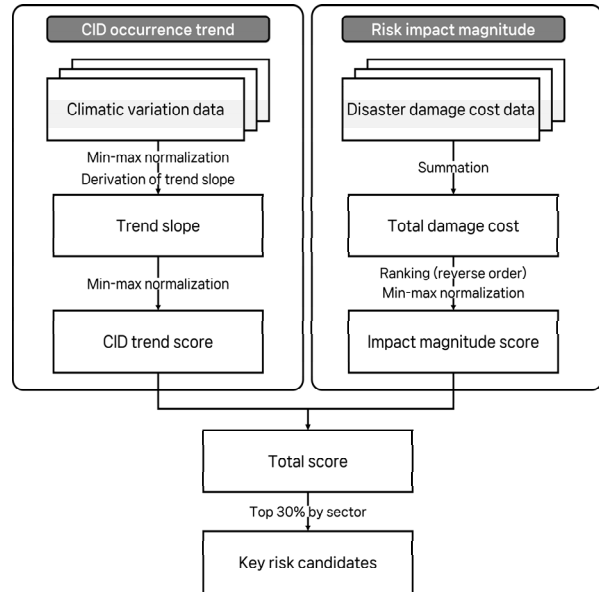


Fig. 2. Key risk candidates identification framework

량적 근거를 확인하기 어렵다는 한계점이 있었다(Jeong et al., 2024). 본 연구에서는 핵심리스크 선정 과정의 투명성 및 재현성을 확보하기 위해, 정량적 검토를 통해 핵심리스크 후보를 선정한 후, 정성적 검토를 거쳐 최종 핵심리스크를 식별할 수 있도록 기존의 방법론을 고도화하였다.

부문별 핵심리스크 후보를 정량적으로 선정하기 위해 ‘기후영향인자의 발생 경향’ 및 ‘리스크의 영향 규모’를 기준으로 설정하고, 관련 데이터를 활용하였다(Fig. 2). 데이터는 기후위기 적응정책 수립 주기(5년)를 고려하여, 데이터가 확보되는 최근 5년(2019년 ~ 2023년)의 데이터를 활용하였다. 서로 다른 데이터의 값들을 비교 가능하게 만들기 위해 최대-최소 정규화(Min-Max Normalization) 및 순위화(Ranking) 방법을 활용하였다(Moreira et al., 2021; Saisana and Saltelli, 2011).

기후영향인자의 발생 경향을 정량화하기 위해, 관련 데이터를 활용하여 발생 횟수에 대한 기율기 값을 도출하였다. 가뭄, 호우, 해일 등의 기상재해의 경우 예·경보 발령

데이터를 기반으로 발령 건수를 사용하였으며, 해수면 상승, 해수온 상승 등 예·경보 발령 데이터가 작성되지 않는 항목에 대해서는 연평균 해수면 높이 편차, 연평균 해수면 온도 등 수치적 지표와 직접적으로 연결되는 데이터를 활용하였다(Korea Meteorological Administration, 2019 ~ 2023). 기후영향인자 발생 현황 정량화 과정에서 건수, 온도 등 서로 다른 기준의 데이터를 사용함에 따라, 식 (1)과 같이 최대-최소 정규화를 수행하여 각 인자의 최솟값과 최댓값이 동일한 구간 내에 나타나도록 하였다(Saisana and Saltelli, 2011). 이후, 2019년부터 2023년까지 나타난 정규화된 값에 대해 각 기후영향인자별 기울기(Trend slope)를 도출하였다. 기울기 값이 클수록 해당 기후영향인자의 발생빈도 또는 강도가 증가하였음을 나타내며, 기후변화, 이상기후와 같이 기후영향인자가 명확하지 않거나, 해양 산성화와 같이 데이터가 부재한 경우 해당 항목의 기울기를 0으로 처리하였다. 도출된 기울기 값(β_i)에 대해, 식 (2)와 같이 최대-최소 정규화를 통해 각 항목이 0부터 100까지의 발생 경향 점수(TS_i)를 나타내도록 하였다.

$$X'_{i,t} = (X_{i,t} - \min_t(X_{i,t})) / (\max_t(X_{i,t}) - \min_t(X_{i,t})) \quad (1)$$

$$TS_i = (\beta_i - \min_j(\beta_j)) / (\max_j(\beta_j) - \min_j(\beta_j)) \times 100 \quad (2)$$

$X_{i,t}$: The raw data value of climatic impact driver i in year t

$X'_{i,t}$: The normalized value of $X_{i,t}$ using Min-Max normalization

β_i : The trend slope of the normalized time series $X_{i,t}$ for climatic impact driver i

TS_i : The trend score of climatic impact driver i , scaled between 0 and 100

리스크의 영향 규모를 정량화하기 위해 동일 기간에 대한 재해연보 통계를 기반으로 원인별 시설물 재해 피해액을 활용하였다(Ministry of the Interior and Safety, 2025). 재해의 원인이 되는 호우, 대설, 강풍 등의 재난 정보를 리스크의 기후영향인자와 연계하고, 피해 시설 정보를 리스크의 대상 항목과 연계하여 각 리스크별로 5년간의 원인별 시설 피해액을 식 (3)과 같이 합산하였다. 기후변화, 이상기후 등 CIDs가 포괄적인 의미로 제시되는 경우 관련 재

난 유형 전체를 포함하는 것으로 간주하였으며 연계할 수 있는 데이터가 없을 경우 피해액을 0으로 간주하였다. 피해액 값은 시설 유형 간 차이가 크다는 점을 고려하여 정규화 대신 이상치의 영향을 받지 않는 순위화 방식을 활용하였다(Saisana and Saltelli, 2011). 피해액의 합계가 클수록 높은 점수가 부여되도록 역순위값을 부여하고, 이 순위(R_r)를 기반으로 식 (4)와 같이 최대-최소 정규화하여 0부터 100까지의 영향 규모 점수(IS_r)를 나타내도록 하였다.

도출된 기후영향인자 발생 경향 점수 및 리스크 영향 규모 점수는 각 부문별 리스크들의 순위를 매기기 위한 상대적인 점수값으로서, 수치가 절대적인 발생가능성 및 영향 규모 자체를 의미하지는 않는다.

$$D_r = \sum_{t=2019}^{2023} Damage_{r,t} \quad (3)$$

$$IS_r = (R_r - \min_j(R_j)) / (\max_j(R_j) - \min_j(R_j)) \times 100 \quad (4)$$

D_r : The total disaster damage amount for risk r during 2019 ~ 2023

$Damage_{r,t}$: The disaster damage amount of risk r in year t

R_r : The reversed rank of D_r , adjusted such that larger damages correspond to higher ranks

IS_r : The impact magnitude score of risk r , normalized to range from 0 to 100

식 (5)에 따라, 기후영향인자 발생 경향 점수와 리스크의 영향 규모 점수를 더해서 리스크별 총점(S_r)을 도출하였다. 최종적으로 식 (6)과 같이, 부문별로 가장 총점이 높은 상위 30%에 해당하는 리스크들을 핵심리스크 후보(KRC)로 식별하였다. 본 연구에서는 핵심리스크 후보군의 임계값을 부문별 총점 상위 30%로 설정하였는데, 이는 KADT 각 부문별 리스크 목록 중 전문가가 심층적으로 검토할 목록의 적절한 개수를 도출하기 위해 설정한 값이며, 재해 데이터를 활용해 위험도 상위 30% 지역을 재해 노출 지역으로 선별하는 등의 선행사례를 참고하였다(WWF, 2015).

$$S_r = TS_r + IS_r \quad (5)$$

$$KRC = \{r | S_r \in \top 30\% \} \quad (6)$$

S_r : The total score of risk r

KRC: The set of key risk candidates identified as the top 30% of risks in terms of total score

정량적 방법론만으로 핵심리스크를 식별할 경우, 데이터가 충분하지 않은 영역에서는 중요한 리스크임에도 핵심리스크에서 제외될 수 있다는 한계가 있다. IPCC AR6 보고서 및 CR-SB에서도 전문가 및 이해관계자 그룹 워크숍 등 정성적 검토를 병행하여 최종 핵심리스크를 식별하도록 하고 있다(IPCC, 2022; Zebisch et al., 2023). 따라서 본 연구에서는 정량적 방법론을 통해 핵심리스크 후보를 제시하는 데에 한정하며, 실제 최종 핵심리스크 선정은 추가적인 전문가 자문 등 정성적 검토 과정을 통해 이루어져야 한다.

2.3. 영향체인 작성

선행연구는 CR-SB Framework를 참고하여 KADT 기반 부문별 핵심리스크 대상의 영향체인 도출 방법론을 구축하였다(Jeong et al., 2024). KADT 기반의 부문별 핵심리스크 대상 영향체인은 시스템-하위시스템-노출요소로 이루어진 하위체계를 기반으로 작성되며, 영향체인 내에는 리스크를 유발하는 기후영향인자 및 직/간접 영향, 리스크(핵심리스크) 등의 구성요소가 포함된다. 본 연구에서는 해당 방법론을 기반으로 영향체인 요소들을 평가지표와 연계해 궁극적으로 리스크 평가에 활용하기 위해, 영향체인 요소들을 일부 보완하여 재작성하였다.

첫째, KADT-SCI 분류체계를 활용하여 시스템-하위시스템-노출요소로 이루어진 하위체계를 설정한다. 시스템은 큰 기능적 단위이자 관리단위로서 KADT 중분류 항목을 활용한다. 하위시스템은 시스템 내에서 영향을 받는 하위 집단이며 노출요소는 기후 리스크에 영향을 받을 수 있는 사람, 자산, 인프라 등을 의미하므로, 리스크의 ‘대상’ 항목을 활용하여 하위시스템 및 노출요소를 설정하였다. 둘째, 핵심리스크를 시스템-하위시스템-노출요소의 위계에 맞게 작성한다. 셋째, 핵심리스크를 유발하는 기후영향인자를 시스템 외부에 작성한다. 넷째, 화살표로 영향흐름을 작성하며 그 과정에서 추가적으로 식별되는 직·간접 영향요소를 작성한다. 마지막으로 노출요소를 취약하게 만드는 민감성, 부족한 적응 능력 등을 식별하여 취약성 요소로서 영향체인에 추가한다(Fig. 3).

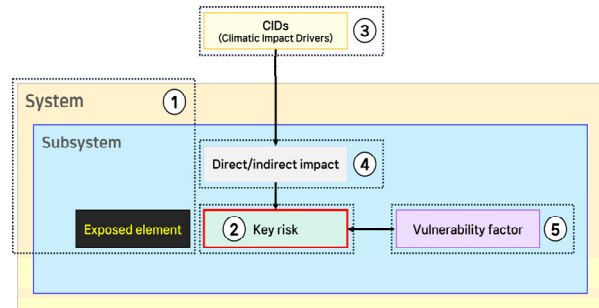


Fig. 3. Impact chain development flowchart

2.4. 평가지표 선정 및 활용 우선순위 도출

2.4.1. 영향체인 기반 평가지표 선정

IPCC AR6에서는 기후 리스크를 위해성(Hazard), 노출(Exposure), 취약성(Vulnerability)의 상호작용으로 정의하며(IPCC, 2022), 각 구성요소는 다양한 지표의 조합으로 표현될 수 있다. 이러한 지표 기반 접근법은 측정 가능하거나 관찰 가능한 변수로 리스크의 발생 가능성 및 영향 등을 정량적으로 파악하는 데 사용된다(Pamukçu Albers and Evers, 2024).

영향체인은 이러한 기후 리스크의 세 가지 개념을 내포하는 요소들로 구성되어 있어, CR-SB에서는 영향체인의 각 요소에 대한 평가지표를 선정하여 리스크 평가를 수행하도록 하고 있다. 위해성(Hazard) 지표로는 기후 요인이나 기후 위협을 설명하는 지표를 선택해야 하며 모델의 출력값을 사용하거나 기후 극한지수 등을 활용할 수 있다. 또한 지표를 정량화하기 위해서 강도 또는 빈도를 나타내는 수치를 활용하여야 한다. 노출(Exposure) 지표로는 정량적인 수치, 밀도, 비율 형태의 지표를 선택해야 한다. 취약성(Vulnerability) 지표는 취약성 정도와 대응능력의 부재를 나타내는 지표를 선택해야 하며, 기후 위협에 대한 사전 대비 능력, 적응 능력, 회복력 등을 고려해야 한다(Zebisch et al., 2023).

본 연구에서는 영향체인의 구성요소를 기반으로 리스크 평가를 위한 지표를 선정하기 위해 영향체인 구성요소들을 위해성, 노출, 취약성의 세 가지 항목으로 분류하였다. 다음으로 각 항목에 대한 지표의 특성을 고려하여, 기후변화 취약성 평가도구인 VESTAP 평가지표 및 국내외 선행연구를 기반으로 영향체인 구성요소별 평가지표들을 목록화하였다.

2.4.2. 평가지표의 활용 우선순위 도출

CR-SB에서는 영향체인 구성요소를 정량화하기 위한 적절한 지표의 기준을 다음과 같이 제시하고 있다. 첫째, 지표는 타당하며 관련성이 있어야 한다. 다루고자 하는 주제 및 요소를 잘 대표해야 한다. 둘째, 지표는 신뢰할 수 있는 출처를 기반으로 해야 한다. 셋째, 지표의 의미가 명확해야 한다. 지표가 영향체인 구성요소를 직접 나타내거나, 대체 지표로서 명확히 정의되어야 하며 이해관계자들이 해당 맥락에서 지표가 무엇을 측정하는지에 대해 동의할 수 있어야 한다. 넷째, 지표 값의 변화가 평가하고자 하는 요소에 대해 긍정적인지 부정적인지 방향성이 명확해야 한다. 다섯째, 합리적인 노력과 자원으로 접근가능하여 실용적이고 비용 효율적이어야 한다. 여섯째, 시간적·공간적 해상도가 리스크 평가의 목적에 부합해야 한다 (Zebisch et al., 2023). Berry (1997)는 지표의 의미 전달이 쉬워야 하며, 정량화 가능해야 하고 이용 가능한 데이터에 기반해야 한다는 지표 선정 기준을 제시하였다. Kim et al. (2022)은 평가지표를 선정하는 선행연구들에서 많이 사용되고 중요한 지표 선정 원칙들을 추출하여 상관성, 단순성, 정량성, 타당성, 중복성, 용이성의 6가지 지표 선정 원칙을 제시하였다.

본 연구에서는 영향체인 기반의 리스크 평가를 위한 평가지표의 활용 우선순위를 도출하기 위해 선행연구의 지표 선정 기준을 참고하여, ‘지표의 해석 용이성’과 ‘데이터 가용성’을 검토 기준으로 설정하였다.

지표의 해석 용이성은 명확성과 방향성을 검토하여 O, X로 판단하였다. 명확성은 지표의 의미가 분명하고, 무엇을 측정하는지에 대해 이해관계자 간 해석의 혼동 없이 명확한지를 의미한다. 방향성은 지표값의 증감이 평가하고자 하는 요소에 대해 긍정적인지 부정적인지 그 방향성이 일관되게 정의되는지를 의미한다. 명확성과 방향성이 모두 충족되는 경우에만 해당 지표를 해석 용이성이 있는 것(O)으로 판단하였다.

데이터 가용성은 신뢰성과 실용성을 검토하여 O, X로 판단하였다. 신뢰성은 지표가 공공데이터 등 공신력 있는 기관의 자료에 기반하고 있는지를 의미한다. 실용성은 합리적인 노력과 자원으로 접근 가능한지에 대한 여부로, 단일의 공공데이터를 통해 지표를 도출할 수 있는 경우 실용성이 높은 것으로 판단하였으며 복합 데이터 가공이나 모델링 등의 과정이 필요한 경우 실용성이 낮은 것으로 판단하였다. 신뢰성과 실용성이 모두 충족될 경우에만, 해당

지표를 데이터 가용성이 있는 것(O)으로 판단하였다.

최종적으로, 평가지표의 활용 우선순위는 지표의 해석 용이성과 데이터 가용성이 모두 충족(O)되면 1순위, 해석 용이성이 미충족(X), 데이터 가용성이 충족(O)되면 2순위, 해석 용이성이 충족(O)이고 데이터 가용성이 미충족(X)이면 3순위, 지표의 해석 용이성과 데이터 가용성이 모두 미충족(X)이면 4순위로 분류하였다(Table 1).

Table 1. Indicator assessment and priority table

Interpretability (Clarity + Directionality)	Data availability (Reliability + Practicality)	Priority
O	O	1
X	O	2
O	X	3
X	X	4

3. 연구 결과

3.1. 부문별 핵심리스크 후보 식별

본 연구에서는 KADT 물환경과 해양수산 두 부문에 대해 시범적으로 정량적 방법론을 적용하여 핵심리스크 후보를 식별하였다. 물환경 부문 리스크들의 CIDs인 가뭄, 기온상승, 호우의 발생 경향을 검토한 결과 호우의 Trend slope가 +14로 가장 높게 나타났으며, 가뭄의 Trend slope가 +5로 가장 낮게 나타나, 가뭄의 발생 추세가 다른 CIDs에 비해 상대적으로 완만한 것을 확인하였다. Trend slope값들을 최대-최소 정규화를 통해 점수화하였을 때 도출된 값은 0에서 100사이의 상대적인 점수값으로서, 0값의 의미가 발생 경향이 0임을 의미하지는 않는다.

물환경 부문 리스크들의 영향 규모를 검토한 결과, 호우로 인한 하천유역의 피해액이 가장 크게 나타났다. 가뭄 관련 리스크의 경우 재해 데이터의 부재로 0값으로 처리하였다.

발생 경향 점수와 영향 규모 점수를 합산한 결과, 물환경 부문에서는 (W04)폭우로 인한 하천 유역의 침수 위험 증가, (W07)폭우로 인한 하천/호소의 오염물질 유입 증가, (W09)폭우로 인한 댐과 하천의 기반시설 안정성 저하 리스크가 핵심리스크 후보로 식별되었다(Table 2, Fig. 4).

해양수산 부문 리스크들의 CIDs인 강풍, 기후변화, 이상기후, 파랑, 호우, 해수면상승, 해수온상승, 해양산성화, 해일의 발생 경향을 검토한 결과 해수면상승의 Trend

Table 2. Identification of key risk candidates in the water environment sector

Original Code	KADT Code	KADT-SCI Lv4 Category (Risks)	CID Occurrence Trend Review		Risk Impact Magnitude Review		Total Score	Key Risk Candidate
			Trend Slope	CID Trend Score	Reverse Ranking by Total Damage Cost	Impact Magnitude Score		
W07	W01	Reduced groundwater recharge due to drought	+5	0	-	0	0	X
W04	W02	Intensified stream drying due to drought	+5	0	-	0	0	X
W07	W03	Reduced groundwater recharge due to rising temperatures	+7	22	-	0	22	X
W01	W04	Increased flood risk in river basins due to heavy rainfall	+14	100	3	100	200	O
W05	W05	Deterioration of river/lake water quality due to drought	+5	0	-	0	0	X
W05	W06	Deterioration of river/lake water quality due to rising temperatures	+7	22	-	0	22	X
W02	W07	Increased inflow of pollutants into rivers and lakes due to heavy rainfall	+14	100	2	67	167	O
W03	W08	Decreased water supply capacity due to drought	+5	0	-	0	0	X
W03	W09	Reduced structural stability of dams and river infrastructure due to heavy rainfall	+14	100	1	22	133	O

※Refer to Table A1 for detailed information on the identification of key risk candidates

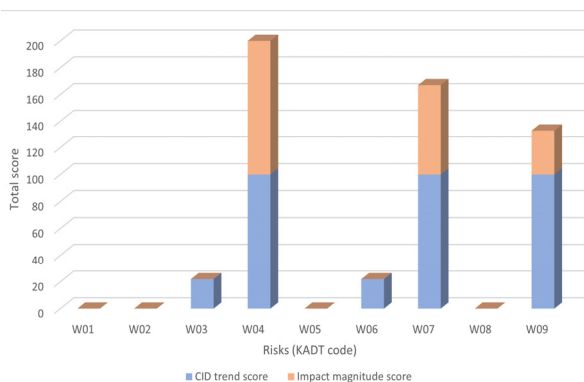


Fig. 4. Total scores of risks in the water environment sector

slope가 +22로 가장 높게 나타났으며, 해수온상승의 Trend slope가 +11로 가장 낮게 나타났다. 기후변화, 이상기후의 경우 명확하지 않은 CIDs로서 0값으로 처리하였으며, 해양산성화는 관련 데이터의 부재로 0값으로 처리하였다.

해양수산 부문 리스크들의 영향 규모를 검토한 결과, 해수면 상승 및 해일로 인한 연안지역 피해액이 가장 크게 나타났으며 파랑으로 인한 백사장, 사구, 연안, 갯밭,

수림지의 피해액이 다음으로 크게 나타났다. 기후변화, 이상기후의 경우 포괄적인 CIDs로써 관련 재난 유형 전체를 포함하는 것으로 간주하였으며, 해양산성화는 재해 데이터의 부재로 0값으로 처리하였다.

발생 경향 점수와 영향 규모 점수를 합산한 결과, 해양수산 부문에서는 (O07)파랑으로 인한 백사장, 사구, 연안, 갯밭, 수림지의 침식 심화 및 (O08)퇴적 심화, (O09)해수면 상승으로 인한 백사장, 사구, 연안, 갯밭, 수림지의 침식 심화 및 (O10)퇴적 심화, (O12)해수면 상승으로 인한 연안지역 침수범람 위험 증가, (O13)해일로 인한 연안지역 침수범람 위험 증가 리스크가 핵심리스크 후보로 식별되었다(Table 3, Fig. 5).

3.2. 영향체인 작성

리스크의 발생 경향 및 영향 규모를 검토하여 식별된 핵심리스크를 대상으로 영향체인을 작성하였다. 본 연구에서는 영향체인 기반의 평가지표 도출 및 우선순위화 방법론을 제시하기 위한 시범 항목으로, 국가 기후 리스크 W01 리스크를 기반으로 작성된 KADT-SCI 물환경 부문

Table 3. Identification of key risk candidates in the marine and fisheries sector

Original Code	KADT Code	KADT-SCI Lv4 Category (Risks)	CID Occurrence Trend Review		Risk Impact Magnitude Review		Total Score	Key Risk Candidate
			Trend Slope	CID Trend Score	Reverse Ranking by Total Damage Cost	Impact Magnitude Score		
A15	O01	Intensified changes in fishing operation conditions due to climate change	0	0	1	6	6	X
A05	O02	Increased damage to aquaculture due to extreme weather events	0	0	4	25	25	X
A05	O03	Intensified changes in aquaculture environmental conditions due to extreme weather	0	0	4	25	25	X
A17	O04	Decreased seafood safety due to rising sea temperatures	+11	50		0	0	X
A06	O05	Decreased coastal fisheries productivity due to rising sea temperatures	+11	50		0	0	X
A06	O06	Decreased coastal fisheries productivity due to ocean acidification	0	0		0	0	X
S02	O07	Intensified erosion of beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to wave action	+18	82	14	88	88	O
NEW	O08	Increased sedimentation in beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to wave action	+18	82	14	88	88	O
S02	O09	Intensified erosion of beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to sea level rise	+22	100	12	75	75	O
NEW	O10	Increased sedimentation in beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to sea level rise	+22	100	12	75	75	O
S01	O11	Increased coastal flooding risk due to heavy rainfall	+14	64	2	13	13	X
S01	O12	Increased coastal flooding risk due to sea level rise	+22	100	16	100	100	O
S01	O13	Increased coastal flooding risk due to surges	+19	86	16	100	100	O
S05	O14	Increased saltwater intrusion damage in coastal areas due to sea level rise	+22	100	9	56	56	X
W08	O15	Increased vulnerability of estuarine and coastal water management due to sea level rise	+22	100		0	0	X
S04	O16	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to strong winds	+18	82	9	56	56	X
S03	O17	Increased risk of damage to port facilities due to extreme weather events	0	0	5	31	31	X
S04	O18	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to wave action	+18	82	10	63	63	X
S04	O19	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to sea level rise	+22	100	9	56	56	X
S04	O20	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to surges	+19	86	9	56	56	X

※Refer to Table A2 for detailed information on the identification of key risk candidates

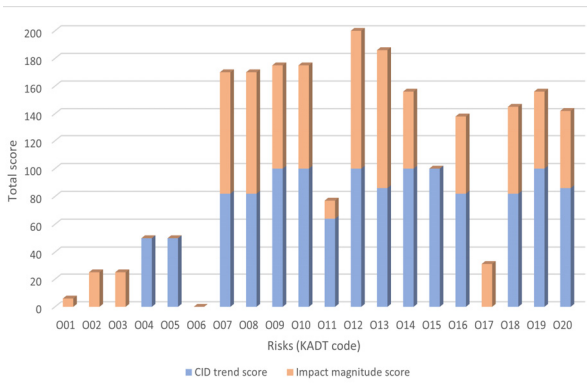


Fig. 5. Total scores of risks in the marine and fisheries sector

‘(W04) 폭우로 인한 하천유역 침수위험 증가’ 리스크를 대상으로 영향체인을 작성하였다. 영향체인 작성을 위한 하위체계를 설정하기 위해 KADT-SCI-중분류 항목 및 세분류 항목의 4개 구성요소를 활용하였다(Fig. 6). KADT-SCI-중분류 항목인 ‘물환경’을 시스템으로 설정하였으며, KADT-SCI-세분류 리스크의 구성요소 중 대상(Afflicted target) 항목을 활용하여 ‘하천’을 하위시스템으로, ‘하천 유역’을 노출요소로 설정하였다.

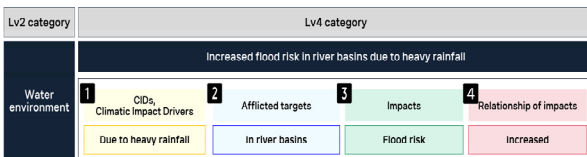


Fig. 6. Components of the risk of increased flooding in river basins due to heavy rainfall

영향체인은 다음과 같은 절차로 작성하였다. 먼저 핵심 리스크를 시스템-하위시스템-노출요소의 위계에 맞게 배치한 후, CID인 ‘호우’를 시스템 외부에 배치하였다. 다음으로 CID에서 핵심리스크로 향하는 영향 흐름을 화살표로 표시하였으며, 영향에 관여하는 추가적인 직·간접 영향요소로서 ‘강우 유출량 증가’와 ‘하천 유량 증가’ 요소를 추가하였다. 마지막으로 노출 요소를 취약하게 만드는 취약성 요소로서 ‘하천 치수시설의 부족 및 노후화’, ‘하천 유역 지형 및 토지피복 특성’, ‘배수시설의 부족 및 노후화’, ‘사회적 취약계층의 높은 분포’를 영향체인 내에 추가하였다(Fig. 7).

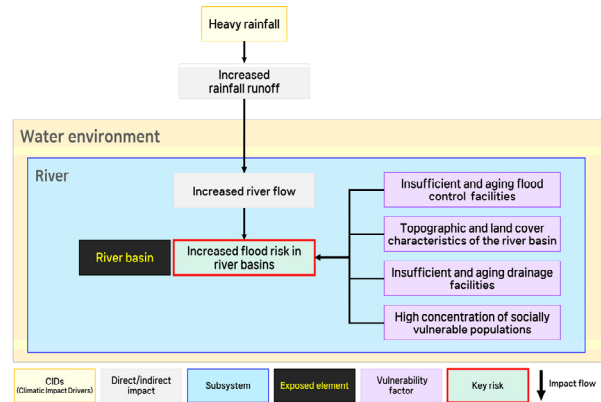


Fig. 7. Impact chain for the risk of increased flooding in river basins due to heavy rainfall

3.3. 평가지표 선정 및 활용 우선순위 도출

영향체인 기반의 평가지표 선정 및 지표의 활용 우선순위를 도출하기 위해, ‘폭우로 인한 하천유역 침수위험 증가’ 리스크 대상 영향체인 구성요소들을 위해성(Hazard), 노출(Exposure), 취약성(Vulnerability)으로 분류하였다.

홍수 피해를 유발하는 요소들인 ‘호우’, ‘강우 유출량 증가’, ‘하천 유량 증가’ 요소들을 위해성으로 분류하였으며, 기후 영향을 받는 장소인 ‘하천 유역’을 노출로 분류하였다. 여기서 ‘하천 유역’은 하천 유역 자체의 공간적 의미 및 기후 영향을 받는 하천 유역 내의 사람, 자산, 인프라 등을 통틀어 의미한다. 마지막으로 ‘하천 기반시설의 부족 및 노후화’, ‘하천유역 지형 및 토지피복 취약성’, ‘배수시설의 부족 및 노후화’, ‘사회적 취약계층의 높은 분포’를 취약성 요소로 분류하였다.

분류된 영향체인 요소별로, 하천 침수범람 및 홍수 리스크 평가와 관련된 선행연구들을 참고하여 평가지표들을 목록화하였으며(Chae et al., 2021; Kim et al., 2022; Nguyen et al., 2021; Park and Lim, 2023; Yoo et al., 2025) 지표의 해석용이성과 데이터 가용성에 따라 평가지표를 검토하여 활용 우선순위를 부여하였다(Table 4).

물환경 부문의 평가지표 검토 결과, 위해성에서는 강수량 관련 지표 등 1순위 항목도 존재하나, 복합 데이터 가공이 필요한 3순위 항목도 다수 존재하였다. 노출요소에 해당하는 하천유역에 대한 평가지표들의 경우 건물, 농경지, 도로 면적 및 인구 수는 1순위로, 의미 및 방향성이 명확하여 해석이 용이하고 데이터 가용성이 확인되었다. 하천밀도, 유역면적 지표는 방향성이 불명확하여 2순위로, 과거 홍수 피해지역 면적 비율 지표는 의미의 명확성 및

Table 4. Utilization priority of impact chain indicators

Component	Impact Chain Element	Indicator	Clarity	Directionality	Interpretability	Reliability	Practicality	Data Availability	Priority
Hazard	Heavy rainfall	Number of days with daily precipitation ≥ 110 mm	O	O	O	O	O	O	1
		Maximum 1-day precipitation (RX1DAY)	O	O	O	O	O	O	1
		Maximum 5-day precipitation (RX5DAY)	O	O	O	O	O	O	1
		Simple Daily Intensity Index (SDII)	O	O	O	O	O	O	1
		Number of days with daily precipitation ≥ 80 mm (RAIN80)	O	O	O	O	O	O	1
		Ratio of annual maximum precipitation to 100-year design precipitation	O	O	O	O	X	X	3
		Number of days exceeding 50% of 100-year design precipitation	O	O	O	O	X	X	3
		Ratio of precipitation to disaster prevention design standard rainfall	O	O	O	O	X	X	3
	Increased rainfall runoff	Runoff Curve Number (CN)	O	O	O	X	X	X	3
		Peak discharge	O	O	O	X	X	X	3
	Increased river flow	Flow depth	O	O	O	X	X	X	3
		Flow velocity	O	O	O	X	X	X	3
	Exposure	River basin	river density	O	X	X	O	O	O
Catchment area			O	X	X	O	O	O	2
Building area			O	O	O	O	O	O	1
Agricultural land area			O	O	O	O	O	O	1
Road area			O	O	O	O	O	O	1
Population			O	O	O	O	O	O	1
Ratio of historical flood-affected area			X	O	X	O	X	X	4
Vulnerability	Insufficient and aging flood control facilities	River improvement ratio (ratio of improved levee length to planned levee length)	O	O	O	O	O	O	1
		inland flood drainage facilities	O	O	O	O	O	O	1
		Number of drainage pumping stations	O	O	O	O	O	O	1
		Drainage capacity (pumping capacity)	O	O	O	O	O	O	1
		Retarding basin area ratio	O	O	O	O	X	X	3
		Number of dams and reservoirs	O	O	O	O	O	O	1
Number of aging reservoirs	O	O	O	O	O	O	1		

Component	Impact Chain Element	Indicator	Clarity	Directionality	Interpretability	Reliability	Practicality	Data Availability	Priority
	Topographic and land cover characteristics of the river basin	Impervious surface ratio	O	O	O	O	O	O	1
		Green space area	O	O	O	O	O	O	1
		Forest area	O	O	O	O	O	O	1
		Slope	O	X	X	O	O	O	2
		Low-lying area	X	O	X	O	X	X	4
	Insufficient and aging drainage facilities	Sewerage coverage rate	O	O	O	O	O	O	1
		Ratio of aging sewer pipelines	O	O	O	O	O	O	1
	High concentration of socially vulnerable population	Proportion of vulnerable population	X	O	X	O	O	O	2
		Proportion of low-income population	X	O	X	X	X	X	4
		Proportion of basic livelihood security recipients	O	O	O	O	O	O	1
		Proportion of elderly living alone (65+)	O	O	O	O	O	O	1

데이터 가용성이 낮아 4순위로 나타났다. 취약성에서는 하천 기반시설 및 배수시설과 관련된 지표들 등 1순위 항목도 다수 존재하였으나, 경사도, 저지대 면적 등 지표의 의미나 방향성이 불명확한 2순위 지표 및 데이터가 부재한 3, 4순위 지표도 일부 확인되었다.

우선순위 1순위는 지표의 의미와 방향성이 명확하여 해석이 용이하고, 단일의 공공데이터를 통해 도출 가능한 지표로서 가장 활용 우선순위가 높다. 2순위 지표는 해석 용이성은 낮지만, 단일의 공공데이터를 통해 도출 가능한 지표로서 리스크 평가 목적에 따른 지표의 의미 및 방향성을 명확히 설정하여 활용되어야 한다. 3순위 지표는 해석이 용이하나, 신뢰성 있는 데이터가 부재하거나 복합데이터를 가공하여 지표 도출이 필요한 지표로서, 공공데이터 구축 필요성이 높다. 마지막으로 4순위 지표는 해석 용이성 및 데이터 가용성이 모두 충족되지 않아 활용 우선순위가 낮으므로, 향후 활용을 위한 지표 구체화 및 데이터 구축이 필요하다.

4. 결론 및 고찰

기후 리스크의 관리 및 대응이 필수적이며, 국내에서는 국가 기후위기 적응대책을 통해 국가 기후 리스크를 도출하고 이에 대응하기 위해 노력하고 있다. 하지만 리스크의 심층 분석 및 평가를 위한 체계의 구축은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 국가 기후위기 적응정보 표준분류체계(KADT) 기반의 핵심리스크 식별 방법론을 고도화하고, 영향체인 기반 평가지표의 활용 우선순위 선별 방법론을 제시하여 리스크 평가 체계의 기반을 마련하고자 하였다.

기존 핵심리스크 식별 방법론을 고도화하기 위해, 정량적 방법론을 기반으로 핵심리스크 후보를 선정한 후 정성적 검토를 통해 최종 핵심리스크를 식별하는 프레임워크를 구축하였다. 핵심리스크 후보는 ‘기후영향인자의 발생 경향’ 및 ‘리스크의 영향 규모’를 기준으로 정량화된 점수화 방법론을 통해 선정하였다. 기후영향인자의 발생 경향을 정량화하기 위해 각 인자의 발생횟수 및 변화량에 대한 시계열 자료를 검토하였으며, 기올기를 도출하여 시간의 흐름에 따라 발생 경향이 높아지는 순서대로 점수화하였다. 리스크의 영향 규모를 정량화하기 위해 리스크와 관련된 원인별 재해 피해 시설의 피해액을 검토하였으며, 이를 순위화하여 피해액이 높은 순서대로 점수화하였다. 이후, 앞서 도출한 점수를 합산하여 각 부문별로 점수가

높은 상위 30%의 리스크를 핵심리스크 후보로 선정하였다. 선정된 핵심리스크 후보들은 이후 전문가 자문 등 정성적 검토를 거쳐 최종 핵심리스크로 선정될 수 있다.

선정된 핵심리스크를 평가하기 위한 영향체인을 작성하였으며, 위해성, 노출, 취약성으로 분류된 영향체인 요소들의 평가지표를 목록화하고 평가지표의 활용 우선순위를 선별하였다. 평가지표들을 ‘지표의 해석 용이성’ 및 ‘데이터 가용성’에 따라 검토하여 1순위에서 4순위까지의 순위를 부여하였다.

본 연구에서 수행한 핵심리스크 식별 방법론 고도화 및 평가지표 우선순위 선별의 의의는 다음과 같다. 먼저 핵심리스크 식별 방법론을 고도화하여 선정 과정의 신뢰성과 재현성을 확보하였으며, 핵심리스크에 대한 심층 분석과 대응·관리의 정량적 근거를 제시하였다. 이를 통해 핵심리스크를 우선적으로 고려한 지표 선정 및 데이터 연계를 가능하게 하여, 보다 체계적인 리스크 평가 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 핵심리스크 선정 과정에서는 다음과 같은 제언점 또한 도출되었다. 첫째, 핵심리스크 선정 과정에서 기후영향인자의 발생 경향 검토 시 ‘기후변화’, ‘이상 기후’ ‘극한기상’ 등으로 표현된 기후영향인자는 유관 데이터를 연계하기에 모호하였으며, 이후 평가지표를 선정할 때에도 명확성이 떨어지는 것으로 확인되었다. 따라서 국가 기후 리스크 및 KADT 구축 시 기후영향인자에 대한 명확화가 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 리스크의 영향 규모 검토 시 가뭄 관련 리스크 등 피해규모에 대한 데이터가 부재한 항목들이 일부 존재하였다. 국가 기후 리스크의 발생가능성, 규모, 심각성 등을 평가하고 관리하기 위해서는 유관 데이터의 추가 구축이 필요하다.

다음으로, 영향체인 평가지표의 활용 우선순위를 선별함으로써, 리스크 평가를 위한 지표들을 목록화하고 적합성 및 활용도를 검토할 수 있는 기준들을 제시하였다. 이를 통해 이후 국가 기후위기 적응정보 플랫폼 등에서 활용될 관련 지표 개발 및 데이터 구축이 필요한 항목을 식별하는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

다만 본 연구는 국가 기후 리스크를 기반으로 하는 KADT 분류체계를 적용한 전반적인 틀을 제시한 것으로, 실제 핵심리스크 도출 및 영향체인 작성을 포함한 전반적인 과정은 리스크 평가의 범위 및 목적에 따라 달라져야 한다(Zebisch et al., 2023). 예를 들어, 지자체 단위 또는 특정 계층을 대상으로 수행하는 리스크 평가의 경우, 해당 평가 범위와 목적을 추가적으로 반영하여 데이터의 선택, 그리고 영향체인 구성요소 및 평가지표의 식별이 이

루어져야 한다. 또한, CR-SB 및 다양한 선행연구에서는 리스크 식별 및 평가의 전 과정에서 정량적 평가와 함께 각 분야 및 지역 전문가, 다양한 이해관계자의 참여가 이루어져야 한다고 강조하고 있다(IPCC, 2022; Kim et al., 2021; Zebisch et al., 2023) 따라서 KADT 기반의 리스크 평가 및 관리 체계의 구축에 있어서 본 연구에서 제시한 데이터 기반의 정량적 평가와 더불어, 정량적 자료로는 포착되지 않지만 중요하다고 판단되는 항목들을 발굴하기 위한 정성적 평가가 병행된다면 보다 효과적인 리스크 대응 및 정책 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2025-01-01-015).

Reference

- Berry D. 1997. Sustainable development in the United States: An experimental set of indicators. Interim report. Washington, DC: US Interagency Working Group on Sustainable Development Indicators.
- Chae YR, Park JH, Choi YS, Yang YS, Kim HY, Seo SJ, Sung JH, Cho JH. 2021. Building and assessing adaptive capacity to climate change for the national risk management: Economic analysis of the extreme climate risks. Sejong, Korea: Korea Environment Institute.
- International Organization for Standardization (ISO). 2021. ISO 14091:2021 Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment.
- IPCC. 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jeong SW, Yoo YJ, Jang YJ, Hwang JH, Jeon SW, Oh YY, Seo DH, Jin HA. 2024. Methodology for deriving key risks and developing impact chains for climate risk assessment based on the Korea Climate Crisis Adaptation Information Taxonomy (KADT) (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 15(5-2): 845-855. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.5.845
- Kim J, Kim D, Lee M, Han H, Kim HS. 2022. Determining the risk level of heavy rain damage by region in South Korea. *Water* 14(2): 219. doi: 10.3390/w14020219
- Kim KJ, Hwang WG, Kim GH, Jeong DJ. 2021. A review of the possibility of assessment indicators for natural disaster risk analysis through expert survey (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Hazard Mitig* 21(1): 47-55. doi: 10.9798/KOSHAM.2021.21.1.47
- Korea Meteorological Administration. Various years (2019 ~ 2023). KMA open MET data portal; [accessed 2025 Aug 20]. <https://data.kma.go.kr>
- Ministry of the Interior and Safety. 2025. Natural disaster statistics (2020 ~ 2023); [accessed 2025 Aug 24]. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=110&tblId=DT_156003_014&conn_path=I2
- Moreira LL, de Brito MM, Kobiyama M. 2021. Effects of different normalization, aggregation, and classification methods on the construction of flood vulnerability indexes. *Water* 13(1): 98. doi: 10.3390/w13010098
- Nguyen HD, Fox D, Dang DK, Pham LT, Viet Du QV, Nguyen THT, Petrisor AI. 2021. Predicting future urban flood risk using land change and hydraulic modeling in a river watershed in the central Province of Vietnam. *Remote Sens* 13(2): 262. doi: 10.3390/rs13020262
- Pamukçu Albers P, Evers M. 2024. Assessing flood risk: Identifying indicators and indices for period-specific flood measures. *EGUsphere* 2024: 1-29. doi: 10.5194/egusphere-2024-188
- Park JS, Lim CH. 2023. Spatial assessment of climate inequality: Focusing on flooding in Seoul (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 14(4): 491-500. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.4.491
- Saisana M, Saltelli A. 2011. Rankings and ratings: Instructions for use. *Hague J Rule Law* 3(2): 247-268. doi: 10.1017/S1876404511200037

- Seo DH, Oh Y, Yu YJ, Jin H, Jeon SW, Jeong SW, Jang YJ, Kim J, Roh S-A, Baek J, Yoo M. 2024. Development of a standard classification system for climate crisis adaptation information (II): Configurations and efficiency (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 15(5-2): 815-830. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.5.815
- Seol YJ, Kim HY. 2023. Comparison of disaster vulnerability analysis and risk evaluation of heat wave disasters (in Korean with English abstract). *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 26(1): 132-144. doi: 10.11108/kagis.2023.26.1.132
- World Wildlife Fund. 2015. The global disaster outlook: A glimpse into the future of risk.
- Yoo IS, Kim HG, Park JT, Jung HC. 2025. High-resolution flood risk assessment using Shared Socioeconomic Pathway (SSP) climate change scenarios (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 16(1): 25-42. doi: 10.15531/KSCCR.2025.16.1.025
- Zebisch M, Renner K, Pittore M, Fritsch U, Fruchter S.R, Kienberger S, Schinko T, Sparkes E, Hagenlocher M, Schneiderbauer S, Deleves JL. 2023. Climate risk sourcebook. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Bonn.

부록

Table A1. Identification of key risk candidates in the water environment sector

Original Code	KADT Code	KADT-SCI Lv4 Category (Risks)	CID Occurrence Trend Review				Risk Impact Magnitude Review				Total Score	Key Risk Candidate
			CID	Data	Trend Slope	CID Trend Score	Associated Disaster	Associated Affected Facility	Reverse Ranking by Total Damage Cost	Impact Magnitude Score		
W07	W01	Reduced groundwater recharge due to drought	Drought	Drought Watch/Warning (Frequency)	+5	0	-	Irrigation Facilities, Water Supply Facilities	-	0	0	X
W04	W02	Intensified stream drying due to drought	Drought	Drought Watch/Warning (Frequency)	+5	0	-	Rivers, Small Rivers	-	0	0	X
W07	W03	Reduced groundwater recharge due to rising temperatures	Temperature Increase	Annual Mean Temperature Anomaly (°C)	+7	22	Heat Wave	Irrigation Facilities, Water Supply Facilities	-	0	22	X
W01	W04	Increased flood risk in river basins due to heavy rainfall	Heavy Rain	Heavy Rain Advisory/Warning (Frequency)	+14	100	Heavy Rain	Rivers, Small Rivers, Irrigation Facilities	3	100	200	O
W05	W05	Deterioration of river/lake water quality due to drought	Drought	Drought Watch/Warning (Frequency)	+5	0	-	Rivers, Small Rivers	-	0	0	X
W05	W06	Deterioration of river/lake water quality due to rising temperatures	Temperature Increase	Annual Mean Temperature Anomaly (°C)	+7	22	Heat Wave	Rivers, Small Rivers	-	0	22	X
W02	W07	Increased inflow of pollutants into rivers and lakes due to heavy rainfall	Heavy Rain	Heavy Rain Advisory/Warning (Frequency)	+14	100	Heavy Rain	Rivers, Small Rivers	2	67	167	O
W03	W08	Decreased water supply capacity due to drought	Drought	Drought Watch/Warning (Frequency)	+5	0	-	Water Supply Facilities	-	0	0	X
W03	W09	Reduced structural stability of dams and river infrastructure due to heavy rainfall	Heavy Rain	Heavy Rain Advisory/Warning (Frequency)	+14	100	Heavy Rain	Irrigation Facilities	1	22	133	O

Table A2. Identification of key risk candidates in the marine and fisheries sector

Original Code	KADT Code	KADT-SCI Lv4 Category (Risks)	CID Occurrence Trend Review				Risk Impact Magnitude Review				Total Score	Key Risk Candidate
			CID	Data	Trend Slope	CID Trend Score	Associated Disaster	Associated Affected Facility	Reverse Ranking by Total Damage Cost	Impact Magnitude Score		
A15	O01	Intensified changes in fishing operation conditions due to climate change	Climate Change	-	0	0	Inclusive of Associated Disasters	Marine Environment	1	6	6	X
A05	O02	Increased damage to aquaculture due to extreme weather events	Extreme Weather	-	0	0	Inclusive of Associated Disasters	Aquaculture Facilities, Fishing Gear, Marine Environment	4	25	25	X
A05	O03	Intensified changes in aquaculture environmental conditions due to extreme weather	Extreme Weather	-	0	0	Inclusive of Associated Disasters	Aquaculture Facilities, Fishing Gear, Marine Environment	4	25	25	X
A17	O04	Decreased seafood safety due to rising sea temperatures	Sea Surface Temperature Rise	Annual Mean Sea Surface Temperature by Domestic Waters (East, West, South Seas) (°C)	+11	50	Heat Wave	Aquatic Organisms, Marine Environment		0	0	X
A06	O05	Decreased coastal fisheries productivity due to rising sea temperatures	Sea Surface Temperature Rise	Annual Mean Sea Surface Temperature by Domestic Waters (East, West, South Seas) (°C)	+11	50	Heat Wave	Aquatic Organisms, Vessels, Fishing Gear, Marine Environment		0	0	X
A06	O06	Decreased coastal fisheries productivity due to ocean acidification	Ocean Acidification	-	0	0	-	Aquatic Organisms, Vessels, Fishing Gear, Marine Environment		0	0	X
S02	O07	Intensified erosion of beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to wave action	Wave	High Seas Advisory / Warning	+18	82	High Waves and Strong Winds, Typhoon	Ports, Fishing Ports, Fishing Gear	14	88	88	O

Original Code	KADT Code	KADT-SCI Lv4 Category (Risks)	CID Occurrence Trend Review				Risk Impact Magnitude Review				Total Score	Key Risk Candidate
			CID	Data	Trend Slope	CID Trend Score	Associated Disaster	Associated Affected Facility	Reverse Ranking by Total Damage Cost	Impact Magnitude Score		
NEW	O08	Increased sedimentation in beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to wave action	Wave	High Seas Advisory / Warning	+18	82	High Waves and Strong Winds, Typhoon	Ports, Fishing Ports, Fishing Gear	14	88	88	O
S02	O09	Intensified erosion of beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to sea level rise	Sea Level Rise	Annual Mean Sea Level Anomaly (cm)	+22	100	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports, Fishing Gear	12	75	75	O
NEW	O10	Increased sedimentation in beaches, dunes, coastal areas, tidal flats, and coastal forests due to sea level rise	Sea Level Rise	Annual Mean Sea Level Anomaly (cm)	+22	100	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports, Fishing Gear	12	75	75	O
S01	O11	Increased coastal flooding risk due to heavy rainfall	Heavy Rain	Heavy Rain Advisory / Warning	+14	64	Heavy Rain	Ports, Fishing Ports, Vessels, Fishing Gear, Marine Environment	2	13	13	X
S01	O12	Increased coastal flooding risk due to sea level rise	Sea Level Rise	Annual Mean Sea Level Anomaly (cm)	+22	100	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports, Vessels, Fishing Gear, Marine Environment	16	100	100	O
S01	O13	Increased coastal flooding risk due to surges	Surge	High Seas, Tsunami, and Storm Surge Advisories / Warnings	+19	86	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports, Vessels, Fishing Gear, Marine Environment	16	100	100	O

Original Code	KADT Code	KADT-SCI Lv4 Category (Risks)	CID Occurrence Trend Review				Risk Impact Magnitude Review					Total Score	Key Risk Candidate
			CID	Data	Trend Slope	CID Trend Score	Associated Disaster	Associated Affected Facility	Reverse Ranking by Total Damage Cost	Impact Magnitude Score			
S05	O14	Increased saltwater intrusion damage in coastal areas due to sea level rise	Sea Level Rise	Annual Mean Sea Level Anomaly (cm)	+22	100	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports	9	56	56	X	
W08	O15	Increased vulnerability of estuarine and coastal water management due to sea level rise	Sea Level Rise	Annual Mean Sea Level Anomaly (cm)	+22	100	Storm Surge, Typhoon			0	0	X	
S04	O16	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to strong winds	Strong Wind	Strong Wind Advisory / Warning	+18	82	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports	9	56	56	X	
S03	O17	Increased risk of damage to port facilities due to extreme weather events	Extreme Weather	-	0	0	Inclusive of Associated Disasters	Ports	5	31	31	X	
S04	O18	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to wave action	Wave	High Seas Advisory / Warning	+18	82	High Waves and Strong Winds, Typhoon	Ports, Fishing Ports	10	63	63	X	
S04	O19	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to sea level rise	Sea Level Rise	Annual Mean Sea Level Anomaly (cm)	+22	100	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports	9	56	56	X	
S04	O20	Increased risk of damage to coastal infrastructure due to surges	Surge	High Seas, Tsunami, and Storm Surge Advisories / Warnings	+19	86	Storm Surge, Typhoon	Ports, Fishing Ports	9	56	56	X	