전문가 설문조사를 통한 자연재난 위험도분석 평가지표 활용 가능성에 대한 검토

A Review of the Possibility of Assessment Indicators for Natural Disaster Risk Analysis through Expert Survey

김금지* · 황정근** · 김가희*** · 정도준****

Kim, Keumji*, Hwang, Jeonggeun**, Kim, Gahui***, and Jung, Dojoon****

Abstract

In recent years, the frequent occurrence of extreme weather due to climate change has increased the possibility of potential danger across the world. Additionally, South Korea has been consistently exposed to disaster risk. Studies on the prediction of damage from natural disasters are critical for the government and local governments to formulate disaster recovery policies. However, the scope of risk analysis evaluation indicators currently utilized by the relevant organizations comprises limitations, as there are no consistent standards for indicator selection. From this viewpoint, this study selected 118 surrogate indicators, including indicators frequently used in previous studies, and conducted a survey with 52 experts in the disaster field to examine the possibility of use of these indicators. As a result of the expert survey, 37 indicators were analyzed as “very appropriate” and 54 indicators were analyzed as “appropriate” regarding their possibility of use. Finally, we suggested four natural disaster risk assessment methods, which can be used in policymaking by the government and local governments in the future.

Key words : Natural Disaster, Risk Analysis, Assessment Indicators, Likert Scale, Expert Survey

요 지

최근 기후변화로 인한 극한기상의 빈번한 발생은 전 세계적으로 잠재적 위험발생 가능성을 증대시키고 있으며 우리나라도 이러한 재해위험에 지속적으로 노출되어 있다. 자연재난으로 인한 인명, 재산 피해에 대한 사전 예측·평가 연구는 국가 및 지역별 피해 저감방안을 마련하는데 매우 중요하다. 하지만, 현재 유관기관에서 수행하는 위험도분석 평가지표의 범위는 매우 광범위하고 지표선정에 대한 일관된 기준이 없어 한계가 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 선행연구에서 빈번히 사용된 평가지표를 포함하여 118개의 대리지표를 선정하고 활용 가능성을 검토하기 위하여 52명의 재난·재해분야 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 전문가 설문조사 결과, 37개의 지표가 ‘적극 추천’으로, 54개의 지표가 ‘추천’ 지표로 분석되어 대리지표의 활용 가능성을 검토할 수 있었으며, 위험도분석 평가지표 수집을 위한 제언을 통해 향후 국가 및 지자체 방재계획 수립 시 활용 가능한 평가지표 선정방안을 제시하였다.

핵심용어 : 자연재난, 위험도분석, 평가지표, 리커트척도, 설문조사

*정회원, 국립재난안전연구원 방재연구실 선임연구원(E-mail: keumjikim@korea.kr)

Member, Senior Researcher, Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute

**정회원, 국립재난안전연구원 방재연구실 연구원

Member, Researcher, Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute

***국립재난안전연구원 방재연구실 연구보조원

Researcher Assistant, Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute

****교신저자, 정회원, 국립재난안전연구원 방재연구실 시설연구사(Tel: +82-52-928-8171, Fax: +82-52-928-8199, E-mail: fasv96@korea.kr)

Corresponding Author, Member, Research Officer, Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute

1. 서론

2020년 여름, 총 54일간(20.6.19.~20.8.16.)의 사상 유례없는 긴 장마와 집중호우(8.1.~8.14.), 연이어 발생한 태풍 마이삭(8.28.~9.3.), 하이선(9.1.~9.8.)으로 인해 전국에 대규모 인명·재산피해가 발생하였다. 주요 피해로는 산사태, 도로 붕괴, 제방 월류·붕괴 및 시설물 침수·붕괴·파손 등으로 인한 피해 등이 포함된다. 특히 장기간의 홍수로 인해 지반이 약해진 상태에서 집중호우와 태풍이 연이어 발생함에 따라 산사태, 도로붕괴 등의 인명피해가 많았다(행정안전부 보도자료 참고¹⁾).

이러한 각종 자연재난 피해는 정부 및 유관기관의 사전예보를 통해 철저한 대응책이 마련되고 국민의 대비가 철저히 이루어졌음에도 예기치 못한 다수의 피해를 유발하였다는 점에서 재해취약요인에 따른 면밀한 사전조사 및 철저한 대응방안 마련의 필요성이 제기된다. 자연재난으로 인해 매년 반복되는 인명·재산피해를 줄이기 위해서는 도시 내 위험요인에 대한 정량적 검토가 반드시 이루어져야 한다. 피해가 예상되는 지역 및 구조물들의 구조적 취약성, 노후화 등의 취약요인을 파악하고 이를 활용한 위험도 분석을 기반으로 수행된 방재정책 마련은 향후 자연재난 피해를 줄이는데 효율적 수단이 될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 우리나라는 지역별 상대적 자연재난 위험을 비교·분석하고 국가 및 지역 안전관리계획 수립을 위해 지역안전지수²⁾, 지역안전도³⁾ 등의 위험지수를 공표함으로써 재난유형별 광역·기초지자체 단위의 위험정보를 제공하고 있다. 하지만 실질적인 재해위험도를 산정하기에 현재 활용되고 있는 평가지표의 범위가 한정적이며 보다 다양한 분야의 지역사회 현상이 반영되어야 할 필요가 있다는 점에서 평가지표 선정에 관한 추가적인 연구가 시급하다.

이에 본 연구는 지역별 자연재난 위험분석 결과의 객관성 및 정확성을 높이기 위해 전문가 설문조사를 통한 재난유형별 지표들의 활용 가능성을 검토하고 향후 신규지표 마련을 위한 주요 방안을 제시하였다. 본 연구 결과는 국가 및 지자체의 위험도분석 시 활용 가능한 기초자료 목록 및 방향을 제공함으로써 분석 결과의 정확도를 높이는데 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

2. 선행연구

자연재난 위험도분석 시 적절한 평가지표의 선택과 활용은 결과의 정확도를 결정하는 가장 중요한 절차이다. 재해위험도 분석을 진행한 다수의 연구에서는 평가지표 선택 시 전문가의 주관적 의견을 조사하거나 혹은 지표 간 상관관계

를 분석하는 등 다양한 방법을 통해 선정된 최종지표를 평가에 활용하고 있다.

전국 시·군·구 지역의 자연재난 위험도분석을 진행한 Kim (2018)은 자연재난 발생으로 예상되는 피해의 대상, 혹은 피해를 심화시킬 가능성이 큰 지역의 물리·환경·기상현황과 관련된 총 64개의 위험지표를 구축하고, AIC값, RandomForest 분석법을 활용하여 강우·강풍·대설·태풍에 미치는 영향에 대한 중요도를 도출하였다. 특히 과거 10년간 자연재난 발생으로 인한 실제 피해사례와 지표와의 연관성 분석을 통해 영향력 높은 지표만을 평가모델링에 활용하여 지표구축의 타당성을 확보하였다.

풍수해 재난회복력에 영향을 미치는 지역 특성요인 규명에 관한 연구를 진행한 Pak and Yoon (2017)은 인구·토지·인프라·경제·사회·기후 등 6가지 특성에 따른 설명변수를 설정하고 PLS 회귀분석을 통한 설명변수의 분산 설명도를 검토, 이를 평가에 활용하였다. 재난관리자원 선정을 위한 자연재난 위험도평가를 진행한 Lee et al. (2019)은 과거 20년간 재해연보의 시설물 피해현황을 통한 연관 지표를 추출하고 전문가조사, 요인분석을 통해 최종 평가지표를 선정하였다.

Eu et al. (2019)은 전문가 21명을 대상으로 해안가 복합재난 위험지구에 대한 재해예방기법 특성요소에 대한 평가를 시행하였다. 재해예방기법 도출을 위해 각 부처별 위험지구 사례 및 자연재해저감종합계획을 분석하여 총 51개의 재해예방기법을 도출하였다. 또한, 재해예방기법별 특성요소에 대한 평가를 위해 전문가 설문조사를 실시하여 1~5등급까지의 평가결과를 도출하였다. 기존 부처별로 산재되어 제시되고 있는 다양한 예방기법에 대한 조사를 실시하고 관련 전문가들의 주관적 평가를 통해 대책에 대한 실효성 및 적정성을 도출하는 등 재해예방기법 마련을 위한 의미 있는 결과를 도출한 연구로 사료된다.

평가지표 자료의 종류 및 성격에 따라 분석결과 차이가 매우 크며 정확도가 결정되는 만큼 지표선정은 위험도분석에서 중요한 단계이나 선행연구 검토 결과 지표선정에 대한 일관된 기준이 없이 연구자의 주관적 판단에 의해 평가지표가 결정되는 경우가 다수 발견되었다. 본 연구에서는 해당 분야의 연구자 또는 실무자들을 대상으로 지표에 대한 활용 가능성에 대한 주관적 의견을 조사함으로써 평가지표 활용의 근거를 확보하고 신규지표 수집을 위한 방안을 제시하여 지표수집의 한계점을 보완하고자 하였다.

3. 설문 개요

3.1 대리지표 선정기준 및 방법

자연재난 위험도분석 평가지표는 지표의 성격에 따라 크게 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 정부간 기후변화 패널)에서 제시한 위험의 정의에 따라 위해

1) 행정안전부 보도자료 20건(20.6.29~20.9.6.)

2) 「재난 및 안전관리기본법」 제66조의10(안전지수의 공표)

3) 「자연재해대책법」 제75조의2(지역안전도 진단)

성·노출성·취약성(Working Group II)·저감성(Working Group III)으로 분류할 수 있다(IPCC, 2014a, 2014b, 2014c). 현재까지 다양한 연구에서 IPCC에서 제시한 위험도에 관한 개념을 활용하고 있으며 본 연구에서도 IPCC 위험도분석 개념을 기반으로 재정의한 위해성·노출성·취약성·저감성에 따른 대리지표를 선정하였다.

IPCC에서는 위해성을 ‘재난 발생 및 경향과 관련된 기상학적 현황’으로 정의하며 본 연구에서는 ‘재난 발생과 관련된 기상학적·물리·환경적 현황’으로 재정의하였다. ‘부정적 영향을 받기 쉬운 인명·중·생태계·환경적 영향·자원·인프라·경제·사회·문화자산’으로 정의되는 노출성은 ‘위험지역에 위치하여 피해의 위험이 큰 성향 또는 현황’으로 재정의하였다. ‘피해에 대한 민감성, 대처 및 적응 능력 부족에 악영향을 미치는 성향’으로 정의되고 있는 취약성은 ‘피해에 대한 대처 및 적응이 취약한 성향 또는 현황’으로 재정의하였다. 마지막으로 저감성은 ‘기후변화를 개선하기 위한 일련의 인간 활동’으로 정의할 수 있으며 본 연구에서는 ‘자연재해를 줄일 수 있는 역량’으로 재정의하였다.

대리 지표 선정 기준은 Table 1과 같다. 대리 지표는 과거 선행연구(NDMI, 2014, 2015, 2016, 2017)에서의 활용 빈도가 높았던 지표들을 대상으로 IPCC에서 제시하고 있는 위해성·노출성·취약성·저감성 부합 여부를 판단하여 자료의 타당성을 확보하였다. 또한, 전국 시·군·구 단위의 지역별 자료수집 가능 여부를 판단하여 공간 부합성을 고려하였으며 국가에서 제공하는 공공데이터 여부를 판단함으로써 자료수집의 지속성을 고려하여 최종 총 118개의 대리 지표(Proxy Indicator)를 선정하였으며 이를 설문조사에 활용하였다.

Table 1. The Procedure of Index Selection

Validation of Data	Review of frequency of index in previous studies
	Conformity with IPCC's concept
↓	
Space Coincidence	Judging of Data Collection by Si · Gun · GU
↓	
Persistence of Data Collection	Judging of Public data by government

한편, 본 연구에서 정의한 노출성의 ‘위험지역’은 재난 발생 시 피해에 취약한 지역을 의미하는 것으로, 관련 부처에서 구축하여 제공하고 있는 홍수위험지도(풍수해), 해안침수예상도(연안재해), 산사태위험지도(산사태)를 활용하고 위험지도가 없는 나머지 다섯 개 재난유형(대설·가뭄·폭염·조류·지진)에 대해서는 기상주의보 등의 기상현황 반영하여 위험지역을 산정하는 것으로 정의하였다(Table 2).

Table 2. Definition of Hazard Area

Classification	Method
Three disasters	Selection of Hazard Area through Hazard Map
↳ Storm and Flood	Flood risk Map (Ministry of the Interior and Safety)
↳ Coastal Sea damage	Coastal Flood Risk Map (Ministry of Environment)
↳ Landslide	Landslide Risk Map (Korea Forest Service)
Rest of Disasters	Selection of Hazard Area reflecting the weather condition
↳ Snow	Total days of daily fresh snow cover over 5 cm (Refer to Weather Advisory Standards)
↳ Drought	Total days of consecutive dry days and months under precipitation compared to last year (Refer to Weather Advisory Standards)
↳ Heatwave	Total days of daily maximum temperature over 33 °C (Refer to Weather Advisory Standards)
↳ Tide	Total days of consecutive dry days and daily maximum temperature over 33 °C
↳ Earthquake	Number of earthquake of magnitude 3 or higher

또한, 각각의 평가지표는 향후 자연재난 위험의 대상은 총 여덟 가지로 인명·동식물(생명적 요소), 하천/호수·지반(환경적 요소), 건물·시설물(물리적 요소), 계획·시스템(사회적 요소)으로 구분하였다(Fig. 1). 생명적 요소 중 인명 현황은 행정안전부에서 제공하는 주민등록인구수를 활용하였으며, 물리적 요소 중 건물현황은 국토교통부에서 제공하는 수치지형도 내 건물 전체를 대상으로 하고, 시설물 현황은 주요기반시설로서 국토교통부에서 제공하는 도시계획현황 통계 내 수도·전기·가스·열공급설비 및 방송·통신, 유류저장 및 송유설비를 대상으로 하였다.

Fig. 1. Four Targets of Analysis

3.2 설문조사 개요

본 연구는 시·군·구 단위 지역별 자연재난 위험도분석 평가지표 활용성 검토를 목적으로 관련 전문가를 대상으로 8개 자연재난 유형별 총 118개 대리지표에 대한 전문가의 의견을 통해 지표활용 타당성을 검토하였다. 설문조사는

학계 및 관련기관에 종사하는 재난·재해 분야 전문가 52명(학계 15명, 연구기관 15명, 민간 5명, 방재분야 공무원 17명)으로 구성되어 있으며 설문기간은 총 2주로 2020년 3월 2일~16일에 실시되었다(Table 3).

조사대상인 8개 재난유형은 제4차 「국가안전관리기본계획」(MOIS, 2019)에서 분류하는 유형을 기준으로 본 연구결과가 국가 및 지역별 방재계획 수립에 활용 가능토록 하였다. 안전관리계획에서 제시하는 재난유형 중 자연재난은 총 9개 유형으로 풍수해·산사태·가뭄·지진·황사·조류·대설/한파·폭염·낙뢰 등 기타로 구분된다. 본 연구에서는 응답 인원이 적었던 황사, 한파, 낙뢰 및 기타를 분석대상에서 제외하였으며, 기존 풍수해에 포함되는 태풍·홍수·집중호우·강풍을 ‘풍수해’로, 풍랑·해일·조수를 ‘연안재해’로 구분하여 총 8개의 재난유형을 대상으로 정하였다.

118개 대리지표에 대한 적합성 여부는 리커트척도(Likert Scale)를 활용하였다. 리커트 척도란 설문조사에서 사용되는 정량적 응답척도로서 문항에 대한 응답자의 동의·비동의 수준을 측정하고 이를 점수로 산정하는 방법이다. 설문조사 결과에 대한 정성적 평가 내용을 정량화하기 위해 다수의 연구에서 활용하고 있다(Chung et al., 2008; Kim et al., 2016; Kim and Lee, 2017; Han et al., 2019). 리커트 척도를 활용하여 각 대리지표에 관한 다섯 단계의 응답에 따른 가중치를 0.25 등간격으로 적용(매우동의: 1.00, 동의: 0.75, 보통: 0.50, 비동의: 0.25, 매우비동의: 0.00)하고 이를 합산한 0에서 1사이의 적합성 지수(Suitability Value)를 산정하였다. 이렇게 산정된 적합성 지수는 각 대리지표의 활용 가능성을 나타내기 위해 ‘매우적합(Very Appropriate)’, ‘동의(Appropriate)’, ‘비적합(Inappropriate)’으로 구분하였다(Fig. 2).

한편, 다수의 선행연구에서는 지표 활용 가능성을 구분하기 위한 일관된 기준이 없이 연구자의 주관적 판단, 혹은 실제 피해사례와의 상관성 검토, 설문조사 등의 방법을 통해 지표 활용 여부가 결정되고 있다. 본 연구에서 선정한 118개의 대리지표는 유사 선행연구에서의 활용 빈도가 높은 지표들로 구성되어 대리지표의 활용 가능성이 전체적으로 높다.

이에 도출된 적합성 지수값을 대상으로 4분위수(quartile)를 적용하여 분포값들의 상위 25%에 위치하는 지표들을 지표 활용에 대한 ‘매우적합’ 지표로, 하위 25%를 ‘비적합’ 지표로, 나머지를 ‘적합’ 지표로 정하였다.

Fig. 2. Concept of Analysis

4. 설문 결과

Table 4는 자연재난 위험도분석 평가지표 활용가능성 검토를 위한 설문조사 결과를 나타낸 것으로, 총 118개의 대리지표 중 37개 지표가 ‘매우 적합’으로 54개 지표가 ‘적합’으로, 27개 지표가 ‘비적합’으로 나타났다.

첫째, 풍수해의 경우 20개 대리지표 중 5개지표(3시간 이상 60 mm 이상 강수발생 일수·반지하가구·지하건물·유수지·방수설비 현황)가 ‘매우적합’으로, 10개 지표(일평균풍속 14 m/s 이상 발생일수·위험지역의 인구/건물/시설물·안전취약계층·취약지붕건물·노후건물·토양배수 불량지역·빗물저장 및 이용시설·대피시설 현황)가 ‘추천’으로 분석되었다. 고층건물의 경우 고층건물 현황보다 지역별 고층건물의 밀집도를 산정하여 빌딩풍으로 인한 각종 피해를 반영해야 한다는 의견이 제시되었다.

둘째, 연안재해의 경우 총 14개 대리지표 중 6개 지표(유리 파고 3 m 이상 발생일수·위험지역의 인구/건물/시설물·제방·방재설비 현황)가 ‘매우적합’으로, 4개 지표(해상풍

Table 3. Overview of Survey

Division	Description
Natural Disaster	<ul style="list-style-type: none"> 8 disasters - Storm and Flood, Coastal Sea Damage, Snow, Drought, Landslide, Heatwave, Tide, Earthquake
Period	<ul style="list-style-type: none"> Two weeks (2020.3.2~3.16.)
Questions	<ul style="list-style-type: none"> Suitability Assessment of 118 Indicators - 5: Strongly Agreed, 4: Agreed, 3: Normal, 2: Disagreed, 1: Strongly Disagreed
Response	<ul style="list-style-type: none"> Total 52 Person (Disaster Experts) - Storm and Flood: 9 person, Coastal Sea Damage: 8 person, Snow: 4 person, Drought: 7 person, Landslide: 8 person, Heatwave: 6 person, Tide: 5 person, Earthquake: 5 person
Method	<ul style="list-style-type: none"> Likert Scale
Results	<ul style="list-style-type: none"> Very Appropriate, Appropriate, Inappropriate

Table 4. List of Indicators

Disaster		Proxy Index			Source	Weight	Agree	Disaster		Proxy Index			Source	Weight	Agree		
▪ [Risk Factors] ▪ [Disaster] ▪ [Climate] ▪ [Sources]		H: Hazard, E: Exposure, V: Vulnerability, M: Mitigation ① Storm and Flood ② Coastal Disaster ③ Snow ④ Drought ⑤ Heat Wave ⑥ Landslide ⑦ Tide ⑧ Earthquake All indexes related to climate have period of 10 years MIS: Ministry of the Interior and Safety, MEF: Ministry of Economy and Finance, ME: Ministry of Environment, MLIT: Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, MAFRA: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Kwater: Korea Water Resources Corporation, KRCC: Korea Rural Community Corporation, KHNP: Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd C: Indicator applied in common						▪ [Hazard Area] ▪ [Suitability]		① Flood and Storm: Flood Hazard Map (Han River Flood Control Office), ② Coastal Disaster: Coastal Flood Forecast Map (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency), ③ Landslide: Landslide Hazard Map (Korea Forest Service) ④ Snow-Drought-Green/Red Tide Hazard Area: Automated Surface Observing System (Korea Meteorological Administration), ⑤ Earthquake Hazard Area: Earthquake Statistics (Korea Meteorological Administration) VA (Very Appropriate): Top 25% of sustabity value IA (Inappropriate): Bottom 25% of sustabity value A (Appropriate): Rest of value							
STORM AND FLOOD	H	Precipitation				ME	0.889	VA	M	Coastline Dike				MLIT	0.813	VA	
		↳Total days of precipitation over 60 mm in 3 hours a day								↳Total number of Coastline Dike by region							
		Wind Speed				ME	0.750	A		ShelterC				MEF	0.781	A	
	E	↳Total days of wind speed over 14 m/s							Gross Regional Domestic ProductC				MEF	0.563	IA		
		(Hazard Area)① Population				MEF	0.833	A	Financial Independence RateC				MIS	0.594	IA		
		↳Total number of people living in Hazard Area							Government Employee of DisasterC				MIS	0.719	A		
	E	(Hazard Area)① Infrastructure Facilities				MLIT	0.750	A	H	Daily fresh snow cover over 5 cm				ME	0.813	VA	
		↳Total number of Infrastructure Facilities including water-electricity-gas-broadcast and communication-storage reservoirs-fire-prevention facilities								↳Total days of daily fresh snow cover over 5 cm							
		(Hazard Area)① Buildings				MLIT	0.778	A	E	(Hazard Area)④ Population				MEF	0.750	VA	
	↳Total buildings areas located on Hazard Area							↳Total number of people living in Hazard area									
	Vulnerable Group				MEF	0.833	A	(Hazard Area)④ Infrastructure Facilities				MLIT	0.563	A			
	V	↳Total number of people who are the old and the infirm, disabled by region							SNOW	↳Total number of Infrastructure Facilities							
		Semi-basement Building				MEF	0.944	VA		(Hazard Area)④ Buildings				MLIT	0.688	A	
		↳Total number of semi-basement buildings by region								↳Total buildings area located on Hazard Area							
		Basement Buildings				MLIT	0.861	VA		people employed in agriculture				MEF	0.625	A	
		↳Total number of basement buildings by region								↳Total number of people employed in agriculture							
		Vulnerable roof Buildings				MLIT	0.778	A		V	Vinyl Greenhouse				MEF	0.563	A
		↳Total area of buildings with slate and tile roof by region									↳Total number of Vinyl Greenhouse						
		Old Building				MLIT	0.806	A			Road				MLIT	0.625	A
		↳Total area of building over 30 years by region								↳road area by region							
		Highrise Building				MLIT	0.528	IA		Weak Roof Building				MLIT	0.750	VA	
		↳Total area of buildings over 30 th floor by region								↳Total area of building which have slate and tile roof by region							
		River				MLIT	0.722	IA		M	Shelter				MEF	0.563	A
		↳Total area of rivers by region									Gross Regional Domestic ProductC				MEF	0.375	IA
		Poor Soil Drainage Area				MAFRA	0.833	A			Financial Independence RateC				MIS	0.688	A
		↳Total area of poor soil drainage area by region								Government Employee of DisasterC				MEF	0.625	A	
	M	Retention Pond				MLIT	0.889	VA	H	Consecutive dry days				ME	0.464	IA	
		↳Total number of Retention Pond by region								↳Total days of consecutive dry days over two days							
		Flood Control Facilities				MLIT	0.889	VA		Months under precipitation compared to last year				ME	0.714	A	
		↳Total number of Flood Control Facilities by region							↳Total months under precipitation compared to last year								
		Rainwater Storage Facilities				MLIT	0.833	A	E	(Hazard Area)④ Population				MEF	0.714	A	
		↳Total number of Rainwater Storage Facilities by region								↳Total number of people living in Hazard area							
		ShelterC				MEF	0.639	IA		(Hazard Area)④ Farmland				MLIT	0.750	VA	
		↳Total number of Shelter by region							↳Total area of Farmland located in Hazard area								
		Gross Regional Domestic Product (GRDP)C				MEF	0.694	IA	V	people living in unwatered area				ME	0.714	A	
		↳GRDP by region								↳Total number of people living in unwatered area by region							
		Financial Independence RateC				ME	0.750	A		Weter leak rate of Water Supply				ME	0.571	A	
		↳Financial Independence Rate by region							↳water leak rate of water supply by region								
		Government Employee of DisasterC				MEF	0.625	IA	M	people employed in agriculture				MEF	0.500	A	
		↳Total number of Government Employees of Disaster by region								↳the number of people employed in agriculture							
		Significant wave height over 3 m				ME	0.813	VA		Facilities with heavy use of water				ME	0.643	A	
H	↳Total days of significant wave height over 3 m							DROUGHT	↳Total number of facilities with heavy use of water for golf-spa-pool-accomodation								
	Wind Speed in Sea over 14 m/s				ME	0.750	A		Dam				MLIT	0.714	A		
	↳Total days of wind speed in sea over 14 m/s								↳Total area of Dam by region								
Coastal Disaster	E	(Hazard Area)② Population				MEF	0.906	VA	M	Reservoir				MAFRA	0.821	VA	
		↳Total number of people living in Hazard area								↳Total number of Reservoir by region							
		(Hazard Area)② Infrastructure Facilities				MLIT	0.875	VA		Drought Countermeasure Cost				ME	0.536	A	
	↳Total number of Infrastructure Facilities							↳Drought Countermeasure Cost by region									
	(Hazard Area)② Buildings				MLIT	0.813	VA	Countermeasure water supplies				MLIT	0.714	A			
	↳Total buildings area located on Hazard Area							↳Total sum of countermeasure water supplies for (the use of rainwater-wastewater-reuse of sewage treatment-groundwater) by region									
V	Coastal Slope				MEF	0.781	A	M	Water supply facilities				ME	0.750	VA		
	↳Average Coastal Slope by region								↳Total water supply facilities by region								
	Length of Coastline				MLIT	0.531	IA		Gross Regional Domestic ProductC				MEF	0.429	IA		
	↳Average length of coastline by region								Financial Independence RateC				MEF	0.429	IA		
M	Fisheries workers				MEF	0.594	IA	M	Government Employee of DisasterC				MEF	0.321	IA		
	↳Total number of Fisheries workers																
M	Levee				MLIT	0.844	VA	M									
	↳Total number of Levee by region																

Table 4. (Continued)

Disaster	Proxy Index	Source	Weight	Agree	Disaster	Proxy Index	Source	Weight	Agree
HEAT WAVE	Daily Maximum temperature over 33 ℃	ME	0.958	VA	TIDE	consecutive dry days (no rain)	ME	0.650	A
	↳ Total days of daily maximum temperature above 33 ℃					↳ Total days of consecutive dry days over two days			
	Daily Minimum temperature under 25℃ during night	ME	0.833	VA		Daily Maximum temperature over 33 ℃	ME	0.850	VA
	↳ Total days of daily minimum temperature above 25 ℃ (18:00-09:00)					↳ Total days of daily maximum temperature above 33 ℃			
	(Hazard Area) ^③ Population	MEF	0.458	IA		Insolation	ME	0.750	A
	↳ Total number of people living in Hazard area					↳ Average of daily insolation			
	Vulnerable Group	MEF	0.833	VA		(Hazard Area) ^④ Population	MEF	0.600	IA
	↳ Total number of people who are the old and the infirm, disabled by region					↳ Total number of people living in Hazard area by region			
	Outdoor Worker	MEF	0.833	VA		River-Lake	MLIT	0.800	VA
	↳ Total number of outdoor worker by region					↳ Total area of river and lake by region			
	Basement Building	MEF	0.292	VA		Length of Coastline	MLIT	0.650	A
	↳ Total area of basement buildings by region					↳ Average length of coastline by region			
	Aquafarm	MEF	0.583	A		Dam	MLIT	0.800	VA
	↳ Total number of Aquafarm by region					↳ total number of Dam by region			
	Cattle Shed	MEF	0.625	A		Aquafarm	MEF	0.700	A
	↳ Total number of Cattle Shed by region					↳ Total number of Aquafarm by region			
	Cooling Shelter	MIS	0.875	VA		Weir	ME	0.800	VA
	↳ Total number of Cooling Shelter by region					↳ Total number of Weir by region			
	Park	MLIT	0.875	VA		Reservoir	MAFRA	0.750	A
	↳ Total number of parks by region					↳ Total number of Reservoir by region			
	River	MLIT	0.583	A		Cattle shed	MEF	0.850	VA
	↳ Total area of River by region					↳ Total number of Cattle shed by region			
	Gross Regional Domestic Product ^㉔	MEF	0.583	A		Water pollution prevention facilities	MLIT	0.950	VA
	Financial Independence Rate ^㉔	MEF	0.583	A		↳ Total number of water pollution prevention facilities by region			
	Government Employee of Disaster ^㉔	MEF	0.708	A		Gross Regional Domestic Product ^㉔	MEF	0.500	IA
LAND SLIDE	Daily Precipitation over 150 mm	ME	0.969	VA		Financial Independence Rate ^㉔	MEF	0.600	IA
	↳ Total days of daily precipitation over 150 mm					Government Employee of Disaster ^㉔	MEF	0.550	IA
	(Hazard Area) ^③ Population	MEF	0.813	A	EARTHQ UAKE	Number of Earthquakes of magnitude 3 or higher	ME	0.700	A
	↳ Total number of people living in Hazard area					↳ Total days of earthquakes of magnitude 3 or higher			
	(Hazard Area) ^③ Infrastructure Facilities	MLIT	0.813	A		(Hazard Area) ^⑤ Population	MEF	0.850	VA
	↳ Total number of facilities located in Hazard area					↳ Total number of people living in Hazard area by region			
	(Hazard Area) ^③ Buildings	MLIT	0.813	A		(Hazard Area) ^⑤ Infrastructure Facilities	MLIT	0.800	VA
	↳ Total area of building located in Hazard area					↳ Total number of Infrastructure facilities by region			
	No Tree Forest	MAFRA	0.750	A		(Hazard Area) ^⑤ Buildings	MLIT	0.700	A
	↳ Total area of no tree forest by region					↳ Total area of buildings located in Hazard area by region			
	Weak Structure Buildings	MLIT	0.906	VA		Vulnerable Group	MEF	0.650	A
	↳ Total area of wooden and masonry buildings by region					↳ Total number of people who are the old and the infirm, disabled by region			
	Basement Building	MLIT	0.500	IA		Facilities for storage and disposal of hazardous substances	MLIT	0.850	VA
	↳ Total number of basement buildings by region					↳ Total number of facilities for storage and disposal of hazardous substances			
	Mean Slope	MLIT	0.813	A		Nuclear Power Plant	KHNP	0.750	A
	↳ Mean Slope by region					↳ Total number of Nuclear Power Plant			
	Poor Soil Drainage Area	MAFRA	0.875	VA		Weak Structure Building	MLIT	0.750	A
	↳ Total area of Poor soil drainage area by region					↳ Total area of wooden and masonry buildings by region			
	Forestry facilities	MLIT	0.875	VA		Old Building	MLIT	0.800	VA
	↳ Total forestry facilities by region					↳ Total area of building over thirty years			
	Gross Regional Domestic Product ^㉔	MEF	0.375	IA		Shelter	MIS	0.650	A
	Financial Independence Rate ^㉔	MEF	0.469	IA		↳ Total number of Shelter by region			
	Government Employee of Disaster ^㉔	MEF	0.594	A		Outdoor Shelter of Earthquake	MIS	0.600	IA
						↳ Total number of outdoor shelter of earthquake by region			
						Gross Regional Domestic Product ^㉔	MEF	0.450	IA
						Financial Independence Rate ^㉔	MEF	0.550	IA
						Government Employee of Disaster ^㉔	MEF	0.600	IA

속 14 m/s 이상 발생일수 · 연안경사도 · 대피시설 · 방재분야 공무원 현황)가 ‘적합’으로 분석되었다. 취약성의 ‘해안선’ 지표의 경우, 해안선의 길이가 길수록 해양과 접하는 면적이 넓어 노출성의 위험이 크지만, 리아스식 해안인 우리나라 서남해안은 굴곡이 심해 파랑에너지가 상쇄되는 효과가 있어 지표로 적합하지 않다는 의견이 있었다. 또한, 반농반어, 세제혜택 등의 이유로 어업종사 등록인구 현황의 정확도 저하가 우려되는 바 연안역 인구, 혹은 어촌계가입자 통계를

활용하는 것이 어업종사 인구 현황을 효율적으로 반영할 수 있을 것이라는 의견이 제시되었다.

셋째, 대설의 경우 총 12개 대리지표 중 3개 지표(일신적설량 5 cm 이상 발생일수 · 위험지역의 인구 · 취약지붕건물 현황)가 ‘매우적합’으로, 8개 지표(위험지역의 시설물/건축물, 농가인구 · 도로 · 취약지붕건물 · 시군구 GRDP · 대피시설 · 방재분야 공무원 현황)가 ‘적합’으로 분석되었다. 취약성의 ‘비닐하우스’ 지표의 경우 비닐하우스를 보유한 농가

의 경제적 피해가 실제 피해와의 상관성이 높아 단순 농가인구 현황보다 ‘비닐하우스를 보유한 농가인구 현황’이 더 적합할 것이라는 의견이 제시되었다.

넷째, 가뭄의 경우 총 16개의 대리지표 중 3개 지표(위험지역의 논/밭·저수지·급수시설 현황)이 ‘매우적합’으로, 9개 지표(평년대비 강수량 이하 개월·위험지역 인구·미급수인구·상수도누수율·농가인구·물다량시설·댐·가뭄대책비·대체용수 공급량 현황)가 ‘적합’으로 분석되었다. 위해성의 ‘최대무강수 지속일수’의 경우 강수량 부족에 의해 발생하는 가뭄과 연관성이 적어 기상학적 가뭄관련 지표로 대체가 바람직하다는 의견이 제시되었다. 또한, 각 지표에 따른 현황자료를 절대값으로 활용하기보다 지역별 차지하는 비율 등 상대적 비율값을 활용하는 것이 평가에 더 효율적일 것이라는 의견이 제시되었다.

다섯째, 폭염의 경우 총 14개의 대리지표 중 6개 지표(일최고기온 33℃ 이상 발생일수·밤 최저기온 25℃ 이상 발생일수·안전취약계층·야외근로자·무더위쉼터·공원/녹지 현황)가 ‘매우적합’으로, 6개 지표(양식장·축사·수계·시군구 GRDP·재정자립도·방재분야 공무원 현황)가 ‘적합’으로 나타났다. 폭염의 경우 위험지역에 위치하는 노출성의 대상을 사람, 가축, 어류로 세분화해야 하며, 저감성 지표인 ‘시군구 GRDP’, ‘재정자립도’ 지표보다 방재예산으로의 활용 가능성이 큰 ‘재정자주도’ 지표의 활용이 더 효율적일 것이라는 의견이 제시되었다.

여섯째, 산사태의 경우 총 13개의 대리지표 중 4개 지표(일강우량 150 mm 이상 발생일수·취약구조건물·토양배수 불량지역·사방설비 현황)가 ‘매우적합’으로, 6개 지표(위험지역 인구/시설물/건물·무림목지·지역평균경사·방재분야 공무원)가 ‘적합’으로 분석되었다. ‘지역평균경사’의 경우 적합성지수는 0.8 이상으로 높았으나 산사태위험지도 구축에 활용되는 지표로서 위험도분석 시 중복 반영의 우려가 제기되었다. 또한, 취약성의 ‘취약구조건물’ 지표는 건물 구조에 따른 취약정도의 차이를 고려하여 구조의 세분화가 필요하다는 의견이 제시되었다.

일곱째, 조류의 경우 총 15개 대리지표 중 6개 지표(일최고기온 33℃ 이상 발생일수·수계·댐·보·축사·수질오염방지시설 현황)가 ‘매우적합’으로, 5개 지표(최대 무강수 지속일수·일평균 일사량·해안·양식장·저수지 현황)가 ‘적합’으로 분석되었다. 한편, 저감성 지표의 경우 ‘방재분야 공무원’ 현황보다 ‘물환경분야 공무원’ 현황의 반영이 조류피해 저감과의 관련성이 높으며, ‘수질오염방지시설’ 외 도시지역의 비점오염배출 최소화를 위한 ‘하수관거보급률’과 ‘합류식 관거 유효수처리율’ 지표 활용의 필요성이 제시되었다.

여덟째, 지진의 경우 총 14개 대리지표 중 4개 지표(위험지역 인구/시설물·위험물저장 및 처리시설·노후건물 현황)가 ‘매우적합’으로 6개 지표(진도 4 이상 지진발생 현황·위

험지역 건물·안전취약계층·원자력발전소·취약구조건물·대피시설 현황)가 ‘적합’으로 분석되었다. 한편, 건물 등 각 시설에 거주하는 사람들의 시간대별 재실현황, 비내진 설계 구조물 등 신뢰도 높은 현황자료의 구축이 필요하다는 의견이 제시되었다.

5. 위험도분석 평가지표 선정을 위한 제언

자연재난 피해에 관한 위험도분석 연구는 지역·인명·재산 등 분석대상의 특성에 따라 활용 가능한 지표 범위가 달라지며 활용되는 지표의 종류에 따라 위험도분석 결과와 해석이 달라지는 만큼 사전의 철저한 지표검토 절차가 매우 중요하다. 본 연구는 기존 선행연구 및 유관기관에서 수행하는 자연재난 위험도분석에 활용되고 있는 평가지표 선정 시 일관된 기준이 없고 자료활용 범위가 광범위하여 위험도분석 결과의 정확도가 저하되는 문제를 개선하고자 수행된 것으로 전문가 설문조사를 통해 향후 활용 가능한 평가지표를 제시함으로써 다양한 시사점을 도출할 수 있었다.

본 연구는 재난·재해분야 전문가 설문조사를 통해 자연재난 위험도분석을 위한 평가지표 활용 가능성을 검토한 것으로 지표 적합성 및 선정에 대한 전문가들의 주관적 의견을 취합한 결과 아래와 같이 주요방안이 제시되었다.

첫째, 최근 심각해지고 있는 전 세계적인 기후변화 경향을 반영하여 위험도분석을 위한 기상 관련 지표선정 시 기상기준의 상향이 필요하다. 현재 기상청에서는 자연재난으로 인한 피해발생을 대비하여 관련 상황 발생 전 기상주의보 및 기상특보를 발령하고 있으나, 피해 예방의 성격이 큰 기상주의보 기준은 상대적으로 기상특보 기준보다 실제 자연재난 발생과의 상관성이 낮아 피해에 대한 실질적 현황을 반영하기에는 한계가 있다. 이에 향후 위험도분석을 위한 기상관련 평가지표는 기상특보 발령기준을 활용하는 것이 위험도분석 결과의 정확도를 높이는 데 적절할 것으로 사료된다.

둘째, 자연재난 위험도분석을 진행한 다수의 선행연구들을 살펴보면 IPCC에서 제시하는 위해성·노출성·취약성·저감성과 관련된 위험도개념을 적극적으로 활용하고 있다. 하지만 각각의 연구에서 사용하는 IPCC 위험도개념에 대한 정의가 조금씩 달라 우리나라 특성에 맞는 일관된 기준 활용이 필요하다. 또한, 본 연구에서 정의한 위험지역에 노출된 각각의 현황들은 연구자의 관점에 따라 위험에 노출된 요소가 될 수도, 위험에 취약한 요소로 정의될 수 있는 만큼 각 위험요소에 대한 일관된 정의설정이 필요한 것으로 사료된다.

셋째, 복합재난을 평가할 수 있는 신규 평가지표 개발이 필요하다. 최근 우리 사회는 다양화·복잡화되며 재난 상호간 영향을 미치는 연쇄적 재난 형태로의 발생 가능성이 커지고 있다(KRIHS, 2017). 지진 발생으로 인한 원자력발전

소 폭발(2011년, 일본), KT건물 화재로 인한 일대 정보통신 망 마비(2018년, 한국) 등이 대표적 복합재난의 예이다. 이와 같은 복합재난 발생은 도시 인프라시설물의 파괴, 지역경제 침체 등을 동반하며 타 재난으로 연계 확산하여 국가적 위험을 초래한다는 점에서 이에 대한 철저한 대비·대응이 필요하다(Kim and Youn, 2018; Na and Choi, 2020). 한편, 자연재난 위험도분석을 수행한 다수의 연구에서 활용되어 온 평가지표들은 대부분 단일유형의 재난을 평가하는데 적합한 가운데 복합재난의 위험을 평가하기에 한계가 있다. 이에 최근의 재해발생 경향성을 반영하여 복합재난을 분석할 수 있는 다양한 신규지표 개발 및 활용이 필요할 것으로 판단된다.

넷째, 위험도분석에 활용되는 평가지표 선정에 있어 명확한 기준이 필요하다. 관련 선행연구를 살펴보면 분석대상을 설명할 수 있는 지표의 범위가 한정적이며 데이터 구축의 어려움 등으로 인하여 지표선정에 대한 명확한 기준이 없이 주관적 판단하에 지표를 활용하고 있다. 필요 이상의 많은 수의 지표 활용은 유의미한 지표의 영향력을 희석해 결과의 정확도를 저하할 가능성이 커 일정 기준에 따른 지표 개수의 제한이 필요하다. 하지만 지표 개수와 평가결과 정확도와의 관계를 명확히 파악하기에는 어려운 한계점이 있다. 평가지표 활용의 명확한 기준수립을 위한 방안으로 본 연구에서는 실제 피해발생 자료와의 상관성 검토를 통해 피해와의 연관성이 입증된 지표만을 활용하거나, 다중공선성을 분석하여 평가지표 상호 간 강한 상관관계로 데이터 분석에 부정적 영향을 미치는 지표를 사전에 제외하는 등 통계적 분석방법을 통한 지표활용기준 수립을 제안한다.

6. 결 론

본 연구는 재난·재해분야 52명의 전문가를 대상으로 수행한 설문조사를 통해 자연재난 위험도분석을 위한 평가지표의 활용 가능성을 검토함으로써 향후 국가 및 지역별 방재계획 수립에 활용 가능한 정보제공을 목적으로 하였다.

평가지표 검토대상 자연재난 유형은 제4차 국가안전관리 기본계획에서 제시하고 있는 자연재난 유형 분류를 참고하여 총 8개의 자연재난(풍수해·연안재해·대설·가뭄·폭염·산사태·조류·지진)으로 선정하였다. 또한, 위험도분석 연구를 수행한 다수의 연구에서의 활용 빈도가 높았던 지표들을 대상으로 수집기준에 맞는 총 118개의 대리지표를 선정하였다. 설문조사 결과 총 118개 대리지표 중 37개 지표가 ‘매우적합’으로, 54개 지표가 ‘적합’으로, 나머지 27개 지표가 ‘미적합’으로 분석되었다.

본 연구에서 수행한 118개 대리지표에 대한 적합성평가 결과와 지표선정을 위한 제언은 기존에 사용되어 오던 평가지표의 범위를 확장하고 그 활용성을 높이는 데 기여 가능하며 국가 및 지역별 방재계획 수립 시 유용한 자료로 활용

가능할 것으로 판단된다. 또한, 평가지표 활용 가능성 검토결과를 기반으로 향후 지속적인 지표개발을 통해 보다 정확도 높은 위험도분석 수행이 기대된다.

한편, 본 연구는 리커트척도를 통해 0.0에서 1.0 범위로 도출된 적합성 지수를 대상으로 지표활용 가능성을 평가하였으나 지표로서의 활용 가능성에 대한 명확한 기준을 제시하지 못하여 향후 지표선정 기준과 관련된 추가연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한, 선정된 평가지표의 자료구축 방법에 있어 지역 내 차지하는 비율(%), 혹은 지표별 현황값을 그대로 사용할지에 대한 검토는 그 방법에 따라 분석 결과가 달라질 수 있어 이에 대한 추가 검토가 필요하다.

본 연구에서 제시한 지표 적합성평가 결과 및 수집방안은 우리나라 자연재난 위험도분석 평가지표 선정을 위한 종합적 검토자료이다. 향후 기후변화, 복합재난 발생 경향 및 지역별 현황을 더욱 정확히 반영할 수 있는 지속적인 신규지표 개발을 통해 위험도분석 결과의 정확도를 높일 수 있는 추가 연구가 선행되어야 할 것이다.

References

- Chung, S.D., Park, H.J., Choi, Y.H., and Lee, J.H. (2008). A study on the coping behavior of older people in the warning phase of disaster. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 8, No. 5, pp. 71-76.
- Eo, G., Im, J.H., Kwon, T.Y., Oh, K.R., and Sim, O.B. (2019). Development and evaluation of characteristic elements in disaster prevention techniques for a coastal composite disaster area. *Journal of Climate Change Research*, Vol. 10, No. 3, pp. 243-253.
- Han, W.K., Lee, B.J., Jo, M.S., and Jeong, Y.H. (2019). *Research on netech disaster management coped with calamity: focusing on disaster management mapping and application*. KRIHS Special Report 49. Korea Research Institute for Human Settlements.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014a). *AR5 climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014b). *Climate change 2014 mitigation of climate change*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014c). *Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*.
- Kim, H.Y., and Lee, S.J. (2017). Analysis on officials' and experts' perception of local hazard prevention policies and key factors of natural hazard mitigation project. *Seoul Studies*, Vol. 18, No. 3, pp. 73-83.

- Kim, K.J. (2018). *Assessment of building damage risk by natural disasters using big data*. Ph.D. dissertation, Pusan National University.
- Kim, S., Cho, S., and Hong, J. (2016). Public's recognition of the space object's re-entry situations and the national space disaster management policy. *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 31, No. 6, pp. 84-92.
- Kim, T.H., and Youn, J.H. (2018). A study on the system improvement for efficient management of large-scale complex disaster. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 5, pp. 176-183.
- Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS). (2017). *Scenario-based large complex disaster spread prediction technology development*.
- Lee, J.M., Kim, S.W., and Kim, Y.S. (2019). Natural disaster risk assessment in local governments for estimating disaster management resources. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 1, pp. 331-340.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2019). *4th master plans for national safety management (2020~2024)*.
- Na, Y.G., and Choi, J.M. (2020). Quantitative damage estimation of complex disaster using spatial information. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 55, No. 4, pp. 427-437.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2014). *Construction of fundamental technology for disaster risk assessment and response (I): disaster risk assessment system for Korea*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2015). *Construction of fundamental technology for disaster risk assessment and prediction (II)*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2016). *Construction of fundamental technology for disaster risk assessment and prediction (III): natural disaster risk assessment*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2017). *Construction of fundamental technology for disaster risk assessment and response (IV)*.
- Pak, S., and Yoon, S. (2017). An analysis of regional characteristic factors affecting for resilience of damage by storm and flood. *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 92, pp. 59-73.

Received	December 3, 2020
Revised	December 4, 2020
Accepted	January 25, 2021