지역의 재난 취약성 평가방법의 제안과 호우 재난에 적용

An Assessment Method for Evaluating Vulnerability to Regional Disasters and Its Application to Disaster due to Heavy Rain

박재혁* · 박찬영** · 안재현*** · 윤홍식****

Park, Jaehyeok*, Park, Chanyoung**, An, Jaehyun***, and Yoon, Hongsic****

Abstract

In disaster management, it is essential to evaluate how dangerous the disasters are and how vulnerable our communities are to them. The Region Safety Index and the Region Safety Levels provide information about the level of safety in a local area against disasters, but this information is not enough for use in disaster management. This study proposes a vulnerability assessment method that utilizes the concept of a vulnerability function to analyze disaster records, weather data, and statistical data using a GIS program. We identified regions vulnerable to heavy rain using vulnerability figures and analyzed time-series changes in region vulnerability. This vulnerability assessment provides specific information on disasters and can be used by disaster managers as empirical information for planning and implementing disaster management plans.

Key words : Regional Disaster Vulnerability, Vulnerability Function, Heavy Rainfall, Disaster Yearbook, GIS

요 지

재난관리에 있어 지역이 재난으로부터 얼마나 위험하고 취약한지에 대한 분석 및 평가는 필수적이다. 정부에서 제공하는 지역 안전지수, 지역 안전도 등은 재난 관련 지역의 안전 수준에 대한 정보는 제공하나, 재난관리에 활용하기에는 부족한 부분이 있다. 본 연구에서는 취약성 함수의 개념을 활용하여 재해연보, 기상자료, 통계자료를 GIS 프로그램으로 분석하는 취약성 평가방법을 제안하고, 해당 방법으로 호우로 인한 재난에 대한 지역의 취약성을 평가하였다. 취약성 평가를 통해 산출한 시·군·구 취약성 수치로 호우에 취약한 지역을 확인하였고, 지역별 취약성의 시계열적 변화를 분석하였다. 취약성 평가의 결과는 국민에게 재난 관련 구체적인 정보를 제공하고, 재난관리자에게는 재난관리 계획 수립 및 시행에 필요한 실증적 근거로 활용될 수 있다.

핵심용어 : 지역 재난 취약성, 취약성 함수, 호우, 재해연보, 지형정보시스템

1. 서 론

1.1 연구의 배경

사회가 발전하고, 국민의 삶의 질이 향상됨에 따라 국민의

안전에 대한 욕구가 높아지고 있다(Lim and Yoon, 2018). 최근 우리 사회에서 잇달아 발생하는 재난으로 인해 재난에 대한 국민들의 관심이 증가하였고, 자신이 거주하는 지역이 재난으로부터 안전한지 등 지역의 재난 및 안전에 관한

*정회원, 성균관대학교 방재안전협동공학과 석사과정(E-mail: parkjaehyeok123@daum.net)

Member, Master Course, Interdisciplinary Program for Crisis, Disaster and Risk Management, Sungkyunkwan University

**성균관대학교 방재안전협동공학과 석사과정(E-mail: itsme1025@naver.com)

Master Course, Interdisciplinary Program for Crisis, Disaster and Risk Management, Sungkyunkwan University

***성균관대학교 방재안전협동공학과 석사과정(E-mail: brbr5761@naver.com)

Master Course, Interdisciplinary Program for Crisis, Disaster and Risk Management, Sungkyunkwan University

****교신저자, 정회원, 성균관대학교 건축토목공학과 교수(Tel: +82-31-290-7522, Fax: +82-31-290-7546, E-mail: yoonhs@skku.edu)

Corresponding Author, Member, Professor, School of civil and Architectural Engineering, Sungkyunkwan University

궁금증과 정보에 대한 요구가 커지고 있다.

이에 따라 정부와 지자체는 재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 재난관리에 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라의 재난관리는 중앙으로부터 지방에 이르기 까지 수직적인 구조하에 행정안전부에 의한 중앙집권적이고 통합적인 재난관리를 실시하고 있다. 그러나 최근 들어 지역적 특성을 고려한 재난관리의 필요성이 증가하면서 재난관리의 패러다임이 중앙정부 주도에서 지자체 주도로 변화하고 있다. 이러한 변화에 맞추어 지자체의 재난관리 역량이 강화되어야 하나, 아직은 역량이 부족한 것이 현실이다(Shim and Choi, 2018). 특히, 우리 지역이 재난으로부터 얼마나 위험하고 취약한지에 대한 정보의 부족으로 재난대비 계획 수립 및 시행에 있어 많은 어려움을 겪고 있다.

1.2 연구의 목적

국민에게 해당 지역의 재난 관련 구체적인 정보를 제공하고, 재난관리자에게는 재난관리에 대한 실증적인 근거를 제공하고자, 취약성 함수의 기본개념을 바탕으로 재해연보, 기상자료, 통계자료를 GIS로 분석하는 지역 재난 취약성 평가방법을 제안하고, 해당 방법으로 호우 재난에 대한 시·군·구 단위 지역의 취약성을 평가하였다.

2. 선행연구 고찰

2.1 재난 안전 정보

지역의 안전정보를 제공하기 위하여 행정안전부에서는 안전에 관한 국가 주요 통계를 활용하여 산출한 지역 안전지수와 정부에서 구성한 진단반에 의해 진단·평가한 지역 안전도를 제공하고 있다. 국토교통부에서는 도시계획을 수립·변경하는 과정에서 기후변화에 따른 재해 취약성 분석을 시행하고, 이를 토지이용, 기반시설 등 각 부문별 계획에 반영하고 있다.

2.1.1 지역 안전지수

「재난 및 안전관리 기본법」 제 66조의 8 (안전지수의 공표)에서는 국민안전처 장관은 지역별 안전수준과 안전의식을 객관적으로 나타내는 지수를 개발·조사하여 그 결과를 공표할 수 있다고 명시하고 있다(Fig. 1). 지역 안전지수는 안전에 관한 국가 주요통계를 활용하여 지자체 안전수준을 7개 분야(교통사고, 범죄, 자살, 감염병, 화재, 안전사고, 자연재해)별로 계량화한 수치로, 위해지표·취약지표·경감지표로 구분하여 산출하고 있다. 위해지표란 사망자수 또는 사고 발생건수를 말하며, 취약지표는 위해지표를 가중시키는 요인을, 경감지표는 위해지표를 경감시키는 요인을 말한다. 이러한 지표에는 사회적 요인 및 행정적 요인이 함께 고려되며, 각 요인들의 가중치를 고려하여 최종적으로 5개 등급으로 구분한다.

지역 안전지수를 통해 대략적인 지역의 안전수준은 확인 가능하나, 재난관리에 활용하기에는 부족한 부분이 있다. 먼저 재난 유형별이 아닌 자연재난 전체에 대한 총괄적인 정보로서 재난관리의 우선순위 선정 및 판단에 활용이 제한된다. 또한, 자연재난에 대한 안전지수 산출시 자연적 위험들로 인한 사망자 수, 시가화율, 제방면적 등 7개의 인자를 활용하는데, 7개의 인자로써 자연재난에 대한 지역의 안전수준을 나타내기에는 부족함이 있다(Jo and Sin, 2018).

Fig. 1. Safety Index of Local Area

2.1.2 지역 안전도

지역 안전도는 「자연재해대책법」 제75조의 2에 따라 2007년부터 매년 실시하고 있으며, 위험환경, 위험관리능력, 방재성능 등 3가지 ‘재난환경 평가 요소에 대하여 서면 및 현지진단을 병행하며, 평가 결과에 따라 지역별 안전 정도를 1~10등급으로 구분한다(MPSS, 2016).

지역 안전도 또한 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 지역 안전지수와 마찬가지로 재난에 대한 유형별 평가가 아닌 자연재난 전반에 대하여 평가를 실시한다. 또한, 일부 항목은 서면으로 평가되어 단순 행정자료의 성실한 준비가 지역 안전에 대해 과대평가 될 수가 있다.

2.1.3 도시 기후변화 재해 취약성 분석

국토교통부는 2012년 7월부터 시·군 기본계획을 수립·변경·입안하는 경우, 도시 기후변화에 따른 재해 취약성에 관한 분석의 실시에 관한 지침을 하달하였다. 재해 취약성 분석은 기후변화에 따른 재난에 효율적으로 대응하기 위해 기후노출과 도시민감도를 고려하여 재해취약지역을 분석하는 절차이다(Fig. 2). 재해 취약성 분석은 폭우(홍수·산사태), 폭염, 폭설, 강풍, 가뭄, 해수면 상승의 6개 위험으로

구분하여 실시하며, IPCC (2007) 기후변화 취약성 분석의 골격을 유지하면서 기후노출(Exposure)과 도시민감도(Sensitivity)를 고려하며, 지자체 내 최소 공간범위(인구센서스조사의 집계구)에 대한 상대평가를 통해 재해취약지역을 도출한다(Sim et al., 2013). 도시 기후변화 재해 취약성 분석은 도시계획 관련 재해취약지역을 고려한 재해예방형 도시계획체계를 구축하는데 목적이 있다. 이는 재해 취약지역에 주민의 거주 혹은 시설의 설치를 제한하는 등 재난을 예방하는 조치에 활용될 수 있다.

Fig. 2. Analysis of City's Vulnerability to the Climate Change Disaster

다만 해당 분석은 IPCC의 기후변화 취약성 분석의 기후노출, 민감도, 적응능력 중 기후노출과 민감도만을 고려한 분석으로 도시가 기후노출로 인한 피해를 완화하는 등 대처능력을 의미하는 적응능력(adaptive capacity)은 고려되지 않았다. 이러한 점을 고려하면 해당 분석자료를 재난의 총체적 관리 계획 및 시행에 활용하기에는 다소 제한이 있다고 판단된다.

2.2 호우

호우는 일반적으로 많은 비가 오는 것을 말하며, 단시간에 많은 비가 오는 것을 집중호우라 한다. 호우는 여름철 장마전선 상에서 저기압이 발달할 때, 태풍 내습시, 봄철에 발달한 저기압이 한반도를 통과할 때 발생하며, 홍수 및 침수 등의 피해를 발생시킨다(Cho, 2016).

최근 발생한 자연재난의 피해금액과 발생횟수를 확인해 보니 Fig. 3과 같았다. 호우로 인한 재난이 다른 위험으로 인한 재난에 비하여 상대적으로 피해금액이 많았고, 발생 횟수도 높았다. 따라서 본 연구에서는 피해가 많이 발생하고, 자주 발생하는 호우로 인한 재난을 연구대상으로 선정하였다.

Fig. 3. Natural Disaster Statistics for the Last Five Years

2.3 취약성 평가

2.3.1 지역의 재난 취약성에 대한 정의

취약성(Vulnerability)이란 단어에는 매우 포괄적인 의미를 가지고 있기 때문에 간단하게 정의하기 어렵다. 또한, 취약성에 대한 다양한 개념적인 프레임워크가 많기 때문에 그룹별로 다양한 견해를 가지고 있다.

United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO)에서는 취약성을 일정한 규모의 자연현상에 대한 리스크 요인의 손실 정도로 정의하였다. 미국의 Federal Emergency Management Agency (FEMA)에서는 위험들에 대한 공동체와 환경의 민감도와 회복력 정도로, United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN-ISDR)은 위험의 영향에 의한 공동체의 민감도를 증가시키는 물리적, 사회적, 경제적, 환경적 요인 또는 프로세스에 의해 결정되는 조건으로 정의하였다. 이처럼 다양한 기관들의 취약성에 대한 정의에서 '위험', '영향'이란 단어가 반복적으로 사용되었다. 이를 참고하여 본 연구에서는 '지역의 재난 취약성'에 대하여 '지역사회가 재난의 위협으로부터 영향을 받는 정도'로 정의하였다.

2.3.2 기존 연구 분석

재난에 대한 지역의 취약성 평가에 관한 선행연구를 분석하였다. 국내의 선행연구를 살펴보면 재난에 대한 지역의 취약성 평가는 크게 2가지로 나뉜다. 취약성 지표를 활용한 방법과 취약성 함수의 개념을 활용한 방법이다. 취약성 지표를 활용한 연구로 Kim et al. (2012)은 침수 취약성 평가를 위해 기후, 수문지질, 사회경제, 방어의 4가지 항목에 대해 9개 세부지표를 선정하고, 침수 취약지수를 산출하여 GIS를 통해 침수취약 등급도를 제작하였다. Kim et al. (2013)은 IPCC (2001)의 취약성 개념을 중심으로 기후요인, 민감도, 적응도의 개념적 틀을 이용해 '06~'10년도 간 발생한 홍수 피해 자료를 분석하여 서울시 행정동 단위의 취약성 지수를 산출하여 지도화하였고, 이를 바탕으로 서울 지역의 홍수 취약성의 공간적 분포를 나타내는 연구를 수행하였다. Lee

et al. (2019)은 재난관리자원 산정을 위한 지자체별 자연재난 리스크 평가의 한 단계 중 취약성 평가를 위해 과거 20년간의 재해연보의 시설물 피해현황을 분석하여 연관된 지표를 추출하고, 전문가 집단의 정성적 평가 및 요인분석을 통해 지역적 요인, 인구적 요인, 시설적 요인으로 구분하여 최종 12개의 취약성 지표를 선정하였다

취약성 함수의 개념을 활용한 연구로 Sung et al. (2012)은 태풍을 포함한 호우피해를 중심으로 '02~'11년간 발생한 재난 피해현황과 강수량을 시·군·구별로 조사·분석하여 각 지역별 강수량과 피해규모와의 상관관계를 분석하였다. 취약성 함수의 개념을 활용한 국내의 연구는 취약성 지표를 활용한 연구에 비해 상대적으로 미비하여 국외 연구를 추가 확인하였다. Rossetto et al. (2014)은 지진에 대한 피해 및 손실 데이터를 활용하여 취약성 곡선을 구축하는 지침을 제공하는데, 데이터를 정량화하고 통계적으로 접근하여 위험 강도 측정 유형에 따른 통계 모델을 통해 취약성을 구하는 방법을 제시하였다. Pregnotato et al. (2015)은 Rossetto et al. (2014)이 제시한 접근방식에 따라 홍수에 대한 기존의 경험적 취약성 및 파괴한도 함수에 관한 기술의 적용을 검토하였다.

2.3.3 취약성 함수의 개념을 활용한 취약성 평가

취약성 평가 방법 중 취약성 지표를 활용한 방법은 지역의 재난에 대한 사회적·경제적·환경적 취약성을 표현할 수 있는 인자를 선정하고, 인자와 관련된 각각의 데이터를 수집하여 종합함으로써 취약성을 나타낸다(Yoon et al., 2015). 이 때 지표를 정의하는 인자 선정 및 인자간의 가중치 선정의 기준이 모호하고, 이로 인하여 주관적인 판단이 포함되어 결과에 오류가 발생할 수 있다. 취약성 함수에 의한 방법은 위험강도와 피해 데이터 사이의 관계를 사용한다. 과거에 발생한 재난의 위험강도와 재난으로부터 발생한 피해에 대한 통계자료를 분석하고, 상호간의 상관관계를 결정하여 취약성을 구한다. 이 때 통계적 상관관계로부터 취약성 함수를 구하기 위해서는 충분한 양의 표준 데이터가 필요하다.

본 연구에서는 호우 재난에 대한 지역의 취약성 평가를 위해 취약성 함수의 개념을 활용하였다. 이 방법은 취약성 지표를 활용한 방법에 비하여 객관적이다. 또한, 호우 재난에 대한 지역의 취약성의 경우 취약성 함수를 구하기 위해 필요한 데이터의 획득이 용이하다. 재난의 위험강도 데이터는 기상 자료로, 피해 데이터는 재해연보 및 통계자료를 통해 충분한 양의 데이터 획득이 가능하다.

3. 지역 재난 취약성 평가 방법

호우에 대한 지역의 취약성 평가를 위해 최근 5년('13년~'17년)간 전국 시·군·구에 발생한 호우로 인한 재난의 위험 강도와 피해 데이터 사이의 관계를 분석하였다.

재해연보에 따르면 최근 5년간 64회(일자로 142일)의 호우가 발생하였다(MPSS, 2013~2017). 이 중 일부 지역에서 발생한 재난을 제외한 250개 시·군·구 중 10개 이상 지역에 발생한 19회(일자로 63일)의 재난을 연구대상으로 사용하였다.

Table 1. Range of Study

Date of Disaster Outbreak	Period of Disaster	Affected Region
19 Times	63 Days	643 Regions
'13. 07. 04.	2 Days	18 Regions
'13. 07. 11.	5 Days	55 Regions
'13. 07. 22.	2 Days	40 Regions
'13. 08. 06.	1 Days	13 Regions
'13. 09. 13.	1 Days	17 Regions
'14. 07. 17.	3 Days	20 Regions
'14. 08. 17.	5 Days	41 Regions
'14. 08. 25.	1 Days	43 Regions
'15. 07. 11.	3 Days	18 Regions
'15. 07. 22.	5 Days	10 Regions
'16. 04. 16.	3 Days	39 Regions
'16. 05. 12.	4 Days	58 Regions
'16. 07. 01.	7 Days	73 Regions
'17. 07. 02.	10 Days	70 Regions
'17. 07. 14.	3 Days	44 Regions
'17. 07. 22.	2 Days	32 Regions
'17. 07. 31.	2 Days	16 Regions
'17. 08. 24.	2 Days	16 Regions
'17. 09. 11.	2 Days	20 Regions

19회 재난에 대하여 Fig. 4와 같이 시·군·구 단위로 피해지수와 위험지수를 수치화하고, 이를 통해 해당 재난에 대한 취약성을 산출하였다. ① 피해지수는 재해연보에서 확인한 피해금액을 ② 리스크요인 지수로 보정하고, 보정된 금액을 Z점수¹⁾ 방법으로 지수화하였다. ③ 위험지수는 재난 기간 기상관측소 일일강수량 데이터를 GIS를 활용하여 재난 기간 시군구별 최대 및 누적강수량을 산출하고, 산출한 강수량을 Z점수 방법으로 지수화하였다.

3.1 피해지수 산출

재난시에 발생한 피해는 인원에 대한 피해와 재산에 대한 피해 2가지로 구분할 수 있다. 본 연구의 피해지수 산출에서는 재산에 대한 피해를 기준으로 하였다. 행정안전부에서 연 단위로 제공하는 재해연보는 자연재난의 피해 및 복구 현황에 대한 정보를 기간별, 원인별, 시·군·구별 다양한

1) Z점수: 측정의 단위로 표준편차를 사용하여 해당 분포의 평균과 관련된 점수의 위치를 나타낸 점수

분류방식으로 제공한다. 재해연보 II장 7의 기간별 시·군·구별 피해 통계에서 재난별 시·군·구에 발생한 피해금액을 제공한다. 이 피해금액 데이터를 리스크요인 지수로 보정하고, 해당 데이터를 Z점수 방법으로 지수화하여 19회 재난 중 피해를 받은 시·군·구의 피해지수를 산출하였다.

Fig. 4. Vulnerability Evaluation Method

3.2 피해금액 보정

피해금액 데이터를 피해지수로 산출하기 전 리스크요인

지수로 피해금액을 보정할 필요가 있다. 리스크요인이란 위험에 노출되어 부정적 영향을 받을 수 있는 가치를 갖는 모든 것으로서 가령 논, 밭, 도로 등을 말한다. 리스크요인이 많은 시·군·구는 동일한 강도의 위험에도 더 큰 피해가 발생한다. 이러한 리스크요인과 피해간의 상관관계를 고려하여 지역이 갖는 리스크요인으로 피해금액을 보정하는 절차가 필요하며, 이를 위해 지역별 리스크요인 지수를 산출하였다.

리스크요인 지수를 산출하기 위해서 우선 호우에 대한 리스크요인 인자를 확인하였다. 재해연보의 II장 5의 원인별 피해 총괄에서 호우로 인한 재난으로 피해를 받은 세부 대상과 피해금액을 제공한다. 이 세부 대상 중 피해 정도가 미비하고, 시·군·구 단위 자료 확보가 제한되는 대상을 제외한 논, 밭, 건물, 도로, 하천 등 10개의 대상을 리스크요인의 인자로 선정하였다. 리스크요인 지수 RI는 Eq. (1)과 같이 10개 리스크요인 인자지수 FI와 인자별 가중치 FW의 곱의 합으로 산출하였다.

$$RI = \sum_{i=1}^{10} FI_i \times FW_i \quad (1)$$

Eq. (1)의 각각의 인자지수 FI는 Table 2와 같이 통계청의 국가통계포털에서 리스크요인 인자에 대한 연단위 시·군·구별 자료를 수집하고, 해당 데이터를 Z점수 방법으로 지수화한 것이다. 인자 가중치 FW는 5년간 호우로 발생한 인자별 피해금액 Df를 기준으로 산출하였다. Eq. (2)와 같이 인자별 발생한 피해금액 Df를 전체 피해금액으로 나누어 가중치를 구하였고, 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 2. Risk Factors Data Collection

Factors	Data
Paddy, Field, River, Road, Water Supply, School, Rail Road	State of Use of the Territory by Administrative Region and Name
Building	General Survey of Houses: Number of Houses
Pen	General Survey of Agriculture and Fisheries: Farming Household by Pen Type
Green house	General Survey of Agriculture and Fisheries: Farming Household by Facility Area

Table 3. Risk Factors Weight Calculation

Amount unit: ₩ 1,000					
Factor	Sum	① Paddy, ② Field	③ Building	④ Road	⑤ River
Amount of Damage	260,611,677	23,077,188	12,962,680	50,697,838	147,915,055
Weight	1.000	0.089	0.050	0.195	0.568
Factor	⑥ Water Supply	⑦ School	⑧ Rail Road	⑨ Pen	⑩ Green house
Amount of Damage	4,937,154	2,954,159	738,997	808,905	16,519,701
Weight	0.019	0.011	0.003	0.003	0.063

$$FW_i = \frac{Df_i}{\sum_i^{10} Df_i} \quad (2)$$

3.3 위험지수 산출

호우의 위험 강도는 해당 기간에 내린 강수량으로 표현할 수 있다. 기상청에서 운영하는 기상관측소 AWS가 전국에 500여개 정도 있다. 기상관측소에서 관측한 일일강수량 자료를 활용 위험지수 산출하는데, 이 때 하나의 지점에 대한 점데이터인 관측소 자료를 하나의 지역에 대한 면적데이터로 변환할 필요가 있다. 이를 위해 호우가 발생하였던 63일에 대한 AWS의 일일강수량 데이터를 수집하고, 강수량 데이터를 GIS의 공간보간 Tool²⁾과, 구역통계Tool³⁾로 분석하여 시·군·구별 일일 강수량 데이터로 가공하였다(Fig. 5). 시·군·구 일일 강수량 데이터를 바탕으로 각 호우기간 시·군·구 최대강수량과 누적강수량을 구하고, 해당 데이터를 Z점수 방법으로 지수화하였다.

Fig. 5. Analysis by GIS

4. 분석 및 평가 결과

4.1 취약성 평가를 위한 지수 산출

4.1.1 리스크요인 지수

호우에 대한 250개 시·군·구의 리스크요인 지수를 산출하였다. 10개 리스크요인 인자에 대한 데이터를 Fig. 6(a)와 같이 지수화하고, 인자지수에 인자별 가중치를 적용하여 최종 산출한 리스크요인 지수는 Fig. 6(b)와 같다. 논, 밭,

도로, 하천 등의 리스크요인 인자에 대하여 수도권 및 광역시에 비하여 상대적으로 많은 면적을 보유한 지방도시들의 리스크요인 지수가 높게 나타났다.

(a) Factor Index

(b) Risk-factor Index

Fig. 6. Indexing Risk Factor Index

4.1.2 피해 지수

5년간 호우로 피해받은 643개 시·군·구의 피해금액을 리스크요인 지수로 보정하여 최소값 73천원, 최대값 230,636,731천원 사이의 값을 갖는 643개의 데이터를 Fig. 7(a)와 같이 획득하였다. 이 데이터를 Z점수 방법으로 지수화하여 Fig. 7(b)와 같이 피해지수를 산출하였다.

Fig. 7. Indexing Damage Amount

- 공간보간(Interpolation): 관측소의 점데이터를 면적의 레스터 데이터로 변환하는 과정
- 구역통계(Zonal Statistic): 보간한 강수량 레스터 데이터를 시·군·구별 강수량 데이터로 변환하는 과정

4.1.3 위험 지수

호우가 발생하였던 63일에 대한 기상관측소 강수량 데이터를 GIS로 분석·가공하여 5년간 피해받은 643개 시·군·구의 재난기간 최대강수량과 누적강수량 데이터를 Figs. 8(a), 8(c)와 같이 획득하였다. 이 데이터를 지수화하여 Figs. 8(b), 8(d)와 같이 최대강수량 지수와 누적강수량 지수를 산출하였고, 이 지수들의 평균값으로 위험지수를 산출하였다.

Fig. 8. Indexing Precipitation Data

4.2 호우에 대한 지역의 취약성 확인

최근 5년간 발생한 호우로 인한 재난 중 19회의 재난에 대한 시·군·구별 위험강도와 피해 데이터를 분석하여 250개 시·군·구 중 연구범위내 피해데이터가 없는 시·군·구 41개를 제외한 209개 시·군·구에 대한 최종 취약성을 결정하였다. 연구결과를 Fig. 9와 같이 지도상에 나타내었으며, 세부 결과는 Table 4와 같다.

Fig. 9. Mapping of Local Area Vulnerability

본 연구의 취약성 평가 결과를 시·군·구 기초자치단체 단위로 분석한 결과, 시·군·구의 취약성 평균은 1.60이며, 취약성이 가장 높은 시·군·구는 취약성 수치 7.58인 전라남도 목포시이고 가장 낮은 시·군·구는 취약성 수치 0.43인 제주시로 나타났다. 시·도 단위로 보았을 때는 17개 광역자치단체 중 경상북도가 취약성 수치 2.71로 가장 높았으며, 부산시가 취약성 수치 0.82로 가장 낮게 나타났다. 대체적으로 광역시가 도에 비해 상대적으로 낮은 취약성 수치를 나타내었다. 또한 호우 재난이 상대적으로 자주 발생하고 취약성이 높은 지역은 영양군, 양양군, 포항 남구, 포항 북구, 대전 서구(취약성 수치 3.2 이상, 5년간 호우 발생 3회 이상 지역)로 확인할 수 있었다. 호우로 인해 상습적으로 피해를 받는 이 지역에 대해서는 정부 및 지자체 차원의 지역 특성에 맞는 대책 마련이 필요하다고 사료된다.

4.3 취약성의 시계열적 변화 분석

본 연구에서 분석한 19회의 재난에 대한 시·도의 취약성의 변화를 Fig. 10과 같이 그래프로 작성하였고, 이를 통해 취약성의 시계열적 변화에 대하여 확인하였다. 17개 시·도 중 부산시, 경상남도 등 4개 시·도는 취약성이 감소하는 경향을 보였으며, 광주시, 대전시 등 6개 시·도는 취약성이 증가하는 경향을 보였다.

또한, 취약성 그래프를 통해 연속적으로 발생한 재난의 경우, 이전에 발생한 재난이 이후에 발생한 재난의 취약성에 영향을 주었음을 알 수 있었고, 연속적으로 발생하는 재난의 취약성 변화에 대하여 Table 5와 같이 분석하였다. 연구대상인 19회의 호우 중 이전 호우 발생 후 2주 이내에 호우가 재발생한 재난은 7회, 이에 해당되는 시·군·구는 90개로 이전 발생한 재난의 취약성 대비 평균 189%로 취약성이 증가함을 알 수 있었다.

5. 결론 및 정책적 시사점

재난관리에 있어 지역이 재난으로부터 얼마나 위험하고 취약한지에 대한 분석 및 평가는 필수적이다. 지역의 재난 취약성과 관련하여 정부에서 제공하는 지역 안전지수와 안전도는 지역의 재난 안전 수준에 대한 대략적인 정보는 제공할 뿐, 재난 관리에 활용하기에는 부족하다. 또한, 관련 선행연구에서 지역의 취약성 평가시에 주로 사용한 취약성 지표를 활용한 방법은 취약성에 대한 인자 선정 및 인자의 가중치 선정에 대한 기준이 모호하고 주관적인 판단이 포함되는 경우가 있었다. 따라서 본 연구에서는 재해연보, 기상자료, 통계자료를 GIS 프로그램으로 분석하여 산출한 피해지수와 위험지수를 취약성 함수의 개념을 활용하여 취약성을 평가하는 방법을 제안하였다. 또한 해당 방법을 활용하여 호우로 인한 재난에 대한 지역의 취약성을 평가하였으며 결과는 다음과 같다.

Table 4. Local Areas' Vulnerability for the Heavy Rainfall

City and County			Vulnerability	City and County			Vulnerability	City and County			Vulnerability	City and County			Vulnerability	
Seoul	Jongno		0.46	Suwon	Jangan		1.25	Gangwon	Yanggu		1.36	Jeollanamdo	Hwasun		0.87	
	Jung-gu		0.62		Gwonseon		1.12		Inje		1.72		Jangheung		0.96	
	Yongsan		0.77		Paldal		1.57		Goseong		1.56		Muan		1.63	
	Seongdong		3.95		Yeongtong g		0.82		Yangyang		3.94		Hampyeong		1.07	
	Dongdaemun		0.47		Seongnam	Sujeong		0.72	Jecheon		2.97		Yeonggwang		0.84	
	Dobong		0.48			Jungwon		0.57	Cheongju	Sangdang			2.07	Jangseong		0.49
	Nowon		0.52			Bundang		0.62		Cheongwon			1.29	Wando		1.80
	Eunpyeong		0.79			Bucheon		1.50		Seowon			0.98	Jindo		1.30
	Seodaemun		1.30		Gwangmyeong		1.14	Chungcheongbukdo		Heungduk			3.11	Youngam		0.84
	Gangseo		0.50		Pyeongtaek		1.77		Boeun		2.22		Shinan		1.57	
	Kuro		0.49	Dongducheon		1.10	Yeongdong		1.96	Po hang	Nam-gu		3.65			
	Seochon		0.64	Ansan	Sangrok		1.26		Jincheon		1.49	Buk-gu		3.21		
	Gangnam		0.71		Danwon		1.39		Goesan		2.68	Gyeongju		0.56		
	Gangdong		0.49	Goyang	Dukyang		0.68		Eumseong		2.41	Andong		2.21		
Jung-gu		0.48	Ilsan. D		0.87	Danyang			5.35	Yeongju		4.18				
Seo-gu		0.66	Ilsan. S		0.88	Jeungpyeong			2.70	Sangju		1.19				
Dong-gu		0.66	Gwacheon		2.50	Chungju			2.42	Mungyeong		0.76				
Yeongdo		1.04	Gyeonggi	Guri		1.33	Cheonan		Dongnam		1.95	Gyeongsangbukdo	Uiseong		0.81	
Busanjin-gu		0.66		Namyangju		1.29		Seobuk		1.33	Cheongsong		0.79			
Dongnae		0.78		Osan		0.88	Gongju		0.51	Yeongyang			4.11			
Nam-gu		0.69		Siheung		1.52	Boryeong		3.49	Yeongduk			6.11			
Buk-gu		0.78		Gunpo		1.33	Asan		2.01	Cheongdo			3.75			
Haeundae		0.73		Uiwang		1.50	Seosan		2.98	Goryeong			0.61			
Saha		0.64		Hanam		0.88	Chungcheongnamdo	Nonsan		1.50	Seongju		4.32			
Geumjeong		0.79		Yongin	Cheoin			1.74	Gyeryong		0.45		Yecheon		4.58	
Gangseo		2.22			Giheung			1.88	Dangjin		2.22		Bonghwa		3.11	
Yeonje		0.58			Suji			2.10	Geumsan		2.56		Uljin		2.06	
Suyeong		0.63		Paju		1.28		Buyeo		2.65	Jinju		1.28			
Sasang		0.67		Icheon		1.91		Seocheon		2.55	Tongyeong		1.64			
Gijang		1.07		Anseong		1.88		Cheongyang		2.74	Gimhae		0.76			
Daejeon		Buk-gu		0.88	Kimpo			2.13	Hongseong		0.75		Miryang		0.82	
Jung-gu		2.09	Hwaseong		1.88	Yesan		2.09	Geoje		1.63					
Dong-gu		1.76	Jeollabukdo	Gwangju		1.46		Jeonju	Wanshan		2.51	Yongsan		0.81		
Nam-gu		1.12		Yangju		1.64	Deokjin		4.20	Uichang		0.88				
Yeosu		0.66		Pocheon		1.22	Goosan		1.15	Sungsan		0.90				
Namdong-gu		1.04		Yeoju		2.06	Iksan		0.91	Masanhappo		2.30				
Bupyeong		1.11		Yeoncheon		1.45	Jeongeup		0.62	MasanHoewon		1.46				
Gyeyang		1.63		Gapyeong		1.36	Namwon		0.94	Jinhae		2.07				
Seo-gu		1.23		Yangpyeong		1.58	Gimje		0.97	Uiryeong		1.02				
Ganghwa		1.52		Uijeongbu		0.88	Jangsu		1.67	Haman		1.82				
Unjin		1.47		Chuncheon		1.17	Imsil		1.49	Goseong		1.48				
Nam-gu		0.91		Wonju		1.35	Sunchang		0.59	Namhae		1.16				
Gwangsan		1.23	Gangneung		3.05	Gochang		2.84	Hadong		0.83					
Dong-gu		0.47	Taebaek		3.15	Buan		0.93	Sancheong		1.81					
Seo-gu		3.44	Sokcho		6.26	Jeollanamdo	Mokpo		7.58	Hamyang		3.61				
Yooseong		0.46	Samcheok		2.63		Suncheon		1.36	Geochang		2.39				
Jung-gu		0.50	Hongcheon		1.71		Naju		0.72	Hapcheon		1.94				
Nam-gu		0.58	Hoengseong		2.35		Jeollanamdo	Gwangyang		0.93	Jeju	Jeju-si		0.43		
Dong-gu		0.68	Yeongwol		1.86			Damyang		0.83		Seogwipo		2.82		
Buk-gu		0.85	Pyeongchang		2.44			Gokseong		0.90		Sejong		1.28		
Ulju		0.84	Jeongseon		2.39			Gurye		0.88	※ Vulnerability of 209 cities and counties among 250 cities and counties					
Gyeonggi	Anyang	Manan	1.34	Cheorwon				0.98	Goheung						1.13	
		Dongan	1.56	Hwacheon				1.09	Boseong						0.69

Fig. 10. Time-series Variation of Local Area Vulnerability

Table 5. Change of Continuous Disaster Vulnerability

Date of Disaster	Number of Regions	Rate of Vulnerability Change
Total	90	189%
'13.7.11.	2	-79%
'13.7.22.	31	181%
'14.8.25.	11	205%
'17.7.14.	26	233%
'17.7.22.	15	203%
'17.7.31.	5	25%
'17.7.31.	2	40%

- (1) 취약성 함수의 개념을 활용한 재난 관련 데이터의 실증적인 분석으로 지역 재난 취약성에 대한 객관적이고 정량적인 수치를 구하는 취약성 평가방법을 제안하였다.
- (2) 해당 평가방법으로 호우로 인한 재난에 대한 지역의 취약성의 정도를 확인하였고, 이를 통해 시·군·구

및 시·도 기준 취약성의 평균 및 취약성이 높고 낮은 지역을 확인하였다.

- (3) 또한, 취약성의 시계열적 변화 추이 분석을 통해 연속적으로 발생하는 재난의 경우 이전 재난의 영향을 받아 취약성이 증가함을 확인하였다.

본 연구의 재난에 대한 지역의 취약성 평가 결과는 기존 지역 안전지수 및 지역 안전도에서 제공하지 않는 유형별 재난에 대한 정보를 제공하여 재난에 대한 국민의 정보요구를 충족시킬 수 있다. 또한, 재난관리자는 취약성 평가 결과를 재난관리 활동에 활용할 수 있다. 재난에 대한 지역별 취약 정도는 재난 관련 계획 수립 및 예산 할당시 실증적인 근거자료로 활용될 수 있으며, 취약성의 시계열적 변화 추이를 통해 재난 관련 정책 혹은 사업의 효과성을 판단할 수 있다.

또한, 연구에서 제안한 지역 재난 취약성 평가방법을 태풍, 대설, 강풍, 지진 등 다른 자연적 위험에 대한 지역의 취약성 평가에 적용 가능하다고 판단된다. 재해연보에서는 재난 유형별 시·군·구 피해금액 데이터와 원인별 세부 피해금액 데이터를 제공하기에 다른 재난에 대한 피해지수 산출에 제한이 없다. 또한, 호우의 위험지수 산출을 위해 기상관측소의 일일강수량 데이터를 GIS로 분석하였는데, Fig. 11과 같이 태풍의 경우 일일강수량과 풍속 데이터를, 대설의 경우 일일강설량을, 지진의 경우 지진관측소의 지진관측 정보를 본 연구에서 제안한 방법으로 분석한다면 위험 유형별 위험지수 산출이 가능하다. 이와 같이 재난 유형별 취약성 평가를 통해 재난관리자는 재난 유형별 관리의 우선순위 선정 등의 재난관리 행정에 활용이 가능하다.

Fig. 11. Evaluation of Other Disaster Vulnerability

다만, 본 연구에서 제안한 취약성 평가방법은 재해연보, 기상자료 등의 과거 발생한 재난의 데이터를 활용한 방법으로 데이터의 질과 양에 따라 평가 결과가 달라질 수 있다. 또한 취약성 함수의 개념을 활용하여 피해 및 위험지수로 구한 취약성 수치는 지역의 종합적인 취약성 정도를 나타내

지만, 물리적, 사회적, 경제적 등의 세부적인 취약성으로 구분하지 못하는 한계가 있다. 향후 이러한 점을 보완한 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- Cho, S.H. (2016). *Disaster management theory*. Seoul: Hwasumok Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. UK : Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability, summary for policy makers*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-spm-1.pdf>
- Jo, S.P., and Sin, D.H. (2018). Problems and improvement of regional safety index calculation method. *Gwangjeon Leaders Info*, Vol. 86, pp. 2-15.
- Kim, J.S., Sung, H.H., and Choi, G.Y. (2013). Spatial patterns of urban flood vulnerability in Seoul. *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, Vol. 19, No. 4, pp. 615-626.
- Kim, S.S., Jeong, G.S., Lee, J.W., Park, Y.J., and Kim, E.M. (2012). Inundation vulnerability map generation for storm-flood disaster vulnerability assessment. *Proceedings of 2012 Annual Conference*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 415-418.
- 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.
- Lim, S.B., and Yoon, J.H. (2018). For disaster management based on resiliency classification of regional types by regional characteristics. *Proceedings of 2018 Summer Conference*, Korean Association for Policy Studies, pp. 35-53.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS). (2013~2017). *Reincident annual report*.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS). (2016). *Results of local safety assessment for natural disasters in 2016*.
- Pregnotato, M., Galasso, C., and Parisi, F. (2015). A compendium of existing vulnerability and fragility relationships for flood: Preliminary results. *Proceedings of 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil*

Engineering. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2429/53360>

- Rossetto, T., Ioannou, I., Grant, D.N., and Maqsood, T. (2014). *Guidelines for empirical vulnerability assessment*. GEM Technical Report 2014, Global Earthquake Model Foundation.
- Shim, J.H., and Choi, S.O. (2018). An empirical study on the organizational and network capability of local emergency management: Focused on 228 local governments in South Korea. *Korean Public Administration Quarterly*, Vol. 30, No. 3, pp. 651-681.
- Sim, O.B., Lee, B.J., Lee, C.H., and Kim, J.H. (2013). A study on the methods to analyze climate change driven urban disaster vulnerability for disaster preventive

urban planning. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 6, pp. 239-247.

- Sung, J.H., Han, S.O., and Kim, H.W. (2012). A study on the vulnerability of recent weather events in Korea. *Proceedings of 2012 Spring Conference*, Korean Meteorological Society, pp. 140-141.
- Yoon, H.S., Jo, J.M., Choi, H.J., and Hwang, J.S. (2015). *Disaster risk assessment theory*. Seoul: Moonundang Press.

Received	September 4, 2019
Revised	September 23, 2019
Accepted	October 4, 2019