



재난관리자원 산정을 위한 지자체별 자연재난 위험성 평가

Natural Disaster Risk Assessment in Local Governments for Estimating Disaster Management Resources

이정미* · 김승우** · 김연수***

Lee, Jungmi* · Kim, Seung-Woo** · Kim, Yonsoo***

Abstract

This paper proposes the method of risk assessment to minimize damages caused by natural disasters (typhoons, heavy rain, heavy snow, strong winds, high waves) and to establish systematic disaster prevention measures for 228 local governments. In this study, the risk assessment consists of four main factors: hazard, exposure, vulnerability, and reduction. These factors are evaluated in terms of a natural disaster's indicators for probability, consequentiality, vulnerability, and reducibility, respectively. The evaluation criteria for hazard and exposure have been proposed by analyzing the occurrences and damages of natural disasters, according to data measured by local governments over the last 20 years. Also, the evaluation indicators of vulnerability and reducibility have been selected by analyzing the damage to facilities caused by natural disasters in the last 20 years. The results of the risk assessment by natural disaster type for 228 local governments are derived by combining the results of those factors. The natural disaster risk assessment conducted in this study will help establish efficient and systematic disaster prevention measures for local governments.

Key words : Natural Disaster, Disaster Risk Assessment, Hazard, Exposure, Vulnerability, Reduction

요 지

본 연구에서는 전국 228개 지자체를 대상으로 자연재난(태풍, 호우, 대설, 풍랑, 강풍)으로 인해 발생하는 피해를 최소화하고 체계적인 방재 대책을 수립할 수 있도록 지원하기 위한 위험성 평가 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 최근 20년간의 재난 발생 건수로 평가되는 위해성과 재난 피해 규모로 평가되는 노출성, 재난 피해 취약 지표로 평가되는 취약성과 피해 저감 지표로 평가되는 저감성을 위험성 평가 요소로 설정하였다. 또한, 지자체별로 최근 20년간 발생한 자연재난 발생현황을 분석하여 위해성과 노출성의 평가 기준을 마련하였고, 자연재난 유형별로 취약성과 저감성을 평가하기 위한 지표를 선정하였다. 각 위험성 평가 요소의 평가 결과를 결합하여 자연재난 유형별 228개 지자체의 위험성 평가 결과를 도출하였다. 본 연구에서 도출된 지자체별 자연재난 위험성 평가 결과는 효율적이고 체계적인 방재대책 수립에 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 자연재난, 재난 위험성 평가, 위해성, 노출성, 취약성, 저감성

1. 서 론

최근 전 세계적으로 온실효과에 따른 지구온난화로 인해 기후변화가 가속화됨에 따라 기상이변이 일상화되고 있으며, 기상이변으로 발생하는 자연재난의 피해는 사회가 발전

함으로서 파생되는 산업고도화, 도시화, 인구 밀집화, 대형 구조물 증가로 점차 다양화 및 대형화되고 있다. 매년 행정안전부에서 발간하는 재해연보를 이용하여 2004년부터 2013년까지 우리나라에서 발생한 자연재난 피해 현황을 분석한 결과 1970년대 대비 2000년대는 재산피해액이 약 8.6배

*정회원, (주)해양정보기술 해양정보연구소 선임연구원(E-mail: neronjm@gmail.com)

Member, Senior Researcher, Marine Information Research Institute, Marine Information Technology Co. Ltd.

**교신저자, 정회원, (주)리스크솔루션 리스트평가본부 이사(Tel: +82-2-975-2468, Fax: +82-504-014-2468, E-mail: seungwookim76@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Director, Department of Ocean Business, Marine Information Technology Co. Ltd.

***정회원, (주)LIG시스템 위험관리연구소 선임연구원

Member, Researcher, Risk Management Institute, LIG System Co., Ltd.

증가하였고 인명피해는 330명에서 72명으로 약 78%가 감소하였다(NDMI, 2014). 인적피해가 감소하는 추세이기는 하나 여전히 많은 수의 인적피해가 발생되고 있으며, 물적피해는 급격히 증가하고 있는 추세이므로 자연재난에 대한 효율적이고 체계적인 관리 방안 마련이 필요하다.

이와 같은 재난의 위험성을 평가할 수 있는 방법을 제시하기 위해 다양한 연구가 수행되고 있다. MOIS (2016)는 2011년부터 ‘지역안전도 진단 지침’을 마련하여 우리나라 지자체의 자연재해에 대한 위험환경, 위험관리능력, 방재능성을 고려한 지역별 안전도를 진단하고 있으며, NDMI (2015)는 기후변화를 고려한 잠재적 자연재난 위험지역을 파악하기 위해서 위험성(Hazard), 노출성(Exposure), 취약성(Vulnerability)을 평가할 수 있는 지표를 선정하여 지자체별 위험도를 평가하였다. Han et al. (2015)은 도시지역의 재해위험도를 평가하기 위해 위험성(Hazard), 노출성, 취약성, 대응·복구성(Emergency Response and Recovery Capability)을 구성요소로 재해위험지수를 정의하였다. 국외의 경우에는 Ansell and Wharton (1992)이 위험성(Risk)을 재난의 발생확률(Probability)과 재난으로 인해 발생하는 피해(Consequence)의 조합으로 정의하였으며, Dwyer et al. (2004)은 재난 발생확률을 나타내는 위험성과 재난 피해의 노출성, 재난 대응 부족의 취약성을 조합하여 정의하였다. Benouar and Mimi (2001)는 위험성, 노출성, 취약성에 재난 저감능력을 나타내는 재난관리(Disaster Management)를 추가하여 위험성을 정의하였다.

우리나라의 지리적, 계절적 특성에 기후변화라는 요소가 겹쳐져 집중호우와 태풍이 발생할 확률이 점차 높아지고 있으며, 최근에는 겨울철 기록적 한파와 폭설 역시 빈번하게 발생되고 있다. 또한 우리나라는 자연재난이 국지적으로 발생하는 특징이 있어 지역별로 피해규모가 상이하게 나타나기도 한다. 우리나라의 효율적인 자연재난 방재대책 수립을 위해서는 자연재난 유형별, 지역별 특성을 고려한 위험성 평가체계 구축이 필요하며, 지자체별로 수행된 위험성 평가 결과는 중앙기관과 지자체의 재난 피해 대비를 위한 정책 수립의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 본 논문에서 언급하는 피해 대책은 적절한 재난관리자원의 소요량 산정에 국한한다.

본 연구에서는 전국 228개 지자체를 대상으로 자연재난으로 인해 발생하는 피해를 최소화하고 체계적인 방재 대책을 수립할 수 있도록 지원하기 위한 위험성 평가 방법을 제안하고 자 최근 우리나라에 가장 빈번하게 발생하는 자연재난 유형인 태풍, 호우, 대설, 풍랑, 강풍에 대해 지자체별 위험성 평가를 수행하였다. 이를 위해 위험성을 재난 발생확률로 평가되는 위험성, 재난 피해규모로 평가되는 노출성, 피해취약 지표와 피해저감 지표로 평가되는 취약성과 저감성에 의해 산정되도록 정의하였다. 또한, 위험성과 노출성을 평가하기 위한 기준을 마련하였고, 취약성과 저감성을 평가하기 위한 지표를 선정하였으며, 각 위험성 평가 요소의 평가 결과를 결합하여 228개 지자체의 위험성 평가 결과를 살펴보았다.

2. 자연재난 위험성 평가 방법

2.1 위험성 평가 체계 및 산정식

본 연구에서 제안하는 위험성 평가 체계는 Fig. 1과 같다. 여기서, 위험성은 자연재난이 발생할 수 있는 발생확률로서 지자체별로 과거에 발생한 자연재난 발생건수를 위험성 평가 자료로 활용하였으며, 노출성은 자연재난 발생 시 피해 정도를 나타내는 요소로서 위험성과 마찬가지로 지자체별로 과거에 발생한 자연재난으로 인한 인적피해 규모와 물적피해 규모를 노출성 평가 자료로 활용하였다. 취약성은 자연재난 발생 시 피해를 쉽게 받을 수 있는 요소이며, 저감성은 자연재난 발생으로 인한 피해규모를 저감시키거나 피해에 대응할 수 요소로서 과거에 자연재난으로 인해 발생한 시설물 피해 현황을 분석하여 선정된 피해취약 지표와 피해저감 지표를 선정하여 취약성과 저감성 평가 자료로 활용하였다.

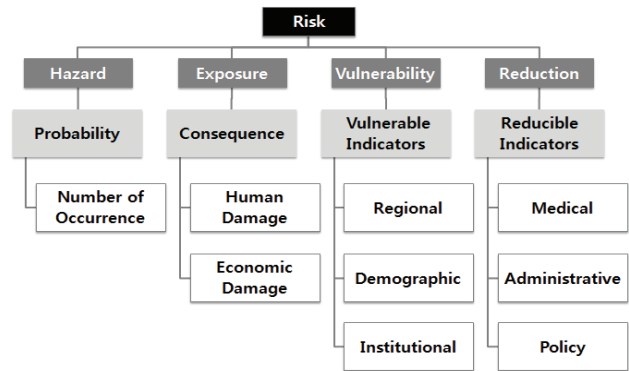


Fig. 1. Risk Assessment System

위험성을 평가하는 가장 간단한 식은 위험성과 노출성의 곱으로 정의되며(Ansel and Wharton, 1992), 이런 기본적인 위험성 평가 식에 취약성을 추가로 곱하거나(Dwyer et al., 2004), 저감성(재난관리 능력)을 나누어(Benouar and Mini, 2001) 위험성 평가 식을 확장시키기도 한다. 본 연구에서 제안하는 위험성, 노출성, 취약성, 저감성을 반영한 위험성 평가 산정식은 다음 Eq. (1)과 같다.

$$\text{Risk} = \frac{\text{Hazard} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability}}{\text{Reduction}} \quad (1)$$

여기서, 위험성은 자연재난 유형별로 과거 발생횟수에 따라 1~5 사이의 값으로 산정되며, 노출성은 자연재난 유형별로 과거 발생한 인적피해 규모 및 물적피해 규모에 따라 1~5 사이의 값으로 산정된다. 노출성 산출의 경우에는 인적피해 규모 50%, 물적피해 규모 50%의 비율을 적용하였으며, 인적피해 규모는 다시 사망실종자수 50%, 이재민수 50% 비율을 적용하였다.

취약성과 저감성은 조사를 통해 선정된 피해취약 지표와

피해저감 지표를 228개 지자체별로 DATA를 구축한 후 각 지표별로 표준화하고, 재난유형별로 표준화된 지표를 평균하여 취약성과 저감성을 산정하였다. 지표의 표준화 방법으로는 Eq. (2)와 같이 스케일 재조정(Rescaling)방법을 활용하여 지표값이 0~1의 값을 갖도록 변환하였다. 이 방법은 지표의 최대값과 최소값을 이용하는 방법으로 어떤 변수에서 한 값인 x가 있을 때 x에서 변수내의 최소값을 빼고 이를 다시 변수내의 최대값에서 최소값을 뺀 값으로 나누어 산정하는 방법이다.

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

표준화된 지표에는 '1'을 더함으로서 취약성과 저감성을 평가하기 위해 표준화된 값이 1~2 사이의 값을 갖도록 산출하였다. 이는 취약성과 저감성이 0~1 사이의 값을 가짐으로 위험성 평가 시 취약성과 저감성이 미치는 영향이 커지는 것을 보완하기 위함이다.

자연재난의 위험성 평가를 위해서는 자연재난의 유형을 선정해야한다. Kim et al. (2018)은 1996년부터 2015년까지 최근 20년간 재해연보에 기록된 자연재난의 피해사례를 자연재난 유형별로 분류하여 우리나라에서 발생빈도가 높은 자연재난 유형을 분석하였다. 그 결과 최근 20년간 우리나라에서 상대적으로 발생 빈도가 높은 자연재난 유형은 태풍, 호우, 대설, 강풍, 풍랑 5가지인 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서도 위험성 평가 수행을 위한 자연재난 유형으로 태풍, 호우, 대설, 강풍, 풍랑 5가지를 선정하였다.

2.2 위험성 및 노출성 평가 기준 도출

2.2.1 위험성 평가 기준

위해성은 자연재난 발생확률을 평가하는 것으로서 위험성 평가 기준을 마련하기 위해서는 과거에 228개 지자체에서 발생한 자연재난 유형별 발생횟수를 산정해야한다. 본 연구에서는 행정안전부에서 매년 발간하는 재해연보를 활용하여 최근 20년간(1997년~2016년) 자연재난 유형별로 228개 지자체에 발생한 자연재난 유형별 누적 발생횟수를 산정하고, 각 유형별로 산정된 발생횟수를 통합하여 자연재난 모든 유형에 대한 사분위수 분석을 수행하였다.

228개 지자체에 대한 자연재난 유형별 발생횟수를 분석한 결과 풍랑의 경우 해안가 지역(55개)에서만 발생되므로 대부분을 차지하는 내륙 지역에서 발생횟수가 '0'인 것으로 나타났다. 대설과 강풍의 경우에도 각각 18개, 58개 지역이 발생횟수 '0'으로 나타났다. 발생횟수 '0'이 미치는 영향에 대해 검토해 보기 위해 사분위수 분석 시 발생횟수 '0'을 포함하는 경우와 발생횟수 '0'을 포함하지 않는 경우로 나누어 Table 1과 같이 분석을 수행하였다.

Table 1. Quartile of Frequency of Natural Disaster for Recent 20 Years

Quartile		Frequency(number)	
		'0' Include	'0' Exclude
0	Min.	0	1
1	25%	1	2
2	50%	4	4
3	75%	12	14
4	Max.	38	38

5가지 자연재난 유형의 발생횟수 현황을 통합하여 사분위수 분석을 수행한 결과 발생횟수 '0'을 포함하지 않은 경우가 상대적으로 더 높게 나타났다. 본 연구에서는 위해성에 대해 보다 보수적인 평가 기준을 산출하기 위해 사분위수별 발생횟수가 상대적으로 높게 나타난 발생횟수 '0'을 미포함한 경우를 이용하여 Table 2와 같이 위해성 평가 기준을 선정하였다.

Table 2. Hazard Assessment Criteria of Natural Disaster

Index	Hazard assessment criteria
1	Frequency ≤ 1
2	1 < Frequency ≤ 5
3	5 < Frequency ≤ 10
4	10 < Frequency ≤ 20
5	20 < Frequency

2.2.2 노출성 평가 기준

노출성 평가는 지자체별 자연재난으로 인해 발생한 인적 및 물적피해 규모를 평가하는 것으로서 「2018년 재난관리자원 비축·관리계획 수립지침(행정안전부)」의 재난위험성 평가 방법을 참고로 하여 인적피해 규모를 산정하는 기준으로 이재민수, 사망실종자수를 선정하였으며, 물적피해 규모는 재산피해액으로 산정하였다.

노출성 평가 기준을 마련하기 위해 재해연보에 기록된 자연재난 유형별로 228개 지자체에 대해 지난 20년간(1997년~2016년) 누적 사망실종자수, 누적 이재민수, 누적 재산피해 규모 산정 결과를 이용하여 Table 3과 같이 사분위수 분석을 수행하였다.

5가지 자연재난 유형의 인적피해 규모 및 물적피해 규모를 통합하여 사분위수 분석을 수행한 결과 '0'을 미포함한 경우의 결과가 더 높게 나타났다. 인적피해 규모 및 물적피해 규모 '0'을 포함하여 분석한 결과의 경우 사망실종자수가 제3사분위수까지 '0'으로 나타나 사망실종자수에 대한 노출성 지수 범위를 설정하기에 어려움이 있으며, 위해성과 마찬가지로 노출성에 대한 보다 안정적인 평가 기준 산출을 위해 '0'을 포함하지 않은 경우를 이용하여 Table 4와 같이 노출성 평가 기준을 선정하였다.

Table 3. Quartile of Human and Economic Damage of Natural Disaster for Recent 20 Years

Damage type	Quartile		Human and economic damage	
			'0' Include	'0' Exclude
Death & Missing (person)	0	Min.	0	1.0
	1	25%	0	1.0
	2	50%	0	2.5
	3	75%	0	6.0
	4	Max.	56.0	56.0
Victim (person)	0	Min.	0	1.0
	1	25%	0	21.8
	2	50%	2.0	129.0
	3	75%	145.0	595.5
	4	Max.	24,689.0	24689.0
Economic (billion won)	0	Min.	0	0.001
	1	25%	0.1	3.5
	2	50%	10.3	37.3
	3	75%	137.0	215.3
	4	Max.	10,643.8	10,643.8

2.3 취약성 및 저감성 평가 지표 선정

취약성 및 저감성 지표 선정은 크게 3단계로 구성된다. 우선, 과거 20년간 재해연보(1996-2015년)의 시설물 피해현황을 분석하여 연관된 지표를 추출하였다(MOIS, 1996-2016). 이를 전문가 집단의 정성적인 평가에 의해 수정되었다. 마지막으로 지표 개수를 최소화하기 위해 요인분석을 수행하였다.

자연재난 유형별 취약성 및 저감성을 평가하기 위한 지표는 「재난관리자원 비축관리 예측기술 및 운영모델 개발」(MOIS, 2017)연구에서 수행된 결과를 참고하였다. 상기 연구에서는 취약성 및 저감성 지표를 최종 선정하기 위해

Table 4. Exposure Assessment Criteria of Natural Disaster

Damage type	Index	Exposure assessment criteria
Death & Missing (person)	1	damage ≤ 0
	2	0 < damage ≤ 1
	3	1 < damage ≤ 3
	4	3 < damage ≤ 6
	5	6 < damage
Victim (person)	1	damage ≤ 1
	2	1 < damage ≤ 25
	3	25 < damage ≤ 130
	4	130 < damage ≤ 600
	5	600 < damage
Economic (billion won)	1	damage ≤ 1
	2	1 < damage ≤ 4
	3	4 < damage ≤ 40
	4	40 < damage ≤ 200
	5	200 < damage

많은 변인들을 상호관련의 원리를 이용하여 서로 가까운 것끼리 묶어서 몇 개의 집단으로 단순화하는 통계 기법(Lee and Kim, 2014)인 요인분석(factor analysis)을 수행하였다. 즉, 자연재난 유형별로 취약성과 저감성을 평가하기 위해 선정된 다수의 관련 지표들을 서로 관계있는 소수의 지표로 줄여주기 위해 요인분석을 활용한 것이다.

「재난관리자원 비축관리 예측기술 및 운영모델 개발」(MOIS, 2017) 연구에서 자연재난 유형별로 요인분석을 통해 선정된 취약성 및 저감성 지표는 각각 Tables 5, 6과 같다. 취약성을 평가하는 요인으로는 지역적 요인, 인구적 요인,

Table 5. Vulnerable Indicators of Natural Disaster (MOIS, 2017)

Factor	Typhoon, Heavy rain, Strong wind	Heavy snow	High waves
Regional	Population density	Population density	Population density
	Area of residential district	Area of residential district	Area of residential district
	Ratio of urban area	Ratio of urban area	Ratio of urban area
	Ratio of impervious area	Ratio of impervious area	Ratio of impervious area
	Area of road	Area of road	Area of road
	No. of (semi)basement households	No. of (semi)basement households	No. of (semi)basement households
	-	Length of road	Length of coastline
Demographic	No. of disabled people	No. of disabled people	No. of disabled people
	No. of social assistance recipients	No. of social assistance recipients	No. of social assistance recipients
	No. of disaster vulnerable people ¹⁾	No. of disaster vulnerable people ¹⁾	No. of disaster vulnerable people ¹⁾
Institutional	No. of manufacturing companies	Area of vinyl greenhouses	No. of fishery harbors
	Area of commercial district	-	No. of ports
	Area of industrial district	-	-

1) disaster vulnerable people: under 15 years old, over 65 years old

Table 6. Reducible Indicators of Natural Disaster (MOIS, 2017)

Factor	Typhoon, Heavy rain, Strong wind	Heavy snow	High waves
Medical	No. of medical workers	No. of medical workers	No. of medical workers
	No. of doctors	No. of doctors	No. of doctors
	No. of special medical equipments	No. of special medical equipments	No. of special medical equipments
	No. of medical institutions	No. of medical institutions	No. of medical institutions
Administrative	No. of rescue workers	No. of rescue workers	No. of rescue workers
	No. of public officers	No. of public officers	No. of public officers
	No. of fire fighters	No. of fire fighters	No. of fire fighters
Policy	Administrative management capability for facility damage	Administrative management capability for facility damage	Administrative management capability for facility damage
	Maintenance for natural disaster-prone areas	Establishment of measures for snow disaster	Maintenance for natural disaster-prone areas
	Administrative management capability for inland inundation	-	Administrative management capability for coastal disaster
	Administrative management capability for river disaster	-	-
	Network construction with disaster prevention institutions	-	-
	Disaster response capability	-	-

시설적 요인이 있으며, 저감성을 평가하는 요인으로는 의료적 요인, 행정적 요인, 정책적 요인이 있다. 태풍, 호우, 강풍의 경우 취약성 지표 12개, 저감성 지표 13개가 선정되었으며, 대설은 취약성 지표 11개, 저감성 지표 9개, 풍랑은 취약성 지표 12개, 저감성 지표 10개가 선정되었다.

3. 자연재난 위험성 평가 결과

3.1 위해성 및 노출성 평가 결과

위해성 평가 결과는 Table 7과 같으며, 태풍의 경우 228개 지자체 중 50.0% (114개) 지역이 발생빈도가 높은 것으로 나타났으며, 그 중 3개 지역은 발생빈도가 매우 높은 것으로 나타났다. 호우는 228개 지자체 중 86.8% (198개) 지역이 발생빈도가 높은 것으로 나타났으며, 그 중 41.7% (95개) 지역은 발생빈도가 매우 높은 것으로 나타났다. 대설은 228개 지자체 중 13.6% (31개) 지역이 발생빈도가 높은 것으로

나타났으며, 강풍과 풍랑은 대부분의 지역이 발생빈도가 중간 이하인 것으로 나타났으며, 강풍의 경우 인천광역시 용진군은 발생빈도가 높은 것으로 나타났다.

자연재난 유형별로 지난 20년간 누적 발생빈도가 가장 높은 지역을 살펴보면 태풍은 제주특별자치도(27건), 호우는 경기도 평택시(40건), 대설은 강원도 평창군(19건), 강풍은 인천광역시 용진군(11건), 풍랑은 충청남도 태안군(8건) 인 것으로 나타났다.

노출성 평가 결과는 Table 8과 같으며, 태풍의 경우 228개 지자체 중 59.2% (135개) 지역이 태풍으로 인한 피해규모가 큰 것으로 나타났으며, 그 중 28.9% (66개) 지역은 태풍으로 인한 피해규모가 매우 큰 것으로 나타났다. 호우는 228개 지자체의 74.1% (169개) 지역이 호우로 인한 피해규모가 큰 것으로 나타났으며, 그 중 27.2% (62개) 지역은 호우로 인한 피해규모가 매우 큰 것으로 나타났다. 대설은 228개 지자체의 25.4% (55개) 지역이 대설로 인한 피해규모가

Table 7. Hazard Assessment Results of Natural Disaster

Hazard Index	Number of local government				
	Typhoon	Heavy rain	Heavy snow	Strong wind	High waves
1	4	1	39	93	191
2	35	5	89	124	35
3	75	24	69	10	2
4	111	103	31	1	0
5	3	95	0	0	0

Table 8. Exposure Assessment Results of Natural Disaster

Exposure Index range	Number of local government				
	Typhoon	Heavy rain	Heavy snow	Strong wind	High waves
0 < E ≤ 1	5	2	34	124	199
1 < E ≤ 2	24	8	69	91	24
2 < E ≤ 3	64	49	70	13	5
3 < E ≤ 4	69	107	52	0	0
4 < E ≤ 5	66	62	3	0	0

큰 것으로 나타났으며, 그 중 3개 지역은 대설은 인한 피해규모가 매우 큰 것으로 나타났다. 강풍과 풍랑은 대부분의 지역이 피해규모가 중간 이하인 것으로 나타났다.

자연재난 유형별로 지난 20년간 누적 인적피해 규모가 가장 큰 지역을 살펴보면 사망자실종지수의 경우에는 태풍은 강원도 강릉시(56명), 호우는 경기도 파주시(43명), 대설은 제주특별자치도(10명), 강풍은 경상북도 포항시(11명)인 것으로 나타났으며, 지난 20년간 풍랑으로 인한 사망실종자는 발생하지 않은 것으로 나타났다. 이재민수의 경우에는 태풍은 강원도 강릉시(24,689명), 호우는 서울특별시 관악구(10,342명), 대설은 충청북도 괴산군(6,590명), 강풍은 경상북도 울릉군(89명), 풍랑은 인천광역시 옹진군(7명)으로 나타났다.

지난 20년간 누적 물적피해 규모가 가장 큰 지역을 살펴보면 태풍은 강원도 강릉시(약 10,633억원), 호우는 강원도 평창군(약 6,011억원), 대설은 충청북도 청주시(약 1,235억원), 강풍과 풍랑은 충청남도 서천군(각각 약 76억원, 약 198억원)으로 나타났다.

모든 누적 인적·물적피해 규모가 강원도 강릉에서 가장 크게 발생한 이유는 최근 20년간 발생한 태풍 중에서 우리나라에 가장 많은 피해를 입혔던 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미의 영향 때문이다.

3.2 취약성 및 저감성 평가 결과

Tables 9와 10은 각각 취약성과 저감성 평가 결과를 보여주고 있다. 태풍, 호우, 강풍의 경우에는 취약성과 저감성을 평가하는 지표가 동일하기 때문에 결과가 동일하게 산출되었다.

Table 9. Vulnerability Assessment Results of Natural Disaster

Vulnerability Result range	Number of local government				
	Typhoon	Heavy rain	Heavy snow	Strong wind	High waves
$1.0 \leq V \leq 1.2$	128	128	130	128	143
$1.2 < V \leq 1.4$	87	87	83	87	79
$1.4 < V \leq 1.6$	12	12	15	12	6
$1.6 < V \leq 1.8$	1	1	0	1	0
$1.8 < V \leq 2.0$	0	0	0	0	0

Table 10. Reduction Assessment Results of Natural Disaster

Reduction Result range	Number of local government				
	Typhoon	Heavy rain	Heavy snow	Strong wind	High waves
$1.0 \leq R \leq 1.2$	2	2	33	2	33
$1.2 < R \leq 1.4$	47	47	187	47	182
$1.4 < R \leq 1.6$	174	174	7	174	13
$1.6 < R \leq 1.8$	5	5	1	5	0
$1.8 < R \leq 2.0$	0	0	0	0	0

228개 지자체의 취약성 평가 평균을 살펴보면 태풍, 호우, 강풍은 1.192, 대설은 1.196, 풍랑은 1.174로 모든 자연재난 유형에서 과반수가 넘는 지역의 취약성 평가 결과가 1.2 이하인 것으로 나타났다. 이는 228개 지자체 중 대부분의 지역이 취약성에 대한 편차가 그리 크지 않다는 것을 보여주는 것으로 판단된다.

자연재난 유형별로 취약성이 가장 높은 지역을 살펴보면 태풍, 호우, 강풍은 경상남도 창원시(1.62), 대설과 풍랑은 제주특별자치도(각각 1.6, 1.55)인 것으로 나타났다.

경상남도 창원시는 태풍, 호우, 강풍의 취약성을 평가하는 지표 중에서 주거지역면적, 장애인수, 상업지역면적이 가장 높은 지역인 것으로 평가되었으며, 기초수급자수, 재난취약인구수, 공업지역면적도 높은 지역인 것으로 평가되었다.

제주특별자치도는 대설의 취약성을 평가하는 지표 중에서는 도로면적, 비닐하우스면적이 가장 높은 지역인 것으로 평가되었으며, 풍랑의 취약성을 평가하는 지표 중에서는 도로면적, 항만수가 가장 높은 지역인 것으로 평가되었다. 상기 언급된 취약성 지표 외에도 대설과 풍랑에서 도시지역비율, 주거지역면적, 장애인수, 기초수급자수 역시 높은 지역인 것으로 평가되었다.

228개 지자체의 노출성 평가 평균을 살펴보면 태풍, 호우, 강풍은 1.457, 대설은 1.273, 풍랑은 1.288로 나타났다. 태풍, 호우, 강풍은 76.3% 지역의 노출성 평가 결과가 1.4~1.6의 값을 갖는 것으로 나타났으며, 대설과 풍랑은 90%가 넘는 지역의 노출성 평가 결과가 1.3 이하인 것으로 나타났다. 태풍, 호우, 강풍의 경우에는 저감성에 대한 지역 편차가 있는 것으로 판단되며, 대설과 풍랑의 경우에는 취약성과 마찬가지로 대부분의 지역이 저감성에 대한 편차가 그리 크지 않다는 것을 보여주는 것으로 판단된다.

자연재난 유형별로 노출성이 가장 높은 지역을 살펴보면 태풍, 호우, 강풍은 대구광역시 중구(1.64)인 것으로 나타났으며, 대설과 풍랑 역시 대구광역시 중구(각각 1.66, 1.58)인 것으로 나타났다.

대구광역시 중구는 태풍, 호우, 강풍의 저감성을 평가하는 지표 중에서는 방재기관 네트워크구축, 재난상황대응, 대설 지표 중에서는 설해대책추진이 가장 높은 지역인 것으로 평가되었으며, 무엇보다도 모든 자연재난 유형에 포함된 지표인 인구수 대비 의료인력수, 의사수, 특수의료장비현황, 의료기관수가 가장 높은 지역인 것으로 평가되어 모든 자연재난 유형에서 저감성이 가장 높은 지역인 것으로 평가된 것을 판단된다.

3.3 위험성 평가 결과

자연재난 위험성 평가 결과는 스케일 재조정(Rescaling) 방법을 이용하여 자연재난 유형별로 228개 지자체에 대해 표준화하였다. 표준화된 위험성 평가 결과는 Table 11에

따라 5단계 등급으로 분류하였다. 5단계 등급 중 1등급은 위험성이 매우 낮은 지역으로 최근 20년간 재난이 거의 발생되지 않았거나 재난이 발생하였어도 피해가 거의 없는 지역이며, 2등급은 피해 위험성이 낮은 지역으로 재난 발생 빈도가 낮아 적은 피해가 발생한 지역이다. 3등급은 피해 위험성이 중간 정도의 지역으로 재난 발생 빈도가 높지만 피해가 적었거나, 재난 발생 빈도는 낮지만 피해가 다소 크게 발생한 지역이다. 4등급은 피해 위험성이 높은 지역으로 재난 발생횟수와 그에 따른 피해규모가 다소 크게 발생한 지역이며, 5등급은 피해 위험성이 매우 높은 지역으로 최근 20년간 재난 발생횟수가 많고 재난 발생으로 인해 피해규모가 큰 지역이다.

Table 11. Risk Evaluation Level of Natural Disaster

Level	Index range	Description
1	$0 \leq \text{Index} \leq 0.2$	Very low risk
2	$0.2 < \text{Index} \leq 0.4$	Low risk
3	$0.4 < \text{Index} \leq 0.6$	Medium risk
4	$0.6 < \text{Index} \leq 0.8$	High risk
5	$0.8 < \text{Index} \leq 1.0$	Very high risk

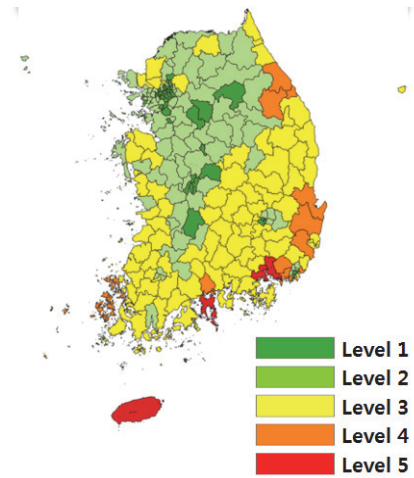
228개 지자체별 위험성 평가 결과에 따른 등급 분류가 Table 12에 나타나 있다. 태풍은 228개 지자체의 7.9% (16개) 지역이 피해 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 그 중 1.3% (3개) 지역은 피해 위험성이 매우 높은 것으로 나타났다. 호우는 228개 지자체의 30.7% (70개) 지역이 피해 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 그 중 5.3% (12개) 지역은 피해 위험성이 매우 높은 것으로 나타났다. 대설은 228개 지자체의 14.5% (33개) 지역이 피해 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 그 중 3.9% (9개) 지역은 피해 위험성이 매우 높은 것으로 나타났다. 강풍은 228개 지자체의 5.3% (12개) 지역이 피해 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 그 중 1.8% (4개) 지역은 피해 위험성이 매우 높은 것으로 나타났다. 풍랑은 228개 지자체의 1.8% (4개) 지역이 피해 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 그 중 0.9% (2개) 지역은 피해 위험성이 매우 높은 것으로 나타났다.

Table 12. Risk Assessment Results of Natural Disaster

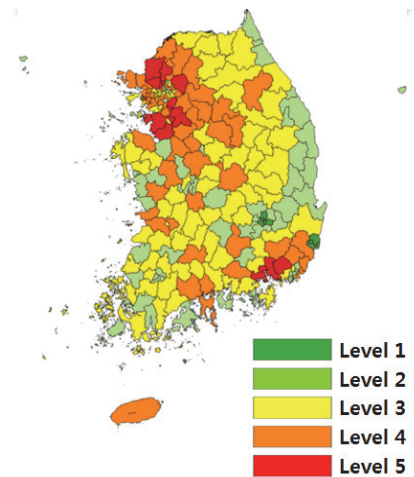
Level	Number of local government				
	Typhoon	Heavy rain	Heavy snow	Strong wind	High waves
1	46	12	85	130	202
2	81	60	66	58	8
3	85	86	44	28	14
4	13	58	24	8	2
5	3	12	9	4	2

자연재난 유형별로 피해 위험성이 가장 높은 지역을 살펴 보면 태풍은 경상남도 창원시, 호우는 경기도 고양시, 대설은 제주특별자치도, 강풍은 강원도 고성군, 풍랑은 충청남도 태안군인 것으로 나타났다.

자연재난 위험성 평가 결과를 GIS 시스템을 활용하여 지자체별로 나타내 본 결과, 태풍은 동해안과 남해안 일부 지역이 피해 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 호우는 중서부와 남동부 지역에 피해 위험성이 높은 지역이 주로 분포하는 것으로 나타났다. 대설의 경우에는 서해안과 동해안 지역에 피해 위험성이 높은 지역이 주로 분포하는 것으로 나타났으며, 강풍의 경우에는 피해 위험성이 높은 지역이 분산되어 분포하는 것으로 나타났으며 대부분의 지역이 피해 위험성이 낮은 것으로 나타났다. 풍랑의 경우에는 서해안과 남해안 일부 지역이 피해 위험성이 높기는 하지만 대부분의 지역이 피해 위험성이 낮은 것으로 나타났다.



(a) Typhoon



(b) Heavy rain

Fig. 2. Risk Assessment Results for Natural Disaster

4. 결론

본 논문은 우리나라 지자체의 자연재난 피해 대책 수립에 적극 활용될 수 있는 위험성 평가 방법을 제안하기 위해 228개 지자체를 대상으로 태풍, 호우, 대설, 풍랑, 강풍에 대한 위험성 평가를 수행하였다. 이를 위해 지자체별로 최근 20년간 발생한 자연재난 발생현황을 분석하여 위해성과 노출성의 평가 기준을 마련하였고, 자연재난 유형별로 취약성과 저감성을 평가하기 위한 지표를 선정하였으며, 각 위험성 평가 요소의 평가 결과를 결합하여 228개 지자체의 위험성 평가 결과를 도출하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

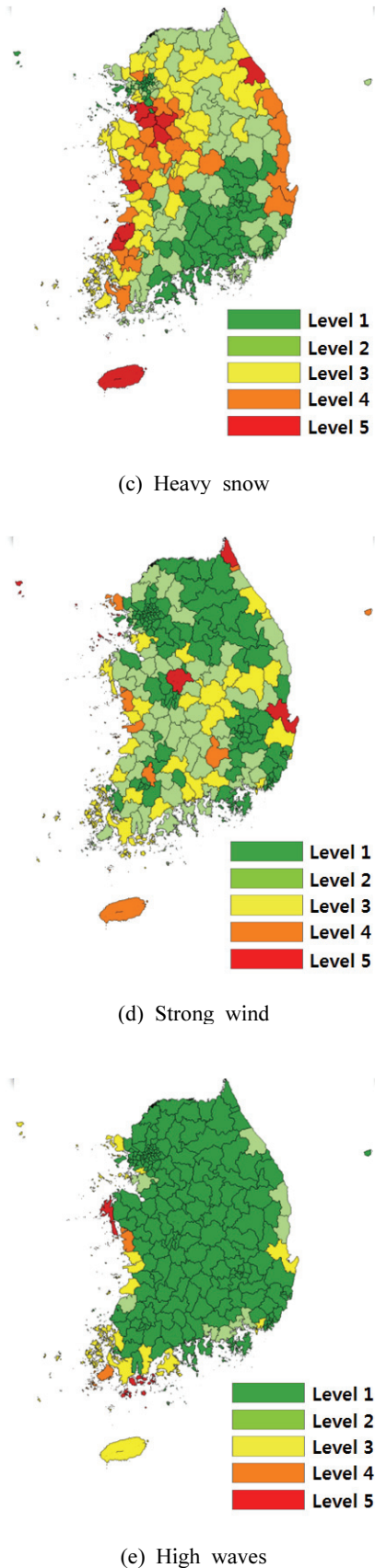


Fig. 2. (Continued)

- (1) 재난 피해 위험성이 높은 지자체(4, 5등급)의 개수를 살펴보았을 때 우리나라는 호우(70개)에 가장 취약한 것으로 나타났으며, 대설(33개), 태풍(16개), 강풍(12개), 풍랑(4개) 순으로 나타났다.
- (2) 태풍 피해 위험성 4, 5등급인 지자체의 56.3% (9개)가 남해안 지역이었으며, 5등급인 3개 지역(전라남도 여수시, 경상남도 창원시, 제주특별자치) 모두 남해안에 위치한 지역인 것으로 나타나 태풍 피해는 남해안 지역이 가장 취약한 것으로 분석되었다. 우리나라 태풍 이동 경로가 대부분 제주도를 시작으로 남해안을 거치기 때문에 제주도와 남해안 지역이 태풍에 가장 취약할 것으로 판단되며, 전라남도 여수시는 석유화학산업, 경상남도 창원시는 국가산업이 활성화된 지역으로 인구나 재해 취약시설이 많아 남해안 지역 중에서도 태풍 위험성이 매우 높은 것으로 평가되었다.
- (3) 호우는 4, 5등급 지자체의 57.1% (40개)가 수도권 지역이었으며, 5등급인 12개 지자체 중 2개는 경상남도(창원시, 김해시) 지역, 10개는 수도권(서울특별시 은평구, 인천광역시 남구, 경기도 성남시·평택시·고양시·남양주시·용인시·파주시·화성시·양주시) 지역인 것으로 분석되었다. 4, 5등급인 지자체의 비율을 권역별로 살펴봤을 경우에도 수도권 60.6% (40개), 강원권 11.1% (2개), 충청권 28.1% (9개), 전라권 19.0% (8개), 경상권 15.7% (11개)로 수도권 지역이 타 지역에 비해 월등히 호우 피해에 취약한 지역인 것으로 나타났다. 호우 피해의 경우에는 지반의 불투수율이 클수록 피해가 많이 발생되는데 수도권의 경우 인구집중에 따른 도시화가 타 지역에 비해 상당히 높아 호우에 취약한 것으로 판단된다. 5등급인 지자체 모두 4등급인 지자체와 비교하여 발생건수나 피해규모에서는 크게 차이나지 않았지만 타 지역에 비해 취약성 높거나 저감성이 낮게 평가되어 호우 피해 위험성이 매우 높은 것으로 평가되었다.
- (4) 대설은 4, 5등급 지역 중 51.5% (17개)가 경기도, 충청남

북도, 전라남북도 지역으로 모두 서해안에 위치한 지역인 것으로 나타났으며, 5등급인 9개 지역 중 8개는 역시 서해안에 위치한 지역인 것으로 나타났다. 실제로 우리나라는 겨울철 시베리아 기단의 확장으로 인해 서해안 주변 지역에서 대설이 가장 많이 발생하고 있으며, 서해안 다음으로 대설에 취약한 지역인 동해안의 경우 겨울철 동해의 수온이 높아 해기차가 매우 커 대설이 많이 발생하고 있다. 5등급인 지역 중 서해안 주변에 위치한 8개 지역(경기도 평택시·안성시·화성시, 충청남도 천안시·서천군, 전라북도 고창군, 전라남도 영광군, 제주특별자치도)과 동해안에 위치한 강원도 강릉시는 이러한 지리적 원인과 함께 대설로 인한 피해규모가 크게 발생하였기 때문에 대설 위험성이 매우 높은 것으로 평가되었다.

- (5) 강풍의 경우에는 4, 5등급인 지역이 전국에 분산되어 분포하는 것으로 나타나 다른 재난유형과 달리 특정 지역권이 취약하다고 분석되지 않는다. 5등급인 4개 지역(인천광역시 옹진군, 강원도 고성군, 충청북도 청주시, 경상북도 포항시)의 경우 강풍 발생건수와 함께 피해규모도 크게 발생하였기 때문에 강풍 위험성이 매우 높은 것으로 평가되었다.
- (6) 풍랑의 경우 4등급은 충청남도 보령시와 전라남도 진도군, 5등급은 충청남도 태안군과 전라남도 완도군인 것으로 나타났다. 대부분 서해와 접한 지역이며, 3등급인 지역 14개 중 9개도 서해안에 위치한 지역으로 나타나 풍랑 피해는 서해안 지역이 가장 취약한 것으로 분석되었다. 이는 한여름을 제외하고 우리나라에 많이 불어오는 북서계절풍의 영향 때문으로 충청남도 태안군의 경우에는 지형적으로 서해안에 돌출되어 있는 위치로 외해로부터 파랑에너지가 감쇄없이 전파되기 때문에 풍랑 발생건수가 가장 높게 나타났다. 전라남도 완도군의 경우 풍랑 발생건수나 피해규모가 4등급인 지역과 비교하여 크게 차이나지 않지만 풍랑 피해를 저감시킬 수 있는 저감성 평가 결과가 다른 4, 5등급 지역에 피해 현저히 낮게 나타나 풍랑 위험성이 매우 높은 것으로 평가되었다.

재난 발생 시 신속한 대응은 초기 재난 확산방지에 있어 매우 중요하며 이를 위해 지자체에서는 재난에 대응할 수 있는 자원을 확보하는 것이 매우 중요하다. 재난으로 인해 피해가 발생하였을 시 재난을 관리할 수 있는 재난관리자원을 활용하여 피해를 저감시킬 수 있을 것이기 때문이다. 본 연구를 통해 도출된 위험성 평가 결과가 지자체별 어떤 자연재난 유형에 대해 위험성이 높은지를 검토할 수 있으며, 취약한 재난 유형에 대해 집중적으로 재난관리자원을 비축 및 관리할 수 있을 것이다.

향후 자연재난에 대한 피해 데이터가 축적될수록 더욱

다양한 재난 유형을 평가할 수 있을 것이며, 더욱 세분화된 위험성과 노출성 평가 기준을 마련할 수 있을 것이다. 또한, 취약성과 저감성을 평가할 수 있는 지표를 더 다양화하고 DATA 구축을 세밀화하면 실제 재해 양상을 더 정확히 예측할 수 있는 위험성 평가 방법을 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 더불어 자연재난 유형별 위험성 평가 등급에 따른 재난관리자원의 비축량 산정에 대한 연구가 추가된다면 더욱 효율적이고 체계적인 자연재난 방재대책 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2017-MPSS31-005).

References

- Ansell, J., and Wharton, F. (1992). *Risk: Analysis, assessment and management*. Wiley.
- Benouar, D., and Mini, A. (2001). *Improving emergency management in Algeria*. Global Alliance International Workshop on Disaster Reduction, Reston, VA.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., and Roberts, S. (2004). *Quantifying social vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Department of Industry, Tourism and Resources, Australian Government.
- Han, S.R., Kang, N.R., and Lee, C.S. (2015). Disaster risk evaluation for urban areas under composite hazard factors. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 3, pp. 33-43.
- Kim, S.W., Lee, J.M., Jang, D.W., and Chon, J.J. (2018). Disaster risk assessment for the disaster resources management planning. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 2, pp. 387-394.
- Lee, M.C., and Kim, Y.H. (2014). *Statistics for the Social Sciences using SPSS*. Seoul: CommunicationBooks.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (1996-2016). *Natural disaster yearbook*.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2016). *Guideline for regional safety assessment*.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2017). *Development of forecasting technology and operational model for stockpile standards of disaster management resources*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2014). *Construction of fundamental technology for*

disaster risk assessment and response(I): Disaster risk assessment system for Korea. NDMI-PR-2014-07-02-01.

National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2015). *Construction of fundamental technology for disaster risk assessment and prediction(II): Natural*

disaster risk assessment. NDMI-PR-2015-03-02-03-01.

Received	September 17, 2018
Revised	September 19, 2018
Accepted	October 30, 2018