

## A Quantitative Data based Natural Disaster Risk Index Model in South Korea

Ho Jae Yeon<sup>1#</sup>, Keun Chae Jeong<sup>2+</sup>, Tae Young Heo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ITCM Laboratory, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

<sup>2</sup> School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

<sup>3</sup> Department of Information & Statistics, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

### Abstract

We develop a natural disaster risk index (NDRI) for evaluating risks of natural disasters based on the analysis of quantitative data provided by public institutions. NDRI is measured by 32 sub-indexes representing 4 assessment areas: disaster risk, geographical vulnerability, social vulnerability, and response/recovery capability. Using the database, 225 primary local governments are evaluated for NDRI for the years 2001-2014. For verification of the effectiveness of the proposed model, we compare and analyze NDRI evaluation results, regional safety grades from Ministry of Public Safety and Security, and actual amounts of damages from the previous natural disasters. The NDRI evaluation results show a significant association with the regional safety grades as well as the actual amounts of damages. NDRI is a tool to evaluate risks of natural disasters objectively with less resources and time.

**Key words:** natural disaster, heavy rain, typhoon, strong wind, storm, risk index

### 1. 서론

#### 1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑 등 자연재해로 인해 매년 큰 피해를 입고 있다. <Figure 1>의 (a)에 나타나 있는 2005년부터 2014년까지의 10년간 자연재해로 인한 피해액과 복구액을 살펴보면, 매년 평균적으로 6,944억 원의 피해액이 발생하였으며 이들 피해의 복구를 위해 피해액보다 훨씬 많은 1조 3,244억

원의 예산이 지출되었다(Ministry of Public Safety and Security, 2015a). 국내에서 발생하고 있는 주요 자연재해는 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑 등으로 <Figure 1>의 (b)에 나타나 있는 바와 같이, 2005년부터 2014년까지의 10년간 재해 원인별 피해액 중 호우가 차지하는 비율은 60%이며 태풍이 차지하는 비율은 25%로, 이 두 자연재해로 인한 비중이 85%를 상회하고 있다. 반면 대설과 강풍 및 풍랑으로 인한 피해액의 비율은 각각 13%와 2%로 호우와 태풍에 비해서 상대적으

<sup>#</sup> The 1st author: Ho Jae Yeon, Tel. +82-43-261-2409, e-mail, yhj-16@hanmail.net

<sup>+</sup> Corresponding author: Keun Chae Jeong, Tel. +82-43-261-2401, e-mail, kcjeong@cbnu.ac.kr

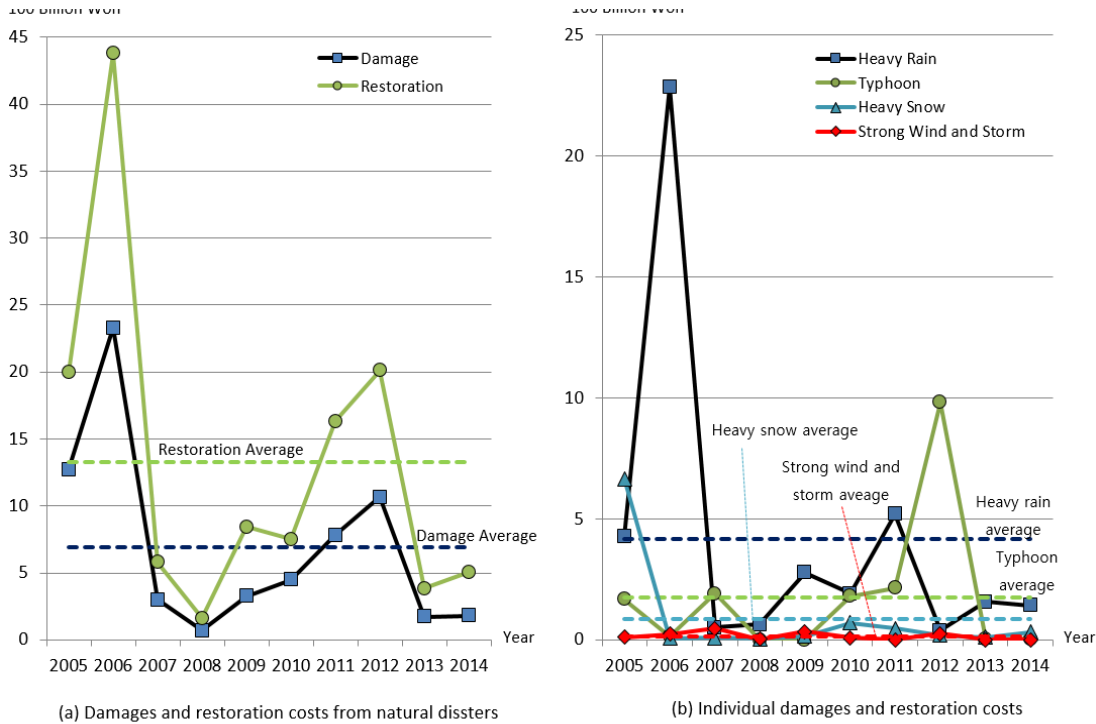


Figure 1. Damage and restoration costs from natural disasters in the recent 10 years

로 그 비중이 높지 않았다.

중앙정부와 지방자치단체는 매해 반복되는 자연재해로 인한 피해를 최소화하기 위해 국비와 지방비를 꾸준히 투입하고 있다. 위의 통계자료에 나타나 있는 바와 같이 자연재해 발생 후에 피해 복구를 위해 막대한 예산이 투입하기도 하지만, 자연재해를 사전에 예방하기 위한 방재사업 예산도 동시에 투입되고 있다. 자연재해 사후에 집행되는 복구사업비는 재해 발생 지역의 피해 정도에 따라 예산이 투입되므로 예산집행 상의 혼란이 덜 하지만, 자연재해 사전에 집행되는 방재사업비는 위험지역에 대한 명확한 기준이 없어 집행 상의 우선순위를 결정하는 것이 어려운 형편이다. 이와 같은 방재 예산은 무한한 것이 아니기 때문에 한정된 예산을 가장 위험한 곳에 우선적으로 투입시켜야만 자연재해로 인한 피해를 최소화 시킬 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 배경 하에 특정 지역의 자연재해로 인한 위험 정도를 적은 비용으로 신속하고 객관적으로 평가할 수 있는 지표 모형을 개발하고자 한다.

이미 이러한 목적을 달성하기 위해, 국내외적으로 자연재해를 대상으로 재해로부터의 위험성, 재해 발생 시

피해 대상이 될 수 있는 지리적·사회적 인벤토리 (Inventory)의 취약성, 그리고 지역사회의 재해에 대한 사전 및 사후 대응능력 등을 종합적으로 평가할 수 있는 위험지표 모형들이 개발되어 왔다. 국외의 경우 Bündnis Entwicklung Hilft와 UNU(United Nations University)의 협력으로 개발된 세계위험지표(World Risk Index)를 대표적 사례로 들 수 있다. 이 지표는 재해노출도, 재해민감성, 대응능력과 적응능력의 4대 영역에 대한 세부지표로 구성되어 있으며, 지진, 폭풍, 홍수, 가뭄, 해일 등의 자연재해를 종합적으로 다루고 있다(Bündnis Entwicklung Hilft, 2012). 또한 UN 개발계획(United Nations Development Programme; UNDP) 주도로 개발된 재해위험지표(Disaster Risk Index)는 사이클론, 지진, 가뭄, 홍수 재해에 대한 물리적 노출도와 취약성으로 대분되는 지표들을 이용하여 전 세계를 대상으로 위험 정도를 평가하였다(UNDP, 2004; Peduzzi, 2009). 또한 유럽연합의 주도로 진행된 ESPON 프로젝트에서 도출된 위험지표는 산사태, 가뭄, 지진, 이상고온, 홍수, 폭풍, 해일, 화산폭발 등을 포괄하는 재해 위험성과 취약도를 종합화한 지표를

개발하였다(Schmidt-Thomé, 2006). 이들 대표적 위험지표들의 공통적인 특징은 그 동안 구축된 정량적 자료에 근거하여 세부지표들을 평가한 후 이들 결과를 종합화하여 각 지역의 위험정도를 평가하고 있다는 점이다.

국내의 경우 대표적인 자연재해 위험지표로는 2014년 국민안전처로 통합된 소방방재청이 개발하여 운영 중인 지역안전도 지표를 들 수 있다. 이 지표는 자연재해에 대한 잠재적 재해발생 가능성 및 환경적 위험도 진단을 위한 위험환경, 재해저감을 위한 행정적인 노력도 진단을 위한 위험관리능력, 지역의 구조적인 재해방어능력 진단을 위한 방재성능 등을 종합적으로 평가하고 있다(National Emergency Management Administration, 2011). 그러나 이 지표의 경우 정량적인 자료만을 활용하는 국외 사례와 달리 위험환경을 제외한 위험관리능력과 방재성능을 평가하기 위해 민간전문가로 구성된 중앙진단반을 구성하여 직접 현지를 방문하여 실시하는 방식의 정성적 평가를 수행하고 있다. 예를 들어, 2015년의 경우 75개 기초자치단체의 평가를 위해 8조 32명의 중앙진단반을 구성하여 8일 동안 현지 방문실사를 수행하였다(Ministry of Public Safety and Security, 2015b). 이와 같은 방식의 평가는 자연재해로 인한 위험의 근본적인 원인을 파악하는 데는 큰 도움이 될 수 있으나, 위험지표 평가라는 측면에서만 본다면 평가를 위한 소요기간이 길어지고 정량적인 평가에 비해 상대적으로 투입되는 노력과 비용부담이 커진다는 단점을 갖는다. 만약 국민안전처, 통계청, 기상청, 지방자치단체 등 공공부문에 축적된 정량적인 데이터베이스를 활용하여 자연재해로 인한 위험정도를 객관적으로 평가할 수 있다면, 지역안전도 지표에서 언급된 시간과 비용 측면에서의 비효율을 개선할 수 있을 것이다.

우리나라는 정보기술 강국으로서 편리한 인터넷 환경을 통해 공공부문에서 축적해 온 다양한 자연재해 관련 자료들을 쉽게 수집할 수 있다. 본 연구의 목표는 공공부문에서 획득할 수 있는 정보들을 활용하여 자연재해로 인한 위험정도를 객관적으로 평가할 수 있는 지표 모형을 개발하는 것이다. 본 연구에서는 자연재해

위험지표 평가에 필요한 각종 자료를 공공부문 데이터베이스에서 수집하여 기초자치단체 단위로 자연재해로 인한 위험성, 자연재해 피해 대상 시설의 분포, 재해에 대한 구성원의 사회경제적 취약성 정도, 자연재해 전후의 대응능력을 종합적으로 평가하고 이들 결과를 종합하여 하나의 자연재해 위험지표로 표출할 수 있는 자연재해 위험지표 모형을 개발한다.

## 2. 연구 범위 및 방법

재난 및 안전관리 기본법(2014) 제 3조에 의하면 자연재난은 “호우, 홍수, 태풍, 대설, 강풍, 풍랑, 해일, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사, 조류 대발생, 조수, 화산활동, 그밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해”로 정의되어 있다. 본 연구에서는 자연재해 위험지표 평가 범위를 국민안전처에서 발행하고 있는 재해연보 상에서 피해가 집계되는 단위인 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑으로 한정한다(Ministry of Public Safety and Security, 2015a).

우리나라의 지방자치단체는 특별시, 광역시, 자치도, 광역도 등의 광역자치단체와 그 하위 단체인 시, 군, 구의 기초자치단체로 구성된다. 본 연구에서는 자연재해 위험지표의 평가단위로 국민안전처 지역안전도 평가와 동일하게 기초자치단체를 사용한다. 즉, 본 연구에서는 국내 기초자치단체를 대상으로 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑 등의 자연재해로 인한 위험정도를 평가하기 위한 자연재해 위험지표를 개발한다.

본 연구의 연구방법은 <Figure 2>와 같다. 기본적으로 본 연구는 기존에 개발되어 운영 중인 국내외 위험지표에 대한 사례분석과 국내 자연재해 발생현황에 대한 통계분석 결과를 바탕으로 진행된다. 본 연구는 크게 6단계로 나누어 진행되었는데, 첫 번째로 국내외 자연재해 위험지표 사례분석을 통해 본 연구에서 사용할 지표체계를 수립한다. 두 번째, 위험지표의 각 영역별로 사용가능한 세부지표 후보를 도출한 후, 각 지표 후보에 대해 적용성 검토, 중복성 검토, 평가지표 요건 분석을 통해 최종 세부지표를 선정한다. 세 번째, 각 세부지

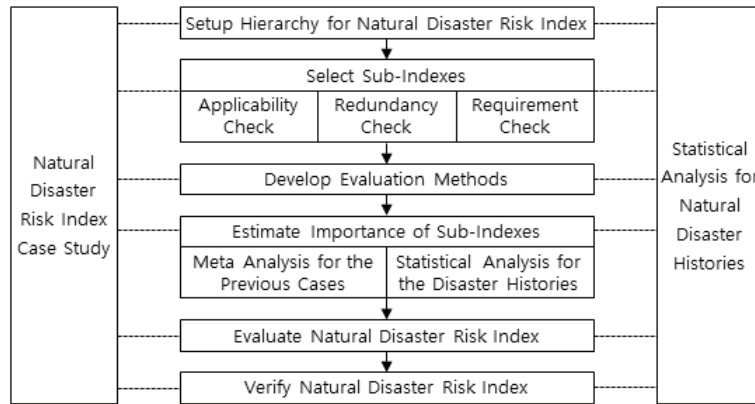


Figure 2. Research methodology for developing the natural disaster risk index

표 별로 세부지표의 근거 자료 및 계산식을 포함하는 평가방법을 정의한다. 네 번째, 기존 위험지표에 대한 메타분석과 자연재해 피해액에 대한 통계분석을 통해 세부지표의 상대적 중요도를 산정한다. 다섯 번째, 국내 225개 기초자치단체를 대상으로 자연재해 위험지표를 평가하고, 마지막으로 이 평가결과를 과거 피해자료 및 국민안전처 지역안전도 평가결과와 비교분석함으로

써 본 연구에서 제안한 자연재해 위험지표에 대한 활용 가능성을 검증한다.

### 3. 사례분석 대상 국내외 위험지표

본 연구에서는 자연재해 위험지표 모형 개발을 위해, <Table 1>에 나타나 있는 바와 같이 국내 9개 연구사례와 국외 10개 연구사례 등 총 19개 자연재해 위험지표

Table 1. List of the research cases included in the case study

Category	Number	Index or Related Case	Reference	Target Area	Target Disaster
Domestic	1	Regional Safety	National Emergency Management Administration, 2011	Korea	Heavy Rain, Wind, Wave, Heavy Snow
	2	Seoul Regional Safety	Lee, 2006	Seoul	Flood
	3	Seoul Earthquake Disaster Risk	Lee, 2005	Seoul	Earthquake
	4	River Risk	Kim etc., 2011	Korea	Heavy Rain
	5	Flood Risk	Choi etc., 2013	Korea	Flood
	6	Heavy Snow Risk Area	Hwang & Noh, 2011	Korea	Heavy Snow
	7	Heavy Snow Disaster Risk	Koo etc., 2013	Busan	Snow Disaster
	8	Regional Less Development Index	Korea Development Institute, 2008	Korea	-
	9	Disaster Yearbook	Ministry of Public Safety and Security, 2015a	Korea	Heavy Rain, Typhoon, Heavy Snow, Heavy Wind, Storm
Foreign	10	Displacement Risk Index (DpRI)	Esnard etc., 2011	USA	Hurricane
	11	Hurricane Disaster Risk Index (HDRI)	Davidson & Lambert, 2001	USA	Hurricane
	12	Disaster Risk Management Performance Index (DRMPI)	Carreno etc., 2007	Caribbean Countries	-
	13	European Spatial Planning Observation Network (ESPON)	Schmidt-Thomé, 2006	Europe	Landslide, Drought, Earthquake, Abnormal Temperature, Flood, Storm, Tsunami, Volcano
	14	Natural Disaster Risk Assessment Model (NDRAM)	Tsai & Chen, 2011	Taiwan	Typhoon, Earthquake
	15	Social Vulnerability Index (SoVI)	Cutter etc., 2003	USA	-
	16	World Risk Index (WRI)	Bündnis Entwicklung Hilft, 2012	World	Earthquake, Storm, Flood, Drought, Tsunami
	17	Disaster Risk Index (DRI)	UNDP, 2004; Peduzzi etc., 2009	World	Cyclone, Earthquake, Drought, Flood
	18	Earthquake Disaster Risk Index (EDRI)	Davidson & Shah, 1997	USA	Earthquake
	19	Disaster Resilience of Place (DROP)	Cutter etc., 2008	USA	-

관련 사례를 분석 하였다. 9번 재해연보와 같은 일부 연구사례는 지표 모형은 아니지만 자연재해 위험지표 구성을 위한 재해발생 현황과 피해액 정보를 제공하고 있어 포함되었다. 본 연구에 포함된 연구사례에 대한 평가 대상 지역과 평가대상 재해는 <Table 1>과 같다. 8번, 12번, 15번, 19번등의 연구사례는 자연재해 자체의 물리적 위험성은 고려하고 있지 않지만, 재해에 대한 사회적·지리적 취약성과 대응능력을 평가하고 있는 모형이다. 이들 사례는 본 연구에서 제안하고 있는 자연재해 위험지표의 지리적 취약성, 사회적 취약성, 대응 및 복구능력 영역의 세부지표 개발을 위해 참조되었다.

## II. 자연재해 위험지표 모형

### 1. 자연재해 위험지표 체계수립

사례분석에 사용된 기존 위험지표 모형들은 각각의 고유한 평가체계를 가지고 있다. 본 연구에서는 앞서 언급된 19개 연구사례 하위 평가영역의 구분기준을 분석하여 종합화한 결과, 다음과 같이 재해 위험성, 지리적 취약성, 사회적 취약성, 대응 및 복구능력 등 총 4개 영역으로 구성된 자연재해 위험지표 체계를 수립하였다.

- 재해 위험성 : 자연재해 발생 강도 및 빈도를 바탕으로 한 재해 발생 가능성을 평가
- 지리적 취약성 : 특정 지역 자연재해 피해 대상 인벤토리를 바탕으로 자연재해에 대한 물리적 노출 정도를 평가
- 사회적 취약성 : 인구통계학적인 자료를 바탕으로 특정 지역 주민들의 자연재해에 대한 취약 정도를 평가
- 대응 및 복구능력 : 사전 재해대응과 사후 재해복구에 대한 특정 지역의 역량 평가

본 연구에서는 기존 19개 연구사례에 포함된 모든 세부지표들이 위의 4개 영역으로 매핑(Mapping)될 수 있음을 확인하였다. 기존 연구사례의 세부지표들과 본 연구의 영역구분 사이의 자세한 대응관계는 Yeon(2015)

문헌을 참고하기 바란다.

### 2. 세부지표 선정

본 연구에서 사용할 세부지표를 선정하기 위해, 우선 19개 연구사례에 대한 분석을 통해 기존 지표에서 사용된 모든 세부지표를 앞서 정의한 4개 영역으로 구분하여 나열하였다. 그 결과, 재해 위험성 영역 세부지표 64개, 지리적 취약성 영역 세부지표 121개, 사회적 취약성 영역 세부지표 141개, 대응 및 복구능력 세부지표 181개 등 총 507개의 세부지표 후보군을 형성하였다. 이후, 각 영역별로 분류된 세부지표 후보군에 대해 적용성 검토와 중복성 검토를 수행하여 후보군을 필터링하였다. 여기서, 적용성 검토란 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑 이외의 자연재해와 관련된 세부지표와 국내 실정에 맞지 않는 세부지표를 후보군에서 제외하는 과정을 의미하며, 중복성 검토란 세부지표 간 특성과 기능이 유사한 후보들을 단일 세부지표 후보로 통합하는 과정을 의미한다. 적용성 검토를 통해 46개 세부지표가 제외되었고, 중복성 검토를 통해 190개 세부지표가 유사 지표로 통합되어, 총 271개 후보가 평가지표 선정의 다음 단계인 평가지표 요건 분석 대상으로 선정되었다.

평가지표 요건 분석이란 세부지표가 평가지표로서 갖춰야할 요건을 마련한 후, 이 요건들을 만족하지 못하는 지표들을 필터링하는 과정을 의미한다. 본 연구에서는 평가지표 요건 정의를 위해 7개 평가지표 요건 관련 연구사례를 분석하였다(Shin, *et. al.*, 2005; Lee, 2006; Oh & Kwack, 2003; Kim, 2008; Kim, 2006a; Kim, 2006b; Kim, 2001). 본 연구에서는 이들 사례에서 사용된 평가요건들을 유사한 성격끼리 묶어 5개의 집단으로 그룹화한 후, 각 그룹을 대표할 수 있는 평가지표 요건들을 하나씩 선정하였다. 이 결과, 자연재해 위험지표가 갖춰야할 평가지표 요건으로 다음과 같은 5개 항목이 선정되었다.

- 계량가능성 : 평가결과의 객관성 담보를 위해 정량적 자료의 사용과 평가가 가능하여야 함

Table 2. Selecting sub-Indexes for the natural disaster risk index

Candidate for Sub-Index	Number of Sub-Index Candidates				
	Disaster Risk	Geographical Vulnerability	Social Vulnerability	Respond and Recovery Capability	Total
Original Candidates	64	121	141	181	507
After Applicability Check	37	108	137	179	461
After Redundancy Check	14	73	67	117	271
After Requirement Check	8	12	5	7	32

- 자료획득용이성 : 평가지표 계산을 위한 원천 자료의 획득이 용이해야 함
- 목적부합성 : 자연재해의 위협정도를 평가한다는 목적에 부합해야 함
- 정기측정성 : 시간 축에 대한 정기적인 평가가 가능해야 함
- 미래예측성 : 평가지표의 미래 변화를 사전에 예측할 수 있어야 함

위의 5가지 평가지표 요건을 적용성과 중복성에 대한 검토를 마친 271개 후보군에 적용한 결과, 5가지의 평가지표 요건을 모두 만족하는 지표로 재해 위험성 영역 세부지표 8개, 지리적 취약성 세부지표 12개, 사회적 취약성 세부지표 5개, 대응 및 복구능력 세부지표 7개 등 총 32개의 세부지표가 선정되었다. <Table 2>는 지금까지의 세부지표 선정 과정을 보여주고 있다. 지표 선정 과정에 대한 세부적인 내용은 Yeon(2015) 문헌을 참고하기 바란다. 최종적으로 선정된 영역별 세부지표는 다음과 같다.

- 재해 위험성(8개) : 호우 빈도, 호우 강도, 태풍 빈도, 태풍 강도, 대설 빈도, 대설 강도, 강풍·풍랑 빈도, 강풍·풍랑 강도
- 지리적 취약성(12개) : 비닐하우스 밀도, 도로 밀도, 주택 밀도, 학교시설 밀도, 하천 밀도, 수리시설 밀도, 철도시설 밀도, 수도시설 밀도, 축사 밀도, 양식장 밀도, 농경지 밀도, 선박 밀도
- 사회적 취약성(5개) : 인구 밀도, 취약인구 비율, 기초생활수급 비율, 고등교육 비율, 외국인 비율
- 대응 및 복구능력(7개) : 일인당 국내총생산, 방재

예산 비율, 도로 비율, 경찰관당 인구, 소방관당 인구, 병상당 인구, 대피소당 인구

### 3. 세부지표 평가방법 정의

본 연구에서는 4개 영역 총 32개의 세부지표를 사용하며, 각 세부지표에 대한 위험지표에 대한 방향성, 지표 계산식, 단위 및 원천자료 출처는 <Table 3>에 서술되어 있다. 본 연구에서 제안하는 자연재해 위험지표는 그 값이 크면 클수록 자연재해에 대한 위협정도가 더 심한 상황, 즉, 위험한 상황임을 의미한다. 반대로 위험지표 값이 작으면 상대적으로 안전한 지역임을 의미한다. <Table 3>의 구분 란에 표시된 “+”와 “-” 표시는 각 지표가 위험지표에 정비례하는 지표인지 반비례하는 지표인지를 나타낸다. 즉, “+” 표시가 있는 지표의 경우 세부지표 값이 증가하면 위험지표의 값 역시 함께 증가한다는 것을 의미하며, “-” 표시가 있는 지표의 경우 세부지표 값이 증가하면 반대로 위험지표의 값은 감소한다는 것을 의미한다.

<Table 3>에서 정의된 계산식을 사용하여 세부지표 값을 계산하면, 각 세부지표별로 각각 다른 단위와 방향성을 가지게 되며 계산된 값의 크기 역시 지표에 따라 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 본 연구에서는 자연재해 위험지표 값이 특정 세부지표의 값에 좌우되는 일을 방지하고 일관된 방향성을 갖게 하기 위해 각 지표의 값을 표준화하는 과정을 수행하였다. 먼저 표준화 방법의 정확한 서술을 위해 다음과 같은 기호를 정의한다.

$i$  : 세부지표,  $i = 1, 2, \dots, 32$

$j$  : 기초자치단체,  $j = 1, 2, \dots, 225$

$t$  : 연도,  $t = 2001, 2002, \dots, 2014$

Table 3. Calculation equations, units, and sources of the data for the natural disaster risk index

Area	Number	Sub-Index	Direction	Calculation Equations of the Sub-Indexes	Unit	Data Source
Disaster Risk	1	Heavy Rain Frequency	+	Number of Annual Heavy Rain Occurrences	number/year	Korea Meteorological Administration
	2	Heavy Rain Strength	+	The Maximum Annual Rainfall	mm	
	3	Typhoon Frequency	+	Number of Typhoon Rain Occurrences	number/year	
	4	Typhoon Strength	+	The Maximum Annual Typhoon Wind Speed	m/second	
	National Climate Data Service System	5	Heavy Snow Frequency	+	Number of Annual Heavy Snow Occurrences	number/year
		6	Heavy Snow Strength	+	The Maximum Annual Snowfall	cm
	National Typhoon Center	7	Heavy Wind and Storm Frequency	+	Number of Annual Heavy Wind and Storm Occurrences	number/year
		8	Heavy Wind and Storm Strength	+	The Maximum Annual Heavy Wind and Storm Wind Speed	m/second
Geographical Vulnerability	9	Greenhouse Density	+	Greenhouse Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Korean Statistical Information Center
	10	Road Density	+	Road Length / Total Area	m/m <sup>2</sup>	
	11	House Density	+	Number of Houses / Total Area	number/m <sup>2</sup>	
	12	School Facility Density	+	School Facility Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
	13	River Density	+	River Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Primary Local Government Statistics Yearbook
	14	Irrigation Facility Density	+	Irrigation Facility Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
	15	Railroad Facility Density	+	Railroad Facility Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
	16	Water Pipe Density	+	Water Pipe Facility Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
	17	Pen Density	+	Pen Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
	18	Aquafarm Density	+	Aquafarm Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
19	Farmland Density	+	Farmland Area / Total Area	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>		
20	Ship Density	+	Ship Tons / Total Area	ton/m <sup>2</sup>		
Social Vulnerability	21	Population Density	-	Population / Total Area	man/m <sup>2</sup>	Korean Statistical Information Center
	22	Vulnerable Population Ratio	+	(Less than 5 + Greater than 64) Population / Population	man/man	
	23	Recipient of Basic Living Ratio	+	Number of Basic Living Recipients / Population	man/man	Primary Local Government Statistics Yearbook
	24	Higher Education Ratio	-	Number of University Graduates / Population	man/man	
	25	Foreigner Ratio	-	Registered Foreigners / Population	man/man	
Respond and Recovery Capability	26	Per Capita GDP	-	Regional GDP / Population	million won/man	Korean Statistical Information Center
	27	Disaster Prevention Budget Ratio	-	Disaster Prevention Budget / Total Budget	won/won	
	28	Road Ratio	-	Road Length / Total Area	m/m <sup>2</sup>	
	29	Population per Policeman	+	Population / Number of Policemen	man/man	Primary Local Government Statistics Yearbook
	30	Population per Fireman	+	Population / Number of Firemen	man/man	
	31	Population per Sickbed	+	Population / Number of Sickbeds	man/bed	National Disaster Information Center
	32	Population per Shelter	+	Population / Number of Shelters	man/shelter	

$X_{ijt}$  : 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 세부지표  $i$  값  
 $Min[X_{ijt}]$  : 모든  $j$ 와  $t$ 에 대한  $X_{ijt}$  중 최솟값  
 $Max[X_{ijt}]$  : 모든  $j$ 와  $t$ 에 대한  $X_{ijt}$  중 최댓값  
 $x_{ijt}$  : 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 표준화된 세부지표  $i$  값

세부지표의 표준화 방법은 세부지표의 방향성에 따라 다음과 같이 다르게 정의된다. 이와 같은 표준화 과정을 통해 모든 세부지표의 표준화된 값은 항상 0과 1사이의 값을 갖게 되며, 또한 자연재해 위험지표와 정비례 관계를 갖게 된다.

세부지표 구분이 “+” 인 경우 :

$$x_{ijt} = (X_{ijt} - Min[X_{ijt}]) / (Max[X_{ijt}] - Min[X_{ijt}]) \quad (식 1)$$

세부지표 구분이 “-” 인 경우 :

$$x_{ijt} = (Max[X_{ijt}] - X_{ijt}) / (Max[X_{ijt}] - Min[X_{ijt}]) \quad (식 2)$$

4. 세부지표 중요도 산정

먼저 자연재해 위험지표를 구성하는 4개 영역인 재해 위험성, 지리적 취약성, 사회적 취약성, 대응 및 복구능력의 상대적 중요도를 반영하기 위해 영역 중요도를 산정한다. 영역 중요도는 기존 위험지표에 대한 메타분석을 바탕으로 산정되었다. 메타분석이란 동일한 주제에 대한 다양한 연구결과를 체계적이고 계량적으로 분석하는 방법론으로 기존의 개별 연구들의 계량적 결과를 종합적으로 분석하는 유용한 도구다(Hwang, 2014). 본 연구에서 메타분석은 다음과 같은 3단계 과정을 통해 수행되었다. 첫 번째, 본 연구에서 수립한 지표체계 상의 4개 영역을 모두 포함하고 있는 지표사례들을 선별한다. 두 번째, 각 지표사례의 세부지표를 4개 영역으로 대응시킨다. 세 번째, 각 영역별로 대응된 세부지표의 가중치들을 합산한 후 정규화 한다.

본 연구에서 참조하고 있는 19개 연구사례 중 재해 위험성, 지리적 취약성, 사회적 취약성, 대응 및 복구능력 등 4개 지표영역을 모두 포함하고 있는 지표사례는 <Table 4>와 같이 총 11개이다. 각 사례에 대해 세부지표를 4대 영역으로 분류한 후, 각 영역에 포함된 세부지

표들의 가중치를 합산한 결과가 <Table 4>에 나타나 있다. 최종적으로 가중치의 합계가 1이 되도록 정규화를 수행한 결과, 4개 영역은 재해위험성, 대응 및 복구능력, 사회적 취약성, 지리적 취약성의 순서로 중요도를 갖게 되었다.

다음으로 재해 위험성 영역의 세부지표들에 대한 중요도는 다음과 같은 과정을 통해 산정되었다. 첫 번째, 2001년부터 2007년까지의 재해연보 상의 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑에 대한 피해액을 조사한 후, 7년 동안의 재해별 피해액 합계 비율에 비례하도록 중요도를 산정하였다. 그 결과, <Table 5>에 나타나 있는 바와 같이 태풍, 호우, 대설, 강풍 및 풍랑의 순서로 중요도를 갖게 되었다. 여기서 2001년부터 2007년까지의 자료만을 사용한 이유는 본 연구진이 2001년부터 2014년까지의 자료를 확보한 상황에서, 전반기 7년(2001년~2007년)만의 자료를 활용하여 모형을 구축한 후 이 모형을 후반기 7년(2008년~2014년)에 적용해 봄으로써 본 모형의 활용가능성을 검증해 보기 위해서이다. 두 번째, 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑에 대한 구성요소인 빈도와 강도는 50% : 50%, 즉, 동일한 중요도로 고려되었다. 최종적으로 산출된 재해 위험성 영역의 세부지표 중요도는 <Table 5>와 같다.

다음으로 지리적 취약성 영역의 세부지표 중요도 역시 재해 위험성 영역의 중요도 산정 방법과 유사하게 재해연보 상의 시설별 피해액을 기준으로 산정되었다. <Table 6>에 나타나 있는 바와 2001년부터 2007년까

Table 4. Estimation results for area importances in the natural disaster risk index

Case Number	Index Case	Disaster Risk	Geographical Vulnerability	Social Vulnerability	Respond and Recovery Capability
1	Regional Safety	0.1500	0.1278	0.0556	0.6667
2	Seoul Regional Safety	0.2250	0.2050	0.0850	0.4850
3	Seoul Earthquake Disaster Risk	0.2750	0.2330	0.1300	0.3620
5	Flood Risk	0.1780	0.2960	0.4030	0.1230
6	Heavy Snow Risk Area	0.0800	0.4050	0.3050	0.2100
10	DpRI	0.5417	0.0458	0.1816	0.2309
11	HDRI	0.4000	0.1110	0.2680	0.2210
13	ESPON	0.5000	0.0500	0.1500	0.3000
16	WRI	0.4000	0.0208	0.3054	0.2738
17	RDRI	0.5000	0.1035	0.1388	0.2577
18	EDRI	0.3021	0.1413	0.3480	0.2086
Area Importance (Average)		0.3229	0.1581	0.2155	0.3035

Table 5. Estimation results for sub-index importances in the area of disaster risk

Year	Annual Amounts of Damages in Terms of the Individual Disasters (Million Won, Reduced Price based on Year 2014)							
	Heavy Rain		Typhoon		Heavy Snow		Heavy Wind and Storm	
2001	578,922		-		951,431		-	
2002	772,422		6,782,336		-		-	
2003	212,431		4,674,584		-		-	
2004	250,377		414,271		783,310		-	
2005	423,120		171,350		655,242		11,265	
2006	2,252,743		14,097		6,067		21,612	
2007	48,642		204,124		8,800		47,092	
Average	648,380		1,751,537		343,550		11,424	
	0.2354		0.6538		0.1247		0.0041	
Importance	Frequency	Strength	Frequency	Strength	Frequency	Strength	Frequency	Strength
	0.1177	0.1177	0.3179	0.3179	0.0624	0.0624	0.0021	0.0021

Table 6. Estimation results for sub-index importances in the area of geographical vulnerability

Year	Annual Amounts of Damages in Terms of the Individual Facilities (Thousand Million Won, Reduced Price based on Year 2014)											
	Green-house	Road	House	School Facility	River	Irrigation Facility	Railroad Facility	Water Pipe	Pen	Aqua-farm	Farm-land	Ship
2001	340	54	11	2	167	33	0	9	270	9	10	1
2002	59	844	16	17	1,767	505	95	103	25	40	437	5
2003	191	367	96	13	923	316	56	69	37	257	117	32
2004	238	41	8	5	208	69	5	8	164	6	21	0
2005	91	32	15	3	154	32	1	11	213	27	28	1
2006	22	365	25	8	455	132	4	33	2	13	141	2
2007	27	21	6	1	51	10	1	6	3	25	11	3
Average	138	247	25	7	532	157	23	34	102	54	109	6
Importance	0.0965	0.1719	0.0176	0.0049	0.3710	0.1092	0.0160	0.0237	0.0711	0.0374	0.0762	0.0044

Table 7. Estimation results for sub-index importances in the area of social vulnerability

Case Number Sub-Index	Use or not																			Total	Importance
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Population Density	✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		13	0.4483
Vulnerable Population Ratio	✓		✓				✓			✓	✓				✓			✓		7	0.2414
Recipient of Basic Living Ratio										✓						✓	✓			3	0.1034
Higher Education Ratio										✓	✓					✓	✓			4	0.1379
Foreigner Ratio										✓					✓					2	0.0690
Total																				29	1.0000

지의 시설별 피해액을 기준으로 중요도를 산정한 결과, 하천, 도로, 수리시설, 비닐하우스, 농경지, 축사, 양식장, 수도시설, 주택, 철도시설, 학교시설, 선박 순서로 중요도가 나타났다.

사회적 취약성 영역의 세부지표 중요도 산정은 영역 중요도 산정방식과 유사한 메타분석 방식을 활용하였다. 본 분석은 특정 세부지표가 전체 19개 연구사례 중 몇 개의 사례에서 사용되었는가를 기준으로 수행되었다. 즉, 많은 연구사례에서 사용된 세부지표에 상대적

으로 더 높은 중요도를 부여하는 방식이다. <Table 7>에서 “✓” 기호는 특정 세부지표가 해당 사례에서 사용되었음을 의미하는 것이다. 사용횟수에 비례하여 중요도를 산정한 결과, 인구밀도, 취약인구 비율, 고등교육 비율, 기초생활수급 비율, 외국인 비율의 순서로 중요도가 나타났다. 대응 및 복구능력 영역의 세부지표 중요도 산정 역시 사회적 취약성 영역과 동일한 방법으로 수행되었으며, 그 결과는 <Table 8>에 나타나 있다. 마지막으로 지금까지의 과정을 모두 종합하여 총합이 1이

Table 8. Estimation results for sub-index importances in the area of respond and recovery capability

Case Number Sub-Index	Use or not																			Total	Importance
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Per Capita GDP													✓		✓	✓		✓		4	0.1250
Disaster Prevention Budget Ratio	✓		✓		✓			✓				✓								5	0.1563
Road Ratio			✓			✓		✓												3	0.0938
Population per Policeman		✓		✓		✓									✓					4	0.1250
Population per Fireman		✓		✓		✓								✓	✓					5	0.1563
Population per Sickbed		✓		✓			✓		✓	✓						✓	✓	✓		8	0.2500
Population per Shelter			✓								✓			✓						3	0.0938
Total																			32	1.0000	

Table 9. Importance weights for the sub-indexes in the natural disaster risk index

Area	Number	Sub-Index	Weight	Area	Number	Sub-Index	Weight
Disaster Risk	1	Heavy Rain Frequency	0.0380	Geographical Vulnerability	17	Pen Density	0.0112
	2	Heavy Rain Strength	0.0380		18	Aquafarm Density	0.0059
	3	Typhoon Frequency	0.1026		19	Farmland Density	0.0120
	4	Typhoon Strength	0.1026		20	Ship Density	0.0007
	5	Heavy Snow Frequency	0.0201	Social Vulnerability	21	Population Density	0.0966
	6	Heavy Snow Strength	0.0201		22	Vulnerable Population Ratio	0.0520
	7	Heavy Wind and Storm Frequency	0.0007		23	Recipient of Basic Living Ratio	0.0223
	8	Heavy Wind and Storm Strength	0.0007		24	Higher Education Ratio	0.0297
Geographical Vulnerability	9	Greenhouse Density	0.0153	Respond and Recovery Capability	25	Foreigner Ratio	0.0149
	10	Road Density	0.0272		26	Per Capita GDP	0.0379
	11	House Density	0.0028		27	Disaster Prevention Budget Ratio	0.0474
	12	School Facility Density	0.0008		28	Road Ratio	0.0285
	13	River Density	0.0587		29	Population per Policeman	0.0379
	14	Irrigation Facility Density	0.0173		30	Population per Fireman	0.0474
	15	Railroad Facility Density	0.0025		31	Population per Sickbed	0.0759
	16	Water Pipe Density	0.0038		32	Population per Shelter	0.0285

되도록 조정한 각 세부지표별 가중치는 <Table 9>에 정리되어 있다.

이와 같이 자연재해 위험지표에 대한 세부지표 별 중요도를 나타내는 가중치에 대한 결정을 마치고 나면, 세부지표 값을 종합화한 자연재해 위험지표를 구할 수 있다.  $w_i$ 를 세부지표  $i$ 의 가중치라 정의하면, 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 자연재해 위험지표 값  $NDRI_{jt}$ 는 다음과 같이 32개 세부지표들의 가중 합으로 계산할 수 있다.

$$NDRI_{jt} = \sum_{i=1}^{32} w_i x_{ijt} \quad (\text{식 } 3)$$

### III. 자연재해 위험지표 적용

#### 1. 자연재해 위험지표 평가

자연재해 위험지표의 평가를 위해 2001년부터 2014년까지를 대상으로 32개 세부지표의 평가를 위한 자료를 225개 기초자치단체별로 국민안전처, 통계청, 기상청, 지방자치단체 등 공공기관이 관리하고 있는 데이터베이스로부터 수집하였다. 이 자료들을 바탕으로 <Table 3>의 지표 계산식을 이용하여 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 세부지표  $i$ 값  $X_{ijt}$ 를 계산한 후, (식 1)과 (식 2)를 이용하여 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 표준화된 세부지표  $i$ 값  $x_{ijt}$ 를 계산한다. 이후, <Table 9>에 나타

나 있는 세부지표  $i$ 의 가중치  $w_i$ 와  $x_{ijt}$ 를 (식 3)에 대입함으로써 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 자연재해 위험지표 값  $NDRI_{jt}$ 를 계산한다.

2001년 ~ 2014년에 대한 위험지표 평균값이 가장 높았던 10개 기초자치단체, 그리고 가중치 결정을 위해 자료를 사용한 기간인 2001년 ~ 2007년에 대한 위험지표 평균값과 가중치 결정을 위해 자료를 사용하지 않았던 2008년 ~ 2014년에 대한 위험지표 평균값이 가장 높았던 10개 기초자치단체가 <Table 10>의 상단부에 나타나 있다. 또한 평균값이 가장 낮았던 10개 기초자치단체 역시 <Table 10>의 하단부에 나타나 있다. <Table 10>에서 위험지표 값이 크면 클수록 자연재해에 대한 위험 정도가 상대적으로 더 높음을 의미한다. 평가결과를 살펴보면, 전반적으로 농어촌 지역이 상위를 차지해 상대적으로 자연재해 위험정도가 높은 것으로 평가되었다. 반면, 대도시 지역은 하위를 차지해 상대적으로 자연재해 위험정도가 낮은 것으로 평가되었다.

<Table 10>과 같은 평가결과가 나온 원인을 분석하

기 위해, 2001년 ~ 2014년에 대한 위험지표 평균값이 가장 높았던 10개(1위 ~ 10위) 기초자치단체와 가장 낮았던 10개(216위 ~ 225위) 기초자치단체에 대해 재해 위험성, 지리적 취약성, 사회적 취약성, 대응 및 복구능력 영역의 평균값을 구해보았다. <Figure 3>에 나타나 있는 바와 같이, 위험지표 하위 기초자치단체들은 지리적 취약성이 높음(자연재해가 발생했을 때 피해대상이 될 수 있는 자산들이 많음)에도 불구하고, 재해 위험성과 사회적 취약성이 상대적으로 낮고, 대응 및 복구능력이 앞서 있어 더 낮은 위험지표 값을 갖게 되었음을 알 수 있다. 특히, 사회적 취약성 영역에서 도농 간의 차이가 심하게 발생하고 있음을 알 수 있다. <Figure 4>는 기초자치단체에 대한 위험지표 평가결과를 광역자치단체별로 종합화한 평균값을 보여주고 있다. 결과를 살펴보면, 농어촌 지역을 포함하고 있는 광역도가 광역시에 비해 자연재해에 대한 위험도가 더 높게 평가되고 있음을 알 수 있다.

Table 10. Evaluation results for the high and low rank 10 primary local governments

Rank	Average for Years 2001 ~ 2014		Average for Years 2001 ~ 2007		Average for Years 2008 ~ 2014		
	Primary Local Government	NDRI	Primary Local Government	NDRI	Primary Local Government	NDRI	
Risky ↑	1	Kyeongnam Sancheong	0.4358	Kyeongnam Sancheong	0.4391	Kyeongnam Sancheong	0.4361
	2	Kyeongnam Sinan	0.4185	Kyeongnam Sinan	0.4294	Kyeongnam Namyangju	0.4108
	3	Jeonnam Jindo	0.4074	Kyeongnam Namhae	0.4270	Kyeongnam Sinan	0.4088
	4	Jeonbuk Kimje	0.4066	Kyeongbuk Kyeongju	0.4260	Kyeongnam Boseong	0.4078
	5	Kyeongnam Namhae	0.4061	Kyeongbuk Uljin	0.4257	Kyeongnam Koheung	0.4045
	6	Jeonnam Koheung	0.4060	Jeonbuk Kimje	0.4232	Kyeongnam Jindo	0.4038
	7	Jeonnam Wando	0.4048	Kyeongnam Changnyeong	0.4220	Kyeongnam Haenam	0.4032
	8	Jeonnam Naju	0.4038	Kyeongnam Yeosu	0.4194	Kyeongnam Naju	0.4030
	9	Jeonnam Boseong	0.4034	Kyeongbuk Yeongdeok	0.4185	Kyeongnam Hapcheon	0.4012
	10	Kyeongnam Changnyeong	0.4017	Kyeongnam Jindo	0.4143	Kyeongnam Jangheung	0.4001
...	...	...	...	...	...	...	
Safe ↓	216	Seoul Jongro	0.2356	Seoul Seongbuk	0.2433	Busan Suyeong	0.2259
	217	Seoul Seongbuk	0.2324	Seoul Seodaemun	0.2334	Seoul Jongro	0.2249
	218	Seoul Kuro	0.2298	Seoul Kuro	0.2288	Seoul Nowon	0.2247
	219	Seoul Jungrang	0.2292	Seoul Jungrang	0.2282	Seoul Seongbuk	0.2213
	220	Seoul Keumcheon	0.2219	Seoul Kwangjin	0.2281	Seoul Keumcheon	0.2153
	221	Seoul Kwangjin	0.2194	Seoul Keumcheon	0.2274	Seoul Kwangjin	0.2106
	222	Seoul Jung	0.2106	Seoul Jung	0.2127	Seoul Jung	0.2072
	223	Seoul Yangcheon	0.1965	Seoul Dongjak	0.1992	Seoul Yangcheon	0.1921
	224	Seoul Dongjak	0.1956	Seoul Yangcheon	0.1987	Seoul Dongjak	0.1907
	225	Seoul Dongdaemun	0.1932	Seoul Dongdaemun	0.1976	Seoul Dongdaemun	0.1875

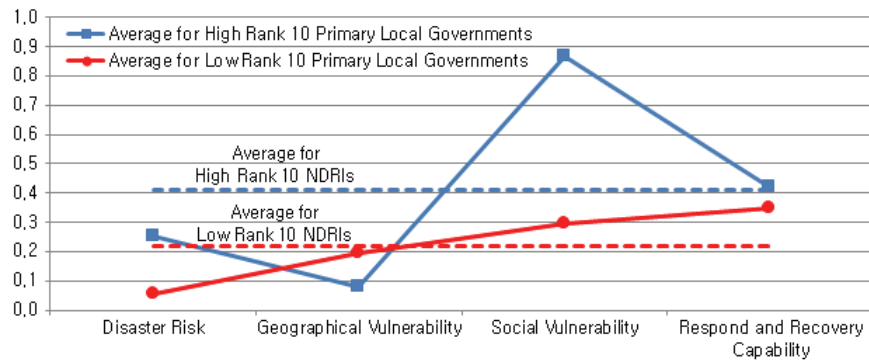


Figure 3. Evaluation results of individual areas for the high and low 10 primary local governments

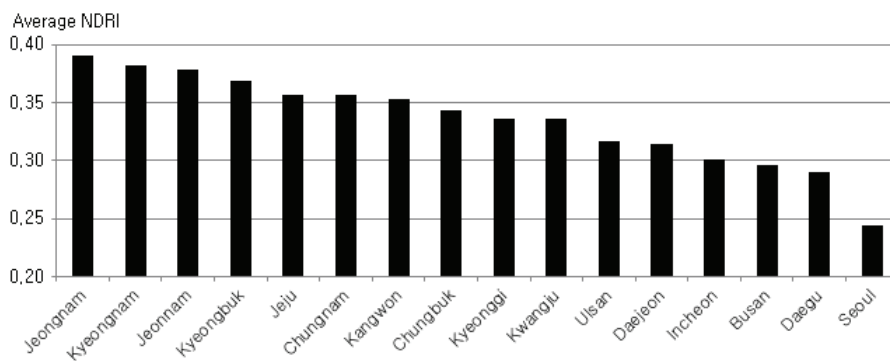


Figure 4. Evaluation results of regional local governments

2. 자연재해 위험지표 검증

본 연구에서 제안하고 있는 자연재해 위험지표의 활용가능성을 검증하기 위해 기초자치단체별로 위험지표와 실제 피해액에 대한 상관분석 및 유의성 검정을 수행하였다(Ministry of Public Safety and Security, 2015a). 수행한 검증과정의 정확한 서술을 위해 다음 기호를 먼저 정의한다.

$D_{jt}$  : 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 단위면적당 피해액

$d_{jt}$  : 연도  $t$ 에 대한 기초자치단체  $j$ 의 표준화된 피해액

$Min[\ln D_{jt}]$  : 모든  $j$ 와  $t$ 에 대한  $\ln D_{jt}$  중 최솟값

$Max[\ln D_{jt}]$  : 모든  $j$ 와  $t$ 에 대한  $\ln D_{jt}$  중 최댓값

본 연구에서는 단위면적당 피해액  $D_{jt}$ 의 비선형성을 제거하기 위해,  $D_{jt}$ 에 자연로그를 취한  $\ln D_{jt}$ 을 이용하여 표준화된 피해액을 산출하였다. 표준화된 피해

액  $d_{jt}$ 는 다음과 같이 정의되며 최솟값 0부터 최댓값 1을 가질 수 있다.

$$d_{jt} = (\ln D_{jt} - Min[\ln D_{jt}]) / (Max[\ln D_{jt}] - Min[\ln D_{jt}]) \quad (식 4)$$

(Figure 5)는 225개 기초자치단체에 대해 본 연구에서 확보한 자료의 전체 구간인 2001년부터 2014년까지의 위험지표에 대한 평균  $\overline{NDRI}_{j, 2001-2014}$ 와 14년 동안의 표준 피해액 평균  $\bar{d}_{j, 2001-2014}$ 와의 관계를 도식적으로 보여주고 있다. 위험지표와 피해액 평균 사이의 상관계수를 구해보면 0.7293으로 유의미한 상관관계가 존재함을 알 수 있다. 또한, 피해액을 종속변수로 위험지표를 독립변수로 설정한 1차 회귀모형에 대한 유의성 검정을 수행한 결과, F 분포 검정통계량 값이 253.4로 유의수준이 0.05인 경우 기각역이 되는 기준값 “ $F(1, 223; 0.05) = 3.84$ ”보다 크므로 두 변수 사이에 유의미한 상관관계가 존재한다고 할 수 있다. 즉, 위험

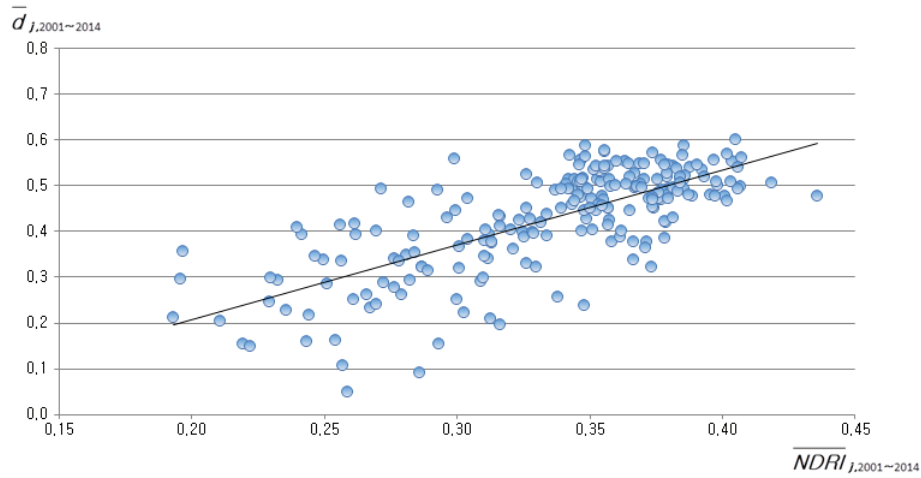


Figure 5. Relationship between NDRI and damage averages in years 2001 to 2014

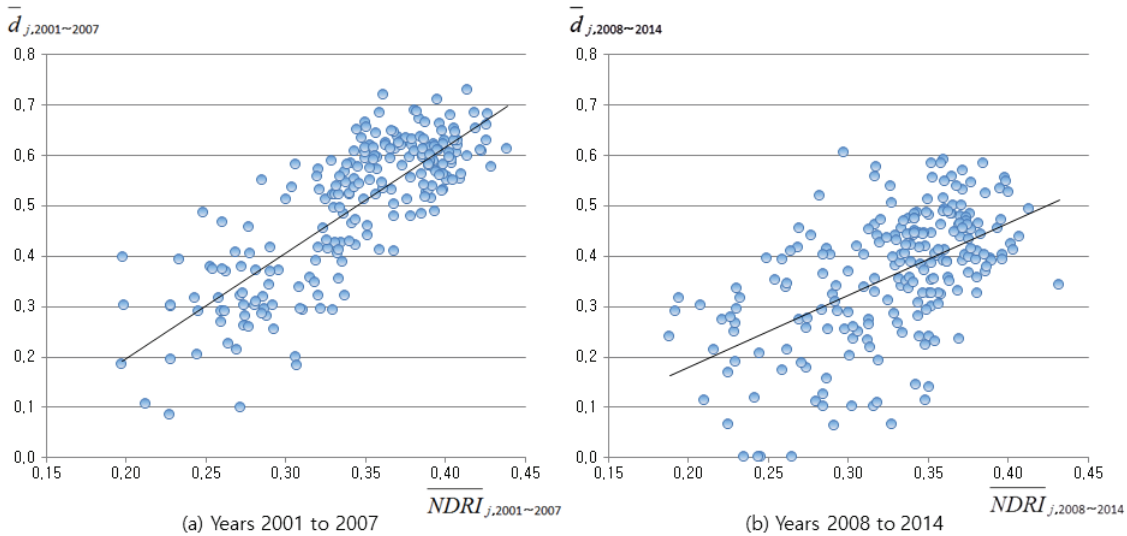


Figure 6. Relationship between NDRI and damage averages in years 2001 to 2007 and 2008 to 2014

지표와 피해액 사이에는 위험지표 값이 증가하면 피해액도 따라서 증가하는 상관관계가 존재하므로, 본 연구에서 제안하고 있는 자연재해 위험지표의 활용 가능성은 충분하다고 할 수 있을 것이다.

〈Figure 6〉의 (a)와 (b)는 각각 가중치 산정을 위해 사용된 2001년부터 2007년까지의 위험지표 평균  $\overline{NDRI}_{j,2001-2007}$  과 표준화된 피해액 평균  $\bar{d}_{j,2001-2007}$  과의 관계와 가중치 산정을 위해 사용되지 않았던 2008년부터 2014년까지의 위험지표 평균  $\overline{NDRI}_{j,2008-2014}$  와 표준화된 피해액 평균  $\bar{d}_{j,2008-2014}$  와의 관계를 도식적으로 보여주고 있다. 위험지표와 피해액 평균 사이의 상관계수를 구해보면 각각 0.8092와 0.5509로 가중치 산

정을 위해 자료가 사용된 기간의 위험지표가 자료가 사용되지 않은 기간의 위험지표에 비해 더 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 가중치 산정을 위해 자료가 사용되지 않았던 2008년부터 2014년까지 기간에 대해서도 비교적 유의미한 상관관계를 유지하고 있음을 알 수 있다. 또한, 1차 회귀모형에 대한 유의성 검정을 수행해보면, F 분포 검정통계량 값이 각각 422.9와 97.2로 모두 기준값 3.84보다 크므로 위험지표와 피해액 사이에 충분한 상관관계가 존재한다고 할 수 있다. 이 결과를 통해, 본 연구에서 제안한 위험지표 모형이 모형 수립에 자료가 사용되지 않았던 다른 기간에 대한 위험정도 예측에도 일정 정도 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

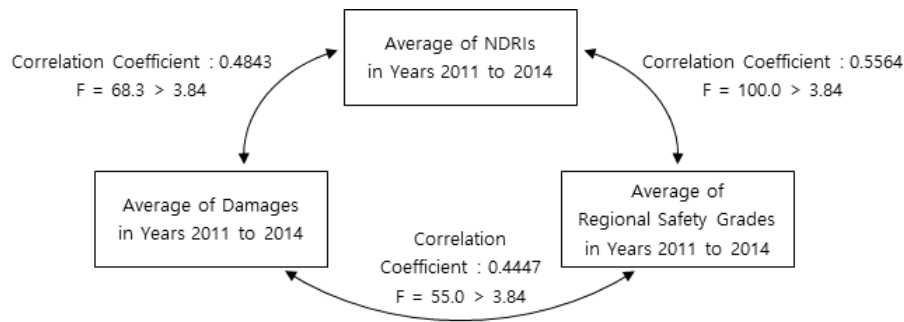


Figure 7. Relationships among NDRI, amounts of damages, and regional safety grades in years 2011 to 2014

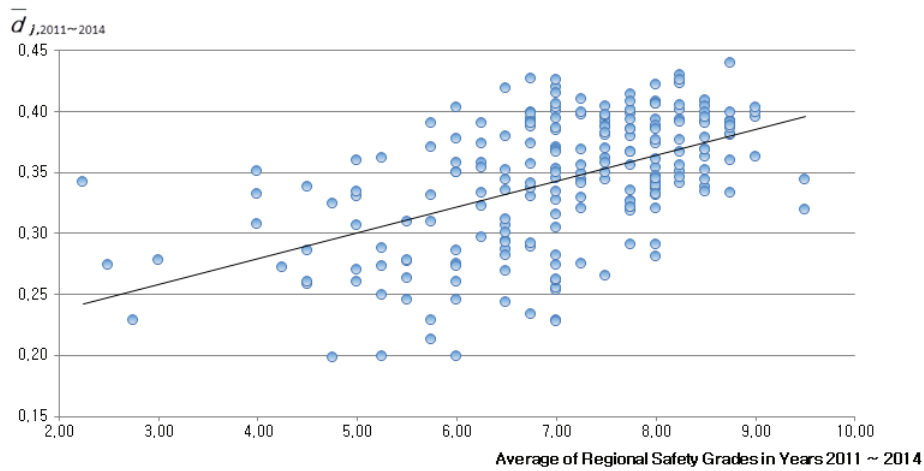


Figure 8. Relationship between NDRI and regional safety grades in years 2011 to 2014

현재 국내에서 자연재해 대한 위험정도를 정기적으로 평가하고 있는 지표는 국민안전처의 지역안전도가 유일하다. 본 연구에서 제안하고 있는 자연재해 위험지표의 활용가능성을 검증하기 위해, 지역안전도가 매년 정기적으로 평가되었던 지난 2011년부터 2014년까지의 자료를 확보하여 비교·분석을 수행하였다(Ministry of Public Safety and Security, 2015c). 비교·분석은 2011년부터 2014년까지의 자연재해 위험지표 평균  $\overline{NDRI}_{j,2011\sim 2014}$ , 실제 피해액 평균  $\overline{d}_{j,2011\sim 2014}$ , 지역안전도 등급 평균 상호에 대한 상관분석 및 유의성 검정을 통해 진행되었다. 분석결과는 <Figure 7>에 정리되어 있다. 유의수준 0.05 하에서 유의성 검정을 수행한 결과, 지역안전도와 자연재해 위험지표 모두 피해액과 유의미한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 지역안전도와 피해액과의 상관계수는 0.4447로 자연재해 위험지표와 피해액과의 상관계수 0.4843보다 크지 않

았다는 점에서 정량적인 자료를 이용해 단기간 내에 평가한 자연재해 위험지표가 최소한 상대적으로 많은 인력과 비용을 투입하여 수행한 지역안전도 평가만큼의 성능을 보이고 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 한편, 자연재해 위험지표와 지역안전도와의 상관분석 결과를 보면 상관계수가 0.5564로 충분한 비례관계가 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 자연재해 위험지표가 높은 지역은 지역안전도 등급도 높았다는 것을 의미한다. 이러한 비례관계는 <Figure 8>에서도 확인해볼 수 있다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 호우, 태풍, 대설, 강풍 및 풍랑 등 자연재해로 인한 위험정도를 평가할 수 있는 자연재해 위험지표를 제안하였다. 자연재해 위험지표는 재해 위험성, 지리적 취약성, 사회적 취약성, 대응 및 복구 능력

을 평가할 수 있는 32개 세부지표로 구성되었다. 이들 세부지표의 상대적 중요도를 산정하기 위해 기존 연구 사례에 대한 메타분석과 과거 재해로 인한 피해액 자료에 대한 통계적 분석이 수행되었다. 2001년부터 2014년까지에 대해 공공 데이터베이스를 통해 수집된 자료를 자연재해 위험지표 모형에 적용해 본 결과, 전반적으로 도시 지역에 비해 농어촌 지역의 위험도가 더 높은 것으로 평가되었다. 또한, 본 연구에서 제안하고 있는 위험지표의 활용 가능성을 검증하기 위해, 자연재해 위험지표와 자연재해로 인한 실제 피해액 그리고 국민안전처에서 평가한 지역안전도 등급과의 비교·분석을 수행하였다. 상관분석과 유의성 검정을 실시한 결과, 본 연구에서 제안하고 있는 자연재해 위험지표는 피해액과 지역안전도 등급과 유의미한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 그 성능에 있어서도 많은 비용과 시간을 들여 수행되고 있는 지역안전도 진단에 뒤떨어지지 않는 것으로 평가되었다.

본 연구에서 제안하고 있는 자연재해 위험지표는 기 구축된 공공기관 데이터베이스를 활용하여 낮은 비용과 적은 노력으로 기초자치단체에 대한 자연재해 위험 정도를 신속하고 객관적이며 정량적으로 평가할 수 있다. 정책입안자들은 본 위험지표를 활용하여 기초자치단체별 위험도를 평가하고, 이 결과를 바탕으로 방재예산을 우선적으로 투입해야할 지역을 선정할 수 있을 것이다. 즉, 본 위험지표를 효율적인 방재예산 배분을 위한 유용한 의사결정 도구로써 활용할 수 있을 것이다. 이러한 방재활동을 통해, 궁극적으로는 자연재해로 인한 위험을 최소화함으로써 국민들이 보다 안전한 삶을 영위하도록 담보할 수 있을 것이다.

향후 본 연구는 두 가지 방향으로 확장될 예정이다. 첫 번째 연구방향은 자연재해 위험지표 모형의 간결화 및 정교화다. 향후 32개 세부지표에 대한 보다 상세한 분석을 수행함으로써 내부적으로 상호 연관성이 있는 지표들을 통합하여 축약함으로써 세부지표의 개수를 줄일 수 있을 것이며, 각 세부지표별 가중치를 폭넓은 통계분석을 바탕으로 보다 정교하게 산정함으로써 모

형의 유지관리성 및 예측성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다. 두 번째 연구방향은 위험지표 모형의 시스템화이다. 본 연구를 수행함에 있어서 32개 세부지표와 관련된 자료를 서로 다른 공공기관 데이터베이스로부터 일일이 수작업을 통해 수집함으로써 막대한 시간과 노력이 소요되었다. 향후에는 국민안전처, 통계청, 기상청, 지방자치단체의 공공 데이터베이스와의 연동을 통해, 그리고 평가과정의 시스템화를 통해 실시간으로 위험지표가 계산되어 표출될 수 있는 정보시스템의 개발이 필요할 것이다. 이를 위해, 자연재해 위험지표 정보시스템에 대한 설계 및 구축과 관련된 향후 연구가 뒤를 이어야 할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2015R1D1A1A01059893)이며, 부분적으로 2015년도 충북대학교 학술연구지원사업의 교내연구비 지원에 의해 연구되었음.

## References

- Bündnis Entwicklung Hilft. 2012. *World Risk Report*. Bündnis Entwicklung Hilft.
- Carreno, M. L., O. D. Cardona, and A. H. Barbat. 2007. A Disaster Risk Management Performance Index. *Nat Hazards*. 41: 1-20.
- Choi, Hyun Il, Seung Yong Park, Jae Ha Song, and Moo Jong Park. 2013. Identification of Flood Risk Areas Using a Multi-criteria Decision Making Method. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 13(2): 237-243.
- Cutter, S. L., L. Barnes, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, and J. Webb. 2008. A Place-based Model for Understanding Community Resilience to Natural Disaster. *Global Environmental Change*. 18(4): 598-606.
- Cutter, S. L., B. J. Boruff, and W. L. Shirley. 2003. Social

- Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*. 84(2): 242-261.
- Davidson, R. and K. Lambert. 2001. Comparing the Hurricane Disaster Risk of U. S. Coastal Counties. *Natural Hazards Review*. 2(3): 132-142.
- Davidson, R. and H. C. Shah. 1997. *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*. The John A. Blume Earthquake Engineering Center.
- Disaster and Safety Management Basic Law. 2004. Amendment 2010.6.8. Law No. 13440.
- Esnard, A. M., A. Sapat, and D. Mitsova. 2011. An Index of Relative Displacement Risk to Hurricanes. *Nat Hazards*. 59(2): 833-859.
- Hwang, Jin Soo. and Young Ho Noh. 2011. Specifying Heavy Snow Areas for Road Transportation and Responding Strategies. *Korean Society of Hazard Mitigation*. 11(4): 98-105.
- Hwang, Sung Dong. 2014. *Introduction to Meta-analysis*. Hakjisa.
- Kim, Dae Kwan. 2001. *Study of Sustainable Tourism Development Indicators*. Korean Tourism Institute.
- Kim, Joon Sun. 2006a. *Development of the Indicator and Indices for the Sustainable Forest Management*. Ministry of Agriculture and Forestry.
- Kim, Jung Myeong. 2006b. *Construction of the Implementing and Monitoring System for Sustainable Forest Management*. Korea Forest Research Institute.
- Kim, Sang Ho, Shin Bum Hwang, A Ra Cho, and Jong Tae Lee. 2011. Development of Risk Index for Evaluation of River Risk. *Proceeding of the 2011 Korea Water Resources Association Conference*. 440-444.
- Kim, Young Kee. 2008. Development of Indicators for Evaluating the Web Credibility by Goodness-of-fit Analysis. *Journal of the Korean Society for Information Management*. 25(4): 185-204.
- Koo, You Seong, Sung Ho Lee, and Ju Chul Jung. 2013. Selecting and Assessing Vulnerable Zones of Snow Damage in Urban Areas - The Case of City of Busan. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 33(3): 1077-1086.
- Korea Development Institute. 2008. *General Guidelines for Pre-feasibility Study*. 5th (ed.). Korea Development Institute.
- Lee, Chang Soo. 2005. Assessment of Earthquake Disaster Risk in Seoul Metropolitan Area. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 5(4): 71-78.
- Lee, Chang Hee. 2006. *Development of the Regional Safety Assesment Model in Seoul: Focusing on Flood*. Seoul Development Institute.
- Ministry of Public Safety and Security. 2015a. *2014 Disaster Yearbook*. Ministry of Public Safety and Security.
- Ministry of Public Safety and Security. 2015b. *Policy Explanation Materials: Comprehensive Check-up Service on Sites, 2015 Regional Safety Diagnosis*. Ministry of Public Safety and Security.
- Ministry of Public Safety and Security. 2015c. *Regional Safety Diagnosis Results for Years 2011~2014*. Ministry of Public Safety and Security.
- National Emergency Management Administration. 2011. *2011 Regional Safety Diagnosis Manual*. National Emergency Management Administration.
- Oh, Yeong Cheon and Chae Gi Kwack. 2003. A Study on the Improvements of Management Evaluation Systems for Government Owned Enterprises. *Journal of Korean Society of Public Enterprise*. 15(1): 123-154.
- Peduzzi, P., H. Dao, C. Herold, and F. Mouton. 2009. Assessing Global Exposure and Vulnerability towards Natural Hazards: The Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 9: 1149-1159.
- Schmidt-Thomé, P. 2006. *Natural and Technological Hazards and Risks Affecting the Spatial Development of European Regions*. Geological Survey of Finland. ESPON.
- Shin, Dong Ik, Sung Hyeon Jeon, Hag Min Kim, and Tae Gong Lee. 2005. An ITA Maturity Model Development: Issues and Premises. *The Journal of Information Technology and Architecture*. 2(2): 39-54.
- Tsai, C. H. and C. W. Chen. 2011. The Establishment of a Rapid Natural Disaster Risk Assessment Model for the Tourism Industry. *Tourism Management*. 32: 158-171.
- UNDP. 2004. *A Global Report: Reducing Disaster Risk: a Challenge for Development*. United Nations Development Program. Disaster Risk Index DRI. Geneva.

Yeon, Ho Jae. 2015. Development of a Natural Disaster Risk Index in South Korea. Chungbuk National University. A master's thesis.

<http://sts.kma.go.kr> (National Climate Data Service System)

<http://typ.kma.go.kr> (National Typhoon Center)

<http://www.kma.go.kr> (Korea Meteorological Administration)

<http://www.kosis.kr> (Korean Statistical Information Center)

<http://www.safekorea.go.kr> (National Disaster Information Center)

*Korean References Translated from the English*

구유성, 이성호, 정주철. 2013. 도심의 설해취약지역 선정 및 위험도 평가에 관한 연구. 부산광역시 지형적 특성을 중심으로. 대한토목학회논문집. 33(3): 1077-1086.

국민안전처. 2015a. 2014 재해연보. 국민안전처.

국민안전처. 2015b. 정책설명자료: 직접 찾아가는 종합검진 서비스. 2015년 지역안전도 진단 실시. 국민안전처.

국민안전처. 2015c. 2011년~2014년 지역안전도 진단 현황. 국민안전처.

김대관. 2001. 지속가능한 관광개발 지표연구. 한국관광연구원.

김상호, 황신범, 조아라, 이종태. 2011. 하천 위험도 평가를 위한 위험지수의 개발. 한국수자원학회 2011년도 학술 발표대회. 440-444.

김영기. 2008. 지표적합도분석을 통한 웹사이트 신뢰성평가지표 개발에 관한 연구. 정보관리학회지. 25(4): 185-204.

김준순. 2006a. 지속가능한 산림경영을 위한 지표선정 및 지수

화 연구. 농림부.

김중명. 2006b. 지속가능한 산림경영 현지이행 및 모니터링 체계구축. 국립산림과학원.

소방방재청. 2011. 2011년 지역안전도 진단지침. 소방방재청.  
신동익, 전성현, 김학민, 이태공. 2005. 정보기술아키텍처 성숙도 모형개발의 주요 명제들에 대한 고찰. 정보기술아키텍처 연구. 2(2): 39-54.

연호재. 2015. 한국형 자연재해 위험지표 모형 개발. 충북대학교 대학원. 공학석사학위논문.

오연천, 광채기. 2003. 정부투자기관 경영 평가제도의 개선방안. 공기업논총. 15(1): 123-154.

이창수. 2005. 서울지역 지진 재해 위험도 평가. 한국방재학회 논문집. 5(4): 71-78.

이창희. 2006. 서울시 지역안전도 평가모형 개발연구: 홍수재해를 중심으로. 서울시정개발연구원.

재난 및 안전관리 기본법. 2004. 개정 2010.6.8. 법률 제13440호 최현일, 박승용, 송재하, 박무종. 2013. 다기준의사결정기법을 이용한 홍수위험지구 선정. 한국방재학회논문집. 13(2): 237-243.

한국개발연구원. 2008. 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판). 한국개발연구원.

황성동. 2014. 알기 쉬운 메타분석의 이해. 학지사.

황진수, 노용호. 2011. 도로교통 대설위험구간 지정 및 교통대응전략. 한국방재학회지. 11(4): 98-105.

Received: Feb. 16, 2016 / Revised: Mar. 18, 2016 / Accepted: Mar. 25, 2016

## 정량자료 기반의 한국형 자연재해 위험지표 모형

**국문초록** 본 연구에서는 공공기관에서 제공하고 있는 정량적 자료를 이용하여 자연재해로부터의 위험정도를 평가할 수 있는 자연재해 위험지표 모형을 개발하였다. 본 연구에서 제안하고 있는 위험지표는 재해 위험성, 지리적 취약성, 사회적 취약성 및 대응 및 복구능력 등 4대 영역을 대변할 수 있는 32개 세부지표들로 구성된다. 공공부문 데이터베이스로부터 평가에 필요한 정량적 자료를 획득한 후, 225개 기초자치단체에 대해 2001년부터 2014년까지의 위험지표를 평가하였다. 제안된 모형의 유효성을 평가하기 위해, 본 연구에서 도출된 자연재해 위험지표 평가결과, 국민안전처에서 전문가 집단을 활용하여 수행한 지역안전도 평가결과, 자연재해로 인한 실제 피해액을 비교·분석하였다. 분석 결과, 자연재해 위험지표 평가결과와 지역안전도 및 피해액이 유의미한 상관관계를 갖는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 제안하고 있는 자연재해 위험지표 모형을 활용한다면, 보다 저렴한 비용으로 신속하고 객관적인 자연재해 위험평가를 수행할 수 있을 것이다. 나아가, 방재관련 정책결정자는 본 위험지표 모형을 한정된 방재예산의 효율적 분배를 위한 유용한 의사결정도구로써 활용할 수 있을 것이다.

주제어 : 자연재해, 호우, 태풍, 대설, 강풍, 풍랑, 위험지표

**Profiles** **Ho Jae Yeon** : He is a researcher of Information Technology based Construction Management Laboratory in the Chungbuk National University. He received B.S. and M.S. from School of Civil Engineering at the Chungbuk National University. His research area includes Natural Disaster Risk Assessment and Economic Analysis for Rural Regeneration Technology (yhj-16@hanmail.net).

**Keun Chae Jeong** : He is a professor of School of Civil Engineering at the Chungbuk National University. He received B.S. in Industrial Engineering from the Korea University in 1991. He received M.S. and Ph.D. in Industrial Engineering from the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST). He was with Department of Management Information Systems at the Jeju National of University as a full-time lecturer during 2000-2001 and with LGCNS as a senior consultant during 1997-2000. His recent research area includes Disaster Economic Analysis, Decision Support Systems, Ubiquitous Construction, and Production Planning and Scheduling(kcjeong@cbnu.ac.kr).

**Tae Young Heo** : He received the B.S. degree in Statistics from the Chungbuk National University and the M.S. and Ph.D. degrees in Statistics from the North Carolina State University. Now he is associate professor in department of Information & Statistics, Chungbuk National University. His current research interests include spatial modeling, transportation and environmental statistics based on various spatial methodologies(theo@cbnu.ac.kr).