

Predicting Disaster Vulnerability in Gangwon Province Using the Disaster Risk Index Based on RCP 8.5 Climate Change Scenarios

Dae Ju Hwang^{1#}, Suk Ho Lee², Mun Mo Kim³, Byung Sik Kim²⁺

¹ Department of Tourism Development, Samcheok City Hall, 296 Jungang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do, Korea

² Department of Urban & Environmental Disaster Prevention School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Joogang-ro, Smacheok-si, Gangwon-do, Korea

³ Department of Civil Engineering, Shingu University, 377 Gwangmyeong-ro, Jungwon-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea

Abstract

There is a growing concern over climate change all over the world, particularly due to the impact of extraordinary climate. The IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) predicted that the annual average temperature of the earth would increase by 2.3°C in 2050 and by 4.8°C in 2100. It was also predicted that the annual average temperature in Korea would increase by 3.2°C in 2050 and by 6°C in 2100. This study aims to find out an effective measure against climate change that recently emerged as the global issue, through a disaster vulnerability analysis for flood, drought, intense heat, and heavy snow. The disaster vulnerability index was calculated separately for the present (2000) and the future (2020 and 2050). The results revealed that Yeongdong region and Wonju city were the most vulnerable in 2000. In addition, Sokcho, Gangneung, and Chuncheon cities were predicted to be the most vulnerable in 2020 and the central region of Gangwon would be the most vulnerable in 2050.

Key words: climate change, flood, drought, intense heat, heavy snow, disaster risk analysis

1. 서론

1. 연구 배경 및 목적

세계는 현재 지구 온도의 상승으로 폭염, 집중호우로 인한 홍수 등 자연재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인해 우리의 삶을 변화시키고 있으며 그 영향은 점차 커지고 있다. 자연재해 위험과 취약성 평가는 지역의 인구, 재정적, 시설, 인력, 자원 확보·계획 등 시

설위주의 통계를 근거로 평가하고 있지만 최근 취약성 평가 패러다임이 위험요소 뿐만 아니라 지역사회의 대비·회복능력을 포함한 평가방법으로 변화하고 있다.

기상 관련 자연재해는 극한 기상 사상의 강도와 발생 빈도에 의해 결정되어진다. 지구온난화로 인하여 극한 기상 사상의 강도와 발생 빈도가 증가하고 있으며, 이로 인해서 자연재해의 발생빈도와 피해도 증가하고 있다. 특히, 인구와 기반시설이 집중되어 있는 도시에서

The 1st author: Dae Ju Hwang, Tel. +82-33-570-6838, Fax. +82-33-570-6501, e-mail. hdj7720@korea.kr

+ Corresponding author: Byung Sik Kim, Tel. +82-33-570-6819, e-mail. hydrokbs@kangwon.ac.kr

자연재해가 점차 대형화, 다양화되는 추세이다. 국지성 집중호우에 의한 피해는 점차 대형화되고 있고, 가뭄, 폭염, 폭설 등 다양한 자연재해 발생이 일상화되고 있는 것이 현실이다. 최근 기후변화로 인한 이상기후는 이상홍수와 이상가뭄을 유발하게 되며 이로 인한 자연재해로 인해 교량, 도로, 댐, 건물 등과 같은 재해관련 사회간접자본(Infrastructure)의 붕괴 가능성이 높아져 국민의 생명과 재산피해가 발생할 수 있다. 그러므로 기후 변화 문제는 전략적 개발이라는 관점에서 접근해야 하며, 재난의 위협성을 평가하고 관리하는 정책을 포함시켜야 한다.

기후변화에 대한 대응은 완화(mitigation)와 적응(adaptation)으로 구분될 수 있다. 완화는 기후변화의 원인이 되는 온실가스의 배출을 감축하는 것이며, 적응은 현시점에서 나타나고 있거나 향후 미래에 나타날 수 있는 기후변화 영향에 대해 자연적, 인위적인 시스템의 조절을 통해 피해를 줄이고 유익한 기회로 활용하는 것이다. 하지만 현재의 온실가스 배출을 최소로 하여도 기 배출된 온실가스로 인한 기후변화의 영향은 피할 수 없으므로 현재세대와 미래세대가 직면하게 될 기후변화로 인한 악영향을 최소화하기 위해서는 적응이 필수적이다(IPCC, 2007).

우리나라에서는 기후변화에 따른 취약성을 파악하고자 정부 차원의 취약성 평가 방법론 개발 연구가 시작되었고(Han, *et. al.*, 2007; Yoo & Kim, 2008; Chae & Cho, 2011), 취약성 평가 도구인 CCGIS(GIS기반 기후변화 적응도구: Climate Change adaptation toolkit based on GIS)가 개발·배포되었다. CCGIS는 지자체의 세부계획 수립에 활용된 바가 있으며(Ministry of Environment, 2011), 현재는 국립환경과학원에서 발주한 기초지자체 시범사업 지원을 위한 기후변화 취약성 연구에 지원되고 있다. 기후변화 취약성의 시공간적인 분포는 기초지자체 단위 내에서도 편차를 보여, 지자체 단위 취약특성 파악은 지역성을 특징으로 하는 적응대책 수립에 있어 매우 중요하다고 할 수 있다(Ko & Kim, 2009). 현재까지 수행된 국가 혹은 광역지자체

수준의 평가는 기초지자체에서 실제로 활용하기에는 지역적 규모 및 행정규모에서 한계가 있다. 또한, 각 평가 결과가 단순하고 숫자로 나열되어 있어 정책수립자들이 부문별로 우선순위를 선정하는 데 어려움이 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해 기존의 SRES (Special Report on Scenarios)시나리오보다 불확실성이 적고, 보다 신뢰할 수 있는 국가표준시나리오인 RCP(Representative Concentration Pathway)시나리오로 기후변화 분석·전망 및 취약성을 평가하고 있다.

따라서 본 연구에서는 강원지방을 대상으로 자연재해의 홍수, 가뭄, 폭염, 폭설에 대해 국가표준 기후변화 시나리오인 RCP 8.5 기후변화 시나리오로 현재취약성과 미래취약성을 분석하였다. 미래취약성 분석은 단기 2020년대(2011년~2040년), 중기 2050년대(2041년~2070년)로 나누어 취약성을 분석·평가하였으며 그 결과를 토대로 기후변동에 따른 재해취약성 분석과 아울러 향후 도시계획에 따른 관리 요소를 도출·분류하여 재해발생에 따른 피해를 줄이고자 한다.

2. 연구동향

국내 기후변화 관련 취약성 평가 연구동향은 다음과 같다. Yoo & Kim(2008)은 사회적 취약성뿐 아니라 기후노출과 민감도 관련 자료를 종합하여 지표를 구성하고, Moss, *et. al.*(2001)이 사용한 취약성 지표 원형모형을 변형하여 우리나라 16개 시도를 대상으로 취약성을 평가하였다. Ko & Kim(2009)은 경기도 지역 31개 시·군을 대상으로 기초지자체의 특성을 고려한 취약성 평가지표의 구성요소를 도출하여 지역 간 상대적 취약성을 평가하였다. Kim & Kim(2012)은 전라도의 20여 개의 시·군의 기후변화 취약성 평가지표를 개발하여 취약성 유형을 분류하였으며, IPCC의 기후변화 취약성 개념을 이용하여 기후노출, 민감도, 적응능력의 세부지표를 정하였다. Kim(2010)은 강원도 지역을 대상으로 취약성 평가 모델인 취약성-탄력성 지표 원형모형을 사용하여 강원도 18개 시·군에 대한 VRI분석을 위해 대리변수 40개를 조사하였으며, 표준화 과정을

거친 취약성 분석결과를 3부문(민감도, 적응능력, 기후 노출) 12개 분야(인간정주/기반시설, 생태계, 농업, 보건/복지, 경제능력, 거버넌스, 인력자원·교육, 환경역량, 산업구조, 홍수, 가뭄, 홍수, 혹서)로 취약성을 평가하였다. Lee, *et. al.*(2013)은 기후변화 평가를 위해 국립환경과학원에서 제공하는 LCCGIS를 활용하였으며, 활용된 방법론은 기후모델과 대응변수를 이용한 Bottom-up 방식으로 대응변수를 표준화하여 취약성 지수를 산출하는 방법을 활용하였다.

국의 연구동향은 다음과 같다. 호주 정부의 기후변화 위험과 취약성 보고서(2005)는 부문별로 노출(기후변화가 시스템에 미치는 자극이나 영향과 관련), 민감도(기후변화 영향에 대한 반응성), 적응 능력(시스템이 변화하는 능력), 부정적 영향(adverse implications: 기후변화로 인한 손실 추정치, 잠재적 편익(적응 옵션을 도입했을 때) 등의 5개 취약성 기준에 따라 정성적으로 평가하였다. Blakely(2007)는 지역의 토지이용, 도시 개발 등 도시계획과 기후 변화를 통합하는 지침의 필요성을 강조하고 허리케인 카트리나의 사례를 기준으로 홍수, 해수면 상승, 열파, 폭풍 등의 항목을 선정하고, 분야별 매트릭스에 의한 위험성 평가를 수행하였다. Cutter, *et. al.*(2000)은 노스캐롤라이나 조지타운을 대상으로 GIS를 활용하여 취약성을 평가하였다.

3. 연구방법

본 연구에서는 최근 지구적인 문제로 대두되어 온 기후변화 대해 재해취약성 분석을 통하여 효과적인 대응 방안을 모색하고자 하였다. 대상지역으로는 강원도지역을 선정하였다. 강원도지역은 영동지역과 영서지역으로 구분되는데, 과거 기후이력을 살펴보면 영동지역과 영서지역의 기후가 매우 상이한 것을 확인하여 미래 재해취약성 분석에 적합한 지역이라 판단하였기에 연구대상 지역으로 선정하였다. 강원도 지역을 대상으로 기후변화 영향에 의해 대형화되는 자연재해인 가뭄, 홍

수, 폭염, 폭설 피해에 대한 기반시설 취약성을 고해상도 공간자료를 이용하여 평가를 실시하였다. 취약성, 민감도, 적응능력의 3가지 기준을 설정하고, 적합한 평가 지표를 선정한 뒤 GIS를 이용하여 지표별 공간자료를 구축하였다. 이후 현재와 미래 취약성 상세지도를 도출한 뒤 지역별로 취약성 순위를 선정하였다. 현재의 기후변화 취약 정도에 따라 구간을 나눈 뒤 미래의 취약성 증감 정도를 반영하여 유형별로 우선순위를 등급화하였다. 유형별 재해취약성 지표선정 및 평가흐름도는 <Figure 1>과 같다. 또한, 분석에서 사용한 재해취약성 유형은 <Table 1>과 같다.

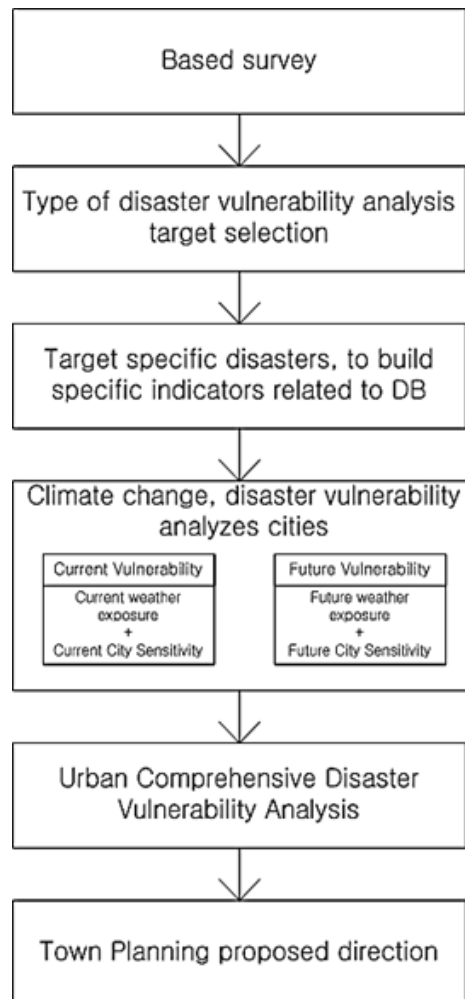


Figure 1. Disaster vulnerability analysis process

Table 1. Disaster vulnerability index

Type	Division	Indicator name	Source
Flood	Risk	Daily amount of precipitation days more than 80 mm	Meteorological Administration
		Daily maximum precipitation (mm)	Meteorological Administration
		5 days duration of precipitation (mm)	Meteorological Administration
	Vulnerability	Low-lying areas less than 10 m (generation)	Korea National University of Education
		Population under 13 years of age (persons)	Korean Statistical Information Service
		Population over 65 (persons)	Korean Statistical Information Service
		Basic livelihood ratio (%)	Statistical Yearbook of Social Welfare
		Road area ratio (%)	National Geographic Information Institute
		- Percentage of elderly living alone total population (%)	Korean Statistical Information Service
		- Population density (persons / km ²)	Korean Statistical Information Service
		- Area average slope (deg)	Ministry of Environment
	- Total population (persons)	Korean Statistical Information Service	
	Adaptability	- Number of civil servants per population (persons / 10,000)	Korean Statistical Information Service
		- Number of emergency medical institutions per population (pcs / million)	Ministry of Health and Welfare Statistical Year Book
		- Financial independence (%)	National Statistical Office
- Levee area ratio (‰)		National Geographic Information Institute	
- Gross regional domestic product (GRDP)		Korean Statistical Information Service	
Drought	Risk	- Maximum number of consecutive rainless days	Meteorological Administration
		- Day maximum temperature	Meteorological Administration
		- Number of days when the maximum daily temperature is over 33 °C	Meteorological Administration
		- Days The number of days when the minimum temperature exceeds 25 °C	Meteorological Administration
	Vulnerability	- Farm population	User Climatic Factor
		- Crop area	Korean Statistical Information Service
		- Crop yield	User Climatic Factor
	Adaptability	- Industrial water supply	User Climatic Factor
		- Agricultural water supply	User Climatic Factor
		- Domestic water supply	User Climatic Factor
- Water supply ratio	Korean Statistical Information Service, Ministry of Environment		
Heat wave	Risk	- Daily maximum temperature	Meteorological Administration
		- Number of days when the maximum daily temperature is over 33 °C	Meteorological Administration
		- Days The number of days when the minimum temperature exceeds 25 °C	Meteorological Administration
	Vulnerability	- Population under 13 years of age (persons)	Korean Statistical Information Service
		- Population over 65 (persons)	Korean Statistical Information Service
		- Percentage of elderly living alone total population (%)	Korean Statistical Information Service
		- Population density (persons / km ²)	Korean Statistical Information Service
Adaptability	- Number of Emergency Medical Institutions per Population (Number / Million)	Ministry of Health and Welfare Statistical Year Book	
Heavy snow	Risk	- Days The number of days when the minimum temperature is below zero	Meteorological Administration
		- Snowfall	Meteorological Administration
	Vulnerability	- Population under 13 years of age (persons)	Korean Statistical Information Service
		- Population over 65 (persons)	Korean Statistical Information Service
		- Percentage of elderly living alone total population (%)	Korean Statistical Information Service
		- Population density (persons / km ²)	Korean Statistical Information Service
	Adaptability	- Number of civil servants per population (persons / 10,000)	Korean Statistical Information Service
- Financial independence (%)	National Statistical Office		

II. 이론적 배경

1. 기후변화시나리오

본 논문에서는 IPCC 5차 보고서에서 사용된 RCP 기후변화시나리오를 이용하여 분석을 실시하였다. 대표농도경로(Representative Concentration Pathway)로 명명된 RCP는 IPCC 5차 보고서를 위한 새로운 온실가스 배출 시나리오를 이용하였다. 새로운 온실가스 배출 시나리오는 시간에 의한 변화를 고려하기 위하여 '경로(Pathway)'라는 의미와 복사강제력과 배출 특성을 가지고 있는 여러 가지 시나리오 가운데 대표적인 시나리오라는 측면에서 '대표(Representative)'라는 의미를 포함하고 있다. RCP 8.5는 2100년에 복사강제력이 8.5 W/m²를 초과하는 고농도 시나리오이고, RCP 6.0 시나리오는 2100년까지 복사강제력이 6.0 W/m²까지 증가하고, 2100년 이후 안정화되는 중간 단계 농도 시나리오로서 SRES A1B의 시나리오의 복사강제력 값과 매우 유사하다. RCP 4.5는 2100년까지 복사강제력이 약 4.5 W/m²까지 증가하다가 이후 그 상태의 복사강제력을 유지하는 저농도 시나리오로서 SRES B1의 복사강제력 값보다는 약간 크다. RCP 시나리오에서 2005년의 CO₂ 농도는 379 ppm을 기준으로 설정되어 있으며 2100년의 각 시나리오별 CO₂ 농도는 RCP 8.5는 936 ppm, RCP 6.0은 670 ppm, RCP 4.5는 538 ppm이다. 이는 현재(2005년)의 CO₂ 농도에 비해 2100년에 각각 약 2.5배, 약 1.8배, 약 1.4배, 약 1.1배가 됨을 의미한다.

2. 정책지표의 개념

지표와 지수, 통계 등의 용어는 일반적으로 여러 상황에 혼용되어 사용되고 있고, 때로는 같은 의미로 사용되는 경우도 있다. 그러나 일반적으로 다음과 같이

구분한다. 지수(Index)란 방대한 양의 데이터를 숫자 또는 간단한 단어로 쉽게 표현하여 의사결정자나 일반 대중의 이해를 돕도록 만든 것을 말한다. 이에 대해 지표는 개별 요소의 상태를 나타내는 과학적인 단순 측정치, 또는 특정 생물종을 말한다. 지수, 지표, 통계, 자료는 <Figure 2>와 같이 계층적 구조로 구성되어 있다.

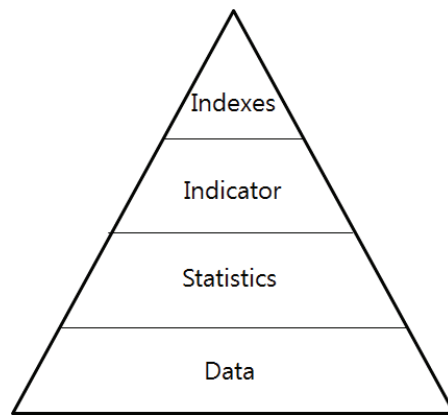


Figure 2. Data triangle

유럽환경청(European Environmental Agency: EEA)에서는 지표는 복잡한 현상을 단순하게 보여주고 소통하기 위해서 사용될 수 있는 척도이며, 일반적으로 정량적으로 나타내며, 시간에 따른 경향과 진전을 보여준다. 지표는 더 중요한 문제에 대한 실마리를 제공하며, 바로 포착되지 않는 경향이나 추이를 인식할 수 있게 해준다. 지표는 합리적인 확실성의 정도로 어떤 일을 알려주는 표시(sign), 혹은 징후(symptom)이다. 지표는 밝혀내고, 증빙하며, 실제로 측정된 것을 넘어서 더 큰 관심의 대상까지 그 중요성을 확장한다. 넓은 의미에서의 지표는 지수를 포괄하는 개념으로, 추상적인 현상이나 개념을 일정한 속성을 가진 변수로 변환하고 이를 다시 측정·평가할 수 있는 수단으로 전환한 것을 의미한다(Choi, *et. al.*, 2009).

Table 2. Comparison of climate change scenarios

Types of Scenarios	Radiative forcing	Concentration	Path type	Comparison with SRES
RCP 8.5	>8.5 W/m ² in 2100	>1370 CO ₂ -eq in 2100	Increase	A2~A1F1
RCP 6.0	~6 W/m ² (2100)	~850 CO ₂ -eq (Stabilized after 2100)	Stability	A1B
RCP 4.5	~4.5 W/m ² (2100)	~650 CO ₂ -eq (Stabilized after 2100)	Stability	B1

III. 적용 및 결과

1. 현재 기후변화 취약성 평가

재해취약성 분석을 위해서는 먼저 분석의 공간적 범위를 정할 필요가 있다. 국토연구원 자료에 의하면 강우, 기온, 인구 등 분석에 필요한 대부분의 자료는 집계구 단위(census outout area)로 구분되며 인구 500명을 기준으로 주변도로, 하천, 철도, 산능선 등과 같이 항구적인 지형지물을 이용한 공간단위 구역으로 보통 읍·면·동의 1/23정도의 크기이다. 각 지역의 집계구 정보는 통계지리정보시스템에서 제공한다(Statistical

Geographic Information Service). 그러나 본 연구는 강원도 내 각 지자체 단위로 집계구를 정하였으므로 하나의 시·군이 집계구가 된다. 현재 재해취약성 분석은 전 절에서 언급한 폭우, 폭염, 가뭄, 폭설 등의 지표와 도시민감도 지표를 기반으로 수행하고 미래 취약성 분석은 기후변동에 따른 자료를 이용하여 행하였다. 미래 취약성인 경우는 현재(2000년), 단기(2020년), 중기(2050년)의 3개 단계로 구분하여 분석하였다.

1) 기후노출대용변수

기후노출대용변수는 기후변화에 따른 위험성을 나

Table 3. Climate exposure substitution variables

Administrative district	Day maximum precipitation			5-day cycle maximum precipitation			Number of days of precipitation over 80mm			Daily maximum temperature (°C)		
	2000	2020	2050	2000	2020	2050	2000	2020	2050	2000	2020	2050
Chuncheon	81.7	132.6	118.8	172.4	269.1	239.0	0.8	2.2	2.1	14.2	14.9	16.6
Wonju	103.8	106.6	121.8	212.7	253.1	258.3	0.9	1.9	2.0	14.5	15.3	16.9
Gangneung	108.7	113.8	113.7	181.0	217.1	235.9	1.0	2.0	2.4	12.4	13.5	15.4
donghae	106.0	134.2	126.8	177.0	226.5	236.2	1.2	2.0	1.7	13.4	14.5	16.4
Taebaek	85.5	180.7	111.4	128.9	268.5	193.2	0.7	1.0	1.0	10.9	12.0	13.7
Sokcho	100.4	146.9	162.8	186.0	276.2	263.7	1.2	2.8	2.6	12.5	13.6	15.5
Samcheok	97.6	130.6	118.8	156.0	215.7	226.2	1.0	1.7	1.3	12.7	13.8	15.7
Hongcheon	87.6	119.6	143.0	173.7	255.5	251.4	0.6	1.9	2.2	13.1	13.9	15.6
Hoengseong	99.9	99.4	113.6	197.5	247.3	226.9	1.1	1.8	2.1	13.7	14.5	16.2
Yeongwol	97.5	117.4	96.2	174.6	234.9	212.5	0.8	1.4	1.2	13.2	14.1	15.7
Pyeongchang	95.6	96.0	111.5	159.3	211.5	213.4	0.8	0.9	1.9	11.5	12.5	14.2
Jeongseon	90.9	107.2	79.8	143.5	199.9	161.6	0.5	0.7	0.8	11.7	12.6	14.4
Cheorwon	88.0	128.3	115.5	173.6	260.0	242.3	0.9	1.8	2.6	13.6	14.4	16.1
Hwacheon	81.8	126.5	141.9	156.0	242.2	268.0	0.7	1.8	2.1	13.0	13.8	15.5
Yanggu	74.1	128.5	93.5	152.7	248.8	189.0	0.3	1.8	1.1	12.6	13.4	15.1
Inje	75.4	128.3	124.4	136.8	243.8	216.6	0.4	1.8	1.7	11.4	12.3	14.1
Goseong	100.2	147.1	144.4	185.6	269.2	247.5	1.4	2.5	2.7	12.2	13.3	15.2
Yangyang	102.3	147.5	144.7	175.7	264.1	259.1	1.0	2.0	2.7	12.1	13.3	15.1

Administrative district	Days The number of days when the maximum temperature exceeds 33 °C (times)			Days The number of days when the minimum temperature exceeds 25 °C (times)			Maximum number of successive rainless days (times)			Days Lowest Temperature The number of day (time)			Snowfall (cm)		
	2000	2020	2050	2000	2020	2050	2000	2020	2050	2000	2020	2050	2000	2020	2050
Chuncheon	0.4	1.8	8.4	-	1.1	12.6	6.5	4.7	4.8	128.5	121.8	108.0	0.2	0.2	0.1
Wonju	0.3	1.3	7.1	-	0.5	10.5	6.8	4.7	4.7	123.9	117.4	102.7	0.1	0.1	0.0
Gangneung	-	0.3	2.7	-	-	5.3	4.2	4.0	3.9	119.4	105.9	89.3	2.3	1.4	0.4
donghae	0.9	2.0	8.9	0.2	0.2	8.2	4.7	4.5	4.3	118.0	107.0	90.3	1.4	0.8	0.2
Taebaek	-	-	0.7	-	-	0.4	5.3	4.1	4.1	142.2	132.3	119.0	0.7	0.6	0.2
Sokcho	0.7	1.1	6.4	0.2	0.2	6.4	5.2	4.6	4.8	125.1	114.2	100.4	2.7	1.7	0.5
Samcheok	-	0.4	4.0	-	-	3.8	4.3	3.8	3.7	121.5	110.1	93.2	1.2	0.9	0.2
Hongcheon	0.1	0.9	3.9	-	-	2.2	4.8	4.2	4.4	132.7	125.9	112.5	0.4	0.4	0.2
Hoengseong	0.1	1.0	5.2	-	-	5.1	6.1	4.9	4.7	128.7	122.4	108.4	0.2	0.2	0.1
Yeongwol	-	-	2.8	-	-	1.1	4.6	3.8	3.4	135.3	128.1	113.4	0.2	0.2	0.1
Pyeongchang	-	-	0.8	-	-	0.3	4.3	3.7	3.6	143.2	135.5	122.3	0.8	0.6	0.2
Jeongseon	-	-	1.3	-	-	0.3	4.7	3.6	3.4	141.2	133.0	119.8	0.6	0.6	0.2
Cheorwon	0.1	1.6	6.5	-	0.2	5.8	7.3	5.7	6.2	131.5	125.2	112.9	0.2	0.2	0.1
Hwacheon	0.1	0.9	3.9	-	0.2	4.1	6.8	5.2	5.5	134.8	127.7	114.8	0.3	0.2	0.1
Yanggu	0.1	0.7	3.4	-	0.1	2.1	6.5	5.7	5.5	135.5	128.5	115.3	0.3	0.3	0.2
Inje	-	0.2	2.3	-	-	1.0	4.8	4.2	4.4	137.5	129.3	116.3	1.0	0.8	0.4
Goseong	0.3	0.1	3.0	0.1	0.3	6.6	4.3	4.5	4.2	121.0	108.1	93.8	2.8	1.3	0.6
Yangyang	0.4	0.4	3.5	-	-	4.7	4.5	3.9	4.4	123.2	111.3	96.1	2.4	1.4	0.4

타내는 지수이다. RCP 8.5 기후변화시나리오를 활용하여 일최대강수량, 5일 주기 최대강수량, 일강수량이 80mm 이상인 날의 횟수, 일최고기온, 일최고기온이 33°C 이상인 날의 횟수, 일최저기온이 25°C 이상인 날의 횟수, 연속적인 무강우일수의 최대값, 일최고기온이 33°C 이상인 날의 횟수, 일최저기온이 25°C 이상인 날의 횟수, 일최저기온이 영하인 날의 횟수, 적설량 자료를 이용하여 분석에 사용하였다. <Table 3>은 기후노출대용변수들의 값을 나타내었다.

2) 기후변화민감도대용변수
기후변화민감도대용변수는 기후변화에 의해 영향을 받는 인자이다. 국가통계포털, 사회복지통계연보, 국가지리정보원, 환경부의 자료를 이용하여 10m 이하 저지대 가구, 13세 이하 인구, 65세 이상 인구, 기초생활수급자 비율, 도로면적비율, 독거노인비율, 인구밀도, 지역평균경사도, 총인구, 농가인구, 농작물경지면적, 작물생산량의 자료들을 조사하여 분석에 이용되었다. <Table 4>는 기후변화민감도대용변수들의 값을 나타내었다.

Table 4. Substitute variable of climate change sensitivity

Administrative district	10m or less low-lying furniture (household)	Population under 13 (persons)	Population over 65 (persons)	Basic Livelihood Ratio (%)	Percentage of elderly living alone (%)	Total population (persons)	Road Area Ratio (%)	Area Average Slope (deg)	Population density (Persons / km ²)	Cultivated land area (ha)	Household population (persons)	Crop production (ton)
Chuncheon	-	47,500	27,900	4	2	260,000	2	18	233	7,062	18,713	19,408
Wonju	-	57,700	28,200	4	2	284,000	2	16	327	9,030	23,952	29,139
Gangneung	12,003	39,500	25,800	4	2	221,000	2	18	213	7,928	19,735	48,227
donghae	934	18,300	10,300	4	2	93,000	3	18	516	1,006	5,756	3,792
Taebaek	-	8,910	6,120	4	2	55,200	1	22	182	1,011	1,651	563
Sokcho	2,856	17,200	8,660	4	2	84,700	3	19	804	611	2,533	1,765
Samcheok	1,194	11,000	11,200	4	2	68,000	1	23	57	4,676	10,623	13,436
Hongcheon	-	11,600	11,800	4	2	66,600	1	20	37	12,335	18,979	38,997
Hoengseong	-	6,000	8,250	4	2	38,700	2	18	39	10,075	14,889	36,629
Yeongwol	-	5,810	7,730	4	2	37,000	1	22	33	6,639	8,929	3,348
Pyeongchang	-	6,320	7,200	4	2	38,500	1	20	26	9,621	12,176	63,117
Jeongseon	-	5,790	6,630	4	2	41,000	1	23	34	7,301	8,268	12,403
Cheorwon	-	8,510	6,470	4	2	43,500	1	15	48	13,553	12,476	11,233
Hwacheon	-	4,490	3,720	4	2	21,700	1	21	24	3,285	5,489	8,822
Yanggu	-	3,760	3,070	4	2	19,400	1	21	28	5,076	5,978	17,510
Inje	-	6,090	4,500	4	2	30,400	1	23	18	4,387	7,653	8,822
Goseong	2,083	4,400	5,290	4	2	29,000	1	17	44	4,142	6,281	18,692
Yangyang	2,129	4,190	5,150	4	2	29,500	2	20	47	3,434	7,841	2,780

Table 5. Substitute variable of ability to adapt

Administrative district	Regional GDP (GRDP)	Per capita number of medical institutins (Unit/Million people)	Financial independence (%)	Embankment area ratio (%)	Civil servants per capita(Person/Ten thousand people)	Household water supply	Industrial water supply	Agricultural water supply	Water penetration (%)
Chuncheon	27,583,480	18	31	1	85	47,275	6,671	66,383	88
Wonju	27,583,480	18	33	2	85	77,521	3,556	102,750	88
Gangneung	27,583,480	18	26	1	85	37,381	2,622	89,900	88
donghae	27,583,480	18	21	2	85	18,646	11,289	9,888	88
Taebaek	27,583,480	18	27	0	85	15,953	378	7,748	88
Sokcho	27,583,480	18	26	1	85	6,736	325	40,277	88
Samcheok	27,583,480	18	15	1	85	16,516	2,974	42,414	88
Hongcheon	27,583,480	18	16	1	85	14,963	7,359	120,492	88
Hoengseong	27,583,480	18	13	1	85	12,432	4,571	97,711	88
Yeongwol	27,583,480	18	12	1	85	8,378	426	50,667	88
Pyeongchang	27,583,480	18	16	0	85	10,819	2,373	68,542	88
Jeongseon	27,583,480	18	21	1	85	12,811	302	51,864	88
Cheorwon	27,583,480	18	12	1	85	11,336	339	169,170	88
Hwacheon	27,583,480	18	13	0	85	6,937	453	30,106	88
Yanggu	27,583,480	18	18	1	85	6,092	1,113	47,659	88
Inje	27,583,480	18	13	1	85	12,330	88	37,985	88
Goseong	27,583,480	18	14	1	85	8,931	1,219	57,468	88
Yangyang	27,583,480	18	17	2	85	6,736	325	40,277	88

3) 적응능력대용변수

적응능력대용변수는 보건복지통계연보, 국가통계포털, 사회복지통계연보, 국가지리정보원, 환경부의 자료를 이용하여 인구당 공무원 수, 인구당 응급의료기관 수, 재정자립도, 제방면적비율, 지역 내 총생산, 공업용수 공급량, 농업용수 공급량, 생활용수 공급량, 상수도 보급율의 자료들을 조사하여 분석에 이용하였다. <Table 5>는 기후변화민감도대용변수들의 값을 나타낸 것이다.

2. 재해위험지수 산정

앞서 언급한 기후노출대용변수, 기후변화 민감도 대용변수, 적응능력대용변수를 이용하여 홍수, 가뭄, 폭염, 폭설에 대한 취약성 평가를 수행하였다. 위험성평가 방법으로는 식 (1)과 같이 각각 대용변수에 가중치를 설정하여 표준화를 시켰으며, 표준화된 3개의 지수를 이용하여 재해위험지수를 산정하였다.

$$DRI = \frac{(Ce \times A) + (Se \times B) - (Aa \times C)}{A + B + C} \quad \text{식 (1)}$$

여기서 DRI는 재해위험지수(Disaster Risk Index), Ce는 기후노출(Climate exposure), Se는 민감도(Sensitivity), Aa는 적응능력(Ability to adapt)이며 A, B, C는 각 항목의 가중치이다.

1) 홍수

앞서 언급한 기후노출대용변수, 기후변화 민감도 대용변수, 적응능력대용변수를 이용하여 홍수 취약성 평가를 수행하였다. 홍수위험성 평가 항목 가중치는 기후노출대용변수 2, 민감도대용변수 1.2, 적응능력대용변수 0.8로 설정하여 표준화하였다. 분석결과 2000년에는 전반적으로 영동지역이 위험한 것으로 분석되었으며, 원주시와 횡성군도 위험성이 크게 분석되었다. 2020년대에는 영동지역과 강원도 북부지역이 위험성이 가장 큰 것으로 분석되었으며, 평창군과 정선군은 위험성이 낮은 것으로 분석되었다. 2050년대에는 강원도 영동지역과 강원도 중부지역이 위험성이 가장 큰 것으로 분석되었다.

2) 가뭄

앞서 언급한 기후노출대용변수, 기후변화 민감도 대용변수, 적응능력대용변수를 이용하여 가뭄 취약성 평

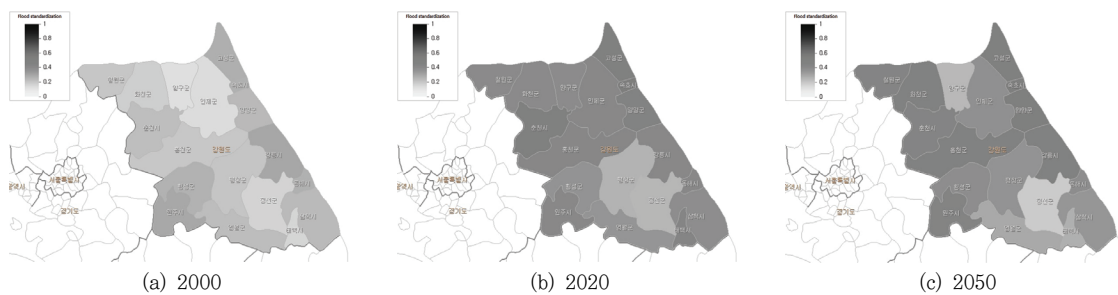


Figure 3. Result of vulnerability analysis(Flood)

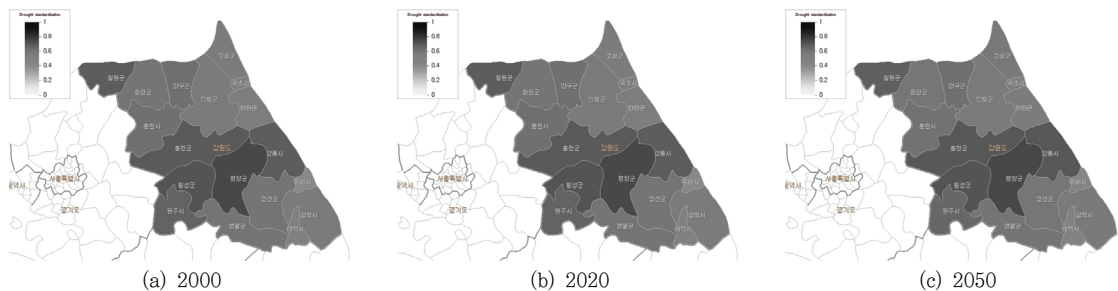


Figure 4. Result of vulnerability analysis(Drought)

가를 수행하였다. 가뭄위험성 평가 항목 가중치는 기후 노출대용변수, 민감도대용변수, 적응능력대용변수 모두 1로 설정하여 표준화하였다. 분석결과 2000년에는 전반적으로 영동지역이 위험한 것으로 분석되었으며, 원주시와 횡성군도 위험성이 크게 분석되었다. 2020년대와 2050년대도 마찬가지로 중부지역과 철원군이 가뭄위험성이 가장 큰 것으로 분석되었다.

3) 폭염

앞서 언급한 기후노출대용변수, 기후변화 민감도 대용변수, 적응능력대용변수를 이용하여 가뭄 취약성 평가를 수행하였다. 폭염위험성 평가 항목 가중치는 기후 노출대용변수, 민감도대용변수, 적응능력대용변수 모두 1로 설정하여 표준화하였다. 분석결과 2000년에는 춘천시, 강릉시, 원주시가 가장 위험한 것으로 분석되

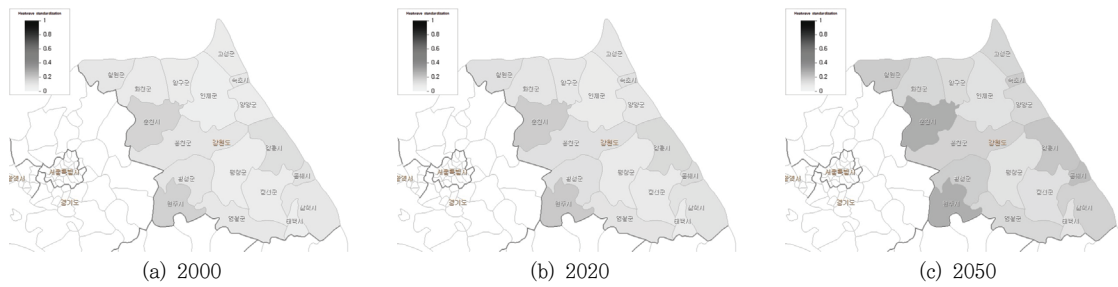


Figure 5. Result of vulnerability analysis(Heat wave)

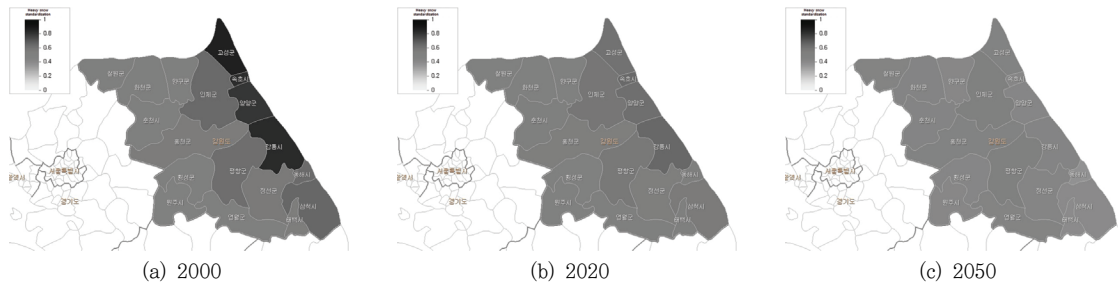


Figure 6. Result of vulnerability analysis(Heavy snow)

Table 6. Result of disaster risk index

Administrative district	Flood			Drought			Heat wave			Heavy snow		
	2000	2020	2050	2000	2020	2050	2000	2020	2050	2000	2020	2050
Chuncheon	0.23	0.49	0.44	0.62	0.61	0.69	0.17	0.19	0.28	0.52	0.51	0.44
Wonju	0.30	0.41	0.44	0.67	0.65	0.72	0.18	0.20	0.28	0.49	0.48	0.42
Gangneung	0.30	0.41	0.46	0.69	0.70	0.75	0.13	0.15	0.20	0.84	0.65	0.44
donghae	0.27	0.41	0.39	0.41	0.43	0.50	0.11	0.14	0.23	0.64	0.52	0.37
Taebaek	0.16	0.43	0.27	0.47	0.46	0.49	0.06	0.07	0.11	0.55	0.50	0.40
Sokcho	0.27	0.53	0.53	0.49	0.50	0.56	0.10	0.12	0.19	0.82	0.64	0.42
Samcheok	0.24	0.39	0.35	0.57	0.57	0.62	0.09	0.11	0.17	0.65	0.56	0.40
Hongcheon	0.20	0.42	0.47	0.70	0.70	0.75	0.10	0.12	0.17	0.55	0.53	0.45
Hoengseong	0.27	0.36	0.39	0.71	0.71	0.76	0.10	0.12	0.18	0.50	0.49	0.42
Yeongwol	0.23	0.36	0.29	0.60	0.60	0.63	0.09	0.11	0.15	0.53	0.52	0.44
Pyeongchang	0.21	0.26	0.36	0.75	0.75	0.78	0.07	0.08	0.11	0.63	0.58	0.47
Jeongseon	0.17	0.25	0.19	0.60	0.59	0.62	0.07	0.08	0.12	0.57	0.54	0.43
Cheorwon	0.21	0.40	0.43	0.69	0.68	0.74	0.10	0.12	0.19	0.51	0.49	0.44
Hwacheon	0.18	0.40	0.47	0.60	0.59	0.64	0.08	0.10	0.16	0.52	0.49	0.44
Yanggu	0.13	0.40	0.25	0.62	0.62	0.65	0.08	0.09	0.14	0.50	0.48	0.42
Inje	0.14	0.41	0.37	0.56	0.56	0.60	0.06	0.08	0.12	0.64	0.59	0.49
Goseong	0.28	0.49	0.49	0.56	0.57	0.62	0.08	0.09	0.15	0.87	0.61	0.45
Yangyang	0.24	0.46	0.50	0.55	0.55	0.61	0.07	0.09	0.15	0.80	0.62	0.42

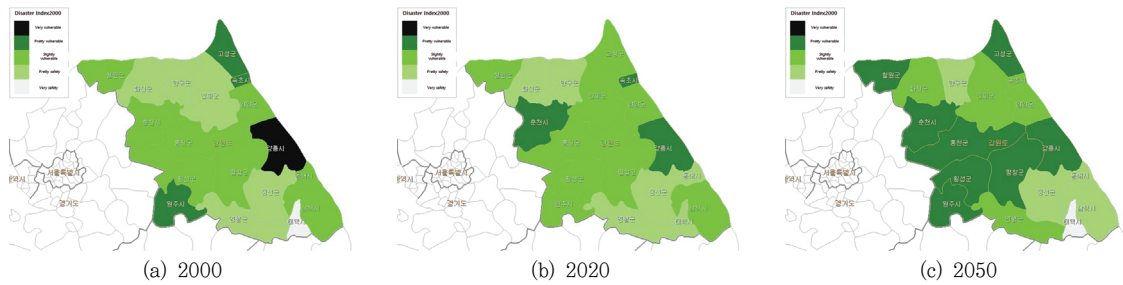


Figure 7. Result of disaster risk index

었으며 2020년대와 2050년대로 갈수록 그 크기는 증가하는 것으로 분석되었다.

4) 폭설

앞서 언급한 기후노출대용변수, 기후변화 민감도 대용변수, 적응능력대용변수를 이용하여 가뭄 취약성 평가를 수행하였다. 폭설위험성 평가 항목 가중치는 기후노출대용변수, 민감도대용변수, 적응능력대용변수 모두 1로 설정하여 표준화하였다. 분석결과 2000년에는 영동지역이 가장 위험한 것으로 분석되었으며 2020년대와 2050년대는 강원도 지역이 비슷한 크기로 나타났다.

3. 재해위험지수 표준화

앞서 분석한 홍수, 가뭄, 폭염, 폭설에 대한 취약성 분석 결과를 이용하여 식 (2)를 이용하여 재해취약성지수를 산정하였다.

$$DVI = \frac{(FI \times A) + (Dr \times B) + (Hw \times C) + (Hs \times D)}{A + B + C + D}$$

식 (2)

여기서 DVI는 재해취약성지수(Disaster Vulnerability Index), FI은 홍수(Flood), Dr은 가뭄(Drought), Hw는 폭염(Heat wave), Hs는(Heavy snow)에 대한 DRI이며 A, B, C, D는 각 지수의 가중치이다.

분석결과 2000년대에는 강릉시가 매우 취약한 것으로 분석되었고, 고성군, 원주시가 상당히 취약한 것으로 분석되었다. 2020년의 경우 강릉시, 속초시, 춘천시

가 상당히 취약한 것으로 분석되었고 중부지역의 경우 약간 취약한 것으로 분석되었다. 2050년의 경우 강원도 중부지역이 상당히 취약한 것으로 분석되었으며 철원군, 고성군도 상당히 취약한 것으로 분석되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 최근 지구적인 문제로 대두되어 온 기후변화 대해 재해취약성 분석을 통하여 효과적인 대응방안을 모색하고자 하였다. 연구대상의 지역은 강원도의 18개 시, 군 지자체로 하였으며 계산의 평가단위는 각 지자체를 하나의 집계구로 정하였다. 재해취약성 분석 지표로는 현재 재해취약성 분석지표(2000년)와 미래 재해취약성 분석지표로 나누어서 분석하였다. 미래재해 취약성 분석 지표는 다시 단기(20년 후 case I), 중기(50년 후 case II)로 구분하여 분석하였다. 이와 같은 과정을 통하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현재 재해취약성 분석결과를 보면 재해에 가장 취약한 지역은 강릉시이며 2020년의 경우 강릉, 속초, 원주가 상당히 취약하였다. 2050년의 경우 강원도 중부지역이 상당히 취약한 것으로 분석되었다.

2. 현재와 미래의 재해 취약 지역의 분포현황을 보면 특이한 공간적인 경향성은 보이지 않으나 매우 취약한 지역은 2000년에 1개였고 상당히 취약한 지역은 2000년에 2개, 2020년에 3개, 2050년에 8개로 분석되었다.

3. 재해취약성 분석결과를 기후변동에 경향과 비교하여 분석해 보면 일 최고기온 33°C 이상 일수는 현재를 기준으로 미래 2020년에 이르기까지 지속적으로 증가하는 경향이 있었다. 일 최저기온 25°C 이상 일수 또한

2050년까지 지속적으로 증가하는 것으로 나타나 강원도 지역은 향후 열대지역으로 변하는 것으로 나타났다.

4. 우리나라 재해유발의 주원인인 강우 지표를 보면 일 강수량 80mm 이상 일수와 일 최대강수량은 대부분의 지자체에서 미래로 갈수록 증가하고 5일 지속시간 강수량은 현재보다 미래가 감소한 경향을 보였다.

결과를 종합해 보면, 기후변동의 측면에서 강원도 지역은 단기간의 집중강우가 발생할 가능성이 큰 것으로 이에 대응하기 위해서는 사회기반 시설물 및 수리시설물의 적정 지표를 설정하여 유지관리를 강화할 필요가 있음을 시사한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리사업의 연구비지원(14AWMP-B082564-01)에 의해 수행되었음.

References

Australian Government. 2005. *Climate Change Risk and Vulnerability: Promoting an Efficient Adaption Response in Australia*.

Blakely, Edwarf J. 2007. Urban Planning for Climate Change. *Lincoln Institute of Land Policy Working Paper*. 1-25.

Chae, Yeo Ra and Hyun Ju Jo. 2011. *Analysis of the Evaluation Method of the Priorities of Climate Change Adaptation Measures*. Korea Environment Institute.

Choi, Dong Jin, Doo Ho Park, Sung Jea Park, Ju Hun Lee, and Hyo Jung Lee. 2009. Development of Water Policy Indicators: Water Use Indicators. *Korean Wetlands Society*. 11(3): 153-160.

Cutter, Susan, Jerry T. Mitchell, and Michael S. Scott. 2000. Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*. 90(4): 713-737.

Han, Hwa Jin, So Eun Ahn, Ga Yung Yu, Gwang Woo Jo, Sang Yeup Lee, Jung Eun Kim, and Sun Ok Ahn. 2007. *Construction of Impact Assessment and Adaptive System of Climate Change III* Korea Environment Institute.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC. 2014. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Fifth Assessment Report. McCarthy, et. al.(eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kim, Kyung Nam. 2010. *Research on Climate Change Ratio Vulnerability Assessment*. Research Institute for Gangwon.

Kim, Sun Myung and Nam Yee Kim. 2012. *Research on Climate Change Vulnerability Assessment: At the Center of the South Jeolla Province 22 City and County*. Korea Governance Institute. 19(2): 99-123.

Ko, Jae Kyung and Hee Sun Kim. 2009. Climate Change Vulnerability Assessment Study of Gyeonggi-Do. Gyeonggi Research Institute. *Policy Study*. 2009(39): 1-1.

Korea Meteorological Administration. 2007. *Climate Change 2007 Scientific Basis*.

Lee, Sang Sin, Chang Won Jang, Yung Nam Choi, and Un Byul Jeon. 2013. *Study of Gangwon-do of Influence Based on the RCP Climate Change Scenarios*. Climate Change Research Institute of Korea.

Ministry of Environment. 2011. *Climate Change Sectoral Vulnerability Map for Detailed Implementation Plan Support of Adaptation to Climate Change of Local Governments(Ver.1)*.

Moss, R. H., A. L. Brenkert, and E. L. Malone. 2001. *Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach*. Prepared for the U.S. Department of Energy.

National Institute of Meteorological Sciences. 2009. *Understanding Climate Change II - Korea Climate Change: Present and Future*.

Yu, Ga Yung and In Ae Kim. 2008. *Development and Implementation Method of Vulnerability Indicators of Climate Change*. Korea Environment Institute.

Korean References Translated from the English

고재경, 김희선. 2009. 경기도 기후변화 취약성 평가 연구. 경기도개발연구원. 정책연구. 2009-37: 1-1.

국립기상연구소. 2009. 기후변화 이해하기 II-한반도 기후변화: 현재와 미래.

- 기상청. 2007. 기후변화 2007 과학적 근거. 연구보고서.
- 김경남. 2010. 기후변화 대비 취약성 평가에 관한 연구. 강원발전연구원.
- 김선명, 김남익. 2012. 기후변화 취약성 평가에 관한 연구: 전남 22개 시·군을 중심으로. 한국거버넌스학회보. 19(2): 99-123.
- 유가영, 김인애. 2008. 기후변화 취약성 지표의 개발 및 도입방안. 한국환경정책·평가연구원.
- 이상신, 장창원, 최영남, 전은별. 2013. RCP 기후변화 시나리오에 따른 강원도 영향 연구. 한국기후변화대응연구센터.
- 채여라, 조현주. 2011. 기후변화 적응대책 우선순위 평가 방법론 분석. 한국환경정책·평가연구원.
- 최동진, 박두호, 박성제, 이주현, 이효정. 2009. 이수분야 수자원 정책지표 개발. 한국수자원학회. 한국 수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집. 371-375.
- 한화진, 안소은, 유가영, 조광우, 이상엽, 김정은, 안선옥. 2007. 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III. 한국환경정책·평가연구원.
- 환경부. 2011. 지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도(ver.1). 연구보고서.

Received: Sep. 28, 2016 / Revised: Oct. 31, 2016 / Accepted: Nov. 14, 2016

RCP 8.5 기후변화시나리오 기반의 재해위험지수를 이용한 강원지역의 재해취약성 전망

국문초록 최근 들어 기후변화와 이상기후에 대한 관심이 세계적으로 증가되고 있으며 이상기후로 인한 피해 우려가 증가되고 있다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에 따르면 미래에는 지구의 연평균기온은 2050년은 2.3°C 2100년엔 4.8°C 증가할 것이라고 전망하였고, 우리나라의 경우 2050년에 3.2°C 2100년에 6°C가 증가할 것으로 전망하였다. 본 연구에서는 최근 지구적인 문제로 대두되어 온 기후변화로 인한 홍수·가뭄·폭염·폭설에 대한 재해취약성 분석을 통하여 효과적인 대응방안을 모색하고자 하였다. 연구대상 지역은 강원도의 18개 시, 군 지자체로 하였으며 계산의 평가단위는 각 지자체를 하나의 집계구로 정하였다. 재해취약성 분석 지표로는 현재(2000년)와 미래(2020년, 2050년)로 나누어서 분석하였다. 분석 결과 2000년에는 영동지역과 원주시가 가장 취약하였으며, 2020년에는 속초와 강릉, 춘천시가, 2050년에는 강원도 중부지역이 가장 취약할 것으로 전망되었다.

주제어 : 기후변화, 홍수, 가뭄, 폭염, 폭설, 재해취약성 분석

Profiles **Dae Ju Hwang** : He received his Ph.D. from Kangwon National University, Korea in 2014. He is working in the department of tourism development in Samcheok city hall. His interesting subject of research is climate change and hydrological analysis (hdi7720@Korea.kr).

Suk Ho Lee : He received his Ph.D. from Konkuk University, Korea in 2012. He is a research professor of the School of Disaster Prevention at Kangwon National University. His interesting subject of research is landslides and hydrological analysis(esoco@kangwon.ac.kr).

Mun Mo Kim : He received his B.A., M.A., Ph.D. from Yonsei University, Korea in 1994. He is a professor of the Department of Civil Engineering at Shingu University, in which he has taught since 1992. His interesting subject and area of runoff hydrology. He has published about 50 articles in journals and written 10 books(munmo310@shingu.ac.kr).

Byung Sik Kim : He received his B.A., M.A., Ph.D. from Inha University, Korea in 2005. He is a professor of the Department of Urban & Environmental Disaster Prevention Engineering at Kangwon National University, in which he has taught since 2011. His interesting subject and area of stochastic hydrology and climate change. He has published about 150 articles in journals and written 3 books(hydrokbs@kangwon.ac.kr).