

기후변화에 따른 폭염 관심지역(Hot spot) 평가 지표 개발 및 적용*

Developing Indexes for Analyzing Severe Heat Hot Spot Under Climate Change

안윤정** · 강영은*** · 박창석****

Ahn, Yoonjung · Kang, Youngeun · Park, Chang Sug

Abstract

Climate change has accelerated due to global warming and the vulnerability of social and ecological systems continues to grow. Amongst the situation, risk assessment has played an important role in formulating adaptation plans. Therefore, in this study, hot spot areas that are the most exposed to climate change were analyzed. First of all, literature review and expert interviews were conducted to produce the indexes for hot spot analysis by using the GIS at the national level. This study focused on heat wave among the many types of climate hazard. The indexes were categorized into 3 categories: climate hazard, vulnerability and exposure. After selecting the indexes, standardized values and hot spot areas were diminished in present and long-term future (2050) by multiplying the hazard and vulnerability value and then overlaying the exposure value. hot spot areas were defined as high hazard, vulnerability and exposure. In this study, we focused on analyzing the hot spots by developing and using indexes that consider impacts of heat wave. In addition, we investigated hot spot shifts in the future and impact of variables. Finally, this study suggested the adaptation plans according to climate hazard. By taking these steps, policy implications and specific strategy directions were suggested, which can be used in preparing national risk management strategy.

키 워 드 ■ 기후변화, 리스크 평가, 폭서, RCP 시나리오

Keywords ■ Climate Change, Risk assessment, Heat waves, RCP scenarios

I. 서론

지구온난화의 영향으로 인한 21세기 기후변화 가속화로 인간 및 자연계의 취약성이 증가하고 있다. IPCC(2013)에서는 지난 133년간(1880~2012년) 세계 평균 기온은 0.85°C 상승되고, 금세기 말(2081~2100년)에는 평균 기온이 3.7°C 상승될 것

로 예상하고 있다. 기후변화는 현재 위험 및 극한 기후 현상 가능성의 빈도와 강도 뿐 아니라 다른 공간적 영향 및 사회·경제적 영향 부분의 새로운 위험과 취약성 발생에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상되기 때문에(Revi, 2008), 장기적인 관점에서 기후변화가 사회, 경제, 환경에 미치는 영향을 분석하고, 기후 영향의 불확실성을 줄이고자 하는 노력은

* 본 연구는 2015년 한국환경정책·평가연구원에서 수행한 '기후환경 리스크 전망과 국가전략II' 연구보고서의 일부를 발췌하여 수정·보완한 것임.

** Korea Environment Institute (First author: yjahn@kei.re.kr)

*** Donga University (aoii2@hanmail.net)

**** Korea Environment Institute (Corresponding author: plade290@kei.re.kr)

권고되어야 한다.

IPCC 5차 보고서(2014)부터는 기존 시나리오 기반 영향평가에서 기후변화의 피해 강도와 빈도로 제시되는 리스크 평가체계로 전환하고 있으며, 주요 선진 국가들도 유사한 체계를 계획·구현하고 있다. 기후변화 리스크 평가는 기후변화로 인하여 발생할 수 있는 영향에 대한 피해 및 불확실성을 줄이는 것을 주목적으로 하며, 나아가 기후변화 대응 정책 방향 설정에 활용될 수 있다.

선행연구(Lawrence, 2013; Taylor et al., 2014)에서는 기후변화 대응을 위한 적응 계획 수립 시 리스크 평가가 필수적이라고 강조하고 있으며, 이러한 리스크 평가가 지역 단위를 시작으로 전 세계적으로 확장되어야 한다고 주장하고 있다(Dickson et al., 2012).

하지만 전례에 없던 피해규모 및 불확실성, 시간 범위의 모호함 등으로 인한 결과 값 예측의 어려움으로 리스크 관련 선행연구는 초기 단계에 머무르고 있다. 기후변화 리스크는 국가별 차이뿐만 아니라, 같은 국가에서 해당지역이 가지고 있는 개별적 특징에 따라 달라질 수 있기 때문에(Smith and Leiserowitz, 2012), 지역의 특징 및 영향대상의 특성을 고려해 리스크 평가가 수행되어야 할 필요가 있다. 따라서 우리나라 실정에 맞는 국토 공간 리스크 평가 항목 개발과 더불어 지역별 평가 및 관리 방향 설정이 필요하다.

특히, 우리나라에서 발생하는 주요한 극한 기후 사상은 폭염, 폭한, 폭우, 태풍, 해수면상승 등으로서 다수의 연구에서 이와 관련한 연구가 진행 중이 있는데(하종식, 2014; 손민수, 2013; 심우배, 2013; 박종용 외, 2012; 고재경, 2009), 이 중 폭염의 경우 매년 주기적으로 발생하는 요소로 피해가 더욱 치명적일 수 있다(하종식, 2014).

이에 본 연구에서는 우리나라 국토환경의 리스크 진단을 위한 지표를 개발하고, 폭염에 따른 관심지

역(hot spot) 도출 및 미래 관심지역 변화 정도를 진단하고자 한다.

III. 방법론

1. 연구범위

본 연구에서는 먼저 기후변화 폭염에 따른 관심 지역 분석을 위한 지표를 개발하고 개발한 지표를 적용하여 관심지역을 분석하였다. 또한, 관심 지역 도출 후 현재를 기준으로 미래의 기후 위해의 변화 및 관심지역 등급의 변화를 분석함으로써 현재 대비 관심지역의 등급의 변화를 도출했다.

본 연구의 시간적 범위는 현재 그리고 단기미래(2050년)로 설정했으며 미래 관심지역 분석 시 기후변화를 고려하기 위해 RCP(Representative concentration pathway) 4.5와 8.5를 적용했다). 또한, 정책적 적용을 고려하여 공간적 분석 단위를 우리나라 행정단위인 읍·면·동으로 설정하였다.

2. 대응변수 및 지표선정 방법

관심지역(Hot spot) 평가를 위해 먼저, 리스크 대응변수를 설정했으며 다음으로 대응변수별 세부 지표를 설정했다. 대응변수는 IPCC(2014)에서 제시한 리스크의 개념을 참고하여 노출환경(Exposure), 취약환경(Vulnerability), 기후위해(Hazard)를 리스크 대응변수로 설정했으며 대응변수의 정의는 표 1과 같이 정의했다.

대응변수별 세부 지표 설정은 선행연구 분석을 통하여 이루어졌으며, 선행연구 분석 결과, 대응변수 설정 없이 리스크 자체에서 세부 지표를 설정하는 경우와 대응변수를 설정한 경우로 나누어볼 수 있었다.

표 1. 리스크 및 리스크 대응변수 설명(IPCC, 2014)
Table 1. Explanation of risk and risk substitute variable

구분 Categories	내용 Contents
노출 Exposure	<ul style="list-style-type: none"> · 악영향을 받을 수 있는 위치에 놓인 인간의 존재, 생계, 종 또는 생태계, 환경 서비스 및 자원, 사회기반시설, 또는 경제, 사회 및 문화적 자산 · human, livelihood, ecosystem, environment and assets, social infrastructure could be adversely affected
취약성 Vulnerability	<ul style="list-style-type: none"> · 악영향을 받을 성향이나 경향 · Inclination or tendency received an adverse effect · 취약성은 피해에 대한 민감성이나 감수성, 그리고 극복 및 적응능력의 결핍을 포함한 모든 다양한 개념을 포괄함 · Vulnerability includes sensitivity, sensibility from damage and lack of adaptability and responsibility
위해 Hazard	<ul style="list-style-type: none"> · 자연적 혹은 인간에 의한 물리적 사건 또는 손실을 야기하는 물리적 영향 · Physical effects or physical events leading to the loss due to natural or man · 위험(Hazard)은 기후변화와 관련한 물리적 사건 또는 물리적 영향으로 정의 · Risks (Hazard) is defined as a physical event or physical impacts associated with climate change
위험 Risk	<ul style="list-style-type: none"> · 인류 가치의 어떤 것(인간 자신도 포함)이 위기에 처하는 경우와 결과가 불확실할 경우 그 결과가 발생할 잠재력 · The potential that the value of humanity (including man himself) underlines in crisis · 위험은 흔히 재해적 현상이 발생할 확률이나 이러한 현상이 발생할 경우 그 결과가 대폭 확대될 경향을 의미함 · If disaster risks are common phenomena occur and these phenomena lead to the probability that the result means the tendency to expand significantly

Source: IPCC(2014).

리스크 자체에서 세부 지표를 설정하는 경우는 극한 기후로 인한 사상자 수, 생명 위협 정도, 가능성, 피해액 등의 결과적인 변수가 설정되는 경우가 많았으며(Bowering et al., 2010; Brody et al., 2008), 대응변수를 설정하여 기후변화 영향을 분석하는 연구는 취약성 평가 연구가 대부분이었다(김윤정 외, 2013; 심우배, 2013).

따라서 본 연구에서는 기존 취약성 분석 연구에서 세부 지표로 선정한 민감성, 노출 지표를 참고하였으며, 기후위해 지표는 극한 기후에 대한 선행 연구 분석을 참고하여 최종적인 세부 지표를 도출하였다. 노출지표는 인간계와 자연계의 노출이 다른 것을 감안하여 인간계와 자연계로 구분하여 선정했으며, 선정된 지표는 공동연구자와의 토의 및 전문가 자문²⁾을 통해 확정했다.

3. 기후변화 관심지역 진단

1) 관심지역 진단 방법

본 연구에서는 취약성과 노출이 높으며 위해가 높은 지역을 관심지역(hot spot)으로 정의하였다. 관심지역 분석을 위해 최종 선정된 지표에 따라 노출, 취약성, 위해의 값을 국토 전역 내에서 읍·면·동 단위로 도출하였고, 노출환경, 취약환경, 기후위해 각각에 해당하는 지표 간의 값을 합하였다.

이때 표준화 식³⁾은 평균값과 표준편차를 활용한 수식을 활용했으며, 관심 지역 분석 시 음의 수끼리 곱 혹은 양수와 0이 곱해졌을 때 하나의 값이 음에도 불구하고 0이 되는 경우를 방지하기 위해 표준화한 값들의 최솟값을 1로 변환 할 수 있도록 $1 + X_i + |\text{최솟값}|$ 의 수식을 적용했다.

또한, 노출과 관련한 지표는 계획변수로 고려하여 국토계획에 따라 노출의 정도를 저감 할 수 있다고 판단하였다. 이에 본 연구에서 관심지역을 기

후위해와 취약성의 곱 그리고 노출로 구분하여 도출하였다. 즉, 기후위해와 취약성의 값을 곱하고 노출 지역을 중첩하여 최종적인 관심지역을 도출했다.

취약환경 기후위해의 값은 국토 전역 관심지역(hot spot) 분석 시 적용한 상위 16%(손민수외, 2013)를 기준으로 한 5단계로 관심지역 정도를 구분하였으며⁴⁾, 노출은 ‘높음’과 ‘낮음’ 2단계로 나누어 구분했다. 즉, 노출이 ‘높음’ 등급이며 ‘취약환경 × 기후위해’가 1등급인 지역을 최종적인 관심지역으로 정의했다.

하지만 위와 같이 표준화 수식을 활용해서 도출한 위험지역은 상대적인 값을 이용한 방법이라 시기별 비교가 어렵다는 한계가 있다. 따라서 현재 값을 기준(baseline)으로 정하고 기후위해의 변화 정도 및 시기에 따른 관심지역의 등급 변화를 분석했다.

2) 기후위해 기준 시기별 변화

기후위해 기준의 시기별 변화에서 변화 정도를 파악하기 위한 등급 기준은 크게 3단계로 구분하였으며, 관심지역(hot spot)의 상위 16%값을 분모 값으로 설정하고, 2050년 읍·면별 데이터 값을 분자

값으로 설정하여 결과 값이 1 이상 도출된 지역에 주목하였다. 즉 해당 기준을 적용한 값이 1이면, 현재 기준의 관심지역(hot spot)에 해당하는 값과 동일한 값으로 관심지역의 범주에 해당하는 것이다. 재난안전연구원(2013)의 위해 등급 기준에 따라 1값 이상을 분석하였으며, 등급은 1~2값, 2~3값, 3값 이상의 세 단계로 구분하였다. 이에 대한 자세한 설명은 표 2와 같다.

3) 관심지역(hot spot) 시기별 등급 변화

현재의 관심지역(hot spot)의 4등급(상위 1%, 5%, 10%, 16%)을 기준으로 시기별(2050년) 위험등급 변화 추이를 파악하였다. 따라서 현재의 관심지역 등급을 기준으로 등급이 더 높아지는 경우만을 주요하게 인식하여 1단계 증가부터 4단계 증가까지 변화 지역 수 및 비율을 파악하고자 하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 대응 변수 및 지표선정 결과

선행 연구를 검토한 결과 폭염에 관련한 기후 특성으로는 연평균 일 최고기온 33℃ 이상 일수, 연평균 열대야 일수(일 최저기온 25℃ 이상)(기상청, 2015), 자외선 지수 등이 선행 연구에서 언급되었으나, 본 연구에서는 국내 특성을 반영하기 위해 국내 논문과 기상청에서 활용한 지표를 기후위해 지표로 선정했다.

또한, 선행연구에서는 노출 지역 특성으로는 고도, 생명의 위험도 등이 활용되고 있으며(Morsh, 2010), 민감 지역 특성으로는 불량 거주 지역(심우배, 2013) 등이 활용되는 것을 고려하여 취약계층 비율 및 사회기반시설 등을 평가 지표로 선정하였으며, 전문가 자문에 따라 자연계의 경우 멸종위기

표 2. 기후위해 기준 Table 2. Standard for climate hazard

표기 Explanatory	산출값 Calculated value	산출식 Equation
+	1~2	$\frac{\alpha}{\beta}$ β: 현재 기준 hot spot 최저값 Minimum value of hot spot
++	2~3	
+++	3 이상 above 3	α 시기별 읍·면·동별 기후 위해×취약 환경 Value of each Eup· Myeon·Dong "climate hazard x vulnerability" in each period

기후변화에 따른 폭염 관심지역(Hot spot) 평가 지표 개발

중, 희귀종 등의 분포가 많은 보전지역 등을 자연계 노출지표로 선정하였다. 최종적으로 도출된 지표는 8명의 전문가 검토를 통해 확정하였다.

표 3. 반영 지표 Table 3 List of index

구분 Categories	지표 Index	선정 근거 Reference for selecting index	자료 구축 Reference of data	
1 취약환경 지표 (인간계) Vulnerable environment indexes (Social system)	평균 고도(-) Average elevation	d	D	
	열사병, 일사병으로 인한 사망자 수 mortality rates	i	G	
1 취약환경 지표 (자연계) Vulnerable environment indexes (Ecological system)	평균 고도(-) Average elevation	i	D	
	면적당 인구비율 Population rates per area	a	A	
2 노출 지표 (인간계) Exposure index (Social system)	독거노인(65세 이상) 비율 Ratio of age above 65	a	A	
	기초생활수급자 비율 Ratio of recipient of basic living	a	A	
	산업단지 면적 Industrial park area	h	H	
	도로 면적 Road area	c	A	
	철도 면적 Rail area	c	D	
	항만 면적 Port area	c	D	
	공항 면적 Airport area	c	D	
	방조설비 면적 River Bank facilities area	c	D	
	노출 지표 (자연계) Exposure index	기후변화 취약종 ⁵⁾ Vulnerable Species	i	B

(Ecological system)	국립공원 면적 National Park Area	i	C	
	습지보호지역 면적 Protected Wetland Area	i	C	
	상수원보호지역 면적 Protected water supply source	i	C	
	천연보호구역 면적 Natural Reserve Area	i	C	
	농업진흥지역 지정 면적 Agricultural Development Region	b	C	
	국립공원 특별보호구역 면적 National park special protected area	i	C	
	동식물보호구역 면적 Flora and fauna protected area	i	C	
	유전자보호림 면적 Reserved Forest area	i	C	
	3 기후위해 지표 Hazard indexes	일최고기온이 33도 이상인 날의 횟수 Number of days when max temperature above 33 °C	e, f	E
		열파지속지수 Heat index	g	E

자료: 리스크 관련 지표 선정 시 참고문헌 및 자료 구축 내용은 다음과 같다.
a: IPCC(2007). b: 국립환경과학원(2012). c: 유가영 외(2008). d: 김용진 외(2011). e: 박윤형 외(2006). f: 신호성과 김동진 외(2008). g: 기상청(2015). h: 김윤정 외(2013). i: 전문가 자문.
A: 통계청(2012). B: 환경부(2012). C: 국토교통부(2013). D: 국가정보유동시스템(2013). E: 기상청(2015). F: 해양수산부(2013). G: 국립해양조사원(2013). H: 국토연구원(2015).

Data and criteria references
a: IPCC(2007). b: National Institute of Environmental Research(2012) c: Yoo, G-Y, (2008). d: Kim Y-J et al (2011), e:Park, Y-H et al(2006), f: Shin, H-S and Kim D-J(2008), g:The Meteorological Administration(2015), h:Kim, Y-J et al(2013), i: Expert interview A:National Statistical Office (2012), B: Ministry of Environment(2012), C: Ministry of Land(2013), D: National Spatial Information clearinghouse(2013), E: The Meteorological Administration(2015), F:Ministry of Maritime Affairs and Fisheries(2013), G: Korea Hydrographic and Oceanographic Administration(2013) H:,Korea Research Institute for Human Settlements(2015)

2. 기후변화 관심지역 진단 결과

1) 관심지역 진단 결과

현재 기준 관심지역(hot spot) 분석 결과 인간계의 폭염에 대한 관심지역은 수도권 및 전라도 일부 지역에 분포하는 것으로 분석되었다(그림 2). 자연계 역시 '취약환경×기후 위해'는 경상도 부분에서 높게 분석되었으나, 노출은 강원도 지역이 높은 것으로 분석되었다. 폭염으로 인한 위험지역 중 1등급에 속하는 지역의 면적은 인간계의 경우 약 640㎢, 자연계가 약 2,240㎢로 분석되었다. 즉, 현재는 자연계가 인간계보다 위험지역에 대한 노출이 큰 것으로 분석되었다(표 4).

RCP 4.5를 적용한 2050년에 인간계는 현재의 폭염 관심지역과 비슷한 경향을 보였으나 자연계에서는 강원도, 제주도, 경상도 일대에서 '노출×기후 위해'의 1등급 지역이 분포했다. 또한, 인간계 폭염 위험지역의 경우 1등급에 포함되는 지역은 약 680㎢로 도출되었으며 자연계의 경우는 약 1,860㎢로 도출되었다. 관심지역 면적(노출 높음 단계이면서 '취약환경×기후 위해' 등급 1~3등급)은 자연계가 인간계에서보다 상대적으로 더 넓게 분석되었다(표 4).

RCP 8.5를 적용한 2050년대 결과 '취약환경×기후 위해'의 등급은 RCP4.5에서와 비슷한 경향을 보였으나, 자연계의 관심 지역 중 전라북도 일부 지역에서 1등급에 해당하는 지역 중 기후위해가 3단계 증가하는 지역이 같이 나타나는 지역에 대한 생태계 적응대책 마련이 필요할 것으로 판단된다. 인간계 폭염 위험지역의 경우 1등급에 포함되는 지역은 약 680㎢로 도출되었으며 자연계의 경우는 약 1,490㎢로 도출되었다. 또한, 관심지역 면적은 대체로 자연계가 인간계보다 높은 것으로 분석되었다.

각 위험지역의 원인을 분석해 본 결과 인간계에서는 근접한 지역에 위치했는지라도 위험 점수를 높이는 원인은 다소 상이한 내용이 확인되었다. 이

는 근접한 지역일지라도 노출 요소인 사회기반시설 구축정도나 인구밀도 등이 크게 다르게 나타나며, 취약성 요소인 침수흔적, 고도, 녹지 등의 요소 또한 지역별 큰 편차를 보이기 때문이라고 판단되었다.

반면, 생태계에서 관심지역으로 도출되었던 지역은 주로 기후 위해 요인이나 노출 요소인 기후변화 취약종, 국립공원 면적, 보호지역 면적 등이 크기 때문으로 판단되었다. 특히 노출 값(종풍부도, 국립공원 면적, 보호지역 면적)이 상대적으로 낮은 지역의 경우 취약성과 위해의 값이 클수록 높은 위험도를 보였다.

표 4. 현재 및 미래(RCP 4.5와 RCP8.5 2050년대) 취약성*위해 1~5등급 지역 면적

Table 4. Area of Vulnerable*Hazard in the present and future(2050s, RCP 4.5, 8.5 were applied)

(Scale: km²)

등급 Rank	인간계 Social system	자연계 Ecological system
현재 (Present)		
1	637.5	2,237.8
2	2,269.5	2,613.0
3	2,889.4	4,879.5
4	4,046.8	6,333.4
5	91,347.0	85,126.5
RCP4.5 2050년 (RCP 4.5, 2050s)		
1	682.1	1,864.2
2	2,392.3	2,825.6
3	2,182.5	3,315.3
4	2,968.8	4,793.2
5	92,964.2	88,391.6
RCP8.5 2050년 (RCP 8.5, 2050s)		
1	677.5	1,493.0
2	3,488.4	4,933.4
3	2,353.3	2,815.2
4	2,293.6	4,212.1
5	92,377.1	87,736.2

2) 기후위해 시기별 변화 및 관심지역 등급변화
 관심지역의 경우 상대 값을 이용해 분석 한 결과
 이므로 현재와 미래의 위험정도의 비교가 어려워
 현재 대비 기후위해의 변화 정도에 대한 분석을 수
 행했다. 현재를 기준 값으로 설정하고 RCP4.5와
 RCP8.5를 비교한 결과 기후위해가 1단계 증가되는
 비율은 RCP4.5에서 약 80%, RCP 8.5에서 약 23%
 로 분석되었다. 하지만, RCP4.5에서서는 2단계 증
 가하는 비율이 약 20%인 반면 RCP 8.5에서는 약
 70%였으며, 3단계 증가되는 값의 경우 RCP4.5에서
 는 0%였으나 RCP8.5에서는 7%로 분석되었다(표 5).

위의 분석 결과를 고려했을 때 온실가스가 현
 추세로 배출될 경우(RCP8.5) 기온 변화에 대한 위
 해 강도가 더욱 증가할 것으로 예상된다. 또한, 현
 재 관심지역을 기준으로 등급의 변화를 분석해 보
 았을 때 RCP4.5와 RCP8.5에서 모두 1단계 증가하
 는 면적의 비율이 가장 높았으며 그 비율은 약 5%
 였다. 또한, RCP4.5보다 RCP8.5에서 현재 대비 관심
 지역 면적의 변화의 비율은 조금 더 높은 것으로
 분석되었다(표 6).

표 5. 기후위해 기준 시기별 변화
 Table 5. Climate hazard change in 2050s compare
 to present

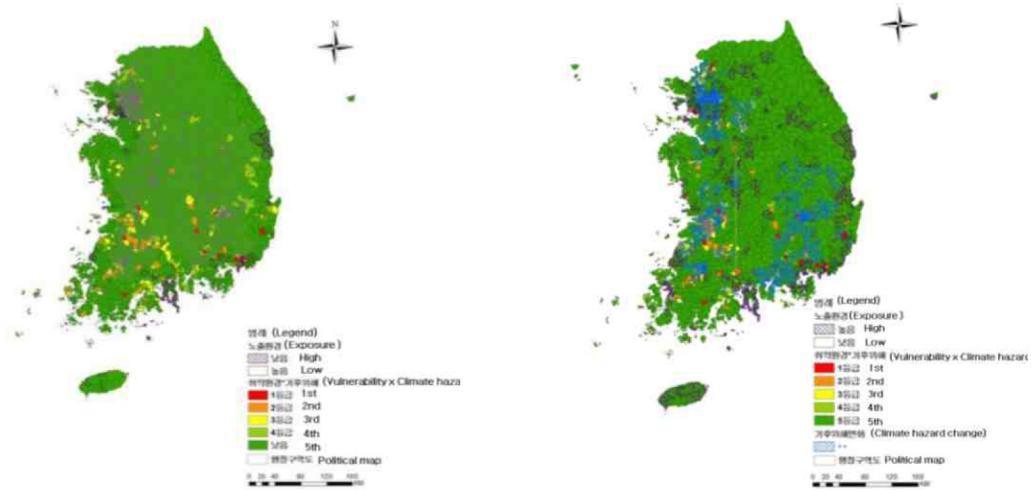
시기 Period	시나 리오 Scenarios	표현 Explanatory	읍면동 수 Number of local province	비율 Ratios (%)
2050s	RCP 4.5	+	2,761	79.3
		++	710	20.39
		+++	0	0
	RCP 8.5	+	817	23.5
		++	2,415	69.4
		+++	246	7.1

위의 결과를 토대로 보았을 때 적절한 적응 대
 책이 수행되었을 경우 폭염의 강도 낮은 정도의 기
 후 위해가 증가될 것으로 보이거나 현재 상태로 기후
 변화가 진행될 경우 미래의 극한 강도의 기후위해
 의 가능성이 더욱 증대 될 것으로 판단된다.

또한, 관심지역의 면적도 현재 추세로 기후변화
 가 진행된다면(RCP8.5) 폭염에 따른 관심지역 면적
 은 더욱 늘어날 것으로 예상되며 기후위해의 증가
 와 마찬가지로 등급 2, 3단계씩 증가하는 지역의
 면적이 더욱 증가하는 것을 고려했을 때 미래대비
 기후위해가 높아질 것으로 예측되는 지역에 대한
 집중적인 관리 및 기후변화 적응 대책의 발굴 및
 적용이 필요 할 것으로 예상된다.

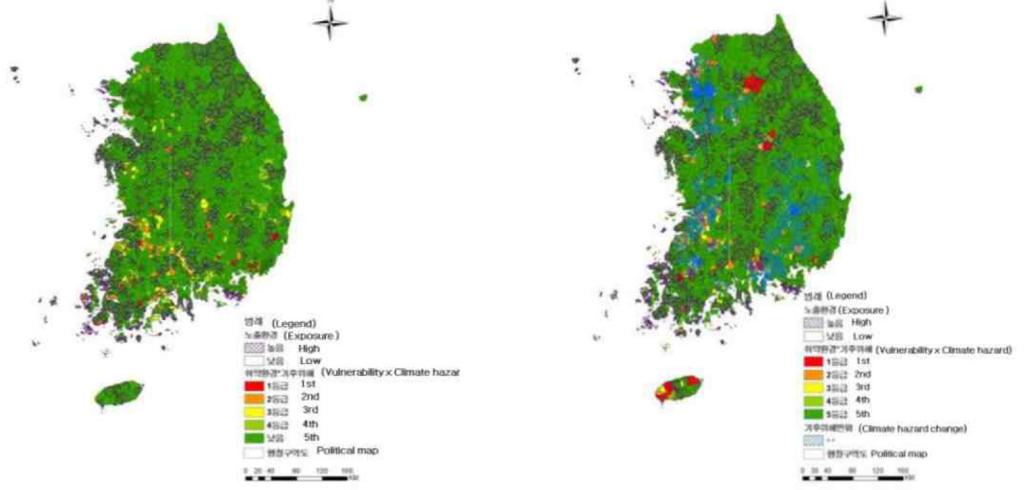
표 6. 관심지역 시기별 등급변화
 Table 6. Climate hot spot change in 2050s compare
 to present

시기 Period	시나 리오 Scenarios	단계 변화 Changes	비율 (인간계) Ratio (Social system)	비율 (자연계) Ratio (Ecologi cal system)
2050s	RCP 4.5	1단계 증가 1 step increase	3.9	5.3
		2단계 증가 2 step increase	0.4	0.8
		3단계 증가 3 step increase	0.1	0.2
	RCP 8.5	1단계 증가 1 step increase	4.7	5.4
		2단계 증가 2 step increase	1.0	1.6
		3단계 증가 3 step increase	0.1	0.3



인간계(Social system)

인간계(Social system)



자연계(Ecological system)

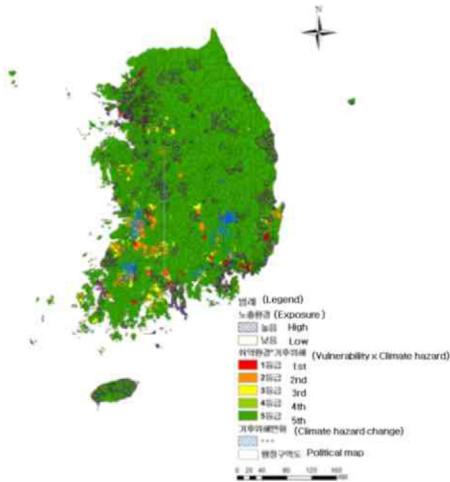
자연계(Ecological system)

그림 2. 관측 값(현재)을 적용한 인간계, 자연계 관심지역 진단

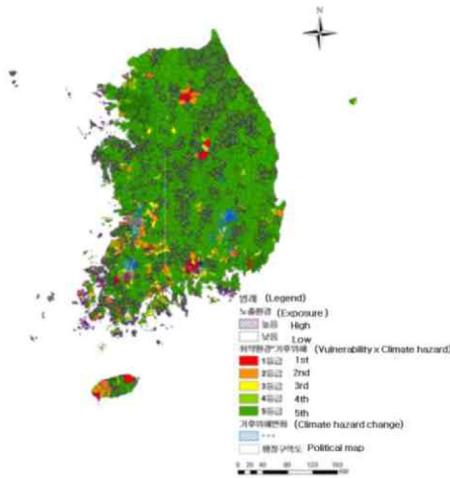
Figure 2. The result of social and ecological system hot spot analysis in the present

그림 3. RCP4.5 50년대를 적용한 인간계, 자연계 관심지역 진단

Figure 3. The result of social and ecological system hot spot analysis in 2050s (RCP 4.5)



인간계(Social system)



자연계(Ecological system)

그림 4. RCP8.5 50년대를 적용한 인간계, 자연계 관심지역 진단

Figure 4. The result of social and ecological system hot spot analysis in 2050s(RCP 8.5)

기후변화는 자연환경 뿐 아니라 사회적, 경제적 부문 등 다양한 분야에 걸쳐 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 특히 기후변화로 인한 극한 기후현상의 발생 빈도는 증가하고 있어 기후변화에 따른 리스크를 파악하고 대응방안 마련의 중요성이 강조되고 있다.

이에 본 연구에서는 우리나라 국토 전역의 폭염에 따른 관심지역 분석을 수행했다. 먼저 국토전역 관심지역 평가를 위한 지표를 도출했으며, 도출한 지표를 바탕으로 현재와 미래 기후변화에 따른 전국 읍·면·동 단위의 관심지역(hot spot)을 예측했다. 또한, 현재를 기준으로 향후 기후위해의 변화 및 관심지역 등급의 변화를 분석함으로써 현재 대비 미래의 위험정도를 분석했다.

분석 결과 미래의 관심지역은 RCP4.5, RCP8.5 기준으로 2050년대 현재 대비 관심등급 1단계가 증가하는 지역이 약 5%를 상회하는 것으로 분석되었으며 2, 3단계 증가 비율은 RCP4.5보다 RCP8.5에서 더 높은 것으로 분석되었다. 또한, 근접한 지역일지라도 기후변화에

따른 결과는 상이할 수 있으며, 각 지역의 취약한 요소와 노출 요소를 파악하여 국토 환경 계획 시 보완할 필요가 있다. 본 연구에서 도출된 결과는 향후 장기적인 안목에서 국토 리스크 관리를 위한 국가전략의 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이라고 생각된다.

본 연구의 한계점은 도시 및 농촌 도시지역의 지역적 특성을 면밀히 반영하지 못했다는 점이라고 할 수 있다. 또한, 관심지역(hot spot)의 등급은 절대 값이 아닌 상대 값이라는 점에서 후속적인 연구의 필요성이 제기된다. 향후 연구에서는 도시, 농촌 및 도서 지역의 특성을 반영한 지표 개발 및 실제적 피해 사례를 통한 리스크 분석 연구를 수행할

V. 결론

계획이며, 이를 위해 기초적인 데이터 구축이 필수적이라고 판단된다.

- 주1. RCP4.5와 RCP8.5는 다음과 같다(IPCC, 2014)
RCP 4.5: 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우
RCP 8.5: 현재 추세(저감 없이)로 온실가스가 배출되는 BAU 시나리오
- 주2. 지표 및 연구 내용에 관한 전문가 자문은 7월3일, 10월 31일 2차례에 걸쳐 진행되었다.
- 주3.
$$Z_x = \frac{(X - \bar{X})}{s_x}$$
- 주4. 본 연구에서 등급의 분류는 상위 1%, 5%, 10%, 16%로 구분하여 1등급부터 4등급의 단계로 설정하였으며, 16% 이하에 해당하는 지역은 '낮음'으로 표기하여 상대적 위험 정도를 구분하였다(손민수 외, 2013; 김명진, 2014).
- 주5. 환경부 보도자료(2010), 「국가 기후변화 생물지표 100종 선정」 참고.

인용문헌

Reference

- 1. 국립환경과학원, 2012. 「지자체 기후변화 적응 세부 시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도」, 서울.
National Institute of Environmental Research, 2012. *Establishing Climate Change Adaptation Plans for Local*, Seoul.
- 2. 김용진·강동화·안건혁, 2011. "기후변화에 따른 도시 열섬현상 특성 변화와 도시 설계적 대안 모색에 관한 기초 연구", 「한국도시설계학회지」, 12(3) 5-14.
Kim Y-J et al., 2011. "Characteristics of Urban Heat-Island Phenomena caused by Climate Changes in Seoul, and Alternative Urban Design Approaches for their Improvements", *Urban Design Institute of Korea*, 12(3): 5-14.
- 3. 김윤정·이동근·서창완·류지은·체여라·백경혜·배치영, 2013. "산업단지의 입지적 요건을 고려한 기후 변화 취약성 평가 -지자체 및 산업단지의 물리적, 경제적 특성에 집중하여-", 「한국환경영향평가학회」, 22(6):627-637.
Kim, Y-J et al., 2013. "Vulnerability assessment

- on the location of industrial complex considering climate change -Focusing on physical and economic features of province, industrial complex-", *Environmental Impact Assessment*, 22(6): 627-637.
- 4. 박윤형·김호·장원기·기용배·황보영·기모란 외, 2006. "기후변화에 의한 전염병 발생영향 통합관리 체계 구축", 서울: 순천향대학교 건강증진기금사업 지원단.
Park, Y-H et al., 2006. *Build an epidemic caused by climate change impacts Integrated Management System*, Seoul: Soon Chung Hyung University
- 5. 박종용·유지영·이민우·김태웅, 2012. "우리나라 가뭄 위험도 평가: 자료 기반 가뭄 위험도 지도 작성을 중심으로", 「대한토목학회논문집」, 32(4): 203-211.
Park, J-Y et al., 2012. "Assessment of Drought Risk in Korea: Focused on Data-based Drought Risk Map", *Korea Society of Civil Engineers*, 32(4): 203-211.
- 6. 손민수·박지영·김홍석, 2013. "서울시 도시환경의 홍수 위험도 평가". 「서울도시연구」, 14(4): 127-140.
Son, M-S et al., 2013. "Urban Environmental Risk-Evaluating Flooding Risk Indices of Seoul-", *Seoul Research Institute*, 14(4): 127-140.
- 7. 신효성·김동진, 2008. 「기후변화와 전염병 질병부담」, 서울: 한국보건사회연구회.
Shin, H-S and Kim D-J, 2008. *Climate change and infectious disease burden*, Seoul: Korea Institute for Health and Social Affairs.
- 8. 심우배, 2013. 「도시의 기후변화 재해 취약성 분석 발전방안 연구」, 경기: 국토연구원
Sim, W-B, 2013. *A Study on Improving the Methods To analyze Urban Disaster Vulnerability due to Climate Change*, Gyeonggi: Korea Research Institute for Human Settlements
- 9. 유가영·김인에, 2008. 「기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안」, 서울: 한국환경정책·평가연구원.

- Yoo, G-Y, 2008. *Introducing evaluation indexes for Climate Change Vulnerability Assessment*, Seoul: Korean Environment Institute
10. 하종식·정휘철·이정호·김동현·최지혜, 2014. 「기후 변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구」 서울: 한국환경정책평가연구원
 - Ha, J-S et al., 2014. *A Study on Establishment and Management of a Long-term Heatwave Plan addressing climate change*. Seoul: Korean Environment Institute
 11. Aerts, J. C. J. H., and W. J. W. Botzen. 2011. "Climate change impacts on pricing long-term flood insurance: A comprehensive study for the Netherlands". *Global Environmental Change*, 21: 1045-1060.
 12. Bowering, L. et al. 2010. *Assessment of climate change risk to municipal infrastructure*: City of London. Western.
 13. Bowler et al. 2010. "Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence". *Landscape and Urban Planning*, 97(3): 147 - 155.
 14. Dickson et al. 2012. *Urban Risk Assessments: Understanding Disaster and Climate Risk in Cities*, Washington D.C.: The World Bank.
 15. IPCC. 2013. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*, New York: Cambridge University Press.
 16. IPCC. 2014. *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC WG II, USA:Campridge University Press
 17. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. USA: Cambridge University Press
 18. Kalnay, E., and M. Cai. 2003. "Impact of urbanization and land-use change on climate", *Nature*, 423(6939): 528-531.
 19. Lawrence, J. et al. 2013. "Exploring climate change uncertainties to support adaptive management of changing flood-risk", *Environmental Science & Policy*, 33: 133-142.
 20. Morsch, A. 2010. *A Climate Change Vulnerability and Risk Assessment for the City of Atlanta, Georgia*. Master's Degree Dissertation, Duke University.
 21. Revi, A. 2008. "Climate change risk: An adaptation and mitigation agenda for Indian cities", *Environment & Urbanization*, 20(1): 207-229.
 22. Smith, N., and A. Leiserowitz. 2012. "The rise of global warming skepticism: Exploring affective image associations in the United States over time", *Risk Analysis*, 32(6): 1021-1032.
 23. Taylor, A. L. et al. 2014. "Public perception of climate risk and adaptation in the UK: A review of the literature", *Climate Risk Management*, 4-5: 1-16.
 24. <http://www.kma.go.kr/>

Date Received 2016-05-19
 Date Reviewed 2016-06-17
 Date Accepted 2016-06-17
 Date Revised 2016-07-11
 Final Received 2016-07-11