

# GIS기반 시공간정보를 이용한 건강부문의 기후변화 취약성 평가

## Vulnerability Assessment for Public Health to Climate change Using Spatio-temporal Information Based on GIS

유성진\*    이우균\*\*    오수현\*\*\*    변정연\*\*\*\*  
Seong Jin Yoo   Woo-Kyun Lee   Su Hyun Oh   Jung Yeon Byun

**요약** 기후 변화로 인한 건강 피해를 예방하기 위해서는 지역별로 취약성 평가를 실시하고 적응대책을 수립해야 한다. 본 연구에서는 적응 대책 수립을 위한 기초 정보 제공을 목적으로 취약성 평가를 실시하였다. 건강 부문의 취약성 평가는 폭염, 오존, 매개질환 전염병의 세부 부문으로 나누어 이루어졌다. 이를 위해 각 부문별로 민감도, 적응능력, 노출 기준을 설정하고, 적합한 평가 지표를 선정하였다. 그리고 GIS를 이용하여 지표별 공간자료를 구축하고 처리하였다. 그 결과, 폭염에 의한 취약성은 남부 지방의 저지대가 중부지방에 비해 높았고, 오존에 의한 취약성은 대구분지 주변과 자동차수가 많은 수도권 및 대도시권에서 높게 나타났다. 지역 특이성이 높은 말라리아와 쓰쯔가무시증은 각각 군사분계선 근방, 남서 평야지대에서 취약성이 높게 나타났다. 또한, 미래에는 전반적으로 취약성이 증가하는 것으로 나타났다. 남부에서 중부로 그리고 평지에서 낮은 산간지대로 취약 지역이 확대되는 경향을 보였다. 향후 관련 지표 자료의 확보와 지표별 가중치를 산정하고, 새로운 시나리오에 따른 미래 기상예측자료를 사용하면 좀 더 신뢰성 높은 취약성 평가가 가능할 것으로 생각된다.

**키워드** : 기후변화, 취약성 평가, 폭염, 오존, 매개질환 전염병.

**Abstract** To prevent the damage to human health by climate change, vulnerability assessment should be conducted for establishment of adaptation strategies. In this study, vulnerability assessment was conducted to provide information about vulnerable area for making adaptation policy. vulnerability assessment for human health was divided into three categories; extreme heat, ozone, and epidemic disease. To assess vulnerability, suitable indicators were selected by three criteria; sensitivity, adaptive capacity, and exposure. spatial data of indicators were prepared and processed using GIS technique. As a result, high vulnerability to extreme heat was shown in the low land regions of southern part. And vulnerability to harmful ozone was high in the surrounding area of Dae-gu basin and metropolitan area with a number of automobiles. Vulnerability of malaria and tsutsugamushi disease have a region-specific property. They were high in the vicinity of the Demilitarized zone and south-western plain, respectively. In general, vulnerability of human health was increased in the future time. Vulnerable area was extended from south to central regions and from plain to low mountainous regions. For assessing vulnerability with high accuracy, it is necessary to prepare more related indicators and consider weight of indicators and use climate prediction data based on the newly released scenario when assessing vulnerability

**Keywords** : Climate Change, Vulnerability Assessment, Extreme Heat, Ozone, Epidemic Disease

† 이 논문은 2011년 환경부 지원으로 이루어진 '기후변화 특성화 대학원' 사업의 일환으로 연구되었음.

\* 고려대학교 환경GIS/RS센터 연구원 yoosjin@gmail.com

\*\* 고려대학교 환경생태공학부 교수 leewk@korea.ac.kr(교신저자)

\*\*\* 고려대학교 기후환경학과 석사과정 25cean@gmail.com

\*\*\*\* 고려대학교 환경생태공학부 석사과정 sistrumoo@hanmail.net

## 1. 서론

기후변화로 인한 자연환경과 인문환경의 변화는 최종적으로 인구 집단의 건강에 영향을 줄 수 있다 [5]. 그러므로 인구 집단에서 나타나는 건강 피해는 기후변화로 인한 생태계, 생물학적 과정, 물리적 환경매체 그리고 사회, 경제적 환경에 미치는 영향이 집적된 결과라고 말할 수 있다. 전 세계적으로 폭염, 가뭄, 홍수 등으로 인한 사망 및 상해가 증가하고 있으며, 또한 대기오염 및 감염성 질환의 증가로 인한 건강 피해가 우려된다[25]. 기후변화로 인한 기온상승과 기후변동의 증가는 과거와 다른 극단적 더운 날의 발생 빈도를 높이게 되고 이렇게 기온이 평소에 비해 훨씬 높은 날이 지속되면 사람의 건강에 큰 영향을 미치게 되는데 이런 현상을 폭염이라 한다. 많은 연구에서 여름철 평균기온의 상승이 폭염일수의 빈도와 강도를 증가시킨다는 것이 과학적으로 입증되었으며, 고온에 의한 사망이나 급성질환의 원인은 일사병이다. 또한 고온에 장시간 노출되면 심장질환자나 당뇨병, 고혈압, 호흡기질환자의 경우 사망률이 높아지는 것으로 보고되고 있다[5, 25]. 우리나라도 1994년 7~8월에 발생한 폭염으로 인해 초과 사망자가 증가하였으며, 기존 질환자들의 생존율에도 악영향을 미친 것으로 분석되었다[24]. 김소연[18]은 1994년 서울을 대상으로 초과 사망을 연구한 결과, 사망원인으로는 순환기계통의 질환으로 인한 사망자수가 43.8% 증가하였고, 연령으로는 65세 이상 노인의 사망자수는 73.3% 증가하였으며, 성별로는 여성의 사망자수가 61.7% 증가한 것으로 나타났다.

또한 기후변화는 대기 조성의 변화를 일으키고, 대기 중 오염물질의 화학반응에 영향을 미칠 수 있다. 그 중에서도 오존은 기온과 태양에너지가 높은 여름철에 자주 발생하며, 이로 인한 광화학 스모그가 눈이나 코를 자극하여 급성 중독의 폐수종을 일으킬 수 있다. 우리나라도 산업화로 인한 공장 매연과 자동차 배기가스의 증가는 기온의 상승과 함께 여름철 오존주의보의 발생빈도를 증가시키고 있다 [34]. 마지막으로 기후변화로 인한 생태계 변화는 인간에 의한 산림파괴와 농업형태의 변화와 함께 전염병 매개체와 인간의 접촉 빈도를 증가시키고 있다[2]. 장재연 등[24]은 우리나라 법정 전염병의 발생추이 분석을 통해 기후변화와 연관성이 높은

질병의 발생이 증가 추세에 있는 것을 확인하였고, 기후변화로 인한 영향 가능성을 제기하였다. 이 연구에서 제시된 기후변화 관련 전염병 중에서 우리나라는 말라리아와 쯤쯤가무시증의 유병율이 높은 것으로 나타났다[17]. 2001년부터 2006년까지의 매년 말라리아와 쯤쯤가무시증의 평균 발생자수는 각각 1,575.3명, 3,913.3명으로, 나머지 기후관련 질병(신증후군출혈열, 렙토스피라증, 세균성이질, 비브리오패혈증)의 평균 발생자수인 294.5명 보다 많은 것으로 나타났다[25].

기후변화로 인한 건강 영향을 평가하고 피해를 최소화하기 위해 국제사회는 이에 대한 적응 정책을 수립하고 있으며, 그에 기초가 되는 취약성 평가를 진행하고 있다[30]. 우리나라에서도 각 부문별 취약성 평가를 실시하고[16, 20, 26, 32] 적응대책 및 세부시행계획을 수립하여 건강 피해를 최소화하기 위해 노력하고 있다[35]. 하지만 기존의 취약성 평가 연구는 시군내의 상세한 결과를 도출하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 상세한 취약성 결과 도출을 목적으로 평가 방안을 제시하였고, 우리나라 전국을 대상으로 평가 결과를 도출하였다. 본 연구에서 취약성 평가는 기후변화로 인한 영향이 분명하게 나타나는 건강 피해에 대해 실시하였다. 여름철 기온 상승으로 인해 발생 빈도가 높아지는 폭염으로 인한 건강영향, 대기오염 물질 방출 증가와 기온상승으로 피해가 증대되는 오존으로 인한 건강영향, 그리고 질병을 매개하는 숙주의 생태적 변화로 발병 양상이 달라지는 말라리아와 쯤쯤가무시증에 의한 건강영향으로 나누어 평가를 실시하였다.

본 연구에서는 건강 피해에 직접적 영향을 미치는 기후 인자 뿐만 아니라, 그 건강피해에 직간접적인 영향을 미칠 수 있는 다양한 사회, 경제, 환경적 인자를 도입하여 취약성 평가를 실시하였다. 단순한 기온의 상승과 같은 기후의 변화만이 폭염으로 인한 사망자수의 증가를 가져오지 않기 때문이다. 예를 들면, 예경보시스템의 적절한 운영 및 우수한 건강관리체계는 폭염으로 인한 사망률 증가를 억제할 수 있다. 그러므로 기후변화로 인해 증가되는 사망자수에 영향을 줄 수 있는 사회적, 경제적 인자와 연령 및 계층적 구조의 고려가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 건강 피해에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있는 인자들을 고려하여 자료를 통

합하였고, 취약성 평가를 실시하였다. 또한 미래 기후자료 및 예측자료를 이용하여 미래의 건강 취약성을 평가하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

### 2.1 연구대상지

연구대상지는 우리나라 남한지역 전체를 포함하는 지역으로 위치는 경도 124.59°~130.94°, 위도 33.11°~38.61°에 해당하며 면적은 약 100,955km<sup>2</sup>이다(그림 1). 우리나라는 여름철 강수량이 많은 몬순기후이며, 사계절이 뚜렷하고 여름철에 무더위가 자주 발생한다[29]. 본 연구의 취약성은 1km 해상도의 격자 크기로 평가되었다. 이를 위하여 국토지리정보원에서 제공하고 있는 우리나라 시군구 행정경계를 래스터로 변환하여 사용하였다.

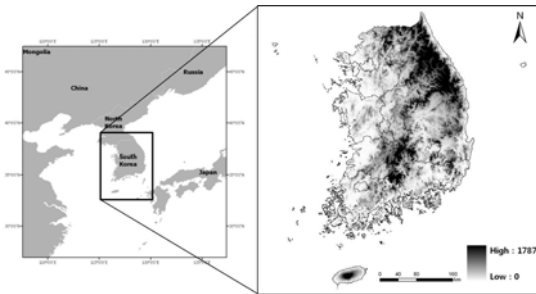


그림 1. 연구대상지 및 고도

### 2.2 취약성 평가

기후변화 취약성이란 기후변화에 대한 시스템의 민감성 척도를 나타내는 것으로 민감도(sensitivity), 노출(exposure) 및 적응능력(adaptive capacity) 세 가지 기준의 함수로 나타낼 수 있다. 민감도는 적응을 고려하지 않는 상황에서 시스템이 기후변화에 얼마나 영향을 받는가를 나타내고, 노출은 기후변화에 민감한 시스템의 요소가 기후와 접촉되어 있는 정도를 타나내며, 적응능력은 기후변화와 같은 외부 자극에 대해 야기되는 시스템의 거동의 변화를 나타낸다[4].

현재까지 기후변화 취약성 평가 관련 연구에서 다양한 평가 방법이 개발되어 왔다. 본 연구에서는 선행연구에서 실시한 방법을 참고로 하여 민감도와 노출의 곱을 적응으로 나눈 함수를 이용하였다[26, 32, 33](식 1). SI는 민감도 지표들의 평균값이며,

AI는 적응능력 지표를 평균한 값이다. 마지막으로 EI는 노출지표를 말한다. 하나의 단위 격자별 취약성 계산에는 ESRI사의 ArcGIS 9.3 프로그램을 사용하였다.

$$VI = \frac{SI \times EI}{AI} \quad (1)$$

민감도와 적응능력, 노출 지표로 선정된 자료들은 각기 다른 범위와 단위를 지니고 있다. 이것을 하나의 함수로 연산하기 위해서는 표준화 과정이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 최고값과 최저값의 차이를 이용하며, 지표가 모두 동일한 범위(0~1)를 갖도록 하는 스케일 재조정(Dimension Index) 방법을 이용하였다[33](식 2). 위의 세가지 기준에 따라 표준화된 지표 값들을 이용하여 1km 격자 단위의 취약성 평가를 실시하였다.

$$Dimension\ Index = \frac{Actual\ Value - Minimum\ Value}{Maximum\ Value - Minimum\ Value} \quad (2)$$

### 2.3 취약성 평가 지표 선정 및 구축

평가지표의 선정은 신뢰성 있는 취약성 결과를 도출하기 위해 중요하다. 앞에서 언급하였던 각각의 세부 부문별로 취약성에 영향을 미치는 인자가 다르기 때문에, 관련 연구들을 바탕으로 각 부문별 민감도와 적응, 노출 지표를 선정하고 적용하였다(표 1). 민감도와 적응 지표로는 통계청과 질병관리본부에서 제공하는 자료를 주로 사용하였고, 노출 지표로는 기상청에서 제공하는 기상자료를 사용하였다. 선정된 지표 자료들의 처리 및 구축에는 ESRI에서 개발된 ArcGIS 9.3 프로그램을 사용하였다.

#### 2.3.1 민감도

지표피복별 열적관성은 낮에 태양으로부터 같은 열량을 받더라도 지표피복의 성질에 따라 기온의 상승률이 다르다는 점에서 착안하여 폭염 취약성 평가 지표로 선정되었다. Landsberg[3]에 따르면, 도시 거주가 폭염현상으로 인한 건강피해의 매우 중요한 위험 요인이라 하였다. 도심지 열섬효과로 인한 열적 스트레스의 증가가 그 원인이다. 또한 폭염이 발생했을 때, 도시 지역과 전원 지역 간의 사망률에 차이가 발생한다는 것을 확인하였다[12]. 지표피복별 열적관성은 환경부에서 제공하는 대분류 토지피복자료(GC-LULC)를 기반으로 선행연구[23]

표 1. 취약성 평가에 사용된 민감도, 적응, 노출 지표 자료

기준	지표	부문				기간		출처
		(a)	(b)	(c)	(d)	현재	미래	
민감도 (SI)	지표피복별 열적관성	○				2004	2004	환경부
	65세이상 노인인구비율	○	○		○	2010	2030	통계청
	인구밀도	○	○	○	○	2010	2030	통계청
	20-64세 인구비율			○		2010	2010	통계청
	순환기계통 질환 사망률	○	○			2000~2008	2000~2008	통계청
	호흡기계통 질환 사망률	○	○			2000~2008	2000~2008	통계청
	에어컨보유비율	○				2002	2002	통계청
	자동차등록대수		○			2008	2008	통계청
	농경지분포 비율				○	2005	2005	통계청
	농업인구 비율				○	2005	2005	통계청
	말라리아 발생률			○		2005~2010	2005~2010	CDC*
쯔쯔가무시증 발생률				○	2005~2010	2005~2010	CDC*	
적응능력 (AI)	10만명당 의료기관수	○	○	○	○	2008	2008	통계청
	천명당 의료종사자수	○	○	○	○	2008	2008	통계청
	재정자주도	○	○	○	○	2008	2008	통계청
노출 (EI)	7,8월 일최고열지수	○				1989~2008	2031~2050	기상청
	일최고기온	○	○			1989~2008	2031~2050	기상청
	상대습도		○			1989~2008	2031~2050	기상청
	풍속		○			1989~2008	1989~2008	기상청
	일사량		○			1989~2008	1989~2008	기상청
	7,8월 일평균기온			○		1971~2008	2021~2050	기상청
	10,11월 일최저기온				○	1971~2008	2021~2050	기상청

(a) 폭염, (b) 오존, (c) 말라리아, (d) 쯔쯔가무시증

\*CDC: 질병관리본부

에서 설정된 값을 사용하였다. 열적관성이 크면 폭염과 같은 극심한 온도변화에 민감하지 않은 것이므로 피복별 값에 역수를 취하여 표준화하였다.

인구 자료로 65세 이상 노인인구비율이 취약성 평가 지표로 사용되었다. 노인과 어린이들은 폭염에 취약한 것으로 나타나는데, 특히 65세 이상으로 연령이 증가할수록 고온과 대기오염 물질에 의한 건강 피해가 증가하는 것으로 나타났다[7, 12]. 우리나라에서도 1994년 폭염 발생시 65세 이상 노인 계층에서 사망자가 급증하는 연구 결과가 있다[29]. 또한 65세 이상 노령인구는 쯔쯔가무시증에도 취약한 것으로 나타났다. 그리고 말라리아는 20~64세의 외부활동이 높은 연령대에서 빈번히 발생하는 것으로 나타나 민감도 지표로 20~64세 인구비율을 선정하였다[27]. 인구밀도는 건강 피해가 직접적으로 인간

에게 나타난다는 것을 반영하기 위해 민감도 지표로 선정하였다. 인구 지표 자료는 2010년의 248개 시군구별 통계자료를 기반으로 구축되었다.

지역에 따른 심혈관 및 호흡기 질환자 사망률도 민감도 지표로 사용되었다. 심혈관 질환자의 경우 폭염 발생시 병원 내원율이 증가하고 21.5°C 이상의 기온에서 심혈관계 질환으로 인한 사망자수가 3% 증가하게 된다[10, 12]. 또한 폭염 발생시 호흡기 질환자의 사망자수 또한 평일에 비해 5.5% 증가하는 것으로 연구되었다[10]. 또한 고농도 오존으로 인한 사망률 증가는 호흡기 질환자에서 높게 나타나고, 특히 만성 심장 질환이나 폐질환이 있는 민감 집단에 영향을 미친다[25]. 심혈관 및 호흡기 질환자 사망률 자료는 2008년의 16개 시도별 통계자료를 이용하여 구축하였다.

표 2. 폭염특보 단계 기준 및 단계별 건강영향

등급	일최고기온(°C)	열지수(°C)	건강 영향	가중치
안전	≤30.9	≤27	열에 의한 물리적 증상 없음	1
주의	≥30.9	≥27	외부 활동시 장기간 노출되면 열피로 발생	2
매우주의	≥32.73	≥32	이 조건에 장기간 노출되면 외부 활동시 일사병, 열경련 그리고 열기절이 압박	3
위험	≥34.83	≥41	이 조건에 장기간 노출되면 외부 활동시 일사병, 열경련 그리고 열기절이 쉽게 발생	4
매우위험	≥37.1	≥54	일사병 또는 일사병이 압박한 상태	5

Semenza 등[6]의 연구에 따르면, 경제적 이유로 냉방장치를 갖지 못하는 조건에 사는 경우도 고온에 취약한 것으로 나타났다. 따라서 지역별 에어컨 보유비율을 민감도로 선정하였다. 에어컨 보유비율도 열적관성처럼 값이 높을수록 폭염에 민감하지 않으므로 역수를 취하여 표준화하였다.

오존에 의한 건강 취약성 평가에서 오존의 근원 물질인 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>를 방출하는 주요 배출원은 자동차이므로 이를 정량화하기 위하여 2008년의 248개 시군구별 자동차 등록대수를 민감도 지표로 이용하였다. 그리고 말라리아와 쯤쯤가무시증 취약성 평가에는 질병관리본부에서 취득된 2005년부터 2010년까지의 시군구별 질병 발생률을 평균화하여 민감도 지표로 사용하였다. 공우석 등[14]의 연구에 따르면, 농경지 주변의 들쥐류가 질병을 일으킬 가능성이 높으며, 쯤쯤가무시증 발생과 관련되어 있다고 하였다. 이는 털진드기에 의해 전파되는 쯤쯤가무시증의 숙주는 설치류이고, 우리나라에서 야생들쥐의 74%를 차지하는 등줄쥐가 농경지와 낮은 야산에서 서식하고 있기 때문이다[19]. 따라서 쯤쯤가무시증은 농업종사자와 농경지 근처에 거주하는 주민들에게 빈번하게 나타나므로 민감도 지표로 지역별 농경지 분포 비율과 농업인구 비율을 선정하였다. 농경지 비율과 농업인구 비율은 2005년의 248개 시군구별 농업 통계자료를 이용하였다.

### 2.3.2 적응능력

적응능력은 지역에 따른 사회경제적 요인 및 의료체계 등의 의료 인프라에 따라 달라질 수 있다. 예를 들면, 1995년 미국 시카고의 폭염 발생시 흑인 거주지역의 사망률이 백인 거주지역보다 50%가 더 높았던 것으로 나타났다[7]. 본 연구에서는 건강위험 요인에 대한 적응 및 대처능력을 정량화하기 위

하여 10만 명당 의료기관 수와 천명당 의료종사자수를 지역별 의료능력을 지표 자료로 사용하였고, 지역별 재정자주도는 지역에 따른 경제능력을 정량화하는 지표로 사용하였다. 10만 명당 의료기관수와 천명당 의료종사자수는 2008년의 248개 시군구별 통계자료를 이용하였고, 재정자주도는 2008년의 164개 시군구별 통계자료를 이용하였다.

### 2.3.3 노출

폭염의 노출 지표로는 우리나라의 폭염특보기준 단계를 기반으로 하여 지역에 따른 폭염발생 빈도와 강도를 수치화하여 사용하였다. 폭염 특보단계는 일최고기온과 일최고열지수의 범위를 이용하여 설정되었으며 총 5단계로 나누어진다[21]. 첫 번째인 안전 단계는 일최고기온이 30.9°C 이하이고 일최고열지수가 27°C 이하를 동시에 만족하는 단계이며 폭염특보가 발효가 시작되는 두 번째 단계인 주의는 일최고기온이 30.9°C에서 32.73°C를 만족하고 일최고열지수가 27°C에서 32°C를 만족할 경우를 말한다. 위와 같은 방식으로 매우주의, 위험, 매우위험 단계가 표 2와 같이 설정되어 있다.

폭염 특보의 기준이 되는 일최고열지수를 계산하기 위하여 기상청에서 관측한 1989년부터 2008년까지의 7, 8월 일최고기온과 일평균상대습도 사용하였다. 열지수(heat index)는 무더위를 정량화하기 위해 Steadman의 Apparent Temperature을 향상시켜 미국 기후국(National Weather Service)에서 1990년 이래로 사용하고 있는 지수로 평상복을 입고 있는 보통의 인체 모델이 가볍게 그늘에서 걸어가면서 주변 환경과 열 교환하는 양을 계산하여 기온과 상대 습도의 두 인자로 요약한 체감 온도 지수이다[8](식 3). 그러므로 우리나라와 같이 여름철에 기온뿐만 아니라 습도가 높은 문순기후지역에 적합하

무더위 지수이다[29].

$$HI = [1 \ T \ T^2 \ T^3] \begin{bmatrix} 16.923 & 5.37941 & 7.2898 \times 10^{-3} & 2.91583 \times 10^{-5} \\ 1.85212 \times 10^{-1} & -1.00254 \times 10^{-1} & -8.14971 \times 10^{-4} & 1.97483 \times 10^{-7} \\ 9.41695 \times 10^{-3} & 3.45372 \times 10^{-4} & 1.02102 \times 10^{-5} & 8.43296 \times 10^{-10} \\ -3.8646 \times 10^{-5} & 1.42721 \times 10^{-6} & -2.18429 \times 10^{-8} & -4.81975 \times 10^{-11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ R \\ R^2 \\ R^3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

- HI = Heat index(in degrees celsius)
- T = ambient dry-bulb temperature(in degrees Fahrenheit)
- R = relative humidity( in percent)

열지수를 계산하기 위해 필요한 일최고기온과 상대습도 자료는 75개 기상 관측소에서 측정된 점자료를 공간으로 확대하기 위하여 보간법을 사용해 처리되었다. 이때 일최고기온 자료는 윤진일 등[22]에 의해 제안된 기온감율식(식 5)을 적용한 뒤에 Kriging 보간 방법을 사용하였고, 상대습도 자료는 IDW(Inverse distance weighted) 방법을 사용하였다[29].

$$|I| = 0.00688 + 0.0015 \cos 0.0172(i - 60) \quad (4)$$

$$|I| = 0.00708 + 0.003 \cos 0.0172(i - 120) \quad (5)$$

$$|I| = 0.00695 + 0.0013 \cos 0.0172(i - 30) \quad (6)$$

$$T = T_i + Elevation(m) \times |I|$$

- |I| : 최고기온감율 절대값
- i : 연중날짜(1월 1일 =1, 12월 31일 =365)

취약성 평가 단위인 1km 격자에서의 폭염발생 빈도와 강도를 정량화한 노출지표 계산에는 식 7을 이용하였다. 표 2에서와 같이 각 폭염특보 단계마다 가중치를 적용하여 폭염 발생의 빈도와 강도를 동시에 고려하였다. 노출지수인 EI의 범위는 최대 310 이고 최소 62이다.

$$EI = \frac{\sum_{n=1}^k (A_n + 2B_n + 3C_n + 4D_n + 5E_n)}{k} \quad (7)$$

- $A_n + B_n + C_n + D_n + E_n = 62$ , k : 평가기간 연도수
- $X_n$  : n년도 7,8월의 X 단계 일수

오존은 기온, 일사량, 풍속에 따라서 발생률과 정주시간이 달라지므로 이런 기상조건에 따라 노출

지표를 도출하였다. 고농도 오존이 발생하기 쉬운 조건으로는 지상의 평균 풍속이 3m/s 미만으로 바람이 약하며, 기온이 평년보다 높고, 최고기온이 25℃ 이상으로 높으며, 일출 후 정오까지의 총 일사량이 6.4 MJ/m<sup>2</sup> 이상으로 많은 경우를 말한다[34]. 이를 기준으로 하여 오존이 빈번하게 발생하는 4월에서 9월까지의 기후자료(일최고기온, 상대습도, 풍속, 일사량)를 이용하여 고농도 오존이 나타난 기상 조건 4가지를 모두 만족하는 일수를 1km 격자별로 계산하여 나타냈다. 일최고기온과 상대습도, 풍속, 일사량 점자료는 폭염 노출 지표와 동일한 보간 방법을 이용해 구축하였다. 본 연구에서는 1989년부터 2008년까지의 20년 동안 연별 평균일수를 구한 뒤 지수화를 실시하여 노출 지표로 사용하였다.

기온이 증가하면 말라리아를 일으키는 모기의 성충이 되는 기간을 단축시켜, 알에서 번데기를 거쳐 성충이 되는 기간이 12℃에서 22.8일이 걸리나 29℃에서는 7.7일이 걸리는 것으로 나타났다[13]. 이처럼 기온이 높아질수록 성충이 되는 기간이 단축되어 모기의 개체 수가 증가하며, 말라리아에 전염될 가능성이 매우 높아지게 된다[11]. 우리나라도 7,8월에 휴전선 부근과 강화도에서 말라리아가 다수 발생하는 것으로 보고되고 있다[27]. 말라리아의 노출 지수는 위와 같은 연구를 바탕으로 지역에 따른 7,8월 평균기온 및 7,8월 평균기온의 상승률을 고려하여 노출 지표로 사용하였다. 75개 일평균기온 점자료는 기온감율식(식 4)을 적용하여 보간되었다.

최저기온은 기후요인 중 진드기 매개 전염병의 발생에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로, 낮 기온의 증가보다 밤 기온의 상승 즉 최저기온의 상승이 진드기매개 질병의 발병과 관련 있는 것으로 나타났다[1, 9]. 우리나라는 10,11월에 쯔쯔가무시증의 발생이 많은 것으로 보고되고 있다[27]. 또한 쯔쯔가무시증은 경제 발전으로 생활 환경이 개선되고 있음에도 발병자수가 계속적으로 증가하는 질병으로 기후변화가 밀접하게 관련되어 있을 것이라 생각되고 있다. 쯔쯔가무시증의 노출 지표는 위의 연구를 바탕으로 지역에 따른 10,11월 최저기온 및 10,11월 최저기온의 상승률을 고려하여 노출인자로 사용하였다. 75개 일최저기온 점자료도 기온감율식(식 6)을 적용하여 보간하였다.

## 2.4 미래 예측자료

미래 예측자료로는 주로 기상 예측자료가 사용되었다. 그리고 통계 예측자료는 취득이 가능한 지표의 경우 미래자료를 가공하여 이용하였고, 취득이 어렵거나 신뢰성이 낮은 예측자료의 경우에는 현재 지표값을 그대로 적용하였다. 미래 예측 통계 자료로는 2030년의 16개 주요 시도별 인구자료와 노인 인구자료를 사용하였고, 나머지 지표에 대해서는 현재 값을 그대로 적용하였다. 미래 노출 지표 자료 생성에 이용되는 미래 기상자료는 국립기상연구소에서 2008년에 제공된 기후변화자료로서 미국 국립기상연구센터와 펜실베이니아 주립대학에서 공동 개발한 지역기후모델인 MM5(전지구결합모델인 ECHO-G)로부터 산출된 2021년부터 2050년까지의 A1B 시

나리오에 의한 월별 기온 및 상대습도의 편차를 이용하였다[28]. 이 자료를 기반으로 가공된 2031년부터 2050년까지 기온은 평균 1.4℃ 정도 상승하였고, 상대습도는 평균 0.07% 증가하는 것으로 나타났다. 지역별로 살펴보면 기온의 경우 전라도 지역이 가장 높은 상승률을 보였고 강원도와 경상도는 상대적으로 낮게 나타났다. 상대습도는 강원도지역에서 증가하였지만 전라도와 충청도 일부지역에서 상대습도가 오히려 감소하는 경향을 보였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 지표자료

지표피복별 열적관성 값은 대부분의 도심지에서 낮게 나타났으며, 상대적으로 산림이나 농경지는 높

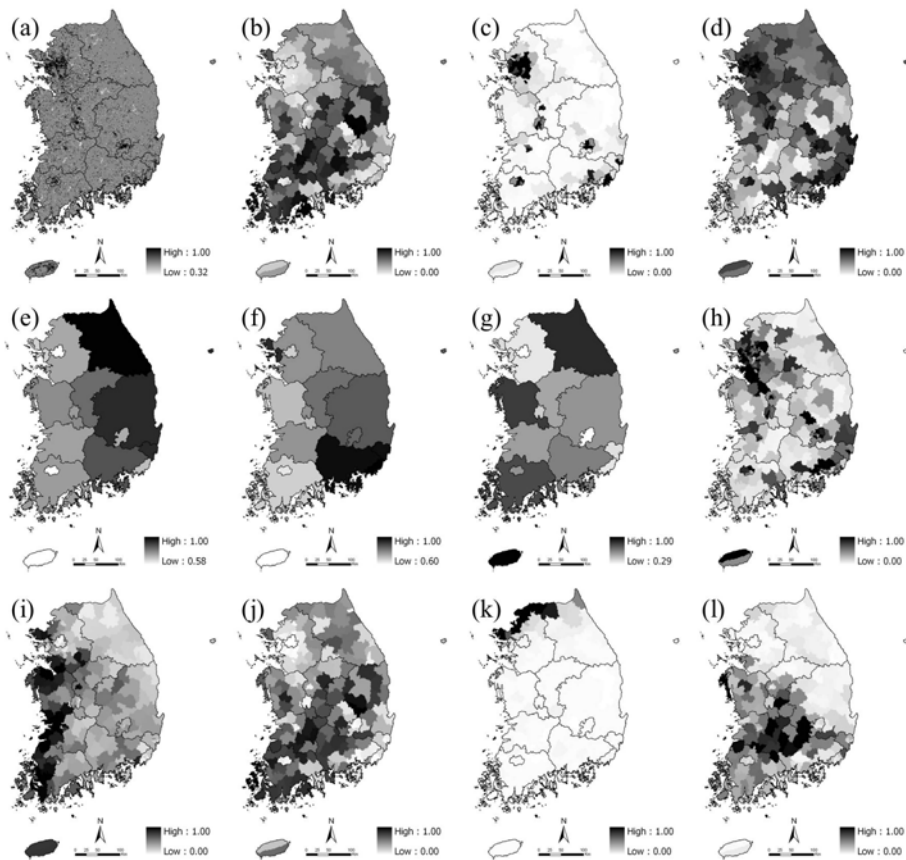


그림 2. 표준화된 민감도 지표의 공간분포 지도.

- (a) 열적관성, (b) 65세 이상 노인인구비율, (c) 인구밀도, (d) 20-64세 인구비율, (e) 순환기 질환자 사망률, (f) 호흡기 질환자 사망률, (g) 에어컨 보유비율, (h) 자동차 등록대수, (i) 농경지 분포비율, (j) 농업인구 비율, (k) 말라리아 발생률, (l) 찻잎가무시증 발생률

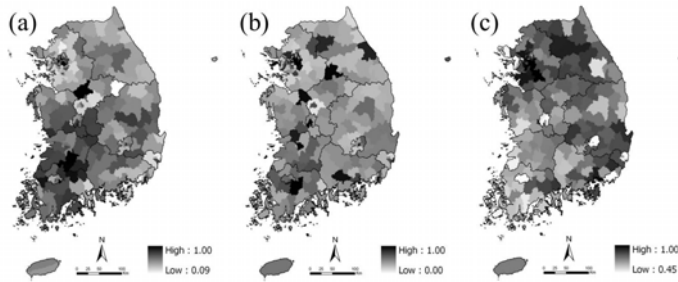


그림 3. 표준화된 적응 지표의 공간분포 지도.  
(a) 의료기관 수, (b) 의료종사자수, (c) 재정부주도

왔다. 이것은 도심지에서 열섬효과가 쉽게 나타날 수 있다는 것을 설명한다(그림 2a). 20~64세 인구 비율은 서울과 경기도를 포함하는 대도시권에서 높게 나타났고, 65세 이상 노인인구 비율은 그 외의 농촌 지역에서 높게 나타났다(그림 2b, d). 예측된 2030년의 65세 이상 노인인구비율은 전라남도가 가장 높았고, 경기도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 인구 밀도는 서울을 포함하는 대도시 지역에서 매우 높게 나타났으며(그림 2c), 2030년의 인구밀도 또한 서울을 포함한 수도권 지역이 높게 나타났고, 강원도는 낮았다. 순환기 질환자 사망률이 제일 높은 곳은 부산 지역이었으며, 제주도가 가장 낮았다(그림 2e). 호흡기 질환자 사망률은 강원도가 가장 높았고, 제주도가 가장 낮은 것으로 드러났다(그림 2f). 에어컨 보유비율은 대구 지역이 61%로 가장 높은 것으로 나타났으며, 강원도와 제주도가 각각 20%, 18%로 보유 비율이 낮은 것으로 나타났다(그림 2g). 자동차 등록대수는 수도권을 비롯한 대도시 지역에서 높게 나타났고, 농경지 분포 비율은 충청도와 전라도의 해안지방에서 높게 나타났다(그림 2h, i). 농업 인구 비율은 대도시권을 제외한 농촌

지역에서 높게 나타났다. 그림 2b와 j를 보면, 농업 인구비율과 노인인구비율의 분포패턴이 비슷하게 나타나, 농업인구의 노령화가 심각한 것으로 분석되었다. 말라리아 발생률은 경기도와 강원도 북부의 군사분계선 근방에서 높게 나타나 지역 특이성이 매우 큰 것으로 드러났고, 쯤쯤가무시증은 농경지가 많이 분포하는 전라와 충청권에서 많이 발생하는 것으로 나타났다(그림 2k, l).

적응 지표로 사용된 십만 명당 의료기관 수는 서울과 전라도 지역이 높게 나타났고, 경기 지역이 낮게 나타났(그림 3a). 이는 교통의 발달로 경기 지역의 의료수요자가 서울로의 이동이 쉬워지면서 경기도 자체의 의료서비스 공급이 불필요하게 되어 나타난 현상으로 생각된다. 천 명당 의료종사자 수는 서울과 전라도 지역이 높았고, 그 외의 지역은 분포가 랜덤하게 나타났다(그림 3b). 재정부주도는 서울과 경기 지방이 높게 나타났(그림 3c).

폭염의 노출 지표 값은 지역에 따라 62에서 127까지의 범위로 분포하였으며, 평균값은 84.54로 나타났다고, 미래 노출 지표 값은 최소 62에서 최대 157이었으며 평균 105.87로 현재 노출 지표 값에 비해

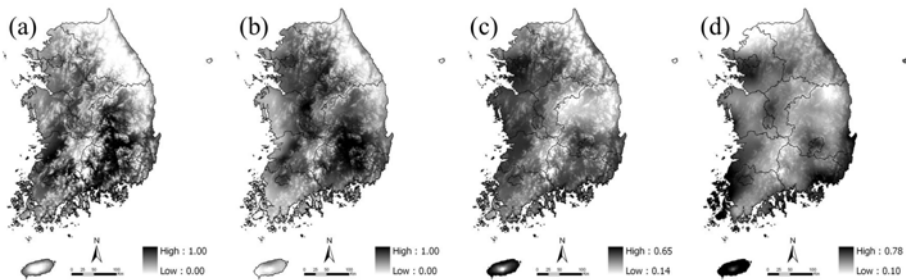


그림 4. 표준화된 노출 지표의 공간분포 지도  
(a) 폭염, (b) 오존, (c) 말라리아, (d) 쯤쯤가무시증



약 21 정도 높았다. 오존의 노출지표로 사용된 고농도 오존이 나타나는 기상조건을 만족하는 일수는 전국 평균 현재 89일에서 미래에는 97일로 증가하는 것으로 나타났다. 말라리아와 쯔쯔가무시증의 노출 지표 값은 지역에 따라 기온과 상승률이 다른 것으로 나타났다.

### 3.2 취약성 평가 결과

폭염에 의한 건강 취약성 평가 결과, 경상도와 전라도에 위치하고 있는 남부 지방의 저지대가 북부 지방에 비해 취약성이 높은 것으로 나타났다(그림 5a). 특히, 대구분지와 그 주변지역의 취약성이 전라도 해안지방에 비해 높게 나타났다. 미래에는 내륙의 평야지대에서 낮은 산지로 그리고 남부 지방에서 중부지방으로 취약성이 증가하는 것으로 나타났다. 영남 내륙 지방에 비해 호남 지방의 취약성 증가율이 높은 것으로 나타났다(그림 5b). 그 이유는 예측자료로 사용된 미래 최고기온의 상승률이 동남권에 비하여 서남권이 높고, 전라도의 노인인구 비율 증가가 두드러지게 나타나기 때문이다.

오존에 의한 건강 취약성 평가 결과, 지역별로는

대구분지 주변이 다른 지역에 비해 높게 나타났으며, 자동차 등록대수가 많은 서울을 포함한 6개 광역 대도시권에서 높게 나타났다(그림 5c). 대구 지역은 다른 지역에 비해 자동차 수가 많고, 분지 지형으로 인해 바람이 상대적으로 적게 불어 고농도 오존에 의한 피해가 증가될 수 있다. 반면 바람이 많이 불어 대기오염 물질의 농도를 낮출 수 있는 해안지방은 취약성이 낮게 나타났다. 미래에는 취약지역이 내륙 지방에서 해안 지방으로 확대되어 높아지는 경향을 볼 수 있다(그림 5d). 미래 최고기온의 증가는 고농도 오존이 나타날 수 있는 일수를 증가시키고, 전체적으로 취약성을 증가시켰다.

말라리아에 의한 건강 취약성 평가 결과, 군사분계선 근방에 위치한 철원군, 연천군 및 강화도에서 높게 나타났으며, 그 외에도 해발고도가 높은 산림 지역보다는 저지대의 농촌 지역에서 높은 것으로 나타났다(그림 5e). 미래에는 취약성이 높은 지역이 기존 지역에서 주변으로 확대되는 경향을 볼 수 있었다(그림 5f). 이는 기온의 상승으로 인해 모기의 서식처가 증가하기 때문이라고 생각한다.

쯔쯔가무시증에 의한 건강 취약성 평가 결과, 농

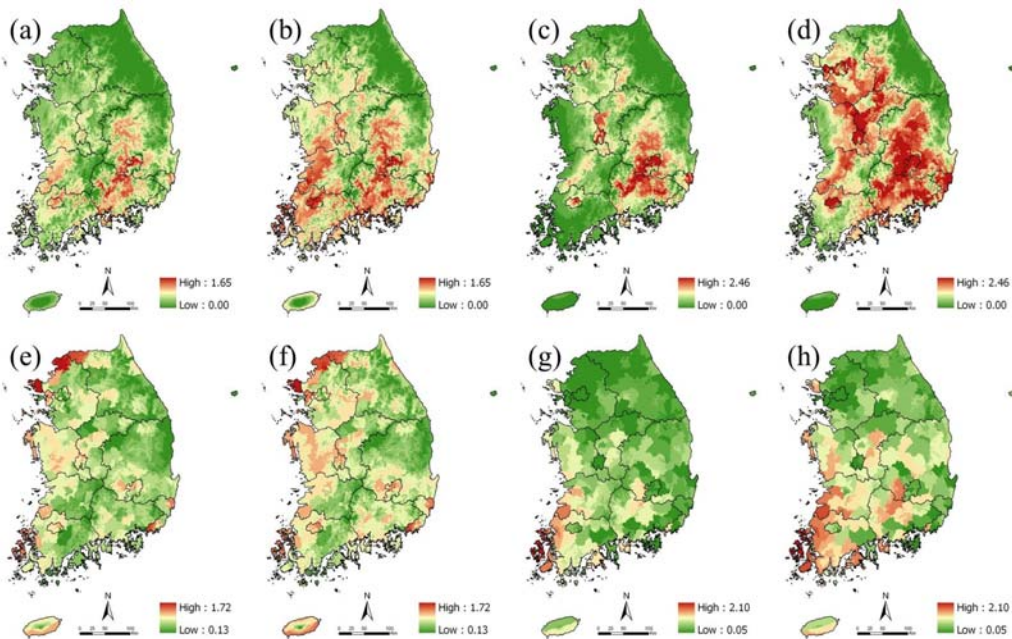


그림 5. 취약성 평가 결과 지도. 폭염에 의한 건강 취약성

((a)현재, (b)미래), 오존에 의한 건강 취약성((c)현재, (d)미래), 말라리아에 의한 건강 취약성 ((e)현재, (f)미래), 쯔쯔가무시증에 의한 건강 취약성((g)현재, (h)미래)

경지 분포와 농업 인구가 많은 전라도의 해안지방이 다른 지역에 비해 취약성이 높은 것으로 나타났다(그림 5g). 미래에는 취약지역이 남부 지방에서 중부 지방으로 그리고 해안 지방에서 내륙지방으로 확대되는 것을 볼 수 있었다. 이는 기온의 상승으로 진드기의 생육 범위가 중부 지방으로 확대되기 때문이다(그림 5h).

#### 4. 결론

본 연구에서는 기후변화 취약성 개념을 이용하여 기후변화로 인한 건강 취약성 평가 방법을 제시하였고, 취약한 지역을 1km 해상도로 구분해냈다. 이를 위하여 각 세부 부문별로 건강 피해에 영향을 미칠 수 있는 다양한 지표 자료들을 선정하였고, 국가 기관에서 보유하고 있는 통계자료 및 기후자료를 수집하였다. 수집된 지표 자료와 GIS 공간처리 기법을 이용하여 전처리 및 자료 통합을 실시하였고, 취약성 평가 결과를 도출하였다. 평가 결과, 폭염과 오존에 의한 건강 취약성은 남부지방의 분지 지형에서 높았고, 미래에는 내륙 평지에서 낮은 산간지역으로 그리고 남부 지방에서 중부 지방으로 취약성이 증가하였다. 말라리아와 쓰쓰가무시증에 의한 건강 취약성은 유병율이 높은 지역에 따라 지역 특이적으로 나타났으며, 두 전염병 모두 미래에 취약한 지역이 확대되는 경향을 볼 수 있었다. 공통적으로 기온의 증가는 모든 부문의 건강 취약성을 증가시키는 것으로 드러났다. 본 연구를 통해 얻어진 취약성 평가 결과는 기후변화로 인한 건강피해를 예방하기 위해 실시되는 지역별 의료체계 개선 및 의료 인프라 구축, 생활환경 개선 등을 위한 기초 정보로 활용될 수 있을 것이다.

현재 우리나라 환경부는 지자체의 기후변화 적응 계획 수립을 지원하기 위하여 국립환경과학원에서 개발한 취약성 평가 도구 프로그램인 CCGIS를 이용하여 건강 부문의 취약성 지도를 생산하고 있다 [16]. 이 연구는 다양한 건강 세부 부문에 대해 취약성을 평가하고 지표자료들에 가중치를 적용하였다는 장점이 있다. 하지만 평가 결과가 시군구별로 도출되어 16개 광역시도 수준의 적응계획 수립 지원에는 적합하나, 하나의 시군 내에서의 취약 지역 구분이 불가능하다는 단점이 있다. 또한 기후노출 지수로 사용된 기상 값은 지형에 따라 크게 변화하

지만, 이러한 변화 양상을 고려하지 못했다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 지형적 요인을 고려하고, 하나의 시군 내에서의 차이를 두기 위하여, 고도에 따른 기온 감율을 적용시키고 1km 해상도의 노출 지표를 생성하여 취약성 평가를 실시하였다는데 의의가 있다.

취약성 평가에 사용된 지표 자료들의 존재 유무와 자료의 해상도는 취약성 평가 결과의 신뢰성과 활용성에 영향을 미칠 수 있다. 건강 부문의 취약성 평가는 다른 부문에 비해 연령대, 사회적 고립정도, 질환자 비율 등 다양한 인구학적 데이터가 필요하며, 본 연구의 지표자료로 사용하진 않았지만, 폭염으로 인한 건강 취약성 평가에 큰 요인이 될 수 있는 독거 노인비율과 같은 통계 수치가 필요하다. 향후에는 국가 통계 지표 개발 사업을 통해 취약성 평가를 위한 새로운 통계 자료의 생성과 시군구 단위뿐만 아니라 동리로 세분화된 통계 자료의 제작이 필요하다. 또한 평가 지표로 사용된 다양한 통계치를 기반으로 AHP기법, 델파이 조사, 사례-대조 연구(case-control study)를 적용하여 건강 영향 평가를 실시하고 지표별 가중치를 산정하여 적용해야 한다. 또는 초과사망률과 각각 지표 값들 간에 다중 회귀분석 등을 실시하고 회귀모형을 만들어 적용하는 것도 필요하다. 또한 향후 연구에서는 노출 지표 생성시 단순한 연산이 아닌 부문별로 전문적인 모형을 적용해야 한다고 생각한다. 폭염 취약성 평가시, 본 연구에서 노출 지표로 최고기온과 습도를 고려한 인체 열순환 모형인 열지수를 이용하여 평가하였으나, 이는 서양인을 대상으로 개발된 지수이고 연령에 따른 차이를 고려하지 않으므로, 이는 향후 연령별, 지역별, 인종별 차이를 고려할 수 있는 새로운 모형으로 대체되어야 한다. 또한 본 연구에서는 오존에 의한 건강 취약성 평가시, 고농도 오존이 발생할 수 있는 기상조건이 나타나는 빈도를 이용하여 노출 지표로 이용하였으나, 향후에는 차량 통행량이 많은 도로로부터 오존이 발생하여 주변지역까지 얼마나 어떻게 확산되는지를 모의할 수 있는 모형을 이용해야 한다. 또한 오존뿐만 아니라 일산화질소나 아황산가스, 인체 위해화학가스 등 다양한 오염물질별 노출 영향을 고려한 취약성 평가를 실시해야 한다. 마지막으로 매개질환 전염병에 대한 취약성 평가시, 질환을 매개하는 숙주의 생태에 관련된 생물기상학에 대한 정보가 축적되고 활용되어

야 할 것이다.

또한, 본 연구에서는 미래 취약성 평가를 위해 A1B 시나리오에 따른 해상도 27km인 전구 규모의 월별 기상 예측자료를 사용했다. 하지만, 현재 기상청에서는 새로운 RCP 시나리오에 따라 1km 고해상도의 일별 기상예측자료를 생산하고 배포할 예정이다[15]. 향후 이러한 고해상도의 미래 기상예측자료를 이용하면, 좀 더 정확도 높은 취약성 평가가 가능할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. R. Easterling, B. Horton, P. D. Jones, T. C. Peterson, T. R. Karl, D. E. Parker, M. J. Salinger, V. Razuvayev, N. Plummer, and P. Jamason, 1997, "Maximum and minimum temperature trends for the globe," *Science*, vol. 277, no. 5324, p. 364.
- [2] D. Tilman, J. Fargione, B. Wolff, C. D'Antonio, A. Dobson, R. Howarth, D. Schindler, W. H. Schlesinger, D. Simberloff, and D. Swackhamer, 2001, "Forecasting agriculturally driven global environmental change," *Science*, vol. 292, no. 5515, p. 281.
- [3] H. E. Landsberg, 1981, *The Urban Climate*. New York Academic Press.
- [4] H. M. Fussel, and R. J. T. Klein, 2006, "Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking," *Climate Change*, vol. 75, no. 3, pp. 301-329.
- [5] IPCC, 2007, *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Impact, Adaptation & Vulnerability*.
- [6] J. C. Semenza, C. H. Rubin, K. H. Falter, J. D. Selanikio, W. D. Flanders, and J. L. Howe Wilhelm, 1996, "Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago," *The New England Journal of Medicine*, vol. 335, pp. 84-90.
- [7] J. H. Greenberg, J. Bromberg, C. M. Reed, T. L. Gustafson, and R. A. Beauchamp, 1983, "The epidemiology of heat-related deaths, Texas-1950, 1970-79, and 1980," *American Journal of Public Health*, vol. 73, pp. 805-807.
- [8] L. P. Rothfus, 1990, *The heat index equation (or more than you ever wanted to know about heat index)*, NWS Southern Region Technical Attachment, SR/SSD-90-23, Fort Worth, TX:1-2.
- [9] R. T. Watson, M. C. Zinyowera, and R. H. Moss, 1998, *The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability*, Cambridge Univ. Press.
- [10] S. Hajat, R. S. Kovats, R. W. Atkinson, and A. Haines, 2002, "Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach," *The journal of Epidemiology Community Health*, vol. 56, pp. 367-372.
- [11] S. W. Lindsay, and M. H. Birley, 1996, "Climate change and malaria transmission," *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, vol. 90, no. 6, pp. 573-588.
- [12] T. S. Jones, A. P. Liang, and E. M. Kilbourne, 1982, "Morbidity and mortality associated with the July 1980 heat wave in St. Louis and Kansas City," *The journal of the American Medical Association*, vol. 247, pp. 3327-3331.
- [13] W. N. Rom, 1998, *Environmental and Occupational Medicine*, Harvard Univ. Press
- [14] 공우석, 신이현, 이희일, 황태성, 김현희, 이난영, 성지혜, 이슬기, 윤광희, 2007, "뜨뜨가무시증의 시,공간적 분포와 환경생태 요인," *대한지리학회지*, 제42권, 제6호, pp. 835-958.
- [15] 국립기상연구소, 2011, IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011.
- [16] 국립환경과학원, 2012, 지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도 - 총괄/요약보고서-.
- [17] 김동진, 2009, "기후변화에 따른 전염병관리 분야 적응대책," *보건복지포럼*, 제154호, pp. 23-38.
- [18] 김소연, 2004, *기후변화로 인한 여름철 흑서현상이 사망률에 미치는 영향*, 아주대학교 의학박사학위 논문.
- [19] 류성호, 송양숙, 정수용, 문성실, 송진원, 송기준, 박광숙, 2003, "한국 야생들쥐의 *Orientia tsutsugamushi* 감염에 대한 역학적 조사," *대한미생물학회지*, 제33권, 제2호, pp. 131-137.

- [20] 박선민, 이우균, 권태협, 이버들, 손요환, 조용성, 2011, "GIS 기반 공간정보를 이용한 해양부문의 기후변화 취약성 평가," 한국공간정보학회지, 제19권, 제3호, pp. 1-9.
- [21] 박종길, 정우식, 김은별, 최효진, 2006, 폭염특보에 관한 연구 (1), 기상청.
- [22] 윤진일, 최재연, 안재훈, 2001, "일별 국지기온 결정에 미치는 관측지점 표고영향의 계절변동," 한국농림기상학회지, 제3권, 제2호, pp. 96-104.
- [23] 이현주, 이귀옥, 원경미, 이화운, 2009, "최신토지 피복자료를 이용한 대구시의 열환경 수치모의," 한국대기환경학회지, 제25권, 제3호, pp. 196-210.
- [24] 장재연, 조승현, 2003, 한반도 기후변화 영향평가 및 적응 프로그램 마련, 환경부.
- [25] 장재연, 박윤희, 2008, 기후변화에 따른 건강피해 모니터링 및 위험인구 감소전략 개발 연구, 보건복지가족부.
- [26] 정지웅, 이우균, 최계선, 이상철, 최성호, 최현아, 2010, "수자원 기후변화 취약성 평가모형의 공간 및 유역규모별 적용 연구," 한국기후변화학회지, 제1권, 제1호, pp. 21-30.
- [27] 질병관리본부, 2010, 한국의 기후변화 건강영향과 적응대책.
- [28] 차유미, 이효신, 문자연, 권원태, 부경운, 2007, "ECHO-G/S를 활용한 미래 동아시아 기후 전망," 대기, 제17권, pp. 55-68.
- [29] 최광용, 최종남, 권호장, 2005, "높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000," 예방의학회지, 제38권, 제3호, pp. 283-290.
- [30] 최광호, 2008, "기후변화 영향과 향후 적응대책방안에 대한 소고," 환경영향평가, 제17권, 제3호, pp. 201-212.
- [31] 최종근, 2007, 지구통계학, 시그마프레스.
- [32] 최현아, 이우균, 곽한빈, 최성호, 변재균, 유성진, Guishan Cui, 2009, "시공간정보기반 기후변화 취약성 평가," 한국공간정보시스템학회지, 제11권, 제3호, pp. 63-69.
- [33] 한화진, 안소은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만, 2007, 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축III, 한국환경정책평가연구원.
- [34] 환경부, 2001, 오존 오염의 현황과 대응방안.

- [35] 환경부, 2010, 저탄소 녹색성장 기본법 시행에 따른 국가 기후변화 적응대책 2011~2015.

논문접수 : 2012.02.03

수정일 : 2012.03.14

심사완료 : 2012.04.16



유성진

2009년 고려대학교 환경생태공학부  
학사

2011년 고려대학교 환경생태공학과  
석사

2011년~현재 고려대학교 환경GIS/RS

센터 연구원

관심분야는 산림탄소모델, GIS/RS, 기후변화



이우균

1993년 (독)피팅겐대학교 임학박사

1999년 고려대학교 산림자원환경학과  
조교수

2001년 고려대학교 산림자원환경학과  
부교수

2004년~현재 고려대학교 생명환경과학대학 환경생태  
공학부 교수

관심분야는 산림경영계획, 산림조사, 산림생장모델,  
GIS/RS



오수현

2008년 성신여자대학교 생물학과 학사

2010년~현재 고려대학교 기후환경과  
과 석사과정

관심분야는 기후변화, GIS/RS



변정연

2011년 고려대학교 환경생태공학부  
학사

2011년~현재 고려대학교 환경생태공  
학과 석사과정

관심분야는 GIS/RS, 산림모델