

## 기후변화에 따른 보건 분야의 취약성 평가: O<sub>3</sub>을 중심으로

### Vulnerability Assessment of Human Health Sector due to Climate Change: Focus on Ozone

이재범 · 이현주 · 문경정<sup>1)</sup> · 홍성철 · 김덕래 · 송창근\* · 홍유덕  
국립환경과학원 기후변화연구과, <sup>1)</sup>영산강유역환경청 측정분석과  
(2011년 8월 10일 접수, 2011년 11월 15일 수정, 2011년 12월 27일 채택)

Jae-Bum Lee, Hyun-Ju Lee, Kyung Jung Moon<sup>1)</sup>, Sung-Chul Hong,  
Deok-Rae Kim, Chang-Keun Song\* and You-Deog Hong  
*Climate Change Research Division, Climate and Air Quality Research Department,  
National Institute of Environmental Research*  
<sup>1)</sup>*Measure Analysis Division, Yeongsan River Basin Environment Office*  
(Received 10 August 2011, revised 15 November 2011, accepted 27 December 2011)

#### Abstract

Adaptation of climate change is necessary to avoid unexpected impacts of climate change caused by human activities. Vulnerability refers to the degree to which system cannot cope with impacts of climate change, encompassing physical, social and economic aspects. Therefore the quantification of climate change impacts and its vulnerability is needed to identify vulnerable regions and to setup the proper strategies for adaptation. In this study, climate change vulnerability is defined as a function of climate exposure, sensitivity, and adaptive capacity. Also, we identified regions vulnerable to ozone due to climate change in Korea using developed proxy variables of vulnerability of regional level.

18 proxy variables are selected through delphi survey to assess vulnerability over human health sector for ozone concentration change due to climate change. Also, we estimate the weighting score of proxy variables from delphi survey.

The results showed that the local regions with higher vulnerability index in the sector of human health are Seoul and Daegu, whereas regions with lower one are Jeollanam-do, Gyeonggi-do, Gwangju, Busan, Daejeon, and Gangwon-do. The regions of high level vulnerability are mainly caused by their high ozone exposure.

We also assessed future vulnerability according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report on Emissions Scenarios (SRES) A2, A1FI, A1T, A1B, B2, and B1 scenarios in 2020s, 2050s and 2100s. The results showed that vulnerability increased in all scenarios due to increased ozone concentrations. Especially vulnerability index is increased by approximately 2 times in A1FI scenarios in the 2020s.

This study could support regionally adjusted adaptation polices and the quantitative background of policy priority as providing the information on the regional vulnerability of ozone due to climate change in Korea.

**Key words** : Climate change vulnerability, Ozone, Proxy variables, Human health

---

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)32-560-7303, E-mail : cksong@korea.kr

## 1. 서 론

인간 활동으로 인해 발생된 온실가스의 증가로 기후변화가 전 지구적으로 빠르게 진행되고 있다. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 4차 평가보고서에 의하면, 21세기 말 세계 평균기온은 최대 6.4°C, 해수면은 59 cm 상승할 것으로 전망하였으며 이로 인해 해수면 상승, 가뭄과 홍수 증가, 빙하의 감소, 농작물 생산량 감소, 열파의 증가 등 기후변화로 인한 부정적 영향들이 발생될 것으로 전망하였다(IPCC, 2007).

기후변화에 대응하는 방법은 기후변화 완화(mitigation)와 기후변화 적응(adaptation)으로 구분될 수 있다. 기후변화 완화는 기후변화 유발물질인 온실가스의 배출을 감축하는 것으로, 전 지구적인 긴밀한 협력을 필요로 한다. 그러나 국가 간의 이해관계로 인해 그 실행이 쉽지 않고, 실행된다 하더라도 그 효과가 나타나기 위해서는 과거에 배출된 온실가스로 인하여 상당한 시간을 필요로 한다. 이로 인하여 기후변화는 상당한 기간 동안 지속될 것으로 보인다. 따라서 기후변화 대응을 위해서는 적응능력을 높이는 기후변화 적응이 기후변화 완화와 더불어 시급한 문제라 할 수 있다.

기후변화 적응을 위해서는 우선적으로 적응 대책 수립이 필요하다. 이를 위해서는 기후변화 취약성 평가를 통한 취약한 지역 파악 및 적응을 위한 우선순위가 도출되어야 한다(United Nations Development Program; UNDP, 2005).

기후변화 취약성 평가 방법은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 하향식(top-down) 및 상향식(bottom-up) 방법이다. 하향식 방법은 기후변화와 영향 예측부터 적응에 이르기까지, 물리적인 과정을 모델링 등을 통하여 단계적으로 분석하는 방법으로 상당한 시간과 재원이 필요하다는 단점을 지니고 있다. 이로 인해 하향식 방법은 주로 한정된 공간 범위 내에서 적응조치가 취해지기 전까지의 기후변화에 따른 영향 연구에 활용되고 있다(Shim *et al.*, 2010; Dawson *et al.*, 2005). 이에 반해 상대적으로 간단한 상향식 방법은 통계자료와 전문가들의 판단을 통해 대용변수(proxy variables)를 선정 후 취약성 지수를 산정하여 평가함에 따라 적응조치의 효과까지도 고려할 수 있으며, 다

양한 공간범위에 대해 적용이 가능하다(Füssel, 2009; KEI, 2008; Parkins and MacKendrick, 2007; Wall and Marzall, 2006; Brooks *et al.*, 2005; Brooks and Adger, 2003; Cutter *et al.*, 2003; Moss *et al.*, 2001).

취약성 평가 연구의 공간적 범위는 크게 국가와 지역으로 나누어질 수 있다. 국가간 비교 연구로는 Moss *et al.* (2001), Brooks and Adger (2003), Brooks *et al.* (2005), Füssel (2009)이 있으며, 선행 연구의 결과에 의하면 우리나라는 기후변화에 취약한 국가로 평가되고 있다. Moss *et al.* (2001)은 우리나라의 기후변화 취약성이 현재에 비해 미래에 더욱 증가할 것으로 평가한 바 있으며, Füssel (2009)은 우리나라의 생태계가 기후변화에 매우 취약한 것으로 평가한 바 있다. 한편 국내의 기후변화 적응 대책 수립을 위해 필요로 하는 국내지역 간 기후변화 취약성 평가 연구는 Choi *et al.* (2009)과 KEI (2008)가 있다. 이들 연구는 거시적인 관점의 국내지역 간 기후변화 취약성 평가를 수행하였다는 점에서 큰 의의를 지니고 있다. 그러나 부문별 적응 대책 수립을 위해서는 좀 더 세밀한 부문별 취약성 평가가 필요하다.

대기환경 분야에서는 기후변화로 인한 오존 농도 증가에 대한 적응 대책 수립이 필요하다. IPCC 2007년 보고서(IPCC, 2007)에 의하면 기후변화로 인해 미래에는 고농도 오존 발생이 증가할 것으로 전망하고 있다. 오존농도는 NO<sub>x</sub>와 VOCs와 같은 오존의 전구물질 농도뿐만 아니라 바람, 온도, 구름 및 강수와 같은 기상장에 의해서 크게 영향을 받기 때문에 기후변화에 상당히 민감하기 때문이다(Jacob and Winner, 2009). Christensen *et al.* (2007)과 Meleux *et al.* (2007)은 유럽 중부와 남부 지역의 기온상승과 여름철의 구름량의 감소로 오존농도가 증가할 것으로 예측하였으며, Hogrefe *et al.* (2004)은 미국 동부지역에서 IPCC SRES A2 시나리오에 따르면 2050년대 여름철 오존농도가 4.2 ppb 상승할 것으로 전망하였다. 오존농도의 증가는 호흡기 질환자와 심혈관계 질환자 사망률 증가 등 보건상에 큰 영향을 미치는 것으로 잘 알려져 있다(KEI, 2010; Jerrett *et al.*, 2009; Bell *et al.*, 2006, 2005; Ito *et al.*, 2005; Levy *et al.*, 2005; Gryparis *et al.*, 2004). Gryparis *et al.* (2004)의 연구에서는 오존농도가 10 µg/m<sup>3</sup> 증가하면 0.33%의 일 사망률이 증가하고, 심혈관계 질환으로 인한 사망률은 0.45%, 호흡기 질환에 의한 사망률은 1.13% 증가할 것으로 예측하

였다. 또한 국내 연구인 ‘기후변화와 대기오염이 환경관련 질환에 미치는 영향’ 보고서 (KEI, 2010)에 의하면 우리나라 6개 시도에서 오존농도가 10 ppb 증가할 때 일별 사망자수는 0.37~2.03% 증가하며, 특히 65세 이상의 연령 집단에서는 사망자수 증가가 더 큰 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 기후변화로 인한 오존농도 변화가 보건 분야의 취약성에 미치는 영향에 대하여 국내 16개 광역시·도를 대상으로 평가하였다. 또한 현재의 취약성과 미래의 취약성 변화 정도를 도출함으로써, 대기환경 및 보건 분야의 기후변화 적응 대책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

### 2.1 취약성 지표 산정

#### 2.1.1 기후변화 취약성 개념 및 평가 방법

취약성 개념은 기후변화 연구 분야 보다는 재난, 식량안보 등의 연구에서 먼저 사용된 것으로, 연구 분야 및 목적에 따라 다양하게 정의되어 사용되고 있다. 기후변화 연구에서의 취약성의 개념은 취약성을 문제의 시작점 (starting point)으로 볼 것인지 아니면 종결점 (end point)으로 볼 것인지에 따라 구분될 수 있다.

UNDP (2005)는 취약성을 문제의 시작점으로 보는 관점으로 기후변화 영향에 대한 위해성과 시스템의

취약성을 조합하여 한 시스템의 기후 위해에 따른 위험이라고 정의하고 있다. 반면, IPCC (2001, 1996)에서는 취약성을 문제의 종결점으로 보는 관점으로 취약성을 적응조치가 취해진 후의 기후변화 잔여 영향으로 정의하고 식 1과 같이 나타내고 있다.

$$\text{취약성} = \text{위해성 (예상된 기후의 영향)} - \text{적응조치} \quad (1)$$

본 연구에서는 문제의 종결점으로 보는 IPCC의 취약성의 정의에 근거하여, 적응조치가 취해진 후의 기후변화 잔여 영향을 취약성으로 보고, 이를 취약성 지표로 도출하였다. 따라서 본 연구에서의 취약성은 기후노출, 민감도, 적응능력의 함수 조합으로 정의되며, 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{취약성} = \text{위해 (기후노출, 민감도)} - \text{적응능력} \quad (2)$$

그림 1은 취약성 지표 도출 과정을 나타낸 것이다. 취약성 지표 도출을 위한 첫 번째는 델파이 조사를 통해 기후노출, 민감도, 적응능력의 그룹 (category)을 대표할 수 있는 대응변수를 선정하는 단계이다. 기후노출 대응변수는 기후변화 영향을 대표하는 변수로 보통 기후요소를 의미하며, 민감도 대응변수는 기후노출 영향의 크기를 조절하는 변수로서 사회·경제적 통계자료가 된다. 적응능력은 기후변화 영향을 감소시킬 수 있는 사회·경제적 자료를 변수로 선정된다. 두 번째는 서로 다른 단위와 성질을 가진 대응변수를 하나의 통일된 변수로 정의하기 위한 표준화 (normalization) 단계이며, 세 번째는 델파이 조사를 통해 산정된 가중치 (weighting)를 대응변수에 부여

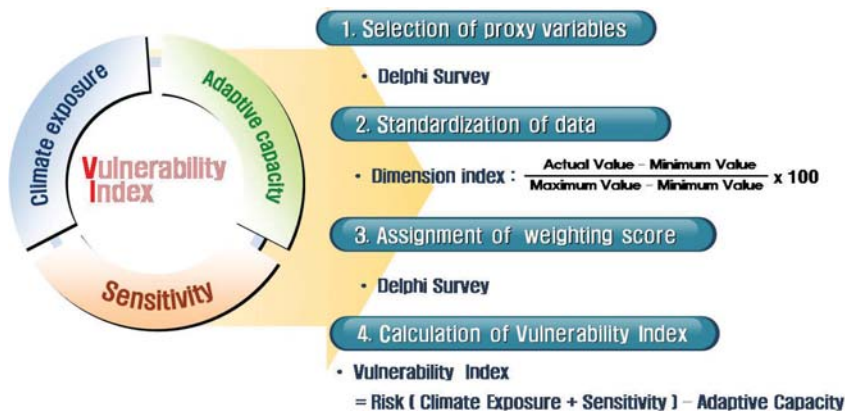


Fig. 1. The process of vulnerability assessment.

**Table 1. Functional relationship between proxy variables and each category according to previous research papers.**

Category	Proxy variables	Functional relationship between proxy variable and category	Research paper
Climate exposure	· Frequency of 1 hour ozone concentration over 120 ppb	The number of times ↑ Climate exposure ↑	USEPA, 1996 Anderson <i>et al.</i> , 2001
	· Frequency of day with 8 hour ozone concentration over 60 ppb	The number of times ↑ Climate exposure ↑	Dominici <i>et al.</i> , 2005 한성현 외, 2005
	· Frequency of 1 hour ozone concentration over 100 ppb	The number of times ↑ Climate exposure ↑	Koht, 2005 Bae <i>et al.</i> , 2008
Sensitivity	· Population density	Population density ↑ Sensitivity ↑	Moss <i>et al.</i> , 2001 Brooks <i>et al.</i> , 2005 KEI, 2008
	· Population ratio under 5 age	Population ratio ↑ Sensitivity ↑	Downing <i>et al.</i> , 1995
	· Population ratio over 65 age	Population ratio ↑ Sensitivity ↑	Kwon and Cho, 1999 Ju and Cho, 2001 Bae <i>et al.</i> , 2008
	· Patient ratio of eye diseases	Patient ratio ↑ Sensitivity ↑	-
	· Patient ratio of respiratory diseases	Patient ratio ↑ Sensitivity ↑	Gryparis <i>et al.</i> , 2004
	· Asthma patients per 10,000 population	The number of asthma patients ↑ Sensitivity ↑	한성현 외, 2005 KEI, 2010
Adaptive capacity	· Self-Reliance ratio of local finance	Self-Reliance ↑ Adaptive capacity ↑	KEI, 2008
	· Health/Welfare/Environment expenditure (% of GRDP)	Expenditure ↑ Adaptive capacity ↑	Dowing <i>et al.</i> , 1995 Lonergan <i>et al.</i> , 1999 Moss <i>et al.</i> , 2001 Brooks <i>et al.</i> , 2005
	· Alarm system of air quality	The number of alarm systems ↑ Adaptive capacity ↑	-
	· Healthcare personnel in hospital and clinic per 100,000 population	Healthcare personnel number ↑ Adaptive capacity ↑	KEI, 2008
	· Beneficiaries rate of health insurance	Beneficiaries rate ↑ Adaptive capacity ↑	KEI, 2008
	· Labor number of public health center per 100,000 population	Labor number ↑ Adaptive capacity ↑	KEI, 2008
	· Higher education rate	Higher education rate ↑ Adaptive capacity ↑	KEI, 2008
	· NO <sub>x</sub> emission rate per area	NO <sub>x</sub> emission rate per area ↓ Adaptive capacity ↑	KEI, 2008
· VOCs emission rate per area	VOCs emission rate per area ↓ Adaptive capacity ↑	KEI, 2008	

하는 단계이다. 마지막 단계는 기후노출, 민감도, 적응능력의 그룹별 지수를 집계(aggregation)하는 것으로 취약성 지표가 산정된다.

2.1.2 대응변수 선정 및 가중치 산정  
대응변수와 가중치에 따라 취약성 지표는 매우 달라질 수 있기 때문에, 기후노출, 민감도, 적응능력의

개념을 대표할 수 있는 대응변수의 선정과 각 대응변수의 가중치의 결정은 매우 중요하다. 사전 연구에 따르면, 취약성 지표 산정의 가중치와 대응변수 선정의 객관성을 확보하고자 포커스 그룹을 구성하여 전문가 의견 수렴 과정을 통해 주관적 의견을 객관화하는 검증 과정을 거쳤다(Parkins *et al.*, 2007; Brooks *et al.*, 2005; Sullivan and Meigh, 2005). 본 연구에서도 객관적인 방법으로 대응변수 선정, 대응변수 가중치와 그룹별 가중치를 결정하기 위하여 국내의 기후 및 대기환경 전문가들로 구성된 패널을 구성하여 델파이 조사를 수행하였다.

델파이 조사는 특정 영역의 이슈를 다루는데 전문가들의 예측이 비전문가에 비해 정확성을 높일 것이라는 가정 아래, 전문가들의 합의를 이루는데 유용한 의사결정 수단이다. 대상 주제에 대한 전문가를 패널로 구성하여 이들에게 설문지를 통해 의견의 합의 또는 응답의 안정성이 이루어질 때까지 설문문을 반복하여 결과를 얻어낸다. 본 연구에서는 보건 분야의 전문가 17명을 패널로 구성하여 총 3차례에 걸친 설문조사를 수행하여 대응변수 선정과 가중치를 결정하였다.

1차 설문조사에서는 선행연구를 통해 도출된 후보 대응변수들의 적합성 파악 및 중요도 산출을 목적으로 하였다. 각 그룹(기후노출, 민감도, 적응능력)과 후보대응변수사이의 함수적 관계와 선행연구를 표 1에 나타내었다. 전문가는 후보대응변수들이 기후변화에 따른 대기질 취약성의 개념을 잘 반영할 수 있는 대응변수로 적합한지에 대한 여부를 판단하였으며, 적합할 경우, 각 대응변수의 중요도를 1~7까지의 척도로 평가하였다. 1차 결과를 바탕으로 대응변수로서의 적합성이 높게 나타난 변수와 1차 설문에서 전문가들에 의해 제안된 대응변수에 대하여 2차 설문을 실시하였으며, 3차 조사는 취약성 지표 산정을 위한 방법과 각 그룹별 기여도 산정에 대한 설문이 진행되었다.

### 2.1.3 취약성 지표 산정 방법

취약성 지표는 2.1.1절에서 언급한 것과 같이 기후노출, 민감도, 적응능력을 반영할 수 있는 대응변수를 이용하여 산정되며, 대응변수들은 표준화방법을 통하여 동일한 단위의 변수로의 변환이 필요하다. 표준화 방법은 규모 재조정(re-scaling), 순위매기기, Z-score

방법 등이 잘 알려져 있다. 본 연구에서 사용된 표준화 방법은 규모 재조정으로 변수의 범위에 기반을 둔 변환 방법이다. 식 3과 같이 표준화 후에는 변수들이 모두 동일한 범위(0~100)를 가지게 되어 서로 다른 단위가 통일화 되어진다(UNDP, 2005). 규모 재조정 방법은 자료의 극값(최고값, 최저값)이 이상치를 가진다면 변환된 변수들이 왜곡될 수 있는 단점이 있으나, 본 연구에 사용된 대응변수들은 장기간의 통계자료를 기반으로 하고 있어 이러한 문제는 없다.

#### Dimension Index

$$= \frac{\text{Actual value} - \text{Minimum value}}{\text{Maximum value} - \text{Minimum value}} \times 100 \quad (3)$$

표준화 과정을 거친 대응변수에 대응변수의 가중치를 곱하여 기후노출, 민감도, 적응능력의 그룹(category)에 대한 지수를 식 4와 같이 산정한다.

$$\text{Category Index} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot W_i)}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (4)$$

여기서 N은 대응변수의 개수이며, P는 대응변수의 값, W는 대응변수의 가중치를 나타낸다. 이를 바탕으로 기후노출 지수, 민감도 지수, 적응능력 지수를 식 5와 같이 조합하여 16개 시·도별 취약성 지표를 산정하였다.

$$\text{Vulnerability Index (VI)} = \frac{\text{Average (SI, CEI)} - \text{ACI}}{2} \quad (5)$$

여기서 CEI(Climate Exposure Index)는 노출 지수, SI(Sensitive Index)는 민감도 지수, ACI(Adaptation Capacity Index)는 적응능력 지수를 나타내며, Average(SI, CEI)는 민감도 지수와 노출지수의 산술평균을 의미한다.

## 2.2 미래 기후 노출 지수의 예측

미래의 지역별 기후노출 지수를 예측하기 위해 국립환경과학원과 서울대학교가 공동 개발한 기후·대기환경 통합시스템을 이용하였다(NIER, 2010, 2009, 2008). 기후·대기환경 통합시스템은 그림 2와 같이 전 지구규모의 기후모델인 CCSM3(Collins *et al.*, 2006)와 대기화학모델인 GEOS-Chem(Bey *et al.*,

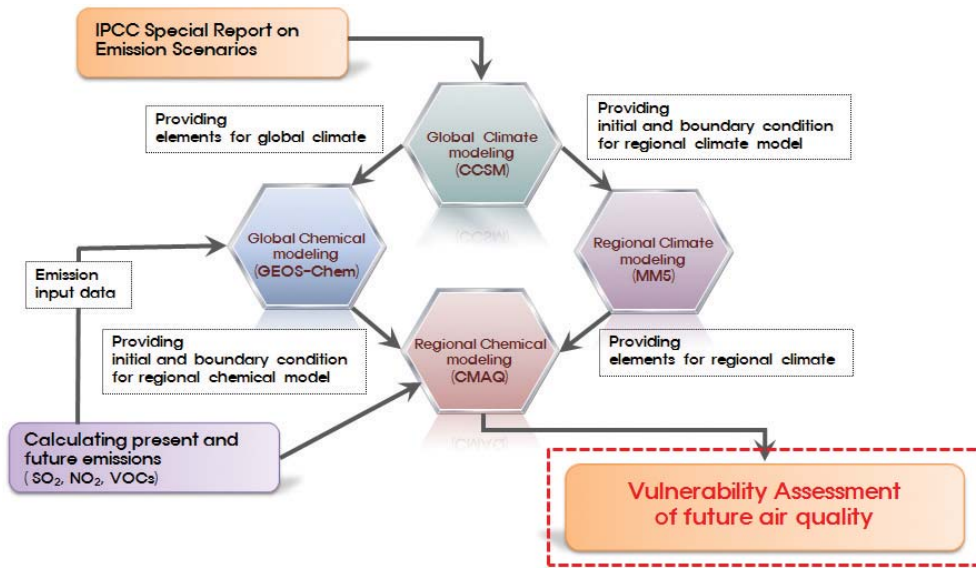


Fig. 2. Schematic diagram of Integrated Climate and Air quality Modeling System (ICAMS).

2001), 지역규모의 기후예측을 수행하는 MM5 (Grell *et al.*, 1995)와 지역규모 대기질 모델인 CMAQ (Byun and Ching, 1999; USEPA, 1999)으로 구성되어 있어 전 지구규모에서 지역규모까지 기후 및 대기질을 예측할 수 있다. 본 연구에서 사용된 대기질 예측값은 전 지구규모의 기후 및 대기질 모델값을 규모 축소 (down-scaling)하여 지역규모 모델의 입력 자료로 제공한 후 CMAQ 모델을 통해 18 km의 격자간격으로 생산된 값이다.

IPCC에서 제공하는 6개의 배출량 시나리오 (SRES)를 기반으로 오존 농도 변화를 전망하여 미래 취약성 평가를 위한 기후노출자료로 사용하였다. IPCC 배출량 시나리오는 경제 성장 전망과 인구증가, 대체 에너지 개발과 관련된 과학기술의 전망을 고려하여 크게 A1, A2, B1, B2 4가지로 나뉜다 (IPCC SRES, 2000).

A1 시나리오는 세계 경제의 매우 급속한 성장과 금세기 중반에 최고에 도달할 지구촌 인구, 새롭고 좀 더 효율적인 기술의 급속한 도입을 가정하며, 기술변화 방향에 따라 화석 집약적 (A1FI), 비화석 (A1T), 모든 자원 간의 균형 (A1B)으로 나뉜다. A2 시나리오는 인구증가율이 높고 경제발달은 느리며 기술변화도 느린 매우 이질적인 전망을 바탕으로 한다. B1 시

나리오는 지구 인구는 A1과 같지만 경제구조는 서비스 및 정보 경제 쪽으로 좀 더 급속히 변하는 수렴적 세계를 기술하며, B2 시나리오는 인구와 경제 성장이 A1과 B1의 중간인 세계를 가정하고, 경제적·사회적·환경적 지속가능성에 대한 지역적 해법을 강조한다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 대응변수 선정

전문가 패널에 의해 선정된 최종 대응변수는 총 32개의 후보 대응변수 중 노출 부문 3개, 민감도 6개, 적응능력 9개로 총 18개 대응변수가 선정되었다. 자세한 델파이 조사 결과는 기후변화 대기질 취약성 평가를 위한 델파이 조사 보고서 (2010)에 기술되어 있다.

보건 분야의 기후노출부문의 델파이 조사 결과표를 2에 나타내었다. 1차 조사에서는 1시간 오존농도 40 ppb 이상인 횟수, 1시간 오존농도 60 ppb 이상인 횟수, 1시간 오존농도 120 ppb 이상인 횟수와 8시간 평균 오존농도 60 ppb 이상인 날의 횟수의 후보대응변수에 대하여 적합성과 중요도를 조사하였다. 2차

**Table 2. Results of delphi survey in the sector of human health.**

	Proxy variables	Delphi survey results		
		Suitability (%)	Status	
			Mean	Std.
Climate exposure	· Frequency of 1 hour ozone concentration over 120 ppb	100	6.4	0.26
	· Frequency of day with 8 hour ozone concentration over 60 ppb	92.9	5.7	1.23
	· Frequency of 1 hour ozone concentration over 100 ppb	71.4	5.6	1.15
Sensitivity	· Population density	85.7	5.5	1.0
	· Population ratio under 5 age	71.4	5.8	0.84
	· Population ratio over 65 age	85.7	5.8	0.88
	· Patient ratio of eye diseases	57.1	5.2	1.64
	· Patient ratio of respiratory diseases	100	5.9	0.69
	· Asthma patients per 10,000 population	71.4	5.7	0.67
Adaptive capacity	· Self-Reliance ratio of local finance	28.6	5.2	0.96
	· Health/Welfare/Environment expenditure (% of GRDP)	78.6	5.8	0.75
	· Alarm system of air quality	71.4	5.5	1.8
	· Healthcare personnel in hospital and clinic per 100,000 population	50.0	5.0	0.82
	· Beneficiaries rate of health insurance	21.4	5.7	0.33
	· Labor number of public health center per 100,000 population	28.6	5.2	0.92
	· Higher education rate	28.6	4.8	0.96
	· NO <sub>x</sub> emission rate per area	92.9	6.4	0.96
	· VOCs emission rate per area	92.9	6.4	0.96

**Table 3. Source and period of statistical data for proxy variable in the sector of human health.**

Sector	Proxy variable	Statistical data	Period	
Climate exposure	Frequency of 1 hour ozone concentration over 100 ppb	NAMIS	1996 ~ 2005	
	Frequency of 1 hour ozone concentration over 120 ppb	NAMIS	1996 ~ 2005	
	Frequency of day with 8 hour ozone concentration over 60 pp	NAMIS	1996 ~ 2005	
Sensitivity	Population density	KSIS	1980 ~ 2005	
	Population ratio under 5 age	KSIS	1980 ~ 2005	
	Population ratio over 65 age	KSIS	1980 ~ 2005	
	Patient ratio of eye diseases	KSIS	1999 ~ 2005	
	Patient ratio of respiratory diseases	KSIS	1999 ~ 2005	
	Asthma patients per 10,000 population	NHIC-Report	2007 ~ 2008	
Adaptive capacity	Economy	Self-Reliance ratio of local finance	KSIS	2003 ~ 2009
		Health/Welfare/Environment expenditure (% of GRDP)	KSIS	1995 ~ 2008
	Admin.	Alarm system of air quality	Ministry of Env.	2008
	Education	Higher education rate	NLIS-Report	1995 ~ 2005
	Environ.	NO <sub>x</sub> emission rate per area	CAPSS	1999 ~ 2007
		VOCs emission rate per area	CAPSS	1999 ~ 2007
	Health	Healthcare personnel in hospital and clinic per 100,000 population	NHIC-Report	2001 ~ 2007
		Beneficiaries rate of health insurance	KSIS	2004 ~ 2008
		Labor number of public health center per 100,000 population	KSIS	2001 ~ 2007

※ NAMIS : National Ambient air Information System  
 KSIS : Korean Statistical Information Service  
 NLIS : National Land Information Survey  
 NHIC : National Health Insurance Corporation

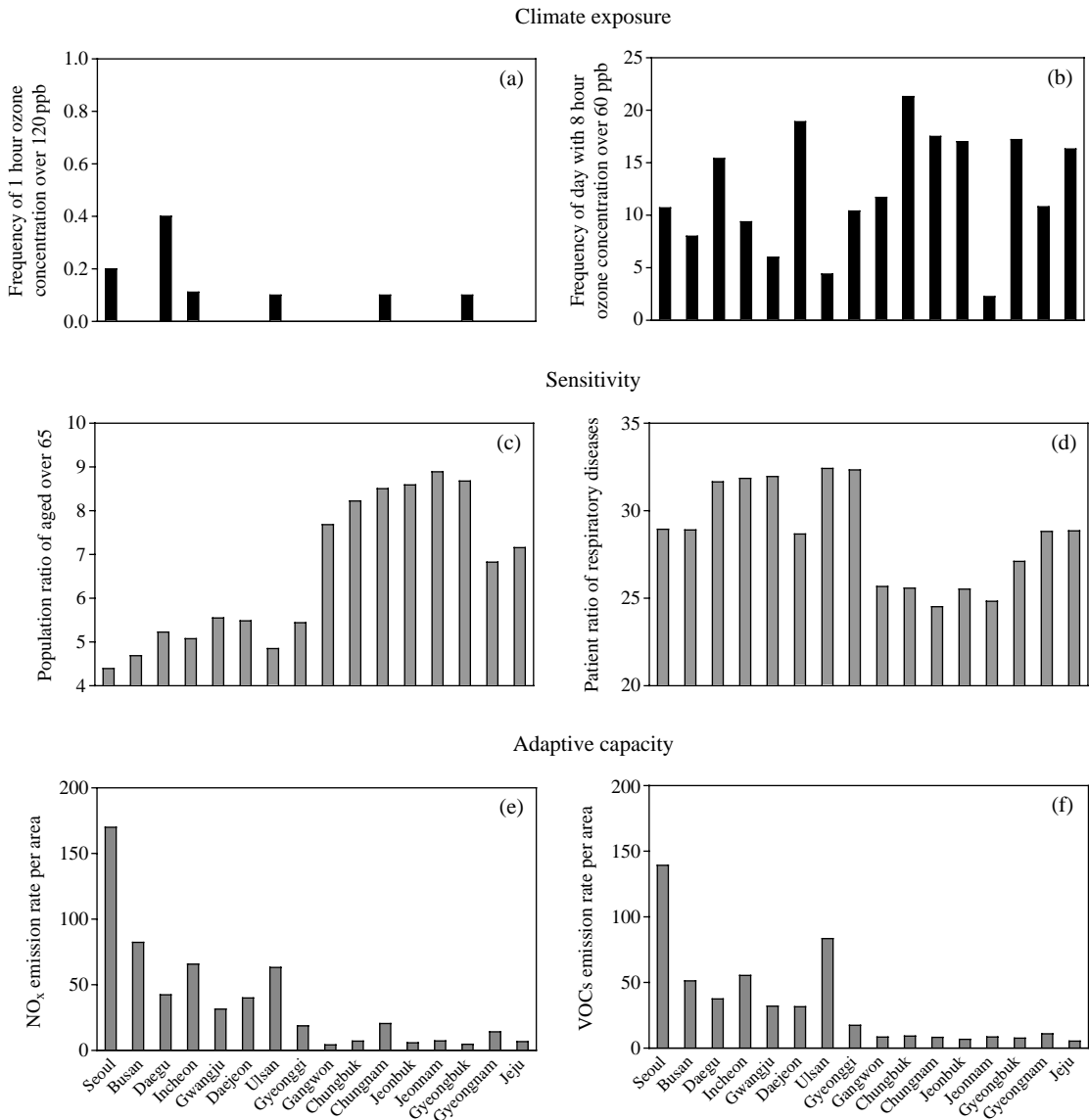


Fig. 3. Regional comparison of each proxy variable. (a) Frequency of 1 hour O<sub>3</sub> concentration over 120 ppb (times), (b) Frequency of day with 8 hour O<sub>3</sub> concentration over 60 ppb (times) (c) Population ratio of aged over 65 (%), (d) Patient ratio of respiratory diseases (%), (e) NO<sub>x</sub> emission rate per area (ton/km<sup>2</sup>), (f) VOCs emission rate per area (ton/km<sup>2</sup>).

조사에서는 대응변수로서의 적합성이 50% 미만인 1 시간 오존농도 40 ppb, 60 ppb 이상인 횟수를 제외하고, 전문가에 의해 추천된 1시간 오존농도 100 ppb 이상인 횟수를 추가하였다. 2차 조사 결과 1시간 오존농도 120 ppb 이상인 횟수가 대응변수의 적합성에

서 100%를 차지하였으며, 중요도 또한 1~7의 척도로 나타내면 6.4로 높은 값을 나타내었다.

민감도부문 대응변수 중 호흡기질환자 비율은 설문에 참여한 모든 전문가가 오존농도 변화에 따른 보건 분야의 취약성을 평가할 수 있는 대응변수로



적합하다고 판단하였다. 그 중요도에서도 5.9로 높은 값을 나타내었다. 기후변화 영향을 감소시킬 수 있는 적응능력 부문의 대응변수는 오존의 생성에 영향을 미치는 단위면적당 질소화합물과 휘발성 유기화합물 배출량이 적합성과 중요도에서 92.9, 6.4로 적응능력의 대응변수로 적합한 것으로 평가되었으며 배출량은 적응능력 산정에서 음의 부호(-)를 갖는다.

### 3.2 대응변수 분석

전문가들의 델파이 조사를 통해 선정된 기후노출, 민감도, 적응능력 그룹별 대응변수를 표 3에 나타내었다. 기후노출부문에 사용된 각 변수들은 각 시·도의 대기질 측정망 자료와 기후·대기 통합시스템의 미래 오존농도 예측 결과를 이용하였다. 민감도 및 적응능력 부문의 시·도별 통계자료는 국가통계포털(2010)과 국토지리정보원(2008), 건강보험공단(2008)의 보고서를 이용하였다.

기후노출, 민감도, 적응능력 부문의 대응변수 중 적합도가 높은 변수의 지역별 차이를 그림 3에 나타내었다. 기후노출부문의 대응변수 중 적합도가 높게 평가된 1시간 오존농도 120 ppb 이상인 횟수는 대구광역시와 연평균 0.4시간으로 가장 발생빈도가 높았으며, 서울특별시가 0.2로 그 다음을 차지했다. 1시간

오존농도 100 ppb 이상인 횟수 또한 대구광역시와 서울특별시가 각각 연평균 2.8과 2.3시간으로 높은 발생빈도를 보였다. 8시간 오존평균 농도 60 ppb 이상인 날 수는 충청북도에서 연평균 21회로 가장 높은 발생빈도를 보였으며, 전라남도가 연평균 2회로 가장 낮은 발생빈도를 보였다.

보건 분야 민감도 대응변수 중 인구밀도는 서울특별시(16,120명/km<sup>2</sup>), 부산광역시(6,181명/km<sup>2</sup>) 등의 대도시 지역에서 큰 값을 나타냈으며, 5세 미만의 인구 비율은 16개 시·도의 편차가 크지 않았으나, 기여도가 높게 산정된 65세 이상의 인구비율은 비도시 지역(전라남도: 9%)에서의 고령화로 인해 도시 지역(서울광역시: 4%)보다 높은 값을 나타냈다. 안과질환 외래환자 비율은 제주특별자치도가 4.5%로 가장 높게 나타났으며, 호흡기질환의 외래환자 비율은 대구광역시(32%), 인천광역시(32%), 울산광역시(32%), 경기도(32%) 등이 타지역에 비해 높게 나타났다. 인구 만 명당 천식 환자 수는 경상남도가 561명으로 가장 많았으며, 부산광역시가 411명으로 가장 적은 천식환자수를 보였다.

적응능력 부문의 선정된 대응변수 중 가장 높은 적합도를 보인 단위면적당 질소산화물과 휘발성 유기화합물 배출량은 서울특별시(169 ton/km<sup>2</sup>)가 가장

**Table 4. Proxy variables and weighting scores in the sector of human health.**

		Proxy variables	W · S
Climate exposure		· Frequency of 1 hour ozone concentration over 100 ppb	0.74
		· Frequency of 1 hour ozone concentration over 120 ppb	0.95
		· Frequency of day with 8 hour ozone concentration over 60 ppb	0.85
Sensitivity		· Population density	0.80
		· Population ratio under 5 age	0.76
		· Population ratio over 65 age	0.83
		· Patient ratio of eye diseases	0.64
		· Patient ratio of respiratory diseases	0.91
		· Asthma patients per 10,000 population	0.75
Adaptive capacity	Economy	· Self-Reliance ratio of local finance	0.45
		· Health/Welfare/Environment expenditure (% of GRDP)	0.79
	Administration	· Alarm system of air quality	0.73
	Health	· Healthcare personnel in hospital and clinic per 100,000 population	0.58
		· Beneficiaries rate of health insurance	0.41
		· Labor number of public health center per 100,000 population	0.45
	Education	· Higher education rate	0.42
	Environment	· NO <sub>x</sub> emission rate per area	0.91
		· VOCs emission rate per area	0.91

높아 적응능력이 상대적으로 낮은 것으로 평가 되었 으며, 전체적으로 도시지역에서 단위면적당 배출량이 많고, 비도시지역에서 적게 나타났다. 건강보험적용 인구 비율은 16개 모든 시·도에서 75% 이상으로 나타났으며, 그 중 서울특별시는 건강보험적용인구 비율이 97%로 가장 높게 나타나 적응능력 평가에 긍정적으로 작용하였다. 지역별 인구 10만 명당 보건소 인력수를 살펴보면, 비도시지역이 도시지역에 비해

보건소 인력이 많은 것으로 나타난 반면, 인구 만 명 당 의료기관 종사자수는 서울특별시, 광주광역시, 대전광역시 등이 많은 것으로 나타났다. 대응변수 중 재정자립도는 서울특별시가 가장 높게 나타났으며, 지역 내 총생산에 대한 보건/복지/환경 지출 비율은 울산이 4% 이하로 가장 낮은 수치를 보였다. 대기오염농도 알림체계를 이용할 수 있는 횟수는 경기도 지역 내 48개의 옥외전광판을 보유하고 있어 가장

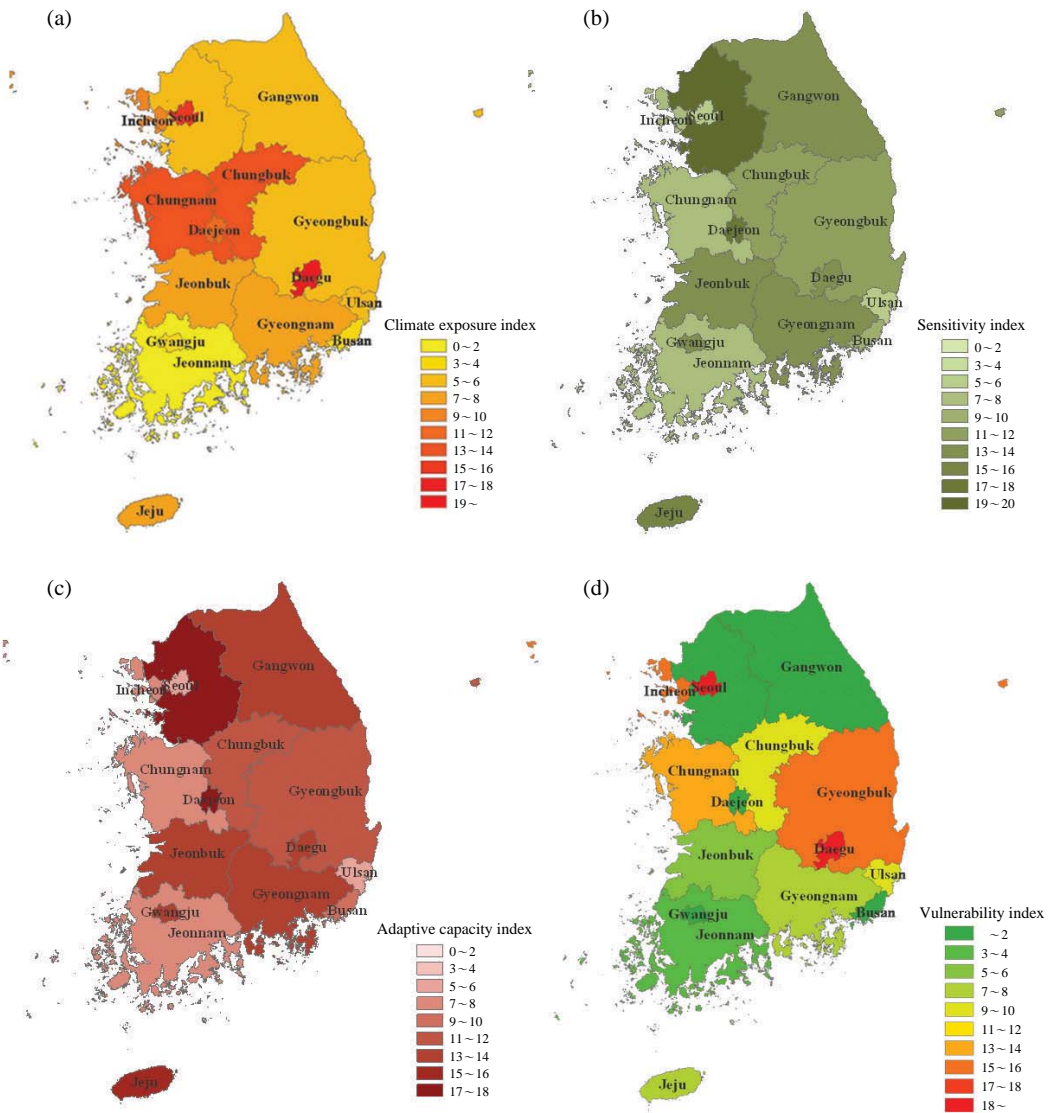


Fig. 4. Regional (a) climate exposure index, (b) sensitivity index, (c) adaptive capacity index and (d) vulnerability index map in the sector of human health.

높게 나타났으나, 대구광역시와 전라북도에는 본 연구에 사용된 2008년도의 통계자료에 의하면 대기오염농도 알림 옥외 전광판을 보유하고 있지 않은 것으로 나타났다(환경부, 2009).

3.3 대응변수의 가중치 산정

그룹별 대응변수의 가중치는 델파이 조사 결과의 대응변수로서의 적합성 값과 중요도를 곱하여 계산한 것으로 표 4에 나타내었다. 대응변수 중 기후노출 부문은 1시간 오존농도 120 ppb 이상 횟수가 취약성 지표 산정에 있어 가중치는 0.95로 가장 높게 평가되었으며, 민감도 부문은 호흡기질환의 외래환자 비율이 0.91, 65세 이상 인구비율이 0.83으로 가중치가 높게 평가되었다. 적응능력 부문에서는 단위면적당 질소산화물 배출량과 휘발성 유기화합물 배출량의 가중치는 0.91로 높게 평가되었으며, 또한 대기오염농도 옥외 전광판 이용가능 횟수의 가중치는 0.73으로 중요한 적응능력 대응변수로 평가되었다.

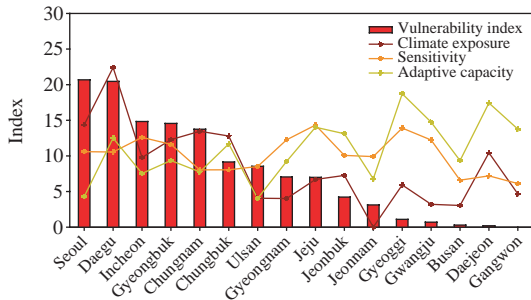


Fig. 5. Regional vulnerability index, climate exposure index, sensitivity index and adaptive capacity index in the sector of human health.

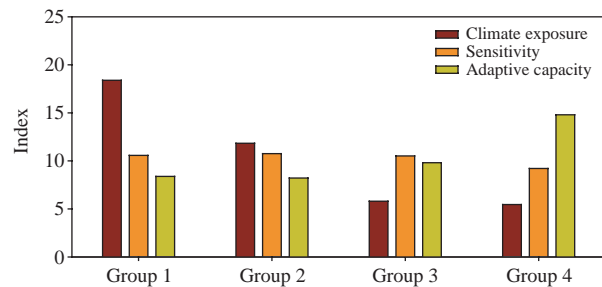


Fig. 6. Climate exposure index, sensitivity index, adaptive capacity index according to each group in the sector of human health.

3.4 취약성 지표 산정

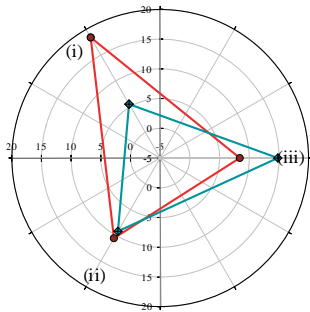
보건 분야의 기후노출 지수, 민감도 지수, 적응능력 지수의 지역분포와 함께 취약성 지표 산정 결과를 그림 4에 취약성 지도로 나타내었다. 노출지수는 대구광역시가 22로 타 지역에 비해 높게 평가되었으며, 민감도 지수는 6~14로 16개 시도가 비슷한 분포를 보였다. 적응능력지수는 경기도와 대전광역시에서 각각 18과 17로 높게 나타났(그림 5). 이를 바탕으로 산정되어진 16개 시도의 취약성은 서울특별시와 대구광역시가 가장 취약한 지역으로, 대전광역시와 강원도가 덜 취약한 지역으로 구분되었다.

16개 시·도의 취약성은 취약성 지표의 크기를 바탕으로 4개의 그룹으로 재분류하였다(그림 6). 그룹 I은 서울특별시와 대구광역시, 그룹 II는 인천광역시, 경상북도, 충청남도, 그룹 III은 충청북도, 울산광역시, 경상남도, 제주특별자치도, 전라북도, 분류되었으며, 전라남도, 경기도, 광주광역시, 부산광역시, 대전광역시, 강원도는 가장 덜 취약한 그룹 IV로 분류되었다. 그룹 I의 평균 노출지수는 18.4로 가장 높게 평가되었으며, 취약성이 작은 그룹일수록 기후노출 지수가 감소하였다. 민감도 지수는 10.8에서 9.3으로 각 그룹별의 차이는 크지 않았다. 그러나 적응능력지수는 취약한 그룹인 그룹 I, II가 낮게 평가되었으며, 취약성이 작아질수록 적응능력 지수가 커지는 것으로 나타났다. 보건 분야의 취약성 지표의 결정에 있어 기후노출 지수와 적응능력 지수가 민감도에 비해 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

3.4.1 보건 분야의 그룹 간 취약성 분석

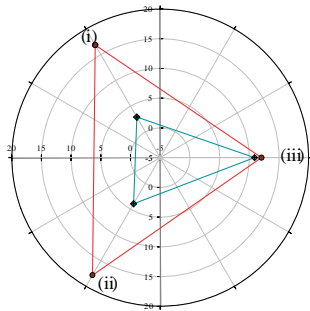
취약성 분석도는 그룹별 대응변수별로 세부적인 분석이 가능하여 각 지역의 기후변화 위험 정도 및

Regions	
Group I	Seoul, Daegu
Group II	Incheon, Gyeongbuk, Chungnam
Group III	Chungbuk, Ulsan, Gyeongnam, Jeju, Jeonbuk
Group IV	Jeonnam, Gyeonggi, Gwangju, Busan, Daejeon, Gangwon



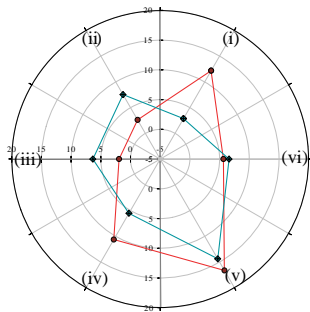
(a) Vulnerability index

- (i) Climate exposure
- (ii) Sensitivity
- (iii) Adaptive capacity



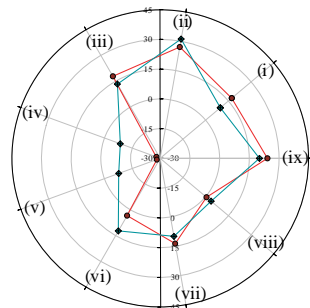
(b) Climate exposure

- (i) Frequency of 1 hour ozone concentration over 100 ppb
- (ii) Frequency of 1 hour ozone concentration over 120 ppb
- (iii) Frequency of day with 8 hour ozone concentration over 60 ppb



(c) Sensitivity

- (i) Population Density (person/km<sup>2</sup>)
- (ii) Population ratio of aged under 5
- (iii) Population ratio of aged over 65
- (iv) Patient ratio of eye diseases
- (v) Patient ratio of respiratory diseases
- (vi) Asthma patients per 10,000 population



(d) Adaptive capacity

- (i) Self-Reliance Ratio of Local Finance
- (ii) Health/Welfare/Environment expenditure
- (iii) Higher education rate
- (iv) NO<sub>x</sub> emission rate per area
- (v) VOCs emission rate per area
- (vi) Alarm system of air quality
- (vii) Beneficiaries rate of Health insurance
- (viii) Labor number of public health center
- (ix) Healthcare personnel

Fig. 7. Profile of (a) vulnerability index, (b) climate exposure index, (c) sensitivity index, and (d) adaptive capacity index in the sector of human health (—●—: Group I, —■—: Group IV).

적응능력에 대한 정도를 쉽게 알아 볼 수 있다. 그림 7은 보건 분야에서 가장 취약한 그룹 I과 가장 덜 취약한 그룹 IV에 대한 분석도를 나타내고 있다. 그

룹 I과 그룹 IV는 기후노출 지수에서 큰 차이를 보이며, 민감도 지수는 서로 비슷한 값을 나타냈고, 적응능력 지수는 그룹 IV가 그룹 I보다 큰 값을 보였다. 특히 그룹 I의 노출부문에서 1시간 120 ppb 초과 횟수와 1시간 100 ppb 초과 횟수는 그룹 IV와 현격한 차이를 보여, 서울특별시와 대구광역시에서 고농도 오존의 발생이 높은 것으로 보인다. 민감도 부문에서도 그룹 I이 인구밀도, 안과질환외래환자 비율, 호흡기질환외래환자 비율이 그룹 IV에 비해 큰 것으로 나타났다. 이는 그룹 I의 지역들이 기후변화에 따른 대기질의 영향으로 인한 보건 분야의 취약계층이 그룹 IV보다 많다는 것으로 기후변화적응대책 수립시 고려되어야 하는 요인으로 보인다. 또한 적응능력 부문의 세부요소들을 살펴보면, 서울특별시는 재정자립도와 고등교육 이수율이 높고 보건의료기관 종사자는 많으나, 오존생성의 전구물질인 단위면적당 질소산화물 배출량, 휘발성 유기화합물 배출량이 높게

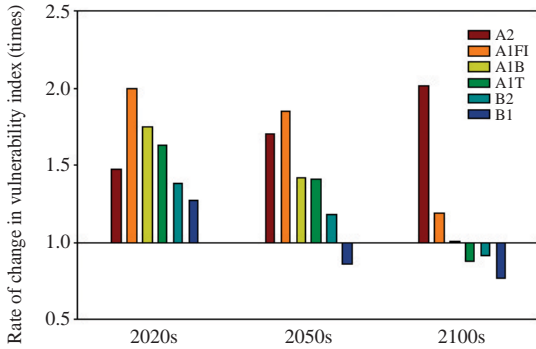


Fig. 8. Rate of change in vulnerability index in the future projection relative to 1996~2005 in the sector of human health.

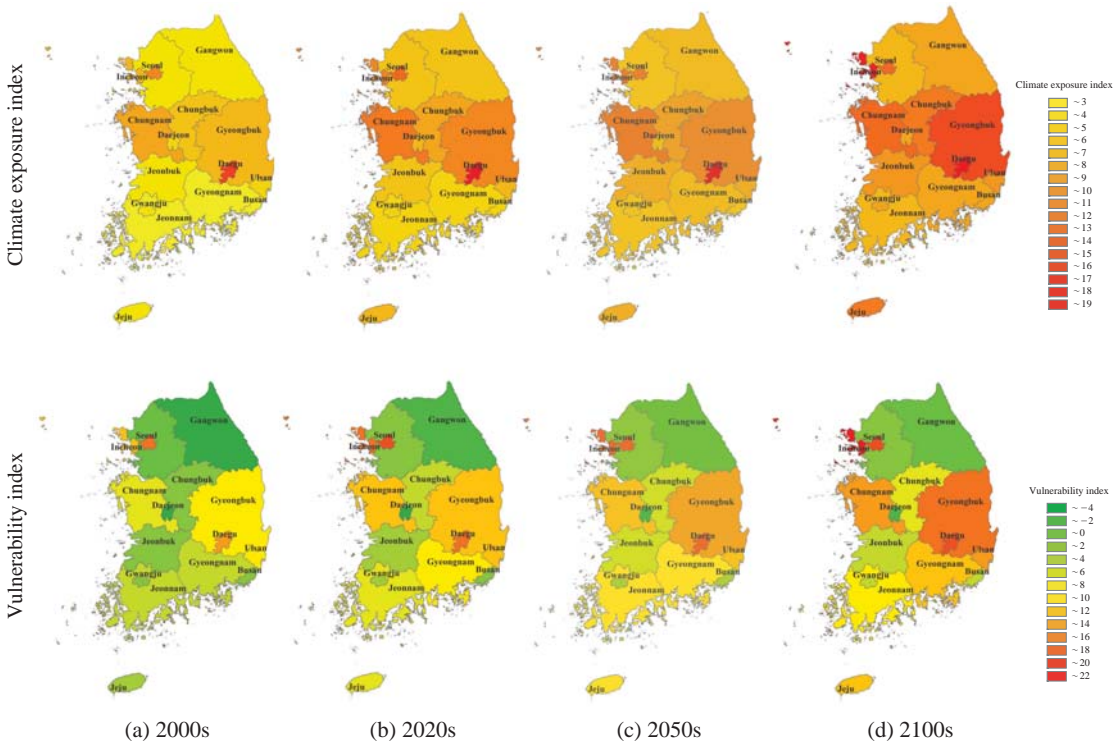


Fig. 9. Climate exposure index and vulnerability index for the present and future projection for IPCC SRES A2 scenario in the sector of human health.

나타났다.

### 3.5 IPCC SRES 시나리오를 기반으로 한 미래의 취약성 평가

취약성지표 산정 방법을 토대로 미래의 지역별 취약성을 예측하였다. 미래의 취약성 지표 산정에는 노출변수 외의 다른 변수들은 현재와 동일하다고 가정하고 미래의 시나리오에 따른 기후노출 강도가 변할 때 우리나라 지역별 취약성지표가 어떻게 변할 것인지 살펴보았다. 또한 현재를 고려한 미래의 취약성 변화를 살펴보기 위해서는 통합된 표준화가 필요하기 때문에 현재, 미래의 기후노출 변수를 통합된 표준화 방법을 적용하여 표준화하여 앞에서 제시한 현재 취약성 지수와는 차이가 있다.

보건 분야의 현재 대비 미래 취약성 지표 변화는 그림 8에 나타난 것과 같다. 단기미래(2020년대)에는 IPCC SRES 6개 시나리오의 보건 분야에서 현재 대비 취약성 지표가 약 1.3~2.0배 증가할 것으로 전망 되었으며, 특히 A1FI 시나리오의 경우에는 취약성이 현재의 2배로 증가하는 것으로 나타났다. 중기 미래(2050년대)의 보건 분야의 취약성 지표는 A1FI, A2, A1B, A1T, B2 시나리오에서 증가하였고, B1 시나리오는 현재의 약 80% 수준으로 취약성이 감소하는 것으로 나타났다. 장기미래(2100년대)의 A2 시나리오에서는 노출지수의 큰 증가로 인해 현재 대비 약 2배의 취약성 증가를 보였다. A1B 시나리오는 현재와 유사한 취약성 지표를 보였으며, B1시나리오는 현재의 약 70% 수준으로 취약성 지표가 감소하였다. 그중 단기미래에서 장기미래로 갈수록 취약성이 크게 증가하는 A2 시나리오에 대하여 우리나라의 지역별 취약성 변화를 살펴보았다.

단기미래에는 16개 모든 시·도에서 기후노출 지수가 현재보다 1.4~3.2 증가하였다. 중기미래에는 16개 모든 시·도에서 1.6~5의 기후노출 지수 증가를 보였으며, 특히 인천광역시와 서울특별시의 기후노출 증가를 보였다. 장기미래에는 서울특별시와 대구광역시를 제외한 모든 시·도에서 현재 대비 약 1.5~2.1배의 기후노출 지수의 증가를 보였다. 특히 인천광역시와 제주특별자치도의 기후노출 증가가 뚜렷이 나타났다. A2 시나리오의 단기에서 장기미래로 갈수록 기후노출 지수의 증가로 우리나라 보건 분야의 취약성 증가가 나타났으며, 그 분포는 그

림 9에 나타난 것과 같다. 현재 취약그룹으로 분류된 서울특별시와 대구광역시는 미래에도 취약한 것으로 나타났으며, 현재 그룹 II에 속한 인천광역시의 경우, 기후노출 지수의 증가로 인해 장기미래에는 우리나라에서 가장 취약한 지역으로 분류되었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 기후변화에 따른 대기질 변화의 보건 분야 취약성 지표 산정 방법을 제시하고 국내 16개 시·도별 취약성 지표를 도출하였다. 이를 위해 전문가 패널을 이용한 델파이 조사를 통해 국내의 기후변화 취약성을 파악하기 위한 대응변수 선정과 가중치, 각 그룹별 기여도를 산정하였다. 이를 기반으로 16개 시·도별 취약성 지표를 산정한 후, 현재 및 미래의 대기질 변화에 따른 보건 분야의 취약성 수준을 도출하였다.

델파이 조사를 통해 보건 분야에서는 총 32개의 후보 대응변수 중 노출 부문 3개, 민감도 6개, 적응능력 9개로 18개의 대응변수가 선정되었으며, 이를 바탕으로 한 취약성 평가 결과 16개 시도는 크게 4개의 그룹으로 분류되었다. 서울특별시와 대구광역시가 기후변화에 가장 취약한 그룹으로, 전라남도도와 경기도, 광주광역시, 부산광역시, 대전광역시, 강원도는 가장 덜 취약한 그룹으로 분류되었다. 취약한 지역은 타 시·도에 비해 노출지수가 크고, 적응능력지수가 낮음에 따른 것으로 분석되었다.

미래의 경우, A2 시나리오를 제외하고 중기 및 장기보다는 단기미래에 취약성이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 단기 미래에는 IPCC SRES 6개 시나리오 모두에서 노출지수가 증가하였으며, 취약성 지표가 약 1.3~2.0배 증가하여 취약성이 현재 대비 커지는 것으로 나타났다. 따라서 노출지수를 낮출 수 있는 방안 및 적응 능력을 높일 수 있는 방안 수립이 필요한 것으로 분석되었다. A2 시나리오의 경우에는 장기미래로 갈수록 노출지수가 증가하여 취약성이 커지는 것으로 나타나, 이에 대한 대책수립도 필요한 것으로 나타났다.

본 연구는 입수 가능한 지역별 통계자료를 기반으로 수행된 결과로서 지역적 특성을 완전하게 반영하지는 못하고 있다. 따라서 본 취약성 지표를 활용함

에 있어 이에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다. 향후 연구에서는 지역적 특성을 좀 더 면밀히 반영할 수 있는 자료의 추가적 확보, 불확실성이 큰 가중치 및 기여도 산정에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되며, 또한 각 정책에 대한 비용편익 등 경제적 분석을 고려한 취약성 연구도 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 건강보험관리공단 (2008) 2008년 건강보험 통계분석 자료집.
- 국가통계포털 (2010) www.kosis.kr.
- 국립환경과학원 (2010) 기후변화 대기질 취약성 평가를 위한 델파이 조사.
- 국토지리정보원 (2008) 국토조사연감(상) · (하).
- 한성현, 박재성, 서승희, 윤지은, 지선하 (2005) 한국 도시의 만성호흡기 질환 이환율에 영향을 주는 요인, 한국인구학, 28(2), 205-217.
- 환경부 (2009) 대기오염측정망 설치 · 운영지침.
- Anderson, H.R., R.G. Derwent, and J. Stedman (2001) Air pollution and climate change, Health Effects of Climate Change in the UK, Department of Health, London, 193-217.
- Bae, H., J. Ha, A.K. Lee, and J. Park (2008) Age Dependencies in Air Pollution-associated Asthma Hospitalization, Journal of Environmental Health Sciences, 34(2), 124-130. (in Korean with English abstract)
- Bell, M.L., F. Dominici, and J.M. Samet (2005) Ameta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality and air pollution study, Epidemiology, 16, 436-445.
- Bell, M.L., R.D. Peng, and F. Dominici (2006) The exposure-response curve for ozone and risk of mortality and the adequacy of current ozone regulations. Environmental Health Perspectives, 114, 532-536.
- Bey, I., D.J. Jacob, R.M. Yantosca, J.A. Logan, B.D. Field, A. M. Fiore, Q. Li, H.Y. Liu, L.J. Michley, and M.G. Schultz (2001) Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation, Journal of Geophysical Research, 106(D19), 23073-23095.
- Brooks, N. and W.N. Adger (2003) Country level risk measures of climate-related natural disasters and implications for adaptation to climate change, Working paper 26, Tyndall Centre for Climate Research, Norwich, University of East Anglia.
- Brooks, N., W.N. Adger, and P.M. Kelly (2005) The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation, Global Environmental Change, 15, 151-163.
- Byun, D. and J.K.S. Ching (1999) Science Algorithms of the EPA Model-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, United States Environmental Protection Agency Rep. EPA-600/R-99/030, 727pp.
- Choi, H.A., W.K. Lee, H.B. Kwak, S.H. Choi, J.G. Byun, S.J. Yoo, and G. Cui (2009) Climate Change Vulnerability Assessment Based on Spatio-Temporal Information, Journal of Korea Spatial Information System Society, 11(3), 63-69. (in Korean with English abstract)
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magata Rueda, L. Mearns, C.G. Menendez, J. Rvisvnen, A. Rinke, A. Sarr, and P. Whetton (2007) Regional Climate Projections, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Collins, W.D., C.M. Bitz, M.L. Blackmon, G.B. Bonan, C.S. Bretherton, J.A. Carton, P. Chang, S.C. Doney, J.J. Hack, T.B. Henderson, J.T. Kiehl, W.G. Large, D.S. McKenna, B.D. Santer, and R.D. Smith (2006) The community climate system model version 3(CCSM3), Journal of Climate, 19, 2122-2143.
- Cutter, S.L., B.J. Boruff, and W.L. Shirley (2003) Social vulnerability to Environmental Hazards, Social Science Quarterly, 84, 242-261.
- Dawson, R.J., J.W. Hall, and P.D. Bate (2005) Quantified analysis of the probability of flooding in the Thames estuary under the imaginable worst-case sea level rise scenario, Water Resources Development, 21(4), 577-591.
- Dominici, F., A. McDermott, M. Daniels, S.L. Zeger, and J.M. Samet (2005) Revised analyses of the national morbidity, mortality, and air pollution study: mortality among residents of 90 cities. Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A, 68(13-14), 1071-1092.
- Downing, T.E., M.J. Watts, and H.G. Bohle (1995) Climate change and food insecurity: Toward a sociology and

- geography of vulnerability, *Climate Change and World Food Security*, Berlin, Springer, pp.183-206.
- Füssel, H.-M. (2009) Review and quantitative analysis of indices of climate change exposure, adaptive capacity, sensitivity, and impacts, Development and climate change-background note.
- Grell, G.A., J. Dudhia, and D.R. Stauffer (1995) A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR mesoscale Model (MM5), NCAR Technical Note. NCAR/TN-398+STR, National center for atmospheric research, 122pp.
- Gryparis, A., B. Forsberg, K. Katsouyanni, A. Analitis, G. Touloumi, J. Schwartz, E. Samoli, S. Medina, H.R. Anderson, E.M. Niciu, H.E. Wichmann, B. Kriz, M. Kosnik, J. Skorkovsky, J.M. Vonk, and Z. Dortbudak (2004) Acute effects of ozone on mortality from the "Air Pollution and Health: A European Approach" project. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, 170, 1080-1087.
- Hogrefe, C., B. Lynn, K. Civerolo, J.-Y. Ku, J. Rosenthal, C. Rosenzweig, R. Goldberg, S. Gaffin, K. Knowlton, and P.L. Kinney (2004) Simulating changes in regional air pollution over the eastern United States due to changes in global and regional climate and emissions, *Journal of Geophysical Research*, 109, D22301.
- IPCC (1996) *Climate Change 1995 : The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2000) *Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2001) *Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Third Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ito, K., S.F. De Leon, and M. Lippmann (2005) Associations between ozone and daily mortality : analysis and meta-analysis. *Epidemiology*, 16, 446-457.
- Jacob, D.J. and D.A. Winner (2009) Effect of climate change on air quality, *Atmospheric Environment*, 43, 51-63.
- Jerrett, M., R.T. Burnett, C.A. Pope, K. Ito, G. Thurston, D. Krewski, Y. Shi, E. Calle, and M. Thun (2009) Long-term ozone exposure and mortality, *The New England Journal of Medicine*, 360, 1085-1095.
- Ju, Y.S. and S.H. Cho (2001) Effect of air pollution on emergency room visits for asthma: a time series analysis, *Korean Journal of Preventive Medicine*, 34(1), 61-72. (in Korean with English abstract)
- KEI (2008) Development and application of a climate change vulnerability index, KEI/2008/RE-05. (in Korean with English abstract)
- KEI (2010) Climate Change and Air Pollution Effects on Environmentally Related Disease - Interactive Effects of Temperature and Ozone on Environmentally Related Disease, KEI/2010/RE-06. (in Korean with English abstract)
- Koht, R. (2005) Handbook for assesment of foliar ozone injury on vegetation in the national parks, USA National Park Service, [http://www2.nature.nps.gov/air/permits/aris/networks/docs/Handbook\\_Ozone\\_Injury\\_Assessments.pdf](http://www2.nature.nps.gov/air/permits/aris/networks/docs/Handbook_Ozone_Injury_Assessments.pdf), 79.
- Kwon, H.J. and S.H. Cho (1999) Air pollution and daily mortality in Seoul, *Korean Journal of Preventive Medicine*, 32(2), 191-199. (in Korean with English abstract)
- Levy, J.I., S.M. Chemerynski, and J.A. Sarnat (2005) Ozone exposure and mortality: and empiric bayes metaregression analysis, *Epidemiology*, 16, 458-468.
- Lonergan, S.C., K. Gustavson, and M. Harrower (1999) Mapping human insecurity, *Environmental Change, Adaptation and Security*, 397-413.
- Meleux, F., F. Solmon, and F. Giorgi (2007) Increase in European summer ozone amounts due to climate change, *Atmospheric Environment*, 41, 7577-7587.
- Moss, R.H., A.L. Brenkert, and E.L. Malone (2001) Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach, Technical Report PNNL-SA-33642.
- NIER (2008) Development and operation of the integrated system on climate and air quality (I), NIER NO. 2008-59-1009. (in Korean with English abstract)
- NIER (2009) Development and operation of the integrated system on climate and air quality (II), NIER NO. 2009-34-1090. (in Korean with English abstract)
- NIER (2010) Development and operation of the integrated system on climate and air quality (III), NIER NO. 2010-21-1196. (in Korean with English abstract)
- Parkins, J.R. and N.A. MacKendrick (2007) Assessing community vulnerability: A study of the mountain pine outbreak in British Columbia, Canada, *Global Environmental Change*, 17, 460-471.



- Shim, K.M., K.A. Roh, K.H. So, G.Y. Kim, H.C. Jeong, and D.B. Lee (2010) Assessing impacts of global warming on rice growth and production in Korea, *Climate Change Research*, 1(2), 121-131. (in Korean with English abstract)
- Sullivan, C. and J. Meigh (2005) Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach : The example of the climate vulnerability index, *Water Science & Technology*, 15(5), 69-78.
- UNDP (2005) *Adaptation policy frameworks for climate change : Developing strategies, policies, and measures*, Cambridge University Press, USA.
- USEPA (1996) *Air quality criteria for ozone and other photochemical oxidants*, EPA-600/P-93/004 a,b,cF., National Center for Environmental Assessment, Research Triangle Park, NC, USA.
- USEPA (1999) *A user manual for the EPA third-generation air quality modeling system (Model-3 Version 3.0)*, EPA-600/R-99/055, Research Triangle Park, NC.
- Wall, E. and K. Marzall (2006) *Adaptive Capacity for Climate Change in Canadian Rural Communities*, *Local Environment*, 11(4), 373-397.