

인천지역 기후변화에 따른 미세먼지의 건강 취약성 평가

유희종*·김정곤**†·신재원*·김영주*·민성은*·제갈대성*·방기인*·이성모*

*인천보건환경연구원

**화학물질안전원

Health Vulnerability Assessment for PM₁₀ due to Climate Change in Incheon

Heejong Yoo*, Jongkon Kim**†, Jaewon Shin*, Youngju Kim*,
Sungeun Min*, Daesung Jegal*, Kiin Bang*, and Sungmo Lee*

*Incheon Research Institute of Public Health & Environment, Incheon, Republic of Korea

**National Institute of Chemical Safety, Daejeon, Republic of Korea

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted to evaluate the vulnerability of the human health sector to PM₁₀ due to climate change in Incheon over the period of 2005-2014.

Methods: Vulnerability to PM₁₀ consists of the three categories of climate exposure, sensitivity, and adaptive capacity. The indexes for climate exposure and sensitivity indicate positive effects, while adaptive capacity shows a negative effect on vulnerability to PM₁₀. The variables in each category were standardized by the rescaling method, and respective relative regional vulnerability was analyzed through the vulnerability index calculation formula of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Results: Regions with a high exposure index were the western and northern urban areas with industrial complexes adjacent to a highway, including Bupyong-gu and Seo-gu. Major factors determining the climate exposure index were the PM₁₀ concentration, days of PM₁₀ $\geq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and PM₁₀ emissions. The regions showing a high sensitivity index were urban regions with high populations; these commonly had a high mortality rate for related diseases and vulnerable populations.

Conclusions: This study is able to support regionally adjusted adaptation policies and the quantitative background of policy priority since it provides information on the regional health vulnerability to PM₁₀ due to climate change in Incheon.

Key words: Climate change, health vulnerability assessment, adaptation, PM₁₀

I. 서 론

인류 문명 발달에 중요한 에너지원인 화석연료의 연소는 온실가스 배출로 인한 지구온난화에 따른 기후변화 및 미세먼지 증가 등 각종 환경문제를 초래

하였다. 과학자들은 이러한 위기를 인류가 앞으로 잘 대처하지 못할 경우 지구 생명체의 멸망을 경고하였다.¹⁾ 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 보고서에는 온도 상승폭이 1°C 만 되어도 전염병 및

†Corresponding author: Corresponding author: National Institute of Chemical Safety, Daejeon 34111, Republic of Korea, Tel: +82-42-605-7065, Fax: +82-42-605-7052, E-mail: jungkon@korea.kr

Received: 31 May 2017, Revised: 13 June 2017, Accepted: 14 June 2017

호흡기 질환자수 등이 증가하며, 4~6°C 증가할 경우 폭염으로 인한 사망자수가 급증할 것이라고 예견하고 있다.²⁾

지난 100년간 지구의 기온은 0.76°C 상승하였는데 이는 과거 2만년 동안 4°C 상승한 것에 비하면 단 기간에 급상승하였고,³⁾ 우리나라의 경우 20세기에 평균기온이 약 1.5°C 가량 상승하여 전 지구의 평균 기온을 상회하였다.⁴⁾ 인간은 폭염에 노출되면 체온 조절을 위해 심출량이 상승하며, 이로 인해 심장혈관계의 스트레스 등으로 사망에 이르며,^{5,6)} 특히 고령자가 기온과 관련된 질환에 더 민감하다고 알려져 있다.⁷⁾ 우리나라는 전체인구 중 65세 이상 인구가 차지하는 비율이 꾸준히 증가하는 등 인구구조의 특이성 때문에 시민의 건강이 기온변화에 많은 영향을 받을 것으로 예상된다.

또한, 세계보건기구(WHO, World Health Organization)는 기후변화로 인한 대표적인 건강위험요인으로 오존층 감소와 폭염뿐만 아니라 미세먼지 등으로 인한 대기오염을 주요 원인으로 보았다.⁸⁾ 입자의 크기가 10 μm 이하인 미세먼지(PM₁₀, Particulate Matter less than 10 μm in diameter)는 1급 발암물질로 지정된 오염물질로서, 기도 자극, 폐 기능 감소, 천식 악화, 만성기관지염 발생 등 호흡기 관련질환^{9,11)} 및 부정맥, 경미한 심장마비, 심혈관계 관련질환, 심지어 조기사망에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.^{12,14)}

기후변화가 건강에 미치는 피해를 최소화 하기 위한 대책마련을 위해서는 우선적으로 기후변화와 건강간 상관관계 및 다양한 영향인자를 종합적으로 반영한 취약성분석이 선행되어야 한다. 정부와 일부 지방자치단체는 PM₁₀이 인체에 미치는 피해를 감소하고 환경보건분야의 적응대책 수립을 위해 지역특성에 맞는 취약성 평가를 실시하고 있다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 본 연구에서는 지역의 특성과 여건을 고려한 기후변화 적응대책을 수립하는데 과학적 근거자료를 제공하기 위해, 인천시 10개 행정구역을 대상으로 기후변화 취약성평가 프로그램을 활용하여 지역별 PM₁₀에 의한 건강 취약유형을 분석하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 인천광역시 8개구와 2개군의 행정구역

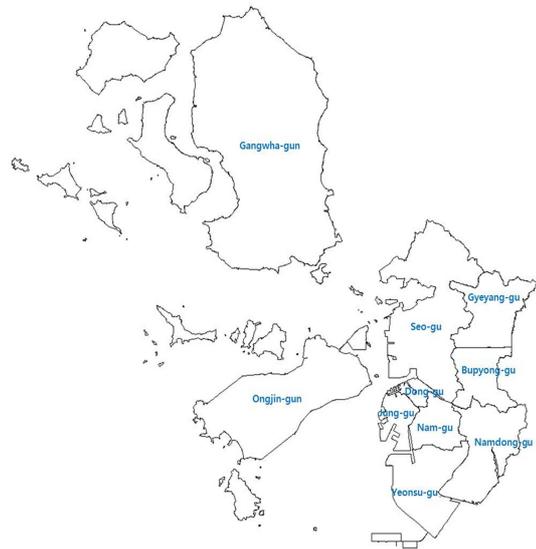


Fig. 1. Study area of PM₁₀ health vulnerability assessment in Incheon.

을 대상으로 선정하였으며, 취약성 평가 3개 지표 중 기후노출 인자는 인천 대기환경정보 공개시스템¹⁸⁾에 공개된, PM₁₀ 평균농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 시간 PM₁₀ 농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 날 횟수 및 기상자료를 활용하였다. 인구 및 사회학적 통계지표 등 민감도 및 적응능력 지표 인자는 국가통계포털¹⁹⁾ 자료를 이용하였다

2. 취약성 평가방법

본 연구는 한국정책평가연구원에서 개발한 VESTAP (Vulnerability Assessment Tool to Build Climate Change Adaptation Plan) 프로그램²⁰⁾을 활용해 인천 지역 10개 행정구역을 대상으로 기후변화로 인해 PM₁₀이 건강에 미치는 취약 정도를 평가하였다. 기후노출, 민감도 및 적응능력 지표값을 종합적으로 산출해 상대적 취약 정도를 정량적으로 도출하였다. Fig. 2은 IPCC 기후변화 취약성 개념도로서, 취약성 지수값은 잠재적 영향(기후노출+민감도)에서 적응능력을 뺀 나머지 값이다.²¹⁾

Table 1은 취약성평가 프로그램 요소인 기후노출, 민감도 및 적응능력의 각 지표별 대응변수 및 가중치를 나타내고 있다. 기후노출 지표는 시스템이 기후와 관련된 자극에 얼마나 노출되었는지를 의미한

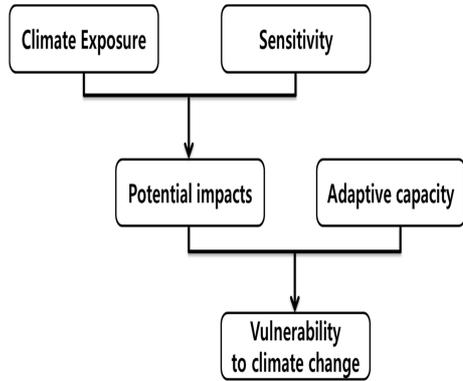


Fig. 2. The process of health vulnerability assessment due to climate change by Intergovernmental Panel on Climate Change.

다. 즉 기후와 관련된 평균적인 기후 특성, 기후 변동, 극한 기후의 빈도와 크기 등 기후변화의 모든 요소를 포함한다. 여기에는 일 최고기온 평균값, 연 평균 PM₁₀ 농도값 및 PM₁₀ 초과횟수 등으로 인간의 건강 취약성 측면에서 장기적인 적응 대책을 마련하기 위해 제시된 기준들이다.

민감도 지표란 기후와 관련된 자극이나 반응 때문에 시스템이 영향을 받는 정도로서 부정적인 영향과 긍정적인 영향을 모두 포함한다. PM₁₀에 의한 영향을 받는 민감한 정도를 나타내며 지역변화를 유발하

는 6개 인자로서, 14세 이하 인구수, 65세 이상 인구수, 기초 생활수급자 비율, 독거노인 비율, 심혈관 질환 사망자 및 호흡기 질환 입원 환자수를 선정하였다.

한편, 적응능력 지표란 시스템이 기후변동, 극한 기후현상에 관한 결과를 조절하고 잠재적인 피해를 완화하며 주어진 기회를 활용하고 결과에 대처하는 정도를 의미한다. 즉, 시스템이 PM₁₀ 영향에 대한 잠재적 피해를 얼마나 빨리 회복할 수 있는가를 나타내는 사회, 경제, 환경적 요소들이다. 여기에 포함된 6개 대응변수는 지역총생산, 보건산업 및 사회복지 서비스업, 건강보험적용 인구비율, 인구당 보건소 인력, 인구당 응급의료 기관수, 재정자립도 및 지역내 총생산을 선정하였다. 건강 취약성 평가에서 상대적 중요도를 고려해 각 지표인자 및 대응변수별 가중치를 달리 부여하였다.

III. 결 과

1. 기후노출 지수

Table 2는 최근 10년간(2005~2014) 자료를 바탕으로 분석한 결과, 기후노출 대응변수인 일 최고기온 연 평균값은 인천지역 평균(16.1°C)에 비해 동구(17.3°C)에서 최대치를 보인 반면, 도서지역인 웅진

Table 1. Variables with climate exposure, sensitivity, and adaptive capacity for PM₁₀ health vulnerability assessment in Incheon

Category	Variables	Weight score
Climate exposure (0.50)*	Daily maximum temperature (°C)	0.30
	PM ₁₀ concentration (mg/m ³)	0.20
	Frequency of PM ₁₀ concentration over 100 mg/m ³ (days)	0.20
Sensitivity index (0.27)*	Population 14 or under years of age	0.16
	Population 65 or more years of age	0.14
	Elder population who lives alone	0.14
	Patient of respiratory disease	0.26
	Patient of cardiovascular disease	0.16
	Poorer population ratio	0.14
Adaptive capacity (0.22)*	Health and Welfare GRDP (million won)	0.15
	Beneficiaries of health insurance (population)	0.11
	Healthcare personnel in hospital (population)	0.15
	The number of hospital (num/population)	0.15
	Self-reliance ratio of local finance (population)	0.26
	GRDP (million won)	0.18

Table 2. Variables of climate exposure with daily maximum temperature, PM₁₀ concentration, frequency of PM₁₀ concentration over 100 µg/m³ by region

Region	Climate exposure		
	Daily maximum temperature (°C)	PM ₁₀ Concentration (mg/m ³)	Frequency of PM ₁₀ concentration over 100 mg/m ³ (days)
Jung-gu	15.9	65.0	27.3
Dong-gu	17.3	60.3	21.6
Nam-gu	15.2	55.4	18.9
Yeonsu-gu	16.0	58.9	25.1
Namdong-gu	16.8	53.8	18.8
Bupyong-gu	16.4	56.7	22.5
Gyeyang-gu	16.5	56.2	20.5
Seo-gu	16.4	54.8	25.0
Gangwha-gun	15.6	48.4	11.6
Ongjin-gun	14.6	45.9	19.0

군(14.6°C)를 최소치를 보였고, 강화군(15.6°C)은 이보다 1°C 높았다. 한편 내륙 공업지역에 위치한 부평구와 서구는 16.4°C로 동일한 값을 보였다. PM₁₀ 연 평균값(연간 환경기준 50 µg/m³)의 경우 인천지역 평균값(55.5 µg/m³)에 비해 항만에 인접한 구 도심 지역인 중구(65.0 µg/m³)와 동구(60.3 µg/m³)가 상대적으로 높은 값을 보였고, 반면 도서지역인 강화군(48.4 µg/m³)과 옹진군(45.9 µg/m³)이 이보다 낮았다. 부평구 등 기타지역 농도범위는 53.8 µg/m³ ~ 58.9 µg/m³ 로 중간수준을 보였다. PM₁₀ 초과횟수(일간 환경기준 100 µg/m³)는 인천지역 평균(21회)에 비해 중구(27.3회)가 가장 높았고, 그 뒤를 이어 신도시 개발지역에 인접한 연수구(25.1회) 그리고 대형산업단지가 위치한 서구(25.0회), 부평구(25.0회) 순으로 높았다. 이에 비해 도서지역인 강화군(11.6회)은 가장 낮은 값을 보였다.

2. 민감도 지수

Fig. 3은 공단지역(부평구와 서구)과 도서지역(강화군 및 옹진군)에 대한 취약인구 및 건강정보 등 각 민감도 지표인자에 대한 변수값을 나타냈다. 취약인구 계층인 14세 이하(인천지역 평균 46,703명) 및

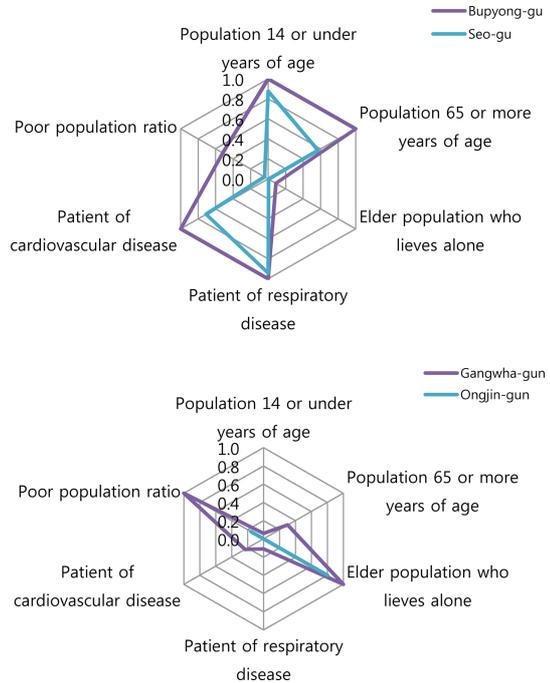


Fig. 3. Variable distributions of sensitivity index on the high area (Bupyong-gu and Seo-gu) and the low area (Gangwha-gun and Ongjin-gun) in Incheon during 2005-2014.

65세 이상인구(인천지역 평균 28,175명)는 부평구(94,521명, 82,938명)와 서구(54,913명, 33,313명)가 높은 지역으로 분류되었고, 총 인구수가 적은 옹진군(2,137명, 4,635명)이 가장 낮았고, 이어 강화군(19,887명, 4,635명)이 그 뒤를 이었다. 한편 독거노인비율(인천지역 평균 14.1) 역시 강화군(30.3)과 옹진군(25.6) 등 도서지역이 서구(7.8) 및 부평구(9.8) 다른 지역에 비해 월등히 높았고, 기초 생활수급자 비율(인천지역 평균 2.7)은 강화군(4.1)이 가장 높았고, 옹진군(2.0)은 서구(1.7)에 비해 높고, 부평구(2.9) 보다는 다소 낮았다. 호흡기질환(인천지역 평균 3,129명) 및 심장질환자수(인천지역 평균 383명)는 부평구(6,080명, 712명), 서구(5,755명, 519명)인 반면, 강화군(876명, 202명), 옹진군(233명, 48명)으로 나타났다.

3. 적응능력 지수

Fig. 4에서는 PM₁₀이 건강에 미치는 잠재적 피해를 최소화 하기 위해 필요한 공공 부문 대처역량인

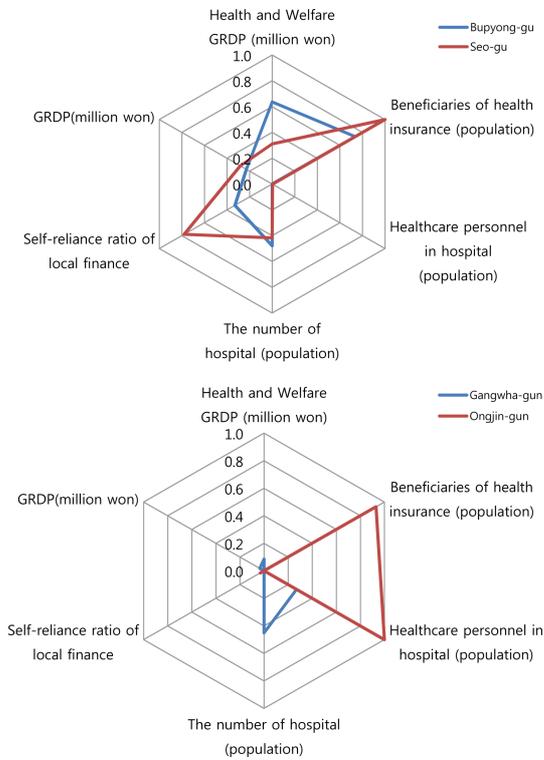


Fig. 4. Variable distributions of adaptive capacity index on the high area (Bupyong-gu and Seo-gu) and the low area (Gangwha-gun and Ongjin-gun) in Incheon during 2005-2014.

적응능력 6개 인자들에 지역별 값을 나타냈다. 보건업 및 사회복지서비스업(인천지역 평균 187,991백만원)의 지역총생산은 부평구(301,047백만원)와 서구

(155,183백만원) 상대적으로 높았고, 지역내 총생산(인천지역 평균 8,148,725백만원) 역시 이들 지역이 높았으며, 강화군 및 옹진군 등 도서지역이 낮은 값을 보였다. 반면 재정자립도(인천지역 평균 29.5)에서 공항이 위치한 중구(50.6)가 월등히 높았고, 반면 옹진군(13.7) 강화군(12.5)을 낮은 값을 보였다. 한편, 건강보험인구비율은 전 지역이 유사했으며, 인구당 보건소인력(인천지역 평균 43.9)은 내륙지역에 비해 도서지역이 많았고, 의료기관수(인천지역 평균 99.8)는 이와는 반대로 내륙지역이 도서지역에 비해 월등히 높았다.

IV. 고 찰

인천은 해안에 위치하여 다른 내륙지방보다 해양성 기후의 특성을 가지고 있으며 여름철에는 남동풍 등 계절풍이 우세하나 계절별로 약간의 차이가 있다. 인천의 평균고도는 39.8 m로 수도권 평균고도인 131.7 m, 한반도 전체 평균고도인 427 m 보다 현저히 낮은 위치에 있다. 인천의 인구는 2014년을 기준으로 296만명에 이르렀고, 행정구역 확장 등으로 인해 주민편입 및 상공업 발달에 따른 경제활동 인구의 유입 등으로 인한 꾸준히 증가하고 있다.

국립환경과학원 대기오염물질 배출량 자료에 따르면, 2006~2013년간 인천지역 PM₁₀ 부문별 배출기여도는 이동 오염원이 전체의 48.2%로 가장 높았고, 이는 인천항과 수도권매립지, 공업단지 등을 이동하는 대형화물차가 주로 그 원인이었고, 그 외 에너지

Table 3. The results of PM₁₀ health vulnerability assessment to climate change in Incheon during 2005-2014.

Region	Category	Health Vulnerability Index	Variables		
			Climate exposure	Sensitivity	Adaptive capacity
Bupyong-gu		0.43	0.31	0.22	0.10
Seo-gu		0.40	0.34	0.16	0.10
Dong-gu		0.36	0.37	0.07	0.08
Jung-gu		0.35	0.43	0.07	0.15
Yeons-gu		0.35	0.35	0.11	0.11
Gyeyang-gu		0.32	0.28	0.11	0.07
Nam-gu		0.29	0.19	0.18	0.08
Nandong-gu		0.28	0.25	0.18	0.15
Ongjin-gun		0.11	0.13	0.03	0.05
Gangwha-gun		0.10	0.04	0.11	0.05

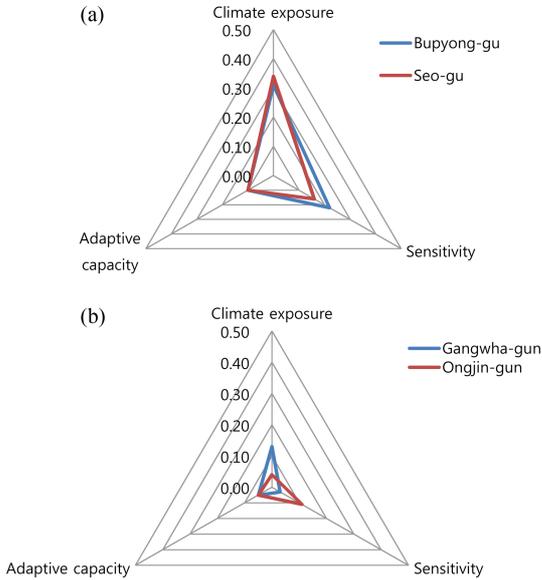


Fig. 5. The distribution of health vulnerability assessment on (a) the high area (Bupyong-gu and Seo-gu), (b) the low area (Gangwha-gun and Ongjin-gun) in Incheon during 2005-2014.

산업 및 연소(25.9%), 제조업 연소(11.7%), 생산공정(11.2%), 비 산업연소(2.05), 기타 먼 오염원 폐기물처리(0.5%) 등이 그 뒤를 차지하였다²²⁾.

Table 3는 VESTAP을 활용해 연구기간(2005~2014) 동안 인천지역 기후변화에 의한 PM₁₀의 건강에 미치는 취약 정도를 분석하여 기후노출 민감도 및 적응능력 지수값을 종합적으로 보여주고 있다. 행정구역별 건강 취약성 지수(Health Vulnerability Index)는 부평구(0.43)와 서구(0.40)가 가장 높았고, 반면 옹진군(0.11)과 강화군(0.10)이 무려 4배 가량 낮았다. 동구 등 내륙에 위치한 6개지역은 0.36에서 0.28 범위로 유사한 특성을 보였다. 취약성이 가장 높은 부평구의 건강 취약성 지수(0.43)는 기후노출 지수 0.31, 민감도 지수 0.22, 및 적응능력 지수 0.10에 각각 영향을 받았다. 세부인자를 분석한 결과 기후노출 지수에서는 PM₁₀ 농도 및 초과횟수가 높았고, 민감도 지수 중 고령자와 취약계층 인구수, 호흡기질환 입원환자수 및 심장관 사망자수 등이 높게 나타났다. 서구 건강 취약성 지수(0.40)는 부평구 보다 다소 낮았으며, 기후노출 0.34, 민감도 지수 0.16, 적응능력 지수 0.10을 각각 보였다. 서구는 경인고속도로 등 도로와 공장, 공사현장에서 생기는 먼지가

많고 또한 고령자나 취약계층 인구가 타 지역에 비해 많은 복합적 특성이 반영된 것으로 보였다. 두 지역간 건강 취약성 지수값은 크게 차이가 없었으나, 서구가 부평구에 비해 기후노출 지수는 다소 높았고, 민감도 지수 중 취약인구수 및 건강질환관련 입원 환자수 및 사망자수는 적어서 다소의 차이를 보였다. 한편, 상대적으로 안전한 도서지역인 옹진군과 강화군의 건강 취약성 지수는 0.11과 0.10로 유사한 값을 보였다. 옹진군의 기후노출 지수(0.13)는 PM₁₀ 초과횟수 등이 높아서 강화군(0.04)에 비해 상대적으로 다소 높았다. 반면 취약인구수, 독거노인비율 및 기초생활수급자비율 등이 다소 높았던 강화군의 민감도 지수(0.11)가 옹진군(0.03)에 비해 다소 높았다. 건강 취약성 지수가 유사한 구도심 지역인 동구(0.36)와 중구(0.35)는 기후노출 지수(0.37, 0.43) 민감도 지수(0.07, 0.07), 적응능력 지수(0.08, 0.15)에서도 별다른 지역적 차이를 보이지 않았다. 전체적으로 인천지역은 건강 취약성이 높은 지역은 PM₁₀ 영향으로 인한 기후노출 위험에 많이 노출되었으며, 취약인구, 건강관련 입원환자수 및 질환자수 등 민감도 지수가 높은 특성을 보였다.

V. 결 론

본 연구에서는 인천시 기후변화 적응대책 수립에 위해 필수적인 보건분야 중 PM₁₀의 건강 취약성 수준을 분석하였다. 이를 위해 한국환경정책평가연구원이 개발한 VESTAP 프로그램을 활용해, 2005년부터 2014년 동안 지역별 통계자료를 기반으로 기후노출 3개, 민감도 6개, 적응능력 6개 변수에 대한 상대적 건강취약 수준을 정량적으로 분석하였다. 기후노출, 민감도, 적응능력 지수를 종합적으로 고려한 취약성 평가결과, 먼 오염원인 산업단지외 선 오염원인 고속도로가 인접한 서북부 내륙지역인 부평구 및 서구가 취약했으며, 이들 지역은 기후노출 및 호흡기질환 환자수 등 민감도 지수에서 타 지역에 비해 높게 나타났다. 반면, 상대적으로 건강 취약성 지수가 낮은 도서지역인 강화군 및 옹진군은 PM₁₀에 의한 영향을 적게 받아 기후노출 위험도가 낮고 취약인구수 등도 역시 낮은 값을 보였다. 본 연구를 통해서 기후변화 적응정책 수립을 위해 우선적으로 고려해야 할 취약 분야를 확인할 수 있었고 건강 취

약성이 열악한 부평구 서구 등에 대해서는 기후변화로 인한 위협요소가 매우 다양하게 존재하는 공간으로서, 향후 회복력을 높이고 지속 가능한 개발을 하기 위해서는 이들 지역에 대한 환경개선 및 보건복지 예산투입 확대 등이 필요한 것으로 나타났다. 따라서, 기후노출 등 부정적 영향이 높을지라도 적응 능력이 높으면 그 시스템은 적응을 해나가며 지속 가능한 발전의 기회가 있기 때문에 각 지역별 취약 계층에 대한 집중적 관리와 행정적 경제적 제반 인프라를 확대하여 기후변화 적응능력을 강화할 수 있을 것이다. 향후, 본 연구결과는 인천지역 기후변화 종합적 적응대책과 관련하여 특화된 후속 연구추진 및 정책결정을 위한 기후변화 세부시행계획 등에 유용한 과학적 근거자료를 제공할 것이다.

References

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S; Qin, D; Manning, M; et al.; (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press; 2007. 996.
2. IPCC: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). 2007.
3. Cho HJ, Jang SH, Kim YS. Development of CO₂ Emission Estimation Model by Multiple Regression Analysis. *J Env Hlth Sci*. 2008; 34(4): 316-326.
4. National Institute of Meteorological Research: Study on the extreme heat watch warning system (II). 2007.
5. Kysel J. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol*. 2004; 49(2): 91-97.
6. Lim YH and Kim H. Climate Change and Health - A System Review of Low and High Temperature Effects on Mortality. *J Environ Health Sci*. 2011; 37(6): 397-405.
7. World Health Organization: Heat-waves: risks and response, Health and Global Environmental Change, Series, No. 2. Energy, Environment and Sustainable Development. 2014. 123.
8. WHO. Using climate to predict infectious disease outbreak: a review. Geneva: World Health Organization Press; 2004. 37-42.
9. Canova C, Dunster C, Kelly FJ, Minelli C, Shah PL, Caneja, et al. PM10-induced hospital admissions for asthma and chronic obstructive pulmonary disease: the modifying effect of individual characteristics. *Epidemiology*. 2012; 23(4): 607-615.
10. Faustini A, Stafoggia M, Cappai G, Forastiere F. Short-term effects of air pollution in a cohort of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Epidemiology*. 2012; 23(6): 861-879.
11. Ostro B, Roth L, Malig B, Marty M. The effects of fine particle components on respiratory hospital admissions in children. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(3): 475-480.
12. Colais P, Faustini A, Stafoggia M, Berti G, Bisanti L, Cadum E, et al. EPIAIR Collaborative Group. Particulate air pollution and hospital admissions for cardiac diseases in potentially sensitive subgroups. *Epidemiology*. 2012; 23(3): 473-481.
13. Katsouyanni K, Samet JM, Anderson HR, Atkinson R, Le Tertre A, Medina S, et al. HEI Health Review Committee. Air pollution and health: a European and North American approach (APH-ENA). *Res Rep Health Eff Inst*. 2009; 142: 5-90.
14. Goodman PG, Dockery DW, Clancy L. Cause-specific mortality and the extended effects of particulate pollution and temperature exposure. *Environ Health Perspect*. 2004; 112(2): 179-185.
15. Yoo GY, Kim IA. Development and application of a climate change vulnerability index. Seoul: Korea Environment Institute; 2008. RE-05. 1-88.
16. Go, JK. A study of vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-do. Gyeonggi: Gyeonggi Research Institute; 2009. Policy research 2009-37. 1-184.
17. Lee WJ, Hwang MJ, Kim YK. Health Vulnerability Assessment for PM₁₀ in Busan. *Environ Health Perspect*. 2014; 40(5): 355-366.
18. Incheon Environmental Information System, <http://ecopia.incheon.go.kr>
19. Korean Statistical Information Service, <http://kosis.kr>
20. Korea Environment Institute, <http://www.kei.re.kr>
21. IPCC. Climate change 2007: Impact, adaptation and vulnerability. Geneva: Cambridge University Press; 2007. 1-22
22. National Air Pollutants Emission Service, <http://airemiss.neir.go.kr>