

다중 영향 및 환경정의를 고려한 지역 환경보건수준 평가 사례연구

박충희[†] · 한혜지 · 이영미 · 유시은 · 정다영 · 추연희

국립환경과학원 환경보건연구과

A Case Study on the Evaluation of Environmental Health Status Focused on Multiple Impact and Environmental Justice

Choong-hee Park[†], Hye-ji Han, Young-mee Lee, Si-eun Yoo,
Da-young Jung, and Yeon-hee Chu

Environmental Health Research Division, National Institute of Environmental Research

ABSTRACT

Objectives: Based on the concept of environmental justice, we developed an evaluation model for setting and adopting the direction of environmental health policy using environmental health indicators and statistics from the local governments of Seoul, including environmentally susceptible populations.

Methods: We selected a total of 20 variables based on data officially released from national and local governments. After the classification of these variables into the five components of environmental pressure, environmental status, environmental disease, sensitive population, and socioeconomic status, a basic model was constructed to calculate the relative scores of the local governments.

Results: The cumulative impact scores for assessment of environmental health status were similar to those of the environmental pressure and status components. The highest five cumulative impact scores fell between 114 and 147. Local government A reported the highest scores and had high environmental pressure, environmental status and socioeconomic status. In addition, the evaluation of the other four local governments indicated that they exhibited above average scores for environmental pressure and environmental status, two did so for environmental disease, and four for sensitive population.

Conclusion: We constructed a model to evaluate the environmental health status of the local governments of Seoul based on cumulative impact scores under the concept of environmental justice. As an approach for studying environmentally vulnerable areas through relative ranking, this model was feasible for policy-setting. In addition, this approach would be an analytically useful tool for decision-makers.

Key words: Environmental health indicator, environmental justice, cumulative impact, basic local government

I. 서 론

환경보건지표는 환경 또는 보건지표 중 건강과 관련된 지표로, 환경보건상황을 정성적 또는 정량적으로 비교하여 지역의 환경보건수준을 평가하거나 정

책의 개입지점과 이행효과를 분석할 수 있는 도구이다.¹⁾ 환경보건지표는 세계보건기구(World Health Organization: WHO)의 개념모형인 DPSEEA 모형¹⁾을 기반으로 환경요인의 발생 및 건강영향, 정책적 대응 등 전체 과정을 추동력(Driving force)-압력

[†]Corresponding author: Environmental Health Research Division, Environmental Institute of Environmental Research, Hwangyoung-ro 42, Seo-gu, Incheon, Tel: +82-32-560-7125, E-mail: whoispch@korea.kr
Received: 4 December 2019, Revised: 9 January 2020, Accepted: 9 January 2020

(Pressure)-상태(State)-노출(Exposure)-영향(Effect)-정책(Action)의 6단계로 구성된다. DPSEEA 모델은 PSR (Pressure-State-Response) 등과 같은 모델과는 달리 exposure와 state성분을 분리하고 있는데, 이는 두 매개 변수 중 하나 또는 둘 모두에 정책적 개입이 가능하며, 원인-결과망(causal relationship) 전반에 걸쳐 정책적 개입(action)이 가능하다는 장점이 있다.²⁾

유럽연합은 2002년 WHO-유럽사무국 산하 환경보건센터에서 환경보건지표를 이용한 ‘환경보건정보시스템’ (Environment and Health Information System: ENHIS)을 운영하고 있다.³⁾ 미국은 2006년 환경청(EPA)과 질병관리본부(CDC)를 중심으로 ‘환경공중보건지표(Environmental Public Health Indicators: EPHIs)를 개발하여 환경과 관련된 건강상태나 위험성을 평가하고 환경공중보건 감시체계를 수립하는데 활용하고 있다. 우리나라에서도 2007년부터 환경보건지표 개발과정 및 절차에 대한 연구를 시작하였으며, 2019년 현재 대기 등 5개 분야에서 117개의 세부지표를 포함하는 27개의 환경보건지표를 발표하고 있다.

미국과 유럽연합에서는 지역의 환경보건상태를 평가하기 위해 환경 및 건강지표들을 종합된 정보로 요약하고, 해석하기 위하여 다양한 방법론을 도입하고 있다.^{4,5)} 미국 환경보건연구소(NIEHS)는 2012-2017 전략계획(2012-2017 Strategic Plan)을 수립하였고,⁶⁾ 캘리포니아 EPA는 CalEnviroScreen이라는 별도의 감시체계를 운영하고 있다.⁷⁾ 유럽연합에서는 다중노출을 평가하기 위하여 European Research and Innovation Programme Horizon 2020, Seventh Framework Programme에 따라 연구를 진행하고 있다.⁸⁻¹¹⁾

환경보건지표는 정책결정자를 포함하는 이해관계자들의 다양한 정보요구에 대하여 복잡하고 상세한 정보 보다는 해석이 쉬운 종합된 정보를 제공할 수 있다. 이를 위하여 종합적인 측정 또는 지수와 같이 개별 지표를 하나의 통합된 지표로 단순화하거나, 주성분분석(PCA) 등 통계적 방법론을 활용하여 다차원 변수를 분석하고 있다.¹²⁻¹⁴⁾ 그러나 환경요인은 여러 가지 상황들이 동시에 발생하며, 질병은 비환경적 요인을 포함한 다양한 원인을 가지고 있기 때문에 환경노출에 의한 건강영향은 불확실성을 포함하여 복합 노출과 영향이 동시에 나타나, 실질적인 노

출상황과 영향을 반영한 접근원칙이 필요하다.¹⁵⁾

환경오염의 특성상, 공업, 농업 및 광업 등 오염원과 철도, 도로, 항구 등 오염유발 시설은 대부분의 국가에서 저소득층이 거주하는 지역에 위치해 있다.¹⁶⁾ 또한 저소득층은 주거환경 및 공공녹지 등 사회경제적으로 제한된 위치에 거주하여 환경문제 뿐만 아니라 영양상태 및 신체상태도 영향을 받고 있다.¹⁷⁻²²⁾ 이러한 점을 고려하여 미국 캘리포니아 환경청은 저소득층의 환경오염에 의한 다중영향과 사회경제수준을 고려한 환경정의(environmental justice)를 환경보건관련 정책에 포함하고 있다.²³⁾ 또한, 환경오염물질의 다중영향(multiple impact)을 분석하기 위하여 환경오염물질과 건강영향의 관련성, 환경상태와 노출사이의 불일치, 내재적(화학물질에 대한 신체반응) 또는 비내재적(사회경제수준) 요인에 의한 환경오염의 민감성, 다양한 인구집단에서의 생리적 특성에 따른 건강영향의 불일치 등에 대한 고려가 필요하다.^{24,25)}

환경보건지표는 국가 또는 지역단위에서의 환경보건 수준의 시공간적 경향의 파악과 환경보건정책의 개입지점과 시점을 확인하는데 활용될 수 있다. 그러나 단순히 개별 지표를 비교해서는 지역의 환경보건수준의 종합적인 평가와 정책적 우선순위 결정에는 한계가 있어,^{12,26)} 정책적 활용성을 높이기 위해서는 다양한 지표를 종합하거나 관련 분야의 추가적인 자료의 생산, 연구방법론 개발 또는 정책적 판단이 필요하다. 본 연구에서는 현재 산출되고 있는 환경보건지표와 기타 국내 지자체의 공식적인 통계자료와 환경오염에 민감한 인구집단의 특성을 포함하여 환경정의의 관점에서 지역 환경보건수준을 종합평가하고, 환경보건 정책분야의 방향 설정을 위한 지역 환경보건 평가모델을 개발하고자 한다.

II. 연구방법

1. 평가에 사용된 자료

환경부에서 발표하고 있는 환경보건지표 중 지자체 단위에서 사용이 가능한 공식 자료와 서울 지자체에서 공식적으로 발표하고 있는 환경과 보건관련 통계, 그리고 통계청 및 국민건강보험공단의 사망 및 의료이용 자료를 활용하였다(Table 1). 환경보건지표는 대기자동측정망 자료 중 PM_{2.5}, O₃ 등의 자료와

Table 1. Indicators selected for pilot analysis

Component	Indicator	Unit	Data source
Environmental pressure	- Population density	person/km ²	- Statistical yearbook, 2018 [†] NIER, 2018
	- Employees in manufacturing	person/1,000	
	- Environmental budget	%	
	- Pollution discharge establishment	number/km ²	
	- Total petroleum consumption	1000 barrel/km ²	
Environmental status	- PM _{2.5}	ng/m ³	NIER, 2018 - Statistical yearbook, 2018 [†]
	- NO _x	ppb	
	- O ₃	ppb	
	- VOCs emission	ton/km ²	
	- Load length (>25m)	m/km ²	
	- Automobile registration	unit/km ²	
Environmental disease	- Neoplasm mortality	person/100,000	NIER, 2019 - Statistical yearbook, 2018 [†]
	- Circulatory/respiratory mortality	person/100,000	
	- 0-4 aged Asthma hospital utilization rate	person/100,000	
	- 0-4 aged Dermatitis hospital utilization rate	person/100,000	
Sensitive population	- 0-4 aged population	%	- Statistical yearbook, 2018 [†]
	- Over 65 aged population	%	
Socioeconomic status	- House under 2 room	%	- Statistical yearbook, 2018 [†]
	- National basic lifehood recipients	%	
	- Number of hospital	unit	

†: Published by basic local government in Seoul.

병원의료 이용률 자료(천식 및 피부염 병원 이용률)를 사용하였다. 지역의 특성 및 사회경제수준을 반영할 수 있는 인구밀도, 민감 연령 인구 비율, 경제수준(사용 방수), 특정질환에 의한 사망자수(신생물, 순환기 및 호흡기계통 사망자 수), 환경오염과 관련이 있는 지표(제조업 종사자 수, 석유류 소비량, 도로면적, 자동차 등록 등) 등은 지자체 통계연감의 자료를 사용하였다. 자료의 신뢰성을 확보하기 위해 국가 또는 지자체에서 공식적으로 발표되었으며, 16개 지자체 모두에서 산출이 가능한 지표 총 20개를 선정하였다. 환경보건수준 평가에 선정된 지표는 환경오염 수준 및 인체영향 가능성, 건강수준과 관련된 사회경제수준 그리고 생물학적 민감집단 등 5개의 성분(Environmental Pressure, Environmental Status, Environmental Disease, Sensitive Population, Socioeconomic Status)으로 분류하였다(Table 2). 선정된 변수는 상대적 순위에 따라 점수를 1-10점으로 배분하였으며, 각 변수간의 중복성을 평가하기 위하여 상관분석(pearson correlation)을 통하여 상관성의 크기 및 방향성을 분석하였다.

1.1. 환경압력(Environmental Pressure, EP) 성분

환경압력 성분에 포함된 지표로 지역의 환경오염 수준에 영향을 미치는 변수로 인구밀도, 제조업종사자 수, 환경오염 물질 배출사업장 수, 환경보호를 위해 사용된 일반회계 세출 예산 대비 환경보호예산 비율을 선정하였다.

1.2. 환경수준(Environmental Status, ES) 성분

환경수준 성분에 포함된 지표는 인체에 노출가능성이 확실하거나 연관성이 큰 변수를 선정하였다. 이들 지표에는 대기측정망 자료 중 PM_{2.5}, O₃, NO_x, 대기오염과 직접 연관된 교통에 소비된 석유류 소비량, 도로면적, 폭 25 m 이상 도로연장, 자동차등록을 선정하였다.

1.3. 환경보건수준(Environmental Disease, ED) 성분

환경보건수준 성분에 포함된 지표로는 신생물(Neoplasms), 호흡기 및 순환기계통의 사망률을 선정하였다. 이들 변수는 지자체에서 발표하는 연령표

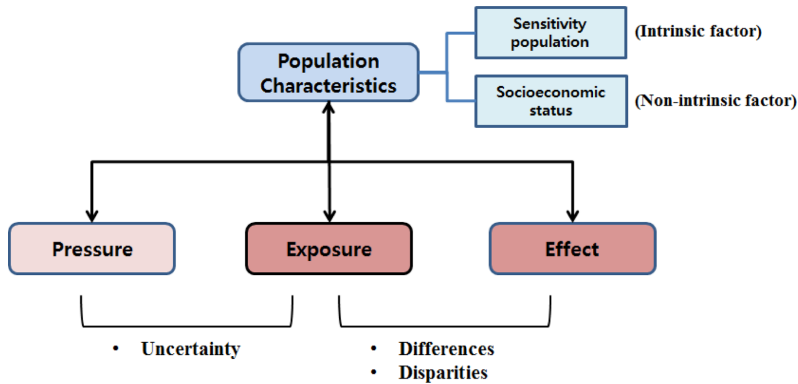


Fig. 1. Conceptual model for pilot study

준화를 하지 않은 조율(crude rate)을 사용하였다. 또한 국민건강보험공단에서 발표한 자료 중 천식 및 피부염에 의한 입원 및 내원 자료를 선정하였으며, 이들 자료도 조율을 사용하였다.

1.4. 민감집단(Sensitivity population, SP) 성분

연령은 다양한 연구에서 환경오염의 감수성을 변화시키거나 건강영향의 결과에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 어린이와 노령인구는 특히 환경오염에 민감한 것으로 알려져 있다.^{27,28} 따라서 민감인구 집단은 지자체 또는 통계청에서 발표한 0-4세 인구 비율 및 65세 인구비율을 사용하였다.

1.5. 사회경제수준(Socioeconomic status, SS) 성분

사회경제수준이 환경오염에 의한 건강영향에 간접적으로 영향을 미치거나 결과를 변화시킨다는 많은 보고가 있다.^{29,30} 일반적으로 사회경제수준 분석을 위하여 가구 월 소득, 가구의 학력수준 등이 많이 사용되고 있으나, 환경보건지표와 지자체 발표 자료에는 이들 변수가 없어 사용방수(가구당 물리적 방

의 개수), 병원 수(종합병원, 병원, 의원), 기초생활수급자 비율을 사용하였다.

2. 모델구성 및 사례연구

본 연구에서는 성분의 복합영향을 평가하기 위하여 각 개별 지표를 DPSEEA 모형에 적합하도록 5개의 성분으로 분류하여 모델을 구성하였다. 또한, 지표의 종류 및 개수와 평가결과 해석의 용이성 등을 고려하여 정책적 접근을 목적으로 압력(Pressure), 상태/영향(State/Effect), 인구특성(Population characteristics)으로 분류하였다(Fig. 1). 이러한 분류는 DPSEEA 모형에 기반한 사회구조와 환경상태의 변화에 대한 평가가 가능하며, 인구학적 민감도를 반영할 수 있다는 장점이 있다.^{28,29} 본 연구에서는 각 분야의 지표를 지자체별로 상대적인 순위로 점수화하여 평가하는 방법을 사용하였으며, 각 분야는 수용체 관점에서 환경오염의 직접 노출/영향 여부, 노출의 불확실성 및 노출에 따른 건강영향의 내재적/외재적 영향 가능성을 고려하였다.

본 연구에 사용된 최종 평가모델은 Fig. 2와 같다.

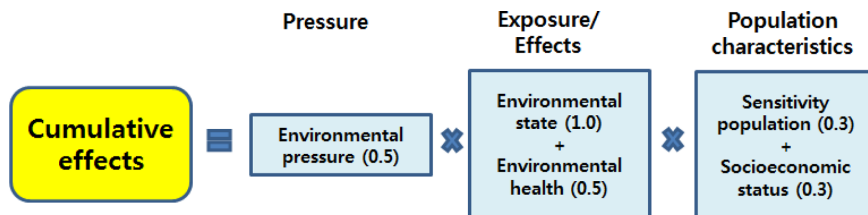


Fig. 2. Formulation for cumulative effects scores of pilot model. (): component weight

Table 2. Indicators selected for pilot analysis (raw data)

	Indicator	Mean (SD)	Median (75%)	Range
General				
	- Area (km ²)	24.2 (9.3)	23.6 (29.6)	9.96-46.99
	- Population (person)	404,983 (129,039)	-	134,593-671,173
	- Household (unit)	151,417 (47.361)	-	51,239-230,986
	- Population density	17,593 (4,857)	17,617 (20,820)	6,870-27,282
	- Employees in manufacturing	4,485 (5,741)	2,124 (5,117)	607-26,938
EP	- Environmental budget	5.6 (1.2)	5.6 (6.5)	3.3-8.4
	- Pollution discharge establishment	86 (72)	39 (148)	19-234
	- Total petroleum consumption	1,875 (1.951)	1,040 (2,545)	280-8551
	- PM _{2.5}	24.6 (1.5)	25.0 (25.0)	22.0-28.0
	- NO _x	0.030 (0.003)	0.030 (0.032)	0.023-0.035
	- O ₃	0.025 (0.003)	0.025 (0.027)	0.020-0.031
ES	- VOCs emission	2,524 (1,189)	2,199 (2,916)	1,202-6,597
	- Load length (>25 m)	40,023 (16,338)	35,800 (54,922)	14,547-68,052
	- Automobile registration	124,650 (49,008)	116,531 (148,487)	50,828-238,311
	- Neoplasm mortality	525 (149)	540 (607)	197-805
	- Circulatory/respiratory mortality	522 (149)	510 (613)	232-781
ED	- 0-4 aged Asthma hospital utilization rate	-	-	-
	- 0-4 aged Dermatitis hospital utilization rate	-	-	-
SP	- 0-4 aged population	14,530 (5,527)	15,009 (17,630)	4,181-26,860
	- Over 65 aged population	54,605 (14,797)	55,718 (65,656)	21,384-76,582
	- House under 2 room	30,370 (15,051)	28,130 (37,464)	10,913-84,998
SS	- National basic lifehood recipients	1,0534 (4,948)	9,594 (12,813)	3,966-24,224
	- Number of hospital	686 (445)	560 (723)	298-2,559

사람의 건강영향과 직접 관련이 있는 환경오염물질의 노출, 노출수준에 영향을 미치는 환경오염물질 배출, 환경오염에 대한 개인의 감수성 및 질병특성(환경오염물질의 영향과 생물학적 특성 등)이 다양하게 건강에 영향을 미치며,^{31,32)} 환경과 건강 변수사이의 기여정도를 과학적으로 산정하는 것이 어려워, 이들 지표와 구성성분에 단순 가중치를 활용하였다.²³⁾ (1) 노출과 건강영향 사이의 확실한 과학적 증거의 존재 (2) 인체노출과 질병발생 사이의 불일치 및 개인 감수성 (3) 인체의 화학물질 노출에 대한 생리적 반응에 영향을 주는 요인 또는 화학물질의 발생과 인체 노출 사이의 불확실성 등을 고려하여 가중치를 설정하였다. 각 변수는 미국 CalEnviroScreen에서 적용하는 방법에 기초하여 상대적 순위에 따라 10분위를 계산하여 1-10점의 배분하였으며, 각 성분은 노출과 직접적 관련성이 있는 경우 성분가중치를 1.0으로, 환경상태에 영향을 주는 환경압력 성분은 0.5를, 건강상태 성분은 생리적 특성을 감안하여 0.5,

민감인구 및 사회경제 수준 성분은 각각0.3을 부여하였다. 낮은 점수는 환경보건수준이 양호한 것으로 높은 점수는 환경보건수준이 불량한 것으로 설정하였으며, 각 성분에 포함된 변수의 평균점수를 각 성분의 점수로 하였다.⁷⁾

각 성분 점수는 평가결과의 크기를 고려하여 단순히 점수를 더하지 않았고 성분점수를 곱하여 산출하였다.

3. 민감도분석

본 연구에서 설정한 모델의 타당성 평가는 각 성분과 변수에 점수 배분 및 누적영향 점수 계산방식을 다양하게 적용하여 분석하였다. 본 연구에서 설정된 모델을 기본으로 민감도평가에 사용된 모델과 비교 평가하여 평가 순위의 변동을 분석하였다. 민감도 평가 결과는 상대적 순위가 높은 지자체 5지역을 대상으로 순위의 변동 상황을 분석하여 제시하였다.

Table 3. Descriptive statistics of indicators selected for pilot analysis

Indicator	Mean (SD)	Median	Range
- Population density	17,593 (4,857)	17,617	6,870-27,284
- Employees in manufacturing (1,000 persons)	14 (22)	6	1-106
- Environmental budget	5.6 (1.2)	5.6	3.3-8.4
- Pollution discharge establishment	4.2 (5.1)	2.2	0.6-21.4
- Total petroleum consumption	75.3 (59.3)	47.2	11.7-229.8
- PM ₁₀ (or PM _{2.5})	24.6 (1.5)	25.0	22.0-28.0
- NO _x	0.030 (0.003)	0.030	0.023-0.035
- O ₃	0.025 (0.003)	0.025	0.020-0.031
- VOCs emission	124.3 (119.1)	98.5	50.3-662
- Load length (>25 m)	1,713 (542)	1,628	663-2,821
- Automobile registration	5,325 (1,426)	5,175	2,126-8,663
- Neoplasm mortality	133 (19)	129	96-182
- Circulatory/respiratory mortality	133 (23)	136	87-172
- 0-4 aged Asthma hospital utilization rate	3,514 (1,397)	3,415 (4,268)	598-6,160
- 0-4 aged Dermatitis hospital utilization rate	6,522 (2,508)	6,953 (7,490)	1,650-12,325
- 0-4 aged population	3.5 (0.4)	3.5	2.5-4.3
- Over 65 aged population	13.8 (1.6)	13.4	11.4-17.2
- House under 2 room	20.3 (6.5)	18.9	8.7-37.2
- National basic lifehood recipients	2.64 (0.87)	2.43	1.09-4.56
- Number of hospital	686 (445)	560	298-2,559

III. 연구결과 및 고찰

1. 기술통계량

본 연구에서 사용된 지표의 기술통계량은 Table 3에 제시하였다(Table 2: 원자료 통계량). 서울시에 포함된 자치구의 평균면적은 24.2 km²이며, 최소 9.96 km²~최대 46.99 km²의 면적을 보이고 있다. 자치구의 인구등록 수는 평균 약 40만명 수준이며, 최소 약 13.5만명에서 최대 67.1만명 수준이었다.

서울시 자치구의 인구밀도는 평균 17,593명/km²이며, 제조업 종사자는 약 14,000명, 세입예산 중 환경보호분야 예산은 5.6%로 나타났다(Table 3). 환경오염물질 중 PM_{2.5}는 평균 24.6 (SD 1.5), 범위는 22.0~28.0으로 나타났다. 자동차 등록대수는 평균 5,325대였으며, 범위는 2,126~8,663대로 지자체 간 차이가 크게 나타났다. 0-4세의 천식과 피부염으로 인한 병원의료 이용률도 각각 평균 3,514명, 6,522명이었고, 지자체별 병원의료 이용률의 차이가 크게 나타났다.

2. 변수간의 상관성 분석

각 변수간의 상관성은 Table 4에 제시하였다. 이

들 변수 중 강한 상관관계(|r|>0.7)는 EP성분 중 인구밀도와 자동차등록대수(r=0.84), 제조업 종사자수와 환경오염물질 배출량 사업장(r=0.78), 환경오염물질 배출량사업장 수와 VOCs 대기배출량(r=0.84), ED성분 중 신생물 사망률과 호흡기/심혈관계 사망률(r=0.85), 65세 이상 인구비율(r=0.92), 기초생활수급자 비율(r=0.74), 호흡기/심혈관계 사망률과 65세 이상 인구비율(r=0.87)로 나타났다.

통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 변수를 ES 성분 중심으로 보면, VOCs 대기배출량(ES4)은 제조업 종사자수, 도로연장길이 및 자동차등록 대수와 양의 상관성을 보였으며, 도로연장 길이(ES5)는 석유류 소비량과는 양의 상관성을 O₃ 농도와는 음의 상관성을 나타내었다. 자동차등록대수(ES6)는 인구밀도 및 도로연장길이와 양의 상관성을 보였다. ED 성분과 다른 변수와의 상관성을 보면, 신생물에 의한 사망(ED1)은 O₃ 농도와 자동차등록대수, 천식 및 피부염 의료이용률(ED3, 4)은 제조업 종사자수, 환경오염물질 배출사업장 수와 음의 상관관계를 보였다. 환경상태(ES) 성분 중 PM_{2.5}, NO_x, O₃ 농도는 환경압력(EP) 성분의 변수와 상관성을 보이지 않았다. 인구밀도는 환경보호 예산비율과는 음의 상관관

Table 4. Pearson coefficient matrix of selected variables

	Environmental pressure					Environmental state						Environmental disease				Sensitive population		Socio-economic state		
	EP2	EP3	EP4	EP5	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ED1	ED2	ED3	ED4	SP1	SP2	SS1	SS2	SS3	
EP1	0.01	-0.42*	-0.14	-0.15	0.23	-0.11	-0.16	0.04	0.25	<i>0.84*</i>	-0.22	-0.08	0.27	0.29	0.21	-0.26	-0.02	-0.05	-0.18	
EP2		-0.06	<i>0.78*</i>	0.11	0.14	0.23	-0.11	<i>0.49*</i>	-0.07	0.25	-0.08	0.16	-0.44*	-0.36	-0.13	-0.01	0.30	0.17	-0.12	
EP3			0.12	0.29	-0.22	0.15	-0.12	0.08	0.19	-0.31	-0.16	-0.19	-0.20	-0.26	-0.20	-0.01	<i>0.42*</i>	-0.27	<i>0.47*</i>	
EP4				<i>0.46*</i>	0.03	0.35	-0.15	<i>0.84*</i>	0.25	0.18	-0.06	0.21	-0.47*	-0.42*	-0.07	0.07	0.34	-0.01	-0.07	
EP5					-0.13	0.28	-0.29	<i>0.55*</i>	<i>0.58*</i>	0.19	-0.28	-0.10	-0.01	0.08	0.20	-0.19	0.05	-0.17	0.27	
ES1						0.34	-0.28	-0.03	-0.01	0.28	-0.38	-0.35	-0.09	0.00	0.08	-0.44*	0.13	-0.24	-0.02	
ES2							-0.13	0.37	0.13	-0.04	-0.20	0.03	-0.26	-0.18	-0.28	-0.16	<i>0.53*</i>	-0.08	0.04	
ES3								-0.08	-0.45*	-0.38	0.40	0.16	0.12	0.05	-0.12	0.28	-0.13	<i>0.42*</i>	-0.28	
ES4									0.40	0.24	0.03	0.32	-0.37	-0.35	-0.13	0.17	0.26	0.06	-0.10	
ES5										<i>0.42*</i>	-0.26	-0.02	-0.12	-0.05	0.14	-0.14	0.15	-0.35	0.02	
ES6											-0.52*	-0.31	0.20	0.33	0.39	-0.52*	-0.04	-0.26	0.12	
ED1												0.85	-0.25	-0.47*	-0.53*	<i>0.92*</i>	-0.23	<i>0.74*</i>	-0.62*	
ED2													-0.29	-0.50*	-0.49*	<i>0.87*</i>	-0.07	0.69*	-0.63*	
ED3														<i>0.89*</i>	<i>0.59*</i>	-0.40*	-0.43*	0.12	0.31	
ED4															<i>0.69*</i>	-0.61*	-0.32	-0.09	0.38	
SP1																-0.60*	-0.38	-0.37	0.23	
SP2																	-0.04	<i>0.58*</i>	-0.53*	
SS1																		-0.23	0.06	
SS2																			-0.36	

*: $p < 0.05$, Italic bold font: $|r| > 0.7$

자동차등록과는 강한 양의 상관을 보였다. 지자체의 환경보호 예산 배정구조에 대한 추가 분석이 필요하며, 본 연구에서 자동차등록대수 변수는 단위면적을 기반으로 하였는데 인구밀도와 중복성을 고려할 필요가 있다. 제조업 종사자수는 환경오염배출사업장 수와 VOCs 대기방출량과는 양의 상관을 보이고 있어 변수간의 상관성에 대한 근거가 될 것으로 생각된다. 환경오염물질배출 사업장 수는 석유류 소비량과 VOCs 대기방출량과는 양의 상관을 보이고 있어, 향후 정책방향 설정에 도움이 될 것으로 생각되나 환경오염물질 배출사업장 변수를 배출 물질 종류 및 총량(amount of total emission)의 변수로 세분화할 필요가 있다. 석유류 소비량은 도로연장 길이와 자동차 등록대수와 양의 상관성을 보이고 있어, 이들 변수는 추후 모델평가에서 중복성 및 성분특성에 대한 평가가 있어야 한다.

환경성질환 발생과 민감계층은 0-4세 미만 및 65

세 이상이라는 인구특성 때문에 특정질환과의 상관성이 양 또는 음의 관계로 나타난 것으로 연령구조와 상관성이 있는 것으로 판단된다. 이들 두 연령인구 사이에는 통계적으로 유의한 음의 상관성($r = -0.60$)을 보이고 있어, 민감인구 성분을 구성하는 두 변수는 질병에 의한 사망 및 의료이용과 반대 경향을 보이고 있다. 이들 두 변수를 더하여 하나의 변수로 생성하는 것은 이러한 효과가 상쇄되는 결과를 보일 것으로 판단된다. 따라서 이들 연령인구집단에 대한 통합 또는 별도의 부석을 위해서 자료의 추가 수집, 변경 및 새로운 분석 방법이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구에서 사용한 변수들의 관련성에 대한 평가는 보다 다양한 자료를 추가하고, 또한 정밀한 통계 분석 방법론을 적용할 필요가 있다. 또한 정책의 방향설정 및 접근방안을 마련하기 위해서는 목적을 수립한 이후에 필요한 변수를 생산하는 구조적인 접근 방법이 필요하다.

Table 5. Cumulative impact scores for basic local government (BLG) of Seoul

BLG	Total	EP	ES	ED	SP	SS
(Mean)	74.1	2.7	5.7	2.7	1.6	1.6
A	147	4.1	7.3	1.9	1.2	2.7
B	128	3.4	7.5	2.5	1.7	2.1
C	123	3.3	6.2	3.1	1.8	2.2
D	118	3.9	6.7	2.8	2.1	1.1
E	114	3.6	5.8	2.5	1.8	2.0
F	108	3.0	6.0	3.6	1.7	2.1
G	100	3.1	6.0	3.6	2.0	1.4
H	92	3.5	6.7	2.3	1.7	1.3
I	76	2.4	5.8	3.6	1.7	1.7
J	75	3.4	7.7	2.1	1.1	1.2
K	74	2.2	6.7	2.6	2.0	1.6
L	64	2.6	4.2	2.8	2.0	1.6
M	62	2.5	7.2	1.8	0.9	1.9
N	60	2.2	5.2	2.4	1.8	1.8
O	58	3.0	6.3	2.9	1.5	0.6
P	56	2.6	5.3	2.5	1.7	1.1
Q	53	1.8	5.7	3.8	1.7	1.5
R	53	2.1	6.3	2.0	1.8	1.2
S	50	2.1	4.5	2.3	1.5	2.0
T	49	1.7	3.8	4.4	2.1	1.4
U	49	1.9	4.5	2.5	1.7	2.0
V	43	2.9	5.2	2.3	0.9	1.1
W	38	1.7	5.2	2.8	0.9	1.9
X	35	1.5	2.7	3.4	1.8	2.1
Y	30	2.1	3.7	1.5	2.0	0.8

3. 사례분석 결과

사례분석 평가모델에 포함된 5개의 성분의 점수와 이를 종합한 누적영향점수(cumulative impact score)는 Table 5에 제시하였다. 사례평가는 환경 또는 건강영향에 대한 원인-결과망에 따른 논리적 점수가 아니라 정책적 개입을 위한 지자체의 상대적 순위로 나타낸 것이며, 본 연구의 주요 관심사인 환경보전수준과 모델의 평가를 위하여 상위와 하위 점수를 기록한 각 5개의 지자체를 위주로 분석을 하였다.

누적영향점수가 높은 5개 지자체는 최대 147점에서 114점을 기록하였다. 점수가 가장 높은 A자치구는 환경압력(Environmental Pressure, EP), 환경상태(Environmental State, ES) 및 사회경제수준(Socioeconomic State, SS) 점수가 가장 높은 것으로

나타났다. 이외에 상위 4개의 지자체 점수를 평가하면 EP, ES는 모두 평균점수 이상이었으며, ED는 2개의 지자체가, SP는 4개의 지자체에서 평균점수 이상이었다. 각 성분의 점수가 전체 지자체의 평균 이하인 것은, A지자체의 ED, SP, B지자체의 ED, D지자체의 SS, E지자체의 ED성분이었다.

누적영향점수가 낮은 5개의 지자체는 30~49점을 나타내었으며, 각 성분 점수 또한 지자체의 평균점수 이하였으나, 일부 지자체에서 EP, ED, SP, SS 항목에서 1개 또는 3개의 항목이 평균점수 보다 높게 나타났다.

각 지자체의 성분점수에 포함된 개별 변수로 구분하여 제시하였다(Table 6). 누적영향점수가 가장 큰 A지자체의 경우, EP성분 점수가 가장 높았는데, 이

Table 6. Each variable scores for basic local government of Seoul

BLG	Environmental Pressure					Environmental State						Environmental Disease				Sensitive Population		Socio-economic State		
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ED1	ED2	ED3	ED4	SP1	SP2	SS1	SS2	SS3
A	7	10	9	10	5	10	8	6	10	2	8	5	6	2	2	3	5	8	10	9
B	2	9	3	10	10	6	10	5	10	9	5	8	10	1	1	2	9	8	7	6
C	10	6	5	5	7	2	5	3	8	10	9	6	9	5	5	4	8	9	8	5
D	8	9	8	8	6	8	1	4	9	8	10	3	4	6	9	9	5	4	2	5
E	6	10	5	9	6	8	5	2	9	4	7	5	5	6	4	8	4	6	6	8
F	9	7	6	4	4	8	5	4	6	6	7	8	7	8	6	5	6	5	9	7
G	4	5	5	7	10	6	8	7	5	5	5	5	5	9	10	10	3	4	7	3
H	5	7	6	9	8	6	6	6	7	9	6	3	5	5	5	6	5	7	3	3
I	6	3	7	3	5	10	9	4	5	3	4	6	8	7	8	5	6	5	6	6
J	10	3	10	4	7	10	7	3	8	8	10	3	3	5	6	5	2	2	5	5
K	9	1	4	4	4	8	7	7	5	5	8	5	4	7	5	7	6	7	4	5
L	5	2	10	5	4	6	2	7	4	2	4	9	6	4	3	4	9	1	6	9
M	8	5	1	5	6	8	7	8	6	8	6	2	3	5	4	4	2	9	4	6
N	6	1	6	4	5	6	3	5	5	7	5	7	6	3	3	5	7	5	5	8
O	7	5	4	6	8	4	5	5	7	8	9	2	2	9	10	9	1	3	1	2
P	5	4	9	3	5	6	7	4	5	5	5	5	5	4	6	7	4	4	4	3
Q	4	2	8	2	2	8	6	8	3	5	4	6	5	10	9	6	5	2	9	4
R	4	3	6	6	2	10	6	6	4	7	5	4	3	4	5	8	4	6	2	4
S	2	3	2	5	9	8	5	1	2	9	2	7	7	2	2	3	7	5	5	10
T	5	1	7	1	3	4	2	8	3	3	3	9	9	10	7	6	8	1	8	5
U	1	8	2	7	1	6	9	6	1	4	1	10	8	1	1	1	10	8	5	7
V	3	8	1	8	9	8	6	1	5	5	6	1	1	8	8	5	1	6	4	1
W	5	2	7	2	1	10	8	5	4	1	3	5	4	6	7	1	5	10	5	4
X	3	4	4	1	3	2	1	9	2	1	1	10	10	3	4	2	10	3	10	8
Y	1	6	3	6	5	6	4	5	1	4	2	1	1	5	5	10	3	5	1	2

성분에 속한 변수 중 EP5 (석유류 소비량)를 제외한 모든 변수의 순위도 높은 것으로 나타났다. 또한 ES 성분 중 PM_{2.5} 및 대기오염물질 배출량(VOCs)이 가장 높은 순위였으며, NOx, 자동차 등록대수도 높은 점수를 나타내었다. SS점수는 모두 높은 순위의 점수를 나타내었으나, ED성분은 신생물 및 호흡기계/심혈관계 사망은 중위권, 0-4세의 천식 및 피부염 의료이용률은 낮은 수준의 점수를 나타내었다. 2 번째 순위인 B지자체에서도 일부 성분에 포함된 변수의 순위에는 차이가 있었으나 ED성분 중 0-4세의 의료이용률에서는 낮은 순위를 보여 비슷한 경향성이 있었다. 1~5위 이내의 지자체에서 전체적으로 순위가 높은 지자체는 EP, ES성분 점수도 높은 것으로

나타났다. 다만, 1위와 2위인 지자체의 0~4세 인구의 병원의료이용률과 0~4세의 인구비율이 상대적으로 낮은 (전체 인구대비 비율이 낮은) 것으로 나타났다.

누적영향점수가 낮은 5개의 지자체의 성분별 변수의 순위를 살펴보면, 일부 성분에 포함된 변수의 순위가 높게 나타났으나, 전반적으로 각 변수의 점수 순위가 다른 지자체에 비하여 상대적으로 낮았다. 다만, EP성분 중 제조업종사자수(지자체U, V), 환경오염물질 배출 사업장(지자체U, V), ES성분 중 PM_{2.5}, NOx (지자체W), O₃ (지자체X), ED성분 중 사망률(지자체X), SP 성분 중 65세 이상 인구비율과 SS성분 중 기초생활수급자수와 병원 수에서 지자체 X가

Table 7. Sensitivity analysis results used alternative model

Model	Equation	Component score
Basic (multiply)	$EP \times (ES + ED) \times (SP + SS)$	$5 \times (10 + 5) \times (3 + 3)$
(A1): Additive	$EP + (ES + ED) + (SP + SS)$	$5 + (10 + 5) + (3 + 3)$
(A2): All equal (\times)	$EP \times (ES + ED) \times (SP + SS)$	$10 \times (10 + 10) \times (10 + 10)$
(A3): All equal (+)	$EP + (ES + ED) + (SP + SS)$	$10 + (10 + 10) + (10 + 10)$
(A4): Excluded Pop. Charat.	$EP \times (ES + ED)$	$5 \times (10 + 5)$

Table 8. Number of changes in rank according to alternative model

Model	Excluded from top 5 BLG	Total changes	
		ALL	Changed over 1 Level
Basic (multiply)	-	-	-
(A1): Additive	1	18	11
(A2): All equal (\times)	1	15	4
(A3): All equal (+)	1	23	15
(A4): Excluded Pop. Charat.	2	24	13

상대적으로 높은 점수를 기록하였다.

각 성분에 포함된 변수를 분석하면, 환경압력 성분과 환경상태 성분에 속한 변수는 누적영향점수와 전반적으로 비슷한 분포를 보이고 있으며, 민감 인구집단과 사회경제 성분은 일부 자치구를 제외하면 비슷한 경향성을 보이고 있다. 전체 성분의 분포를 보면, 누적영향점수가 높은 5개의 자치구 중 A와 B 자치구의 어린이(0~4세)의 천식 및 피부염 병원이용율과 0~4세 인구비율이 낮은 점수를 기록하였다. 0~4세 인구 비율 점수는 어린이 인구수와 상관없이 어린이 인구비율이 낮으면 좋은 점수를 배정한 기준에 따른 것으로 점수배정에 대한 추가적인 평가가 필요하다. 65세 이상 노령인구비율 변수도 비슷한 특성을 갖는데, 노령인구 비율이 높을수록 신생물 및 호흡기/심혈관계 질환에 의한 사망률이 높게 나타나 이들 두 변수의 중복이 전체 평가 점수에 영향을 주었는지 평가해야 한다. 이러한 특성을 명확하게 보이는 사례가 자치구 X인데, 노령인구 비율과 신생물 및 호흡기/심혈관계 질환에 의한 사망률, 기초생활수급자 비율이 높게 나타났다.

4. 민감도 분석

본 연구에서 사용된 모델의 민감도 분석을 위하여 기본 모델이외에 4가지의 모델을 구성하여 지자체의 상대순위의 변동을 살펴보았다(Table 7). 기본모델

(multiply)을 중심으로 각 성분의 점수를 더한(additive) 대안모델(A1), 기본 모델에서 각 성분의 점수를 동일하게 부여한 대안모델(A2), 성분의 점수는 동일하게 부여하여 영향을 더한 대안모델(A3), 기본모델에서 인구특성 성분을 제외한 대안모델(A4)로 구성하여 그 결과를 비교하였다.

영향점수가 높게 나타난 지자체 5곳은 민감도 분석에서도 대부분 순위 내에 있었다(Table 8). 대안모델 전체적으로 순위의 변동이 가장 작은 것은 각 성분의 점수를 동일하게 부여한 A2모델로 나타났다. A2모델은 1단계 이상 변동된 지자체가 15개로, 2단계 이상 변동된 지자체는 4곳으로 다른 대안모델에 비하여 작은 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시한 기본모델이 대안모델 A2와 가장 비슷하게 나타났으며, 각 성분의 점수 처리방식에 대한 보다 정밀한 평가가 있어야 한다.

5. 제한점 및 향후 접근방향

환경보건지표를 활용하여 국가 또는 지역 간 환경보건수준을 평가하고 있으나, 대부분 개별지표를 이용해 지역 간 상대적인 비교만 수행되었고 환경보건수준을 종합적으로 반영하고 평가한 연구는 거의 없다. 환경보건지표를 통합하여 분석하고 결과를 종합적으로 제시하는 것은 의사결정과정에서 큰 도움이 된다. 그러나 이를 위해서는 원자료의 특성 및 통합분

석 방법에 대한 자세하고 목적지향적인 접근이 필요하다.

본 연구가 갖는 몇 가지 제한점과 지역의 환경보건수준 평가를 위한 접근방안을 다음과 같이 제시한다. 1) 지리적 해상도를 높일 필요가 있다. 본 연구의 해상도는 기초자치단체이나, 실질적으로 환경오염시설 및 발생원과 인체노출 사이에 중요한 변수가 거리라는 것을 고려한다면 지자체 단위의 해상도 보다는 읍면동 단위 또는 지리적 거리 및 주변 환경을 고려하여 읍면동 보다 더 세부적으로 구분할 필요가 있다. 이렇게 한다면 환경오염 노출의 실질적 평가와 함께 오염원에 의한 영향평가와 보다 세부적인 정책적 대응이 가능할 것이다. 2) 본 연구에서는 대기측정망 자료를 측정망이 설치된 해당 지자체 전체의 수준으로 반영하였다. 그러나 기존의 연구 결과에서 오염원과 노출지점의 거리가 중요하기 때문에,²⁶⁾ 지리공간정보를 이용한 수용체 관점에서의 환경오염물질의 농도 추론을 위한 분석기법을 적용할 필요가 있다. 3) 환경오염물질의 누적영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 원인-결과 보다는 각 성분 또는 변수를 순위화해서 상대적인 위치를 결정하였으나, 과학적인 증거에 기반한 평가결과가 도출된다면, 결과의 활용 가능성 및 범위도 더 커질 것으로 판단된다. 4) 데이터 생성구조에 대한 전반적인 검토가 필요하다. 현재 공식적으로 생산되는 자료가 대부분 기초지자체 단위이기 때문에 이보다 정밀도를 높이고, 평가목적에 달성할 수 있도록 환경 또는 보건 관점에서 자료를 생산할 체계를 마련하는 근본적인 대책이 필요하다.

이러한 제한점에도 불구하고 본 연구는 환경보건 관련 변수를 특성에 따라 성분으로 분류하고 도출된 성분을 평가하여 지자체의 상대적인 순위를 결정하여 개선이 필요한 지역과 정책적 개입지점에 대한 개략적인 정보를 제공한다는 장점이 있다. 또한, 현재의 모델에 지리적 해상도와 환경 또는 보건변수를 추가하여 평가한다면 지역의 환경보건 수준의 비교와 정책적 개입 방안에 대한 보다 정확한 정보를 제공할 것으로 판단된다. 물론 누적영향점수에 대한 절대적인 기준이 있는 것은 아니며, 다양한 목적 및 관점에 따른 기준의 마련이 제시될 것으로 생각된다. 본 연구를 통하여 정책적 활용과 환경보건 수준 평가에 환경정의의 개념이 도입될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 환경보건지표와 지자체가 발표하는 통계자료를 선정한 후, 모델을 구성하여 서울의 기초자치단체에 대한 환경보건수준을 누적영향점수를 기초로 상대적 순위를 평가하였다. 기존의 환경 및 보건자료 이외에 환경정의의 개념을 도입하기 위하여 환경오염 민감계층 변수인 인구특성을 반영하였다. 다양한 분야에서 생성된 자료를 활용하기 위해서는 평가목적에 따른 자료의 생산과 수집이 필요한 것을 확인하였다. 본 연구처럼 환경보건 취약지역을 도출함에 있어 그 정도를 정량적으로 평가하기 어려운 경우에 상대적 순위로 접근하는 모델로 정책방향 설정 등에 활용하는 것이 가능할 뿐 아니라, 의사결정자들에게 유용한 분석도구라는 장점이 있었다. 그러나 분석결과와 다양하고 실질적인 정책적 활용을 위해서는 자료의 가용성 및 타당성, 자료에 대한 가중치, 신규자료의 생성기반 등을 고려한 후속 연구들이 수행될 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 국립환경과학원 연구사업 R&D 예산으로 수행되었습니다(NIER-2019-00-01-004). 의료이용 자료는 국민건강보험공단의 맞춤형 DB (연구관리번호: NHIS-2018-4-066), 표본코호트 DB (연구관리번호: NHIS-2019-2-163)를 사용하였으며, 자료를 제공한 국민건강보험공단에 감사드립니다.

References

1. Morris GP, Beck SA, Hanlon P, Robertson R. Getting strategic about the environment and health. *Public Health*. 2006; 120: 889-907.
2. Covalan CF, Kjellstrom T, Smith KR. Health, environmental and sustainable development. Identifying links and indicators to promote action. *Epidemiology*. 1999; 10(5): 656-660.
3. Corvalán C, Briggs D T, Kjellström T. Development of environmental health indicators. In: Briggs D., Corvalán C., Nurminen M. editors. *Linkage Methods for Environment and Health Analysis: General guidelines. A report of the Health and Environment Analysis for Decision-making (HEADLAMP) Project.* World Health Organiza-

- tion, Geneva; 1996: 19-53.
4. Wcislo E, Dutkiewicz T, Konczalik J. Indicator-Based Assessment of Environmental Hazards and Health Effects in the Industrial Cities of Silesia, Poland. *Environ Health Perspect.* 2002; 110(11): 1133-1140.
 5. Clerici N, Bodini A, Ferrarini A. Sustainability at the Local Scale: Defining Highly Aggregated Indices for Assessing Environmental Performance. The Province of Reggio Emilia (Italy) as a Case Study. *Environmental Management.* 2004; 34(4): 590-608.
 6. Carlin DJ, Rider CV, Woychik R, Brimbaum LS. Unraveling the health effects of environmental mixtures: an NIEHS priority. *Environ health Persp.* 2013; 121(1): a6-a8.
 7. OEHHA. Responses to major comments on the CalEnviroScreen 3.0 public review draft. Sacramento, CA. 2017. [Available: <https://oehha.ca.gov/calenviroscreen/report/calenviroscreen-30>].
 8. EC European Commission, Seventh Framework Programme of the European Community for Research, Technological Development and Demonstration Activities (2007-2013). 2006. [Available: http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/fp7/90448/fp7ec_en.pdf].
 9. EC European Commission. Horizon 2020-the Framework Programme for Research and Innovation (2014-2020). 2013. [Available: http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/legal_basis/sp/h2020-sp_en.pdf].
 10. Karjalainen T, Hoeveler A, Draghia-Akli R. European Union research in support of environment and health: building scientific evidence base for policy. *Environ. Int.* 2017; 103: 51-60.
 11. Rievanos RS. Retooling CalEnviroScreen: Cumulative pollution burden and race-based environmental health vulnerabilities in California. *Int Environ Res & Public Health.* 2018; 15(765). DOI: 10.3390/ijerph15040762.
 12. Jung SW, Lee YM, et al. A case Study on the Evaluation of Environmental Health Status Based on Environmental Health Indicators. *J Environ Health Sci.* 2016; 42(5): 1-12.
 13. Alcalá E, Brown P, Captiman JA, Gonzalez M, Cisneros R. Cumulative impact of environmental pollution and population vulnerability on pediatric asthma hospitalization: A multilevel analysis of CalEnviroScreen. 2019; 16(2683). DOI: 10.3390/ijerph16152683.
 14. Greenfield BK, Rajan J, Mckone T. A multivariate analysis of CalEnviroScreen: comparing environmental and socioeconomic stressors versus chronic diseases. *Environ. Health.* 2017; 16(131). DOI: 10.1186/s12940-017-0344-z
 15. OEHHA, Cumulative impacts: building a foundation. CA. 2010. [Available: <https://oehha.ca.gov/media/download/calenviroscreen/report/081910cid-draftreport.pdf>].
 16. Committee on Environmental Justice, Institute of Medicine. Reference. In *Toward Environmental Justice: Research, Education, and Health Policy Needs*; The National Academic Press: Washington, DC, USA, 1999.
 17. Morello-Frosch R, Zuk M, Jerrett M, Shamasunder, B, Kyle AD. Understanding the cumulative impacts of inequalities in environmental health: Implications for policy. *Health Aff.* 2011; 30: 879-887.
 18. Morello-Frosch R, Zuk M, Jerrett M, Shamasunder B, Kyle AD. Understanding the cumulative impacts of inequalities in environmental health: Implications for policy. *Health Affairs.* 2011; 30(5): 879-887.
 19. The National Academy of Sciences (NAS). Implementing Cumulative Risk Assessment. In *Science and Decisions: Advancing Risk Assessment*; The National Academies Press: Atlanta, GA, USA, 2009; 213-239.
 20. Health Effects Institute (HEI). Reference. In *Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality: A Special Report of the Institute's Particle Epidemiology Reanalysis Project*; Health Effects Institute: Cambridge, MA, USA, 2000.
 21. Finkelstein MM, Jerrett M, DeLuca P, Finkelstein N, Verma DK, Chapman K, Sears MR. Relation between income, air pollution and mortality: A cohort study. *Can. Med. Assoc. J.* 2003; 169: 397-402.
 22. Lin M, Chen Y, Villeneuve PJ, Burnett RT, Lemyre L, Hertzman C, McGrail KM, Krewski D. Gaseous air pollutants and asthma hospitalization of children with low household income in Vancouver, British Columbia, Canada. *Am. J. Epidemiol.* 2004; 159: 294-303.
 23. August LM, Faust JB, Cushing L, Zeise L, Alexeeff GV. Methodological Considerations in Screening for Cumulative Environmental Health Impacts: Lessons Learned from a Pilot Study in California. *Int J Environ Res. Public Health.* 2012; 9: 3069-3084.
 24. Alexeeff GV, Faust JB, August LM, Milanec C, et

- al. A screening method for assessing cumulative effects. *IJER&PH*. 2012; 9: 648-659.
25. Wilson S, Burwell-Naney K, Jiang C, Zhang H, Samantapudi A, Murray R, et al. Assessment of sociodemographic and geographic disparities in cancer risk from air toxics in South Carolina. *Environ Res*. 2015; 140: 562-568. [Available: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.016>].
 26. Lee YM, Jung Sw, et al. Development and Prospects of Environmental Health Indicators in Korea. *J Environ Health Sci*. 2016; 42(5): 1-9.
 27. Hwang MY, Hong SY, et al. Differences of Chemical Exposure Levels according to Residential and Personal Life-style Characteristics of Korean adult population-from Korean National Environmental Health Survey. *J Environ Health Sci*. 2019; 45(2): 142-153.
 28. Huang G, London JK. Cumulative environmental vulnerability and environmental justice in California's San Joaquin Valley. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2012; 9: 1593-1608.
 29. Adler NE, Rehkorf DH. U.S. disparities in health: Description, causes, and mechanisms. *Annu Rev Public Health*. 2008; 29: 235-252.
 30. Park, CH, Hwang MY, et al. Urinary phthalate metabolite and bisphenol A levels in the Korean adult population in association with sociodemographic and behavioral characteristics: Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) 2012-2014. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2019; 222: 903-910.
 31. Sadd J, Pastor M, Morello-Frosch R, Scoggins J, Jesdale B. Playing it safe: Assessing cumulative impact and social vulnerability through an environmental justice screening method in the south coast air basin, California. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2011; 8: 1441-1459.
 32. Pleis JR, Lethbridge-Cejkn M. Summary health statistics for U.S. adults: National Health Interview Survey. *Vital Health Stat*. 2006; 10: 1-153.
 33. Local Basic Government of Seoul. Statistical yearbook. Basic local government. 2018.

<저자정보>

박충희(연구관), 한혜지(전문위원), 이영미(연구사), 유시은(연구사), 정다영(전문위원), 추연희(전문위원)