

논문

동경의 대기오염 현황 및 건강 영향에 관한 연구

A Study on the Air Pollution Status and Health Effects in Tokyo

마창진, 강공언^{1)*}

일본 후쿠오카여자대학교 환경과학과, ¹⁾원광보건대학교 의무행정과

Chang-Jin Ma, Gong-Unn Kang^{1)*}

Department of Environmental Science, Fukuoka Women's University, Fukuoka, Japan

¹⁾Department of Medical Administration, Wonkwang Health Science University,

Iksan, Republic of Korea

접수일 2023년 5월 8일
수정일 2023년 6월 29일
채택일 2023년 7월 7일

Received 8 May 2023
Revised 29 June 2023
Accepted 7 July 2023

*Corresponding author
Tel: +82-(0)63-840-1286
E-mail: gukang@wu.ac.kr

Abstract This study introduces the current status of air pollutants and health effects in Tokyo, Japan. The medical cost support system for air pollution-related diseases implemented by local governments in Tokyo was also introduced. Through a correlation analysis between the annual concentration of air pollutants (PM_{2.5}, SO₂, NO₂) and the number of deaths from major cardiopulmonary diseases, it was proved that the higher air pollutant concentration, the more people died from acute myocardial infarction, cerebral infarction, cerebrovascular disease, and pneumonia. As a result of calculating the relative health risk of PM_{2.5} in three regions (Ogasawara, Shinjuku and Tamashi) in Tokyo, compared Ogasawara (a remote island with clean air), Shinjuku and Tamashi have a relatively high risk of respiratory diseases caused by air pollution. Finally, the results of this study are expected to contribute to efforts to reduce air pollutants such as PM_{2.5} in other metropolitan areas and to formulate policies to improve citizens' health.

Key words: Air pollutants, PM_{2.5}, Tokyo, Relative risk, Disease, Health

1. 서 론

대기오염은 호흡기질환자를 증가시키며, 특히 유아와 노인사망의 큰 원인이 되고 있다(Barnes *et al.*, 2018; Cohen *et al.*, 2017). Brauer (2019)의 연구에 따르면 대기오염으로 인해 매년 전 세계적으로 약 700만 명이 사망하고 있으며, 전 세계 90% 이상의 사람들이 오염된 공기를 마시고 있다. 또한, 세계보건기구(WHO)는 PM_{2.5}를 폐암과 방광암의 원인으로 지목하여 1군 발암물질로 지정하였다. 또한, PM_{2.5}의 건강 위해성에 관한 많은 연구에서 농도가 10 µg/m³ 증가할 때마다 고혈압 발생률이 4.4%가 증가하고, 주요 성분의 하나인 디젤 연소입자가 사람의 중이상피세포에서 독성을 일으켜 급성 중이염을 일으킬 수 있음을 입증하였다

(Franklin *et al.*, 2007; Ostro *et al.*, 2006; Burnett *et al.*, 2004; Klemm and Mason, 2003; Schwartz *et al.*, 1996). 최근의 연구에서는 PM_{2.5}가 신경세포를 공격하여 뇌에 손상을 주어 자폐증과 우울증, 치매, 파킨슨병과 같이 뇌질환 위험까지 증가시키는 것으로 알려져 있다(Wang *et al.*, 2021). 유럽연합에서 12개 국가 7만여 명의 여성을 대상으로 PM_{2.5} 농도 증가에 따른 저체중아 출생률을 분석하여 발표한 내용을 살펴보면, 임신 중 노출된 PM_{2.5} 농도가 5 µg/m³ 증가할 때마다 저체중아 출생 위험이 18%씩 증가하였다(Ortiz *et al.*, 2017).

PM_{2.5}의 건강 위해성에 관한 연구는 현재에도 계속 진행 중에 있지만, PM_{2.5} 문제가 나날이 심각해지고 있어 그 폐해는 지금보다 더 커질 수밖에 없는 상황이다. 국립환경과학원 대기환경연보 (Korea National

Institute of Environmental Research, 2019)에 따르면 최근 3년간 서울시 PM_{2.5} 농도는 23~26 µg/m³으로 세계보건기구(WHO) 연평균 권고기준보다 두 배 이상 높게 나타났다. 이런 가운데 서울시보건환경연구원에서는 2010년 기준으로 대기오염물질로 인한 조기사망률이 우리나라에서만 연간 약 1만7,000명에 달하며, 국내 대기질이 개선되지 않을 경우 2060년 대기오염으로 인한 조기사망자가 52,000명까지 늘어나 중국, 인도 다음으로 높아질 수 있을 것으로 예측하였다(Seoul Institute of Health and Environment, 2018).

또한, 대표적인 가스상 대기오염물질로써 NO₂는 만성 폐질환을 가진 사람들에게 호흡곤란을 일으키며, 심장질환 및 암으로 인한 사망률을 높인다는 보고도 있다(Romm, 2006). SO₂는 호흡기를 자극하고 기도 감염의 위험을 증가시키고 천식과 만성 기관지염을 악화시키는 것으로 알려져 있다(Johns and Linn, 2011).

이러한 상황에서 본 연구에서는 일본 동경도(이하

동경)를 대상으로 PM_{2.5} 등 대기오염물질의 현황 및 대기오염물질에 의한 도민의 건강상태 저하와 의료비 지원을 통한 실질적인 건강관련 지원정책을 조사하여 소개하고자 한다. 또한, 동경도 내 3개 지역을 대상으로 한 PM_{2.5}의 상대적 건강 위해성 평가 및 대기질 개선에 따른 PM_{2.5} 노출량 저감에 대한 사례 연구를 실시하였다. 궁극적으로 본 연구는 국내 대도시 지역에 있어서 PM_{2.5} 저감 노력과 이를 통한 주민의 삶의 질 향상을 위한 환경보건정책 입안에 기여하는 것을 목적으로 하였다.

2. 동경에서의 주요 대기오염물질 현황

표 1은 2016년 기준 일본 동경에서의 주요 대기오염물질에 대한 각 발생원별 연간 배출량(Tokyo Institute of Environmental Sciences, 2020)을 나타낸 것이다. 여기에서, SO_x는 선박에서 가장 높은 배출량(운항 시

Table 1. Annual (2016) emissions of major air pollutants in Tokyo (ton).

	SO _x	NO _x	HCl	THC*	NMVOCS**	NH ₃	PM _{2.5}
Large scale fixed sources	2,119	8,049	285			39	192
Small and medium-sized industries	20	3,277		3,013	1,374		131
Small incinerator	4	16	4	49	10		8
Restaurant							15
Open-air incineration	0.1	1		3	3	0.3	2
Construction equipment, etc.		2,690		387	284		117
VOC emission facility				65,772	65,772		
Domestic combustion equipment	77	6,056					290
LNG		3,399					24
LPG		584					2
Kerosene	77	2,073					264
Cooking							201
Smoking	3	44		241	217		167
Daily supplies				12,818	12,818		
2 and 4 -wheeled vehicle	50	12,927		7,039	6,544	731	341
Docked vessels	2,040	2,459		171	149		237
Sailing vessels	4,357	7,213		300	261		560
Tug boat	26	109		11	10		4
Aircraft	35	5,870		1,357	1,227		188
Source of ammonia						5,317	
Sum	8,808	54,767	289	91,161	88,669	6,087	2,743

*Total Hydro Carbon

**Non-Methane Volatile Organic Compounds

4,357톤, 정박 시 2,040톤)을 보였고, 그 다음은 대규모 고정발생원(2,119톤)으로 나타났다. NO_x는 자동차(이륜 포함)(12,927톤) > 대규모 고정발생원(8,049톤) > 선박(운항 시 7,213톤, 정박 시 2,495톤) > 가정용 연소기기(6,056톤) > 항공기(5,870톤) 순으로 높은 배출량을 나타내었다. 한편, PM_{2.5}의 경우 선박에서 가장 많이 배출되었으며(운항 시 560톤, 정박 시 237톤), 다음으로는 자동차 341톤, 가정용 연소기기 290톤의 순으로 나타났다. 전체적으로는 개별 발생원 중에서 선박으로부터의 배출량이 특이적으로 높게 나타났는데, 이것은 동경만을 출입하는 수많은 선박이 그 원인으로 사료된다.

표 2는 동경의 도로변과 일반대기 중에서 측정된 주요 대기오염물질 농도에 대한 2010년부터 2020년까지의 추이 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 대부분의 대기오염물질의 농도는 해가 거듭될수록 감소 추세를 보이고 있는데, 특히 2020년의 SO₂농도는 2010년의 50% 이상으로 낮아졌다. 또한, 일반대기보다 도로변에서의 농도가 자동차 배출원의 영향으로 인해 전 항목에서 상대적으로 높게 나타났다. 한편, CH₄는 다른 오염물질과는 반대로 2010년에 비해 2020년에 일반 측정지점과 도로변 측정지점 모두 그 농도가 증가하였다. CH₄는 중요한 온실가스로 대류권과 성층

권에서의 화학반응 과정에서 중요한 역할을 하고 있다. CH₄에 대한 지상 및 항공기, 위성용 이용한 전 지구적인 관측 결과, Chandra *et al.* (2020)은 대기 중 농도 증가 폭이 지난 1980년도 후반부터 2006년까지 약 30년간 크게 감소되었으나, 그후부터 다시 증가 추세를 나타내고 있다고 보고하였다. 일본기상청이 아야리, 미나미토리섬 및 요나쿠니섬의 3개 지점에서 측정한 결과를 살펴보면 대기 중 CH₄ 농도 역시 2007년 이후에는 다시 증가하고 있는 것으로 나타났다(Japan Meteorological Agency website data, https://www.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/ch4_trend.html).

한편, 2009년부터 측정이 이루어진 일본의 PM_{2.5}(일본의 연평균 대기환경기준 15 µg/m³) 자료 중 동경에서의 유효 측정자료가 확보된 2011년에서 2020년까지의 연간 추이 변화(도로변과 일반대기 측정지점)를 살펴보면, 일반대기 측정지점과 도로변 모두 현저하게 감소된 것으로 나타났다. 또한 전체 대상기간 동안 도로변에서의 농도가 일반대기에 비해 상대적으로 높았으나, 2016년 이후부터는 도로변에서의 농도도 일본의 연평균 대기환경기준(15 µg/m³)을 달성한 것으로 나타났다.

표 2에서 CH₄를 제외하면 모든 대상 대기오염물질의 농도가 2010년대 중반부터 낮아졌는데, 이러한 대

Table 2. The annual variation of the roadside and ambient concentration of major air pollutants in Tokyo from 2010 to 2020.

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
PM _{2.5} (µg/m ³)	Roadside		17.7	15.9	16.7	17.2	15	13.8	13.9	13.4	11.2	10.5
	Ambient		15.7	14.2	15.8	16.0	13.8	12.6	12.8	12.4	10.4	9.8
SO ₂ (ppb)	Roadside	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.9	1.8	1.6	1.6	1.4	1.0
	Ambient	1.8	1.7	1.8	1.8	1.9	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	0.7
NO ₂ (ppm)	Roadside	0.029	0.027	0.026	0.026	0.026	0.025	0.023	0.023	0.021	0.020	0.018
	Ambient	0.020	0.019	0.018	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.015	0.014	0.013
CH ₄ (ppm)	Roadside	1.920	1.960	1.957	1.967	1.983	1.987	1.993	1.997	1.960	1.987	2.000
	Ambient	1.925	1.948	1.948	1.957	1.961	1.968	1.968	1.966	1.961	1.978	1.987
NMHCs* (ppm)	Roadside	0.220	0.246	0.215	0.210	0.207	0.205	0.189	0.191	0.156	0.143	0.137
	Ambient	0.183	0.191	0.180	0.175	0.165	0.159	0.144	0.131	0.117	0.110	0.110
CO (ppm)	Roadside	0.52	0.49	0.48	0.42	0.40	0.37	0.34	0.34	0.31	0.31	0.32
	Ambient	0.38	0.37	0.35	0.28	0.26	0.23	0.20	0.19	0.18	0.19	0.24

*Non-Methane Hydro Carbons

기질 개선의 요인으로는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 우선, 동경은 세계 대도시에서 가장 양호한 수준의 대기환경 실현을 목표로 「도민 퍼스트로 만드는 새로운 동경을 위한 실행 플랜」(2016년 12월) 및 「동경 환경 기본계획」(2016년 3월) (Atmospheric Fine Particle Review Committee of Tokyo, 2019)을 정책목표로 설정하여, 저공해 및 저연비 자동차의 도입과 VOC 배출량 삭감, 연료 개선, 생산효율 향상, 에너지 절감 등의 노력을 해왔다. 또한, 일본 전역에서 시행된 친환경차 보급 노력이 그 원인이 될 수 있다. 여기에서 친환경차라 함은 전기자동차(EV), 플러그인 하이브리드차(PHV), 연료전지차(FCV), 하이브리드차(HEV)를 의미한다. 실제 일본 전역에서 전기자동차의 경차를 제외하고, 기타 친환경자동차의 보유대수가 2014년부터 비약적으로 증가하였다. EV, PHV, FCV 차량의 합계 보유대수는 2013년에 비해 2018년에 2.8배나 증가하였다 (<https://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai.html>).

한편, 동경의 대기질 개선에 대한 원인의 하나로 국외로부터의 오염물질 유입량의 변화가 될 수 있으므로 이를 명확히 할 필요가 있다. 이것은 일본의 경우도 한국과 마찬가지로 중국으로부터의 대기오염물질 유입이 국내 대기질에 크게 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서, 국외 오염물질 유입에 대한 지표로써 동 기간의 연간 황사관측일 수를 조사하여, 2014년 전후 5년간의 평균 황사관측일 수를 구하였다. 그 결과, 2010~2014년의 평균 관측일 수는 14.2일인 반면, 2015~2019년의 경우 7.8일 (Japan Meteorological Agency, 2023)로 나타나, 황사의 발현일 수 저감 또한 2014년 이후의 동경의 대기질 개선의 요인이 된 것으로 사료된다.

3. 동경에서의 대기오염에 따른 건강 피해의 실질적 지원제도와 그 현황

동경에서는 대기오염에 따른 건강 피해에 대한 실질적 지원책이면서 일본 지자체 유일의 독자적인 제도로써 ‘대기오염 의료비 지원제도’를 시행하고 있다.

대상자는 동경도에 설치되어 있는 대기오염 의료비 조성 검토위원회에서 의료기관의 진단서 등을 토대로 엄격한 조사심의를 거쳐서 인정된다(동경도 대기오염장해자 인정 심사조례, 공포 1972년 10월 26일 조례 제118호, 최종개정 2018년 9월 26일 조례 제48호).

본 연구에서는 대기오염 의료비 지원제도의 개요 및 적용 현황을 소개하였다. 여기에서 대기오염 의료비 지원 인정환자 수의 경우 동경 도민의 대기오염에 의한 호흡기질환의 상대적 건강 위해성 평가 시 대기오염관련 환자 수 정보로 활용하였다.

3.1 대기오염 의료비 지원제도의 제정 배경과 개요

대기오염 의료비 지원제도는 대기오염의 영향을 받을 것으로 추정되는 질병(기관지 천식 등)에 걸린 사람에 대하여 일정 요건을 충족하는 경우 의료비를 지원하도록 하고 있다. 이 제도는 1972년 10월에 도입되었다. 당시는 공장 등 고정발생원에 의한 황산화물(SO_x)을 중심으로 한 대기오염이 심각했으며, 이것이 원인으로 생각되는 호흡기질환이 증가하여 사회적으로 문제가 되었다.

일본에서는 1969년에 「공해관련 건강피해의 구제에 관한 특별조치법」 제90호(1970년 2월 시행)가 제정되었고, 동경은 이 법률을 기반으로 대기오염관련 질환 의료비 지원제도를 개시하였다. 지원대상자가 되는 요건은 아래와 같은데, (1)부터 (5)까지 모두를 충족하여야 한다.

- (1) 18세 미만
- (2) 이하 중 하나에 해당될 것
 - (가) 기관지 천식
 - (나) 만성 기관지염
 - (다) 천식성 기관지염
 - (라) 폐기종
 - (가)~(라)의 속발증
- (3) 동경 내에서 1년(3세 미만은 6개월) 이상 주소를 보유할 것
- (4) 국민의료보험 등에 가입되어 있을 것
- (5) 신청일 이후 흡연 경력이 없을 것

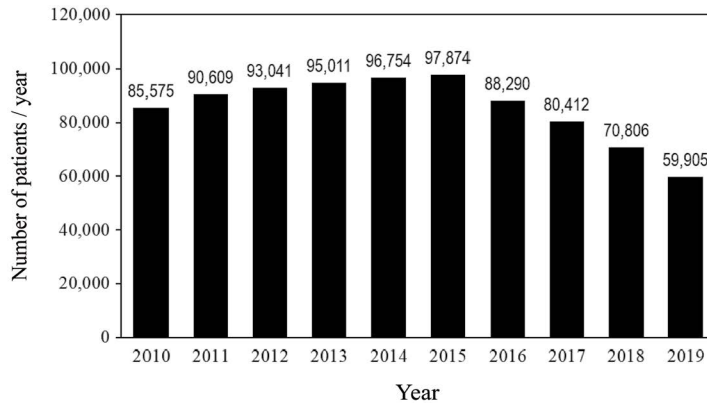


Fig. 1. Number of recognized patients in Tokyo for air pollution medical expenses over the past 10 years.

3.2 대기오염 의료비 지원제도 적용 현황

그림 1은 동경에서의 2010년부터 2019년까지의 최근 10년간 대기오염 의료비 지원 인정환자 수를 나타낸 것이다. 동경에서의 최근 10년간(2010~2019) 대기오염 의료비 지원 인정환자 수의 추이 변화를 살펴보면 2010년에서 2015년까지는 점진적으로 증가하였으나, 2015년을 기점으로 감소하고 있다. 이것은 동경에서의 대기질 개선이 그 원인 중 하나로 사료된다. 앞서 표 2에 나타낸 동경에서의 주요 대기오염물질의 연간 농도 변화에서 알 수 있듯이, 모든 대상 오염물질의 농도는 2014년을 기해 낮아졌다. 여기에서 질병 유발까지의 대기오염물질에 대한 폭로기간을 고려하면, 2015년을 기점으로 대기오염 의료비 지원 인정환자 수가 감소한 원인이 대기질 개선에 기인한 것으로 볼 수 있다.

그림 2는 동경에서의 연령별 대기오염 의료비 지원 인정환자 수(10년간의 평균)를 나타낸 것이다. 여기에서 연령별 분포를 살펴보면 40~59세의 연령대에서 그 수가 가장 높았다. 상대적인 취약계층으로 알려진 고령자의 경우 의외로 그 수가 상대적으로 낮게 나타났는데, 이것은 60세 이후의 경우 일반 의료비(국민의료보험)에 의해 개인부담이 특별히 증가하지 않기 때문에 대기오염관련 의료비 지원대상이 되어도 신청을 하지 않는 것으로 사료된다. 한편, 0~19세까지의 인정환자 수가 중년층인 40~59세 연령대 다음으로 높

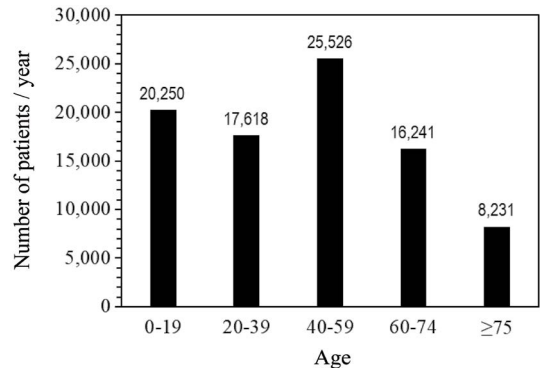


Fig. 2. Number of patients recognized for air pollution medical expenses by age in Tokyo.

게 나타나 상대적인 취약층으로 확인되었다. 그 이유로는 유아기 및 청소년기에는 아직 면역체계가 확립되지 않은 성장기이며, 동시에 다른 연령대에 비해 상대적 활동량이 많아 대기오염물질의 체내 침착량이 증가하기 때문으로 사료된다.

4. 동경에서의 대기오염물질과 건강 영향

4.1 동경에서의 주요 대기오염물질 농도와 사망자 수의 상관분석

본 연구에서는 2011년부터 2020년까지 동경의 일반대기 중 연평균 PM_{2.5}, NO₂, SO₂ 농도와 4가지 질병

즉, 급성 심근경색 (acute myocardial infarction), 뇌경색 (cerebral infarction), 뇌혈관질환 (cerebrovascular disease), 폐렴 (pneumonia)으로 인한 사망자 수 간의 상관관계를 분석하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

상관분석 결과에 의하면 우선 $PM_{2.5}$ 농도는 급성 심근경색, 뇌경색, 뇌혈관질환 및 폐렴 모두에 있어서 높은 상관성을 보였으며, 상관성의 정도는 급성심근경색 ($r=0.91$) > 뇌경색 및 폐렴 ($r=0.81$) > 뇌혈관질환 ($r=0.77$) 순으로 높게 나타났다. NO_2 농도와 4가지 질병에 의한 사망자 수와의 상관에 있어서도 상관계수가 0.86~0.98로 높은 상관성을 보였으며, 그중에서 급성심근경색과의 상관성 ($R=0.98$)이 가장 높았다. SO_2 농도 또한 4가지 질병의 원인으로 인한 사망자 수와의 상관계수는 0.76~0.92로 나타나 4가지 질병의 주요 발병요인의 하나로 사료된다.

본 연구에서는 사망률 증가의 정량적인 평가는 이루어지지 않았으나, 본 연구와 동일한 동경 23구를 대

상으로 Yorifuji *et al.* (2011)이 실시한 NO_2 및 $PM_{2.5}$ 농도와 사망률에 대한 관계를 조사하였다. 그 결과 이들 대기오염물질은 순환기계 및 폐질환 사망률, 특히 뇌혈관질환과 유의한 상관성이 있었고, $PM_{2.5}$ 는 그 농도가 $10 \mu g/m^3$ 증가할 때마다 뇌혈관질환 사망률이 1.3% 증가하였다.

Odashima (2015)의 경우에도 동경을 대상으로 한 $PM_{2.5}$ 농도와 건강 영향의 상관성 연구를 통하여 건강한 사람에 비해 지속성 기침과 알레르기 비염 증상이 있는 사람이 $PM_{2.5}$ 농도 증가에 따른 증상이 더 발생하기 쉽다고 주장하였다. 또한, 그는 동경에서의 $PM_{2.5}$ 농도 현황과 그에 따른 건강 위해성에 대해 다음과 같이 주장하였다.

- (1) $PM_{2.5}$ 농도는 연구기간까지의 최근 10년 사이에 감소 추세에 있음
- (2) $PM_{2.5}$ 의 고농도는 장거리 영향이 없을 때도 나타나
- (3) $PM_{2.5}$ 는 면역학적 작용, 감염 지속 등에 영향을 줄 수 있음

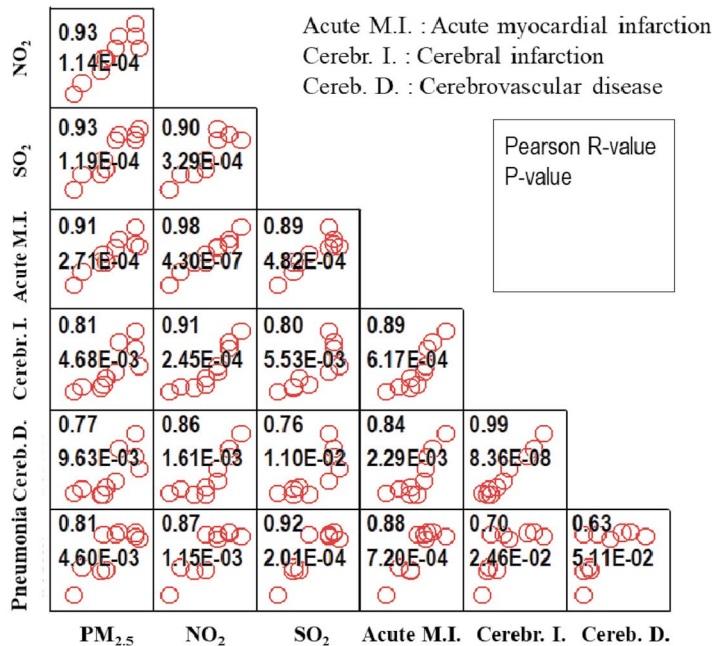


Fig. 3. A correlation matrix among the annual average $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 and the number of deaths caused by four diseases in Tokyo from 2011 to 2020.

(4) 감수성이 예민한 소아, 천식·비염 환자 등에서는 PM_{2.5} 농도 상승에 따른 증상(기침, 콧물, 눈이나 목구멍 가려움증 등)의 악화도 나타남

4.2 동경 도민의 대기오염에 의한 호흡기질환의 상대적 건강 위해성 평가

코호트 연구(cohort study)는 분석역학적 조사방법 중의 하나로, 어떤 위험요인에 노출된 집단(예를 들어 흡연 습관이 있는 군)과 노출되지 않은 집단(예를 들어 흡연 습관이 없는 군)을 추적 관찰하여 연구대상이 되는 질병(예를 들어 폐암)의 발생률(DI-rate, %)을 조사해 비교위험도(relative risk, RR)를 산정함으로써 위험요인과 질병의 관련성을 조사하는 연구기법이다(Brauer *et al.*, 2008). 위험요인의 노출 여부에 따른 인구집단(cohort)을 추적하여 결과를 얻기 때문에 시간이 많이 걸리지만, 질병발생 위험도를 직접 구할 수 있는 장점이 있다. 그림 4는 본 연구에서 수행한 코호트 연구의 RR 산정과정을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 평가대상지역(A_t)으로 신주쿠(Shinjuku)와 타마시(Tamashi)를, 비교지역(A_c)으로 오가사와라섬(Ogasawara)을 선정하였다. 여기서 A_t는 앞서 언급한 위험요인에 노출된 집단으로, 본 연구에서는 동경에서도 인구밀도가 높고 교통량 등 발생원이 많아 상대적으로 높은 대기오염에 노출되는 지역이다. A_c는 행정구역상 동경에 포함되지만, 남동쪽으로 약 1,000 km 떨어져 있고 대기오염 발생원이 거의 없는 지역이다. 또한 그림 4에서 설명한 RR 산정과정에서의 N_p 즉, 대기오염관련 환자 수는 대기오염관

련 질환의 의료비 지원제도 인정자 수로 대체 적용하였다.

표 3은 신주쿠, 타마시, 오가사와라 3개 지역의 연령별 인구, 대기오염관련 환자 수 즉, 대기오염관련 질환 의료비 지원제도 인정자 수(N_p), 그리고 건강한 사람 수(N_h)를 나타낸 것이다. 표 4는 비교지역인 오가사와라에 대한 두 분석대상지역 즉, 신주쿠 및 타마시의 RR 산정 결과를 나타낸 것이다. 앞서 기술한 바와 같이 RR 계산을 위해 우선 표 3의 자료를 이용하여 세 지역에서의 질병발생률(DI-rate, %) (의료비 지원 인정환자 수/인구×100)을 구하였다. 그리고 비교지역에서의 질병발생률(%)에 대한 대상지역에서의 질병발생률(%)의 비를 구하여 RR을 산출하였다.

표 4에서 두 지역의 연령별 RR 값이 1보다 크면 비교지역인 오가사와라에 비해 비교위험도 즉, 대기오염관련 질환의 발생위험이 크다는 것을 의미한다.

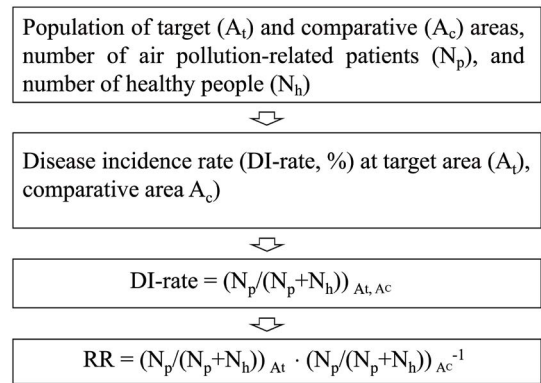


Fig. 4. Flow of RR calculation.

Table 3. Population of target (A_t) (Shinjuku and Tamashi) and comparative (A_c) (Ogasawara) areas, number of air pollution-related patients (N_p), and number of healthy people (N_h).

Age	Shinjuku			Tamasi			Ogasawara		
	Population	N _p	N _h	Population	N _p	N _h	Population	N _p	N _h
0~19	40,640	16	40,624	23,590	144	23,446	505	2	503
20~39	119,792	225	119,567	31,349	74	31,275	705	2	703
40~59	104,260	546	103,714	43,356	192	43,164	1,173	1	1,172
60~74	47,642	336	47,306	29,062	132	28,930	405	2	403
≥75	34,922	235	34,687	21,482	123	21,359	132	0	132

Table 4. The RR values in Shinjuku and Tamashi calculated with Ogasawara as comparative region.

Age	Shinjuku	Tamasi
0~19	0.099	1.541
20~39	0.662	0.832
40~59	6.143	5.195
60~74	1.428	0.920
≥75	-	-

0~19세 연령대에서는 타마시가 1.541, 40~59세의 연령대에서는 신주쿠와 타마시가 각각 6.143과 5.195, 그리고 60~74세의 연령대에서는 신주쿠가 1.428로 1보다 큰 값을 나타내었다. 75세 이상의 연령대에서는 비교지역인 오가사와라에서의 대기오염관련 질환의 의료비 지원 인정자 수가 0명이었던 이유로 산정되지 않았다. 신주쿠와 타마시 모두 40~59세의 연령대에서 5 이상의 현저하게 높은 RR 값이 나타난 것은 특이하다고 할 수 있다. 한편, 대기오염에 상대적으로 취약할 수 있는 60세 이후의 연령에서 RR 값이 크게 나타나지 않은 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 의료비 지원 제도를 신청하지 않아도 질병발생 시 국민의료보험에 의해 의료서비스를 받을 수 있기 때문으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 일본 동경의 PM_{2.5} 등 주요 대기오염 물질의 배출량 및 이들 물질의 연평균 농도의 변화 등에 대해 그 현황을 설명하였다. 또한, 대기오염으로 인한 건강 위해성 관리 측면에서 일본 지자체의 독자적인 정책으로 시행 중인 동경의 대기오염관련 질환에 대한 의료비 지원제도를 소개하였다. 2011년부터 10년간의 PM_{2.5}, NO₂, SO₂의 연평균 농도와 주요 심폐 질환에 의한 사망자 수와의 상관분석을 통해, 이들 대기오염물질의 농도가 높았던 해일수록 급성 심근경색, 뇌경색, 뇌혈관질환 및 폐렴을 원인으로 사망한 사람이 증가한 사실을 입증하였다. 동경도 내 3개 지역(신주쿠, 타마시, 오가사와라)을 대상으로 한 PM_{2.5}의

상대적 건강 위해성 평가 결과에서는 비교지역으로 대기오염물질 농도가 낮은 오가사와라에 비해 자동차 등 다양한 오염원이 있고 많은 인구가 상주 또는 이동하는 신주쿠 및 타마시가 대기오염에 의한 호흡기질환에 걸릴 위험이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 국내 대도시 지역에 있어서 PM_{2.5} 등 대기오염물질의 저감 노력과 이를 통한 주민의 삶의 질 향상을 위한 환경보건학적 정책 입안에 기여할 것으로 사료된다. 향후에는 PM_{2.5}를 중심으로 대기오염 물질의 배출량 저감에 따른 호흡기계에서의 염증 지연효과 등 건강 위해성의 저감 정도를 평가할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2023년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Atmospheric Fine Particle Review Committee (2019) Report of Tokyo Atmospheric Fine Particle Review Committee (Data 2-1).
- Barnes, N.M., Ng, T.W., Ma, K.K., Lai, K.M. (2018) In-cabin air quality during driving and engine idling in air-conditioned private vehicles in Hong Kong, *Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 611-624. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040611>
- Brauer, M. (2019) How much, how long, what, and where: air pollution exposure assessment for epidemiologic studies of respiratory disease, *Proceedings of the American Thoracic Society*, 7, 111-115.
- Brauer, M., Lencar, C., Tamburic, L., Koehoorn, M., Demers, P., Karr, C. (2008) A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes, *Environmental Health Perspectives*, 116, 680-686.
- Burnett, R.T., Stieb, D., Brook, J.R., Cakmak, S., Dales, R., Raizenne, M., Vincent, R., Dann, T. (2004) Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities, *Archives of Environmental Health*,

- 59, 228-236.
- Chandra, N., Patra, P.K., Bisht, J.S.H., Ito, A., Umezawa, T., Saigusa, N., Morimoto, S., Aoki, S., Janssens-Maenhout, G., Fujita, R., Takigawa, M., Watanabe, S., Saitoh, N., Canadell, J.G. (2020) Emissions from the oil and gas sectors, coal mining and ruminant farming drive methane growth over the past three decades, *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-015>
- Cohen, A.J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H.R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, C.A., Shin, H., Straif, K., Shaddick, G., Thomas, M., van Dingenen, R., van Donkelaar, A., Vos, T., Murray, C.J.L., Forouzanfar, M.H. (2017) Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015, *Lancet*, 389, 1907-1918.
- Franklin, M., Zeka, A., Schwartz, J. (2007) Association between PM_{2.5} and all-cause and specific-cause mortality in 27 US communities, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 17, 279-287.
- Japan Meteorological Agency website data, 2023.4.11. https://www.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/ch4_trend.Html
- Japan Meteorological Agency website data, 2023.6.16. The table of Asian dust storm observation days from 1967 to 2023. https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_table_1.html
- Johns, D.O., Linn, W.S. (2011) A review of controlled human SO₂ exposure studies contributing to the US EPA integrated science assessment for sulfur oxides, *Inhalation Toxicology*, 23, 33-43. <https://doi.org/10.3109/08958378.2010.539290>
- Klemm, R.J., Mason, R. (2003) Replication of reanalysis of Harvard six-city mortality study. In revised analyses of time-series studies of air pollution and health special report, 165-172. Health Effects Institute: Boston MA.
- Korea National Institute of Environmental Research (2019) Annual Report on the Atmospheric Environment. <https://ecolibrary.me.go.kr/nier/#/search/detail/5700499>
- Next Generation Automobile Promotion Center (A Japanese general corporation). <https://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai.html>
- Odashima, H. (2015) Fine dust and allergic diseases, *Allergy*, 64, 119-127, (in Japanese).
- Ortiz, C., Linares, C., Carmona, R., Diaz, J. (2017) Evaluation of short-term mortality attributable to particulate matter pollution in Spain, *Environmental Pollution*, 224, 541-551.
- Ostro, B., Broadwin, R., Green, S., Feng, W.Y., Lipsett, M. (2006) Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE, *Environmental Health Perspectives*, 114, 29-33.
- Romm, J. (2006) The car and fuel of the future, *Energy Policy*, 34, 2609-2614.
- Schwartz, J., Dockery, D.W., Neas, L.M. (1996) Is daily mortality associated specifically with fine particles?, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 46, 927-939.
- Seoul Institute of Health and Environment (2018) Why Should we fight fine particle? <https://news.seoul.go.kr/welfare/archives/259224>, 2018.11.08
- Tokyo Institute of Environmental Sciences (2020) Report of results of constant air pollution measurements, pp. 1-87, (in Japanese).
- Wang, Y., Li, C., Zhang, X., Kang, X., Li, Y., Zhang, W., Chen, Y., Liu, Y., Wang, W., Ge, M., Du, L. (2021) Exposure to PM_{2.5} aggravates Parkinson's disease via inhibition of autophagy and mitophagy pathway, *Toxicology*, 456, 152770. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.152770>
- Yorifuji, T., Kawachi, I., Kaneda, M., Takao, S., Kashima, S., Doi, H. (2011) Diesel vehicle emission and death rates in Tokyo, Japan: A natural experiment, *Science of The Total Environment*, 409(19), 3620-3627. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.002>

Authors Information

마창진 (일본 후쿠오카여자대학교 환경과학과 교수)
(ma@fww.ac.jp)

강공언 (원광보건대학교 의무행정과 교수)
(gukang@wu.ac.kr)