

서울시의 시간 별 미세먼지 농도변화와 응급실 방문과의 연관성

Association between hourly differences of Particulate matters concentration and Emergency department visits in Seoul

김자연¹, 김호^{1,2*}, 정권³

¹서울대학교 보건환경연구소, ²서울대학교 보건대학원, ³서울시 보건환경연구원

Jayeun Kim¹, Ho Kim^{1,2}, Jung Kweon³

¹Institute of Health and Environment, Seoul National University, ²Graduate School of Public Health, Seoul National University, ³Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

Correspondence to: Ho Kim

Department of Biostatistics and Epidemiology, Graduate School of Public Health, Seoul National University, 1 Gwanak-Ro, Gwanak_Gu, Seoul 151-752, South Korea.

Tel: +82-2-880-2702

Fax: +82-2-745-9104

E-mail: hokim@snu.ac.kr

Acknowledgements

이 연구는 한국연구재단(NRF)의 신진연구 (No. 2017R1C1B2002663) 지원을 받아 수행되었다.

Received: July 31, 2018

Revised: September 16, 2018

Accepted after revision: November 8, 2018

© Published by Korean Society for Public Health and Medicine; all rights reserved

Abstract

Objective: High particulate matter (PM) levels is known to cause cardio-respiratory symptoms exacerbation. We aimed to investigate the association between PM levels and cause-specific emergency department (ED) visits according to different size fractions (PM₁₀, PM_{10-2.5}, and PM_{2.5}) of PM at an hourly timescale.

Methods: In this study, cause-specific ED visits; asthmaticus, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), myocardial infarction (MI), and arrhythmia were analyzed for the relationship with an hourly increase of PM concentrations in different size fractions among 29 hospitals in Seoul, Korea in 2008–2011. The lag between an interquartile range increase in PM concentration and cardio-respiratory symptoms exacerbation was stratified as 1–6, 7–12, 13–18, 19–24, and 25–48 hours. Effect size [odds ratio (OR), 95% confidence interval (CI)] of increased PM levels on ED visits was investigated according to season and age after adjusting for meteorological variables.

Results: Of 8,274 asthmaticus, 6,760 COPD, 7,216 MI, and 17,088 arrhythmia were 1,805 (21.8%), 2,807 (41.5%), 3,431 (47.6%), and 8,110 (47.5%) by age \geq 65 years respectively. The highest adverse effect [OR, (95% CI)] was of 2.5–10 μ m diameter PM (PM_{10-2.5}) after 1–6 h [1.06, (1.01–1.12)] for asthmaticus, and after 7–12 h [1.06, (1.00–1.11)] for COPD in multi pollutant model. Among the four seasons, highest effect of PM₁₀ was in spring for asthmaticus and arrhythmia and summer for COPD and MI. Effect of PM was age-modified and increased adverse effect was observed among age \geq 65 years in COPD and arrhythmia-related ED visits.

Conclusion: Comprehensive data is presented for differential effects of different PM size fractions in terms of the lag after which an increase in the levels of PM is likely to cause cardio-respiratory symptoms exacerbations. In addition, it suggested the modifications in the effects size according to seasons and age.

Keywords: Acute effect, Case-crossover, Emergency Department, Effect modification, Particulate matters

서론

1. 미세먼지 정의 및 크기에 따른 분류

미세먼지(Particulate Matter, PM)는 대기 중 장기간 떠다니는 직경 $10\mu\text{m}$ 이하의 미세한 먼지로, PM10이라 하며, 학술적으로는 에어로졸(aerosol)이라고 부른다. 미세먼지는 직경 $10\mu\text{m}$ 이하의 입자상 물질이기에 우리 눈에 보이지 않을 정도로 작지만, 인체에 큰 영향을 미치는 물질로 알려져 있다.

먼지 입자크기의 범위는 $0.001\sim 1000\mu\text{m}$ 이지만 입자의 크기가 $70\mu\text{m}$ 이상일 경우 발생 즉시 침강하므로 일반적으로 총 먼지(TSP, Total Suspended Particle)는 $70\mu\text{m}$ 이하의 먼지를 총칭한다. 총 먼지 중 입자의 크기가 $10\mu\text{m}$ 이상인 경우에는 비록 도시미관에 영향을 미치긴 하지만 인체 건강에는 영향이 적기 때문에 90년대 후반 TSP 에서 PM10으로 환경규제의 기준이 변경되었다.

미세먼지는 직경에 따라 PM10, PM10-2.5, PM2.5등으로 구분된다. PM10은 1000분의 10mm, 즉 $10\mu\text{m}$ 보다 작은 먼지이며, PM10-2.5(Coarse Particles, Coarse fraction)는 직경이 $2.5\sim 10\mu\text{m}$ 로 '조대먼지'로 불린다. PM2.5(Fine Particles)는 1000분의 2.5mm보다 작은 먼지로, 머리카락 직경(약 $60\mu\text{m}$)의 $1/20\sim 1/30$ 크기보다 작은 입자로 '초 미세먼지' 또는 '극 미세먼지' 라고 불린다.

미세먼지 농도 측정은 공기 1m^3 의 부피(가로 1m, 세로 1m, 높이 1m의 공간)에 포함되어 있는 미세먼지의 양을 정확하게 알아내는 작업이며, 그 양은 질량으로 표시한다. 질량이 너무 작기 때문에 백만 분의 1g을 의미하는 μg 의 단위를 사용하여 농도 단위는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 제시하고 있다.

미세먼지 환경 기준농도는 세계보건기구와 대한민국의 경우 연평균과 24시간 평균으로 구분하여 제시하고 있다. 현재 대한민국의 PM10기준농도는 연평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, PM2.5은 기존에 연평균 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준을 적용해왔으나 최근 미국, 일본의 연평균 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 기준에 따라 우리나라도 기준 값을 강화하여 미국, 일본과 동일한 기준을 적용하고 있다. PM10의 세계보건기구(WHO) 권고기준은 연평균 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정되어있으며, PM2.5은 연평균 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정되어있다(Table 1).

〈Table 1〉 Environmental regulation for the concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of Particulate Matters in WHO and South Korea

Classification	Diameters (fraction size)	WHO		South Korea	
		Annual mean	24-hour mean	Annual mean	24-hour mean
Particulate Matters	$\leq 10\mu\text{m}$	20	50	50	100
Coarse particles	$2.5\sim 10\mu\text{m}$	-	-	-	-
Fine particles	$\leq 2.5\mu\text{m}$	10	25	15	35

2. 미세먼지의 생성

미세먼지는 자연적 또는 화학반응을 통해 생성되며, 고체상태와 액체상태 입자의 혼합물로 공기 중에 배출된다. 자연 발생원인은 자연적으로 존재하는 입자인 광물 입자(예: 황사), 소금 입자, 생물 성 입자(예: 꽃가루, 미생물)와 화산재, 산 불 등으로 발생한다[1-3]. 미세먼지의 인위적 생성은 사업장 연소, 자동차 연료 연소, 생물 성 연소 과정 등 특정 배출 원 으로부터 직접 발생되며, 미세먼지는 아황산가스, 질소 산화물, 납, 오존, 일산화 탄소 등을 포함하는 대기오염 물질로 구성되어있다[3, 4].

미세먼지의 농도변화는 국지적 요인과 더불어 최근에는 중국대륙에서 장거리 이동을 통해 미세먼지와 관련된 오염원 들이 유입되고 있다는 결과도 제시되고 있다[5, 6]. 구체적으로, 중국 본토의 산업화 된 지역에서 대기 오염 물질이 장거 리 이동을 통해 한국과 일본을 포함한 동북아의 대기 오염을 악화 시키는 요인이 될 수 있다고 추정하였다. 더불어 자연 적인 요인으로 황사(ADS, Asian Dusts)로 알려진 자연 현상 또한 동아시아에서 대기 오염을 일으키는 것으로 알려져 있다[7, 8].

3. 미세먼지 건강영향

미세먼지(Particulate Matter, PM)에 대한 노출과 사망률 및 이환율과의 관계는 이미 여러 연구에서 제시된 바 있다 [3, 9]. PM_{2.5}는 입자가 미세하여 코 점막을 통해 걸러지지 않고 흡입 시 폐포까지 직접 침투하여 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐 기능의 저하를 초래하며, 인체의 면역 기능을 약화시킴으로 조기사망률을 증가시키는 것으로 알 려져 있다.

한국에서는 미세먼지로 인한 사망률과 이환율 측면에서 건강영향을 평가한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 최근 연 구동향은 신장 기능과 대기 오염 사이의 관계에 관심을 기울이고 있으며, 이는 신장 기능의 급격한 감소나 만성 신장 질 환(CKD)이 심혈 관계 질환과도 밀접하게 연관되어 있기 때문이다[10], 이와 더불어 PM₁₀의 배출원에 따라 유해성이 다 를 수 있다는 연구 결과도 제시되었다[4]. 실제 미세먼지는 먼지 폭풍, 산불, 화산과 같은 천연 자원뿐만 아니라 운송, 연 료 연소 및 산업 공정과 같은 다양한 인간 활동으로부터 배출되기에 앞서 제시한 미세먼지의 크기에 따라 질환에 미치 는 건강영향은 상이할 수 있다[11, 12].

우리나라는 기상변수 중 온도와 습도의 영향으로 사계절이 비교적 뚜렷한 특성을 지니고 있다. 실제 미세먼지의 농도 를 측정해 보면 봄과 겨울에 농도가 높게 관찰되지만, 여름철 미세먼지의 농도는 다른 계절에 비해 비교적 낮은 편이다. 그럼에도 불구하고 여름철 고온으로 인해 미세먼지가 사망에 미치는 영향이 더 크게 추정될 수 있음이 확인되었다[13, 14], 구체적으로 온도 분포를 백분위수로 나누어 온도가 높은 경우 (전체 온도 분포에서 95-99 백분위수에 해당하는 온도 혹은 온도 분포가 99 백분위수 보다 더 큰 때의 온도)를 구분하여 성별에 따른 PM₁₀의 영향을 비교하였다. 이 연 구를 통해, 남성과 여성은 각각 온도범위 (99th <)와 (95-99th)에서 전체 사망에 미치는 영향이 가장 크게 관찰되었으 며, 이는 온도가 PM₁₀ 농도수준과 원인 별 사망률 변동에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다[15]. 더불어, 사망에 미치는 PM₁₀의 급성 효과가 계절 및 지리적 특성에 따라서도 다를 수 있음을 시사한다[15, 16]. 호흡기계 질환 중 천식으로 인 한 응급실 방문 또한 봄에 그 영향이 크게 나타났으며, 성별, 연령, 사회경제적 수준에 따라 건강에 미치는 영향의 크기 가 다름이 관찰되었다[9].

4. 연구목적

미세먼지는 심혈관계 및 호흡기계 관련 증상 악화로 인해 사망률 및 이환율을 증가시킴으로 건강에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러나 미세먼지의 크기나 지연시간에 따른 건강영향에 대해서는 알려진 결과가 미미하다.

이번 연구는 미세먼지의 농도변화가 응급실 방문을 통한 의료이용을 유인할 수 있고, 미세먼지의 크기에 따라 건강에 미치는 영향이나 노출부터 증상악화까지 소요 시간이 다를 수 있다고 가정하였다. 이에 미세먼지를 크기에 따라 세분화하여 PM10, PM10-2.5, 그리고 PM2.5로 구분하고 단시간 미세먼지 농도변화와 응급실 방문과의 연관성을 파악하기 위해 미세먼지의 시간 별 농도 측정 자료를 수집하였다.

미세먼지의 단시간 농도변화로 인한 건강영향을 파악하기 위해 응급실 의료이용 자료를 활용하여 호흡기계질환(천식, 만성폐쇄성질환)과 심혈관계질환(심근경색, 부정맥)으로 인한 응급실 방문자료를 구축하였다. 미세먼지 농도의 계절적 변동 및 인구학적 특성에 따라 단시간 미세먼지의 농도변화가 건강에 미치는 영향 즉, 연관성의 크기가 다를 수 있기에, 여러 기상 변수 및 대기오염을 보정한 분석모형을 구축 후 계절 및 연령에 따른 건강영향을 추정하였다.

연구방법

1. 연구대상자

이 연구의 분석자료는 2008년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지 서울에 소재한 응급실 방문을 통한 의료이용자료로, 서울대학교 연구윤리심의위원회(IRB No. E1707 / 003-010)의 승인을 받았다.

응급실 방문자료는 중앙응급의료센터(National Emergency Medical Center)에서 제공한 자료로 응급의료정보시스템(National Emergency Department Information System, NEDIS)자료를 활용하였다. NEDIS자료는 서울의 경우 2011년 기준, 31개 병원의 응급실 방문 의료이용정보를 제공하였으나, 31개 기관 중 전체 연구기간 내 지속적으로 응급실 의료이용자료를 이용 가능한 29개 병원만 분석에 포함시켰다. 분석에 활용된 29개 응급의료기관을 수준별로 구분하면 권역응급의료센터 1개소, 전문응급의료센터 2개소, 그리고 26개의 지역응급의료센터로 구성되어있다.

응급실 방문자료는 국제질병분류기준(International Classification of Disease 10th Revision, ICD-10)을 활용하여 천식(J45-J46), 만성폐쇄성질환(J40-J44, COPD), 심근경색증(I21-I22), 부정맥(I46-I49)로 분류하여, 연구 기간 내 이들 특정 상병으로 인한 응급실 의료이용자료를 추출하였다. NEDIS 자료에 주상병 혹은 부상병을 구분할 수 있는 별도의 정보가 없어 응급실 의료이용자료의 추출은 주·부상병을 포괄하는 전체상병코드를 대상으로 수행되었다. 연구대상 지역을 서울로 제한하였으며, NEDIS자료에 환자의 거주지(주소) 정보는 포함되어 있지 않아, 환자 거주지역은 병원의 시도기준 위치로 대체하였다. 매 응급실을 통한 의료이용에 대해 해당 상병의 발병 혹은 증상악화 시간과 날짜, 그리고 대상자의 연령 등의 정보가 NEDIS자료에서 제공되었다. NEDIS자료의 시간정보 자료를 활용하여 증상악화시간(환자보고 시간)과 응급실 도착 시간의 차이를 산출하였고, 모든 연구 대상 질환에 대해 증상 악화와 응급실 방문간의 시간 차이가 12 시간 이내에 기록 된 자료만 최종 분석 대상으로 활용하였다.

2. 대기 중 미세먼지 측정

PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 보정변수로 활용한 O3(ppb) 및 NO2(ppb)에 대한 시간 별 평균 농도 자료는 국립 환경과학원(National Institute of Environmental Research)에서 수집한 자료를 활용하였다. PM2.5의 시간 별 농도자료는 서울시 보건환경연구원에서 얻은 것으로, 시간 별 PM10의 농도 값에서 PM2.5에 대한 농도 값을 뺀 값으로 PM10-2.5농도를 계산하였다. PM2.5의 시간당 측정 값은 전체 연구기간 중 2010년 자료만 제공되었다. 따라서 PM10-2.5, PM2.5의 건강영향 추정은 2010년 한 해로 제한되었다. 분석기간 중 미세먼지의 농도가 매우 높은 날들은 황사로 인한 분진으로 간주하여 PM10 농도가 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 경우 분석에서 제외하였다.

계절효과를 살펴보기 위해 사계절은 봄(3-5월), 여름(6-8월), 가을(9-11월) 및 겨울(12월, 1월, 2월)로 구분하였다. 미세먼지 크기에 따라 전체 연구기간과 계절에 따라 각각 평균 및 사분위수 범위(IQR) 농도를 산출하였다.

미세먼지 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 증가와 환자보고에 의한 특정 상병의 증상악화 시간 사이의 시간적 간격을 지연(lagged 혹은 delayed time)이라고 부른다. 이 연구에서는 미세먼지 노출에 대한 시간과 증상악화 사이의 시간적 차이인 시간지연을 6시간 단위로 몇 개의 시간단위 블록으로 묶어 분석을 수행하였다. 미세먼지의 시간 별 측정자료를 1-6 시간(h), 7-12(h), 13-18(h), 19-24(h), 및 25-48(h)으로 다중 시간 평균으로 정의하고 각 시간내의 이동 평균값을 산출하였다. 이와 같은 방법으로 산출된 시간블록 별 농도변화와 증상악화 사이의 연관성을 산출하여, 특정 질환에 대해 크기 별 미세먼지 노출이 미치는 건강영향을 시간에 따라 계량적으로 평가하였다.

3. 혼란 변수의 통제

기상청의 시간 별 평균 기온($^{\circ}\text{C}$), 상대 습도(%) 및 기압(hPa)을 포함한 기상 자료를 활용하여, 일별 평균 기상 값을 산출하였다. 대기중의 미세먼지가 비로 인해 씻겨 내려감을 고려하여, 일별 강수량 측정정보를 활용하여 비가 온 날과 비가 오지 않은 날로 구분하였다. 예를 들어, 강수량 > 0mm 일엔 비가 온 날로 정의하였다. 응급실을 통한 호흡기 질환의 특성을 고려하여, 질병관리본부(Korean Center for Disease Control, KCDC)에서 얻은 데이터를 기반으로 주간 별 인플루엔자 환자 비율의 값을 보정변수로 활용하였다. 이때, 인플루엔자 관련 진료 방문 횟수를 총 진료 방문 횟수로 나누는 값을 연속변수로 활용하여 모형에 적합 시켰다. 한국의 경우 매년 전체적으로 의료이용의 빈도가 증가하고 있으며, 응급실을 통한 의료이용도 증가하고 있다. 인플루엔자 발병은 면역력이 상대적으로 낮은 영·유아 및 노인 연령층에서 발생률이 높은 질환으로 특히 호흡기 질환 및 심혈관계 질환으로 인한 응급실 의료이용을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 이에 주간 별 전체 의료이용대비 인플루엔자 의료이용에 대한 환자 분율 값을 모형에 적합 시켜 인플루엔자 유행여부를 보정한 상태에서 미세먼지 농도변화와 응급실 방문의 연관성을 추정하고자 하였다.

4. 통계적 분석방법

응급실을 통한 의료이용 대상자의 응급실 방문 질환과 연령, 대기 오염 물질 농도 및 기상 변수(온도, 습도, 기압, 강우 여부)에 대한 기술적 분석을 수행하였다. 통계적 분석방법은 미세먼지 농도증가와 응급실 방문간의 연관성을 추정하기 위해 시간 층화 사례 교차 분석(Time-stratified case-crossover analysis)을 적용하였다. 구체적으로 조건부 로지스

틱 회귀분석(Conditional logistic regression model)을 활용하여 미세먼지 농도에 따른 건강영향을 추정하였다.

시간 층화 사례 교차 분석방법은 연구기간에 발생한 사례(case)와 동일한 사람이 대조 군의 역할도 동시에 수행하게 된다는 가정을 바탕으로 하고, 다만 사례와 다른 노출일자(exposure date)에 대조 군이 선택된다. 즉 연구자는 동일한 대상자 안에서 사례와 대조 군의 다른 노출(대기오염) 값을 비교하게 된다. 이러한 연구디자인으로 인해 사례-교차 분석은 (단)시간에 따라 크게 변하지 않는 변수들(예: 연령, 기저질환 등)이 통계모형에서 자동 보정되는 장점을 가진다.

시간 층화는 특정 개인의 의료이용이 발생한 날을 기준으로 대체로 같은 년(Year), 월(Month)에 안에서 대조 군을 선택한다. 예를 들어, 대조군 선택이 같은 요일(day of the week)기준으로 추출할 경우 대개 같은 해, 같은 달 안에 동일 요일이 4-5개 있으므로, 사례 군을 제외한 3-4개의 대조 군이 추출된다. 만약 대조군 선택 기준을 모든 짝수일 혹은 모든 홀수일로 선택할 경우 대개 14-16개 정도의 대조 군이 추출될 수 있다.

미세먼지 IQR 농도 증가의 건강영향은 온도, 상대 습도, 기압, 강우여부 등의 기상변수와 주간 별 인플루엔자 외래 환자 비율, 미세먼지 이외의 대기오염 NO₂, O₃를 보정한 후 계절에 따라 6개의 이동 평균(1-6(h), 7-12(h), 13-18(h), 19-24(h), 그리고 25-48(h)에 따라 추정되었다. 미세먼지 농도 변화에 따른 통합적인 건강영향을 추정 후, 계절 (봄, 여름, 가을, 겨울)과 연령범주(≤19 세, 20-64 세, ≥65 세)에 따른 건강영향도 세분화하여 평가하였다. 건강영향 추정결과는 미세먼지의 크기에 따라 IQR 증가에 의한 오즈비(Odds ratio)와 95 % 신뢰 구간(CI)으로 제시하였다.

모든 통계 분석은 SAS 버전 9.3(SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina) 및 R 3.1.1(Comprehensive R Archive Network : <http://cran.r-project.org>)을 사용하여 수행되었으며, 양측검정으로 p 값 <0.05를 통계적 유의 수준으로 채택하였다.

연구결과

1. 기술적 분석결과

전체 연구 기간 4년(2008-2011) 동안 천식, COPD, 심근경색증, 부정맥으로 응급실을 방문했던 환자의 인구학적 특성을(Table 2)에 제시하였다. 서울의 29개 응급실의 연구 상병에 대한 포함기준에 적합한 방문건수는 천식(8,274건), COPD(6,760건), 심근경색증(7,216건), 부정맥(17,088건)으로 해당 상병에서 모두 남성의 응급실 방문 빈도가 더 높았다. 계절별로 호흡기질환인 천식[가을(31.0 %)]과 COPD[봄(28.9 %)]가 비교적 높은 빈도를 보였으며, 심근경색과 부정맥은 상대적으로 계절적 빈도분포의 특성이 뚜렷하지 않았다.

〈Table 2〉 Demographic characteristics of respiratory and cardiovascular related ED visits in Seoul, Korea, 2008–2011

Variable	Category	Asthmaticus ¹⁾	COPD ¹⁾	MI ¹⁾	Arrhythmia ¹⁾
Overall		8,274 (100.0)	6,760 (100.0)	7,216 (100.0)	17,088 (100.0)
	Regional emergency medical center	267 (3.2)	199 (2.9)	–	959 (5.6)
Classification of emergency medical center ³⁾	Specialized emergency medical center	892 (10.8)	995 (14.7)	–	2,751 (16.1)
	Localized emergency medical center	7,115 (86.0)	5,566 (82.3)	–	13,378 (78.3)
Age	0–19	3,506(42.4)	2,735(40.5)	10(0.1)	788(4.6)
	20–64	2,963(35.8)	1,218(18.0)	3,775(52.3)	8,189(47.9)
	65≤	1,805(21.8)	2,807(41.5)	3,431(47.6)	8,110(47.5)
Season	Spring	2,156(26.1)	1,956(28.9)	1,946(27.0)	4,305(25.2)
	Summer	1,672(20.2)	1,557(23.0)	1,700(23.6)	4,255(24.9)
	Fall	2,561(31.0)	1,604(23.7)	1,862(25.8)	4,330(25.3)
	Winter	1,885(22.8)	1,643(24.3)	1,708(23.7)	4,198(24.6)
Interval time(mn) ²⁾	Overall	175.0 (66.0–371.0)	214.0 (88.0–420.0)	120.0 (60.0–269.5)	116.0 (60.0–240.0)
	Spring	162.0 (62.0–354.0)	212.5 (84.0–418.0)	120.0 (60.0–279.0)	116.0 (60.0–240.0)
	Summer	163.5 (64.0–357.0)	225.0 (93.0–427.0)	125.0 (60.0–273.0)	120.0 (59.0–242.0)
	Fall	183.0 (71.0–403.0)	208.0 (82.5–418.5)	120.0 (60.0–266.0)	115.0 (60.0–240.0)
	Winter	180.0 (66.0–381.0)	214.0 (92.0–418.0)	120.0 (60.0–261.0)	113.0 (59.0–241.0)

ED; Emergency department, COPD; Chronic obstructive pulmonary disease, MI; Myocardial infarction

¹⁾ The causes of ED visits were defined using ICD–10th for asthmaticus (J45–J46), COPD (J40–J44), MI (I21–I22), and Arrhythmia (I46–I49).

²⁾ Interval time is calculated with subtraction between onset time and ED registered time at the arrival of hospitals for each specified cause of ED visits and it is presented as median with 1st quartile and 3rd quartile values while other variables are presented with number and percentage.

³⁾ Total number of emergency medical center enrolled in the study was 29; 1 regional emergency medical center, 2 specialized emergency medical center, and 26 localized emergency medical center.

연구 기간 동안의 시간 별 환경 노출 수준의 분포(평균, 25th–75th)를 〈Table 3〉에 제시하였다. 미세먼지의 크기에 따른 시간 별 농도는 계절적으로 PM10 [봄 (60.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 38.4–74.9)], PM10–2.5 [봄 (28.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 14.6–36.3)], PM2.5 [겨울 (28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 17.3–36.6) 에 높게 나타났다. PM10, PM10–2.5, 그리고 PM2.5 농도의 전체 연구 기간 내의 IQR 값은 각각 34.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 16.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다.

〈Table 3〉 Descriptive statistics of environmental exposures in Seoul, Korea, 2008–2011

Variable	Overall ¹⁾	Spring (Mar–May) ¹⁾	Summer (Jun–Aug) ¹⁾	Fall (Sep–Nov) ¹⁾	Winter (Dec–Feb) ¹⁾
Mean temperature(°C)	12.5 (3.7–22.2)	11.7 (6.4–16.8)	24.4 (22.2–26.6)	15.0 (10.3–20.5)	-1.2 (-5.3–2.8)
Mean relative Humidity(%)	60.7 (45.0–77.0)	55.5 (38.0–73.0)	71.4 (60.0–85.0)	61.2 (47.0–76.0)	54.7 (40.0–68.0)
Mean air pressure(hPa)	1,016.1 (1,009.8–1,022.7)	1,015.4 (1,011.0–1,020.2)	1,007.4 (1,004.5–1,010.6)	1,018.1 (1,013.9–1,022.4)	1,023.8 (1,020.3–1,027.6)
N. of raining days(%) ²⁾	467 (100.0)	111 (23.8)	191 (40.9)	87 (18.6)	78 (16.7)
Weeklyinfluenzapatientp roportion ³⁾	6.3 (2.8–6.7)	6.2 (3.2–6.6)	2.9 (2.0–3.9)	7.5 (2.6–6.2)	8.9 (4.1–12.3)
Mean PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁴⁾	50.8 (29.9–63.9)	60.0 (38.4–74.9)	38.8 (20.5–51.6)	45.1 (26.1–56.1)	59.6 (38.9–72.9)
Coarse PM($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁴⁾	22.8 (11.4–28.1)	28.2 (14.6–36.3)	14.9 (8.2–20.0)	20.5 (10.6–24.7)	27.6 (16.5–32.9)
Mean PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁴⁾	24.8 (13.8–30.8)	24.5 (15.6–30.8)	23.3 (12.0–29.6)	22.9 (10.6–27.2)	28.6 (17.3–36.6)
Mean ozone(ppb) ⁴⁾	18.1 (5.8–25.8)	24.7 (11.7–34.8)	22.3 (8.5–31.0)	14.0 (3.9–20.6)	11.0 (3.2–17.2)
Mean NO2(ppb) ⁴⁾	38.3 (26.1–48.9)	41.2 (28.3–52.0)	31.8 (22.6–39.8)	38.1 (26.2–48.4)	42.4 (28.8–54.6)

¹⁾ All exposure variables including pollutant concentrations are presented with mean (Interquartile range; 1st quartile–3rd quartile).

²⁾ Those days which daily precipitation is greater than 0 mm are defined raining days.

³⁾ Weekly influenza patient proportion is calculated from the number of clinic visits for influenza symptoms divided by the total number of clinic visits and the data are supplied by the disease web statistics system, Korean Centers for Diseases Control and Prevention.

⁴⁾ All presented pollutants' concentration is hourly basis and PM2.5 is available only in year of 2010. Accordingly coarse PM which is subtracted PM2.5 from PM10 is available in the year 2010.

2. 미세먼지 농도변화로 인한 건강영향

미세먼지의 건강영향을 추정하기 위해 대기오염물질을 미세먼지 모형에 적합 시킨 단일 대기오염 모형과 NO2와 O3을 모형에 동시에 적합 시킨 복합 대기오염모형의 결과를 〈Table 4〉에 제시하였다.

각 상병에 대해 단일 대기오염 모형과 복합대기오염 모형에서 미세먼지 농도증가로 인한 건강영향은 대체로 유사하게 나타났다. 다만, PM10의 IQR 농도 증가에 따라 부정맥으로 인한 응급실 방문은, 단일 대기오염 모형에서 1–6(h)에서 25–72(h)까지 지속적으로 PM10의 건강 영향이 있는 것으로 관찰된 반면, 복합 대기오염 모형에서는 1–6(h) [OR 1.02 (95 % CI 1.00–1.05)]로 PM10의 농도증가에 신속하게 반응하는 것으로 관찰되었다.

PM10–2.5의 IQR 농도 증가에 따른 상병 별 건강영향은 복합 대기오염 모형에서 천식의 경우 1–6(h) [OR 1.06 (95 % CI 1.01–1.11)], COPD 7–12(h) [1.06 (1.00–1.12)], 부정맥 7–12(h) [1.04 (1.00–1.08)]로 유의한 연관성이 관찰되었으나, PM2.5의 경우 뚜렷한 경향성이 관찰되지 않았다.

<Table 4> Hourly lag effect of air pollutant associated respiratory and cardiovascular related ED visits in Seoul, Korea, 2008–2011

Air pollutant	Distributed lag (hour)	Odds(95% Confidence interval) ¹⁾							
		Asthmaticus ¹⁾		COPD ¹⁾		MI ¹⁾		Arrhythmia ¹⁾	
		Single pollutant	Multi pollutants	Single pollutant	Multi pollutants	Single pollutant	Multi pollutants	Single pollutant	Multi pollutants
Mean PM10 ²⁾	1-6	1.00 (0.97-1.04)	1.02 (0.98-1.06)	1.00 (0.97-1.04)	1.00 (0.96-1.05)	1.01 (0.98-1.05)	1.00 (0.96-1.05)	1.03 (1.00-1.05)	1.02 (1.00-1.05)
	7-12	1.00 (0.97-1.03)	1.01 (0.97-1.05)	1.01 (0.97-1.04)	1.03 (0.98-1.07)	1.01 (0.98-1.05)	1.00 (0.96-1.05)	1.02 (1.00-1.05)	1.01 (0.99-1.04)
	13-18	0.98 (0.95-1.01)	0.98 (0.95-1.02)	1.00 (0.96-1.03)	1.01 (0.97-1.05)	1.01 (0.98-1.05)	0.99 (0.95-1.04)	1.02 (1.00-1.04)	1.01 (0.98-1.04)
	19-24	0.99 (0.96-1.02)	1.00 (0.96-1.03)	1.01 (0.98-1.04)	1.01 (0.97-1.05)	1.01 (0.97-1.04)	0.98 (0.95-1.02)	1.01 (0.99-1.03)	1.00 (0.97-1.03)
	25-48	1.00 (0.97-1.03)	0.99 (0.95-1.03)	1.02 (0.99-1.06)	1.02 (0.97-1.07)	1.00 (0.97-1.04)	1.00 (0.95-1.05)	1.02 (1.00-1.04)	1.00 (0.97-1.04)
Coarse PM ²⁾	1-6	1.05 (1.00-1.11)	1.06 (1.01-1.12)	1.00 (0.94-1.06)	1.01 (0.95-1.07)	0.97 (0.91-1.03)	0.97 (0.91-1.03)	1.02 (0.98-1.05)	1.01 (0.97-1.05)
	7-12	1.05 (0.99-1.10)	1.05 (0.99-1.11)	1.05 (0.99-1.10)	1.06 (1.00-1.12)	0.97 (0.92-1.03)	0.97 (0.91-1.03)	1.04 (1.00-1.08)	1.04 (1.00-1.08)
	13-18	1.01 (0.95-1.06)	1.01 (0.95-1.07)	1.04 (0.98-1.09)	1.04 (0.99-1.11)	1.00 (0.94-1.06)	1.00 (0.94-1.06)	1.03 (0.99-1.07)	1.03 (0.99-1.07)
	19-24	1.03 (0.97-1.08)	1.03 (0.98-1.09)	1.03 (0.98-1.09)	1.03 (0.98-1.09)	1.01 (0.95-1.07)	1.00 (0.95-1.07)	1.04 (1.00-1.08)	1.03 (0.99-1.07)
	25-48	1.03 (0.97-1.10)	1.02 (0.96-1.09)	1.03 (0.97-1.10)	1.03 (0.97-1.11)	0.99 (0.92-1.06)	0.98 (0.91-1.06)	1.03 (0.99-1.08)	1.03 (0.98-1.08)
Mean PM2.5 ²⁾	1-6	1.01 (0.95-1.07)	1.02 (0.96-1.10)	0.95 (0.90-1.01)	0.97 (0.90-1.04)	1.01 (0.95-1.07)	1.01 (0.94-1.08)	1.03 (0.99-1.07)	1.01 (0.97-1.06)
	7-12	1.02 (0.97-1.08)	1.02 (0.95-1.09)	0.99 (0.94-1.05)	1.02 (0.96-1.09)	1.01 (0.95-1.07)	1.01 (0.94-1.08)	1.02 (0.98-1.06)	1.00 (0.96-1.05)
	13-18	1.00 (0.95-1.05)	1.00 (0.94-1.07)	0.99 (0.93-1.04)	1.00 (0.94-1.08)	1.00 (0.95-1.06)	1.00 (0.93-1.07)	1.02 (0.99-1.06)	1.01 (0.96-1.05)
	19-24	0.97 (0.92-1.02)	0.96 (0.90-1.02)	0.99 (0.94-1.05)	0.98 (0.92-1.05)	1.01 (0.95-1.07)	0.99 (0.93-1.07)	1.02 (0.99-1.06)	1.01 (0.97-1.06)
	25-48	1.00 (0.95-1.06)	0.97 (0.90-1.04)	0.98 (0.92-1.05)	0.97 (0.89-1.05)	1.01 (0.95-1.08)	1.01 (0.93-1.10)	1.00 (0.96-1.04)	0.99 (0.94-1.04)

¹⁾ Estimated odds ratio (Odds) and 95% confidence interval (CI) of specified-cause of emergency department visits by interquartile increase of each air pollutant.

²⁾ Unit of Particulate matter (PM) is $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and mean of Coarse PM is to subtract PM2.5 from PM10 and hourly measured concentrations are presented.

3. 계절 및 연령에 따른 미세먼지의 건강영향

단일 대기오염 모형에서 PM10의 계절과 연령에 따른 연관성을 Figure 10에 제시하였다. PM10의 농도변화와 응급실 방문에 대한 계절효과가 관찰되었는데, 천식과 부정맥의 경우 봄에 PM10의 농도 증가와 응급실 방문이 양의 연관성을 보여주고 있다. 예를 들어, 천식의 경우 봄에 PM10 농도의 IQR증가에 따라 1-6(h) [OR 1.07 (95 % CI 1.02-1.12)] 와 7-12(h) [OR 1.05 (95 % CI 1.00-1.11)]의 오즈비가 관찰되었다. 부정맥도 이와 유사하게, 봄에 개별 시간 지연에 따라 1-6(h) [OR 1.04 (95 % CI 1.00-1.07)], 7-12(h) [OR 1.05 (95 % CI 1.01-1.09)], 그리고 13-18(h) [OR 1.04 (95 % CI 1.01-1.08)]의 양의 연관성이 관찰되었다.

연령에 따라 COPD와 부정맥은 PM10의 농도증가에 따라 65세 이상 연령층에서 응급실 방문과의 연관성이 더 뚜렷

하게 관찰되었다. 65세 이상의 인구집단에서 COPD로 인한 응급실 방문은 7-12(h) [OR 1.06 (95 % CI 1.01-1.11)]로 관찰되었으며, 부정맥으로 인한 응급실 방문은 1-6(h) [OR 1.03 (95 % CI 1.00-1.07)] 그리고 7-12(h) [OR 1.04 (95 % CI 1.01-1.07)]의 양의 연관성을 제시하였다.

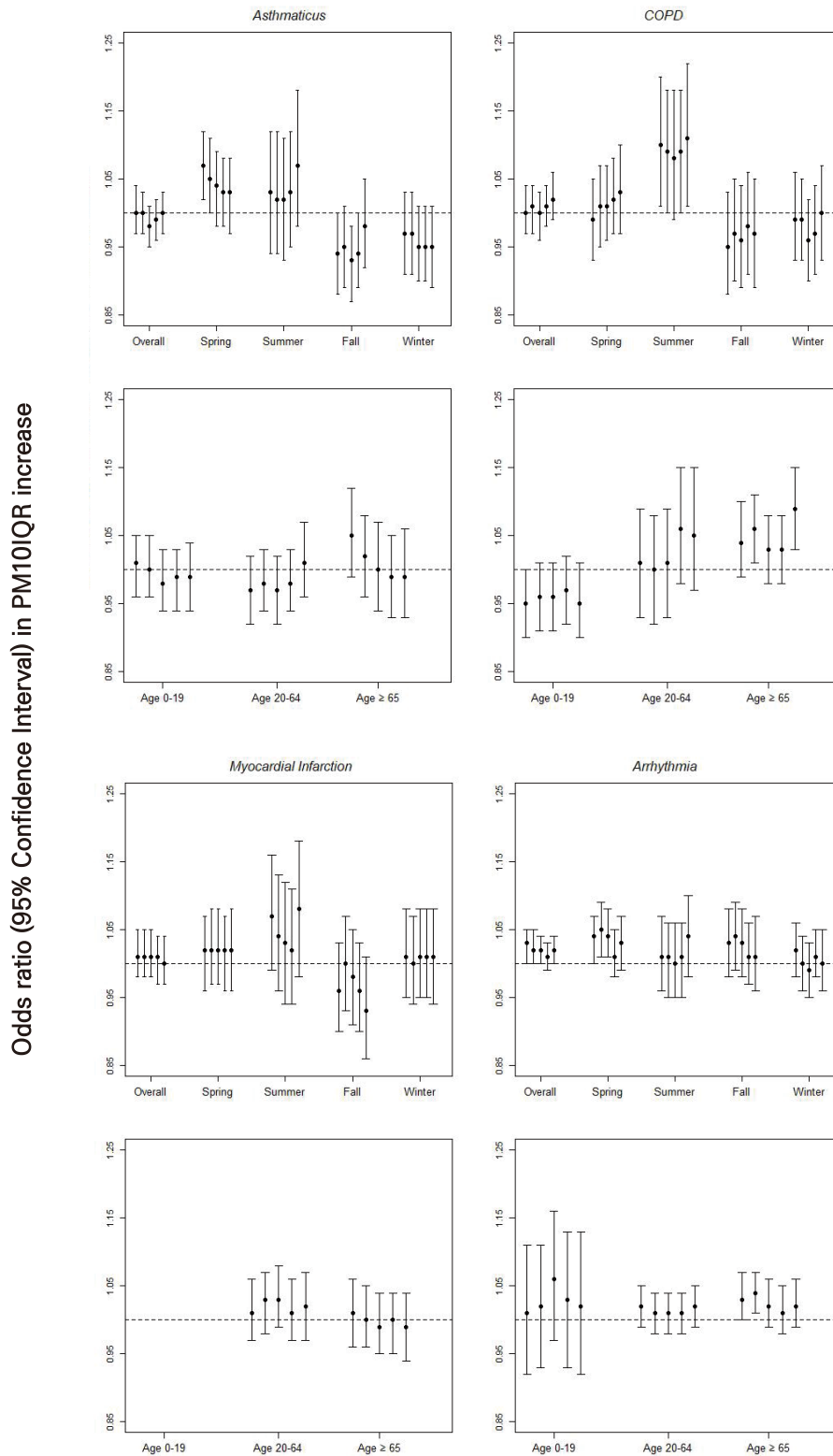


Fig. 1 Distributed lag effects of PM10 by cause-specific ED visits: asthmaticus, COPD, myocardial infarction, and arrhythmia, with hourly moving average lags (Seoul, Korea, 2008-2011)

The odds ratio in ED visits ED visits for 1 IQR increase in PM10 concentration is presented with 95% confidence intervals (CI). The association of PM10 with cause-specific ED visits was estimated with adjustment for air pressure, relative humidity, influenza, and precipitation, with hourly moving average lags ; 1-6 h,7-12 h, 13-18 h, 19-24 h, and 25-48 h respectively. The durations of the four seasons were defined as, March-May for spring, June-August for summer, September-November for fall, and December-February for winter and age-specified PM10 effect for age group 0-19 was not presented in myocardial infarction-related ED visits due to small number of ED visits among this age group.

고찰

1. 주요결과

이 연구는 증상 별 응급실 방문(천식, COPD, 심근경색, 부정맥) 위험과 PM10, PM10-2.5, 그리고 PM2.5 의 시간 별 농도 수준 노출과의 연관성을 계절과 연령에 따른 연관성을 계량적으로 제시하고 있다. 미세먼지의 크기에 따라 건강에 미치는 영향은 질환 증상에 따라 지연효과가 상이하게 관찰되었다. 천식의 경우 응급실 방문 이전 1-6 (h) 사이의 PM10-2.5 농도변화가 응급실 방문위험을 높인 반면, 부정맥의 경우 동일 시간대에 PM10 농도변화가 응급실 방문과 높은 연관성을 보여주고 있다. 미세먼지 농도변화와 응급실 방문간의 연관성의 크기는 계절변동 및 연령분포에 따라 서로 다른 연관성을 보여주고 있다. 천식과 부정맥의 경우 봄철 PM10 농도증가와 응급실 이용이 양의 연관성을 보인 반면, COPD의 경우 여름철에 PM10 농도증가와 응급실 이용과의 양의 연관성이 관찰되었다. 연령별로는 65세 이상 인 구집단에서 특히 PM10 농도증가는 COPD, 부정맥 증상으로 인한 응급실 방문을 증가시키는 경향성을 보였다.

2. 기존 연구와의 비교

이번 연구는 미세먼지의 크기 별로 여러 질환을 구분하여 분석하였고, 개별 특정 질환이 미세먼지 농도와 양의 연관성을 가짐을 구별하였다. 호흡기 질환에 해당하는 천식이나 COPD의 경우 PM10-2.5에 민감하게 반응한 반면, 부정맥 증상악화는 PM10 농도변화와 더 밀접한 연관성이 있는 것으로 나타났다. 실제로 여러 연구에서 심혈관계[17-19] 및 호흡기 질환[17, 20-23]과 대기 오염 농도 변화 간의 건강 영향을 제시하였다. 이들 연구에서는 특히 대기 중 미세먼지의 농도증가가 심혈관계 및 호흡기 관련 의료이용 및 사망의 증가와 연관성이 높음을 시사하고 있다. 이들 연구 중, 남부 유럽에서 실시 된 MED-PARTICLES (지중해 국가의 입자 크기 및 구성: 지리적 변동성 및 단기 건강 영향) 프로젝트에서는 미세먼지의 크기에 따른 건강 영향을 파악하는 연구를 수행하였으며, 이 연구는 PM2.5 및 PM10-2.5 수준은 지중해 8 개 도시에서 심장 혈관 및 호흡기 질환 입원과 관련이 있다는 결과를 제시하였다[22]. Samoli et al., (2013)은 일별 시계열 분석을 활용하여 사망률 변화와 PM2.5 농도 사이의 양의 연관성을 추정하였으며, 계절과 연령에 따라 PM10-2.5의 건강영향의 크기가 달라짐을 관찰하였다.

질환 별 응급실 의료이용에 대해 PM10의 계절효과를 관찰하였으며, 천식의 경우 봄철에 그 연관성이 도드라진 반면, COPD의 경우 여름철에 PM10의 농도변화에 민감하게 반응하는 것으로 관찰되었다. 몇몇 연구에서 한국의 PM10과 사망률의 연관성을 보여 주었고 여름철에 그 연관성이 더 크게 나타남을 제시하였다[13, 14]. 이는 계절적 특성에서 가

장 큰 편차를 보여주고 있는 온도변화가 미세먼지로 인한 건강영향의 크기를 변화시킬 수 있는 요인으로 작동할 가능성이 있음을 의미한다[15, 16]. 실제 부정맥의 경우 온도나 일교차 변화에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며[24-26] 이들 온도와 일교차의 경우 특정 계절에 그 변동이 더 큰 경향성이 있다. 요약하면, 미세먼지 농도변화와 계절적 특성을 반영하는 온도변화, 이 두 가지 요소가 건강에 좋지 않는 영향을 미칠 수 있는 가능성을 제시한다.

연령에 따른 건강영향을 추정한 결과는 COPD와 부정맥에서 65세 이상 노인인구에서 미세먼지로 인한 응급실 방문 가능성이 증가하는 것으로 나타났다. 연령별로 주로 소아 나 노인층이 대기오염 농도에 민감하게 반응하는 것으로 제시된 바 있다[27, 28]. 이는 소아나 노인층이 청장년층에 비해 생물학적으로 아직 미성숙하였거나 신체 기관의 노화현상의 일환으로 설명될 수 있다.

호흡기계 질환과 미세먼지의 농도에 대한 연구는 이미 활발하게 진행된 반면, 부정맥 증상악화와 미세먼지 크기에 따른 건강영향에 대한 평가는 아직 미미한 편이다. 그럼에도 불구하고 최근 이탈리아에서 수행된 장기추적 연구를 통해 미세먼지는 이전의 심근 경색을 경험한 환자 및 미세 입자에 대한 노출이 증가하는 고위험군의 환자에서 급성 부정맥 증상 위험이 더 높아짐을 연구결과로 제시하였다[29]. 이는 임상적 관점에서 특히 관상 동맥성 심장 질환이 있는 환자의 경우 부정맥 발생을 예방하기 위해서는 위험요인이 될 수 있는 미세먼지에 대한 노출을 피하도록 권장할 필요가 있음을 시사한다[29].

3. 연구 제한점

이 연구를 수행함에 있어 몇 가지 제한 점이 있었다. 우선, NEDIS 자료에는 환자의 거주지 주소에 대한 정보가 없어 병원 주소를 환자 주소의 프록시(proxy)로 활용하였다. 따라서 병원 기준 서울의 농도변화가 대상 환자의 실제 거주지역이나 주요 생활지역과 차이가 있을 수 있으나 이는 분석에 반영되지 않았다. 즉, 실제 통계적 분석에서는 전체 서울의 농도를 하나의 값으로 통합하여 일괄적으로 모든 대상자에게 동일하게 적용하였다.

응급실 의료이용 자료인 NEDIS 자료에 환자의 증상 악화 시점에 대한 정보가 포함되어 있다. 그런데, 증상 악화시점에 대한 정보는 환자 혹은 동반한 보호자의 기억에 의존할 가능성이 높아 기억의 오류로 인해 다소 정확하지 않을 가능성이 있다. 이에 응급실 방문사유에 대한 증상 악화 시점과 응급실 방문 시점의 시간차이가 12시간 이하인 대상자의 자료만 제한하여 분석에 활용하였다. 기존 천식 (ICD-10th, J45)으로 인한 응급실 방문 대상자만으로 수행한 연구에서 방문 시점 차이를 6 시간, 12 시간 및 24 시간을 고려하여 민감도 분석을 수행하였다[9]. 이 연구에서 대기오염 농도와 응급실 방문과의 연관성은 3 개의 시간 차이를 고려한 경우에도 크기 및 지연 효과에서 일관성 있는 결과값이 관찰되었다[9].

이 뿐만 아니라 개인식별 정보를 포함하고 있지 않아, 한 환자가 실제 동일 사유로 여러 번 응급실을 방문했을지라도 이 부분을 분석에서 고려할 수는 없었다. 그리고 NEDIS에서 수집하고 있는 관련 변수의 일부만 제공받을 수 있어, 이번 연구에서는 특정 환자의 응급실 방문 경로(직접내원, 외부전원, 외부의뢰, 기타)에 따른 환자들의 특성을 구분하여 분석을 수행하지는 못했다.

이 연구는 서울이라는 매우 도시화된 지역을 대상으로 수행된 연구로, 제시한 연구의 결과가 다른 지역이나 다른 대상 집단에 동일하게 적용되지 않을 수 있다. 서울은 인구밀도가 매우 높은 도시로 대한민국의 모든 인프리카가 집중되어 있는 지역이다. 따라서, 의료이용 측면에서도 타 지역에 비해 비교적 다양한 선택을 할 수 있는 곳임에 큰 이견이 없을 것이다.

이는 서울 근교를 포함하여 타 지역에서도 서울의 의료기관을 이용할 수 있는 가능성을 높이기도 한다.

따라서 미세먼지 농도변화에 따른 증상 악화로 인한 응급실 방문과의 연관성을 보다 정교하게 이해하기 위해서는 개인 및 지역의 다양한 특성을 동시에 고려하여 원인-결과에 보다 초점을 맞춘 연구수행이 필요하다.

결론

미세먼지의 단기간 건강영향을 응급실 방문자료를 활용하여 호흡기계 질환(천식, COPD)와 심혈관계 질환(급성심근경색, 부정맥)에 대한 연관성을 추정하였다. 호흡기계 질환 중 천식과 COPD의 경우 PM10-2.5 농도와 연관성이 높은 반면, 심혈관계질환인 부정맥의 경우 PM10의 농도와 더 연관성이 높음을 관찰하였다. 더불어, 계절 및 대상자의 연령에 따라 질환 별 응급실 방문에 대한 연관성이 다름을 제시하였다. 더불어 이 연구에서는 미세먼지의 농도와 크기에 따라 질환 별로 응급실 방문에 미치는 영향이 계절 및 대상자의 연령에 따라 서로 구분됨을 구체적으로 제시하였다. 이러한 연구 결과를 활용하여, 이 연구에서 제시한 질환을 기저질환으로 가진 환자들에게 보건학적 측면에서 미세먼지에 대한 노출을 대비할 수 있도록 야외 활동에 대한 보다 세밀한 예방적 지침을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Heo JB, Hopke PK, Yi SM. Source apportionment of PM2.5 in Seoul, Korea. *Atmos Chem Phys*. 2009;9(14):4957-71.
2. Lee HJ, Son YS. Spatial Variability of AERONET Aerosol Optical Properties and Satellite Data in South Korea during NASA DRAGON-Asia Campaign. *Environ Sci Technol*. 2016;50(7):3954-64.
3. Pope CA, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *J Air Waste Manage*. 2006;56(6):709-42.
4. Heo J, Schauer JJ, Yi O, Paek D, Kim H, Yi SM. Fine particle air pollution and mortality: importance of specific sources and chemical species. *Epidemiology*. 2014;25(3):379-88.
5. Guan WJ, Zheng XY, Chung KF, Zhong NS. Impact of air pollution on the burden of chronic respiratory diseases in China: time for urgent action. *Lancet*. 2016;388(10054):1939-51.
6. Kim HS, Chung YS, Yoon MB. An analysis on the impact of large-scale transports of dust pollution on air quality in East Asia as observed in central Korea in 2014. *Air Qual Atmos Hlth*. 2016;9(1):83-93.
7. Wang Z, Pan XL, Uno I, Chen XS, Yamamoto S, Zheng HT, et al. Importance of mineral dust and anthropogenic pollutants mixing during a long-lasting high PM event over East Asia. *Environ Pollut*. 2018;234:368-78.

8. Lee S, Choi B, Yi SM, Ko G. Characterization of microbial community during Asian dust events in Korea. *Sci Total Environ.* 2009;407(20):5308-14.
9. Kim J, Kim H, Kweon J. Hourly differences in air pollution on the risk of asthma exacerbation. *Environ Pollut.* 2015;203:15-21.
10. Kim HJ, Min JY, Seo YS, Min KB. Association between exposure to ambient air pollution and renal function in Korean adults. *Annals of occupational and environmental medicine.* 2018;30:14.
11. Mohr LB, Luo S, Mathias E, Tobing R, Homan S, Sterling D. Influence of season and temperature on the relationship of elemental carbon air pollution to pediatric asthma emergency room visits. *J Asthma.* 2008;45(10):936-43.
12. Feo Brito F, Mur Gimeno P, Martinez C, Tobias A, Suarez L, Guerra F, et al. Air pollution and seasonal asthma during the pollen season. A cohort study in Puertollano and Ciudad Real (Spain). *Allergy.* 2007;62(10):1152-7.
13. Park AK, Hong YC, Kim H. Effect of changes in season and temperature on mortality associated with air pollution in Seoul, Korea. *J Epidemiol Community Health.* 2011;65(4):368-75.
14. Yi O, Hong YC, Kim H. Seasonal effect of PM(10) concentrations on mortality and morbidity in Seoul, Korea: a temperature-matched case-crossover analysis. *Environ Res.* 2010;110(1):89-95.
15. Kim SE, Lim YH, Kim H. Temperature modifies the association between particulate air pollution and mortality: A multi-city study in South Korea. *Sci Total Environ.* 2015;524-525:376-83.
16. Kim SE, Honda Y, Hashizume M, Kan H, Lim YH, Lee H, et al. Seasonal analysis of the short-term effects of air pollution on daily mortality in Northeast Asia. *Sci Total Environ.* 2017;576:850-7.
17. Cho J, Choi YJ, Suh M, Sohn J, Kim H, Cho SK, et al. Air pollution as a risk factor for depressive episode in patients with cardiovascular disease, diabetes mellitus, or asthma. *Journal of affective disorders.* 2014;157:45-51.
18. Wu R, Zhong L, Huang X, Xu H, Liu S, Feng B, et al. Temporal variations in ambient particulate matter reduction associated short-term mortality risks in Guangzhou, China: A time-series analysis (2006-2016). *Sci Total Environ.* 2018;645:491-8.
19. Yu Y, Yao S, Dong H, Ji M, Chen Z, Li G, et al. Short-term effects of ambient air pollutants and myocardial infarction in Changzhou, China. *Environmental science and pollution research international.* 2018;25(22):22285-93.
20. Gehring U, Wijga AH, Brauer M, Fischer P, de Jongste JC, Kerkhof M, et al. Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am J Respir Crit Care Med.* 2010;181(6):596-603.
21. Cai J, Zhao A, Zhao J, Chen R, Wang W, Ha S, et al. Acute effects of air pollution on asthma hospitalization in Shanghai, China. *Environ Pollut.* 2014;191:139-44.
22. Stafoggia M, Samoli E, Alessandrini E, Cadum E, Ostro B, Berti G, et al. Short-term associations between fine and coarse particulate matter and hospitalizations in Southern Europe: results from the MED-PARTICLES project. *Environ Health Perspect.* 2013;121(9):1026-33.
23. Peacock JL, Anderson HR, Bremner SA, Marston L, Seemungal TA, Strachan DP, et al. Outdoor air pollution and respiratory health in patients with COPD. *Thorax.* 2011;66(7):591-6.
24. McGuinn L, Hajat S, Wilkinson P, Armstrong B, Anderson HR, Monk V, et al. Ambient temperature and activation of implantable cardioverter defibrillators. *International journal of biometeorology.* 2013;57(5):655-62.
25. Kim J, Kim H. The association of ambient temperature with incidence of cardiac arrhythmias in a short timescale. *International journal of biometeorology.* 2017;61(11):1931-3.
26. Kim J, Kim H. Influence of ambient temperature and diurnal temperature range on incidence of cardiac arrhythmias. *International journal of biometeorology.* 2017;61(3):407-16.
27. Zhang S, Li G, Tian L, Guo Q, Pan X. Short-term exposure to air pollution and morbidity of COPD and asthma in East Asian area: A systematic review and meta-analysis. *Environ Res.* 2016;148:15-23.
28. Sarnat SE, Suh HH, Coull BA, Schwartz J, Stone PH, Gold DR. Ambient particulate air pollution and cardiac arrhythmia in a panel of older adults in Steubenville, Ohio. *Occup Environ Med.* 2006;63(10):700-6.
29. Folino F, Buja G, Zanotto G, Marras E, Allocca G, Vaccari D, et al. Association between air pollution and ventricular arrhythmias in high-risk patients (ARIA study): a multicentre longitudinal study. *The Lancet Planetary health.* 2017;1(2):e58-e64.