



대기오염물질과 환경성 질환 관련 의료이용률과의 연관성 - 일반거주지역을 대상으로 -

박동윤*  · 이채관***† 

*인제대학교 환경·산업의학연구소, **부산백병원 직업환경의학과

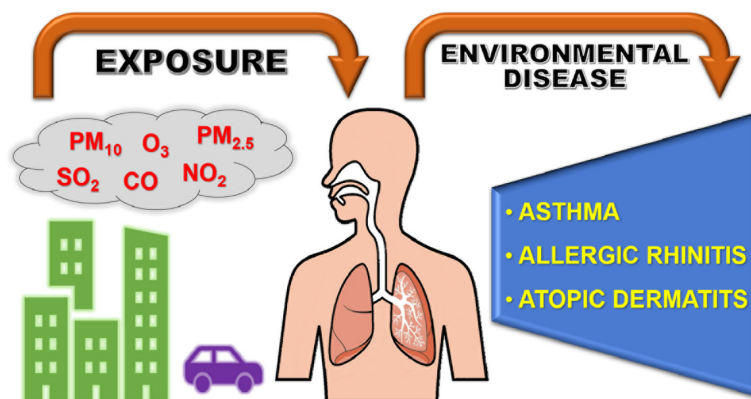
Association between Air Pollutant Levels and Medical Usage Rates of Environmental Disease in a General Residential Area

Dong Yun Park* and Chae Kwan Lee***†

*Institute of Environmental and Occupational Medicine, Medical School, Inje University

**Department of Occupation and Environmental Medicine, Busan Paik Hospital, Inje University

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

Objectives: This study investigated the association between air pollutant levels and medical usage rates for environmental disease in a general residential area during the period 2015-2017.

Methods: Air pollutant (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, CO, O₃) data were collected from Air-Korea. Medical usage data on environmental disease (asthma, allergic rhinitis, atopic dermatitis) for the period 2015-2017 in a general residential area in Gyeongsangnam-do Province were provided by the National Health Insurance Corporation. Pearson correlation analysis and multiple regression analysis were conducted to investigate the association between air pollutant levels and medical usage rates (SAS 9.4). In the multiple regression analysis, environmental disease was set as the dependent variable and air pollutants were set as independent variables and analyzed using the General Linear Model.

†Corresponding author: Institute of Environmental and Occupational Medicine, Department of Occupation and Environmental Medicine, Busan Paik Hospital, Inje University, 75 Bokji-ro, Busanjin-gu, Busan, 47392, Republic of Korea, E-mail: lck3303@daum.net

Received: 15 May 2021, Revised: 4 June 2021, Accepted: 5 June 2021

Results: Except for $PM_{2.5}$, the average concentration of air pollutants in the surveyed area was below than the air environment standards of Korea. NO_2 was higher than Korea's national average, but CO was similar. The others were lower than the Korea's national average. The daily medical usage rates for environmental disease were 1.38‰ for asthma, 9.90‰ for allergic rhinitis, and 0.32‰ for atopic dermatitis. As a result of correlation analysis, PM_{10} and SO_2 , NO_2 and CO were significantly correlated with asthma, PM_{10} and NO_2 and CO were correlated with allergic rhinitis, and PM_{10} and $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 and CO were correlated with atopic dermatitis. As a result of multiple regression analysis, PM_{10} and SO_2 were found to have a higher effect on asthma, PM_{10} and NO_2 on allergic rhinitis, and SO_2 and NO_2 on atopic dermatitis, compared to other air pollutants.

Conclusion: According to these results, air pollutants such as PM_{10} and SO_2 and NO_2 were associated with the medical usage rates of environmental disease even in relatively low concentrations. Therefore, continuous monitoring will be required for general residential areas.

Key words: Air pollutants, environmental disease, correlation analysis, medical usage, regression analysis

I. 서 론

인구 증가와 도시화, 산업화는 환경오염을 유발하는 주요한 요인으로 작용한다. 우리나라는 1960년대부터 수도권을 중심으로 도시화와 산업화가 급격하게 진행되었으며, 이로 인한 연료의 사용과 자동차의 증가 그리고 산업단지의 조성 및 확장 등으로 대기 환경오염이 심화되어왔다.¹⁾ 정부는 대기오염물질 배출을 감소시키기 위하여 산업과 수송, 발전, 생활 부문에 대하여 집중적으로 오염물질 배출 감축 정책을 추진하고 있다. 구체적으로는 대기오염물질 배출원이 밀집된 지역을 대기관리권역으로 지정하였으며, 대기오염물질에 대한 배출 허용 총량제를 확대하였다. 또한, 신규 경유차 수요 억제와 저공해 자동차 보급 확대, 선박 배출가스 기준 강화, 노후 석탄발전소의 시설개선 및 폐쇄 등 다양한 정책을 수립, 이행하고 있다.²⁾

국내의 대기오염물질 농도는 2014년을 정점으로 감소하는 추세이다. 그러나 특정 계절과 지역에 집중하여 발생하는 대기오염물질의 고농도 현상은 계속해서 증가하고 있으며,³⁾ 이러한 이유로 대기 질 개선을 가장 시급하게 해결해야 할 환경문제로 인식하고 있다.⁴⁾ 미세먼지와 아황산가스, 오존 등은 천식과 알레르기 비염 등의 환경성 질환자 수를 증가시키는 대기오염물질로 알려져 있다.⁵⁾ 건강보험심사평가원의 2010년부터 2014년까지 환경성 질환 진료 경향 분석결과에 따르면 알레르기 비염, 천식, 아토피 피부염 등 환경성 질환으로 인한 진료 인원은 계속해서 증가하고 있으며, 특히 10세 미만의 아동과

50대 이상 연령대에서 진료 인원의 점유율이 증가하고 있어 소아와 노약자가 환경성 질환에 취약하다고 보고하였다.⁶⁾ 그리고 대기오염물질은 고혈압,⁷⁾ 당뇨,⁸⁾ 폐 기능의 저하⁹⁾ 등 다양한 신체적 건강 영향과 함께 우울증, 자살과 같은 심리와 정신적 건강 분야에도 영향을 줄 수 있다.^{10,11)}

지금까지 대기오염물질이 환경성 질환에 미치는 영향에 관한 연구는 인구가 밀집된 대도시, 산업단지가 인접한 지역, 그리고 대기오염물질 배출시설 주변 등 주로 대기오염물질의 농도가 높은 지역을 대상으로 수행하였다.¹²⁻¹⁵⁾ 그러나 대기 환경기준치 이하의 농도 수준이라도 대기오염물질에 의한 호흡기계 질환¹⁶⁾과 사망률, 그리고 관련 질환으로 인한 의료이용률(입원과 외래 방문 건수 등)에 영향을 미칠 수 있으며,¹⁷⁾ 특히 저농도에서도 장기간에 걸친 노출은 급성노출과 비슷한 영향을 미칠 수 있다.¹⁸⁾

이 연구는 대기오염물질의 농도가 높은 산업단지 인근 지역 또는 대도시 지역 등에 비하여 상대적으로 대기오염물질의 농도가 낮은 일반 거주지역을 대상으로 3년간의 대기오염물질(PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO, O_3) 농도와 같은 기간 동안 환경성 질환(천식, 알레르기 비염, 아토피 피부염) 의료이용 자료를 비교하여 대기오염물질 노출과 환경성 질환으로 인한 의료이용률과의 연관성을 조사하고자 하였다.

II. 방 법

1. 대기오염물질과 환경성 질환 데이터베이스 구축
대기오염물질 자료는 에어코리아(<https://www.>

airkorea.or.kr/web)에서 제공하는 경상남도 모 지역의 대기오염측정소 1개 지점의 자료를 사용하였다. 대상물질은 PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, CO, O₃의 6가지였으며, 2015년부터 2017년까지 일평균 농도자료였다. 환경성 질환 자료는 국민건강보험공단에서 제공하는 환경성 질환 데이터베이스를 사용하였다. 이 자료는 천식(J45, J46), 알레르기 비염(J30) 그리고 아토피 피부염(L20)으로 진료받은 사람을 대상으로 의료이용(외래, 요양개시일자기준 입원, 입원기간기준 입원, 응급) 건수를 일별, 지역별, 성별, 연령별, 거주기간별로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 조사대상 지역의 외래 건수와 요양개시일자기준 입원 건수를 일별로 정리하여 사용하였다. 단위 인구당(1,000명) 환경성 질환 의료이용률 산출에 필요한 조사대상 지역의 인구자료는 해당 지역의 공공데이터 플랫폼에서 제공하는 2015년부터 2017년까지 인구 통계 자료를 이용하였다. 조사대상 지역은 2000년대 이후 개발된 도시형의 일반거주지역으로 대부분이 아파트 단지로 구성되어 있으며, 대기오염측정소를 중심으로 반경 4 km 내 3개 동에 약 15만 명의 인구가 거주하고 있다.

2. 통계분석

대기오염측정소 자료와 환경성 질환의 일별 의료이용 건수 자료를 취합하여 데이터베이스를 구축한 후 환경성 질환의 의료이용(외래, 요양개시일기준 입원) 건수와 외래 건수에 대한 요양개시일기준 입원 건수의 비, 평균과 표준편차, 범위(최소-최대)를 계산하였다. 그리고 의료이용률(Rate, %)은 환경성 질환에 의한 일별 평균 의료이용 건수를 해당 지역의 인구로 나눈 후 인구 1,000명 단위로 환산하였다.

$$\begin{aligned} & \text{단위 인구당(1,000명) 의료이용률(Rate, \%)} \\ & = \frac{\text{일별 평균 의료이용 건수(건)}}{\text{인구수(명)}} \times 1,000 \end{aligned}$$

대기오염물질과 환경성 질환의 각 변수 간의 상관관계를 알아보기 위하여 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 산출하였으며(SAS 9.4), 이 결과를 토대로 환경성 질환을 종속변수로 대기오염물질을 독립변수로 설정하여 General Linear Model로 다중회귀분석을 수행하였다(SAS 9.4). 다중회귀분석 시 대기오염물질 농도 값을 자연로그(Natural

logarithm)값으로 변환하여 수행하였다. 환경성 질환으로 인한 의료이용 자료는 공휴일과 일요일에는 병, 의원의 휴무로 인해 이용자가 적고, 월요일에는 다시 증가하는 경향이 있으며, 봄과 겨울에는 증가하고, 여름철에는 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 환경성 질환 자료의 요일과 계절에 따른 영향을 제한하기 위하여 통제변수에 요일(day)과 월(month), 휴일(holiday) 변수를 독립변수와 함께 공변량 요인에 포함하여 분석하였다.

III. 결 과

1. 대기오염농도

2015년부터 2017년까지 연도별 조사대상 지역의 대기오염물질 농도의 연평균과 표준편차, 범위(최소-최대) 그리고 전국 평균 대기오염물질 농도와 국내 대기 환경기준을 Table 1에 나타내었다. 조사 기간(3년) 동안 조사대상 지역 PM₁₀의 전체 연평균 농도는 38 µg/m³로 우리나라 전체의 연평균 농도(46 µg/m³)와 우리나라 연평균 대기 환경기준(50 µg/m³)에 비하여 낮은 것으로 조사되었다. 조사대상 지역 PM_{2.5}의 전체 연평균 농도는 20 µg/m³로 우리나라 전체의 연평균 농도(26 µg/m³)에 비하여 낮은 것으로 조사되었으나, 우리나라 연평균 대기 환경기준(15 µg/m³)은 초과하였다. SO₂의 전체 연평균 농도는 0.004 ppm으로 우리나라 전체의 연평균 농도(0.005 ppm)와 우리나라 연평균 대기 환경기준(0.020 ppm)보다 낮았다. NO₂의 전체 연평균 농도는 0.023 ppm으로 우리나라 전체의 연평균 농도(0.022 ppm)보다 높았으며, 우리나라 연평균 대기 환경기준(0.030 ppm) 이하였다. CO의 전체 연평균 농도는 0.5 ppm으로 우리나라 전체의 연평균 농도(0.5 ppm)와 같았으며, 우리나라 대기 환경기준(8시간 평균; 9 ppm) 이하였다. O₃의 전체 연평균 농도는 0.027 ppm으로 우리나라 전체의 연평균 농도(0.028 ppm)보다 낮았으며, 우리나라 대기 환경기준(8시간 평균; 0.06 ppm) 이하였다.

Figure 1은 2015년부터 2017년까지 조사대상 지역의 대기오염물질 농도를 월별로 나타낸 것이다. PM₁₀과 PM_{2.5}의 3년 동안 월별 농도 변화는 비슷한 경향을 나타내었다. 여름(7, 8월)과 가을(9-11월)에 낮은 농도를 봄(3-6월)과 겨울(11-1월)에는 상대적으로 높

Table 1. Statistics on the annual air pollutants concentration changes

Pollutant	Year	Mean±S.D.	Range	Mean in South Korea	Standard in South Korea*
PM ₁₀ (μg/m ³)	2015	39±20	8 - 182	48	50 [†]
	2016	37±18	8 - 142	46	
	2017	37±16	8 - 110	45	
	Average	38±18	8 - 182	46	
PM _{2.5} (μg/m ³)	2015	19±9	4 - 53	26	15 [†]
	2016	22±10	3 - 59	26	
	2017	20±9	4 - 66	25	
	Average	20±10	3 - 66	26	
SO ₂ (ppm)	2015	0.005±0.001	0.003 - 0.008	0.005	0.02 [†]
	2016	0.004±0.001	0.001 - 0.009	0.005	
	2017	0.004±0.001	0.002 - 0.010	0.004	
	Average	0.004±0.001	0.001 - 0.010	0.005	
NO ₂ (ppm)	2015	0.021±0.009	0.004 - 0.051	0.023	0.03 [†]
	2016	0.025±0.009	0.006 - 0.052	0.022	
	2017	0.023±0.009	0.004 - 0.050	0.022	
	Average	0.023±0.009	0.004 - 0.052	0.022	
CO (ppm)	2015	0.5±0.1	0.3 - 0.9	0.5	9 [‡]
	2016	0.5±0.1	0.3 - 0.9	0.5	
	2017	0.5±0.1	0.2 - 1.0	0.5	
	Average	0.5±0.1	0.2 - 1.0	0.5	
O ₃ (ppm)	2015	0.024±0.012	0.002 - 0.062	0.027	0.06 [‡]
	2016	0.025±0.013	0.002 - 0.067	0.028	
	2017	0.031±0.012	0.005 - 0.071	0.029	
	Average	0.027±0.013	0.002 - 0.071	0.028	

*Atmospheric Environmental Standard in South Korea

[†]1 year averaging concentration[‡]8 hour averaging concentration

은 농도를 나타내는 경향을 보였다. SO₂는 2015년이 2016년과 2017년에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내었으며, 가을(9-11월)부터 겨울(12-2월)까지 농도가 증가하는 경향을 보였다. NO₂는 2016년과 2017년에 비슷한 경향을 보였으며, 3월과 11월에 최대 농도를 나타내었고, 여름(6-8월)에는 최저 농도를 나타내었다. CO는 매년 7월부터 10월까지 상대적으로 낮은 농도를 나타내었고, 겨울철에 증가하는 경향을 보였다. O₃는 매년 1월부터 증가하여 5월에는 최대 농도를 나타내었고 11-1월에는 상대적으로 낮은 농도를 유지하는 경향을 나타내었다.

2. 환경성 질환으로 인한 의료이용

Table 2는 2015년부터 2017년까지 환경성 질환의 의료이용(외래, 요양개시일기준 입원) 건수와 외래 건수에 대한 요양개시일기준 입원 건수의 비, 평균과 표준편차, 범위(최소-최대), 해당 지역의 인구와 단위 인구당(1,000명) 의료이용률을 나타내었다.

조사대상 지역의 2015년부터 2017년까지의 인구는 각각 146,177명, 147,040명, 151,081명이었다.

조사 기간(3년) 동안 천식과 알레르기 비염 그리고 아토피 피부염으로 인한 일별 의료이용 건수의 전체평균은 각각 204건, 1,466건, 47건으로 알레르

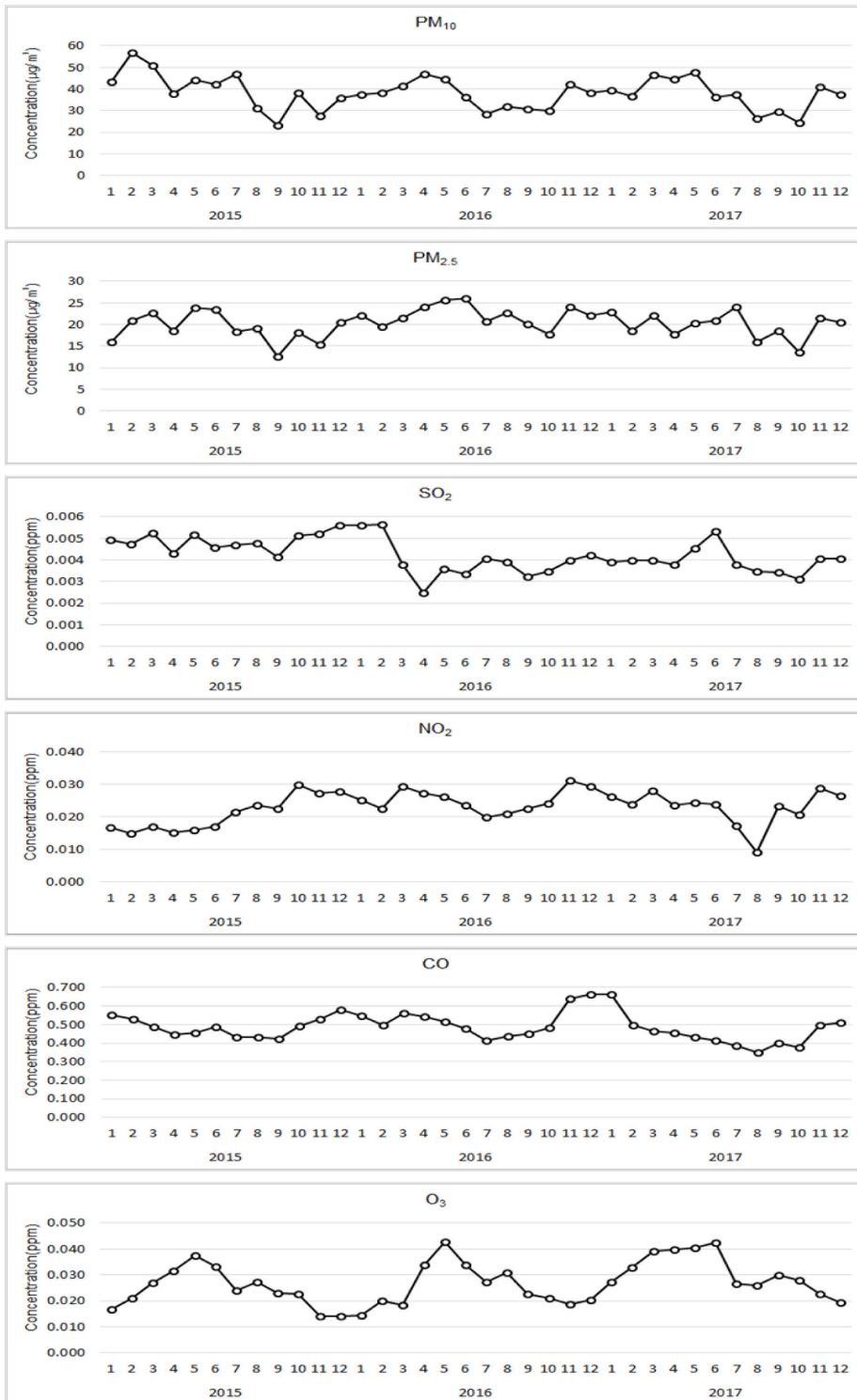


Fig. 1. Trends of monthly concentration of the air pollutants

Table 2. Statistics on the number and rate of daily medical usages for the three environmental disease by year

Disease	Year	Medical usages No.*	Ratio [†]	Mean±S.D.	Range	Population No.	Rate [‡] (%)
Asthma	2015	80,017	0.057	219±131	7 - 760	146,177	1.50
	2016	67,420	0.061	184±113	3 - 535	147,040	1.25
	2017	75,982	0.053	208±137	3 - 792	151,081	1.38
	Average	74,473	0.057	204±128	3 - 792	148,099	1.38
Rhinitis	2015	505,907	0.009	1,386±758	64 - 3,529	146,177	9.48
	2016	522,249	0.013	1,427±855	48 - 4,287	147,040	9.70
	2017	578,335	0.013	1,584±934	56 - 4,755	151,081	10.48
	Average	535,497	0.012	1,466±856	48 - 4,755	148,099	9.90
Atopic dermatitis	2015	17,736	0.003	49±26	0 - 111	146,177	0.34
	2016	18,039	0.004	49±26	0 - 106	147,040	0.33
	2017	15,727	0.003	43±23	0 - 97	151,081	0.28
	Average	17,167	0.003	47±25	0 - 111	148,099	0.32

*The sum of outpatient and hospitalization usages.

[†]The ratio of outpatient usages to hospitalization usages.

[‡]Daily Average medical usage number per 1,000 people.

기 비염이 천식과 아토피 피부염보다 각각 7.2배, 31.2배 높았다. 이 결과를 근거로 산출한 단위 인구당(1,000명) 각 환경성 질환에 의한 일별 의료이용률은 천식이 1.38(건/1,000명), 알레르기 비염이 9.90 (건/1,000명), 아토피 피부염이 0.32(건/1,000명)로 알레르기 비염의 의료이용률이 천식과 아토피 피부염에 비해 높게 나타났다. 연도별로는 천식과 아토피 피부염의 의료이용 건수는 감소하는 경향을, 그리고 알레르기 비염은 증가하는 경향을 나타내었다.

Figure 2는 2015년부터 2017년까지 환경성 질환의 의료이용 건수를 월별로 나타낸 것이다. 천식과 알레르기 비염의 월별 의료이용 건수는 4월부터 감소하기 시작해서 7월과 8월에 최소로 나타났고, 9월부터 다시 증가하기 시작해서 11월과 12월에는 최대가 되었다. 천식과 알레르기 비염의 의료이용 건수는 여름(6-8월)에 최저를, 겨울(11-1월)에 최대를 계절별 경향이 뚜렷하게 나타났다. 아토피 피부염의 경우 2015년과 2016년에는 천식 및 알레르기 비염과 비슷한 경향을 보였으나 그 증감의 정도가 낮았으며, 2017년에는 9월이 최대를, 10월에 최소를 나타내어 뚜렷한 경향을 발견할 수 없었다.

3. 상관분석

대기오염물질과 환경성 질환 사이의 상관성을 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 나타내었다(Table 3). 환경성 질환에서 천식과 알레르기 비염의 상관계수는 0.930($p<0.001$)이고, 천식과 아토피 피부염은 0.728($p<0.001$), 알레르기 비염과 아토피 피부염은 0.746($p<0.001$)로 환경성 질환 사이에는 높은 상관성을 나타내었으며, 천식과 알레르기 비염 사이의 상관성이 가장 높았다. 천식과 대기오염물질 간 상관계수는 NO₂ (0.256), CO (0.159), SO₂ (0.100)의 순으로 나타났으며, 알레르기 비염은 NO₂ (0.308), CO (0.193), PM₁₀ (0.092)의 순으로, 아토피 피부염은 NO₂ (0.258), SO₂ (0.120), PM₁₀ (0.087)의 순으로 나타나 환경성 질환과 NO₂ 간 상관계수가 다른 대기오염물질에 비해 상대적으로 높은 것으로 조사되었다. 그리고 환경성 질환과 O₃ 간 상관계수는 모두 음의 값으로 나타났다. 대기오염물질 중에서 PM₁₀과 PM_{2.5} 간의 상관계수는 0.821로 강한 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 그러나 대기오염물질 간 모든 상관계수는 0.9를 초과하지 않아 회귀분석에서 독립변수 간의 다중공선성(Multicollinearity)은 없는 것으로 나타났다.

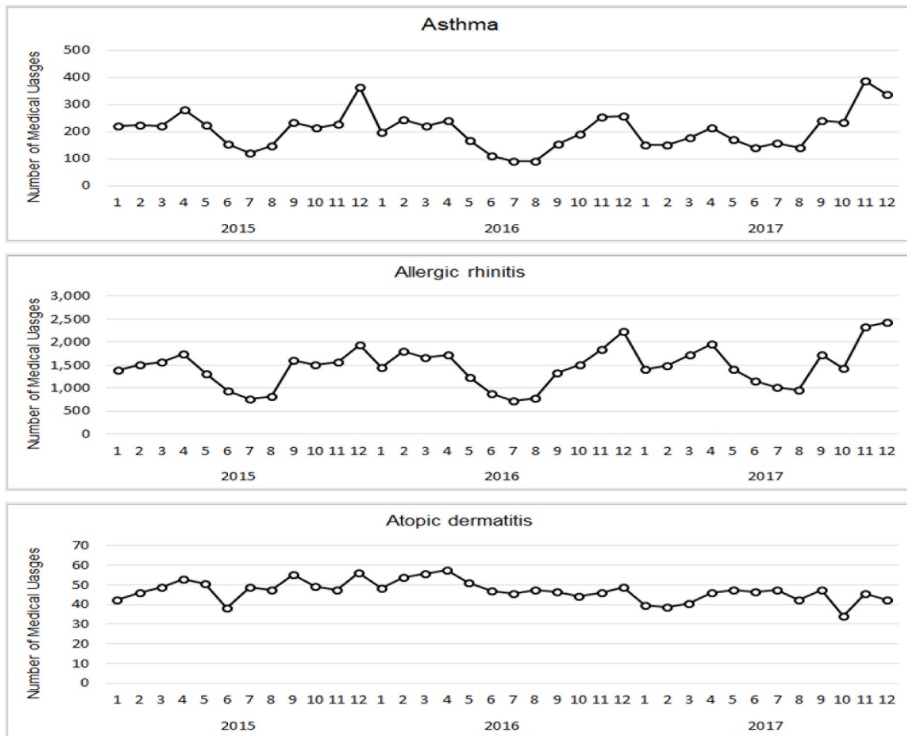


Fig. 2. Trends of monthly medical usages for the three environmental disease

Table 3. Pearson correlation coefficients for the variables

	Asthma	Rhinitis*	Atopic†	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃
Asthma	1	0.930 [§]	0.728 [§]	0.081 [‡]	0.001	0.100 [‡]	0.256 [§]	0.159 [§]	-0.226 [§]
Rhinitis*		1	0.746 [§]	0.092 [‡]	0.010	0.048	0.308 [§]	0.193 [§]	-0.180 [§]
Atopic†			1	0.087 [‡]	0.072 [‡]	0.120 [§]	0.258 [§]	0.071 [‡]	-0.128 [§]
PM ₁₀				1	0.821 [§]	0.418 [§]	0.387 [§]	0.569 [§]	0.088 [‡]
PM _{2.5}					1	0.390 [§]	0.464 [§]	0.602 [§]	0.114 [§]
SO ₂						1	0.376 [§]	0.413 [§]	-0.159 [§]
NO ₂							1	0.662 [§]	-0.357 [§]
CO								1	-0.274 [§]
O ₃									1

*Allergic Rhinitis

†Atopic dermatitis

[‡]Probability value (p<0.05)

[§]Probability value (p<0.001)

The data of 6 environmental pollutants and 3 environmental diseases used in the correlation analysis were 1,063 each.

4. 다중회귀분석

Table 4는 대기오염물질이 환경성 질환의 의료이용 건수에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 환경성 질환의 의료이용 건수를 종속변수로, 대기오염물질

을 독립변수로 다중회귀분석을 수행한 결과이다. 상관분석 결과에서 O₃는 환경성 질환 간의 상관계수가 모두 음의 값으로 나타나 독립변수에서 제외하였다. 천식에 관한 다중회귀분석 결과 PM₁₀과 SO₂의

Table 4. Multiple regression analysis result for the environmental disease and air pollutants

Disease	Pollutant	B*	S.E.	p [†]	R ^{2‡}	p, model [§]	β
Dependent variable	Independent variable						
Asthma	PM ₁₀	45.23	11.56	<0001	0.73	<.0001	0.16
	PM _{2.5}	-32.60	11.16	0.0036			-0.12
	SO ₂	15.93	8.31	0.0555			0.04
	NO ₂	0.35	7.15	0.9613			0.00
	CO	-48.67	18.79	0.0097			-0.09
Allergic rhinitis	PM ₁₀	255.59	66.39	0.0001	0.80	<.0001	0.13
	PM _{2.5}	-186.39	64.10	0.0037			-0.11
	SO ₂	-122.40	47.74	0.0105			-0.04
	NO ₂	153.21	41.10	0.0002			0.08
	CO	-303.29	107.95	0.0051			-0.08
Atopic dermatitis	PM ₁₀	0.07	1.98	0.9713	0.80	<.0001	0.00
	PM _{2.5}	-3.11	1.91	0.1035			-0.06
	SO ₂	3.75	1.42	0.0084			0.05
	NO ₂	3.79	1.22	0.0020			0.07
	CO	4.62	3.21	0.1510			0.04

*Unstandardized regression coefficient

†Probability value

‡Coefficient of determination

§Probability value of regression model

||Standardized regression coefficient

표준화 회귀계수가 각각 0.16($p < 0.0001$), 0.04($p = 0.0555$)로 나타나 상대적으로 다른 대기오염물질에 비해 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 알레르기 비염은 PM₁₀과 NO₂의 표준화 회귀계수가 각각 0.13($p = 0.0001$), 0.08($p = 0.0002$)로 나타나 상대적으로 다른 대기오염물질에 비해 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 아토피 피부염은 SO₂와 NO₂의 표준화 회귀계수가 0.05($p = 0.0084$), 0.07($p = 0.0020$)로 나타나 상대적으로 다른 대기오염물질에 비해 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 환경성 질환에 대한 다중회귀 모델의 설명력(R²)은 천식이 73%, 알레르기 비염과 아토피 피부염이 각각 80%로 높은 설명력을 나타내었다($p < 0.0001$).

IV. 고 찰

본 연구는 2015년부터 2017년까지 에어코리아의 대기오염물질 자료와 국민건강보험공단의 환경성 질

환으로 인한 의료이용 자료를 활용하여 대기오염물질이 3가지 환경성 질환에 의한 의료이용률에 미치는 영향을 조사하였다. 조사대상 지역은 경상남도에 소재한 모 지역으로 대기오염측정소를 중심으로 반경 4 km 내 3개 동으로 구성되어 있으며, 약 15만 명이 거주하고 있다. 2000년경부터 개발된 도시형의 일반 거주지역이며, 가구 형태의 대부분이 아파트 단지였다. 연구 기간(3년) 동안 조사대상 지역의 대기오염물질 연평균 농도는 PM_{2.5}를 제외한 나머지 대기오염물질은 모두 우리나라의 대기 환경기준 이하이었다. NO₂는 우리나라 전체의 연평균 대기오염물질 농도보다 높은 수준이었으며, CO는 비슷한 수준이었다. 그리고 나머지 대기오염물질들은 모두 낮은 것으로 조사되었다. 상관분석 결과 천식은 PM₁₀과 SO₂, NO₂, CO, 알레르기 비염은 PM₁₀과 NO₂, CO, 아토피 피부염은 O₃를 제외한 나머지 대기오염물질과 유의한 상관성을 가지는 것으로 조사되었다. 다중회귀분석 결과 천식은 PM₁₀과 SO₂가, 알레르기 비

염은 PM₁₀과 NO₂가, 아토피 피부염은 SO₂와 NO₂가 상대적으로 다른 대기오염물질에 비해 많은 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 산업단지 또는 대기오염이 심각한 대도시 지역보다 상대적으로 대기오염 정도가 낮은 환경에서도 일부 대기오염물질은 환경성 질환으로 인한 의료이용 건수를 증가시키는 것으로 해석된다. 다만 본 연구에서 다중회귀분석결과 환경성 질환에 의한 의료이용과 PM_{2.5}의 표준화 계수(Standardized regression coefficient), 그리고 비표준화 계수(Unstandardized regression coefficient)는 모두 음의 값을 나타내었다. 본 연구는 일반거주지역을 대상으로 수행하였으며, 연구 기간(3년) 동안 PM₁₀과 PM_{2.5}의 전체 연평균 농도는 각각 38, 20 µg/m³로 우리나라 전체의 연평균 농도(PM₁₀: 46 µg/m³, PM_{2.5}: 26 µg/m³)보다 낮았으며, PM_{2.5}의 농도가 PM₁₀보다 약 50% 수준으로 낮은 점 등의 조건들이 PM_{2.5}가 유의한 변수로 나타나지 않은 원인으로 작용하였을 것으로 생각된다.

국내 및 국외에서 보고한 대기오염물질 노출과 환경성 질환 간 관련성에 관한 이전 연구 결과를 환경성 질환별로 본 연구의 결과와 천식, 알레르기성 비염, 아토피 피부염의 순으로 비교하여 고찰하였다. 천식에 관한 보고에서 Leem et al.(1998)은 서울의 거주지역에서 대기오염물질이 천식을 포함한 호흡기계 질환에 미치는 영향을 조사하였으며, 회귀분석 결과 PM₁₀과 O₃가 영향을 미치는 것으로 보고하였다.¹³⁾ 연구 기간 동안 물질별 농도는 PM₁₀ (72 µg/m³), SO₂ (0.014 ppm), O₃ (0.015 ppm)이었다. 본 연구 결과와 비교하면 PM₁₀은 같은 결과를 보였으나, O₃는 Leem et al.(1998)의 연구보다 본 조사의 농도가 높았음에도 영향이 없는 것으로 나타나 차이가 있었다. Seo et al.(2006)은 서울 내 거주지역에서 대기오염물질이 천식을 포함한 호흡기계 질환에 미치는 영향을 조사하였으며, 회귀분석 결과 PM₁₀이 영향을 미치는 것으로 보고하였다.¹⁹⁾ 그리고 연구 기간 동안 물질별 농도는 PM₁₀ (69.1 µg/m³), SO₂ (0.007 ppm), NO₂ (0.032 ppm), CO (0.011 ppm), O₃ (0.022 ppm) 본 연구의 조사대상 지역보다 CO와 O₃를 제외한 나머지 대기오염물질의 농도는 모두 높은 수준이었으나, SO₂는 천식에 영향을 미치지 않는 것으로 조사되어 본 연구 결과와 차이가 있었다. Choi et al.(1995)은 서울 내 거주지역에서 대기오염에 따

른 천식 발생 건수 간의 관련성을 조사하였으며, 연구 기간 동안 대기오염물질의 농도는 TSP (209 µg/m³), SO₂ (0.045 ppm), NO₂ (0.051 ppm), CO (2.4 ppm), O₃ (0.032 ppm)이었다.²⁰⁾ 상관분석에서 본 연구는 O₃를 제외한 나머지 대기오염물질이 유의한 상관성이 있는 것으로 조사되었으나, 위 연구에서는 TSP와 NO₂가 천식과 유의한 상관성이 있는 것으로 보고하였다. 또한, 다중회귀분석에서 천식과 대기오염물질 간에는 유의성이 없는 것으로 보고하여 본 연구 결과와 차이가 있었다.

국의 연구에서 Calmilla et al.(2012)은 브라질의 주거지역에서 10세 이하의 소아를 대상으로 천식으로 병원을 방문한 환자 수와 대기오염물질 간의 관련성을 상관분석과 회귀분석을 통해 조사하였다.²¹⁾ 상관분석과 회귀분석 결과 PM₁₀과 SO₂가 천식으로 인한 병원 방문에 유의한 관련성을 보였다. 연구 기간 동안 대기오염물질 농도는 PM₁₀ (25.2 µg/m³), SO₂ (0.002 ppm), O₃ (0.035 ppm)이었다. 위 연구에서 조사대상 지역의 PM₁₀과 SO₂의 농도는 본 연구의 조사대상 지역보다 낮은 수준이었음에도 PM₁₀과 SO₂가 천식에 영향을 줄 수 있는 것으로 조사되어 본 연구와 같은 결과를 나타내었다. 그러나 위 연구의 조사대상은 10세 이하의 소아를 대상으로 조사하여, 전체 나이를 대상으로 조사한 본 연구와 조사대상에 차이가 있었다. 이러한 국내, 외에서 보고된 천식 관련 이전 연구들의 대부분은 대기오염물질 농도가 본 연구의 조사대상 지역보다 높은 수준이었으며, TSP와 PM₁₀ 등의 입자상 대기오염물질은 천식에 영향을 미치는 것으로 조사되어 본 연구와 비슷한 결과를 나타내었다. 그러나 SO₂와 NO₂ 등의 가스상 대기오염물질에 대한 영향은 연구마다 다른 결과를 나타내었고, 본 연구 결과를 포함하여도 천식 발생과의 대기오염물질 간의 연관성을 설명하기에 서로 다른 결과를 보여 추가적인 연구가 필요하였다.

알레르기성 비염에 관한 국내 연구에서 Park et al.(2020)은 2017년 우리나라 전체 지역을 대상으로 대기오염물질 농도가 알레르기 비염 외래 환자 수에 미치는 영향을 조사하였으며, 연구 기간 동안 대기오염물질의 농도는 PM₁₀ (44.6 µg/m³), PM_{2.5} (24.8 µg/m³), SO₂ (0.004 ppm), NO₂ (0.023 ppm), CO (0.403 ppm), O₃ (0.029 ppm)이었다.²²⁾ 대기오염물질 간 다중공선성으로 인해 NO₂와 CO를 제외하고 회

귀분석을 수행하였으며 그 결과 PM₁₀과 PM_{2.5}, SO₂, O₃가 유의한 것으로 보고하였다. PM₁₀과 PM_{2.5}는 본 연구의 조사대상 지역보다 높은 수준이었으며, SO₂와 NO₂는 비슷한 수준이었고 CO와 O₃는 낮은 수준이었다. 이들의 연구에서는 본 연구의 PM₁₀ 이외에 PM_{2.5}, SO₂, O₃가 영향을 미치는 것으로 보고하여 차이가 있었다. Oh et al.(2010)은 공단지역을 포함한 울산 전체 지역을 대상으로 알레르기 비염 유병률과 대기오염과의 관계를 조사하였으며, 연구 기간 동안 대기오염물질 농도는 PM₁₀ (48.4 µg/m³), SO₂ (0.006 ppm), NO₂ (0.024 ppm), CO (4.1 ppm), O₃ (0.033 ppm)이었다.¹⁴⁾ 상관분석 결과 PM₁₀이 알레르기 비염 유병률과 유의한 상관성을 가지는 것으로, 다중회귀분석에서는 PM₁₀과 SO₂가 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 위 연구에서 조사대상 지역의 NO₂ 농도는 본 연구의 조사대상 지역과 비슷한 수준이었으나, 상관분석과 다중회귀분석에서 NO₂는 영향을 미치지 않는 것으로 보고되어 본 연구 결과와 차이가 있었다.

국의 연구에서 Hajat et al.(2001)은 영국 런던의 대기오염물질이 알레르기 비염에 미치는 영향을 조사하였으며, 연구 기간 동안 대기오염물질 농도는 PM₁₀ (28.5 µg/m³), SO₂ (0.007 ppm), NO₂ (0.034 ppm), CO (0.8 ppm), O₃ (0.018 ppm)이었다.²³⁾ 회귀분석 결과 대기오염물질 모두가 알레르기 비염 질환자 수를 증가시키는 데 영향을 주는 것으로 보고하였다. 위 연구의 조사대상 지역은 본 연구의 조사대상 지역보다 PM₁₀과 O₃를 제외하고 모두 높은 수준이었다. 이러한 국내, 외의 연구 결과로 보아 적어도 PM₁₀은 알레르기 비염에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 가스상 대기오염물질의 경우 연구에 따라 다른 결과를 보고하여 추가적인 연구가 필요하였다.

아토피 피부염에 관한 국내의 연구에서 Kim et al.(2017)은 서울 내 거주지역의 5세 이하 소아의 아토피 피부염 환자를 대상으로 대기오염물질이 천식 증상에 미치는 영향을 조사하였다.²⁴⁾ 회귀분석 결과 대기오염물질 농도가 PM₁₀ (45.2 µg/m³), NO₂ (0.032 ppm), O₃ (0.038 ppm)의 수준에서 대기오염물질 모두가 아토피 피부염의 증상과 관련성이 있는 것으로 보고하였다. 연구 기간 동안 조사대상 지역의 PM₁₀과 NO₂, O₃ 농도 수준은 본 연구의 조사대상 지역

보다 높은 수준이었다. Baek et al.(2021)은 인천지역 내 거주지역을 대상으로 아토피 피부염으로 병원을 방문한 환자의 수와 대기오염물질 간의 연관성을 조사하였다.²⁵⁾ 연구 기간 동안 대기오염물질의 농도는 PM₁₀ (27.23 µg/m³), SO₂ (0.003 ppm), NO₂ (0.016 ppm), CO (0.226 ppm), O₃ (0.016 ppm)으로 본 연구와 모두 비슷한 수준이었다. 회귀분석 결과 PM₁₀, SO₂, O₃가 연관성이 있는 것으로 보고하여, 본 연구에서 SO₂와 NO₂가 아토피 피부염에 영향을 미치는 것과 비교하여 차이가 있었다. 대기오염도 수준이 본 연구 결과보다 높은 지역에서 수행한 아토피 피부염과 대기오염물질 간의 연관성에 대한 Kim et al.(2017)의 연구 결과에서는 모든 대기오염물질이 아토피 피부염에 영향을 미치는 것으로 보고하였다.²⁴⁾ 그러나 이 연구는 대상자가 5세 또는 6세 이하의 소아를 대상으로 조사하여 본 연구에 비하여 민감도가 높았을 것으로 생각된다.

국의 연구에서 Tang et al.(2017)은 대만에 거주하는 20세 이상의 성인을 대상으로 아토피 피부염과 대기오염물질 노출 간의 연관성을 조사하였다.²⁶⁾ 연구 기간 동안 대기오염물질의 농도는 PM₁₀ (56.3 µg/m³), PM_{2.5} (33.6 µg/m³), SO₂ (0.004 ppm), NO₂ (0.019 ppm), CO (0.5 ppm), O₃ (0.028 ppm)이었으며, 회귀분석 결과 대기오염물질 모두가 아토피 피부염과 관련성이 있으며, PM_{2.5}가 아토피 피부염과 가장 높은 관련성을 보고하였다. 위 연구에서 조사대상 지역의 대기오염도 수준은 본 연구와 비교하여 PM₁₀과 PM_{2.5}를 제외하고 모두 낮은 수준이었으며, NO₂와 CO, O₃가 아토피 피부염에 영향을 줄 수 있는 것으로 보고하여 본 연구 결과와 차이를 보였다.

이 연구의 제한점은 다음과 같다. 조사대상 지역의 대기오염도 자료 외에 대기환경과 환경성 질환에 영향을 미칠 수 있는 다양한 자료를 적용할 필요가 있는 것으로 판단된다. 이전 연구에 따르면 조사대상 지역 내 대기오염물질의 배출시설의 유, 무와 주요 도로의 길이에 따라 알레르기 질환의 유병률이 더 많은 영향을 미치는 것으로 보고하였으며,⁹⁾ 기온의 상승에 따라 천식에 의한 입원 발생 건수도 증가하여 기온이 천식에 영향을 미치는 것으로 보고하였다.²⁷⁾ 또한, 조사대상 지역의 교육수준과 주택 유형⁸⁾ 그리고 가구 소득,⁵⁾ 사회 및 경제적 조건,²⁸⁾ 녹지 면적³⁾에 따라 연구 결과가 달라질 수 있다. 그리

고 본 연구는 대기 측정망 자료를 기반으로 수행하여, 개인 노출에 따라 환경성 질환 발생에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나인 실내공기 오염 정도를 반영하지 못한 제한점이 있었다.

본 연구에서는 PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, CO, O₃의 6가지 대기오염물질에 대해서 환경성 질환 간의 연관성을 조사하였다. 그러나 미세먼지에 흡착된 중금속이나 PAHs 등의 유해물질은 인체에 영향을 줄 수 있으며, 미세먼지의 농도 수준이 비슷하더라도 미세먼지에 흡착된 물질의 양이나 성분에 따라 연구 결과가 달라질 수 있다. 따라서 향후 대기오염과 환경성 질환 발생 간의 더욱 정확한 인과관계를 설명한 연구에서는 조사대상 지역의 미세먼지의 구성성분에 대한 분석 자료를 활용한 연구가 필요할 것이다.²⁹⁻³³⁾

국내에 보고된 이전의 연구들은 대기오염물질에 노출되고 일정 기간이 지난 후 환경성 질환이 나타나는 지연효과(Lag effect)를 적용하여 조사하였다. 이러한 연구의 조사대상 지역 대부분은 대도시와 산업단지를 포함한 대기 오염도가 본 연구의 조사대상 지역보다 높은 지역을 대상으로 조사하였으며, 1-2년의 단기간 연구로 1-7일의 지연효과를 고려하였다.^{13,20,21,34)} 이러한 방법은 환경성 질환의 증상이 단기간에 급성으로 나타났을 때 적용이 가능하지만, 본 연구와 같이 대기오염도 수준이 상대적으로 낮은 지역일 경우 환경성 질환이 단기간에 발생하지 않고, 몇 년에 걸쳐서 서서히 나타날 가능성이 있다.^{7,25)} Lee et al.(2015)의 연구에 따르면 만성질환의 경우 장기간 효과(Long term effect)로 인해서 2년에서 5년까지의 지연효과(Lag effect)를 가지고 있다고 보고하였다.⁷⁾ 따라서 산업단지 등 고농도 노출 지역보다 상대적으로 대기오염 수준이 낮은 일반거주지역에 대한 영향을 평가하기 위해서는 장기적인 기간에 걸친 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 2015년부터 2017년까지 에어코리아의 대기오염물질 자료와 국민건강보험공단에서 제공하는 천식과 알레르기 비염, 아토피 피부염의 환경성 질환 의료이용 자료를 활용, 상관분석과 회귀분석을 수행하여 대기오염물질이 환경성 질환에 의한 의료이용률에 미치는 영향을 조사하였다. 조사대상 지역

은 경상남도의 모 지역으로 거주지역 대부분이 아파트 단지로 구성되어 있으며, 대기오염측정소를 중심으로 반경 4 km 내 3개동에 약 15만 명의 인구가 거주하는 도시형태의 일반거주지역이었다. 조사 기간(3년) 동안 조사대상 지역의 대기오염물질 전체 연평균 농도는 PM₁₀ (38 µg/m³), PM_{2.5} (20 µg/m³), SO₂ (0.004 ppm), NO₂ (0.023 ppm), CO (0.5 ppm), O₃ (0.027 ppm)으로 PM_{2.5}를 제외한 나머지는 우리나라의 대기환경기준(PM₁₀: 50 µg/m³ (연평균), PM_{2.5}: 15 µg/m³ (연평균), SO₂: 0.02 ppm (연평균), NO₂: 0.03 ppm (연평균), CO: 9 ppm (8시간 평균), O₃: 0.06 ppm (8시간 평균)) 이하였다. NO₂는 우리나라 전체의 연평균 대기오염물질 농도(PM₁₀: 46 µg/m³, PM_{2.5}: 26 µg/m³, SO₂: 0.005 ppm, NO₂: 0.022 ppm, CO: 0.5 ppm, O₃: 0.028 ppm)보다 높은 수준이었으며, CO는 비슷한 수준이었다. 그리고 나머지 대기오염물질들은 모두 낮은 것으로 조사되었다.

상관분석에서 환경성 질환 간에는 높은 상관성을 나타내었다. 그리고 환경성 질환과 대기오염물질 간에는 천식은 PM₁₀과 SO₂, NO₂, CO, 알레르기 비염은 PM₁₀과 NO₂, CO, 아토피 피부염은 O₃를 제외한 나머지 대기오염물질과 유의한 상관성을 가지는 것으로 조사되었다. 다중회귀분석 결과 천식은 PM₁₀과 SO₂가, 알레르기 비염은 PM₁₀과 NO₂가, 아토피 피부염은 SO₂와 NO₂가, 상대적으로 다른 대기오염물질에 비해 높은 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 다중회귀 모델의 설명력(R²)은 천식이 73%, 알레르기 비염과 아토피 피부염이 80%로 높은 설명력을 나타내었다(p<0.001). 이러한 결과는 본 연구의 조사대상 지역과 같이 대기오염이 심각한 산업단지 또는 대도시보다 상대적으로 대기오염 정도가 낮은 환경에서도 일부 대기오염물질은 환경성 질환에 의한 의료이용에 유의한 영향을 미치는 것을 의미하며, 따라서 이 분야에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것이다.

References

1. Statistics Korea. Korean social trends 2013. Available from: http://kostat.go.kr/sri/srikor/srikor_pbl/3/index.board?bmode=download&aSeq=370053&sort=1 [accessed 4 May 2021].
2. Special Policy Committee on Fine Dust. Compre-

- hensive plan for fine dust management 2020-2024. Available from: <https://www.cleanair.go.kr/dust/information/polic-y.do?mode=download&articleNo=317&attachNo=269> [accessed 4 May 2021].
3. National Institute of Environmental Research. Annual Report of Ambient Air Quality 2019. Available from: https://www.airkorea.or.kr/web/detail-ViewDown? pMENU_NO=125 [accessed 4 May 2021].
 4. Korea Environment Institute. National Environmental Consciousness Survey 2019. Available from: https://www.kei.re.kr/boardDownload.es?bid=0028&list_no=57070&seq=1 [accessed 4 May 2021].
 5. Cho I, Ju H, Kwon G. The impact analysis of air pollutants on increasing environmental disease: focusing on allergic rhinitis and asthma in Seoul metropolitan city. *Seoul Studies*. 2013; 14(2): 97-114.
 6. Health Insurance Review & Assessment Service. Analysis of environmental disease treatment trends in the last 5 years. Available from: <https://www.hira.or.kr/bbsDummy.do?pgmid=HIRAA030096000000&brdScnBltno=4&brdBltno=494#none> [accessed 4 May 2021].
 7. Lee W, Kim H. Association between PM₁₀ and prevalence of hypertension: using longitudinal analysis with 2009-2013 community health survey data. *KJPH*. 2015; 52(1): 43-48.
 8. Sohn D. Gender-dependent association between the risk of diabetes and the concentration of ambient particulate matter. *J of Korea Plan Assoc*. 2016; 51(4): 211-223.
 9. Oh S, Seong H, Lim D, Kim J, Son B, Kim H, et al. Relationship between air pollutants and prevalence of allergic disease/pulmonary function in students in Incheon. *Pediatric allergy and respiratory disease*. 2010; 20(4): 264-276.
 10. Kang C, Song I, Jang J, Seo D, Kim H. Effects of air pollution on suicide, de-pression, and mental disorder. *KJPH*. 2020; 57(1): 8-19.
 11. Ko H. Visual and psychological effects of urban visible landscape according to air quality. *Seoul Studies*. 2020; 21(1): 23-36.
 12. Choi K. The morbidity of respiratory diseases related to air pollution in Seoul area. *J of ESE*. 1993; 8(1): 93-105.
 13. Leem J, Lee J, Kim D, Shin D, Roh J. Short-term effects of air pollution on hospital visits for respiratory diseases in Seoul. *Ann Occup Environ Med*. 1998; 10(3): 333-342.
 14. Oh I, Lee J, Sim C, Kim Y, Yoo C. An Association between air pollution and the prevalence of allergic rhinitis in the Ulsan metropolitan region. *J Environ H-health Sci*. 2010; 36(6): 465-471.
 15. Choi B, Koo J, Park S, Yim H, Lee K, Lee W, et al. Time series analysis bet-ween the concentration of air pollutants and the number of respiratory disease outpatients in Seoul. *Ann Occup Environ Med*. 2000; 12(1): 70-80.
 16. Ponka A, Virtanen M. Chronic bronchitis, emphysema, and low-level air pollution in Helsinki 1987-1989. *Environ Res*. 1994; 65: 207-217.
 17. Cho Y, Lee J, Kim Y, Hong S, Kim H, Ha E, et al. A time-series study of ambient air pollution in relation to daily mortality in Seoul 1998-2001. *J KOSAE*. 2003; 19(6): 625-637.
 18. Baek S, Jeon C. Current status and future directions of management of hazardous air pollutants in Korea -Focusing on ambient air monitoring issues-. *J KOS-AE*. 2013; 29(5): 513-527.
 19. Seo J, Ha E, Lee B, Park H, Kim H, Hong Y, et al. The effect of PM on respiratory related admission in Seoul. *J KOSAE*. 2006; 22(5): 564-573.
 20. Choi K, Paek D. Asthma and air pollution in Korea. *Epidemiol Health*. 1995; 17(1): 64-75.
 21. Camila TA, Luiz FCN. Asthma and air pollutants: a time series study. *Rev Ass-oc Med Bras*. 2012; 58(3): 302-307.
 22. Park J, Park Y, Lee E, Lee K. Analysis on the effects of particular matter distribution on the number of outpatient visits for allergic rhinitis. *Korean J Health Policy Adm*. 2020; 30(1): 50-61.
 23. Hajat S, Haines A, Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR. Association between air pollution and daily consultations with general practitioners for allergic rh-initis in London, United Kingdom. *Am J Epidemiol*. 2001; 153(7): 704-714.
 24. Kim Y, Kim J, Han Y, Jeon B, Cheong H, Ahn K. Short-term effects of weather and air pollution on atopic dermatitis symptoms in children: A panel study in Korea. *PLoS One*. 2017; 12(4): e0175229.
 25. Baek J, Cho J, Roh J. Associations between air pollution and medical care visits for atopic dermatitis. *Environ Res*. 2021; 195: 110153.
 26. Tang K, Ku K, Chen D, Lin C, Tsuang B, Chen Y. Adult atopic dermatitis and exposure to air pollutants -a nationwide population- based study. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2017; 118(3): 351-355.
 27. Korea Environment Institute. Climate change and air pollution effects on environmentally related disease. Available from: <http://library.kei.re.kr/dmme/img/001/003/001/%EA%B8%B0%EB%B3%B82010->

- 06%EB%B0%B0%ED%98%84%EC%A3%BC.pdf [accessed 4 May 2021].
28. Burra TA, Moineddin R, Agha MM, Glazier RH. Social disadvantage, air pollution, and asthma physician visits in Toronto, Canada. *Environ Res.* 2009; 109: 567-574.
 29. Park H, Woo K, Moon C, Kim G, Kang T, Chung E, et al. Association between blood pressure and urinary arsenic concentration in industrial areas. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2014; 24(2): 137-145.
 30. Park E, Kang M, You D, Kim D, Yu S, Chung K, et al. Health risk assessment of heavy metals in fine particles collected in Seoul metropolitan area. *J Environ Toxicol.* 2005; 20(2): 179-186.
 31. Jeon J, Kang B, Lee Hak, Lee C. Health risk assessment of heavy metals in PM_{2.5} in industrial areas. *J Env Hlth Sci.* 2010; 36(4): 294-305.
 32. Jung J, Phee Y, Cho S, Ok G, Shon B, Lee K, et al. Concentration levels and distribution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at ambient air in industrial complex area. *Clean Technology.* 2011; 17(4): 379-388.
 33. Kim Y, Park H, Lee Y, Lim Y, Shin D. Risk-based priority ranking for air pollution problems in Seoul. *J KOSAE.* 2003; 19(2): 205-226.
 34. Seo W, Chang S, Kwon H. Concentration of air pollutants and asthma in Taejon city. *J Env Hlth Sci.* 2000; 26(2): 80-90.

<저자정보>

박동윤(대학원생), 이채관(교수)