

대기오염물질이 환경성질환에 미치는 영향:

수도권 지역의 자치구 및 시·군을 중심으로

서형준*·이형석**

How air pollutants influence on Environmental diseases? :

Focused on Seoul Metropolitan Area

Seo Hyung Jun*·Lee Hyoung Seok**

요약 : 최근 미세먼지에 대한 경각심으로 환경이슈가 주요 정책 의제로 부상하고 있다. 특히 대기오염은 불특정 다수에 노출되기 쉽기 때문에 인체에 미치는 영향이 다른 오염보다 범위가 넓다고 볼 수 있다. 대기오염은 호흡기질환 같은 환경성질환을 일으킬 수 있기 때문에 이 연구는 수도권 지역의 자치구와 시·군을 대상으로 대기오염물질이 환경성질환에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 2012년부터 2016년간 패널 데이터를 활용하여 이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, 미세먼지(PM10) 등 5가지 오염물질의 농도가 알레르기 비염 환자 수와 천식 환자 수에 미치는 효과를 통제변수인 녹지면적과 의료기관의 수와 함께 실증분석을 하였다. 분석 결과, 오존과 미세먼지가 알레르기 비염환자에 유의미한 정의 영향을 끼쳤고, 이산화황은 천식환자에 이산화황이 유의미한 정의 영향을 미치는 것으로 확인됐다. 한편, 오염물질 중 미세먼지는 인천과 경기에서 간혹 연간대기환경기준을 초과하는 경우가 있어 특히 배출량 감소가 요구된다.

주제어 : 대기오염물질, 환경성질환, 환경정책

ABSTRACT : Because of particular matter hazard, the environmental issue has recently risen among policy agenda in Korea. Especially, the air pollution which is likely to be exposed to unspecific people could widely more influence human than other pollutions. The air pollutants cause environmental disease like a respiratory disease. In this study, it aims to reveal the effect of air pollutant on environmental disease in Seoul, Incheon, and Kyunggi that are Seoul metropolitan areas. By using panel data, it examined whether the concentration of five air pollutants which include SO₂, NO₂, O₃, CO and PM₁₀ affected the number of allergic rhinitis patients and the number of asthma patients with the size of greenfield and the number of medical institution as control variables between 2012 and 2016. As a result, O₃ had significantly positive effect on the increase of allergic rhinitis patients. SO₂ had significantly positive effect on the increase of asthma patients. Among air pollutants, PM₁₀ occasionally exceeded annual air quality standards, so especially the emission of PM₁₀ should be reduced PM_{2.5}.

KeyWords : Air pollutants, Environmental disease, Environment policy

* 인천연구원 도시경영연구실 초빙연구원(Visiting Researcher, Urban Management Research Devision, Incheon Institute, 주저자 (E-Mail: dongchun01@naver.com))

** 인하대학교 동아시아환경연구소 연구교수(Research Professor, East Asia Environment Research Center), 교신저자(E-Mail : zard2303@naver.com, Tel : 032-860-7760)

I. 서론

최근 들어 미세먼지로 시작된 대기오염의 심각성에 대한 인식이 전 국민적으로 증대되고 있다. 이례적으로 2017년 9월 26일 정부는 관계부처 합동으로 미세먼지 관리 종합대책을 발표하였다. 이에 따르면 2022년까지 미세먼지의 국내 배출량 30% 감축을 목표로 전국 기준 미세먼지 나쁨 이상 일수를 2016년 258일에서 2022년 78일로 감소시키고, 서울기준 PM_{2.5} 오염도를 2016년 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2022년 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감축시키기로 하고, 4대 핵심 배출원(발전, 산업, 수송, 생활)에 대한 집중적인 감축을 위해 석탄화력에너지 축소 및 재생에너지 확대, 미세먼지 총량제 실시, 노후경유차의 퇴출 및 친환경차량 보급 확대 등을 중점과제로 제시하였다(관계부처 합동, 2017).

2017년 12월 29일에는 같은 해 2월 15일 도입된 이후로 미세먼지 비상저감조치가 최초 발령되어 행정·공공기관이 운영하는 대기오염물질을 배출하는 사업장이나 비산먼지를 발생시키는 공장이 단축 운영되고 공무원이나 공공기관 임직원의 차량 2부제가 실시되었다. 중앙정부 외에도 지자체에서도 미세먼지 저감 노력이 이어지는 가운데 서울시는 2018년 2월 폐기되었으나 미세먼지 나쁨 발령 시 대중교통 무료이용정책을 실시하기도 하였으며, 차량2부제를 현재 공공부문에 국한되어 있는 것을 민간부문으로 확대 추진을 고려중이다.

주요 이슈가 되고 있는 대기오염물질인 미세먼지의 경우 1995년 PM₁₀ 농도에 대한 기준을 마련하였고, 2011년 PM_{2.5}에 대한 기준이 설정되어 2015년부터 적용되어 측정되고 있다(환경부, 2016: 202). 한편 미세먼지 외에도 주요 대기오염물질인 이산화황, 일산화탄소, 이산화질소, 오존

등이 국내의 대기환경기준에 따라 관리되고 있다.

대기오염물질의 문제점은 그것이 인체에 초래할 수 있는 부정적인 효과 때문이다. 일반적으로 환경성질환이라고 지칭되는 비염, 천식 등의 질환이 대기오염물질이 초래하는 대표적인 질환이다. 이러한 질환은 소아, 노약자들이 취약하며, 다양한 합병증을 야기하고, 또한 건강한 성인이라도 오염물질이 오랜 기간 축적되면 만성적인 질환으로 이어질 수 있다. 이러한 대기오염물질이 초래하는 위험성 외에도 대기오염문제가 중요시되는 것은 대기환경의 특징상 불특정 다수가 노출되기 쉽고, 대기오염물질이 눈으로 쉽게 확인할 수 없다는 특성에 의해 모든 사람이 대기오염으로 인한 피해자가 될 수 있다는 잠재적인 위험성을 내포한다는 것이다(조일형 외, 2013: 98). 대기오염은 대표적인 환경성질환 외에도 다양한 신체 및 정신적으로 부정적 영향을 초래하는데, 호흡기 질환 유발, 낮은 출산률, 미숙아 출산, 인지능력 저해, 우울증 초래 및 삶의 질 저해 등이 제시되고 있다(Cao et al., 2017: 1081). 일반적으로 대기오염물질과 가장 직접적인 관련성을 가진다고 알려진 호흡기 질환을 중심으로 한 연구가 국내외에 걸쳐서 꾸준히 이어져 오고 있으며, 다양한 실증 연구를 통해 대기오염물질의 인체 유해성을 입증하고 있다(최병철 외, 2000; 최현 외, 2000; Fusco et al., 2001; Parker et al., 2009; 오성근 외, 2010; 배현주, 2010; 조일형 외, 2013; Meszaros et al., 2015; Cao et al., 2017; Deepa et al., 2017; Trnjar et al., 2017)

이에 이 연구에서는 국내에서 가장 인구밀집도가 높고, 경제활동의 중심지역이며, 이에 따른 대기오염물질의 배출이 많은 서울, 경기, 인천 등의 수도권을 중심으로 대기오염물질의 환경성질환에 미치는 영향을 실증하고자 한다. 구체적인 분석 단위는 서울시 25개 자치구, 인천시 9개 자치구, 경

기도 31개 시·군 등 총 65개의 수도권 지역이다. 연구에 활용되는 오염물질은 국내 대기환경연보에서 제공하는 주요 오염물질인 이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, 미세먼지(PM₁₀) 등이다. 다만 최근 위험성이 부각되고 있는 초미세먼지인 PM_{2.5}는 공식적으로 전국의 대기측정소에서 2015년부터 측정되어 분석에 필요한 시계열 자료가 충분치 않은 관계로 부득이 연구에서 제외하였다. 환경성질환은 호흡기성 질환인 알레르기 비염과 천식으로 한정하여 국민건강보험공단에서 제공하는 각 수도권 지역의 환경성질환자 수를 활용하였다. 연구방법은 연구변수외의 변인에 대한 고려에 한계가 있는 횡단적 연구의 문제를 피하기 위해 2012년부터 2016년간의 패널 데이터를 활용하여, 패널 회귀분석을 수행하였다. 이를 통해 이 연구는 수도권 지역 대기오염의 연도별 추이 및 환경성질환에 영향을 미치는 대기오염물질의 영향력을 실증분석 하여 정책적 시사점을 제공하고자 한다.

II. 이론적 배경 및 선행연구

1. 대기오염물질과 환경성질환

국내의 대기환경보전법에 따르면 대기오염물질의 정의에 대해 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상물질로서 대기 중에 존재하는 물질의 위해성을 그 독성, 생태계에 미치는 영향, 배출량 등을 고려하여 환경여건 변화에 따라 적정성이 유지되도록 설정한 환경기준에 대비한 오염도 현황 등을 고려하여 대기오염물질 심사·평가위원회를 두어 정하고 있다. 대기오염물질은 가스상 물질 및 입자상 물질로 나누어지며, 가스상 물질은 물질의 연

소, 합성, 분해 등에 의하여 발생하고, 입자상 물질은 물질의 파쇄, 선별, 이송, 기타 기계적인 처리 또는 연소, 합성, 분해 시에 발생한다. 대기오염물질을 생성과정에 따라 분류할 경우에는 공장의 굴뚝이나 자동차 등에서 대기 중으로 직접 방출된 1차 오염물질과 배출된 오염물질이 대기 중에서 광·화학 반응하여 생성되는 2차 오염물질로 구분된다. 대기환경보전법에서 대기오염물질은 이산화황, 일산화탄소, 이산화질소 등 가스상 물질(악취물질 포함)과 먼지 등 입자상물질을 포함한 총 61종으로 정하고 있으며, 이 중 카드뮴 등 35종을 특정대기유해물질로 정하여 관리하고 있다(국립환경과학원, 2017: 3). 대기오염물질의 배출원인은 크게 자연적 배출원과 인위적 배출원으로 구분되며, 이는

〈표 1〉 대기오염 배출원 구분

출처: 정현도(2012: 14)

유형	배출 인자	특징
자연적 배출원	화산폭발	입자상물질로 SO ₂ , H ₂ S, 메탄가스 등이 발생하며 영향을 광범위하게 미침.
	산불	다량의 연기, 불연소 탄화수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물 및 재 등이 발생. 가시도 및 태양광선의 감쇠현상 초래함.
	먼지폭풍	다량의 입자상 물질을 발생하며, 가시도 악화현상을 초래함.
	해양	해염입자 형태로 입자상물질 배출원으로 금속과 페인트 부식을 유발함.
	식물	주요탄화수소 배출원으로 숲 상공에 나타나는 푸른색의 박무는 나무에서 배출되는 휘발성 유기화합물이 대기반응을 통하여 형성되는 것으로 알려져 있음
인위적 배출원	점오염원 (point source)	발전소, 도시폐기물 소각로, 대규모공장과 같이 하나의 시설이 다량의 오염물질을 배출하는 것으로, 높은 굴뚝에서 배출되는 것이기 때문에 그 영향범위가 넓은 특성이 있음
	선오염원 (line source)	자동차가 대표적으로 이는 도로를 중심으로 오염물질을 발생시켜 도로주변에 대기오염문제를 일으키며, 배출구가 낮아 대기확산이 잘 이루어지지 않기 때문에 지표면에 보다 직접적인 영향을 미치는 특성이 있음
	면오염원 (area source)	주택과 같이 일정 지역 내에 소규모 발생원이 다수 모여 오염물질을 발생함으로써 해당 지역 내에 오염문제를 발생시키는 것으로, 배출구가 낮아 대기확산이 잘 이루어지지 않기 때문에 지표면에 보다 직접적인 영향을 미치는 특성이 있음

〈표 1〉과 같이 구분된다. 특히 오늘날은 산업화의 진척으로 인해 급격히 증가되고 있는 인위적 배출원에 대한 관심이 증대되고 있는바, 대기오염에 관한 연구도 이를 중심으로 이루어지고 있으며, 이에 따라 정부의 환경정책의 방향도 인위적 배출원에 대한 규제를 통해 감축하는 방향으로 전개되고 있다.

국내에서는 2016년 12월말 기준으로 전국 82개 시·군에서 지방자치단체 소속의 264개의 도시 대기 측정망이 있으며, 이들 각 측정소에서는 5가지의 주요 대기오염물질을 1시간 단위로 측정하여 보고 있다. 주요 대기오염물질의 특징 및 환경기준은 〈표 2〉와 같으며, PM_{2.5}는 비교적 최근인 2011년인 기준이 신설되었다.

〈표 2〉 주요 대기오염물질의 특징 및 대기환경기준

출처: 국립환경과학원(2017: 3-7)을 토대로 정리

구분	특징	기준
이산화황 (SO ₂)	- 이산화황은 물에 잘 녹는 무색의 자극성이 있는 불연성 기체로, 황 함유 연료(주로 석탄과 석유)의 연소, 금속 제련과정, 기타 산업과정 등에서 발생함.	0.02ppm/년, 0.05ppm/일, 0.15ppm/시간
이산화질소 (NO ₂)	- 이산화질소적갈색의 반응성이 큰 기체로서, 대기 중에서 일산화질소의 산화에 의해 발생하며, 주요발생원은 자동차와 파워 플랜트 등의 고온 연소과정과 화학물질 제조과정, 토양 중의 세균에 의한 자연적 생성 등임	0.03ppm/년, 0.06ppm/일, 0.1ppm/시간
오존(O ₃)	- 오존은 질소산화물과 휘발성유기화합물 등이 자외선과 광화학 반응을 일으켜 생성된 PAN, 알데하이드, Acrolein 등의 광화학 옥시던트의 일종으로 2차 오염물질에 속하며, 전구물질인 휘발성유기화합물은 자동차, 화학공장, 정유공장 등 산업시설과 자연적 생성 등 다양한배출원에서 발생함.	0.06ppm/8시간, 0.1ppm/시간
일산화탄소 (CO)	- 일산화탄소는 무색, 무취의 유독성 기체로서 탄소성분이 불완전 연소에서 발생한다. 주요배출원은 주로 수송부문이 차지하며, 산업과정과 비수송부문의 연료연소에서 발생한다. 그리고 산불과 같은 자연발생원 및 주방, 담배연기, 지역난방으로 발생함.	9ppm/8시간, 25ppm/시간

미세먼지 (PM ₁₀ , PM _{2.5})	- 미세먼지는 직경에 따라 PM ₁₀ 과 PM _{2.5} 등으로 구분되며, PM ₁₀ 은 1000분의 10mm보다 작은 먼지이며, PM _{2.5} 는 1000분의 2.5mm보다 작은 먼지임. - 미세먼지는 공기 중 고체상태와 액적상태 입자의 혼합물로 배출되거나 화학반응 또는 자연적으로 생성된다. 사업장 연소, 자동차 연료 연소, 생물성 연소 과정 등 특정 배출원으로부터 직접 발생함	- PM ₁₀ : 50 μ g/m ³ /년, 100 μ g/m ³ /일 ¹⁾ - PM _{2.5} : 25 μ g/m ³ /년, 50 μ g/m ³ /일 ¹⁾
--	---	--

〈표 3〉은 국내의 주요 대기오염물질의 2006년부터 2016년간 연도별 농도 현황이다. 먼저 이산화황은 2006년부터 2016년간 거의 변동이 없이 소폭 감소했으며, 이산화질소는 소폭 증감을 반복하고 있으나 거의 일정하게 유지되고 있다. 오존은 2006년부터 소폭 증감을 반복하고 있으나 전체적으로 상승하는 추세이며, 일산화탄소는 2006년부터 2016년간 거의 변동 없이 소폭 감소했다. PM₁₀

〈표 3〉 연도별 대기오염물질 현황

출처: 국립환경과학원(2017: 18)에서 일부 발췌

항목	이산화황 (단위: ppm)	이산화질소 (단위: ppm)	오존 (단위: ppm)	일산화탄소 (단위: ppm)	PM ₁₀ (단위: μ g/m ³)	PM _{2.5} (단위: μ g/m ³)
2006년	0.006 (0.020)	0.023	0.022	0.6	59 (70)	-
2007년	0.006 (0.020)	0.026 (0.030)	0.022	0.6	58 (50)	-
2008년	0.006 (0.020)	0.026 (0.030)	0.023	0.6	54 (50)	-
2009년	0.006 (0.020)	0.025 (0.030)	0.024	0.5	53 (50)	-
2010년	0.005 (0.020)	0.025 (0.030)	0.023	0.5	51 (50)	-
2011년	0.005 (0.020)	0.024 (0.030)	0.024	0.5	50 (50)	-
2012년	0.005 (0.020)	0.023 (0.030)	0.025	0.5	45 (50)	-
2013년	0.006 (0.020)	0.024 (0.030)	0.026	0.5	49 (50)	-
2014년	0.005 (0.020)	0.024 (0.030)	0.027	0.5	49 (50)	-
2015년	0.005 (0.020)	0.023 (0.030)	0.027	0.5	48 (50)	26 (25)
2016년	0.005 (0.020)	0.023 (0.030)	0.027	0.5	47 (50)	26 (25)

* 괄호()는 각 대기오염물질의 연평균 대기환경기준을 의미함

1) PM_{2.5}의 경우 2018년 3월 27일부터 연평균 대기환경기준이 25 μ g/m³에서 15 μ g/m³, 일평균 대기환경기준이 50 μ g/m³에서 35 μ g/m³로 개정되었다.

은 2006년부터 꾸준히 감소하고 있으며, PM_{2.5}는 측정데이터가 충분하지 않은 가운데 농도변화는 없다.

산업화에 따른 환경오염이 심해지고, 환경유해 물질의 국가 간 이동도 점차 용이 해지고 있으며, 이에 따라 환경성질환(Environment disease, Environmental related disease 등)이란 용어가 새로 생겨나고, 이에 대한 대책이 국제기구를 중심으로 수립되고 있으나 국제적으로 통일된 기준이 제정되지 않은 상태이다(정기혜, 2008: 100-101). 이러한 환경성질환은 유전적 소인, 생활 습관, 복잡한 개인 노출 요인 등과 얽혀있기 때문에 발생원인 및 기전을 명확히 밝히기가 어렵고 그 치료 또는 예방 대책 수립도 불분명한 경우가 많다(국립환경과학원, 2009: 10).

환경성질환에 대한 구체적인 정의가 없는 가운데, 환경성질환에 대한 해외의 정의를 보면, 세계보건기구(WHO, 2006)는 주요 102가지 질환 중 환경요인에 의한 질환을 85가지로 분류하여 환경성질환으로 설사질환, 신경정신질환, 중독, 하기도 호흡기질환, 상기도호흡기질환, 만성폐쇄성폐질환, 천식, 심혈관질환, 백내장, 난청, 말라리아, 회선사상충증, 뎅기, 일본뇌염, 성병, HIV, B형간염, C형간염, 결핵 등이 있으며, 미국 국립환경보건연구소(NIEHS, 2007)에서는 환경성질환의 원인은 공기, 물, 먼지, 태양, 식물, 동물, 화학물질, 금속 등 일상생활에서 접촉가능한 대부분의 물질이라고 보고하였고, 다양한 환경성질환을 26개 범주로 제시하였다(배현주 외, 2010: 25).

국내에서는 2009년 처음 시행되어 수차례 개정

되어 온 환경보건법(법률 제13893호) 제2조(정의) 제2호에서는 환경성질환에 대해 '역학조사 등을 통하여 환경유해인자와 상관성이 있다고 인정되는 질환으로서 제9조에 따른 환경보건위원회 심의를 거쳐 환경부령으로 정하는 질환을 말한다.'고 하였다. 이에 따른 환경보건법 시행규칙(환경부령 제 745호) 제2조의 환경성질환의 종류에는 첫째 「물환경보전법」 제2조제7호에 따른 수질오염물질로 인한 질환, 둘째 「화학물질관리법」 제2조제7호에 따른 유해화학물질로 인한 중독증, 신경계 및 생식계 질환, 셋째 석면으로 인한 폐질환, 넷째 환경오염사고로 인한 건강장해, 다섯째 「실내공기질 관리법」 제2조제3호에 따른 오염물질 및 「대기환경보전법」 제2조제1호에 따른 대기오염물질과 관련된 호흡기 및 알레르기 질환, 여섯째 가습기살균제[미생물 번식과 물때 발생을 예방할 목적으로 가습기 내의 물에 첨가하여 사용하는 제제 또는 물질을 말한다]에 포함된 유해화학물질(「화학물질관리법」 제2조제2호의 유독물질로 고시된 것만 해당한다)로 인한 폐질환 등으로 지정되어 있다.²⁾

2. 국내 환경성질환에 대한 대기오염의 영향에 대한 선행연구

국내 환경보건법에서는 환경성질환에 속하는 병명을 구체적으로 명시하고 있지는 않으나 국민의 의료정보를 총괄하는 국민건강보험공단에서 제공하는 환경성질환 통계자료는 알레르기성 비염, 천식, 아토피 등을 환경성질환으로 분류하고 있다.

2) 가습기살균제는 당초 카펫트 향균제 등의 용도로 출시된 화학물질(PGH, PHMG 등)이 가습기살균제 원료물질로 사용되었으나 국내에서는 2009년부터 2011년 11월 제품 생산이 중지될 때까지 폐수상, 천식 등으로 인한 인명피해를 야기하였다. 국회에서는 2013년 10월 「환경보건법」 하위법령 개정 및 고시 제정을 추진하여, 2014년 3월 가습기살균제에 사용된 화학물질로 인한 폐질환을 환경성질환으로 지정하는 「환경보건법」 시행규칙을 개정·공포하였다. 현재까지도 피해자 확인이 이루어지는 가운데, 2017년 12월 기준으로 가습기살균제 피해구제위원회로부터 공식적으로 인정된 피인정인은 415명이다.

여기서 이 연구는 대기오염과 밀접한 관련이 있는 비염, 천식을 주요 환경성질환으로 규정하고자 한다. 이러한 환경경성 질환에 대한 대기오염의 영향은 국내·외에서 다양한 실증연구가 진행되어 오고 있다.

최병철 외(2000)는 서울시의 1997년 7월부터 1998년 6월간의 서울시 20개 측정소의 대기오염 자료와 의료보험연합회의 호흡기 질환 의료보험자료를 활용하여 대기오염물질과 호흡기질환의 관계를 실증하였다. 분석결과 일산화탄소, 이산화질소, 오존이 호흡기 질환자 수의 증가에 유의미한 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

최현 외(2000)는 1997년 1월 1일부터 12월 31일 사이에 인천 인하대학병원 응급의료센터를 방문한 급성 호흡기질환 환자의 내원 건수를 종속 변수로 하고, 인천의 공장 집중 지역인 부평동, 주택 집중 지역인 구월동, 교통 집중 지역인 송의동에서 발생한 동일한 기간에 일산화탄소, 질소산화물, 오존, 아황산가스(이산화황), 미세먼지(연구당시에는 부유분진으로 지칭)를 독립변수로 하고, 온도와 습도를 통제변수로 하여 선형모델을 구축하였다. 분석결과 오존, 아황산가스, 미세먼지가 내원 환자수와 유의미한 관계를 나타냈다.

Fusco et al.(2001)은 1995년부터 1997년간의 이탈리아 라치오(Lazio)주의 공공보건국의 병원내원 데이터를 활용하고, 라치오주에 속한 로마 지역 환경부의 측정소에서 대기오염물질자료를 활용하여, 대기오염물질과 호흡기 관련 내원수(중증 급성호흡기질환, 천식 등)의 관계를 실증하였다. 회귀분석결과 이산화질소와 일산화탄소, 오존이 호흡기 질환 관련 내원에 정(+)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 특히 일산화탄소는 성인 내원에 영향을 주고, 이산화질소와 오존은 미성년자의 중증호흡기질환에 영향을 주었으며, 일산화황은 여

름철에 영향력이 증대되는 것으로 나타났다.

Parker et al.(2009)은 1999년부터 2005년간 3~17세의 미성년자 72,279명에 대한 의료 데이터를 미국 NHIS(National Health Interview Survey)로부터 활용하고, 미국 환경보호국의 AQS(Air Quality System)의 대기질 데이터에서 미성년자의 거주지를 기준으로 반경 20 마일내의 대기오염물질(오존, 이산화황, 이산화질소, 미세먼지 등)의 현황 정보를 활용하여, 각 대기오염물질과 호흡기 알레르기 및 비염의 발병유무의 관계에 대한 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 분석결과 호흡기 알레르기 및 비염의 유발에 영향을 주는 것은 오존과 미세먼지(PM_{2.5})가 높을수록 가능성이 높은 것으로 나타났다.

오성근 외(2010)는 인천시에 소재한 11개 초등학교를 무작위로 선정하여 각 학교의 2학년 학생 1,262명을 대상으로 설문조사와 알레르기 질환 확인을 위한 피부단자시험, 호흡기 질환 확인을 위한 폐기능 검사를 수행을 통해 각 학교 인근지역의 대기오염물질 배출시설 유무에 따른 영향을 알아보려 하였다. 분석결과 오염물질 인접학교의 학생들의 폐기능이 비인접학교 보다 상대적으로 낮았으며, 구체적으로 이산화질소, 이산화황, 미세먼지가 높을 경우 호흡기 질환을 호소하는 경우가 많고, 미세먼지가 높을 경우 알레르기 비염 유병률이 높게 나타났다.

배현주 외(2010)는 국립환경과학원의 기상, 대기질, 건강영향자료에 대한 통합 데이터베이스를 통해 건강예측모델을 구축하기 위한 연구보고서에서 2003년부터 2008년간 서울시의 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}와 중금속(납, 카드뮴, 크롬, 구리, 망간, 철, 니켈)이 천식 입원에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 중금속은 납, 구리, 카드뮴, 망간, 철이 관련성을 보였고, 미세먼지는 PM₁₀, PM_{2.5}

모두에서 천식입원에 대한 관련성을 보였다.

조일형 외(2013)는 2005년부터 2009년간을 분석범위로 하여 국민건강보험공단 건강보험정책 연구원의 환경성질환 분석 보고서를 토대로 서울시 25개구의 천식 및 알레르기 비염환자를 종속변수로 하고, 서울시 맑은환경본부에서 제공하는 각 25개구의 일산화탄소, 질소산화물, 오존, 아황산가스, 미세먼지를 독립변수로 하며, 월평균소득수준과 녹지면적을 통제변수로 하는 패널분석을 수행하였다. 분석결과 알레르기 비염은 아황산가스, 오존이 유의미한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 천식은 미세먼지가 유의미한 정(+)의 영향을 끼쳤다.

최종일·이영수(2015)는 보건복지부의 국민건강영양조사를 통해 개인질환자의 정보를 취득하고, 국립환경과학원의 대기오염물질 배출량연보와 한국환경공단의 시도별 대기오염 통계의 오염물질 자료를 활용하였다. 분석시기는 2012년 1월부터 12월까지로 호흡기질환으로 인한 내원 및 입원 여부에 대해 다른 주요 대기오염물질을 통합하여 통제변수로 하여 초미세먼지(PM_{2.5})의 영향력을 확인하기 위해 프로빗 모형과 토빗 모형을 통해 추정하고, 또한 원단위 건강편익추정을 하였다. 분석결과 프로빗 모형, 토빗 모형 모두 초미세먼지가 증가할수록 호흡기계 질환의 발병 가능성이 높고 이에 따라 내원 및 입원 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 해당 추정치를 통해 건강편익추정결과 2012년 기준으로 국내 전역에서 PM_{2.5} 배출량 1%(762.9톤) 증가 시 연간 내원환자 수는 619,531명 증가하고 연간 입원환자수는 100,368명 증가하며, 연간 진료비는 2.14억원 증가하는 것으로 나타났다.

Meszaros et al.(2015)은 1992년부터 2002년간 호주 테즈매니아 주에 속한 론세스턴과 호바트 지역의 병원 두 곳의 처방기록으로부터 호흡기 질환(천식, 기관지염 및 모세기관지염, 만성 폐쇄성 폐

질환 등) 정보를 활용하고, 테즈매니아 주정부의 DPIWE(Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment)로부터 미세먼지 현황 정보(PM₁₀)를 취득하여 활용하였다. 표준화 포아송 회귀분석결과 기관지염 및 모세기관지염이 미세먼지 농도와 유의미한 정(+)의 관계를 보였으나 천식과 만성 폐쇄성 폐질환은 유의미한 관계가 없었다. 미세먼지 농도는 1992년부터 2002년간 전반적으로 유의미한 감소추세를 보였고, 겨울철의 미세먼지 농도가 높게 나타났다.

박재우·황병덕(2017)은 국민건강보험공단의 제공하는 호흡기 질환자 유병건수와 국립환경과학원의 미세먼지, 오존, 일산화탄소등의 오염물질 자료를 활용하여 2002년부터 2013년 간의 시계열분석을 통한 대기오염물질의 농도가 호흡기계 질환 유병건수에 미치는 영향에 대해 ARIMA 모형을 구축하고, 이를 활용해 오염물질의 영향력을 알아보는 ARIMAX 모형 분석을 수행하였다. 전국을 제주도를 제외한 수도권, 충청도권, 전라도권, 경상도권으로 구분하여 분석한 결과 모든 권역에 대해 미세먼지, 오존, 일산화탄소 등이 호흡기 질환 유병률에 영향을 끼쳤는데, 특히 수도권역이 오염물질에 대한 영향력이 다른 권역보다 높게 나타났다.

Cao et al.(2017)은 2004년에서 2008년간 중국 전역 31개성을 대상으로 중국 질병추적 시스템 데이터의 사망원인 모니터링 보고서의 호흡기 질환 사망자 자료와 인공위성을 통해 전세계의 미세먼지 현황 자료를 제공받을 수 있는 IGIN(International Geoscience Information Network)센터의 미세먼지(PM_{2.5}) 지도자료를 활용하였다. 데이터는 ArcGis라는 매핑 플랫폼 소프트웨어를 활용하여 미세먼지와 호흡기질환 사망자의 관계를 실증하였다. 분석결과 베이징과 상하이등이 속한 중국 동부 및 중부지역의 미세먼지의 농도가 서부지역에 비해 상대적으로 높았고, 호흡기 질환 사망자수도 이

와 같은 경향을 보였다. 공간 패널 효과 분석 결과에서도 전년도에 걸쳐서 미세먼지가 호흡기 질환 사망자에 대해 유의미한 정(+)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

Deepa et al.(2017)은 2016년 1월부터 12월 간 인도 델리의 5개 지역을 대상으로 폐질환 확인을 위해 백혈구의 일종으로 세포파편, 외부 유입물질, 미생물, 암세포 등을 소화시키는 역할을 하여 호흡기로 유입된 입자를 정화시킬 수 있는 폐포대식세포의 수 검사와 폐용량 및 기류를 측정하는 폐기능 검사(Spirometry Test)를 수행하고, 해당지역의 미세먼지(PM_{2.5})의 관계성을 규명하였다. 분석결과 미세먼지의 농도가 높을수록 폐포대식세포의 수가 증가하였고, 폐기능의 저하도 높게 나타났다. 특히 여성일수록, 여름과 겨울에 폐기능의 저하가 극심하게 나타났다.

Trnjar et al.(2017)은 2008년에서 2010년간 크로아티아의 수도 자그레브에 있는 두 병원에서 호흡기 질환으로 내원한 5,868명의 응급실 내원자의 정보와 크로아티아 기상청(Meteorological and Hydrological Service)의 대기오염물질 정보를 활용하였다. 대기오염물질과 호흡기 질환(폐렴, 급성기관지염, 만성폐쇄성폐질환, 천식, 상기도감염 등)의 관계를 규명하기 위해 스피어만 상관분석 결과 미세먼지는 천식을 제외한 모든 호흡기 질환과 정(+)의 관계를 보였고, 이산화질소는 폐렴에 대해 정(+)의 관계를 보였으며, 오존은 천식에 대해 정(+)의 관계를 나타냈다.

〈표 4〉 국내외 대기오염물질과 환경성질환의 관계에 대한 선행연구

연구자	연구대상	대기오염물질원
최병철 외 (2000)	서울시 호흡기 질환자	이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, PM ₁₀
최현 외	인천 인허대병원	이산화황,

(2000)	급성호흡기질환 내원환자	이산화질소, 오존, 일산화탄소, PM ₁₀
Fusco et al. (2001)	로마의 호흡기질환 내원자	이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, PM ₁₀
Parker et al. (2009)	미국 3~17세 미성년자	이산화황, 이산화질소, 오존, PM ₁₀ , PM _{2.5}
오성근 외 (2010)	인천시 11개 초등학교 2학년생	이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, PM ₁₀
조일형 외 (2013)	서울시 25개구 천식 및 비염 환자	이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, PM ₁₀
최종일·이영수 (2015)	보건복지부의 2012년 국민건강영양조사의 개인데이터	PM _{2.5}
Meszaros et al. (2015)	호주 테즈메니아 주 지역병원 호흡기 질환 내원기록	PM ₁₀
박재우·황병덕 (2017)	제주도를 제외한 전국을 4개 권역(수도권, 충청권, 전라도권, 경상도권)으로 구분하여 호흡기 질환자를 조사	오존, 일산화탄소, PM ₁₀
Cao et al. (2017)	중국 31개성의 호흡기질환 사망자	PM _{2.5}
Deepa et al. (2017)	인도 델리의 5개 지역의 폐질환 검사자	PM _{2.5}
Trnjar et al. (2017)	크로아티아 자그레브의 호흡기 질환 내원자	PM ₁₀ , 오존, 이산화질소

III. 연구설계

1. 자료수집 및 연구변수

이 연구의 분석대상은 서울, 인천, 경기 등 수도권 지역으로, 분석 시기는 2012년부터 2016년 인 5년간의 기간으로 설정하였다. 서울은 총 25개 자치구, 인천은 9개 자치구, 경기도는 총 31개의 시·군이다. 인천은 10개 자치구나 용진군의 대

기오염물질정보가 없는 관계로 제외하였으며, 연구는 수도권 지역 총 65개의 지역을 대상으로 하였다.

독립변수인 대기오염물질은 기존 선행연구(최병철, 2000; 최현, 2000; Fusco et al., 2001; Parker et al., 2009; 오성근 외, 2010; 조일형 외, 2013; 박재우·황병덕, 2017, Trnjar et al., 2017)에서 포괄적으로 활용되고 있으며, 국내의 각 지역 측정소에서 측정되고 있는 이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, PM₁₀의 농도를 선정하였다. 다만 PM_{2.5}는 2015년부터 측정자료가 있어 시계열 데이터의 부족으로 인해 제외되었다. 총 5가지 대기오염물질에 대한 현황은 국립환경과학원에서 매년 발행하는 2012년부터 2016년간 대기환경연보의 지역별 측정자료를 활용하였다.

대기환경연보의 이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소 측정 단위는 ppm이다. 해당 변인은 소수점 이하의 수치로 다른 변수 값과 차이가 크기 때문에 최병철 외(2000), 조일형 외(2013)에서와 같이 ppm을 ppb(ppm 농도×1,000)로 변환하여 분석에 활용하였다.

종속변수인 환경성질환자의 수는 국민건강보험공단을 통해 2012년부터 2016년간의 서울, 경기도, 인천의 지역별 알레르기 비염환자 및 천식환자의 정보를 취득하였다. 알레르기 비염 및 천식은 대표적인 환경성질환으로, 다양한 문헌에서 언급하고 있는 대기오염의 가장 직접적인 부정적 효과이기 때문이다(최병철, 2000; 최현, 2000; Fusco et al., 2001; Parker et al., 2009; 오성근 외, 2010; 배현주, 2010; 조일형 외, 2013; 박재우·황병덕, 2017, 국립환경과학원, 2017; Trnjar et al., 2017, Cao et al., 2017).³⁾

〈표 5〉 연구변수

구분	변수명	조작적 정의	자료출처
종속 변수	환경성 질환	인구대비 알레르기 비염환자의 비율(단위: %)	국민건강 보험공단
		인구대비 천식환자의 비율(단위: %)	
독립 변수	대기오염 물질	이산화황 평균 농도×1,000(단위: ppb)	국립환경 과학원 2012-2016 대기환경연보
		이산화질소(NO ₂) 평균 농도×1,000(단위: ppb)	
		오존(O ₃) 평균 농도×1,000(단위: ppb)	
		일산화탄소(CO) 평균 농도×1,000(단위: ppb)	
		미세먼지(PM ₁₀) 평균 농도(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
통제 변수	의료기관	지역별 의료기관 수(단위: 개소)	국가통계포털(KOSIS)
	녹지면적	지역별 녹지면적(단위: m^2 / 자연로그 변환)	

국민건강보험공단에서는 알레르기 비염, 천식과 함께 아토피도 환경성질환으로 분류하고 있다. 아토피의 경우 실내대기오염 및 식품 등에 기인할 수 있기 때문에 실외대기오염요인이라는 연구주제와 다소 맞지 않는 관계로 제외시켰다. 이외에 폐암, 기관지염 등도 환경성질환과 연관될 수 있으나 흡연, 유전적 요인 등이 반영될 수 있기 때문에 이 연구에서는 환경성질환으로 분류된 두 가지 질환을 종속변인으로 활용하였다.

그리고 지역별 환경성질환자의 수는 각 지역의 인구수에 영향을 받기 쉽기 때문에, 이 연구는 인구효과의 통제를 위해 조일형 외(2013)와 같이 인구대비 환경성질환자의 비율로 변환하였다. 통제변수 각 지역의 의료기관수와 녹지를 활용하였다. 먼저 이 연구의 종속변수는 국민건강보험공단의 데이터베이스에 등록된 지역별 환경성질환자수는

3) 알레르기 비염과 천식의 분류는 298개의 질병분류코드(Classification of 298 Diseases)에 따른 것으로 알레르기 비염은 J30, 천식은 J45-J46에 해당한다.

내원 진료기록에 의한 것으로, 병원과의 접근성이 높을 경우 환자의 수도 늘어날 가능성이 있다. Cao et al.(2017)의 연구에서 PM2.5와 호흡기질환 사망자수의 관계에 대해 지역별 병원의 수를 통제변수로 사용한바 있다. 따라서 호흡기 질환자수에 대한 순수한 대기오염물질의 효과를 알기 위해서는 지역별 의료기관의 효과를 통제할 필요성이 있다. 구체적으로 의료기관은 환경성질환과 관련성이 적은 의료기관을 제외하여 종합병원, 병원, 의원, 보건의료원, 보건소 등으로 한정하였다. 녹지는 대기오염의 효과를 저감하는 변인중 하나로 알려져 있으며, 조현길 외(2003), 주현수 외(2005), 박곤 외(2017)의 연구에서는 녹지의 대기오염물질 감소효과를 실증하였다. 녹지의 종류가 다양한 가운데, 이 연구에서는 녹지를 도시계획법에 따라 관리되어 지역별로 측정자료 확보가 가능한 시설녹지(완충녹지, 경관녹지, 연결녹지)로 정의하였다. 통제변수인 의료기관 수와 녹지면적은 국가통계포털(KOSIS)에서 제공하는 지역별 현황정보를 활용하였다. 녹지면적은 다른 변인에 비하여 상대적으로 수치가 크기 때문에 분석결과에 영향을 줄 수 있어, 분석 시에는 자연로그(natural logarithm)로 변환하여 사용하였다.

2. 연구방법

이 연구에서는 2012년부터 2016년간의 각 연구변수에 대한 패널데이터를 활용하였다. 횡단면 데이터는 특정한 시점에서 여러 개체의 현상이나 특성을 모은 자료이나 패널데이터는 국가와 같은 특정한 개체의 현상과 특성을 시간 순으로 기록한

시계열데이터를 의미한다. 패널데이터는 시계열데이터와 횡단면데이터를 합쳐놓은 것으로 여러 개체에 대한 현상과 특성을 일련의 관측지점별로 기록해 놓은 자료이다. 일반적으로 사회과학의 패널데이터를 자연과학에서는 종단면 데이터로 부르며 이것은 여러 횡단면에 걸쳐 각 개체들이 각각의 시계열 자료로 구성된다(정성호, 2017: 7).

이러한 패널분석의 장점은 첫째, 횡단면데이터가 변수간의 정태적 관계만을 추정할 수 있다면, 패널데이터는 개인이 반복하여 관찰되기 때문에 동적인 관계를 추정할 수 있다. 둘째, 개체들의 관찰되지 않는 이질성 요인을 모형에서 고려할 수 있어 모형 설정의 오류를 줄일 수 있다. 셋째, 패널데이터는 횡단면이나 시계열 데이터에 비해 더 많은 정보와 변수의 변동성을 제공하며, 이에 따라 효율적인 추정량을 얻을 수 있고, 또한 다중공선성 문제를 완화시킬 수 있다(민인식·최필선, 2012: 1-3).

패널모형은 횡단면분석이나 시계열분석에서 통제 불가능한 누락변수에 대한 처리가 가능한데, 이러한 누락된 변수를 제어하기 위해서 오차항에 대해 개체 간에는 다르나 시간변동이 없는 변수, 시간변화에 따라 변동하나 개체 간에는 차이가 없는 변수, 개체 간에도 차이가 있고 시간변화에 따라 변동하는 확률적 교란항으로 구분하게 되며 이를 선형모형으로 표현하면 다음 식과 같다(Ashenfelter et al. 2003: 268-269; 최충익, 2008: 122).⁴⁾

$$Y = \alpha + X\beta + \epsilon$$

(단 $\epsilon = \mu_i + \lambda_i + v$, $i(\text{개체}) = 1, 2 \dots N$, $t(\text{연도}) = 1, 2 \dots T$)

4) 패널 개체(individual)는 패널변수를 구성하는 각 개체(예: 개인, 가구, 기업, 국가 등)를 말한다(민인식·최필선, 2012: 3). 이 연구에서 패널 개체는 수도권 지역 65개 자치구 및 시·군이 해당된다.

μ_i = 관찰되지 않은 개체특성 효과

(unobservable individual effect)

λ_i = 관찰되지 않은 시간 효과

(unobservable time effect)

v = 확률적 교란항(remainder stochastic disturbance term)

패널분석에서 추정량을 얻기 위해 일반적으로 고정효과모형(fixed effect model)과 확률효과모형(random effect model)을 활용하며, 다음 선형회귀식과 같다.

$$Y = a + \beta X_{it} + v_i + \epsilon_{it}$$

이 모형은 오차항이 2개로 구성되어 패널의 개체특성을 나타내는 v_i 와 시간과 패널 개체에 따라 변화하는 오차항인 ϵ_{it} 로 구성된다. 오차항인 v_i 를 추정해야 할 모수로 간주하는 것이 고정효과모형

으로, 고정효과모형은 상수항이 패널 개체별로 다르면서 고정되어 있다고 가정한다. 기울기 모수인 β 는 모든 패널 개체에 대해 동일하나 상수항($a + v_i$)은 패널 개체별로 달라진다는 것이다(민인식·최필선, 2012: 111). 반면 확률효과모형은 오차항 v_i 를 확률변수로 가정하며, 상수항($a + v_i$)를 확률변수로 가정한다. 확률효과모형은 그룹 간(between) 정보와 그룹 내(within)정보를 모두 사용하는 장점이 있고, 오차항 간에 상관관계가 없어야 한다는 가정이 성립할 경우 고정효과모형보다 확률효과모형이 효율적인 추정량인데, 이는 고정효과모형이 패널 개체 더미변수를 포함하여 추정하기 때문에 패널 개체 수만큼 자유도 손실이 발생하기 때문이다(민인식·최필선, 2012: 145-147).

한편 고정효과모형과 확률효과모형 중 어느 모형이 적절한지 추정하기 위해서 설명변수(독립변수)와 개별효과 교란항 사이에 상관관계가 존재하는지를 분석하기 위해 하우스만 검정(hausman test)이 권고된다. 개별효과와 독립변수 간에 상관

〈표 6〉 각 지역의 연도별 연구변수의 평균

지역	연도	SO ² (ppm)	NO ² (ppm)	O ³ (ppm)	CO (ppm)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	녹지면적 (m^2)	의료기관의 수 (개소)	알레르기 비염 환자의 수 (명)	천식 환자의 수 (명)
서울	2012	0.0053	0.0303	0.0213	0.5333	41.13	138,259.76	313	45,592	15,833
	2013	0.0055	0.0333	0.0219	0.5277	44.64	141,089.72	316	45,767	13,442
	2014	0.0055	0.0333	0.0219	0.5277	44.64	144,929.68	323	45,767	13,442
	2015	0.0056	0.0334	0.0232	0.5246	46.04	148,120.30	329	47,871	12,677
	2016	0.0054	0.0321	0.0224	0.5193	45.53	150,674.15	336	46,166	11,364
서울 평균		0.0055	0.0325	0.0221	0.5265	44.39	144,614.72	323	46,233	13,352
인천	2012	0.0072	0.0266	0.0241	0.5624	46.99	121,488.89	162	39,255	13,822
	2013	0.0065	0.0254	0.0249	0.5921	51.85	105,845.44	165	42,656	9,723
	2014	0.0071	0.0279	0.0259	0.5905	49.12	113,760.67	166	42,373	11,227
	2015	0.0065	0.0254	0.0249	0.5921	51.85	675,673.19	173	42,656	9,723
	2016	0.0063	0.0242	0.0259	0.5604	49.93	662,670.44	177	46,678	9,905
인천 평균		0.0067	0.0259	0.0252	0.5795	49.95	949,855.53	169	42,724	10,880
경기	2012	0.0053	0.0254	0.0240	0.5455	51.16	691,462.83	223	49,620	17,342
	2013	0.0053	0.0265	0.0238	0.5712	55.33	639,924.35	212	49,804	14,619
	2014	0.0052	0.0267	0.0254	0.5341	55.21	1,221,788.81	225	53,754	13,770
	2015	0.0048	0.0259	0.0256	0.5061	53.26	2,007,393.81	219	54,044	12,325
	2016	0.0044	0.0250	0.0255	0.5128	52.49	2,027,200.29	240	59,498	12,816
경기 평균		0.0050	0.0259	0.0249	0.5340	53.49	1,317,554.02	224	53,344	14,174

관계가 있다면 고정효과모형을 선택하고, 상관관계가 없다면 확률효과모형을 이용하는 것이 적절하다 (Kennedy, 2003: 303-312; Wooldridge, 2015: 493; 정성호, 2017: 59-60).⁵⁾ 이에 이 연구에서는 효율적인 추정량을 얻기 위해 패널데이터 분석에 앞서서 하우스만 검정을 실시해 이 연구에 적합한 모형을 채택하고자 하였다.

IV. 실증분석 결과

1. 기술통계

1) 연구변수의 통계

패널분석에 앞서서 65개 연구대상지역의 각 수도권 지역(서울, 인천, 경기)의 연도별 연구변수의 평균은 <표 6>과 같다. 이산화황, 이산화질소, 오존, 일산화탄소는 ppm을 ppb로 변환하기 전의 수치이고, 녹지면적은 자연로그, 환경성질환자의 수 인구대비 비율로 변환하기 전의 수치이다.

2) 수도권 대기오염물질 농도 추세

<그림 1>은 서울, 인천, 경기의 5대 대기오염물질의 2012년부터 2016년간의 연평균 추세를 나타낸 것이다. 먼저 서울은 이산화질소를 제외하고는 모든 대기오염물질 농도가 인천, 경기보다 낮은 편인데, 이산화질소는 2012년부터 2016년간 모든 연도에서 연도별 대기환경기준(0.03ppm)을 초과

<그림 1> 2012-2016 수도권 대기오염물질 현황



하고 있다. 2016년을 기준으로 전체적으로 대기오염물질 농도가 감소추세를 보이고 있다. 인천은 미세먼지(PM10)가 2013년과 2015년에 연평균 대기환경기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였는데, 대기환경기준을 초과하지 않은 경우도 거의 근접한 수치를 보이고 있다. 다른 대기오염물질 농도는 대기환경기준에 부합 하였으나 이산화질소를 제외하고는 비교적 대기오염물질 농도가 높은 편에 속하였다. 대기오염 물질농도는 2016년을 기준으로 오존을 제외하고 감소하는 추세를 보이고 있다. 경기는 미세먼지(PM10)를 제외하고, 다른 대기오염물질 농도는 대기환경기준에 부합하고 있다. 특히 미세먼지(PM10)농도는 2012년부터 2016년간 모든 연도에서 대기오염기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다

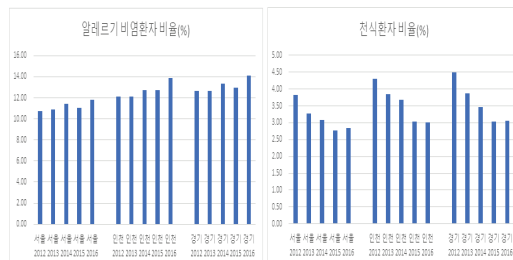
5) 고정효과모형과 확률효과모형인지를 판단할 때 중요한 기준은 데이터에서 패널 개체의 특성을 의미하는 오차항에 대한 추론으로, 예를 들어 한국노동패널데이터와 같이 패널 개체가 전체 근로자 집단에서 무작위 추출한 경우는 확률효과모형이 적절하나, 반면 OECD 국가 패널데이터나 미국 50개주 패널데이터는 패널 개체가 모집단에서 추출된 표본의 일부분이 아닌 전체를 대상으로 하기 때문에 오차항을 고정효과로 간주하는 것이 적절하다(민인식·최필선, 2012: 174-175). 하지만 어느 모형이 보다 적합한지에 대해서는 학자들 사이에서도 의견이 나뉘기 때문에 두 모형의 선택기준으로 하우스만 검정을 활용하게 된다.

다. 미세먼지(PM₁₀)를 제외하고는 전반적으로 대기오염물질 농도수준은 높지 않은 편으로 이산화황의 감소가 두드러지고 있다. 2016년을 기준으로 일산화탄소가 소폭 증가한 것을 제외하고는 전반적으로 대기오염물질 농도는 감소추세에 있다.

전체연도를 기준으로 수도권 지역에서 대기오염물질 농도가 가장 높거나 가장 낮은 지역을 보면 먼저 이산화황은 2014년 인천이 0.0071ppm으로 가장 높았고, 2016년 경기도가 0.0044ppm으로 가장 낮았다. 이산화질소는 2015년 서울이 0.0334ppm으로 가장 높았고, 2016년 경기도가 0.0250ppm으로 가장 낮았다. 오존은 2014년 인천이 0.0259ppm으로 가장 높았고, 2013년 경기도가 0.0238ppm으로 가장 낮았다. 일산화탄소는 2013년 인천이 0.5921ppm으로 가장 높았고, 경기도가 0.5128ppm으로 가장 낮았다. 미세먼지(PM₁₀)은 2013년 경기도가 55.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 2012년 서울이 41.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 전체적으로 모든 지역의 대기오염물질 농도는 이산화질소 NO₂, 미세먼지(PM₁₀)을 제외하고는 대기환경기준보다 낮은 수치로 양호한 편인데, 이산화질소와 미세먼지(PM₁₀) 농도는 기준을 초과하거나 기준에 근접한 경우가 많았다.

3) 수도권 환경성질환자 추세

〈그림 2〉 2012~2016 수도권 환경성질환자 현황



〈그림 2〉는 지역별 인구의 차이로 인하여 지역

간 상호비교를 위해 서울, 인천, 경기도의 인구대비 환경성질환자 비율이다. 서울은 알레르기 비염환자의 비율이 전체 평균 11.18%로 2012년 이래로 소폭 증감을 반복하고 있으며, 2016년 기준으로 소폭 증가하였다. 천식환자의 비율은 전체평균 3.16%로 2012년부터 감소추세를 보이다가 2016년 소폭 증가하였다. 인천은 알레르기 비염환자의 비율이 전체 평균 12.7%로 2012년 이래로 소폭 증감을 반복하고 있으며, 2016년 기준으로 전년 대비 1% 이상 증가하였다. 천식환자의 비율은 전체 평균 3.58%로 2012년부터 지속적인 감소추세를 2012년 대비 2016년은 1.2%가량 감소한 것으로 나타났다. 경기도는 알레르기 비염환자의 비율이 전체 평균 13.15%로 2012년 이래로 소폭 증감을 반복하고 있으며, 2016년 기준으로 전년 대비 1% 이상 증가하였다. 천식환자의 비율은 전체평균 3.58%로 2012년부터 지속적인 감소추세를 보이는데, 2012년 대비 2016년은 1.2%가량 감소한 것으로 나타났다. 전반적으로 알레르기 환자의 비율은 경기도가 가장 높았으며, 천식환자의 비율은 인천과 경기도가 동일하였다.

전체연도를 기준으로 수도권 지역에서 알레르기 비염환자 비율이 높은 지역은 2016년 경기도가 가장 높았고, 2012년 서울이 가장 낮았다. 천식환자 비율이 높은 지역은 2012년 경기도가 가장 높았고, 2015년 서울이 가장 낮았다. 그리고 전반적으로 알레르기 비염환자비율은 증감을 반복하면서 다소 증가하고 있는 반면, 천식환자비율은 지속적인 감소세를 보이고 있다. 천식환자의 감소 이유에 대해서는 의원급 외래진료에서 적절한 관리만으로도 질병의 악화를 방지하여 유병률 감소에 영향을 줄 수 있고(의협신문, 2015), 한국의 경우 산업화, 도시화가 완료단계로 접어들면서 완화된다는 의견이 있다(연합뉴스, 2016). 즉 개발도상국을 거쳐서 선진국 수준에 다다른 생활환경의 개선이 천식

감소에 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다.

2. 패널분석결과

투입된 독립변수(통제변수 포함)들 간에 상관관계가 나타나는 다중공선성을 확인하기 위하여 분산팽창요인(VIF: Variance Inflation Factor)을 확인하였다. 분석결과 VIF는 투입된 독립변수 가장 높은 VIF는 2.3, 전체 평균 VIF는 1.46으로 나타났다. 다중공선성 판단 기준인 10에 미치지 못하여, 독립변수의 상관성 문제는 없는 것으로 나타나 모든 연구변수를 패널분석에 활용하였다.

〈표 7〉 독립변수의 VIF

변수명	VIF
이산화황SO ₂	1.12
이산화질소NO ₂	2.3
오존O ₃	1.89
일산화탄소CO	1.38
미세먼지PM ₁₀	1.23
의료기관의 수	1.24
녹지면적	1.06

패널분석에 앞서서 먼저 고정효과모형과 확률효과모형 중 어느 모형이 가장 적합한지 하우스만 검정을 실시하였다. 하우스만 검정 결과 종속변수가 알레르기 비염 환자의 수인 경우에 대해서는 chi2 28.35이며, 유의수준 p<0.001에서 귀무가설을 기각하여 설명변수와 오차항이 상관관계가 있더라도 일치추정량을 제공하는 고정효과모형을 채택하였으며, 종속변수가 천식환자의 수에 대해서는 chi2 38이며, 유의수준 p<0.001에서 귀무가설을 기각하여 고정효과모형을 채택하였다.

〈표 8〉 알레르기 비염환자에 대한 고정효과모형분석결과

구분	변수명	Coef.	Std.Err.	t
독립변수	이산화황SO ₂	-0.305	0.082	-3.74***
	이산화질소NO ₂	-0.032	0.022	-1.43
	오존O ₃	0.065	0.026	2.47*
	일산화탄소CO	-0.003	0.001	-2.13*
	미세먼지PM ₁₀	0.03	0.012	2.51*
통제변수	의료기관의 수	0.007	0.002	3.34**
	녹지면적	0.115	0.071	1.61

* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

〈표 8〉은 알레르기 비염환자에 대해 하우스만 검정에 따른 고정효과모형을 적용한 패널분석결과이다. 알레르기 비염환자의 증가에 영향을 주는 대기오염물질은 오존과 미세먼지(PM₁₀)로 나타났다. 오존은 Coef. 0.065로 유의수준에서 p<0.05에서 알레르기 비염환자에 대해 유의미한 정(+)의 영향을 끼치는 것으로 나타났고, 미세먼지는 Coef. 0.030313으로 유의수준 p<0.05에서 알레르기 비염환자에 대해 유의미한 정(+)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. O₃의 농도가 1 증가하면 알레르기 비염환자의 비율은 0.065만큼 증가하고, PM₁₀의 농도가 1증가하면 알레르기 비염환자의 비율 0.03만큼 증가 할 수 있다.

한편 SO₂는 Coef. -0.305로 유의수준 p<0.001에서 알레르기 비염환자에 대해 유의미한 부(-)의 영향을 끼치는 것으로 나타났고, CO는 Coef. -0.003으로 p<0.05에서 알레르기 비염환자에 대해 유의미한 부(-)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 통제변수는 의료기관의 수가 0.007로 유의수준 p<0.01 유의미한 정(+)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

오존의 효과를 보면, 오존에 반복 노출 시 가슴의 통증, 기침, 메스꺼움, 목 자극, 소화불량 등의 증상을 유발시키며, 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시키고, 폐활량을 감소시킬 수 있다. 특히 기관지 천식환자나 호흡기 질환자, 어린이, 노약자 등에게는 많은 영향을 미칠 수 있다(국

립환경과학원, 2017: 4).

오존의 영향에 대해서는 Ponka(1991), 최현철 외(2000), 최현 외(2000), Fusco et al.(2001), Parker et al., 2009; 조일형 외(2013), 박재우·황병덕(2017), Trnjar et al.(2017)의 환경성질환자의 증가에 정(+)의 영향을 끼친다는 사실을 지지하고 있다. 수도권 지역 중 오존 농도가 가장 높은 지역은 인천으로 대기환경기준을 초과하지는 않았지만 2016년 기준으로 농도가 상승하는 것으로 나타났다 때문에 해당지역의 오존 배출감소가 필요하다.

미세먼지(PM₁₀)의 효과는 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐 기능의 저하를 초래한다. 특히 초미세먼지(PM_{2.5})는 입자가 미세하여 코점막을 통해 걸러지지 않고 흡입시 폐포까지 직접 침투하여 천식이나 폐질환의 유병률과 조기사망률을 증가시킨다. 또한 미세먼지는 시정을 악화시키고, 식물의 잎 표면에 침적되어 신진대사를 방해하며, 건축물에 퇴적되어 조각된 유적물이나 동상 등에 부식을 일으킨다(국립환경과학원, 2017: 5).

미세먼지(PM₁₀)의 영향에 대해서는 Samet et al.(1981), Sunyer et al.(1991), 최현 외(2000), 오성근 외(2010), 배현주 외(2010), 조일형 외(2013), Meszaros et al.(2015), 박재우·황병덕(2017), Trnjar et al.(2017) 등의 연구에서 환경성질환의 유병률 증가에 영향을 끼치는 것으로 실증되었다. 수도권 지역 중 미세먼지(PM₁₀)의 농도가 가장 높은 곳은 경기이며, 경기는 분석 대상 5년간 모두 대기환경기준을 초과하였기 때문에 특히 미세먼지 배출량 감소가 요구된다. 한편 인천은 분석기간 두 차례 대기환경기준을 초과하거나 그 외에도 대기환경기준에 매우 근접하는 농도를 보이고 있으며, 가장 낮은 서울도 대기환경기준과 큰 차이는 없었기 때문에 미세먼지는 수도권 전 지역에서 주요 대기오염물질에 해당한다.

하지만 국내의 미세먼지 대기환경기준을 충족

하는 것으로는 한계가 있는데, WHO의 PM₁₀의 경우 연평균 대기환경기준이 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, PM_{2.5}는 연평균 대기환경기준이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 영국, EU는 PM₁₀의 연평균 대기환경기준이 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 연평균 대기환경기준이 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 호주는 미세먼지(PM₁₀)는 일평균 대기환경기준이 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미세먼지(PM_{2.5})는 연평균 대기환경기준이 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 캐나다는 PM₁₀의 일평균 대기환경기준이 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, PM_{2.5}의 일평균 대기환경기준이 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 이처럼 국내의 미세먼지 대기환경기준은 2018년 PM_{2.5}의 경우 연평균 대기환경기준이 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화되기는 하였으나, PM₁₀, PM_{2.5} 모두 여전히 선진국 대기환경기준에 비해 미흡한 것으로 나타났다.

공식적으로 초미세먼지(PM_{2.5})의 전국 지역별 측정소의 측정데이터를 제공하는 국립환경과학원 대기환경연보의 PM_{2.5} 측정데이터 공개가 2015년부터 이루어져, 시계열데이터의 부족으로 초미세먼지의 환경성질환에 대한 영향은 검증하지 못하였다. 하지만 Parker et al.(2009), 최종일·이영수(2015), Cao et al.(2017), Deepa et al.(2017) 등의 연구에서는 PM_{2.5}에 따른 환경성질환의 유병률 및 사망률을 실증하고 있기 때문에, 초미세먼지의 환경성질환 유발에도 지속적인 연구가 진행되어야 한다.

통제변수인 지역별 의료기관의 수가 알레르기 비염환자의 수 증가에 영향을 끼친 것은 의료기관의 접근성 증가가 내원에 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 이는 알레르기 비염이 상대적으로 분포가 많은 1, 2차 의료기관에서 충분한 진료 가능성이 있는 것으로 판단된다. 한편 의료기관에 대한 접근성과 관련되어 의료형평성에 대한 문제가 제기될 수 있다. 의료기관 및 의료인의 지역 간 불균등 분포는 보건의료서비스에 대한 지리적 격차를 만들어 의료서비스에 대한 접근성

의 격차를 초래한다는 것으로, 이로 인해 농촌 거주자는 질병을 앓고 있음에도 병의원 미치료율이 25.9%로 도시지역의 18.7%에 비해 높은 것으로 나타났다(조흥준, 2013: 186).

이 연구대상지역은 수도권에 한정되어 의료접근성이 상대적으로 높지만 데이터 수집과정에서 수도권 지역 내에서도 상당한 격차가 존재하는 것으로 나타났기 때문에, 환경성질환을 앓고도 접근성으로 인해 적절한 진단 및 진료를 받지 못하는 의료사각지대에 고려가 필요하다.

〈표 9〉 천식환자에 대한 고정효과모형분석결과

구분	변수명	Coef.	Std. Err.	t
독립 변수	이산화황SO ₂	0.321	0.059	5.42***
	이산화질소NO ₂	-0.020	0.016	-1.28
	오존O ₃	-0.07	0.019	-3.62***
	일산화탄소CO	0.001	0.001	1.41
	미세먼지PM ₁₀	-0.023	0.009	-2.64**
통제 변수	의료기관의 수	-0.001	0.001	-0.43
	녹지면적	-0.267	0.052	-5.15***

* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

〈표 9〉는 천식환자에 대해 하우스만 검정에 따른 고정효과모형을 적용한 패널분석결과이다. 천식환자의 증가에 영향을 주는 대기오염물질은 SO₂로 Coef. 0.321로 유의수준 p<0.001에서 유의미한 정(+)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. SO₂의 농도가 1 증가하면 천식환자의 비율은 0.321만큼 증가하게 된다.

한편 O₃는 Coef. -0.07로 유의수준 p<0.001에서, PM₁₀은 Coef. -0.023으로 유의수준 p<0.01에서 각각 천식환자의 비율에 부(-)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 통제변수로는 녹지면적이 Coef. -0.267로 유의수준 p<0.001에서 유의미한 부(-)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

이산화황은 인체의 점막을 자극하며, 고농도를 흡입하면 콧물, 담, 기침 등이 나오고 호흡곤란을

초래하며, 이산화황 흡입을 통해 기관지염, 폐수종, 폐렴 등에 걸릴 가능성이 있다는 연구결과가 있다. 그리고 이산화황은 질소산화물(NO_x)과 함께 산성비의 주요 원인물질로서 토양, 호수, 하천의 산성화에 영향을 미치며, 식물의 잎맥 손상, 성장 저해 및 빌딩이나 기념물 등 각종 구조물의 부식을 촉진시키며, 시정장애를 일으키는 미세먼지(PM₁₀)의 주요 원인물질에 해당한다(국립환경과학원, 2017: 3).

이산화황의 인체에 끼치는 영향에 대해서는 Samet et al.(1981), Sunyer et al.(1991), 최현외(2000), 오성근 외(2010), 조일형 외(2013)의 연구에서 환경성질환의 증가 촉진하는 것으로 제시된바 있다. 특히 수도권 지역 중 SO₂ 농도가 가장 높은 지역은 인천으로, 대기환경기준을 초과하지는 않지만 상대적으로 다른 지역에 비해 매우 높은 편에 속하기 때문에 배출량 감소가 필요하다.

한편 녹지면적은 천식환자의 감소에 유의미한 부(-)의 영향을 통해 환자수의 감소에 기여하는 것으로 나타났다. 이는 녹지의 대기오염물질 감소효과를 실증한 선행연구(조현길 외, 2003; 주현수 외, 2005; 박곤 외, 2017)를 지지하는 것은 물론, 통제변수로서 조일형 외(2013)의 환경성질환자의 감소에 영향을 준 결과와도 동일하였다. 녹지는 호흡기질환 감소에 대한 직접적인 영향요인으로도 다루어지는데, Lovasi et al.(2008)는 뉴욕시의 4-5세 아동의 천식발병과 15세 미만의 천식 입원 자료를 활용하여 뉴욕시 도로녹지의 밀집도와 영향을 실증한 결과 도로녹지는 천식입원에 대해서는 유의미한 영향이 없었으나 4~5세 아동의 천식 발병에는 유의미한 감소효과를 보였다. 호흡기질환 외에도 Tamosiunas et al.(2014)는 리투아니아의 카우나스에 거주하는 45~72세의 성인을 대상으로 녹지와 심혈관 질환에 관한 설문조사 및 코호트 연구를 수행하였다. 거주지의 녹지를 삼분

위로 구분해 녹지와의 거리와 심혈관계 질환의 관계를 분석한 결과 녹지와의 거리가 먼 곳에 거주할 수록 치명적 심혈관계질환(fatal CVD) 및 비치명적 심혈관계질환(non-fatal CVD)에 걸릴 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 한편 앞선 결과에서 녹지는 알레르기 비염 환자의 비율에 대해서는 부(-)의 영향을 끼치지 않았고 유의미하지는 않지만 정(+)의 관계를 보였다. 이는 알레르기 비염의 대표적인 요인 중 하나가 꽃가루를 근거로 제시할 수 있다. 녹지로부터 나오는 꽃가루는 비염 발생을 야기 시킬 수 있기 때문이다.

또한 국가적인 온실가스 배출량 감축 기조로 인해 탄소 저감이 중요한 가운데, 조동길 외(2012: 44)는 수목별로 대기오염물질의 저감효과에 대해 가장 높은 대기오염물질 저감효과를 보이는 양버즘나무는 이산화탄소는 연간 742kg, SO₂는 연간 810.3g, 이산화질소는 연간 653.35g을 감소시키는 것으로 나타났다.

한편 두 종속변수에 대한 패널 분석결과에 대해 알레르기 비염 환자에서 대해서는 이산화황과 일산화탄소, 천식환자에 대해서는 오존과 미세먼지(PM₁₀)가 기존의 선행연구에서 호흡기 질환의 증가에 정(+)의 영향을 끼친다는 실증결과와 상반되고, 오히려 부(-)의 영향을 끼치고 있다(Samet et al., 1981; Sunyer et al., 1991; 최현철 외, 2000; 최현 외, 2000; Fusco et al., 2001; Parker et al., 2009; 오성근 외, 2010; 배현주 외, 2010; 조일형 외, 2013), Meszaros et al., 2015; 박재우·황병덕 2017; Trnjar et al., 2017). 이는 분석결과대로 환경성질환자의 감소에 기여한다는 명목적인 해석보다는 환경성질환자의 경우 대체로 만성질환자가 많기 때문에, 대기오염물질이 극심할 경우 외부활동대신 실내활동을 주로하거나 마스크 착용 및 공기청정기 설치 등 대기정화에 더욱 관심을 두는 등의 대기오염물질 흡입

방지를 위한 활동을 더욱 강화하기 때문에 환경성질환자의 수 감소에 영향을 주는 것으로 추론해 볼 수 있다.

또한 대기오염물질 관련 이슈관심증대도 예상할 수 있는데, 2011년 옥시레킷벤키제(Oxy Reckitt Benckiser)의 가슴기 살균제 피해가 처음 공론화된 것과, 미세먼지에 대한 공론화도 2010년 초중반부터 언론은 물론 정책적으로도 관심을 일으킨 것도 대기오염물질의 위험성에 대한 사람들의 경각심 증대에 일정부분 영향을 끼칠 수 있다. 특히 스마트폰 애플리케이션 등을 통해 실시간으로 대기오염정보에 대한 접근성이 용이해졌다는 것도 고려할 수 있다.

그리고 연구설계의 측면에서 수도권의 자치구 및 시·군이라는 분석단위를 선정하였는데, 이는 각 지역의 측정소를 기준으로 측정된 현황이고, 또한 같은 대상 지역 내에서도 지리, 기후, 습도, 풍향, 인구밀집도, 산업특성, 건물 등 의해 오염물질의 농도가 차이가 발생할 수 있기 때문에 이러한 상반되는 결과가 나온 것으로 생각된다. 다만 이 연구에서는 이러한 결과에 대해서는 현재 데이터만으로는 충분한 근거를 제시하는 데 한계가 있다. 후속연구에서 추후에 보다 세밀한 측정 데이터를 통해 보완되어야 할 것으로 보인다.

V. 결론 및 시사점

최근 미세먼지를 계기로 대기환경문제가 주요 정책이슈로 부상하고 있는데, 대기오염은 그동안 시민단체 등 특정이해관계자의 의제에 한정되었으나 오늘날은 각 정부부처는 물론 국민전체의 관심사가 되고 있다. 이는 과거 황사 외에는 대기오염

의 심각성에 대해 다소 무감각했던 것과는 큰 진전으로, 이는 한편으로 한국사회가 환경영향을 고려하는 지속가능한 성장에 대해 관심을 기울이도록 성숙했음을 반증한다.

이에 이 연구에서는 패널회귀분석을 통해 서울, 인천, 경기 등 수도권 지역을 대상으로 대기오염물질의 환경성질환에 대한 영향을 실증분석 하였다. 분석결과 먼저 종속변수인 알레르기 비염환자에 대해서는 독립변수인 오존과 미세먼지(PM₁₀)가 종속변수에 대해 유의미한 정(+)의 영향을 끼쳤고, 통제변수는 의료기관의 수가 유의미한 정(+)의 영향을 보였다. 한편 이산화황과 일산화탄소는 종속변수에 대해 유의미한 부(-)의 영향을 보였다. 그리고 종속변수인 천식환자에 대해서는 독립변수인 이산화황이 종속변수에 대해 유의미한 정(+)의 영향을 끼쳤고, 통제변수인 녹지면적이 종속변수에 대해 유의미한 부(-)의 영향을 끼쳤다. 한편 오존과 미세먼지(PM₁₀)는 독립변수에 대해 유의미한 부(-)의 영향을 끼쳤다.

수도권 지역별 대기오염물질 현황 및 환경성질환에 대해 논의하면 다음과 같다.

서울은 전반적으로 이산화질소의 농도가 가장 높게 나타난 것을 제외하고는 수도권 지역 중 대기오염물질의 농도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 특히 서울은 전반적인 대기오염물질의 배출량도 감소하고 있는 것으로 나타나고 있다. 또한 서울시는 인구대비 환경성질환자의 비율도 수도권 타 지역에 비해 큰 폭으로 낮기 때문에 이는 대기질 수준이 높을수록 환경성질환자도 감소할 수 있음을 지지하는 것으로 판단된다.

인천지역은 이산화황, 오존, 일산화탄소등의 대기오염물질의 농도가 가장 높은 지역으로 수도권 지역 중에서 대기오염수준이 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 미세먼지의 경우도 경기보다는 낮지만 연평균 대기환경기준을 초과하거나 대기환경

기준 미만이라도 매우 근접하고 있기 때문에 인천시의 대기질은 전반적으로 수도권 지역 중에서도 매우 낮은 것을 알 수 있다. 이는 인천항으로 인한 선박 운항 및 대형운송차량의 통행, 영흥도에 위치한 영흥화력발전소, 중국과의 지리적 인접성으로 인한 오염물질의 이전, 지역내총생산 대비 높은 제조업 비중(2016년 기준 27.24%) 등을 고려해 볼 수 있다.

경기는 다른 대기오염물질의 경우 타 수도권지역에 비해 높지 않지만, 미세먼지가 가장 높은 지역으로 매년도 마다 미세먼지의 연평균 농도가 대기환경기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 경기의 미세먼지는 수도권 지역 중 2016년 기준 지역내총생산에서 제조업이 차지하는 비중이 36.2%로 이는 동년도 인천보다 높고, 서울의 동년도 제조업의 비중 6.19%에 비해 대략 6배 높은 수치이다. 지역경제의 핵심 산업이 제조업이기 때문에 이에 따른 미세먼지 배출량도 높다고 볼 수 있다. 그리고 환경성질환자의 경우 알레르기 비염환자 비율은 수도권 지역 중 가장 높고, 천식환자 비율은 인천과 동등하게 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

이 연구결과에 대한 정책적 제언은 다음과 같다.

첫째, 주요 대기오염물질 중 우선적으로 미세먼지 저감 대책의 필요성이다. 경기는 PM₁₀ 기준으로 매년도 대기환경기준을 초과하였고, 인천도 초과하거나 대기환경기준에 근접하는 등 미세먼지 농도가 높았다. 서울은 전체 평균으로는 대기환경기준을 초과하지 않았으나 큰 차이는 없었다. PM₁₀은 현재까지 지속적으로 감소하고 있으나 국내의 미세먼지 대기환경기준이 EU, 영국, 호주, 캐나다 등 선진국 기준에 못 미친다는 것을 상기해야 한다. 이러한 상황에서 최근 들어 정부를 중심으로 미세먼지 저감을 위한 정책시행이 적극적으로 도입되는 것은 고무적이다. 한편 미세먼지의 요인원에 대해서는 국내유발 혹은 국외유발이냐는 많은

논쟁이 있는 가운데, 우선적으로 자체적인 해결이 가능한 국내 배출량 감소에 주력할 필요가 있다.

둘째, 녹지면적의 확보이다. 앞선 분석결과 및 선행연구를 통하여 환경성질환의 감소에 녹지공간이 역할을 하는 것으로 나타났다. 인구밀집도가 높고, 경제활동도 활발하여 오염물질 배출이 상대적으로 많을 수밖에 없는 수도권 지역의 개발을 제한하고 녹지공간의 조성을 위해 법적으로 규정된 것이 개발제한구역, 일반적으로 그린벨트(green belt)로 불리는 공간이다. 그린벨트가 재산권 침해 등의 논란에도 불구하고 대기환경 측면에서는 긍정적인 역할을 하기 때문에 그린벨트 제도의 존폐에 대한 견해는 상반된다.⁶⁾ 한편 국토교통부는 2017년 11월 29일 '주거복지로드'맵을 발표하면서 서울, 수도권 40곳의 개발제한구역을 단계적으로 해제하여 공공택지 16만 가구를 공급한다고 밝힌바 있다. 주택공급이라는 공익적 가치에 부합한다고 해도 이러한 개발제한구역 해제 움직임이 점차 확대되어 오히려 수도권 녹지면적의 감소를 초래하여 대기 질 저하로 인한 주거환경의 악화로도 이어질 수 있다.

셋째, 의료접근성의 확보이다. 분석결과 환경성질환자중 비염환자의 비율에 대해 의료기관의 수가 정(+)의 영향을 끼친 것은 의료접근성이 좋을수록 의료기관의 진료를 받기 용이하다는 것을 의미한다. 이것은 한편으로 의료접근성이 좋지 않을수록 환경성질환에 대한 진료를 받기 어렵다는 것으로도 해석되어 의료형평성문제로 이어질 수 있다. 대기 질이 좋지 않은 지역은 상대적으로 환경성질환에 취약할 수 밖에 없는데, 의료기관에 대한 접근성이 떨어져 적절한 치료시기를 놓치게 되면 질

병을 더욱 악화 시킬 수 있기 때문이다. 한편 시계열 데이터를 보면 수도권 지역 중 서울은 대기질도 좋고, 환경성질환자도 상대적으로 적는데, 또한 의료기관의 수도 충분하기 때문에 환경성질환자에 대한 신속한 처치가 가능하다. 하지만 그렇지 않은 수도권 일부지역은 대기 질이 열악하여, 환경성질환자도 많고, 또한 의료기관에 대한 접근성도 좋지 않기 때문에 적절한 치료가 어려울 수 있다. 따라서 농어촌만이 아닌 수도권 지역이라도 충분한 의료 인프라를 갖추고 있는 것이 아니기 때문에 공공보건소 등에 대한 우선적인 설립을 통해 장기간 방치될 경우 만성으로 이행하는 환경성질환에 대한 선제적 조치가 필요하다.

이 연구는 수도권지역의 대기환경오염과 환경성질환의 관계를 규명하는데 의의를 지니지만 일부 한계점을 지닌다. 먼저 최근 주요 이슈인 초미세먼지인 PM_{2.5}의 측정데이터 부족으로 주요 대기오염물질에 포함시키지 못하여 환경성질환에 대한 영향을 실증하지 못한 것이다.

그리고 일부 대기오염물질이 환경성질환에 대해 부(-)의 영향을 보였는데, 이에 대한 다양한 근거를 추론하였으나 이 연구에서 보유한 데이터만으로 이러한 결과를 정확히 해석하는 데는 한계가 있었다. 이는 현재 제공되는 측정소의 데이터의 문제, 연도별 데이터 활용에 따른 계절적 요인의 미반영, 환경성질환을 개인별이 아닌 지역별로 분석을 진행하여, 보다 정밀한 인과관계를 밝히는 데 한계가 있었던 것으로 생각된다. 이외에도 현재 규정된 환경성질환 외에도 기관지염, 폐암 등의 질환도 대기오염물질에 영향을 받을 수 있으나 기타 요인의 영향을 받을 수 있기 때문에 포함시키지 못하

6) 국내의 개발제한구역은 영국의 그린벨트제도를 바탕으로 1971년 도시계획법 개정을 통해 도시의 평면적 확산을 방지하고 도시주변의 자연환경을 보전하는 한편, 도시의 공간적 확대에 따른 여러 문제점들이 초래될 수 있다고 판단됨에 따라 국내 실정에 맞게 제도화된 것이다(권용우·박지희, 2012: 364).

였다. 따라서 후속연구에서는 이러한 연구의 한계 점을 보완하여 대기오염물질의 영향에 대한 면밀한 분석을 통해 정책제안을 제시할 필요가 있다.

참고문헌

- 관계부처 합동, 2017, 「미세먼지 관리 종합대책」
- 국립환경과학원, 2009, 「환경성질환의 이해와 국내 동향」, 인천: 국립환경과학원.
- 국립환경과학원, 2017, 「대기환경연보 2016」 인천: 국립환경과학원.
- 권용우 외, 2012, “우리나라 개발제한구역의 변천단계에 관한 연구”, 「국토지리학회지」, 46(3).
- 민인식 외, 2012, 「패널데이터분석」, 서울: 지필미디어.
- 박곤 외, 2017, “서울시 녹화데이터를 활용한 대기오염물질 제거량 분석”, 「한국지적학회지」, 33(2).
- 박재우 외, 2017, “지역별 대기오염물질 (PM10, O₃, CO) 이 호흡기질환에 미치는 영향”, 「대한보건연구」, 43(3).
- 배현주 외, 2010, “기후변화 및 대기오염에 의한 건강영향의 시공간적 분포 연구”, 「국립환경과학원 연구보고서」.
- 연합뉴스, 2016, “선진국별 알레르기질환 증가세 한풀 꺾였다” 4월 18일.
- 오성근 외, 2010, “인천 지역 초등학교 학생에서 대기 오염물질의 농도와 알레르기 질환 유병률 및 폐기능과의 연관성”, 「Pediatric allergy and respiratory disease」, 20(4).
- 의학신문, 2015, “천식 환자 매년 감소…5년전보다 46만명 줄어” 4월 28일.
- 조일형 외, 2013, “서울시 대기오염물질이 환경성질환자 증가에 미치는 영향 분석”, 「서울도시연구」, 14(2).
- 조현길 외, 2003, “도시녹지의 대기환경개선 효과: 서울시 중구를 중심으로”, 「한국조경학회지」, 31(3).
- 주현수 외, 2005, “녹지의 대기환경에 관한 연구 도심지역에서의 녹지와 국지적 대기환경과의 상관관계를 중심으로”, 「한국환경정책평가연구원 연구보고서」
- 정기혜, 2009, “환경성질환 및 어린이 환경우해인자의 관리 동향”, 「보건복지포럼」, 152.
- 정성호, 2017, 「STATA 더 친해지기」, 서울: 박영사.
- 정현도, 2012, “대기오염측정망 운영에 관한 기초연구”, 「대전발전연구원 연구보고서」.
- 조동길 외, 2012, “도시녹지의 생태적 기능강화방안 마련 연구”, 「환경부 연구보고서」.
- 조홍준, 2013, “보건의료에서의 형평성: 우리나라의 현황”, 「대한의사협회지」, 56(3).
- 최병철 외, 2000, “서울시 대기오염과 호흡기 질환 환자와의 관련성에 대한 시계열적 연구”, 「대한직업환경의학회지」, 12(1).
- 최종일 외, 2015, “초미세먼지 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 영향 연구”, 「환경정책」, 23(4).
- 최충익, 2008, “패널모형: 시계열 분석과 횡단면 분석을 한번에”, 「국토연구」, 320.
- 최현 외, 2000, “인천지역의 대기 오염과 호흡기 질환으로 인하여대병원 응급실을 방문한 소아의 내원 건수와와의 상호 관계에 대한 연구”, 「대한소아과학회지」, 43(10).
- 환경부, 2016, 「2016 환경백서」, 서울: 환경부.
- Ashenfelter, O., Levine, B.P., and Zimmerman, J.D., 2003, “Statistics and Econometrics: Methods and Applications”, John Wiley.
- Cao, Q., Liang, Y., and Niu, X., 2017, “China’s Air Quality and Respiratory Disease Mortality Based on the Spatial Panel Model”, *International journal of environmental research and public health*, 14(9), 1081.
- Deepa, M., Rajalakshmi, M., and Nedunchezian, R., 2017, “Impact of Air Pollution on Respiratory Diseases: Correlation and Classification by Multivariate Data Analysis”, *Data-Enabled Discovery and Applications*, 1(1), 3.
- Fusco, D., Forastiere, F., Michelozzi, P., Spadea, T.,

- Ostro, B., Arca, M., and Perucci, C. A., 2001, "Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy", *Euro-pean respiratory journal*, 17(6), 1143-1150.
 - Kennedy, P., 2003, *A guide to econometrics*, Massa-chusetts: Cambridge The MIT press.
 - Lovasi, G. S., Quinn, J. W., Neckerman, K. M., Perzanowski, M. S., and Rundle, A., 2008, "Children living in areas with more street trees have lower prevalence of asthma", *Journal of Epidemiology and Community Health*, 62(7): 647-649.
 - Meszaros, D., Markos, J., FitzGerald, D. G., Walters, E. H., and Wood-Baker, R., 2015, "An observational study of PM10 and hospital admissions for acute exacerbations of chronic respiratory disease in Tasmania, Australia 1992-2002", *BMJ open respiratory research*, 2(1): 1-8.
 - National Institute of Environmental Health Science, 2007, *Environmental diseases from A to Z*.
 - Parker, J. D., Akinbami, L. J., and Woodruff, T. J., 2009, "Air pollution and childhood respiratory allergies in the United States." *Environmental health perspectives*, 117(1): 140.
 - Ponka, A., 1991, "Asthma and low level air pollution in Helsinki. Archives of Environmental Health", *An International Journal*, 46(5): 262-270.
 - Samet, J. M., Speizer, F. E., Bishop, Y., Spengler, J. D., and Ferris Jr, B. G., 1981, "The relationship between air pollution and emergency room visits in an industrial community", *Journal of the Air Pollution Control Association*, 31(3): 236-240.
 - Sunyer, J., Anto, J. M., Murillo, C., and Saez, M., 1991, "Effects of urban air pollution on emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease", *American journal of epidemiology*, 134(3): 277-286.
 - Tamosiunas, A., Grazuleviciene, R., Luksiene, D., Dedele, A., Reklaitiene, R., Baceviciene, M., and Nieuwenhuijsen, M. J., 2014, "Accessibility and use of urban green spaces, and cardiovascular health: findings from a Kaunas cohort study", *Environmental Health*, 13: 20-30.
 - Trnjar, K., Pintarić, S., Mornar Jelavić, M., Neseck, V., Ostojić, J., Pleština, S., and Pintarić, H., 2017, "Correlation Between Occurrence and Deterioration of Respiratory Diseases and Air Pollution Within the Legally Permissible Limits", *Acta clinica Croatica*, 56(2): 210-217.
 - Wooldridge, J. M., 2015, *Introductory econometrics: A modern approach fifth edition*, Massa-chusetts: Cengage learning.
 - World Health Organization, 2006, "Preventing disease through healthy environments".
- [http://kosis.kr\(KOSIS 국가통계포털\)](http://kosis.kr(KOSIS 국가통계포털))
[http://www.index.go.kr \(e 나라지표\)](http://www.index.go.kr (e 나라지표))
- 원 고 접 수 일 : 2019년 2월 25일**
1 차 심 사 완 료 일 : 2019년 6월 11일
2 차 심 사 완 료 일 : 2019년 7월 31일
최 종 원 고 채 택 일 : 2019년 8월 31일