

이달의초점

기후위기 시대 건강한 삶을 위한 전략

기후변화가 감염병 유행에 미치는 영향

|김종헌|

대기오염이 만성질환자에게 미치는 영향과 시사점:
미국 천식 아동의 의료이용 관련 연구 결과를 중심으로

|백주하|

기후위기 건강 적응을 위한 국가 정책의 현재와 미래

|채수미|

지역사회의 기후위기 건강 적응 현황과 정책과제

|명형남|

기후위기의 건강 영향에 대한 인식 제고 방안: 기후건강 리터러시를 중심으로

|최슬기|



한국보건사회연구원
KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS

대기오염이 만성질환자에게 미치는 영향과 시사점: 미국 천식 아동의 의료이용 관련 연구 결과를 중심으로

Impacts of Air Pollution on Patients with Chronic Diseases and Their Implications:
Focusing on Healthcare Utilization Among Children With Asthma in the United States

백주하 한국보건사회연구원 보건정책연구실 부연구위원

기후변화와 대기오염은 상호 영향을 주고받으며, 전 세계 사람들의 건강에 위협이 되는 주요 원인 중 하나이다. 대기오염의 영향에 더 취약한 민감계층들이 존재하는데, 최근에는 이러한 민감계층의 만성 질환 문제가 미래의 상당한 질병 부담으로 예측되고 있다. 이 글에서는 기후변화와 대기오염의 건강 영향에 대해 고찰해 보고, 대기오염이 만성질환을 가진 민감계층의 건강에 어떠한 영향을 주는지에 대해 살펴보았다. 특히 미국 텍사스 남부의 사회경제적으로 열악한 지역에 거주하는 천식 아동들에 초점을 맞춰 미세먼지와 오존을 포함하는 대기오염이 아동 천식 환자의 의료서비스 이용에 미치는 영향을 분석한 세 개의 연구를 각각 고찰하고 우리나라에 주는 시사점을 제시하였다.

1 들어가며

최근 전 세계적으로 기후변화와 대기오염에 대한 관심이 증가하고 있다. 이는 또한 인류가 직면한 가장 심각한 이슈 중 하나로 여겨지고 있다. 세계보건기구(WHO)는 2019년 전 세계 사람들의 건강에 위협이 되는 10대 과제를 발표했는데, 그중 기후변화와 대기오염이 비감염성 질환, 독감 유행 등과 함께 선정되었다(WHO, 2019). 기후변화에 관

한 정부간 협의체(IPCC) 6차 보고서에 따르면 인간 활동에 의한 온실가스 배출로 인해 전 지구 지표 온도가 1850~1900년 대비 현재(2011~2022년) 1.1℃ 상승했으며, 전 지구의 온실가스 배출량은 지역, 국가, 개인에 따라 다르게 나타나고 있다. 문제는 지속적인 온실가스 배출로 인한 지구 온난화의 심화로 멀지 않은 미래(2021~2040년)에 1.5℃에 이르게 되며, 전 지구 지표 온도의 상승 제한에도 불구하고 해수면 상승, 남극의 빙상 붕괴 등 변화를

피할 수 없을 것이라는 점이다(IPCC, 2022).

우리나라에서 대기오염에 대한 우려는 지속적으로 증가해 왔다. 국민들은 계절에 상관없이 일상생활에서 대기오염, 특히 미세먼지 노출로 인한 건강위해를 염려하고 있고, 매일 아침 미세먼지 농도를 확인하며 농도가 높은 날에는 불안감과 걱정이 높아지는 상황이다. 이에 정부는 국민들의 건강 증진 목적으로 대기 중 미세먼지를 줄이기 위해 다양한 분야에서 노력하고 있다. 그중 하나가 5년 주기의 미세먼지 관리 종합계획을 마련하여 미세먼지 저감 및 관리 정책의 방향과 추진 과제를 제시하는 것이다(관계부처합동, 2019). 2019년 미세먼지로 인한 피해를 사회재난으로 법에 명시할 만큼 국내에서 대기오염 문제는 중요한 사회적 과제로 여겨지고 있으며, 대기오염은 기후변화 대응의 측면에서도 우선순위가 높은 과제로 다뤄지고 있다.

이 글에서는 최근 중요성과 관심이 높아지고 있는 기후변화와 대기오염의 건강 영향에 대해 고찰해 보고, 대기오염이 만성질환을 가진 민감계층의 건강에 어떠한 영향을 주는지에 대해 살펴보았다. 특히 미국 텍사스 남부의 사회경제적으로 열악한 지역에 거주하는 천식 아동들에 초점을 맞춰 대기오염이 만성질환자(아동 천식 환자)의 의료서비스 이용에 미치는 영향을 분석한 3개의 연구를 고찰하고, 우리나라에 주는 시사점을 논의하고자 하였다.

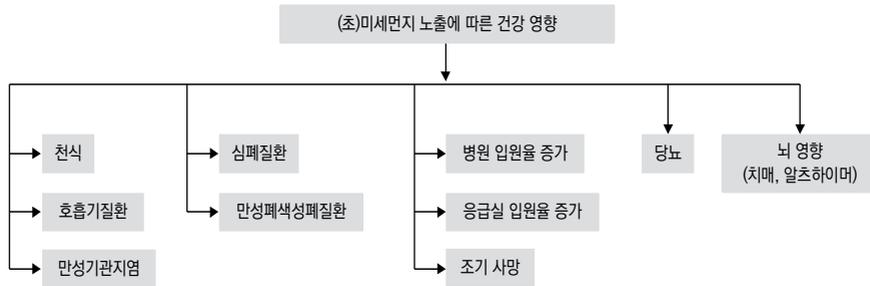
2 기후변화와 대기오염의 건강 영향

가. 기후변화와 대기오염의 관계, 그리고 건강 영향

세계보건기구(WHO)는 기후변화에 의한 건강 위험 요인으로 오존층이 감소하고 폭염이 발생하는 것과 함께 미세먼지를 포함한 대기오염을 제시한 바 있다(WHO, 2004). 기존 연구들 역시 기후변화로 인해 지표면의 온도 상승뿐 아니라 대기의 질에도 영향을 미칠 수 있다고 보고해 왔다. 특히 기후변화는 미세먼지와 오존 등 대기오염물질의 농도와 분포를 증가시키며 이에 노출되는 사람들의 건강 문제에 부정적으로 영향을 줄 수 있다(Dias et al., 2012; Jacob & Winner, 2009; Doherty, Heal, & O'Connor, 2017). 많은 대기오염물질들은 이산화탄소(CO₂) 발생 증가의 원인을 제공하며 전 지구적으로 기후와 생태계에 영향을 미치는데, 이는 지구온난화와 함께 기후변화를 촉진하는 역할을 할 수 있다(WHO, 2023).

이렇듯 기후변화와 대기오염은 상호 영향을 주고받을 뿐 아니라 사람들의 건강에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있다. 기후변화는 지구 환경의 변화로 인해 폭염, 한파, 폭우, 가뭄과 같은 자연재해들의 빈도를 늘리고 강도를 높여 사람들의 삶과 건강에 큰 영향을 미친다. 기후변화에 의한 기온상승과 대기오염은 상호작용을 통해 사람들의 건강에 부정적인 영향을 준다(박혜경, 2018; 배현주, 하종식,

[그림 1] (초)미세먼지 노출에 따른 건강 영향



자료: 양원호. (2019). 기후변화에 따른 대기오염물질 농도 변화 및 미세먼지 노출에 의한 건강 영향. 보건복지포럼. p. 23 [그림 1].

임유라, 2011). 최근의 메타분석 연구는 대기오염이 특히 호흡기질환과 심혈관질환에 부정적인 영향을 미친다고 보고했다(Dominski et al., 2021). 따라서 대기오염을 줄이는 대부분의 정책들은 건강과 기후 모두를 위한 윈윈 전략이 될 수 있으며, 대기오염의 감소는 이산화탄소와 다른 기후 관련 오염물질(미세먼지와 메탄 등) 배출의 감소로 이어져 기후변화의 장단기적인 완화에 기여할 수 있다(WHO, 2023). 대기오염과 기후변화가 동전의 양면임에도 보통은 개별적으로 다루어지는데, 이 두 가지는 사람들의 건강을 보호하는 것에 초점을 맞춰 공동으로 대응해야 할 필요가 있다(World Bank, 2023).

대기오염물질 중에서 미세먼지에 대한 노출은 사람들의 건강에 다양하게 영향을 미친다. 일반적으로 미세먼지 노출은 천식, 만성기관지염 등 호흡기질환을 증가시키고 폐 기능을 악화시킬 뿐 아니

라 심장질환과 심근경색 등 심혈관계질환을 야기할 수 있으며(장안수, 2014), 질환의 심화로 인한 응급실과 병원 입원 증가, 조기 사망률의 증가도 확인되고 있다(Kim, Kabir, & Kabir, 2015; 명준표, 2016). 최근에는 미세먼지에 대한 노출이 두뇌에 영향을 주어 인지 노화의 가속화로 인해 치매와 연관이 있다는 결과가 보고되었으며, 장기간의 초미세먼지의 노출이 우울과 걱정 등의 정신건강의 악화에도 관련이 된다는 연구 결과가 발표되었다(Braithwaite et al., 2019). [그림 1]은 국내외에서 보고된 연구들을 중심으로 (초)미세먼지 노출에 따른 건강 영향에 대해 정리해 놓은 것이다.

나. 대기오염의 만성질환자에 대한 건강 영향

대기오염의 만성질환자에 대한 건강 영향 연구에서 다뤄진 만성질환으로는 당뇨, 천식, 알레르기

비염, 아토피 피부염, 만성폐쇄성폐질환(COPD), 비만 등이 있다. 이러한 만성질환을 가진 사람들은 그렇지 않은 사람들에 비해 대기오염으로 인한 건강 영향에 더 취약할 수 있다. 대표적인 예로 미세먼지, 오존, 질소산화물, 이산화황 등의 대기오염물질이 천식에 영향을 주는데, 기온이나 습도 등 기상 요소와 대기오염물질의 상호작용으로 인해 천식 환자의 상태가 악화될 수 있으며, 이들의 응급실 방문과 입원을 증가시킨다. 천식 환자에게 대기오염과 기상요소의 변화는 상호 영향을 주며, 나이, 성별, 노출 수준, 지역에 따라 다르게 나타난다(박혜경, 2018). 또한 대기오염물질(미세먼지, 일산화탄소 등)에 대한 노출과 아토피 피부염으로 인한 외래 방문 간 연관성이 보고되었다(강선우, 이해원, 2022). 대기오염물질은 COPD 악화로 인한 응급실과 병원 이용의 위험을 높이는데, 특히 노인과 어린이들에게 주는 영향이 크다(오지수 외., 2017; Zhang et al., 2016). 최근의 체계적 문헌 고찰 연구들은 미세먼지와 오존 등 대기오염물질 농도가 비만의 위험을 높일 수 있는데, 특히 아이들이 취약하다는 점을 보고했다(Huang et al., 2020; Lin et al., 2022).

한편 대기오염의 건강 영향에 더 취약한 민감계층들이 존재한다. 대기오염의 건강 영향에 대한 민감계층으로는 어린이, 노인, 임산부, 기존의 심장과 폐질환 환자, 대기오염 농도가 높은 지역에 사는 사람, 사회경제적으로 열악한 지역에 사는 사람 등이 포함된다(EPA, 2023). 최근에는 이러한 민감계층

의 만성질환 문제가 미래의 상당한 질병 부담으로 예측되고 있으며, 대기오염이 만성질환자의 건강에 영향을 준다는 연구 결과들이 지속적으로 보고되고 있다. 한 연구는 대기오염 노출이 만성질환을 가진 사람들의 의료서비스 이용을 증가시켰는데, 특히 외래는 폐암 이외의 암(non-lung cancers)과 만성폐쇄성폐질환(COPD) 환자들에게서 가장 크게 증가했으며, 병원 입원에서는 당뇨와 COPD, 협심증(angina) 환자들에게서 증가폭이 컸다고 보고했다(To et al., 2015). 또한 대기오염은 천식 아동의 건강에 영향을 미치는데, 대기오염으로 인해 그들의 천식을 악화시켜 병원 입원과 재입원을 발생시킨다는 연구가 발표되었다(Kuo et al., 2019; Newman et al., 2014). 몇몇 연구에서는 미세먼지 농도가 천식으로 인한 응급실 방문과 병원 입원에서 아동 그룹이 성인 그룹보다 더 높은 위험도를 보였다(Silverman, Ito, 2010; Alhanti et al., 2016).

하지만 대다수의 연구가 특정 만성질환을 대상으로 대기오염과의 관련성을 규명해 왔음에도 일반적으로는 전체 인구 또는 한 지역의 인구를 포함하는 경우가 많으며, 소득이 낮은 지역이나 사회경제적으로 열악한 지역에 거주하거나 만성질환을 가진 민감계층에 집중된 연구는 여전히 부족한 상황이다. 다음에 이어지는 장에서는 미국 텍사스 남부 지역의 사회경제적으로 열악한 지역에 거주하는 천식 아동들을 대상으로 거주 지역의 대기오염(미세먼지와 오존)이 이들의 의료서비스 이용에 미치는 영향을 분석한 연구들을 고찰하였다.

3 미국 천식 아동 대상 대기오염의 의료 이용 영향 관련 연구

가. 대기오염이 천식 아동의 병원 입원일수에 미치는 영향¹⁾

병원 입원일수는 전체 의료 비용의 많은 부분을 차지하는 주요 요인으로, 환자와 가족들에게 상당한 경제적인 부담을 준다. 이러한 병원 입원일수에 영향을 미치는 요소들을 규명하는 것은 건강 결과를 향상시키고 보건 의료 자원의 효과적인 활용과 비용 감소를 위해 중요한 일이다(Luo et al., 2018). 기존의 연구들이 천식 환자들의 병원 입원일수에 영향을 주는 요인들을 찾았지만, 개인적인 요인에만 한정이 되었으며, 대기오염과의 연관성에 대한 연구는 주로 성인들을 대상으로 하거나 천식이 아닌 다른 호흡기질환에 대한 것이었다. 이 연구에서는 소득이 낮은 지역에 사는 천식 아동들을 대상으로 대기오염과 그들의 병원 입원일수 간의 관계를 살펴보았다.

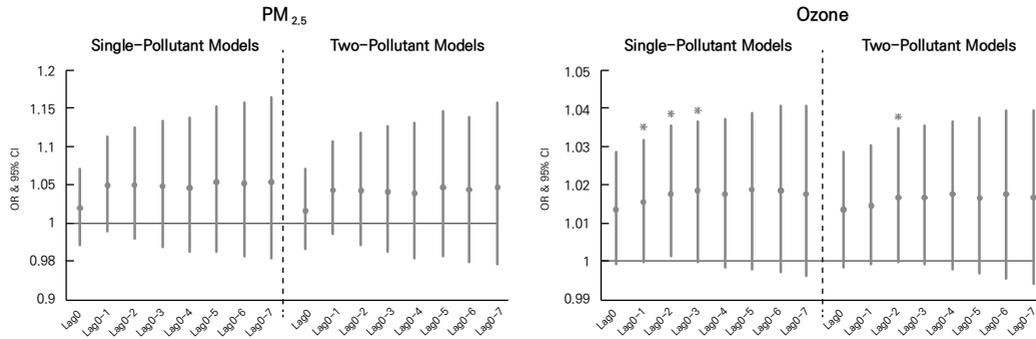
연구가 진행된 지역은 미국 텍사스 남부 멕시코와의 접경 지역으로, 대다수가 히스패닉이며 다른 지역에 비해 평균 소득이 낮고 사회경제적으로 열악한 환경(낮은 교육 수준, 열악한 의료서비스 접근, 낮은 건강보험 보유율)을 가진 곳이다. 이 연구

에서는 이 지역에 사는 18세 이하의 천식 아동 중에 2010~2014년 사이 그 지역의 어린이병원에 입원했던 711명을 대상으로 이들의 거주 지역 대기오염 농도(초미세먼지와 오존)가 그들의 병원 입원일수에 영향을 주었는지를 분석하였다. 입원 당일(Lag 0)부터 7일 이전까지(Lag 0-7) 대기오염 농도의 영향을 평가하고자 하였다. 이전 연구 결과를 고려하여 병원 입원일수에 영향을 미칠 수 있는 요소들인 나이, 성별, 인종, 보험 유형, 천식이나 다른 호흡기질환의 가족력, 약 복용 여부, 천식 교육의 경험 여부, 입원 시 계절과 요일을 비롯한 개인적인 요소뿐 아니라 거주 지역의 기온도 분석에 포함하였다. 또한 나이, 성별, 입원 시 계절에 따른 계층화된 분석을 통해 이러한 요소들이 대기오염과 병원 입원일수 사이의 관계에 영향을 주는지도 평가했다.

분석 결과는 다른 요소들을 고려했을 때 아동 천식 환자의 거주지 오존 농도의 증가가 병원 입원일수(3일 이상)의 증가에 유의미하게 영향을 준다는 점을 보여 줬다(그림 2). 이것은 초미세먼지와 오존 각각 포함했던 모델(single-pollutant model)과 두 요소 모두를 포함했던 모델(two-pollutant model)에서 다 유의미했다. 나이에 따른 분석에서 초미세먼지(PM2.5)는 5~11세 천식 아동들 사이에서 병원 입원일수와 양(+)의 관계를 유의미하게

1) 이 부분은 Baek et al. (2020a). Association between ambient air pollution and hospital length of stay among children with asthma in South Texas(International Journal of Environmental Research and Public Health)에 기초하여 작성한 것이다.

[그림 2] 대기오염(초미세먼지와 오존) 농도와 병원 입원일수 간의 관계



주: OR: odds ratio; 95% CI: 95% confidence interval; * p < 0.05; 나이, 성별, 인종, 천식 또는 호흡기질환의 가족력, 보험 유형, 약 복용 여부, 천식 교육 경험 여부, 입원 시 계절과 요일, 거주 지역 기온을 통제함.
 자료: Baek et al. (2020a). Association between ambient air pollution and hospital length of stay among children with asthma in South Texas. p. 6 [그림 1].

보여 줬다. 성별에 따른 분석에서는 유의미한 결과가 없었으며, 입원 시 계절에 따른 분석에서 따뜻한 계절(5~10월)일 때 오존(O₃) 농도가 아동 천식 환자들의 병원 입원일수에 영향을 주었다.

나. 대기오염이 천식 아동의 병원 재입원에 미치는 영향²⁾

병원 재입원은 환자와 보호자, 정부에 보건 의료 자원과 비용, 의료의 질과 관련하여 큰 부담을 줄 수 있다는 점에서 천식의 중요한 건강 결과 중 하나이다(Berry et al., 2011). 천식으로 인해 재입원

하는 아동 환자는 한 번만 입원하는 아동 환자에 비해 질병의 심각도, 돌봄 접근성, 환경적인 노출에서 차이를 보일 수 있다(Liu et al., 2009). 대기오염 노출은 아동들 사이에 천식 증상의 악화로 반복적인 입원에 이르도록 하는 중요한 촉발 요인으로 여겨져 왔지만, 기존의 연구는 주로 교통 관련 대기오염(traffic-related air pollution)이나 주요 도로와의 근접성과 관련된 대기오염 노출로만 한정되었다(Newman et al., 2014; Chang et al., 2009). 이 연구에서는 특정한 대기오염 농도인 초미세먼지(PM_{2.5})와 오존(O₃)에 대한 단기간의 노출이 아동 천식 환자들의 병원 재입원에 어떠한 영

2) 이 부분은 Baek et al. (2020b). Effect of ambient air pollution on hospital readmissions among the pediatric asthma patient population in South Texas: A case-crossover study(International Journal of Environmental Research and Public Health)에 기초하여 작성한 것이다.

향을 미치는지를 분석했다. 여기에서는 재입원한 당일(Lag 0)부터 입원 전 3일째 되는 날(Lag 3)과 3일 이전까지(Lag 0-3)의 대기오염 농도를 포함했다. 연구의 대상은 미국 텍사스 남부 멕시코와의 접경 지역에 사는 아동 천식 환자들이었다. 이들 중 2010~2014년 그 지역의 어린이병원에 천식으로 재입원했던 111명의 아동 천식 환자들을 연구에 포함하였다.

천식 아동들의 대기오염 농도와 병원 재입원 간의 관계를 살펴보았는데, 이 관계에 영향을 줄 수 있는 거주 지역의 기온을 대기오염물질 농도 자료의 날짜에 맞게 분석에 포함하였다. 또한 나이, 성별, 입원 시 계절에 의한 계층화된 분석을 통해 이 요소들의 영향도 평가해 보았다. 천식으로 재입원한 아동 환자의 80% 정도가 히스패닉이었는데, 약

70%가 메디케이드(Medicaid)라는 미국 내 저소득층을 위한 공공보험을 가지고 있었다. 각각의 대기오염 요소만을 포함했던 모델(single-pollutant model)에서는 거주 지역의 입원 전 초미세먼지(PM2.5) 농도가 그들의 병원 재입원의 위험을 높이는 요소로 영향을 주었다. 두 개의 대기오염 요소를 모두 포함했던 모델(two-pollutant model)에서는 초미세먼지(PM2.5)와 오존(O3)에 대한 노출이 재입원의 가능성을 높였다. 나이에 따른 분석에서는 오존 농도가 병원 재입원에 영향을 주었으며, 입원 시 계절에 따른 분석에서는 따뜻한 계절(5~10월)일 때 초미세먼지와 오존 모두 병원 재입원과 양(+의) 관련성을 보였다.

[표 1] 거주 지역의 대기오염(초미세먼지와 오존) 농도와 병원 재입원의 관계

Single- and Cumulative-day Lags	Single-pollutant Model		Two-pollutant Model	
	초미세먼지(PM2.5)	오존(O3)	초미세먼지(PM2.5)	오존(O3)
	OR(95% CI)	OR(95% CI)	OR(95% CI)	OR(95% CI)
Lag 0	0.972(0.897-1.052)	1.020(0.999-1.041)	0.954(0.878-1.037)	1.023(1.001-1.045)*
Lag 1	1.082(1.008-1.162)*	1.008(0.987-1.028)	1.080(1.005-1.161)*	1.005(0.984-1.025)
Lag 2	0.984(0.914-1.059)	1.001(0.979-1.022)	0.983(0.912-1.059)	1.001(0.980-1.023)
Lag 3	0.985(0.914-1.063)	1.007(0.988-1.027)	0.980(0.907-1.059)	1.008(0.988-1.028)
Lag 0-1	1.046(0.954-1.147)	1.016(0.993-1.039)	1.036(0.942-1.138)	1.014(0.992-1.037)
Lag 0-2	1.032(0.929-1.145)	1.013(0.989-1.038)	1.023(0.921-1.138)	1.012(0.988-1.037)
Lag 0-3	1.017(0.907-1.140)	1.015(0.988-1.042)	1.006(0.896-1.131)	1.015(0.988-1.042)

주: 모든 모델에서 거주 지역의 기온을 통제함; OR: odds ratio; 95% CI: 95% confidence interval; * p < 0.05

자료: Baek et al. (2020b). Effect of ambient air pollution on hospital readmissions among the pediatric asthma patient population in South Texas: A case-crossover study, p. 5 (표 3).

다. 대기오염과 천식 아동의 다수 병원 이용의 관계³⁾

천식으로 인한 병원 입원과 재입원은 천식의 악화 및 조절 관리를 측정하는 중요한 결과 지표 중 하나로 사용된다(Feudtner et al., 2009). 기존의 연구들이 아동 천식 환자들의 병원 재입원에 영향을 주는 다양한 개인적, 환경적 요소들을 밝혀 왔지만, 이러한 연구들은 단 한번의 재입원에 한정되었다. 앞서 언급했던 두 연구에서 사회적으로 열악한 환경을 가진 지역에서 대기오염이 아동 천식 환자들의 병원 입원일수, 병원 재입원과 각각 관련이 있다는 점을 밝혔는데, 이 연구에서는 같은 지역에 사는 다수의 병원 입원을 했던 아동 천식 환자의 개인적이고 환경적인 특징들을 찾아보면서, 특히 거주 지역의 대기오염과 병원 과다 이용 사이에 어떠한 관련이 있는지를 살펴보았다.

연구 대상은 미국 텍사스 주의 남부 지역에 사는 아동 천식 환자들 중 2010~2016년 지역의 어린이 병원에 최소 1번 이상 입원한 902명이었다. 병원 입원 기록을 통해 얻어진 환자 개인의 정보는 처음 입원 시의 나이, 성별, 인종, 보험 유형, 약 복용 여부, 입원일수, 첫 입원 시 계절과 연도였다. 아동 천식 환자들의 거주지 정보를 바탕으로 거주 지역의 대기오염 정도(초미세먼지와 오존 농도)와 그 지역의 사회적 취약지수를 포함하여 분석했다. 연구 기

간 동안의 병원 입원 횟수의 분포를 고려하여 아동 천식 환자들을 세 그룹으로 나누었으며(1회 입원, 2~3회 입원, 4회 이상 입원), 세 그룹 간 개인적이고 지역적인 특징을 비교하였다. 이를 위해 세 가지 모델을 사용했는데, 통제변수를 전혀 포함하지 않은 모델 1, 개인적인 요소만을 넣은 모델 2, 개인적인 요소와 환경적인 요소를 모두 포함한 모델 3이었다. 결과의 강건성(robustness) 확인을 위해 각각의 대기오염물질에 따른 모델을 추가적으로 분석에 포함하였다.

분석 결과 입원을 가장 많이 했던 아동 천식 환자 그룹(4회 이상)이 전체 환자 수의 2.4%로 숫자는 적었지만 병원 이용에서는 전체 환자 입원 횟수의 10.8%, 전체 입원일수의 13.5%로 상당히 많은 것으로 나타났다. 이는 소수의 병원 과다 이용자가 병원의 자원을 많이 이용하고 있음을 보여 준다. 세 그룹 간 비교에서는 4회 이상 입원한 그룹의 환자들보다 다른 두 그룹에 비해 평균적으로 더 오랜 시간 입원하고, 입원과 다음 입원 사이의 간격도 짧았다. 대기오염의 영향과 관련해서는 아동 천식 환자 거주 지역의 오존 농도가 그들의 다수 병원 입원에 영향을 주는 요소로 확인되었는데, 이러한 결과는 각각의 대기오염물질을 넣은 모델에서도 일관되게 나타났다. 초미세먼지 농도와 사회적 취약지수는 과다 병원 이용과의 관계에서 유의미한 결과를 보이지 않았다.

3) 이 부분은 Baek et al. (2022). Pediatric asthma hospitalization: individual and environmental characteristics of high utilizers in South Texas(Journal of Asthma)에 기초하여 작성한 것이다.

라. 정책적 시사점

세 개의 연구는 미세먼지와 오존의 대기오염물질 농도가 천식 아동들의 병원 이용에 부정적으로 영향을 준다는 사실을 보여 줬는데 특히, 사회경제적으로 열악한 지역에 사는 천식 아동들에게 대기오염이 그들의 건강에 영향을 준다는 것을 밝혔다. 이를 통해 천식 아동들의 부모나 보호자들은 대기오염 농도가 높은 날에는 천식 아동들의 외부 활동을 제한하거나 마스크를 쓰도록 하는 노력이 필요하며, 학교에서도 천식 아동을 보호하기 위해 야외 활동이나 행사를 계획할 때 대기오염 농도를 고려할 필요가 있음을 강조하였다. 천식 아동들의 부모나 보호자들을 위한 천식 교육에서 천식 관리와 통제, 대기오염의 건강 영향에 대한 내용은 충분히 공유되어야 하며, 구체적으로 교육 내용에 대기오염물질의 종류와 건강에 대한 영향, 대기오염에 대한 노출을 감소시키기 위한 방안 등이 포함되어야 한다는 것이 제안되었다.

천식으로 인한 병원 재입원과 다수 입원은 대부분 처음 입원과 퇴원 후 효과적인 관리 및 돌봄을 통해 충분히 예방할 수 있다. 천식 아동들의 병원 재입원을 줄이는 것은 이들을 위한 돌봄의 질을 향상하고 건강관리 비용을 줄이는 데도 중요하다. 이러한 점을 고려할 때 천식 아동들의 병원 재입원을 효과적으로 줄이기 위해 그들이 퇴원하기 전에 대기오염의 건강 영향을 비롯하여 관리와 예방을 위한 교육을 필수적으로 실시하는 것이 필요하다. 사회

적으로 열악한 지역에 사는 사람일수록 그러한 교육에 대한 접근과 관심이 적을 수 있기 때문에 퇴원 이전에 병원에서의 교육은 재입원을 줄이는 데 중요하다. 특히 연구 배경이 되었던 어린이병원에서의 천식 교육에는 실내 공기오염물질에 대한 내용에만 초점을 맞추고 있어서 대기오염물질의 건강 영향에 대한 내용도 교육에 포함할 것을 제안하였다.

또한 병원에 비교적 자주 입원하는 환자들을 위한 방안이 필요함을 강조하였으며, 이들 그룹에 대한 지속적인 모니터링과 퇴원 후 관리뿐 아니라 이러한 환자들의 개인적이고 지역적인 특징들을 고려하여 재입원율을 낮추는 전략을 세울 필요가 있음을 제안하였다. 특히 사회경제적으로 열악한 지역에 사는 저소득층 가정의 아이들이라는 점을 고려할 때 여러 연구를 통해 이러한 지역에 이미 효과적이라고 증명된 지역사회 내 자가 방문 천식교육 프로그램과의 협력을 통해 이곳에서 더 많은 아동 천식 환자와 부모, 보호자들이 천식 관리와 관련된 교육을 받도록 제도적인 장치를 만드는 것도 중요함을 제안하였다.

4 나가며

대기오염이 만성질환을 가진 민감계층인 아동 천식 환자들의 의료 이용에 어떠한 영향을 주는지에 관한 세 개의 연구 결과는 사회경제적으로 열악한 지역에 거주하는 천식 아동들에게 대기오염이

그들의 의료 이용(병원 입원일수와 재입원, 다수 입원) 증가에 영향을 준다는 점을 보여 줬다. 이러한 연구들을 바탕으로 우리나라에 주는 몇 가지 시사점을 제시하고자 한다. 첫째, 국내에 기후변화와 대기오염의 건강 영향과 관련하여 만성질환을 가진 민감집단에 초점을 맞춘 연구가 아직까지 많이 부족한 상황이다. 이것은 특정 만성질환 인구집단을 위한 정책을 수립하고 시행할 때에도 제한이 된다. 따라서 앞서 언급한 연구들과 같이 만성질환 유형별로 세분화한 민감집단에 맞춘 연구가 국내에서도 필요하다. 그러한 연구 결과를 바탕으로 구체화된 민감집단의 필요에 맞는 기후변화와 대기오염 적응 및 대응 정책을 만들어 갈 필요가 있다. 또한 민감계층과 다른 일반 인구집단의 비교를 통해 민감계층의 취약한 요소를 파악할 필요가 있고, 건강 영향에 대한 차이를 규명하는 것도 필요하다. 특히 대기오염의 건강 영향에 관련이 있는 개인 수준의 요소와 지역 수준의 요소를 모두 고려하여 연구가 진행된다면 인구집단과 지역 특성에 따른 분석이 가능할 것이다. 또한 만성질환의 유형별로 취약할 수 있는 인구집단 발굴 및 그들을 위한 구체화된 정책 방안 마련도 가능할 것이다.

둘째, 기후변화에 따른 건강 영향을 평가하기 위한 기후보건영향평가가 5년 주기로 이뤄지도록 법적인 토대가 마련된 후 2022년에는 제1차 기후보건영향평가 보고서가 발간되었는데, 여기에 대기오염이 폭염, 한파, 감염병의 영향과 함께 중요한 주제로 포함되었다. 민감계층을 대상으로 하는 모니

터링 체계 마련을 통해 민감집단을 발굴하고 이들의 건강 피해를 최소화하기 위한 적응 정책을 만들어 갈 필요가 있다. 앞서 언급한 대로 관련 연구 결과들이 정책의 기초자료로서 중요한 역할을 할 것이다. 최근 질병관리청에서 일반 인구집단을 넘어 산모, 영유아, 고령자, 기저질환자 등을 포함한 기후변화의 영향에 더 민감한 집단으로 기후보건영향평가의 대상을 확대할 필요성이 있음을 논의한 것은 고무적인 일이다. 이전 연구에서 이미 기후변화와 대기오염 민감계층으로 신체적, 사회경제적 취약 인구집단(임산부, 기저질환자, 아동, 고령자, 저소득층 등), 직업적 특수성에 따라 기후변화와 대기오염에 대한 노출이 높은 집단(농어업, 야외 근로자, 특수직군 등), 기후변화 취약 지역 거주자(해안가, 혹서·혹한 지역 등)로 구분되었는데(채수미 외, 2018), 이를 고려하여 향후 기후보건영향평가에 인구집단별(만성질환자 포함) 건강 영향에 대한 평가가 포함될 필요가 있다.

셋째, 국내에서 천식 아동을 위해 2007년 국가차원의 천식·아토피 질환 예방관리 종합대책 계획을 수립하는 것을 시작으로 이를 위한 심포지엄을 지속적으로 개최해 왔으며, 아토피·천식 친화학교 사업, TV와 라디오를 통한 공익광고 제작, 아토피·천식 예방관리 인프라 구축 등을 추진해 왔다. 그 결과 연도별로 아토피·천식 예방관리사업을 수행하는 보건소의 수가 증가했으며, 시도별 안심학교 및 안심어린이집·유치원도 전국에 3,443개(2021년 기준)에 이르렀다. 하지만 지역사회 통합건강증

진사업의 아토피·천식예방관리(보건복지부, 질병관리청, 한국건강증진개발원, 2023)를 보면 천식 예방 및 관리에서 대기오염의 건강 영향에 대한 내용이 아직 부족하며, 이에 대한 대책도 충분히 반영되어 있지 않다. 또한 주로 소득에 대한 기준으로만 취약계층을 정의하여 지원하고 있는데, 앞으로는 취약집단 천식 아동의 건강에 영향을 미칠 수 있는 미세먼지, 오존 등과 같은 대기오염물질의 농도가 높은 지역에 대한 고려도 필요할 것이다. 천식 아동들의 불필요한 병원 재입원을 예방하기 위해 퇴원 전 교육도 중요한데, 병원과 지역사회 간 협력체계 구축을 통해 지속적인 모니터링과 관리가 이뤄질 수 있도록 하는 것이 필요하다.

마지막으로, 미국의 천식 아동 사례 연구들은 개인의 취약성과 함께 그들이 사는 거주 지역의 취약성이 개인의 건강과 의료 이용에 영향을 미칠 수 있음을 보여 주었다. 대기오염의 건강 영향과 관련하여 개인적인 취약성만을 강조하기보다는 지역의 취약성에 대해 지속적으로 관심을 갖고 평가할 필요가 있다. 특히 국내 각 지역의 특성과 취약한 요소들을 바탕으로 기후변화와 대기오염의 건강 영향을 평가하고 그에 맞는 적응 정책을 수립할 필요가 있다. 지자체별로 정책을 마련할 때 그 지역이 가지고 있는 독특한 특성을 고려하는 게 중요하다. 미국의 일부 주와 지역에서 지역 맞춤형 미세먼지 대응 프로그램을 자체적으로 운영하고 있는 점을 고려하여 우리나라에서도 지역에서 미세먼지 농도가 크게 높아지는 경우를 대비하여 지방자치단체 차원의 대처

방안을 마련할 필요가 있다는 의견이 제안된 바 있다(신지영, 2023). 최근 질병관리청에서도 지역 중심으로 기후변화의 건강 영향에 대한 평가와 대응 대책 수립의 필요성을 논의하기 시작했다. 이러한 논의에 사회경제적으로 열악한 지역, 혹서·혹한 지역과 해안가 등 기후변화에 더욱 취약한 지역, 산업단지과 도로 인접 등으로 인해 대기오염 농도가 높은 지역 등 지역별 특성에 대한 고려가 포함되어야 하며, 지역 특성에 따른 건강영향평가와 그에 따른 정책 마련이 이뤄져야 한다. 

참고문헌

- 강선우, 이혜원. (2022). 대기오염물질이 아토피 피부염으로 인한 외래 방문에 미치는 영향: 인천광역시를 중심으로. **한국웰니스학회지**, 17(3), pp. 61-69.
- 관계부처합동. (2019). **미세먼지 관리 종합계획(2020-2024)**. https://policy.ni.go.kr/search/searchDetail.do?rec_key=SH2_PLC20190242990&kwd=에서 2023. 5.23. 인출.
- 명준표. (2016). 미세먼지와 건강 장애. **대한내과 학회지**, 91, pp. 106-113.
- 박혜경. (2018). 대기오염과 기후변화: 천식에 미치는 영향. **Allergy Asthma Respir Dis.**, 6, pp. 79-84
- 배현주, 하종식, 임유라. (2011). **기후변화와 대기오염으로 인한 건강영향 연구: 사회경제적 변수에 따른 사망영향**(pp. 1-117). 인천: 국립환경과학원.
- 보건복지부, 질병관리청, 한국건강증진개발원(KHEPI). (2023). **2023년 지역사회 통합건강증진사업 안**

- 내 - 아토피·천식예방관리. <https://www.mohw.go.kr/react/jb/sjb030301vw.jsp>에서 2023. 6.10. 인출
- 신지영. (2023). 미세먼지의 건강 영향 분석과 정책적 시사점. **한국보건사회연구원 보건복지 Issue & Focus 435호**, pp. 1-10.
- 양원호. (2019). 기후변화에 따른 대기오염물질 농도 변화 및 미세먼지 노출에 의한 건강 영향. **보건복지포럼**, pp. 20-31.
- 오지수, 박상현, 곽명관, 표창해, 박근홍, 김한범, ..., 최한조. (2017). 대기 중 미세먼지 농도와 응급실을 방문하는 만성 폐쇄성 폐 질환 환자와의 상관관계. **대한응급의학회지**, 28(1).
- 장안수. (2014). 미세먼지가 건강에 미치는 영향. **J.Korean Med.Assoc.**, 57, pp. 763-768.
- 채수미, 권영대, 김동지, 이상영, 서제희, 김대은, ..., 차미란. (2018). **기후변화로 인한 건강영향평가(기후보건영향평가) 및 실태조사 방안**. 오송: 질병관리본부, 세종: 한국보건사회연구원.
- Alhanti, B. A., Chang, H. H., Winqvist, A., Mulholland, J. A., Darrow, L. A., & Sarnat, S. E. (2016). Ambient air pollution and emergency department visits for asthma: a multi-city assessment of effect modification by age. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 26(2), 180-188.
- Baek, J., Kash, B. A., Xu, X., Benden, M., Roberts, J., & Carrillo, G. (2020a). Association between ambient air pollution and hospital length of stay among children with asthma in South Texas. *International journal of environmental research and public health*, 17(11), 3812.
- Baek, J., Kash, B. A., Xu, X., Benden, M., Roberts, J., & Carrillo, G. (2020b). Effect of ambient air pollution on hospital readmissions among the pediatric asthma patient population in South Texas: A case-crossover study. *International journal of environmental research and public health*, 17(13), 4846.
- Baek, J., Kash, B. A., Xu, X., Benden, M., Roberts, J., & Carrillo, G. (2022). Pediatric asthma hospitalization: individual and environmental characteristics of high utilizers in South Texas. *Journal of Asthma*, 59(1), pp. 94-104.
- Berry, J. G., Hall, D. E., Kuo, D. Z., Cohen, E., Agrawal, R., Feudtner, C., ... & Neff, J. (2011). Hospital utilization and characteristics of patients experiencing recurrent readmissions within children's hospitals. *Jama*, 305(7), pp. 682-690.
- Braithwaite, I., Zhang, S., Kirkbride, J. B., Osborn, D. P., & Hayes, J. F. (2019). Air pollution (particulate matter) exposure and associations with depression, anxiety, bipolar, psychosis and suicide risk: a systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives*, 127(12), 126002.
- Chang, J., Delfino, R. J., Gillen, D., Tjoa, T., Nickerson, B., & Cooper, D. (2009). Repeated respiratory hospital encounters among children with asthma and residential proximity

- to traffic. *Occupational and environmental medicine*, 66(2), pp. 90–98.
- Dias, D., Tchepel, O., Carvalho, A., Miranda, A. I., & Borrego, C. (2012). Particulate matter and health risk under a changing climate: assessment for Portugal. *The Scientific World Journal*, pp. 1–10.
- Doherty, R. M., Heal, M. R., & O'Connor, F. M. (2017). Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environmental Health*, 16(Suppl 1), pp. 33–44.
- Dominski, F. H., Branco, J. H. L., Buonanno, G., Stabile, L., da Silva, M. G., & Andrade, A. (2021). Effects of air pollution on health: A mapping review of systematic reviews and meta-analyses. *Environmental research*, 201, 111487.
- Feudtner, C., Levin, J. E., Srivastava, R., Goodman, D. M., Slonim, A. D., Sharma, V., ... & Hall, M. (2009). How well can hospital readmission be predicted in a cohort of hospitalized children? A retrospective, multicenter study. *Pediatrics*, 123(1), pp. 286–293.
- Huang, S., Zhang, X., Huang, J., Lu, X., Liu, F., & Gu, D. (2020). Ambient air pollution and body weight status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 265, 114999.
- IPCC. (2022). *Summary for Policymakers [H.-O. Portner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem (eds.)]*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Portner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, B. Rama (eds.)]*. Cambridge: Cambridge University Press, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43, pp. 51–63.
- Kim, K., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, pp. 136–143.
- Kuo, C. Y., Chan, C. K., Wu, C. Y., Phan, D. V., & Chan, C. L. (2019). The short-term effects of ambient air pollutants on childhood asthma hospitalization in Taiwan: a national study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2), 203.
- Lin, L., Li, T., Sun, M., Liang, Q., Ma, Y., Wang, F., ... & Sun, Z. (2022). Global association between atmospheric particulate matter and obesity: A systematic review and meta-analysis. *Environmental research*, 209, 112785.
- Liu, S. Y., & Pearlman, D. N. (2009). Hospital

- readmissions for childhood asthma: the role of individual and neighborhood factors. *Public Health Reports*, 124(1), pp. 65–78.
- Luo, L., Ren, J., Zhang, F., Zhang, W., Li, C., Qiu, Z., & Huang, D. (2018). The effects of air pollution on length of hospital stay for adult patients with asthma. *The International journal of health planning and management*, 33(3), pp. e751–e767.
- Newman, N. C., Ryan, P. H., Huang, B., Beck, A. F., Sauer, H. S., & Kahn, R. S. (2014). Traffic-related air pollution and asthma hospital readmission in children: a longitudinal cohort study. *The Journal of pediatrics*, 164(6), pp. 1396–1402.
- Silverman, R. A., Ito, K. (2010). Age-related association of fine particles and ozone with severe acute asthma in New York City. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(2), 367–373.
- To, T., Feldman, L., Simatovic, J., Gershon, A. S., Dell, S., Su, J., ... & Liciskai, C. (2015). Health risk of air pollution on people living with major chronic diseases: a Canadian population-based study. *BMJ open*, 5(9), e009075.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2022). *Climate Change Impacts on Air Quality*. Retrieved from <https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-impacts-air-quality#foot>. 2023. 5. 23.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Research on health effects from air pollution*. Retrieved from <https://www.epa.gov/air-research/research-health-effects-air-pollution>. 2023. 5. 22.
- World Bank. (2023). *What you need to know about climate change and air pollution*. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/09/01/what-you-need-to-know-about-climate-change-and-air-pollution>. 2023. 5. 22.
- World Health Organization(WHO). (2004). *Using climate to predict infectious disease outbreaks: A review*.
- World Health Organization(WHO). (2019). *Ten threats to global health in 2019*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>. 2023. 5. 22.
- World Health Organization(WHO). (2023). *Air quality and health: Climate impacts of air pollution*. Retrieved from <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/climate-impacts-of-air-pollution>. 2023. 5. 22.
- Zhang, S., Li, G., Tian, L., Guo, Q., & Pan, X. (2016). Short-term exposure to air pollution and morbidity of COPD and asthma in East Asian area: a systematic review and meta-analysis. *Environmental research*, 148, pp. 15–23.

Impacts of Air Pollution on Patients with Chronic Diseases and Their Implications: Focusing on Healthcare Utilization Among Children With Asthma in the United States

Baek, Juha

(Korea Institute for Health and Social Affairs)

Climate change and air pollution are interrelated and pose significant challenges to the health of people worldwide. There are vulnerable populations that are more susceptible to the effects of air pollution, and recently, the chronic disease burden among these vulnerable groups has been predicted to become a significant health issue in the future. This article examines the impacts of climate change and air pollution on human health and how air pollution affects the health of vulnerable populations with chronic diseases. Specifically, this article reviews three studies which, focusing on children living in socioeconomically disadvantaged areas of South Texas, investigated the impacts of air pollutants, including particulate matter and ozone, on the utilization of healthcare services by pediatric asthma patients, and draws out some implications for Korea.